

# 微型无刷直流电机在 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪中的应用

兰芳芳<sup>1,2</sup> 陆亦怀<sup>1,2</sup> 桂花桥<sup>1,2</sup> 陆凡<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院安徽光学精密机械研究所环境光学与技术重点实验室 安徽合肥 230031;

<sup>2</sup>安徽省环境光学与技术重点实验室 安徽合肥 230031)

**摘要** 针对无刷直流电机在 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪中的应用,介绍了 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪的基本原理和系统结构,简述了直流无刷电机的控制原理,提出一种用于 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪的微型无刷直流电动机驱动器的设计方案。分析了霍尔位置传感器的一种定位方法,并讨论了电机转速闭环控制和转动稳定性的调试方法。应用结果表明,该控制系统运行稳定可靠,设计满足 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪的要求,简化了系统结构,能够实现气体的快速采集。

**关键词** 无刷直流电动机;霍尔传感器;CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪;闭环控制

**中图分类号** TM383.4

**文献标识码**:A

## Application of Minisize Brushless DC Servomotor in CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Analyzer

Lan Fangfang<sup>1,2</sup>, Lu Yihuai<sup>1,2</sup>, Gui Huaqiao<sup>1,2</sup>, Lu Fan<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Key Laboratory of Environment Optical and Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China; <sup>2</sup>Anhui Key Laboratory of Environment Optics and Technology, Hefei 230031, China)

**Abstract** The basic principle and system structure of the CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O analyzer is introduced. The control principle of brushless DC motors is brief described, and the driver design for minisize brushless DC motor, which is used in CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O analyzer, is introduced. A positioning method using hall sensor is analyzed. A control method of speed closed loop control and speed stability of motor is also discussed. The application results showed that this system runs stably, and the design satisfies the demand of CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O analyzer. It simplifies the system structure, and enables rapid acquisition of gases.

**Key words** Brushless DC motor; Hall sensor; CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O analyzer; Closed loop control

近年来人们对二氧化碳(CO<sub>2</sub>)和水汽(H<sub>2</sub>O)波动的测量越来越感兴趣。陆地或海洋与大气之间的能量和物质交换的定量研究是生物地球化学循环的重要内容,特别是 CO<sub>2</sub> 交换通量的监测、估算,对我们深刻理解碳的生物地球化学循环以及全球气候变迁具有重大意义。自十九世纪六十年代开始,Elagina 和 Jones 等人就开始了二氧化碳和水汽测量仪器的研究,但是这些仪器光学机械系统复杂<sup>[1,2]</sup>。

本文将结合无刷直流电机在 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪系统中的应用,介绍一种微型电机的驱动控制电路,并针对应用情况,讨论电机转速稳定性的调节方法。此电机系统的特点是体积小、负载小、功耗小、转速高,电路结构设计简单,控制方便。因此在 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪系统中应用直流无刷电机,大大简化了系统,使结构更加紧凑,并且无刷换向具有电磁辐射小、对微波信号干扰小、免维护等优点,使仪器更加适合野外工作。

### 1 仪系统原理与结构

CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪是以 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 对红外线吸收的原理为基础的一种光机电测量系统。其原理框图如图 1 所示:

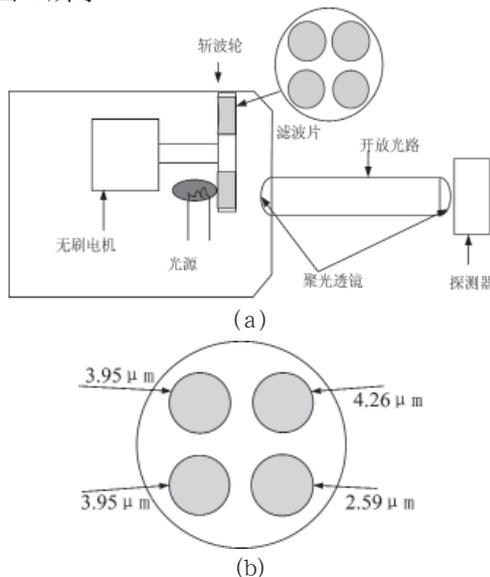


图 1 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪光学机械框图

收稿日期: 2010-09-01

基金资助: 国家青年基金(60908035)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806028)资助

作者简介: 兰芳芳(1984-),女,河南省平顶山人,硕士,现主要从事精密仪器的研发

红外光经过斩波轮上的滤波片后,通过第一个透镜准直变成平行光束,光束通过一段开放的大气路径。根据比尔—朗伯定律<sup>[3]</sup>,通过待测气体后的光信号的强度会减弱,而减弱的程度与待测气体的浓度有关。此时部分光能量会被气体吸收,剩余部分继续按照原方向传播,再经过第二个透镜聚焦到PbSe 探测器表面,光信号就变成微弱的电信号,根据探测信号强度的不同实现对 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 浓度的测量<sup>[4]</sup>。

另外,斩波轮的圆周上刻有一系列均匀的细小刻痕和一条较大的刻痕,在斩波轮的下方安装一个光耦探测器。随着电机的转动,光耦探测器探测到变化的刻痕信号,即电机的转速信号,通过整形后用来控制电机的转速和稳定性。

图 1 (b)所示为斩波轮上装的 4 个窄带滤光片,它们相隔 90° 均匀分布,4 个滤光片的中心波长分别为 4.26 μm、2.59 μm、3.95 μm、3.95 μm,它们分别与 CO<sub>2</sub> 的吸收波长、H<sub>2</sub>O 的吸收波长以及对任何气体都不吸收(参考)的波长相对应<sup>[5]</sup>。斩波轮由直流无刷电机带动,以完成对气体浓度的连续、实时测量。

## 2 无刷直流电机控制原理和结构

无刷直流电动机控制器的原理框图如图 2,它由永磁式同步电机、位置传感器以及电子开关线路三部分组成。电子开关线路主要由位置传感器信号处理模块和功率逻辑开关模块两个部分组成。位置传感器所产生的信号经过一定逻辑处理后,有序地触发三相桥式功率管电路驱动电机定子绕组,实现电机的正确换相。功率逻辑开关模块是将电源的功率以一定逻辑关系分配给电机本体定子上各相绕组,以便使电机产生持续不断的转矩<sup>[6]</sup>。

同时,斩波轮下的光耦探测器探测到的刻痕信号经过比较器整形后,和预设的方波信号进行比较产生比较信号,根据比较信号的变化调节控制功率 MOSFET 逻辑开关的电压信号,对微型电机的转速进行调节,从而实现闭环控制。

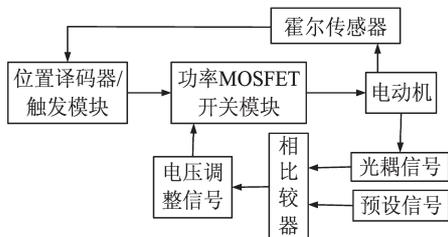


图 2 闭环控制器原理框图

对于常见的“二相导通星形三相六状态”的电动机,一般采用三个霍尔器件,它们在圆周空间的配置有两种方案:相互间隔 60° 电角度或相互间隔 120° 电角度<sup>[7]</sup>,定子各相绕组导通的顺序和时间主要取决于来自位置传感器的信号。在本系统中,霍尔采用相互间隔 120° 电角度配置。

## 3 驱动器设计与闭环控制

### 3.1 电机驱动器设计

本系统研究的三相直流无刷电机采用三相桥式逆变电路驱动<sup>[8]</sup>,其结构如图 3 所示。

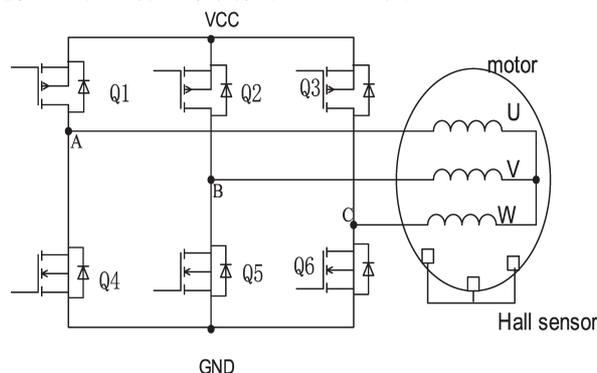


图 3 三相无刷直流电机驱动原理图

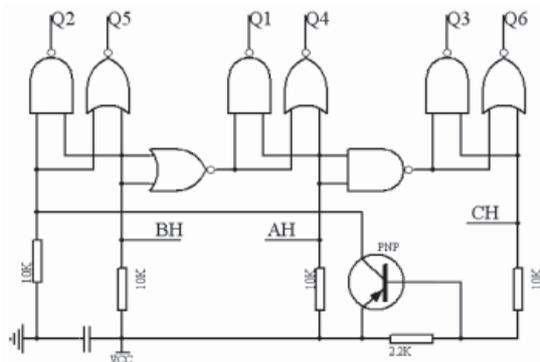


图 4 译码电路

在图 4 的译码电路中, AH、BH、CH 是电动机的位置传感器的信号,以此作为译码电路的输入信号。输出信号 Q<sub>1</sub>—Q<sub>6</sub> 分别作为图 3 中逆变桥功率管的触发信号,轮流触发导通六个功率管。首先假设电机启动时先导通开关管 Q<sub>1</sub> 和 Q<sub>5</sub>, U 相和 V 相线圈的电流产生磁场,吸引电机转子转动,顺序导通“Q<sub>1</sub>Q<sub>5</sub>—Q<sub>1</sub>Q<sub>6</sub>—Q<sub>6</sub>Q<sub>2</sub>—Q<sub>2</sub>Q<sub>4</sub>—Q<sub>4</sub>Q<sub>3</sub>—Q<sub>3</sub>Q<sub>5</sub>”,依靠电力电子器件不断导通、关断产生连续转矩,吸引电机不断转动。在任何时刻,三相桥式逆变路中只有两个开关管导通,一个在高压侧(Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub>、Q<sub>3</sub> 中的一个),另一个在低压侧(Q<sub>4</sub>、Q<sub>5</sub>、Q<sub>6</sub> 中的一个),且同一桥的上、下两个功率管不会同时导通,否则相当于电源短

路。整个译码电路集成在两个芯片中,体积小,有利于系统的集成。

从图 3 可以看出,假设某一相为  $Q_1Q_3$  导通,则当  $Q_1$  关断时,电机线圈为了保证电流方向不变,会产生感生电势, A 端为负, B 端为正。由于 A 端电势比地电位低,电流会通过  $Q_4$  的寄生二极管放电,如果此时使  $Q_4$  反相导通辅助放电,则可以大大减小功率 MOSFET 的温升。

### 3.2 电机转速和稳定性闭环控制方法

如图 5 所示,信号 1 为 PLD 编程设定的一定频率的方波信号,其频率由电机转速确定。信号 2 为光耦探测器探测到的刻痕信号经比较整形后的信号,它实际上就是电机的转速信号。信号 1 和信号 2 经过相比较器 HEF4046,把它们的上沿做比较,如果信号 2 上升沿滞后,产生一个高电平信号;如果信号 2 上升沿超前,则产生一个低电平信号;如果二者一致就产生一个恒定的电平信号,如图 6 中信号 3 所示。由图 2 的闭环控制器原理框图可见,此信号加到功率逻辑开关模块,来调节电机转速的稳定性。

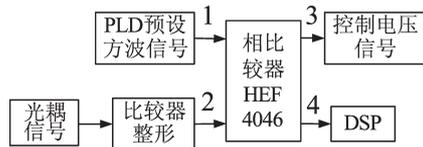
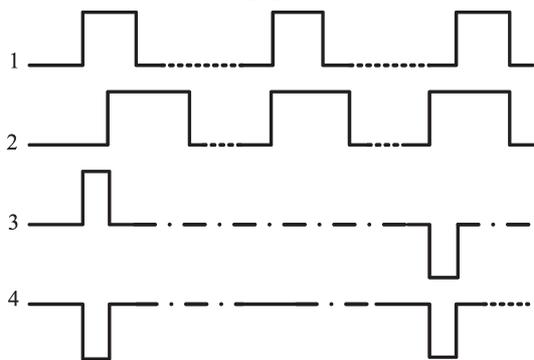


图 5 电机转速稳定性控制框图



1. 预设方波信号 2. 整形后光耦信号  
3. 信号1和2比较信号 4. 信号1和2另一比较信号

图 6 转速稳定性控制信号

同时,信号 4 为信号 2 和信号 1 相比较,当二者上升沿不一致时,产生一个零信号;当二者一致时产生一个高电平信号,从而通知 DSP 电机转速是否稳定。另外,如果要调整电机的转速,只需设置信号 1 的方波信号频率,简单方便。

## 4 结果与分析

系统选用的电机是 FAULHABER 公司的

1628T 系列直流无刷伺服电机(自带霍尔传感器),体积小,功耗低。在驱动系统中,用 NDM3000 作为驱动芯片。

### 4.1 位置传感器的调试

霍尔传感器输出波形应满足芯片控制要求,波形为方波,不允许有多余毛刺或上升沿倾斜现象,否则会使换流不准确。图 7 为霍尔位置传感器的输出信号波形,从上到下依次为 U、V、W 相的霍尔信号输出。

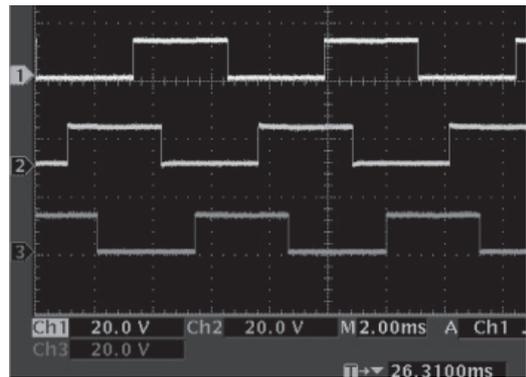


图 7 霍尔传感器输出波形

实验所得与理论真值表一致。在任意时刻,上、下桥臂各只有一个功率管导通,每隔  $1/6$  周期( $60^\circ$  电角度)换向一次,每次换向一个功率管,每一个功率管导通  $120^\circ$  电角度。这与“两相导通星形三相六状态”的电子换向过程一致。

### 4.2 三相输出测试

图 8 中 1、2、3 通道为有负载时测得的三相端电压输出波形。换相时,电机换向信号中有由于二极管续流而产生的毛刺出现,但这不影响电机的顺利切换。

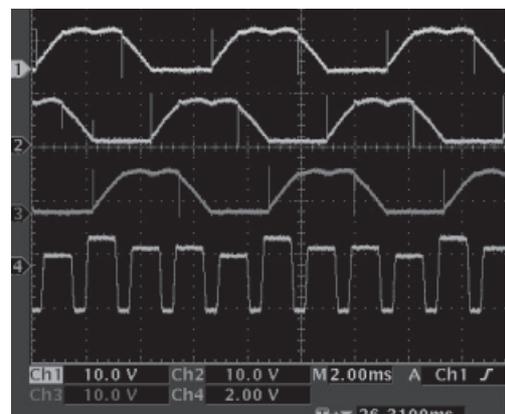


图 8 三相端电压输出波形

图 8 中第 4 通道为电机负载运行时,红外光通过 4 个滤波片后的探测器信号,可以直接对此信号进行 AD 采集。实验中驱动电路所加电压为 15V 时,

测得转速为 9000rpm, 可以实现微型电机的高速运转。整个系统简单紧凑, 调节方便。 5 结语

本文结合微型无刷直流电动机在 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪系统中的应用, 介绍了三相无刷直流电机的控制器驱动电路, 并讨论了一种电机转速闭环控制方法。电路设计简单, 无刷直流电机具有功耗低、电磁辐射小、对微波信号干扰小的优点。从测试结果看, 控制器满足控制要求, 能够实现微型电机的高速运转, 实现 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 的快速测量。并且体积小特点使仪器结构更加紧凑。

## 参考文献

[1] EIJI OHTAKI, TETSUJI MATSUI. Infrared device for

simultaneous measurement of fluctuations of atmospheric carbon dioxide and water vapor[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1982, 24: 109-119

[2] 鲁中明, 戴民汉. 海气 CO<sub>2</sub> 通量与涡动相关法应用研究进展 [J]. 地球科学进展, 2006, 21(10): 1046-1057

[3] 何莹, 张玉均等. 基于激光吸收光谱开放式大气 CO<sub>2</sub> 的在线监测 [J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29 ( 1 ): 10-13

[4] 刘惠贞, 赵汉斌. 同时测量大气中二氧化碳和水汽浓度的红外气体分析仪 [J]. 中国仪器仪表, 2003, 11: 17-19

[5] 吉海彦. 近红外光谱仪器技术 [J]. 现代科学仪器, 2006, 6: 25-28

[6] 黄灿水, 林荣文, 林珍. 无刷直流电动机控制器设计 [J]. 能源与环境, 2004, 1: 45-47

[7] 王俊. 霍尔传感器及其性能优化 [J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2008, 26(2): 10-14

[8] 宋慧滨, 徐申, 段德山. 一种直流无刷电机驱动电路的设计与优化 [J]. 现代电子技术, 2008, 3: 122-12

## 荟萃全球信息 评介世界仪器 欢迎订阅《现代科学仪器》双月刊

《现代科学仪器》是在有关领导人和著名科学家的指导和大力支持下诞生的。它是以介绍和评论国内外科学仪器为主的综合性的科技期刊, 是国内权威性的科学仪器论坛, 也是一份具有参考价值的指南。

**本刊宗旨:**荟萃全球信息, 评介世界仪器, 发挥导向作用, 为促进中国仪器事业的发展服务。

**主要内容:**对国内外仪器进行综述和评论; 及时介绍现代仪器国际前沿的动态和成果; 报道国内仪器研制成果, 分析测试技术和方法; 交流仪器升级改造、选购、使用和维护保养等方面的知识和经验; 各种仪器的应用论文及仪器的介绍。

**读者对象:**各行各业实验室、试验室、研究室应用仪器的科技人员及购置仪器设备的管理人员; 从事高技术及其产品研制开发的科技人员; 各级有关管理决策人员; 大专院校师生等。

**发行范围:**国内外公开发行。

本刊是中国科技核心期刊, 为双月刊, 每双月出版: 15 元 / 期, 90 元 / 年。

国内统一刊号: CN11-2837/TH, 国际刊号: ISSN1003-8892。

国外发行代号: 4536BM, 国内邮发代号: 82-65。读者可到全国各地邮局订阅, 亦可直接到编辑部订阅, 按以下地址将款邮寄至编辑部或通过银行汇款均可。

**编辑部地址:**北京市海淀区西三环北路 27 号理化实验楼 512 室

**邮 编:**100089

**开户银行:**交通银行北京万柳支行

**户 名:**北京华夏大成科学仪器技术有限公司

**帐 号:**110060871012015013955

**电 话:**010-68410135 68410137 68422478

**传 真:**010-68410137

**http:** //www.ms17.cn

**E-mail:** info@instrumentation.com.cn