

电动汽车用永磁同步电机在线检测系统设计

雷 钧¹, 王 茹¹, 李怀珍², 冉静娴³

(1. 长庆油田分公司技术监测中心, 陕西 西安 710018;

2. 上海电科电机科技有限公司, 上海 200063;

3. 上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司, 上海 200063)

摘 要: 首先介绍了电动汽车用永磁同步电机(PMSM)运行特性和控制器输出特点。然后根据 GB/T 18488—2015《电动汽车用驱动电机系统》标准规定的技术条件和试验方法, 结合电动汽车用 PMSM 生产工艺规划, 设计了电动汽车用 PMSM 在线检测工艺流程。在此基础上, 设计了电动汽车用 PMSM 在线性能检测的测试系统, 系统应用了先进的变频测量技术和计算机控制测量技术, 能够按照相关的标准规定很好地完成电机在线性能检测。最后进行试验验证, 结果表明: 该系统测量精确、运行稳定、操作简便、自动化程度较高, 具有较高的设计参考价值。

关键词: 电动汽车; 永磁同步电机; 在线检测系统

中图分类号: TM 306 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2019)08-0105-05

Design of Online Test System for Permanent Magnet Synchronous Motor in Electric Vehicle

LEI Jun¹, WANG Ru¹, LI Huaizhen², RAN Jingxian³

(1. Technical Monitoring Center of Changqing Oilfield Branch Company, Xi'an 710018, China;

2. SEARI Electrical Machinery Technology Co., Ltd., Shanghai 200063, China;

3. Shanghai Engineering Research Center of Motor System Energy Saving Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: The running characteristics and controller output characteristics of permanent magnet synchronous motor (PMSM) for electric vehicle were introduced. According to the technical conditions and test methods specified in GB/T 18488—2015 “drive motor system for electric vehicle”, the online inspection process for electric vehicle PMSM was designed in combination with the production process planning of PMSM for electric vehicle. On this basis, the online performance inspection system for electric vehicle PMSM was designed, and the advanced frequency conversion measurement technology and computer control measurement technology were applied in the system. Experimental results showed that the system was accurate, stable, easy to operate and highly automatic, and had high design reference value.

Key words: electric vehicle; permanent magnet synchronous motor (PMSM); online inspection system

0 引 言

驱动电机是电动汽车动力系统的核心部件, 电机特性对电动汽车的性能影响极大^[1]。为了正确评价驱动电机性能, 电机出厂前均需进行出厂

性能检测。电动汽车用电机大多采用永磁同步电机(PMSM)^[2], 电动汽车用 PMSM 在线试验系统根据 GB/T 18488—2015《电动汽车用驱动电机系统》标准规定的技术条件和试验方法, 结合电动汽车 PMSM 的工作特点, 利用仪器仪表等设备对

作者简介: 雷 钧(1970—), 男, 工程师, 研究方向为油气田节能监测。

王 茹(1985—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为油气田节能监测。

李怀珍(1985—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为机电控制技术、电机检测技术和设备。

出厂电机产品的电气性能、力学性能、安全性能及可靠性等技术指标进行检测^[3]。

普遍采用台架测试的方式进行电动汽车电机的检测^[4]。如奥地利 AVL、德国 GIM^[5]、上海电器科学研究所^[6] 等公司均先后推出了新能源汽车用动力系统测试专用装备,国内各研究机构(如国家汽车质量监督检验中心、上海电器设备检测所等)也基本具备较为完备的新能源汽车电机台架测试设备和测试方法来满足开发阶段(型式试验)所需性能测试要求。这些测试台架功能完备,精度高,能够在实验室环境下准确地模拟各种试验,然而不足也非常明显,如试验灵活性低、检测节拍慢,难以适应电动汽车电机流水线作业条件下在线检测的要求,极大地限制了电动汽车电机厂家电机产能的扩张。因此根据电动汽车用电机特点设计专用在线检测装备对电动汽车电机生产厂家具有重要的现实意义。

1 电动汽车用 PMSM 特点

电动汽车用 PMSM 转速高、功率密度高、调速性能好,是一种高性能的电动机。通常根据电机基速或额定转速划分成恒转矩工作区和恒功率工作区^[7],电动汽车 PMSM 驱动特性如图 1 所示。在额定转速下以低速恒磁通调速,电机最大输出转矩保持不变,为恒转矩工作区;在额定转速下以高速弱磁调速,电机最大输出转矩与转速基本成反比,为恒功率工作区。

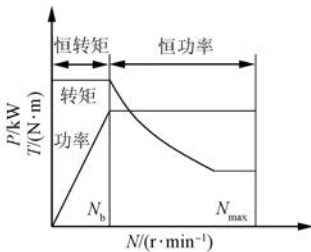


图 1 电动汽车用 PMSM 驱动特性

电动汽车一般采用直流蓄电池供电,通过控制器驱动 PMSM。通常,控制器输出包含大量的整数倍载波频率高次谐波脉宽调制(PWM)调制波。电压和电流波形如图 2 所示。

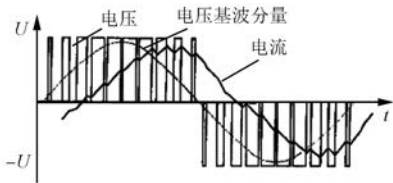


图 2 电压和电流波形

2 在线试验系统硬件设计与选型

2.1 在线试验系统原理设计

电动汽车用驱动电机系统主要由蓄电池、驱动电机控制器和驱动电机三部分组成。驱动电机和控制器通常匹配使用,不同规格类型的控制器有时供电电压也存在不同。根据 GB/T 18488—2015《电动汽车用驱动电机系统》标准规定的技术条件和试验方法,结合生产工艺规划,设计电机在线检测工艺流程如图 3 所示。

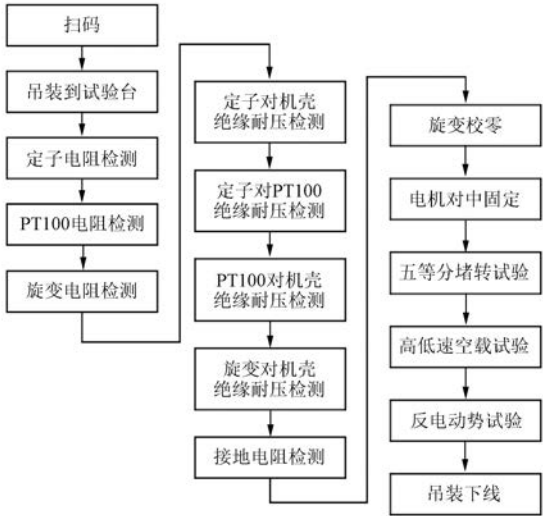


图 3 电机在线检测工艺流程

根据电机在线检测工艺,电机在线试验系统主要完成直流电阻、绝缘电阻、工频耐压和接地电阻的静态测试,五等分堵转试验,不同转速下的空载试验、反向电动势的动态试验。据此,设计了用于电动汽车用 PMSM 在线试验系统。电机在线试验系统原理图如图 4 所示,包含隔离变压器、双向直流电源、驱动电机控制器和被试电机、陪试系统、工控机、测量仪器仪表传感器、试验平台等。采用隔离变压器为双向直流电源提供干净无污染的进线电源,通过双向直流电源为驱动控制器提供动力电

源,驱动控制器经过测量和输出回路驱动被试电机。通过堵转装置(光电编码盘和刹车装置组成)进行被试电机堵转试验,通过陪试电机调节堵转位置和拖动被试电机进行反向电动势性能试验。

直流电源主要用来为被试驱动电机控制器提供动力电源。针对电动汽车驱动电机出厂性能试验要求具有高精度及高动态响应特性,并且有向电网回馈能量的功能。在试验中对电动汽车电机

控制器的输入功率、输出电流、过载能力、耐压及电机的堵转电流、高转速、超速、馈电等性能进行模拟,能实时将电机反拖试验时的反向电动势能量回馈电网,避免控制器损坏。

工控机通过串口扩展卡和扫描枪、仪器仪表、PLC 及控制器通信,根据需要调整和控制运行工况,采集被试样机检测数据,根据试验方法将采样数据拟合成曲线并生成检测报告。

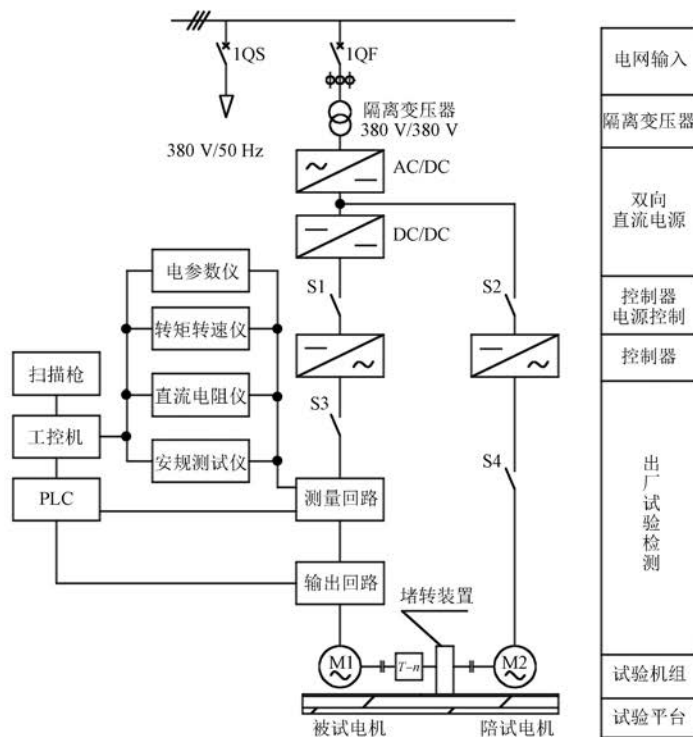


图4 电机在线试验系统原理图

2.2 测量系统

电机在线性能试验就是利用仪器仪表等设备对出厂电机产品的电气性能、力学性能、安全性能及可靠性等技术指标进行检测。仪器、仪表是试验台性能检验的核心部分。试验系统采用工控机通过通信方式控制各仪器仪表工作并记录测试结果。主要仪器仪表有:电参数仪、转矩转速仪、直流电阻仪、安规测试仪等。

2.2.1 电参数测量

试验系统的电参数测试主要包括电压、电流、电功率、功率因数及频率,电参数测量的正确性和准确性是电机性能评价的关键。由于驱动电机控制器输出的 PWM 电源既有频率较低

的基波分量,又含有很多高次谐波,因此一般工业用电参数测量仪的频率测量范围通常不能满足控制器谐波频率($1\text{ Hz} < f < 15\text{ kHz}$)输出测量^[8]。基于上述原因,该系统电参数测量采用 AnyWay 宽带功率测试系统,如图 5 所示,有效测试带宽为 100 kHz,最高采样频率为 250 kHz,能够有效地确保电机试验时的宽频率范围、宽幅值范围及低功率因数等测试要求^[9]。该变频测试系统是由数字化的变频传感器和二次仪表组成,两者通过光纤连接和数据传输,避免了线路传输造成的信号衰减和干扰。值得注意的是,该变频测试系统采用 2^N 无缝自动量程转换技术保证全量程范围内测量准确度的一致性,

以实现电压、电流宽幅值范围内的高精度测量^[10]。



图5 AnyWay 宽带功率测试系统

2.2.2 转矩转速测量

转矩和转速是电机机械输出的主要表征,测量精度对电机评价至关重要。考虑电动汽车驱动电机转速高,系统采用 HBM T40B 系列高精度扭矩传感器。T40B 是一种带有磁极转速测量系统的数字扭矩传感器,以高精度、再现性和鲁棒性而著称,适用于电机在线检测台架用静态(堵转)和动态(负载)扭矩测量。系统采用 1 台 K-T40B/1 000 N·m 转矩转速传感器,精度 0.05 级,转速高达 20 000 r/min,能够满足电动汽车用驱动电机峰值扭矩转速的测试需求。

2.2.3 直流电阻仪

直流电阻测试采用日置 RM3545 高精度电阻测试仪。该测试仪可测量电阻范围为 0 μΩ ~ 1 200 MΩ,基本精度 0.006%,最小分辨率 0.01 μΩ,最大测量电流为 1 A。

2.2.4 安规测试仪

系统安规测试采用固纬 GPT-9904 安规测试仪,具有交/直流耐压测试、绝缘电阻测试及交流接地阻抗测试功能。交流耐压为 5 kV/100 mA、直流耐压为 6 kV/20 mA、绝缘电阻 50 V ~ 1 000 V/50 GΩ、接地阻抗测试 32 A max./650 mΩ 能够满足 1 140 V 及以下的电机安规测试。通过 PWM 放大器可有效地确保对被测电机提供稳定的高压输出。

2.3 控制系统

控制系统由工控计算机、PLC 等部分组成的集散控制系统。工控计算机通过通信总线实现对 PLC、双向直流电源、控制器以及仪器仪表的集中控制和分散管理。

由于驱动控制器运行时会产生高次谐波,对

工控机和自动控制装置等电子设备带来强干扰,且在工厂环境中使用,控制系统的稳定性尤为重要,处理不好不但使系统无法可靠运行,还会影响生产线其他设备的正常工作。因此,该系统采用西门子 S7-1200 可编程控制器作为系统核心控制单元,是一款为适应复杂工业环境应用而设计的西门子 PLC 旗舰产品,采用模块化设计,结构紧凑、成本低廉,具有功能强大的指令集,能够执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算数操作等功能,可用于控制各种各样的自动化设备。

3 试验验证

系统建成后对多台电机进行了试验。表 1 所示为某 50 kW 的 QPMA 永磁电机在本文所设计系统部分检测数据与型式数据对比情况表。通过对比可以看出,该系统试验数据与型式试验检测数据基本一致,从侧面证实了该系统的测试精度能够满足电动汽车用 PMSM 在线检测的测试要求。

表 1 QPMA 永磁电机在系统的部分检测数据与型式试验检测数据对比情况表

项目		所设计系统 (28.1℃)	型式试验数据 (27.8℃)
冷态绕组 直流电阻	R_{uv}/Ω	0.024 9	0.024 5
	R_{vw}/Ω	0.024 9	0.024 5
	R_{wu}/Ω	0.024 8	0.024 5
PT100 电阻	R_1/Ω	83.2	83.1
	R_2/Ω	83.2	83.2
旋变阻值	旋变励磁/ Ω	32.6	32.4
	旋变正弦/ Ω	60.8	60.6
	旋变余弦/ Ω	60.5	60.4
低速空载试验 (1 500 r/min)	U_0/V	158.7	159.2
	I_a/A	3.55	3.57
	I_b/A	3.43	3.52
	I_c/A	3.61	3.64
反电动势 (1 500 r/min)	U_{uv}/V	156.8	157.2
	U_{vw}/V	157.1	157.4
	U_{vw}/V	157.0	157.3

4 结 语

本文的电动汽车用 PMSM 在线试验系统设计研制是以 GB/T 18488—2015《电动汽车用驱动

电机系统》标准规定的技术条件和试验方法为基本依据,结合其他相关标准对电动汽车用驱动电机试验的具体要求,基于节能、经济、可靠、先进等原则进行设计,实现了电动汽车用 PMSM 的在线性能检测。系统综合应用了先进的变频测量技术和计算机控制测量技术,具有精度优、自动化程度高、技术先进、运行稳定等优点。设备的成功研制和运用大幅降低了试验人员的作业强度,满足了电动汽车电机流水线在线检测的要求,为厂家电动汽车用 PMSM 检测提供了设备支持和技术保障,有效地提高了产品的竞争力。

【参考文献】

- [1] 王传军,李怀珍,姚金生.电动汽车电机及控制器故障诊断专家系统的研究[J].电机与控制应用,2016,43(5): 69.
 - [2] 严蓓兰.新能源汽车电机发展趋势及测试评价研究[J].电机与控制应用,2018,45(6): 109.
 - [3] 葛治国.电机自动测试系统研制与研究[D].杭州:浙江大学,2002.
 - [4] 成哲.新能源汽车动力总成系统测试平台概述[J].时代汽车,2018(4): 75.
 - [5] 张奇,李珂,张承慧,等.电动汽车用永磁同步电机特性试验设计与研究[J].实验室研究与探索,2015,34(10): 47.
 - [6] 李怀珍,王传军.电动汽车电机及控制器性能测试系统[J].电机与控制应用,2016,43(3): 79.
 - [7] 何洪文,余晓江,孙逢春,等.电动汽车电机驱动系统动力特性分析[J].中国电机工程学报,2006,26(6): 136.
 - [8] 许华.变频器输出波形分析与测试系统[J].电机与控制学报,2001,5(4): 242.
 - [9] 王海军,李怀珍.伺服电机及系统特性性能测试系统设计[J].电机与控制应用,2018,45(1): 127.
 - [10] 李庆莲,徐伟专,庞林.变频电机计量与检测探讨[J].电机与控制应用,2014,41(7): 64.
- 收稿日期: 2019-04-19
-
- (上接第 95 页)
- [2] CHEN J, LIU T, CHEN C. Design and implementation of a novel high-performance sensorless control system for interior permanent magnet synchronous motors [J]. IET Electric Power Applications, 2010, 4(4): 226.
 - [3] LIN C K, LIU T H, LO C H. Sensorless interior permanent magnet synchronous motor drive system with a wide adjustable speed range [J]. IET Electric Power Applications, 2009, 3(2): 133.
 - [4] LEE J, HONG J, NAM K, et al. Sensorless control of surface-mount permanent-magnet synchronous motors based on a nonlinear observer [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2010, 25(2): 290.
 - [5] FOO G, RAHMAN M F. Sensorless direct torque and flux-controlled IPM synchronous motor drive at very low speed without signal injection [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(1): 395.
 - [6] SOULARD J. System analysis of permanent magnet traction drives [R]. Stockholm: KTH, 2012.
 - [7] 刘荣强,周国聘,姬春霞.永磁电机在铁路机车牵引领域的应用[J].内燃机车,2008(5): 19.
 - [8] 冯江华.轨道交通永磁电机牵引系统关键技术及发展趋势[J].机车电传动,2018(6): 9.
 - [9] 张江,钟文生,刘高坤.转向架永磁同步电机直接驱动技术在国内外的发展概述[J].铁道机车车辆,2014,34(3): 79.
 - [10] 冯江华.轨道交通永磁同步牵引系统的发展概况及应用挑战[J].大功率变流技术,2012(3): 1.
 - [11] 顾秀江,杨玺,解鹏.CRH5G 型高寒动车组牵引辅助变流器研制[J].电子测试,2018(10): 34.
 - [12] 余华,李岩,李国锋,等.应用于机车变流器的分段调制工程实现方法[J].机车电传动,2014(6): 43.
- 收稿日期: 2019-04-22

携手节能减排 悠享生活空间

让你我从点滴做起



《电机与控制应用》杂志社宣