

DOI:10.15923/j.cnki.cn22-1382/t.2018.2.05

一种新型电机效率测量方法

林志琦, 王洁涵*, 李超

(长春工业大学 电气与电子工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要: 分析了无刷直流电机在工作过程中的效率和转矩之间的关系,利用上位机 LabVIEW 进行了实验分析,找出最高效率时对应的转矩,并得到电机效率最高时对应的负载。

关键词: 无刷直流电机; 效率; LabVIEW

中图分类号: TP 321.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1374(2018)02-0134-05

A new motor efficiency measurement method

LIN Zhiqi, WANG Jiehan*, LI Chao

(School of Electrical & Electronic Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: The relationship between the efficiency and torque of the brushless DC motor in operation is analyzed and then tested with the upper computer LabVIEW to obtain the torque and the load corresponding to the highest efficiency.

Key words: brushless DC motor; efficiency; LabVIEW.

0 引言

无刷直流电机具有体积小、效率高、功率大、寿命长的优点,因此在很多场合都有应用^[1]。电厂发出的电能很大一部分都是通过电机使用的,而且如果电机使用的是外部蓄电池的能量,就更加迫切的要求其具有较高的效率,以减少不必要的损耗用来提高蓄电池的续航能力,所以,电机工作效率的提高具有非常重要的现实意义。

效率是电机的一个重要性能指标,电机在高速运行时所产生的损耗大小决定了效率的高低,

损耗越大,效率就越低^[2]。因此,对转速—效率及转矩—效率之间的关系进行分析具有很重要的意义。

转矩是旋转设备的重要参数之一,转矩的测量方法可以分为平衡力法、能量转换法和传递法^[3]。平衡力法是通过外加已知的与被测转矩方向相反的转矩,当传动轴静止或匀速转动时,外加转矩与被测转矩相等,这种方法简单,但必须通过另外一种方法测量外加的转矩或力及力臂,这样会对测量引入一定的累计误差^[4-6]。能量转换法则是一种间接测量方法,根据对应于转矩大小而变化的其他能量参数来测试转矩的方法是通过能

收稿日期: 2018-02-28

基金项目: 长春市科技计划基金资助项目(13KG09)

作者简介: 林志琦(1964—),男,汉族,吉林长春人,长春工业大学教授,博士,主要从事电气及自动控制方向研究,E-mail:linzhiqi@ccut.edu.cn. * 通讯作者:王洁涵(1993—),女,汉族,吉林通化人,长春工业大学硕士研究生,主要从事电力电子与电力传动方向研究,E-mail:787793064@qq.com.

量守恒的原理间接测量转矩,不易实现。传递法是根据弹性元件在传递转矩时所产生的变形、应力或应变来测试转矩的方法,变化的参数可以是变形、应力或应变等,它所产生的应变可以引起贴在表面的电阻应变片阻值的变化而形成应变型转矩传感器。电机主轴旋转时,将转矩传递到扭轴上,扭轴上所产生的应变通过转矩传感器的电阻应变片转换成相应的电信号,该信号通过处理后送显示器显示转矩数值。所以,文中采用传递法中的一种即电子秤测量转矩法来实现对转矩的测量和分析,通过电阻应变桥实现相应的转矩测量,这种测量方法使用方便、精度高、易于集成,是一种新型的测量方法。

1 电机的特性参数测量

1.1 无刷直流电机输入功率的测量

理论上无刷直流电机的效率定义为

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$$

式中: P_{out} ——无刷直流电机的输出功率;

P_{in} ——无刷直流电机的输入功率, $P_{\text{in}} = UI$;

U ——外加电压,V;

I ——电枢电流,A。

由此可以看出,无刷直流电机的效率与电机的输入、输出功率有关,所以需要测量无刷直流电机的输入、输出功率,而输出功率又由电机的转速和转矩决定,从而为了测量电机的输出功率,又进行了转矩和转速的测量,把测量得到的数据通过串口传送给上位机 LabVIEW 进行处理和运算,并通过波形图的形式来显示相对应的测量结果。

电机工作时所需的电流、电压由直流稳电源提供,电路中的功率表是基于数据采集芯片 TM7705 和 AD 转换芯片 STC12C5604AD 平台的智能仪表^[7-8],TM7705 是应用于低频测量的 2/3 通道的模拟前端,可以接受直接来自传感器的低电平的输入信号,然后产生串行的数字输出^[9-10]。因此,实验中所采用的此种功率表具有采集精度高、响应速度快、运行稳定的优点,并且带有输出串口可以和上位机进行数据通信,使用时只需要将功率表串接在电路中就可以测量出电机的输入功率 P_{in} 。

1.2 无刷直流电机输出功率的测量

无刷直流电机的输出功率由电机的转速和转矩决定,所以对电机的转速和转矩进行测量,为了测量电机的输出功率搭建的实验装置如图 1 所示。

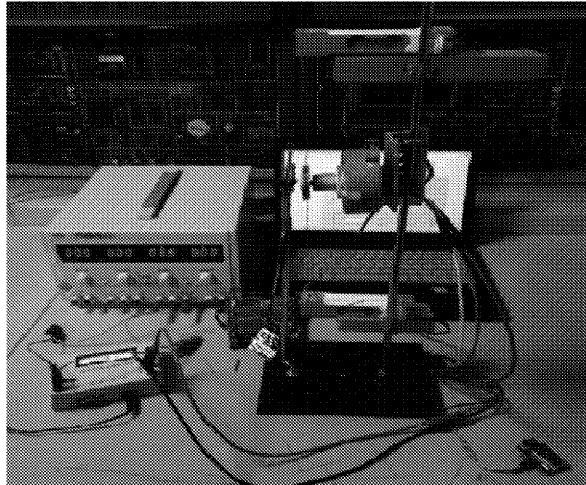


图 1 实物搭建图

从图中可以看出,在被测电机的转动轴上安装了一个带槽的转盘,将电机、两个电子秤等安装在一个特制的支架上,挂绳绕在转盘上。

1.2.1 无刷直流电机转矩的测量

无刷直流电机转矩的测量主要通过电子秤来完成,电子秤由电阻应变桥和专业的电子秤芯片 HX711 组成,电阻应变桥的工作原理如图 2 所示。

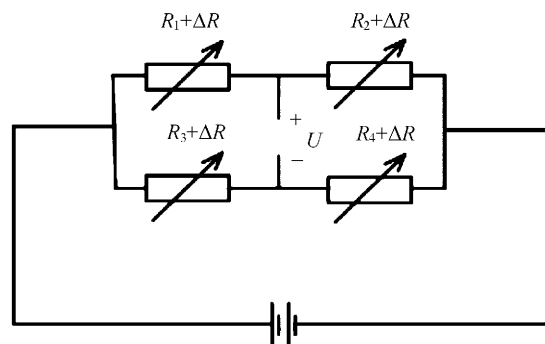


图 2 电阻应变桥原理图

电阻应变桥由四个电阻应变片组成,当有力作用时,电阻应变片就会产生相应的收缩或拉伸,这些变化量通过电阻的阻值表现出来,因此电压 U 的大小也会随着变化。如果把电压 U 的变化输入到带有 A/D 转换功能的 HX711 芯片,

在芯片的输出端就会得到与之相对应的拉力的大小。

电机转矩的测量原理如图 3 所示。

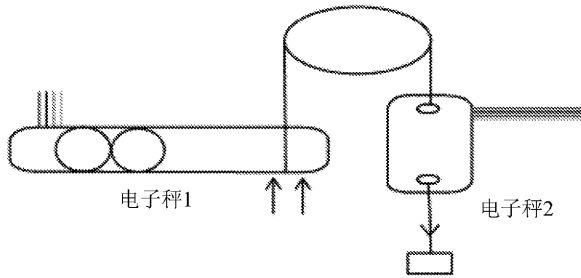


图 3 电机转矩测量原理图

首先需要在被测电机的转轴上装一个带凹槽的圆形皮带盘，两个电子秤通过尼龙绳缠绕在圆形皮带盘的凹槽上。当电机不工作时，圆形皮带盘相当于一个定滑轮，电子秤 1 的示数为电子秤 2 自身的重量加悬挂物体的重量，考虑到电子秤 2 的重量很轻，因此电子秤 1 的示数就为悬挂物体的重量，电子秤 2 的示数也是悬挂物体的重量，此时两个电子秤的示数相等。当电机按照顺时针方向旋转时，对两个电子秤进行受力分析：电子秤 1 受到一个向上的摩擦力，示数就会增大，而电子秤 2 的示数仍为悬挂物体的重量，可以认为加在电机上的力矩为：

$$M = (P_1 - P_2)R \quad (1)$$

式中： M ——电机转矩， $g \cdot cm$ ；

P_1 ——电子秤 1 的示数， g ；

P_2 ——电子秤 2 的示数， g ；

R ——圆形皮带盘的半径， cm 。

在实验过程中，为了使数据便于处理和运算，通常取圆形皮带盘的半径为 1 cm ，则加在电机上的转矩就为两个电子秤的示数之差，即 $M = P_1 - P_2$ ，此时改变绳的拉力，被测电机承受不同的负载力矩 M 。

同理，利用这个结论改变悬挂重物的重量就可以使电机在不同转矩的作用下运行，实验中为了便于操作，将采用一个悬臂梁和一个拉力电子秤进行电机转矩测量。

1.2.2 无刷直流电机转速的测量

电机的转速通过光电测量装置测量，光电测量装置由反射式光电开关 LA806 和电压比较器 LM339 组成。工作原理为：反射式光电开关由一个红外线发射管和一个红外线接收管组成，如果

红外线发射管发出的红外线被检测物体反射到接收管和被检测物体吸收时，光电开关就会产生相应的开关量，并通过电压比较器输出高低脉冲。文中通过测量一定时间段内脉冲的个数来反映出电机的转速。

将以上实验采集到的转矩和转速数据通过串口输入到 LabVIEW，并通过如下公式得到：

功率：

$$P_{\text{out}} = FV \quad (2)$$

转矩：

$$T = FR \quad (3)$$

线速度：

$$V = 2\pi R \frac{n}{60} \quad (4)$$

由式(2)~式(4)可知：

$$P_{\text{out}} = FV = \frac{T}{R} \times \frac{\pi R n}{30} = \frac{\pi n}{30} T = \frac{\pi}{30} 9.8 \times 10^{-5} nM$$

综合上式可得电机输出功率为：

$$P_{\text{out}} = \frac{nM}{97\ 500} \quad (5)$$

式中： P_{out} ——电机输出功率， W ；

n ——电机转速， r/min ；

M ——电机电磁转矩， $g \cdot cm$ ；

T ——电机负载转矩， $N \cdot m$ 。

2 数据处理过程

以无刷直流电机为例，把测量得到的数据通过串口传送给上位机 LabVIEW 进行处理和运算，并通过波形图表的形式来显示相对应的测量结果。

LabVIEW 实验原理如图 4 所示。

将采集到的转速 n 、转矩 M 、电机输入功率 P_{in} 通过三个串口同时传输到 LabVIEW，通过相应的运算得到电机的效率 η 和输出功率 P_{out} 。以效率 η 为纵坐标，转矩 M 为横坐标，便可以画出电机的效率—转矩图，在 LabVIEW 的前面板用波形图的形式显示出来，同理，可以得到电机的转速—转矩图。

效率—转矩及转速—转矩波形图如图 5 所示。

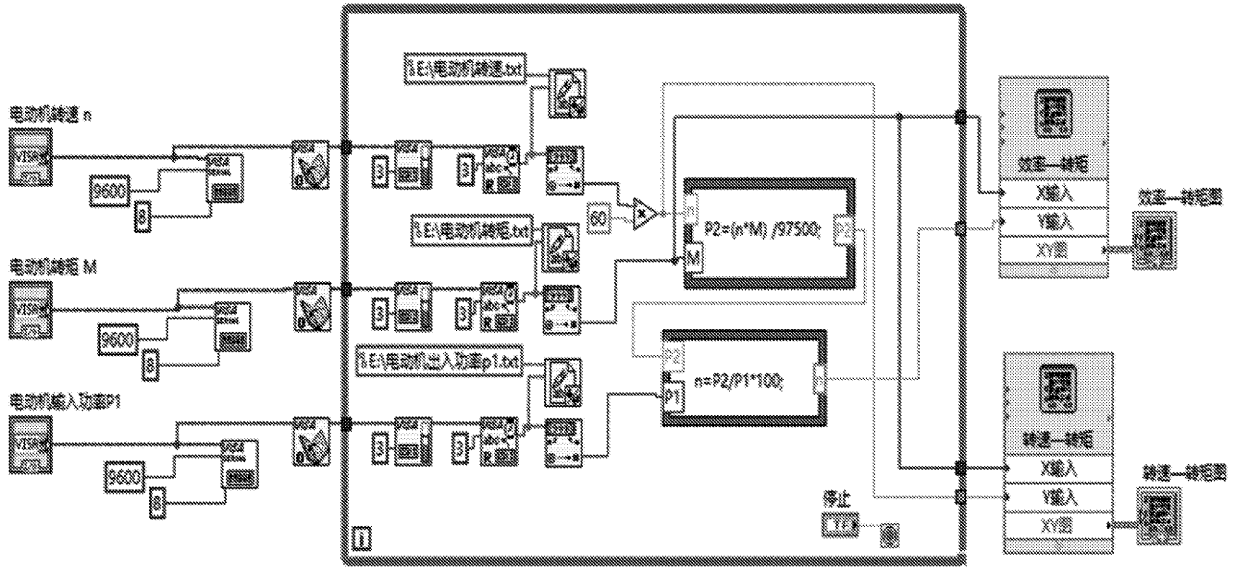
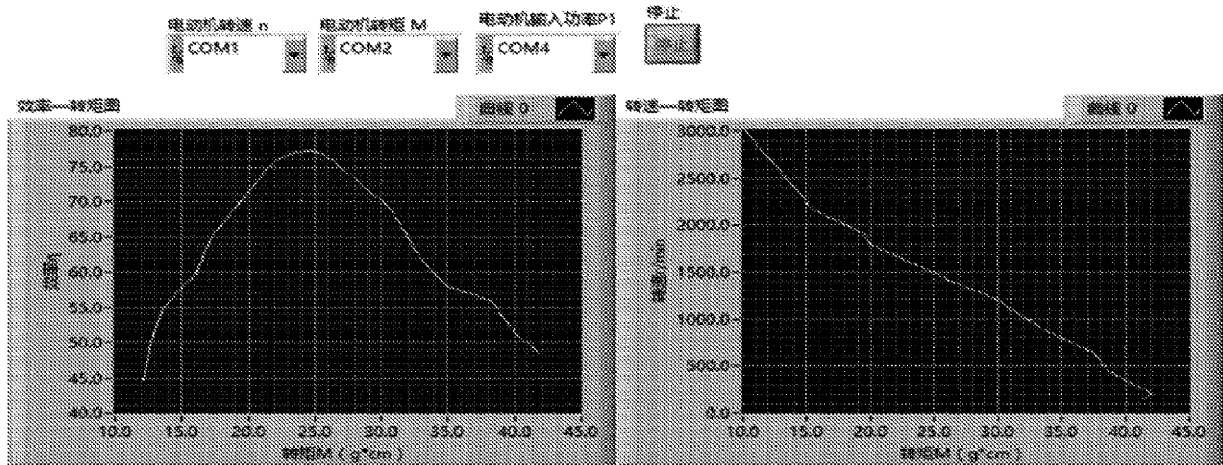


图 4 LabVIEW 实验原理图



(a) 效率—转矩图

(b) 转速—转矩图

图 5 效率—转矩及转速—转矩波形图

3 结 语

根据实验结果得到的结论与理论趋于相同, 因此可以验证该测量方法的正确性, 通过这种结论来分析电机最高效率时相对应的转矩和最佳转速。根据这一测量方法, 使选择的电机工作在效率最高点附近, 达到电机效率的最大化, 以提高电机的工作效率。

参考文献:

[1] Bor-Ren Lin, Chih-Cheng Chien. Analysis and im-

plementation of a soft switching DC/DC converter with three asymmetric PWM circuits [J]. International Journal of Circuit Theory and Applications, 2014, 42(5): 494-510.

[2] Chanuri Charin, Shahid Iqbal, Soib Taib. A new soft switching PWM DC-DC converter with auxiliary circuit and centre-tapped transformer rectifier [J]. Procedia Engineering, 2013, 53: 241-247.

[3] 夏长亮. 无刷直流电机控制系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[4] 宋哲. 无刷直流电机高效驱动控制技术研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.

- [5] V Vijaya Velan, B Rami Reddy, V Jaikumar. Soft switching commutation circuit for PWM DC-DC converters [J]. IET-UK International Conference on Information and Communication Technology in Electrical Sciences, 2007, 20: 215-220.
- [6] 钱强. 永磁无刷直流电机优化设计和转矩脉动抑制 [D]. 太原: 太原理工大学, 2011.
- [7] 揭贵生, 马伟明, 耿建明. 无刷直流电机的一种新型转矩与效率优化控制 [J]. 中国电机工程学报, 2006 (24): 135-140.
- [8] S J Pickering, D Lampard, M Shanel. Ventilation and heat transfer in a symmetrically ventilated salient pole synchronous machine [C]//International Conference on Power Electronics, Machines and Drives, Stevenage. 2002: 462-467.
- [9] 安志勇, 杨帆, 曹秒, 等. 一种基于 STC 单片机和绝对式编码器的步进电机控制方法 [J]. 长春工业大学学报: 自然科学版, 2013, 34(1): 67-69.
- [10] 李会杰, 李俊廷, 张伟, 等. 一种 51 系列单片机的解密方法 [J]. 长春工业大学学报, 2017, 38(4): 335-339.