

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2014 年 7 月 3 日 (03.07.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/101587 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/34 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2013/087390
- (22) 国际申请日: 2013 年 11 月 19 日 (19.11.2013)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201210581056.1 2012 年 12 月 27 日 (27.12.2012) CN
- (71) 申请人: 上海交通大学 (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国上海市闵行区东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。
- (72) 发明人: 张波 (ZHANG, Bo); 中国上海市闵行区东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。 刘品宽 (LIU, Pinkuan); 中国上海市闵行区东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。 奚静思 (XI, Jingsi); 中国上海市闵行区东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。 李玉洁
- (74) 代理人: 上海汉声知识产权代理有限公司 (SHANGHAI HANGSOME INTELLECTUAL PROPERTY LTD.); 中国上海市闵行区银都路 3828 弄 56 号 307 室, Shanghai 201108 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ,

[见续页]

(54) Title: METHOD FOR MEASURING A DIRECT CURRENT BRUSHLESS MOTOR PARAMETER

(54) 发明名称: 一种测量直流无刷电机参数的方法

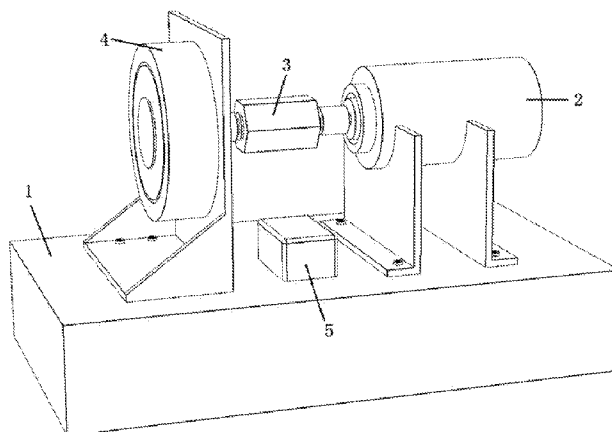


图 2 / Fig. 2

(57) Abstract: Provided is a method for measuring a direct current brushless motor parameter, which can simply use a voltammetric method to measure a phase resistance of a direct current brushless motor (4). By means of the simplicity and operability of measuring a parameter of a direct current motor (2), coefficients of a moment of inertia and a friction torque of a system, when the direct current motor (2) actuates the direct current brushless motor (4) under test and the direct current motor (2) runs separately, are calculated, respectively, so that coefficients of a moment of inertia and a friction torque of the motor (4) under test are calculated. The direct current motor (2) with proper power, serving as an actuated motor, is connected to the motor (4) under test through a torque sensor (3), so as to supply power for the direct current brushless motor (4) under test and make it actuate the direct current motor (2), and a sliding variable resistor with a proper resistance value is serially connected to the actuated direct current motor (2) in a three-phase manner. Set the direct current brushless motor (4) to rotate at a constant rotational speed, adjust the resistance value of the sliding variable resistor, record the rotational speed and the torque, and touch the reads. After multiple times of operations within a proper range of rotational speed and torque, a proper torque curve of a rotational speed of a motor (4) under test can be obtained.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2014/101587 A1



BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。
- 包括关于援引加入遗漏部分和/或项目的信息(细则 20.6)。

提供一种测量直流无刷电机参数的方法, 可以简单用伏安法测定直流无刷电机(4)的相电阻, 利用直流电机(2)参数测量的简易性和可操作性, 分别计算出直流电机(2)拖动被测直流无刷电机(4)时和直流电机(2)单独运转时, 系统的转动惯量和摩擦转矩系数, 即可计算出被测电机(4)的转动惯量和摩擦转矩系数。用一台功率合适的直流电机(2)作为被拖电机与被测电机(4)通过力矩传感器(3)连接, 给被测直流无刷电机(4)供电, 让其拖动直流电机(2), 并在被拖的直流电机(2)三相串接阻值合理的滑动变阻器。设定直流无刷电机(4)以恒定的转速转动, 调整滑动变阻器阻值, 记录转速和力矩触感其读数, 在合理的转速和力矩范围内多次操作后, 可得出合理的被测电机(4)的转速—转矩曲线。

一种测量直流无刷电机参数的方法

技术领域

本发明涉及电机测试方法，具体地说，是一种测量直流无刷电机参数的方法。

背景技术

无刷直流电机由电动机主体和驱动器组成，是一种集成了无刷电动机、驱动器、传感器、控制器、微处理器的典型机电一体化产品。

直流无刷电动机与一般直流电动机具有相同的工作原理和应用特性，而其组成是不一样的。除了电机本身外，前者还多一个换向电路，电机本身和换向电路紧密结合在一起。换向电路代替了碳刷、滑环结构的物理换向结构，通过控制电路实现电子换向。

与普通的直流电机相比，直流无刷电机具有传统直流电机的所有优点，同时又取消了碳刷、滑环结构，可以低速大功率运行，可以省去减速机直接驱动大的负载，是直驱型电机的最佳选择。直流无刷电机的转矩特性优异，中、低速转矩性能好，尤其低速和超低速状态性能远远超过普通电机，启动转矩大，启动电流小，无级调速，调速范围广，过载能力强。

直流无刷电机广泛应用于汽车、工具、工业工控、自动化以及航空航天等领域。因此，精确的测定直流无刷电机的系统参数就在此类电机的设计和应用中显得尤为重要。

虽然可以用常规的电机测试手段和电机测试设备来进行直流无刷电机的参数测定，但采用传统手段所需要的设备较多，过程较复杂，耗费的人力物力较大。基于直流无刷电机本身的特点，本发明提出了一种简单快捷测量直流无刷电机参数的方法。

发明内容

针对现有技术中的缺陷，本发明解决的技术问题是提供一种简单快捷的测量直流

无刷电机参数的方法，从而可以方便快速地得到被测直流无刷电机的相电阻、摩擦转矩系数、转动惯量和转速—转矩曲线等关键参数。

为了解决上述问题，本发明采用的技术方案是：一种测量直流无刷电机参数的方法，包括相电阻的测量，通过对拖电机测试方法进行的摩擦转矩系数、转动惯量测量和通过对拖电机测试方法进行的转速—转矩曲线测量。

根据本发明的一个方面，提供一种测量直流无刷电机参数的方法，包括如下步骤：

步骤 1：搭建设备，具体为：用直流电机 2 作为拖动电机与被测直流无刷电机 4 通过力矩传感器 3 连轴；

步骤 2：采用伏安法测量所述被测直流无刷电机 4 的相电阻阻值 r ；

步骤 3：测量所述直流无刷电机 4 的相电阻的摩擦转矩系数 B_n 、以及转动惯量 J ；

步骤 4：测量所述直流无刷电机 4 的相电阻的转速—转矩曲线；

其中：

步骤 3 包括如下步骤：

步骤 3.1：给所述直流电机 2 供电，让所述直流电机 2 拖动所述被测直流无刷电机 4，并保持所述被测直流无刷电机 4 空载；测量并记录所述直流电机 2 的电枢电流 I_a 、转速 n 和相电压 U_i ；

步骤 3.2：断开所述直流电机 2 的电源，测量并记录所述被测直流无刷电机 4 的反电动势变化情况，从断电到反电动势降为零的时间记为 t ；

步骤 3.3：给所述直流电机 2 供电，直接让所述直流电机 2 空载运行，测量并记录所述直流电机 2 的电枢电流 I_{a1} 、转速 n_1 、以及相电压 U_{i1} ；

步骤 3.4：断开所述直流电机 2 的电源，并记录从断电到反电动势降为零的时间 t_1 ；

步骤 3.5：计算得出直流无刷电机的摩擦转矩系数 B_n 、以及转动惯量 J ，具体为：

摩擦转矩系数 B_n 为：

转动惯量 J 为：

;

进一步地,所述步骤4包括如下步骤:

步骤4.1:给所述被测直流无刷电机4供电,让所述被测直流无刷电机4拖动所述直流电机2,并在被拖的所述直流电机2三相串接滑动变阻器,所述滑动变阻器用于通过电气模块5与PC机相连,以方便地获得测试系统状态的实时数据;

步骤4.2:设定所述被测直流无刷电机4以恒定的转速转动,调整所述滑动变阻器阻值,测量所述力矩传感器3的实时输出电压,能够得到所述被测直流无刷电机4的实时输出转矩,监测被拖的所述直流电机2的编码器信号,解码后能够得到所述被测直流无刷电机4的实时转速,使所述被测直流无刷电机4的输出转矩从0开始逐渐变大,直至所述被测直流无刷电机4的实时速度低于设定转速的30%;

步骤4.3:采用不同的转速和转矩重复所述步骤4.2的操作,所取的转速范围应从被测直流无刷电机4能达到的最低转速开始至设定转速区间内均匀的分多组,完成该多组数据测定后即可画出合理的所述被测直流无刷电机4的转速—转矩曲线。

优选地,所述设定转速为额定转速的130%或者最大转速。

优选地,所取的转速范围应从被测直流无刷电机4能达到的最低转速开始至设定转速区间内均匀的分为10~12组。

优选地,所述步骤2具体为:若所述被测直流无刷电机4的相电阻阻值大于200欧,则先将电流表和相电阻串联后再与电压表并联;若所述被测直流无刷电机4的相电阻阻值小于等于200欧,则先将电压表和相电阻并联后再与电压表串联。

优选地,所述设备,包括底座1、设置于所述底座上的电气模块5,还包括依次连接的可测直流无刷电机4、力矩传感器3、直流电机2,所述可测直流无刷电机4和直流电机2设置于所述底座上。

与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:常规的电机测试手段所需要的电机测试设备较多,价格昂贵,过程复杂,耗费的人力物力较大。本发明提供的测量直流无刷电机的方法可迅速快捷的测量电机的转动惯量,摩擦转矩系数,相电阻参

数。该方法不需要任何控制算法，具有理论清晰、测量简单、通用性强的特点。该方法所涉及的测量平台结构简单，体积小，原材料和元器件容易获得，可方便的搭建和拆卸。节省人力物力，可达到良好的测量精度。

附图说明

通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述，本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显：

图 1 是伏安法测量电阻的接线图，左侧为测量大阻值电阻的接线图，右侧为测量小阻值电阻的接线图。

图 2 是本发明测试过程中可以采用的一种对拖测试装置。

图中：

- 1 是底座；
- 2 是直流电机；
- 3 是力矩传感器；
- 4 是被测直流无刷电机；
- 5 是电气模块。

具体实施方式

下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明，但不以任何形式限制本发明。应当指出的是，对本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

(1) 测量直流无刷电机的相电阻

直接采用简单的伏安法即可测得被测直流无刷电机的各相电阻，需要注意的是，如果被测电机的相电阻阻值大于 200 欧，应采用图 1 左侧的接线方式；反之，若被测电机的相电阻阻值小于 200 欧，应采用图 1 右侧的接线方式。

采用伏安法得到的被测直流无刷电机的相电阻阻值 r 为：

$$r = \frac{U}{I - \frac{U}{r_v}}$$

其中：U 为电压值，I 为电流值， r_v 为电压表内阻。

(2) 测量直流无刷电机的相电阻的摩擦转矩系数、转动惯量

测量可采用图 2 所示的测试设备，但不局限于此设备，任何能完成下述测试方法的设备都可被采用。所用设备包括底座 1，设置于底座 1 上的直流电机 2（附带光栅或旋转编码器）通过力矩传感器 3 与被测直流无刷电机 4 相连。底座 1 上还有电气模块 5，电气模块 5 内含编码器解码电路、电压电流传感器、PC 机通讯接口等。

搭建上述的优选设备后，执行如下步骤：

1. 用一台功率合适的直流电机 2 作为拖动电机与被测直流无刷电机 4 连轴，测量直流电机 2 的相电阻 R；
 2. 给直流电机 2 供电，让其拖动被测直流无刷电机 4，并保持被测直流无刷电机 4 空载。测量并记录直流电机 2 的电枢电流 I_a 、转速 n 和相电压 U_i ；
 3. 断开直流电机 2 的电源，测量并记录被测直流无刷电机 4 的反电动势变化情况，从断电到反电动势降为零的时间记为 t_i ；
 4. 给直流电机 2 供电，直接让直流电机 2 空载运行，测量并记录直流电机 2 的电枢电流 I_{a1} ，转速 n_1 和相电压 U_{i1} 变化情况；
 5. 断开直流电机 2 的电源，并记录从断电到反电动势降为零的时间 t_1 ；
 6. 结合前述步骤中的数据，可计算得出直流无刷电机的摩擦转矩系数、转动惯量：
- 摩擦转矩系数 B_n 为：

转动惯量 J 为:

(3) 测量直流无刷电机的相电阻的转速—转矩曲线

测量可继续采用图 2 所示的测试设备,但不局限于此设备,任何能完成下述测试方法的设备都可被采用。

搭建上述的优选设备后,执行如下步骤:

1. 用一台功率合适的直流电机 2 作为被拖电机与被测直流无刷电机 4 通过力矩传感器 3 连接,给被测直流无刷电机 4 供电,让被测直流无刷电机 4 拖动直流电机 2,并在被拖的直流电机三相串接阻值合理的滑动变阻器(滑动变阻器包含在电气模块 5 中),滑动变阻器通过电气模块 5 与 PC 机相连,以方便的获得测试系统状态的实时数据;

2. 设定被测直流无刷电机 4 以恒定的转速转动,调整滑动变阻器阻值,测量力矩传感器 3 的实时输出电压,可得被测直流无刷电机 4 的实时输出转矩,监测被拖直流电机 2 的编码器信号,解码后可得被测直流无刷电机 4 的实时转速(电压传感器和解码模块包含在电气模块 5 中)。使被测直流无刷电机 4 的输出转矩从 0 开始逐渐变大,直至电机的实时速度低于设定转速的 30%;

3. 采用不同的转速和转矩重复步骤 2 的操作,所取的转速范围应从被测直流无刷电机 4 能达到的最低转速开始至额定转速的 130%(或最大转速)区间内均匀的分位 10~12 组。完成上述 10~12 组数据测定后即可画出合理的被测直流无刷电机 4 的转速—转矩曲线。

以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改,这并不影响本发明的实质内容。

无刷电机参数的方法，从而可以方便快速地得到被测直流无刷电机的相电阻、摩擦转矩系数、转动惯量和转速—转矩曲线等关键参数。

为了解决上述问题，本发明采用的技术方案是：一种测量直流无刷电机参数的方法，包括相电阻的测量，通过对拖电机测试方法进行的摩擦转矩系数、转动惯量测量和通过对拖电机测试方法进行的转速—转矩曲线测量。

根据本发明的一个方面，提供一种测量直流无刷电机参数的方法，包括如下步骤：

步骤 1：搭建设备，具体为：用直流电机 2 作为拖动电机与被测直流无刷电机 4 通过力矩传感器 3 连轴；

步骤 2：采用伏安法测量所述被测直流无刷电机 4 的相电阻阻值 r ；

步骤 3：测量所述直流无刷电机 4 的相电阻的摩擦转矩系数 B_n 、以及转动惯量 J ；

步骤 4：测量所述直流无刷电机 4 的相电阻的转速—转矩曲线；

其中：

步骤 3 包括如下步骤：

步骤 3.1：给所述直流电机 2 供电，让所述直流电机 2 拖动所述被测直流无刷电机 4，并保持所述被测直流无刷电机 4 空载；测量并记录所述直流电机 2 的电枢电流 I_a 、转速 n 和相电压 U_i ；

步骤 3.2：断开所述直流电机 2 的电源，测量并记录所述被测直流无刷电机 4 的反电动势变化情况，从断电到反电动势降为零的时间记为 t ；

步骤 3.3：给所述直流电机 2 供电，直接让所述直流电机 2 空载运行，测量并记录所述直流电机 2 的电枢电流 I_{a1} 、转速 n_1 、以及相电压 U_{i1} ；

步骤 3.4：断开所述直流电机 2 的电源，并记录从断电到反电动势降为零的时间 t_1 ；

步骤 3.5：计算得出直流无刷电机的摩擦转矩系数 B_n 、以及转动惯量 J ，具体为：

摩擦转矩系数 B_n 为：

$$B_n = \frac{(U_i - I_a R) I_a}{1.03 n^2} - \frac{(U_{i1} - I_{a1} R) I_{a1}}{1.03 n_1^2}$$

$$\text{转动惯量 } J \text{ 为: } J = \frac{9375}{412} \left[\frac{(U_i - I_a R)t}{1.03n^2} - \frac{(U_{i1} - I_{a1} R)t_1}{1.03n_1^2} \right],$$

进一步地, 所述步骤 4 包括如下步骤:

步骤 4.1: 给所述被测直流无刷电机 4 供电, 让所述被测直流无刷电机 4 拖动所述直流电机 2, 并在被拖的所述直流电机 2 三相串接滑动变阻器, 所述滑动变阻器用于通过电气模块 5 与 PC 机相连, 以方便地获得测试系统状态的实时数据;

步骤 4.2: 设定所述被测直流无刷电机 4 以恒定的转速转动, 调整所述滑动变阻器阻值, 测量所述力矩传感器 3 的实时输出电压, 能够得到所述被测直流无刷电机 4 的实时输出转矩, 监测被拖的所述直流电机 2 的编码器信号, 解码后能够得到所述被测直流无刷电机 4 的实时转速, 使所述被测直流无刷电机 4 的输出转矩从 0 开始逐渐变大, 直至所述被测直流无刷电机 4 的实时速度低于设定转速的 30%;

步骤 4.3: 采用不同的转速和转矩重复所述步骤 4.2 的操作, 所取的转速范围应从被测直流无刷电机 4 能达到的最低转速开始至设定转速区间内均匀的分为多组, 完成该多组数据测定后即可画出合理的所述被测直流无刷电机 4 的转速—转矩曲线。

优选地, 所述设定转速为额定转速的 130% 或者最大转速。

优选地, 所取的转速范围应从被测直流无刷电机 4 能达到的最低转速开始至设定转速区间内均匀的分为 10~12 组。

优选地, 所述步骤 2 具体为: 若所述被测直流无刷电机 4 的相电阻阻值大于 200 欧, 则先将电流表和相电阻串联后再与电压表并联; 若所述被测直流无刷电机 4 的相电阻阻值小于等于 200 欧, 则先将电压表和相电阻并联后再与电压表串联。

优选地, 所述设备, 包括底座 1、设置于所述底座上的电气模块 5, 还包括依次连接的可测直流无刷电机 4、力矩传感器 3、直流电机 2, 所述被测直流无刷电机 4 和直流电机 2 设置于所述底座上。

与现有技术相比, 本发明具有如下有益效果: 常规的电机测试手段所需要的电机测试设备较多, 价格昂贵, 过程复杂, 耗费的人力物力较大。本发明提供的测量直流无刷电机的方法可迅速快捷的测量电机的转动惯量, 摩擦转矩系数, 相电阻参数。该方法不需要任何控制算法, 具有理论清晰、测量简单、通用性强的特点。该方法所涉及的测量平台结构简单, 体积小, 原材料和元器件容易获得, 可方便的搭建和拆卸。节省人力物力, 可达到良好的测量精度。

附图说明

通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述，本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显：

图 1 是伏安法测量电阻的接线图，左侧为测量大阻值电阻的接线图，右侧为测量小阻值电阻的接线图。

图 2 是本发明测试过程中可以采用的一种对拖测试装置。

图中：

- 1 是底座；
- 2 是直流电机；
- 3 是力矩传感器；
- 4 是被测直流无刷电机；
- 5 是电气模块。

具体实施方式

下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明，但不以任何形式限制本发明。应当指出的是，对本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

(1) 测量直流无刷电机的相电阻

直接采用简单的伏安法即可测得被测直流无刷电机的各相电阻，需要注意的是，如果被测电机的相电阻阻值大于 200 欧，应采用图 1 左侧的接线方式；反之，若被测电机的相电阻阻值小于 200 欧，应采用图 1 右侧的接线方式。

采用伏安法得到的被测直流无刷电机的相电阻阻值 r 为：

$$r = \frac{U}{I + \frac{U}{r_v}}$$

其中： U 为电压值， I 为电流值， r_v 为电压表内阻。

(2) 测量直流无刷电机的相电阻的摩擦转矩系数、转动惯量

测量可采用图 2 所示的测试设备，但不局限于此设备，任何能完成下述测试方法的设备都可被采用。所用设备包括底座 1，设置于底座 1 上的直流电机 2（附带光栅或旋转编码器）通过力矩传感器 3 与被测直流无刷电机 4 相连。底座 1 上还有电气模块 5，电气模块 5 内含编码器解码电路、电压电流传感器、PC 机通讯接口等。

搭建上述的优选设备后，执行如下步骤：

1. 用一台功率合适的直流电机 2 作为拖动电机与被测直流无刷电机 4 连轴，测量直流电机 2 的相电阻 R ；
2. 给直流电机 2 供电，让其拖动被测直流无刷电机 4，并保持被测直流无刷电机 4 空载。测量并记录直流电机 2 的电枢电流 I_a 、转速 n 和相电压 U_i ；
3. 断开直流电机 2 的电源，测量并记录被测直流无刷电机 4 的反电动势变化情况，从断电到反电动势降为零的时间记为 t ；
4. 给直流电机 2 供电，直接让直流电机 2 空载运行，测量并记录直流电机 2 的电枢电流 I_{a1} ，转速 n_1 和相电压 U_{i1} 变化情况；
5. 断开直流电机 2 的电源，并记录从断电到反电动势降为零的时间 t_1 ；
6. 结合前述步骤中的数据，可计算得出直流无刷电机的摩擦转矩系数、转动惯量：

$$B_n = \frac{(U_i - I_a R) I_a}{1.03 n^2} - \frac{(U_{i1} - I_{a1} R) I_{a1}}{1.03 n_1^2}$$

摩擦转矩系数 B_n 为：

$$J = \frac{9375}{412} \left[\frac{(U_i - I_a R) t}{1.03 n^2} - \frac{(U_{i1} - I_{a1} R) t_1}{1.03 n_1^2} \right]$$

转动惯量 J 为：

(3) 测量直流无刷电机的相电阻的转速—转矩曲线

测量可继续采用图 2 所示的测试设备，但不局限于此设备，任何能完成下述测试方法的设备都可被采用。

搭建上述的优选设备后，执行如下步骤：

1. 用一台功率合适的直流电机2作为被拖电机与被测直流无刷电机4通过力矩传感器3连接，给被测直流无刷电机4供电，让被测直流无刷电机4拖动直流电机2，并在被拖的直流电机三相串接阻值合理的滑动变阻器（滑动变阻器包含在电气模块5中），滑动变阻器通过电气模块5与PC机相连，以方便的获得测试系统状态的实时数据；

2. 设定被测直流无刷电机4以恒定的转速转动，调整滑动变阻器阻值，测量力矩传感器3的实时输出电压，可得被测直流无刷电机4的实时输出转矩，监测被拖直流电机2的编码器信号，解码后可得被测直流无刷电机4的实时转速（电压传感器和解码模块包含在电气模块5中）。使被测直流无刷电机4的输出转矩从0开始逐渐变大，直至电机的实时速度低于设定转速的30%；

3. 采用不同的转速和转矩重复步骤2的操作，所取的转速范围应从被测直流无刷电机4能达到的最低转速开始至额定转速的130%（或最大转速）区间内均匀的分位10~12组。完成上述10~12组数据测定后即可画出合理的被测直流无刷电机4的转速—转矩曲线。

以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是，本发明并不局限于上述特定实施方式，本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改，这并不影响本发明的实质内容。

权 利 要 求 书

1、一种测量直流无刷电机参数的方法，其特征在于，包括如下步骤：

步骤 1：搭建设备，具体为：用直流电机（2）作为拖动电机与被测直流无刷电机（4）通过力矩传感器（3）连轴；

步骤 2：采用伏安法测量所述被测直流无刷电机（4）的相电阻阻值 r ；

步骤 3：测量所述直流无刷电机（4）的相电阻的摩擦转矩系数 B_n 、以及转动惯量 J ；

步骤 4：测量所述直流无刷电机（4）的相电阻的转速—转矩曲线；

其中：

步骤 3 包括如下步骤：

步骤 3.1：给所述直流电机（2）供电，让所述直流电机（2）拖动所述被测直流无刷电机（4），并保持所述被测直流无刷电机（4）空载；测量并记录所述直流电机（2）的电枢电流 I_a 、转速 n 和相电压 U_i ；

步骤 3.2：断开所述直流电机（2）的电源，测量并记录所述被测直流无刷电机（4）的反电动势变化情况，从断电到反电动势降为零的时间记为 t ；

步骤 3.3：给所述直流电机（2）供电，直接让所述直流电机（2）空载运行，测量并记录所述直流电机（2）的电枢电流 I_{a1} 、转速 n_1 、以及相电压 U_{i1} ；

步骤 3.4：断开所述直流电机（2）的电源，并记录从断电到反电动势降为零的时间 t_1 ；

步骤 3.5：计算得出直流无刷电机的摩擦转矩系数 B_n 、以及转动惯量 J ，具体为：

摩擦转矩系数 B_n 为：

转动惯量 J 为：

;

进一步地，所述步骤 4 包括如下步骤：

步骤 4.1：给所述被测直流无刷电机（4）供电，让所述被测直流无刷电机（4）拖动所述直流电机（2），并在被拖的所述直流电机（2）三相串接滑动变阻器，所述滑动变阻器用于通过电气模块（5）与 PC 机相连，以方便地获得测试系统状态的实时数据；

步骤 4.2：设定所述被测直流无刷电机（4）以恒定的转速转动，调整所述滑动变阻器阻值，测量所述力矩传感器（3）的实时输出电压，能够得到所述被测直流无刷电机（4）的实时输出转矩，监测被拖的所述直流电机（2）的编码器信号，解码后能够得到所述被测直流无刷电机（4）的实时转速，使所述被测直流无刷电机（4）的输出转矩从 0 开始逐渐变大，直至所述被测直流无刷电机（4）的实时速度低于设定转速的 30%；

步骤 4.3：采用不同的转速和转矩重复所述步骤 4.2 的操作，所取的转速范围应从被测直流无刷电机（4）能达到的最低转速开始至设定转速区间内均匀的分为多组，完成该多组数据测定后即可画出合理的所述被测直流无刷电机（4）的转速—转矩曲线。

2、根据权利要求 1 所述的测量直流无刷电机参数的方法，其特征在于，所述设定转速为额定转速的 130%或者最大转速。

3、根据权利要求 1 所述的测量直流无刷电机参数的方法，其特征在于，所取的转速范围应从被测直流无刷电机（4）能达到的最低转速开始至设定转速区间内均匀的分为 10~12 组。

4、根据权利要求 1 所述的测量直流无刷电机参数的方法，其特征在于，所述步骤 2 具体为：若所述被测直流无刷电机（4）的相电阻阻值大于 200 欧，则先将电流表和相电阻串联后再与电压表并联；若所述被测直流无刷电机（4）的相电阻阻值小于等于 200 欧，则先将电压表和相电阻并联后再与电压表串联。

5、根据权利要求 1 所述的测量直流无刷电机参数的方法，其特征在于，所述设备，包括底座（1）、设置于所述底座上的电气模块（5），还包括依次连接的被测直流无刷电机（4）、力矩传感器（3）、直流电机（2），所述被测直流无刷电机（4）和直

流电机（2）设置于所述底座上。

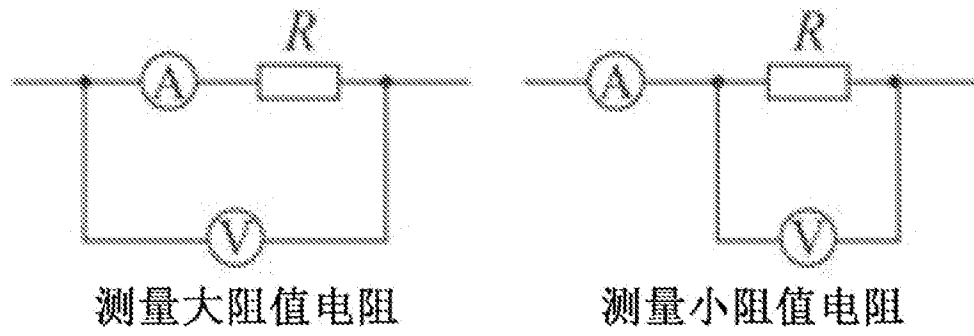


图 1

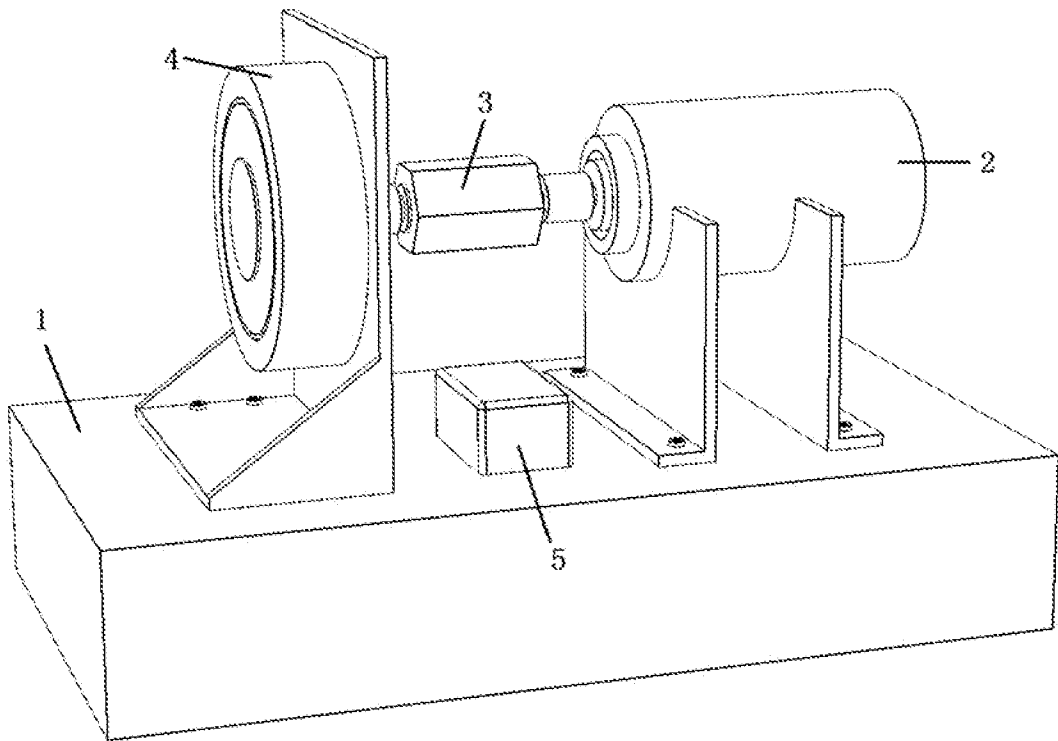


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/087390

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/34 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI: direct current, brushless, motor, rotational inertia, friction torque, phase resistance, torque transducer, parameter, curve, characteristic, dragging, twin trawling, torque, rotating speed, sliding, slide wire, adjustable, rheostat, resister, encoder

DWPI, SIPOABS: direct current, DC, brushless, BLDCN, parameter, parameters, moment, inertia, speed torque curve, torque speed curve, torque, speed, rate, sliding, slip, resistor, theostat, encoder

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 103048620 A (SHANGHAI JIAOTONG UNIVERSITY), 17 April 2013 (17.04.2013), claims 1-5	1-5
Y	YI, Huibin et al., The Parameter Measurement of Brushless DC Motor, ELECTRICAL MACHINERY TECHNOLOGY, April 2012, 2012, no. 2, pages 22-24, ISSN: 1006-2807	1-5
Y	WANG, Qingnian et al., Application of Monolithic Processor MCS-51 in Measuring the Torque and Rotating Speed of the Electric Machine, JOURNAL OF NANCHANG UNIVERSITY (ENGINEERING & TECHNOLOGY), December 1998, no. 20, no. 4, pages 35-39, ISSN: 1006-0456	1-5
Y	WEN, Caifeng et al., Testing and analysis on running characteristics of permanent magnet generator in off-grid wind power system, CHINA MEASUREMENT & TEST, September 2011, vol. 37, no. 5, pages 63-67, ISSN: 1674-5124	1-5
A	CN 102375116 A (SUZHOU BEST ELECTRIC CO., LTD.), 14 March 2012 (14.03.2012), the whole document	1-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 27 January 2014 (27.01.2014)	Date of mailing of the international search report 27 February 2014 (27.02.2014)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer MIAO, Wen Telephone No.: (86-10) 62085340

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/087390

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101915896 A (GUANGXI UNIVERSITY), 15 December 2010 (15.12.2010), the whole document	1-5
A	CN 102706564 A (ZHUZHOU ZDTEC ELECTRONIC TECHNOLOGY CO., LTD.), 03 October 2012 (03.10.2012), the whole document	1-5
A	US 6008605 A (DBT DEUTSCHE BERGBAU-TECHNIK GMBH), 28 December 1999 (28.12.1999), the whole document	1-5
A	EP 0731361 A2 (TOYOTA JIDOSHA KK.), 11 September 1996 (11.09.1996), the whole document	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2013/087390

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103048620 A	17.04.2013	None	
CN 102375116 A	14.03.2012	CN 102375116 B	10.07.2013
CN 101915896 A	15.12.2010	CN 101915896 B	04.07.2012
CN 102706564 A	03.10.2012	None	
US 6008605 A	28.12.1999	GB 2341683 B	14.08.2002
		DE 19735022 A1	18.02.1999
		DE 19735022 B4	04.09.2008
		GB 2341683 A	22.03.2000
EP 0731361 A2	11.09.1996	EP 0731361 A3	13.08.1997
		JPH 08248104 A	27.09.1996
		KR 100190209 B1	01.06.1999
		US 5623104 A	22.04.1997

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2013/087390

A. 主题的分类

G01R 31/34 (2006.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC:G01R

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS,CNTEXT,CNKI:直流, 无刷, 电机, 电动机, 马达, 转动惯量, 摩擦转矩, 相电阻, 力矩传感器, 扭矩传感器, 参数, 曲线, 特性, 拖动, 对拖, 转矩, 转速, 滑动, 滑线, 可调, 变阻器, 电阻器, 编码器

DWPI,SIPOABS: direct current, DC, brushless, BLDCN, parameter, parameters, moment, inertia, speed torque curve, torque speed curve, torque, speed, rate, sliding, slip, resistor, rheostat, encoder

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 103048620 A (上海交通大学) 17.4 月 2013 (17.04.2013) 权利要求 1-5	1-5
Y	易慧斌 等, 一种无刷直流电机参数的测量方法, 电机技术, 4 月 2012, 2012 年第 2 期, 第 22-24 页, ISSN:1006-2807	1-5
Y	汪庆年 等, MCS-51 单片机在电机转矩转速测量中的应用, 南昌大学学报(工科版), 12 月 1998, 第 20 卷, 第 4 期, 第 35-39 页, ISSN: 1006-0456	1-5
Y	温彩凤 等, 永磁发电机在离网型风电系统中运行特性的测试分析, 中国测试, 9 月 2011, 第 37 卷, 第 5 期, 第 63-67 页, ISSN:1674-5124	1-5
A	CN 102375116 A (苏州百狮腾电气有限公司) 14.3 月 2012 (14.03.2012) 全文	1-5

☒ 其余文件在 C 栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

27.1 月 2014 (27.01.2014)

国际检索报告邮寄日期

27.2 月 2014 (27.02.2014)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:

中华人民共和国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088

传真号: (86-10)62019451

授权官员

苗文

电话号码: (86-10) 62085340

C(续). 相关文件

类 型	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 101915896 A (广西大学) 15.12 月 2010 (15.12.2010) 全文	1-5
A	CN 102706564 A (株洲中达特科电子科技有限公司) 03.10 月 2012 (03.10.2012) 全文	1-5
A	US 6008605 A (DBT DEUTSCHE BERGBAU-TECHNIK GMBH) 28.12 月 1999 (28.12.1999) 全文	1-5
A	EP 0731361 A2 (TOYOTA JIDOSHA KK.) 11.9 月 1996 (11.09.1996) 全文	1-5

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2013/087390

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN 103048620 A	17.04.2013	无	
CN 102375116 A	14.03.2012	CN 102375116 B	10.07.2013
CN 101915896 A	15.12.2010	CN 101915896 B	04.07.2012
CN 102706564 A	03.10.2012	无	
US 6008605 A	28.12.1999	GB 2341683 B	14.08.2002
		DE 19735022 A1	18.02.1999
		DE 19735022 B4	04.09.2008
		GB 2341683 A	22.03.2000
EP 0731361 A2	11.09.1996	EP 0731361 A3	13.08.1997
		JPH 08248104 A	27.09.1996
		KR 100190209 B1	01.06.1999
		US 5623104 A	22.04.1997