

(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
2022 年 1 月 27 日 (27.01.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/016691 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/34 (2006.01) **G01R 21/00** (2006.01)
G01R 21/06 (2006.01) **G01L 3/26** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/115036
- (22) 国际申请日: 2020 年 9 月 14 日 (14.09.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202010703893.1 2020 年 7 月 21 日 (21.07.2020) CN
- (71) 申请人: 山东科技大学(SHANGDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266510 (CN)。
- (72) 发明人: 张强(ZHANG, Qiang); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266510

(CN)。马英(MA, Ying); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266510 (CN)。
田莹(TIAN, Ying); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266510 (CN)。张坤(ZHANG, Kun); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266510 (CN)。

(74) 代理人: 沈阳东大知识产权代理有限公司(SHENYANG DONGDA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD); 中国辽宁省沈阳市和平区文化路三巷 11 号, Liaoning 110819 (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,

(54) Title: ELECTRIC MOTOR POWER DENSITY TESTING APPARATUS AND METHOD

(54) 发明名称: 一种电机功率密度测试装置及方法

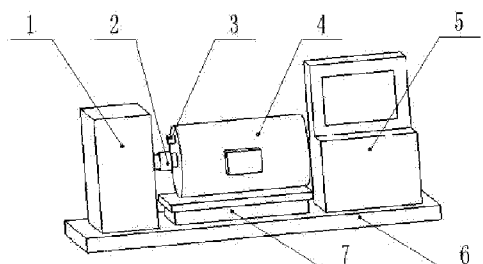


图 1

(57) Abstract: Electric motor power density testing apparatus and method, which relate to the technical field of electric motor testing. The device comprises an integrated control console (5), a testing load (1), an electric motor to be tested (4), a support base (6), a torque and speed sensor (2), an adjustable lifting table (7), a photoelectric speed sensor (3) and a resistance temperature sensor (8). The operation speed of the device is controlled according to the load relationship, such that the device can always operate stably without overloading and can automatically stop when overloading occurs so as to achieve overloading protection, which ensures safe operation of the device, prevents damage to the device due to an excessive load, and rapidly responds to various situations with potential safety hazards, so as to meet the transfer requirements, improve the transportation efficiency, increase the operation safety coefficient, reduce the degree of manual participation, reduce the operation cost, and achieve safer and more reliable operation of the device.

(57) 摘要: 一种电机功率密度测试装置及方法, 涉及电机测试技术领域, 包括综合控制台(5)、测试负载(1)、待测电机(4)、支撑底座(6)、转矩转速传感器(2)、可调节升降台(7)、光电转速传感器(3)与电阻式温度传感器(8), 根据负载关系协调设备运行速度, 始终保持不过载稳定运行, 在发生过载时自动停机, 实现过载保护, 保证了设备运行安全, 避免负载过大设备损坏, 并针对各种存在安全隐患的情况快速做出反应, 以便满足传输要求, 提高运输效率, 提升运行安全系数, 降低人工参与程度, 减少运营成本, 实现设备更加安全可靠运行。

LR, LS, 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,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, 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)。

根据细则4.17的声明:

- 关于申请人有权申请并被授予专利 (细则
4.17(ii))

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种电机功率密度测试装置及方法

技术领域

本发明涉及电机测试技术领域，尤其涉及一种电机功率密度测试装置及方法。

背景技术

目前，功率密度已成电机性能中的一个重要指标，实时监测电机功率密度有利于直观了解电机工作性能，便于分析调整电机工作状态以提高电机工作效率，电机功率密度和电机输出功率与电机的导电、导磁材料的体积的有关，实际测量中电能质量不仅会影响测量精度，还会影响用电设备的稳定性与使用寿命，现阶段，电机输出功率的测试方法主要有直测法与能耗分析法，直测法将测试电机与陪测电机或测功机通过联轴器连接，测功机可直接得到电机输出功率，陪测电机与测试电机间需通过转矩转速传感器同轴连接，通过转矩转速传感器测量输出功率，根据输出功率进一步计算得到电机功率密度，测量结果直观准确，但需要改变电机原有安装方式与空间布置，需要将电机拆卸在测试台上安装测试，存在很大局限性；能耗分析法需要测量电动机运行时的各项参数，包括电压、电流、频率、转速及温度等，分析计算各项损耗，根据能耗分析计算得到电机的输出功率，由输出功率进一步计算得到电机输出转矩与功率密度，能耗分析法能够在不改变测试电机空间布置的前提下实时监测电机的功率密度变化，但能耗分析法中杂散损耗的大小与电机的设计、制造工艺、容量等许多因素有关，并且分散性很大，影响计算结果的准确性。

发明内容

针对现有技术的不足，本发明提供一种电机功率密度测试装置及方法，有利于直观了解电机工作性能，便于分析调整电机工作状态，提高电机工作效率。

本发明所采取的技术方案是：

一方面，本发明提供一种电机功率密度测试装置，包括综合控制台、测试负载、待测电机、支撑底座、转矩转速传感器、可调节升降台、光电转速传感器与电阻式温度传感器。

所述综合控制台包括电能质量调节器、调压器、变频器、电能质量检测仪、输入设备、显示器、转换器、整流器以及计算机；所述电能质量调节器输入接口接入电网，输出接口与所述调压器输入接口相连接，调压器输出接口分别与所述变频器输入接口以及所述整流器一端相连，整流器另一端通过导线与所述测试负载相连，变频器输出接口与所述电能质量检测仪相连接，电能质量检测仪输出接口分别与待测电机以及计算机相连，所述输入设备与计算机输入接口相连接，所述显示器与计算机输出接口相连接，所述支撑底座与综合控制台、可

调节升降台固定连接，待测电机通过螺栓与可调节升降台上端面固定，测试负载底端与支撑底座通过导轨连接，导轨方向与待测电机安装时转子轴线方向一致，所述转矩转速传感器将待测电机输出轴与负载输入轴固定连接，并通过紧固螺栓将负载固定，所述光电转速传感器固定在待测电机输出端电机壳上，所述电阻式温度传感器固定埋置于电机定子底槽与铁芯之间，转换器通过导线与计算机相连，光电转速传感器、电阻式温度传感器与转矩转速传感器通过导线将监测数据实时传递给转换器。

另一方面，一种电机功率密度测试方法，基于前述一种电机功率密度测试装置实现，包括以下步骤：

步骤 1：测试前将测试电机拆卸，测量电机各项参数，并将电阻式温度传感器装在电机内，再将电机固定安装在测试台；所述电机各项参数包括初始温度下电机定子绕组电阻值 R 、定子绕组初始温度 θ_1 、电机极对数 Q 、定子外径直径 D 与定子长度 L ，并进行空载实验；

步骤 2：测试人员通过输入设备将测量参数输入至计算机；

步骤 3：调节调压器与变频器，改变待测电机电压与频率，电能质量检测仪实时监测变频器输出交流电的各项参数，包括输出电压、输出电流、输出频率与功率因数，光电转速传感器实时监测电机实际转速，温度传感器实时监测定子温度，各项监测数据均传输给计算机，空载实验得到铁芯损耗功率与风摩耗功率，将测试电机与测试负载连接，通过改变测试负载的转矩，进行负载实验；

步骤 4：当待测电机稳定后，计算机根据能耗分析法，得到不同负载转矩下的功率密度，转矩转速传感器对电机输出功率监测，以转矩转速传感器直测法测量结果作为准确值，分析能耗法误差大小，通过调整杂散损耗功率所占总损耗功率的比例进行修正，使修正后的两组数据均方差最小，将该修正后的能耗分析法储存；

步骤 5：当测试电机脱离测试台实际工作时，根据该能耗分析法通过监测电机输入电压、输入电流、输入频率、电机实际转速与定子温度，从而实时监测电机功率密度变化。

采用上述技术方案所产生的有益效果在于：

本发明提出一种电机功率密度测试装置及方法，使用直测法测量电机功率密度直观准确，但不能实时监测电机功率密度变化，能耗分析法可实时监测电机功率密度变化，但其计算结果的准确性受多因素共同影响，在电机测试台上同时使用两种测量方法对电机功率密度进行测试，将直测法测量结果作为准确值，分析能耗分析法与准确值的误差，通过修正杂散损耗功率占总损耗功率的比值，使得直测法与能耗分析法所测得两组数值均方差最小，从而提高能耗分析法测量结果的准确性，使用该电机修正后的能耗分析算法，仅需监测该电机实际工

作时电压、频率、电流、转速及温度变化，就可进一步计算得到电机功率密度，实现实时监测，该测量方法避免转矩实时测量的复杂性，避免因添加传感器而改动电机原有布置，所需测量参数简单易实现，能够快速实现电机功率密度的实时监测，且满足一定测量精度，测量装置能够对多种类型电机功率密度进行测试，根据需要可进行电机温升实验、堵转温度测定、转矩、效率、功率因素测定、寿命实验等。

附图说明

图 1 为本发明功率密度测试装置示意图；

其中，1-测试负载；2-转矩转速传感器；3-光电转速传感器；4-待测电机；5-综合控制台；6-支撑底座；7-可调节升降台；

图 2 为本发明温度传感器埋置位置示意图；

其中，8-电阻式温度传感器；

图 3 为本发明综合控制台输入输出示意图；

图 4 为本发明数据流向示意图；

图 5 为本发明风摩耗功率 P_{FW} 求解示意图；

图 6 为本发明功率密度测试方法流程图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明具体实施方式加以详细的说明。

一方面，本发明提供一种电机功率密度测试装置，如图 1，图 2 所示，包括综合控制台 5、测试负载 1、待测电机 4、支撑底座 6、转矩转速传感器 2、可调节升降台 7、光电转速传感器 3 与电阻式温度传感器 8。

所述综合控制台 5 如图 3 所示，包括电能质量调节器、调压器、变频器、电能质量检测仪、输入设备、显示器、转换器、整流器以及计算机；所述电能质量调节器输入接口接入电网，输出接口与所述调压器输入接口相连接，调压器输出接口分别与所述变频器输入接口以及所述整流器一端相连，整流器另一端通过导线与所述测试负载 1 相连，变频器输出接口与所述电能质量检测仪相连接，电能质量检测仪输出接口分别与待测电机 4 以及计算机相连，所述输入设备与计算机输入接口相连接，所述显示器与计算机输出接口相连接，所述支撑底座 6 与综合控制台 5、可调节升降台 7 固定连接，待测电机 4 通过螺栓与可调节升降台 7 上端面固定，测试负载 1 底端与支撑底座 6 通过导轨连接，导轨方向与待测电机 4 安装时转子轴线方向一致，所述转矩转速传感器 2 将待测电机 4 输出轴与负载输入轴固定连接，并通过紧固螺栓将负载固定，所述光电转速传感器 3 固定在待测电机 4 输出端电机壳上，所述电阻式温度传感器 8 固定埋置于电机定子底槽与铁芯之间，转换器通过导线与计算机相连，光电

转速传感器 3、电阻式温度传感器 8 与转矩转速传感器 2 通过导线将各项监测数据实时传递给转换器。

本实施例中待测电机 4 选用 YE2-90L-4 型 1.5kw 三相异步电机,测试负载 4 选用 CZF-1.2 法兰式磁粉制动器,保证测试负载额定转矩与待测电机额定转矩大小相近,因为该制动器需接直流电源,故使用整流器将交流电转换为直流电。

电能质量调节器输入端连接电网,输出端接入测试系统,保证测试系统电源质量稳定良好,调压器与变频器由测试人员手动控制,根据测试需要对输入待测电机的电压、频率进行调整,调压器选用 TSGC2-6KVA 型接触式三相自耦调压器,该调压器实现 0-430V 电压调节,调压器选择需保证调压范围满足测试电机电压需求,电能质量检测仪实时监测输入待测电机的电参数,并实时将所监测的电参数传输给计算机,计算机从而实时掌握输入待测电机的各项电参数,各类传感器实时将监测数据通过转换器传输给计算机,其中转换器选用 RS485 型信号转换器。如图 4,传递给转换器数据的传感器具体包括光电转速传感器 3、电阻式温度传感器 8 与转矩转速传感器 2,当进行空载实验时不需要连接测试负载 1,故此时不安装接入转矩转速传感器 2,当进行负载实验时,通过转矩转速传感器 2 将待测电机与测试负载 1 相连接,通过转矩转速传感器可计算得出待测电机输出功率,通过控制制动器输入电压,从而调节磁粉制动器的转矩,实现改变待测电机负载大小。

另一方面,一种电机功率密度测试方法,基于前述一种电机功率密度测试装置实现,如图 6 所示,包括以下步骤:

步骤 1: 测试前将测试电机拆卸,测量电机各项参数,并将电阻式温度传感器 8 装在电机内,再将电机固定安装在测试台;所述电机各项参数包括初始温度下电机定子绕组电阻值 R 、定子绕组初始温度 θ_1 、电机极对数 Q 、定子外径直径 D 与定子长度 L ,并进行空载实验;

通过初始温度下电机定子绕组电阻 R 、定子绕组初始温度 θ_1 、电机极对数 Q 、定子外径直径 D 与定子长度 L ,计算得到电机的导电、导磁材料的总体积:

$$V = \pi \cdot (D/2)^2 \cdot L$$

将电机组装安装到可调升降台 7 上,此时不连接测试负载,进行电机空载实验,通过输入设备将所测量电机定子绕组电阻 R 、定子绕组初始温度 θ_1 、电机极对数 Q 、定子外径直径 D 与定子长度 L 传输给计算机进行数据储存,检测人员通过控制综合控制台 5 调节调压器与变频器,使输入测试电机的电压为额定电压,频率为额定频率,电能质量检测仪对待测电机输入电参数实时监测,将监测的各项电参数实时传输给计算机,其中各项电参数包括三相电

压有效值 U_0 、三相电流有效值 I_0 、频率 f 与功率因数 $\cos \varphi_0$ 等，计算机根据所得数据计算得到电机空载稳定运行的总损耗功率，即电机空载输入功率

$$P_0 = 3U_0 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0$$

电机空载总损耗功率包括定子损耗功率 P_{CU1} 、铁芯损耗功率 P_{FE} 与风摩耗功率 P_{FW} ，可认为空载输入功率 P_0 减去空载实验温度下定子损耗功率 P_{CU1} 为恒定功率，定子损耗功率与定子绕组电阻、电流有关，定子绕组电阻随温度发生变化，通过温度传感器实时监测定子温度变化，根据负载实验测量定子最高温度 θ_0 ，从而得出对应温度下定子绕组电阻值

$$R_0 = R[(235 + \theta_0) / (235 + \theta_1)]$$

进一步，根据负载实验，三相电流有效值 I_0 可得出定子损耗功率

$$P_{CU1} = 1.5I_0^2 \cdot R_0$$

电机铁芯损耗功率与风摩耗功率和为

$$P'_0 = P_{FE} + P_{FW} = P_0 - P_{CU1}$$

测试人员通过调节调压器保持输出频率不变，依次将电压从 50% 额定电压 U_N 降至电机最低电压，即电机不运转临界电压，每次降低电压时均进行空载实验，计算机计算不同空载电压 U_0 下，电机铁芯损耗功率与风摩耗功率和 P'_0 ，以及对应功率和 P'_0 下 $(U_0/U_N)^2$ 的数值，并将计算数据储存，当电压降低到电机最低电压时停止空载实验，如图 5，计算机根据计算结果通过描点法绘制 P'_0 —— $(U_0/U_N)^2$ 的曲线图，此曲线近似为一条直线，通过最小二乘法将曲线拟合成直线，计算 $(U_0/U_N)^2$ 为零时拟合直线对应数值，即为风摩耗功率 P_{FW} ，因为电机铁芯与风摩耗的损耗功率和为恒定损耗功率，故计算得到铁芯损耗功率

$$P_{FE} = P_0 - P_{CU1} - P_{FW}$$

步骤 2：测试人员通过输入设备将测量参数输入至计算机；

步骤 3：调节调压器与变频器，改变待测电机 4 电压与频率，电能质量检测仪实时监测变频器输出交流电的各项参数，包括输出电压、输出电流、输出频率与功率因数，光电转速传感器 3 实时监测电机实际转速，温度传感器实时监测定子温度，各项监测数据均传输给计算机，空载实验得到铁芯损耗功率与风摩耗功率，将测试电机与测试负载 1 连接，通过改变测试负载 1 的转矩，进行负载实验；

将电机铁芯损耗功率 P_{FE} 与风摩耗功率 P_{FW} 储存于计算机，将待测电机 4 通过转矩转速传感器 2 与测试负载 1 同轴连接，进行负载实验，计算机转矩转速传感器 2 可计算得出待测

电机实时输出功率，同理电能质量检测仪对待测电机输入电参数实时监测，将监测的各项电参数实时传输给计算机，其中各项电参数包括三相电压有效值 U 、三相电流有效值 I 、频率 f 与功率因数 $\cos \varphi$ 等，通过调整调压器多次改变测试负载 1 转矩，计算不同负载下待测电机 4 的输入功率

$$P_1 = 3U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

根据电机频率 f 与极对数 Q ，计算机可得出电机同步转速

$$N_s = (60 \cdot f) / Q$$

根据光电转速传感器 3 实时监测电机实际转速 N ，计算机可得到电机转差率

$$S = (N_s - N) / N_s$$

根据测试电机定子温度 θ_T ，计算机可得到换算至规定温度 θ_s 时的转差率

$$S_s = S[(235 + \theta_s) / (235 + \theta_T)]$$

进一步，计算机计算得到转子损耗功率

$$P_{CU2} = (P_1 - P_{CU1} - P_{FE}) \cdot S_s$$

电机杂散损耗 P_s 的大小与电机的设计、制造工艺、容量等许多因素有关，根据经验公式电机杂散损耗与电机额定功率 P_N ，电机额定电流 I_N 有关，电机杂散损耗功率经验公式为

$$P_s = 0.5\% P_N \cdot (I / I_N)^2$$

根据各项计算功率，计算机可得到该负载转矩下电机输出功率

$$P = P_1 - (P_{CU1} + P_{CU2} + P_{FE} + P_{FW} + P_s)$$

计算机通过转矩转速传感器 2 实时监测电机实际输出功率，保留电机稳定后不同负载下某相同时间段内，由转矩转速传感器 2 计算所得电机输出功率平均值 P' 与由计算机公式推导所得电机实际输出功率平均值 P 。

进一步可计算得到对应负载转矩下电机功率密度

$$S' = P' / V$$

$$S = P / V$$

多次通改变电机负载转矩，得到多组测量结果，计算机根据转矩转速传感器 2 所获得的功率作为准确值，对能耗分析法中杂散损耗功率 P_s 所占总损耗功率的比值通过修正系数 C 进行修正

$$Ps' = C \cdot 0.5\% P_N \cdot (I / I_N)^2$$

作不同应负载下电机实际输出功率平均值 P 与计算电机输出功率平均值 P' 的均方差，其差值是关于修正系数 C 的函数，可求最小均方差对应修正系数 C ，记录该修正系数 C ，得到该电机输出功率计算式

$$P = P_1 - (P_{CU1} + P_{CU2} + P_{FE} + P_{FW} + Ps')$$

步骤 4：当待测电机 4 稳定后，计算机根据能耗分析法，得到不同负载转矩下的功率密度，转矩转速传感器 2 对电机输出功率监测，以转矩转速传感器 2 直测法测量结果作为准确值，分析能耗法误差大小，通过调整杂散损耗功率所占总损耗功率的比例进行修正，使修正后的两组数据均方差最小，将该修正后的能耗分析法储存；

步骤 5：当测试电机脱离测试台实际工作时，根据该能耗分析法通过监测电机输入电压、输入电流、输入频率、电机实际转速与定子温度，从而实时监测电机功率密度变化。测试人员将待测电机 4 从测试台拆下，当该电机实际工作时，只需要实时监测电机输入电压、输入频率、输入电流、定子温度与电机实际转速，就可实时监测电机功率密度变化，所需监测变量简单易实现。

最后应说明的是：以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明权利要求所限定的范围。

权 利 要 求 书

1、一种电机功率密度测试装置，其特征在于：包括综合控制台、测试负载、待测电机、支撑底座、转矩转速传感器、可调节升降台、光电转速传感器与电阻式温度传感器；

所述综合控制台包括电能质量调节器、调压器、变频器、电能质量检测仪、输入设备、显示器、转换器、整流器以及计算机；所述电能质量调节器输入接口接入电网，输出接口与所述调压器输入接口相连接，调压器输出接口分别与所述变频器输入接口以及所述整流器一端相连，整流器另一端通过导线与所述测试负载相连，变频器输出接口与所述电能质量检测仪相连接，电能质量检测仪输出接口分别与待测电机以及计算机相连，所述输入设备与计算机输入接口相连接，所述显示器与计算机输出接口相连接，所述支撑底座与综合控制台、可调节升降台固定连接，待测电机通过螺栓与可调节升降台上端面固定，测试负载底端与支撑底座通过导轨连接，所述转矩转速传感器将待测电机输出轴与负载输入轴固定连接，并通过紧固螺栓将负载固定，所述光电转速传感器固定在待测电机输出端电机壳上，所述电阻式温度传感器固定埋置于电机定子底槽与铁芯之间，转换器通过导线与计算机相连，光电转速传感器、电阻式温度传感器与转矩转速传感器通过导线将监测数据实时传递给转换器。

2、根据权利要求1所述的一种电机功率密度测试装置，其特征在于，所述导轨的方向与待测电机安装时转子轴线方向一致。

3、一种电机功率密度测试方法，通过权利要求1所述一种电机功率密度测试装置实现，其特征在于，包括以下步骤：

步骤1：测试前将测试电机拆卸，测量电机各项参数，并将电阻式温度传感器装在电机内，再将电机固定安装在测试台；

步骤2：测试人员通过输入设备将测量参数输入至计算机；

步骤3：调节调压器与变频器，改变待测电机电压与频率，电能质量检测仪实时监测变频器输出交流电的各项参数，包括输出电压、输出电流、输出频率与功率因数，光电转速传感器实时监测电机实际转速，温度传感器实时监测定子温度，各项监测数据均传输给计算机，空载实验得到铁芯损耗功率与风摩耗功率，将测试电机与测试负载连接，通过改变测试负载的转矩，进行负载实验；

步骤4：当待测电机稳定后，计算机根据能耗分析法，得到不同负载转矩下的功率密度，转矩转速传感器对电机输出功率监测，以转矩转速传感器直测法测量结果作为准确值，分析能耗法误差大小，通过调整杂散损耗功率所占总损耗功率的比例进行修正，使修正后的两组数据均方差最小，将该修正后的能耗分析法储存；

步骤5：当测试电机脱离测试台实际工作时，根据该能耗分析法通过监测电机输入电压、输入电流、输入频率、电机实际转速与定子温度，从而实时监测电机功率密度变化。

4、根据权利要求 3 所述的一种电机功率密度测试方法，其特征在于，步骤 1 中所述电机各项参数包括初始温度下电机定子绕组电阻值 R 、定子绕组初始温度 θ_1 、电机极对数 Q 、定子外径直径 D 与定子长度 L ，并进行空载实验。

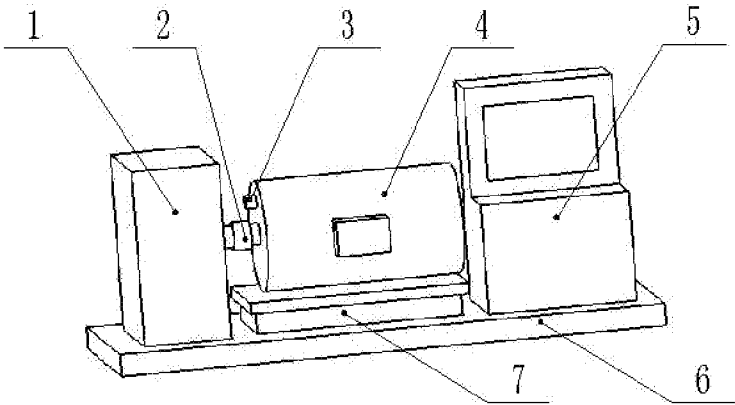


图 1

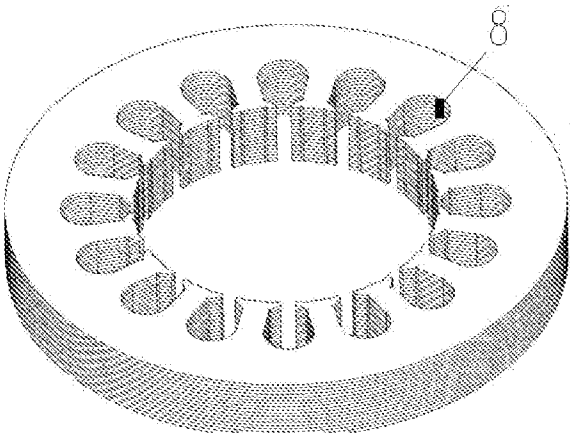


图 2

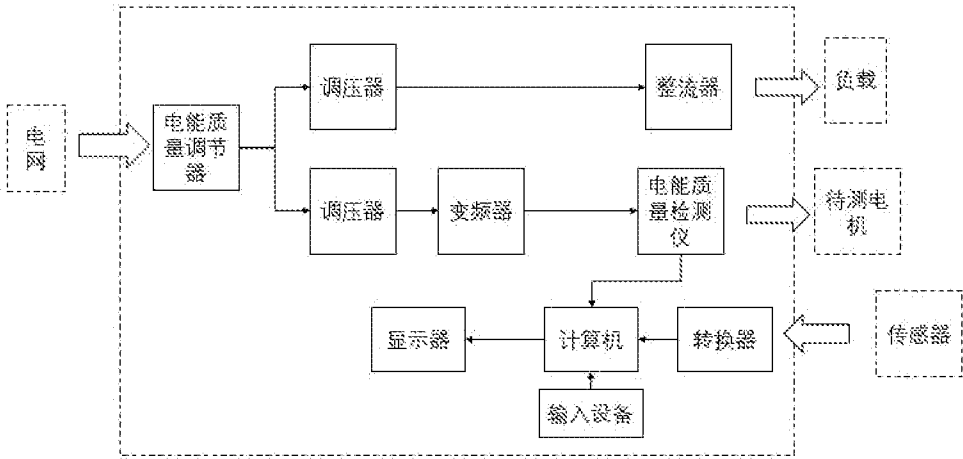


图 3

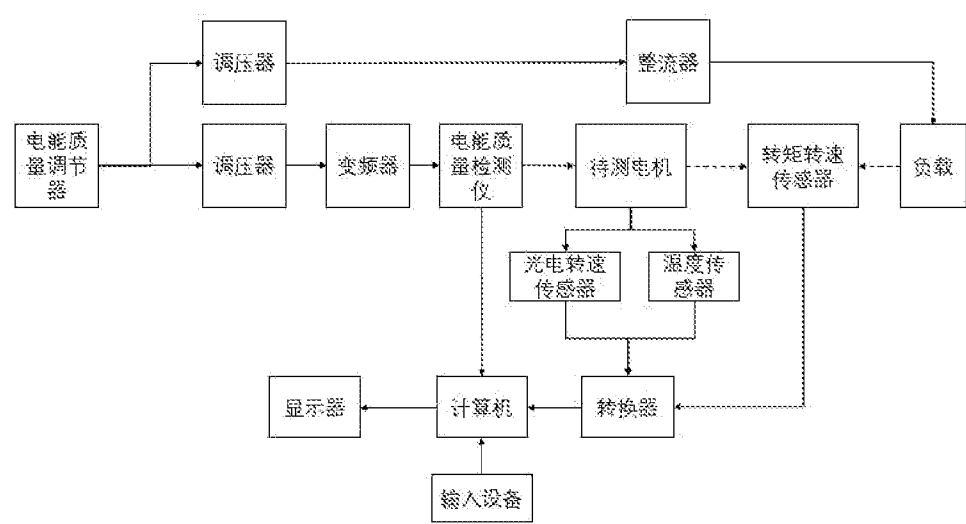


图 4

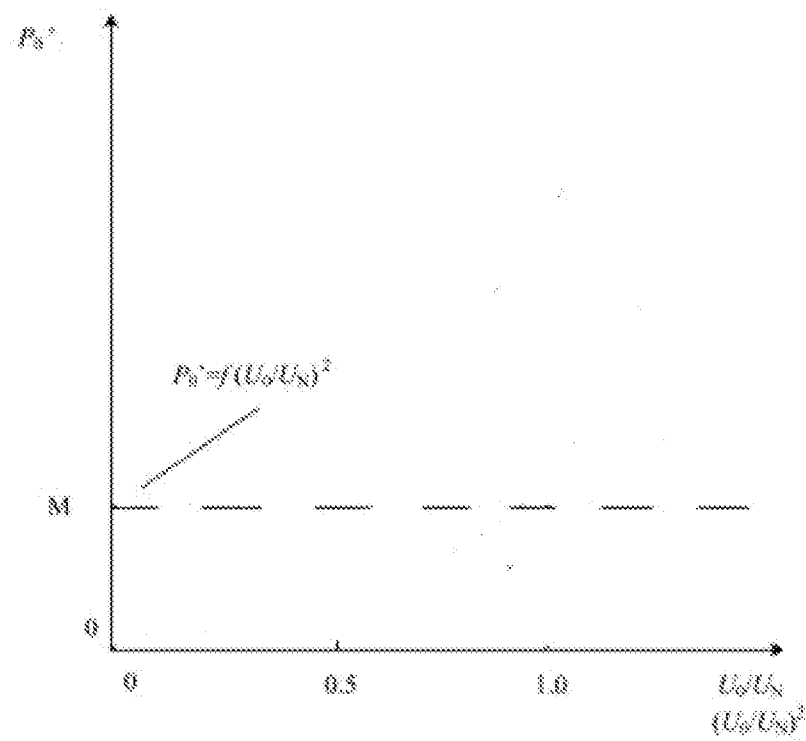


图 5

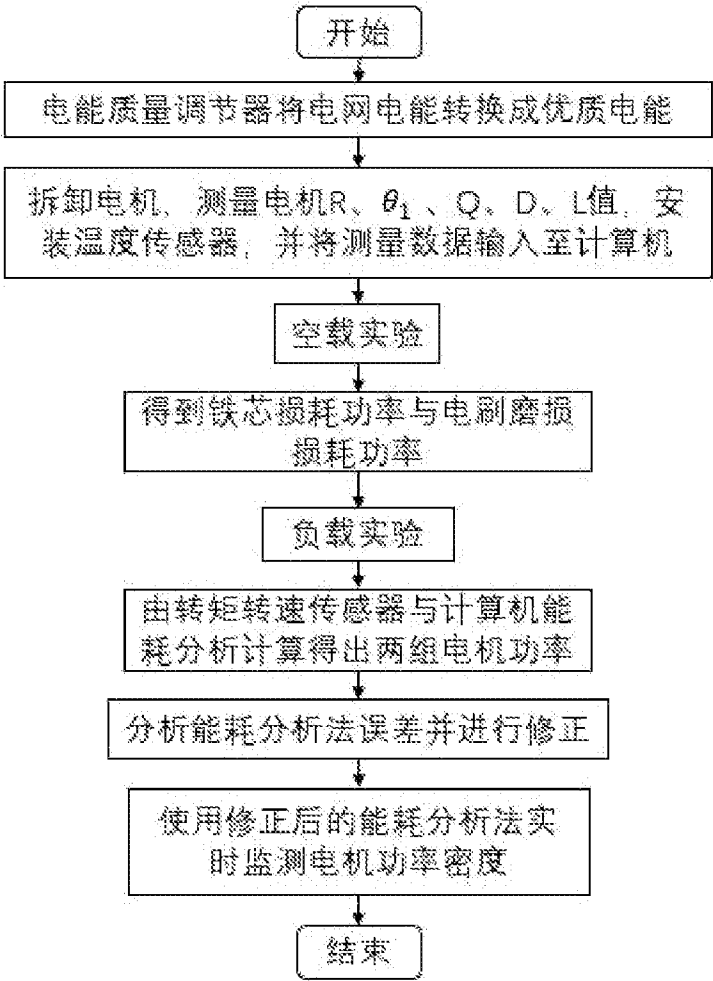


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/115036

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/34(2006.01)i; G01R 21/06(2006.01)i; G01R 21/00(2006.01)i; G01L 3/26(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)

G01R;; G01L

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)

CNPAT, EPODOC, WPI, CNKI: 山东科技大学, 功率, 功率密度, 传感器, 转速, 温度, 负载, 变频, 整流, 调压, 升降, 轨道, 能耗法, 直测法; power, density, sensor, rotating s speed, temperature, load, rectifier, booster, lift+, track, rail

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 204408229 U (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (BAODING)) 17 June 2015 (2015-06-17) description, paragraphs [0023]-[0045], and figures 1-4	1, 2
Y	CN 202093145 U (SHANGHAI ENGINEERING RESEARCH CENTER OF MOTOR SYSTEM ENERGY SAVING CO., LTD.) 28 December 2011 (2011-12-28) description, paragraphs [0012]-[0017], and figures 1-4	1, 2
A	CN 209803299 U (COLLEGE OF HUMANITIES & SCIENCES OF NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY) 17 December 2019 (2019-12-17) entire document	1-4
A	CN 105700460 A (HANGZHOU GOOD-HOOD TECHNOLOGY CO., LTD.) 22 June 2016 (2016-06-22) entire document	1-4
A	WO 2016098373 A1 (SHINO IKOKU) 23 June 2016 (2016-06-23) entire document	1-4



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 March 2021

Date of mailing of the international search report

21 April 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/115036

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	204408229	U	17 June 2015	None			
CN	202093145	U	28 December 2011	None			
CN	209803299	U	17 December 2019	None			
CN	105700460	A	22 June 2016	CN	105700460	B	30 March 2018
WO	2016098373	A1	23 June 2016	JP	2016116431	A	23 June 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/115036

A. 主题的分类 G01R 31/34(2006.01)i; G01R 21/06(2006.01)i; G01R 21/00(2006.01)i; G01L 3/26(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) G01R;; G01L 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)) CNPAT, EPDOC, WPI, CNKI: 山东科技大学, 功率, 功率密度, 传感器, 转速, 温度, 负载, 变频, 整流, 调压, 升降, 轨道, 能耗法, 直测法; power, density, sensor, rotating speed, temperature, load, rectifier, booster, lift+, track, rail																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 204408229 U (华北电力大学保定) 2015年 6月 17日 (2015 - 06 - 17) 说明书第[0023]-[0045]段、图1-4</td> <td>1、2</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 202093145 U (上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司 等) 2011年 12月 28日 (2011 - 12 - 28) 说明书第[0012]-[0017]段、图1-4</td> <td>1、2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 209803299 U (东北师范大学人文学院) 2019年 12月 17日 (2019 - 12 - 17) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105700460 A (杭州戈虎达科技有限公司) 2016年 6月 22日 (2016 - 06 - 22) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2016098373 A1 (SHINO IKOKU) 2016年 6月 23日 (2016 - 06 - 23) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 204408229 U (华北电力大学保定) 2015年 6月 17日 (2015 - 06 - 17) 说明书第[0023]-[0045]段、图1-4	1、2	Y	CN 202093145 U (上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司 等) 2011年 12月 28日 (2011 - 12 - 28) 说明书第[0012]-[0017]段、图1-4	1、2	A	CN 209803299 U (东北师范大学人文学院) 2019年 12月 17日 (2019 - 12 - 17) 全文	1-4	A	CN 105700460 A (杭州戈虎达科技有限公司) 2016年 6月 22日 (2016 - 06 - 22) 全文	1-4	A	WO 2016098373 A1 (SHINO IKOKU) 2016年 6月 23日 (2016 - 06 - 23) 全文	1-4
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
Y	CN 204408229 U (华北电力大学保定) 2015年 6月 17日 (2015 - 06 - 17) 说明书第[0023]-[0045]段、图1-4	1、2																		
Y	CN 202093145 U (上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司 等) 2011年 12月 28日 (2011 - 12 - 28) 说明书第[0012]-[0017]段、图1-4	1、2																		
A	CN 209803299 U (东北师范大学人文学院) 2019年 12月 17日 (2019 - 12 - 17) 全文	1-4																		
A	CN 105700460 A (杭州戈虎达科技有限公司) 2016年 6月 22日 (2016 - 06 - 22) 全文	1-4																		
A	WO 2016098373 A1 (SHINO IKOKU) 2016年 6月 23日 (2016 - 06 - 23) 全文	1-4																		
☐ 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 2021年 3月 26日		国际检索报告邮寄日期 2021年 4月 21日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 徐泽昕 电话号码 86-(10)-53962570																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/115036

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	204408229	U	2015年 6月 17日	无	
CN	202093145	U	2011年 12月 28日	无	
CN	209803299	U	2019年 12月 17日	无	
CN	105700460	A	2016年 6月 22日	CN 105700460 B	2018年 3月 30日
WO	2016098373	A1	2016年 6月 23日	JP 2016116431 A	2016年 6月 23日