

新能源汽车电驱和电机测试台架系统设计与应用

王家校

(杭州士兰微电子股份有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要:针对新能源汽车车用驱动器及动力电机系统测试的要求,首先对车用永磁同步电机动态特性进行分析,并根据电机驱动器、电机的特点和测试要求进行台架测试系统设计,最后搭建一套完整的台架测试系统进行驱动器和电机的测试与完善。试验结果表明,所设计开发的台架测试系统平台能够稳定可靠运行,满足驱动器厂和电机厂的性能、可靠性和极限的测试需求,具有很强的实用性,对车用动力系统开发具有一定的参考价值。

关键词:新能源汽车;电机系统;台架;转矩;驱动器

中图分类号: TM32 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqed20885

Design and Application of Test Bench System for Drive and Motor of New Energy Vehicle

WANG Jiaxiao

(Hangzhou Silan Microelectronics Co., Ltd., Hangzhou 310000, Zhejiang, China)

Abstract: According to the new energy vehicle drive and power motor system testing requirements, the dynamic characteristics of permanent magnet synchronous motor for vehicle were analyzed firstly, and a bench test system based on the motor driver and motor characteristics and testing requirements was designed. Finally, a complete bench test system was built to test and improve the driver and motor. The test results show that the test platform designed and developed can run stably and reliably, and can meet the driving test requirements of performance, reliability and limit of driver plant and electric machine plant. It has a strong practicability and a certain reference value for the development of vehicle power system.

Key words: new energy vehicle; motor system; bench; torque; driver

近年来,随着全球环境的不断恶化和能源危机的不断加剧,世界各国已经投入大量的科学技术、资本等各种资源对纯电动汽车、混合动力汽车、氢能源汽车等新能源汽车进行研究、开发和生产^[1]。而在对其研究和开发中,最主要也是最直接的试验是通过台架试验来对动力系统及其各部件进行测试分析、性能评估,以获取零部件和整车的各性能参数,验证零部件的功能性、可靠性及极限性能,并对整车的动力性、经济性以及排放性能做出准确评估^[2]。采用台架对驱动器或电机的测试方法能够有效降低新能源汽车动力系统的开发成本、节省开发时间、提高开发效率,这也是目前电控电驱和电机及整车厂开发过程中都普遍采用的一种重要手段^[3]。

本台架系统可对新能源车的驱动控制器或

电机的温升、过载等能力以及电机的常规性能、外特性、效率特性、新欧洲行驶循环(new european driving cycle, NEDC)等进行详细地测试和分析。同时设计的台架系统在功能上可以选择进行自动/手动测试,可以方便地测量电机的功率、转矩、转速、温度等相关参数,从而可计算获得电机和驱动器性能参数、绘制相关曲线等^[4]。同时,台架系统还可将试验过程中产生的再生电能通过变频系统反馈至电网,实现节省电能、减少电网污染的功能。

1 原理与设计

1.1 试验系统原理

台架测试系统的测功机主机和被测电机都选用交流永磁同步电机,台架系统具备四象限运

行能力,可独立工作于转速或转矩控制模式。

1.2 试验台计算

1.2.1 电压方程

由文献[5-6]可知定子电压方程为

$$\begin{cases} u_A = R_s i_A + p \Psi_A \\ u_B = R_s i_B + p \Psi_B \\ u_C = R_s i_C + p \Psi_C \end{cases} \quad (1)$$

式中: R_s 为电机定子绕组电阻; Ψ_A, Ψ_B, Ψ_C 为电机三相绕组交链的磁链; p 为微分算子。

1.2.2 磁链方程

从同步电机原理可以得到永磁同步电机每相绕组磁链是它本身的自感磁链和其他绕组对它互感磁链之和^[7]。则磁链方程可以写为

$$\begin{bmatrix} \Psi_A \\ \Psi_B \\ \Psi_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{AA} & L_{AB} & L_{AC} \\ L_{BA} & L_{BB} & L_{BC} \\ L_{CA} & L_{CB} & L_{CC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Psi_{fA} \\ \Psi_{fB} \\ \Psi_{fC} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 $L_{AB} = L_{BA} \quad L_{AC} = L_{CA} \quad L_{BC} = L_{CB}$

式中: $L_{AB}, L_{BA}, L_{AC}, L_{CA}, L_{BC}, L_{CB}$ 为电机定子各相之间的互感; $\Psi_{fA}, \Psi_{fB}, \Psi_{fC}$ 分别为电机永磁励磁磁场链过A,B,C绕组产生的磁链。

由同步电机原理,三相绕组自感和互感都与转子位置无关,均为常值^[7],则有同步电感 L_{sl} 为

$$L_{sl} = L_{AA} = L_{BB} = L_{CC} = L_{sr} + L_{ml} \quad (3)$$

式中: L_{sr} 为电机相绕组的漏电感; L_{ml} 为电机的励磁电感。

1.2.3 转矩方程

根据能量守恒定理,由机械能量转化为电能,那么交流永磁电动机在运行时,可以得到电机的磁场储能为^[8]

$$W_m = \frac{1}{2} \sum_k i_k \Psi_k \quad (k=A, B, C) \quad (4)$$

由同步电机原理可以知道在电机负载电流不变时,电机磁场所储能量对负载的机械角速度 θ_m 的偏导就是电机的电磁转矩^[5],即:

$$T_e = \frac{\partial W_m}{\partial \theta_m} \quad (5)$$

由以上分析可以得到永磁同步电机转矩方程为

$$T_e = -p_n \Psi_f [i_A \sin \theta_{rA} + i_B \sin (\theta_{rA} - \frac{2}{3} \pi) + i_C \sin (\theta_{rA} + \frac{2}{3} \pi)] \quad (6)$$

式中: p_n 为电机极对数; Ψ_f 为转子磁链。

1.2.4 电力拖动系统运动方程

忽略电力拖动系统传动机构的黏性摩擦和

扭转弹性^[5-9],则电机系统运动方程^[5]如下:

$$T_e - T_L = J \frac{d\omega_r}{dt} \quad (7)$$

式中: T_L 为负载转矩; J 为转动惯量; ω_r 为转子角速度。

联合式(1)、式(2)、式(5)、式(7),可以得到所采用的台架系统永磁同步电机的动态数学模型。

1.3 台架系统的设计

台架测试系统的主要组成部分有:机械台架部分、电气系统部分,控制系统和人机界面等部分^[5]。

1.3.1 机械台架

图1为电机测试台架的结构图,由图1可知:机械台架由被测电机、负载电机、转矩传感器、联轴器、中间支撑及机械制动单元、机械平板等部分组成。

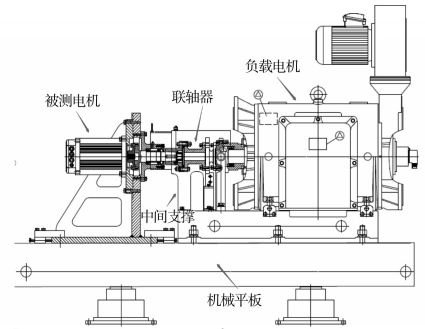


图1 机械台架

Fig.1 Mechanical bench

1.3.2 电气系统

图2为电气系统部分基本组成图,由图2可知:电气系统由电池模拟器、变频电源、恒温控制装置、电力测功机控制仪、温度和压力数据采集模块、功率分析仪等部分组成^[10]。

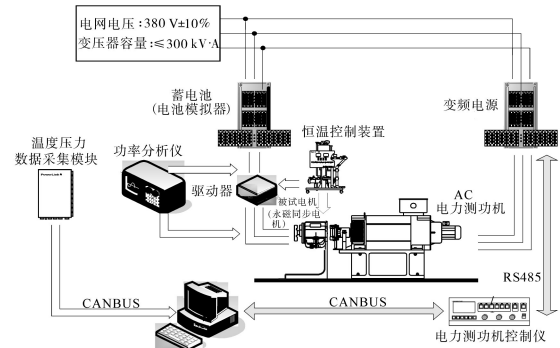


图2 电气系统基本组成图

Fig.2 Basic composition of electrical system

1.3.3 控制系统和人机界面

台架测试系统的控制系统和人机界面主要包括两大部分:硬件系统部分和软件系统部分。

硬件系统主要由工控机及多个传感器等组成。工控机作为台架整个控制系统的核心:控制程序运行,监测、采集数据,执行数据分析、运算,发出控制命令,并扮演人机界面的数据源角色,以供工程师们做出进一步决策并发出指令。工控机还可以通过以太网及多种工业总线进行远程操控。以太网的高通讯速率能够保证人机交互数据的及时刷新,并能通过操作界面高灵活性地连接至各种品牌的被测驱动器及被测电机,实时监视和控制测试系统的运行情况,对系统参数进行实时设置,实时处理各种报警事件等,实现人机交互界面及远程监控功能,操作方便且容易掌握^[5]。

控制系统软件主要有电机及驱动器测试、控制软件。功能包括对整个测试系统的各数据采集、交互,在工控机系统的人机界面上图形化显示系统工作情况,输出各工作曲线、图表,并接受工作人员的控制命令,实现良好的人机交互接口界面^[5]。

2 试验及结果

2.1 试验条件

室温(20±5)℃,湿度(50±10)%,采用不同厂家的被测驱动器和被测电机,按照图2所示的台架系统进行电气系统连接,并按测试要求设置人机界面。

2.1.1 试验方法一

被测电机采用国内某厂家的4对极永磁同步电机,额定带载功率为45 kW,峰值功率60 kW。按照图2所示,上台架系统连接好驱动器和电机,在人机界面按测试要求设定电池模拟器额定输出直流电压DC 380 V,设定被测电机额定转速3 000 r/min,峰值转速6 000 r/min,设定额定下电机输出转矩143 N·m,相电流有效值100 Arms。驱动器IGBT模块和被测电机采用水冷方式,手动设定水冷系统控制水温恒温60℃,水压(14±1) L/min。驱动器使用国产某厂家XX301X,IGBT模块采用国产XXX400PB8B1XX。驱动器控制采用PWM脉宽调制方式,通过台架系统人机界面操作控制驱动器以带电机在额定状态及峰值状态下各运行30 s,台架系统实时监控被测电机相关数

据,人机界面记录并给出相应图表如图3~图5所示,提供结果给工程师做分析。

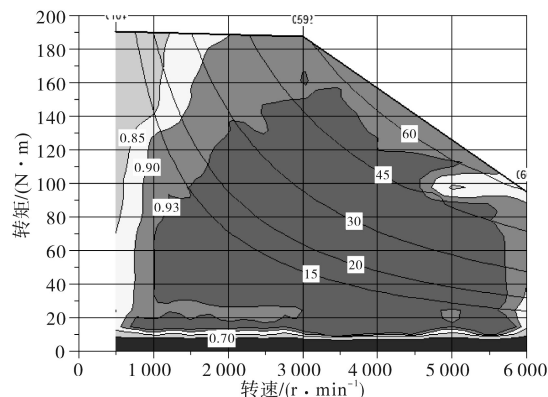


图3 转速转矩输出外特性 MAP 图(高线图、云图)

Fig.3 Diagram of speed torque output external characteristics MAP

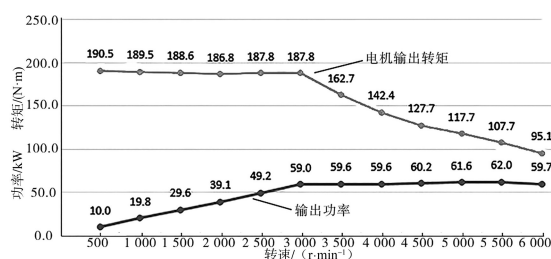


图4 额定正向电动外特性曲线

Fig.4 Rated positive electric external characteristic curve

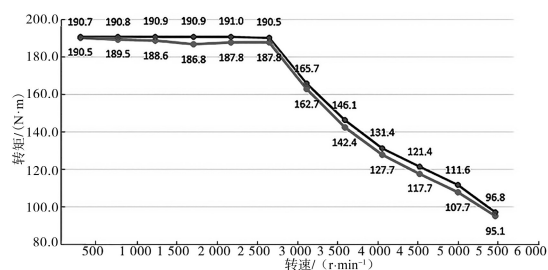


图5 转速—转矩误差曲线(正向电动)

Fig.5 Speed—torque error curve (forward electric)

2.1.2 试验方法二

被测驱动器采用国内某厂家的XXC11,IGBT采用国产XXX820PB8B3XX,待测(被测)电机采用75 kW国产4对极永磁同步电机。按照图2所示上台架连接好驱动器和电机,通过人机界面设置主机和待测电机参数,设定驱动器输出带载能力为75 kW,峰值功率160 kW,输出额定转矩120 N·m,峰值扭矩306 N·m,驱动器在输出额定功率下驱动电机转速为5 850 r/min,峰值功率转速5 000 r/min。设定水冷系统控制水温恒温60℃,水压(14±1) L/min。通过人机界面自动进行控制,驱动器控制采用SVPWM调制方式。在设定的控制

成额外损耗越高,所以应对线路的电流畸变率引起重视;谐波在变压器及配电网低压侧上引起损耗较大,应对配电网低压侧谐波污染及谐波引起变压器额外损耗问题引起重视;配电网中由谐波引起的损耗占基波损耗的比例较大,涉及经济损失额度较高,不可忽略,为了精益化管理线损,准确地指导配电网实际生产中的管理线损,应当考虑将这部分损耗计入到理论线损中。

参考文献

- [1] 朱伟,王大成. 上海电网线损精细化管理的技术与实践[J]. 华东电力,2010,38(10):1618-1620.
- [2] 孙晓武,施火泉. 背景谐波电压影响公共连接点谐波电流的研究[J]. 电气传动,2010,40(6):38-42.
- [3] 周京华,祝天岳,曾鹏,等. 电气化铁路牵引供电系统研究现状及关键技术[J]. 电气传动,2015,45(6):3-9.
- [4] 张琦,晋鑫,刘佳昊,等. 具有低入网电流谐波的组合光伏发电系统研究[J]. 电气传动,2019,49(11):51-56.
- [5] 赵志刚,史文军,王振,等. 不同频率激励下变压器铜屏蔽中涡流损耗的研究[J]. 电工电能新技术,2017,36(3):58-64.
- [6] 王释颖,赵莉华,卢孔实,等. 谐波电流作用下变压器损耗及绝缘寿命的计算[J]. 电力系统及其自动化学报,2016,28(7):

- 79-82.
- [7] 陈小飞,邱泽晶,王振宇. 谐波放大对配电电缆的损耗影响分析及谐波抑制技术研究[J]. 电力电容器与无功补偿,2016,37(6):76-81.
- [8] 王葵,李建超. 谐波电流对低压配电网的影响分析[J]. 继电器,2008,36(7):24-28.
- [9] Du Y, Burnett J. Experimental investigation into harmonic impedance of low-voltage cables[J]. IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 2000, 147(6):322-328.
- [10] 徐政,钱洁. 电缆电气参数不同计算方法及其比较[J]. 高压电技术,2013,39(3):689-697.
- [11] Zhang Bin, Liu Yong, Zhao Kuo, *et al.* Transformer loss calculation and analysis driven by load harmonic[C]//2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, 2011: 1394-1398.
- [12] 刘书铭,施红,冯蕾. 考虑集肤效应与邻近效应的变压器谐波损耗模型[J]. 电力自动化设备,2015,35(3):133-139.
- [13] 蔡国伟,孔令国. 基于频变特性的变压器谐波损耗分析[J]. 电网技术,2011,35(11):120-124.
- [14] 常炳双,辛健. 配电变压器经济运行模式的探讨[J]. 电网技术,2007,31(1):247-248.

收稿日期:2019-08-19

修改稿日期:2019-10-16

(上接第55页)

- [4] 杨旭. 电动汽车电机驱动系统实训台架设计及其故障试验[D]. 广州:华南理工大学,2017.
- [5] 王家校. 基于共直流母线的变频器对拖试验系统设计[J]. 电力电子技术,2014,7(48):10-12.
- [6] 范国伟,韩玉婷,史彦. 同步电机原理及应用技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2014.
- [7] 郑光泽,王振宇,王波. 永磁同步电机定子系统动态特性分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2019,6(33):53-58.

- [8] 陈丽香,潘敬涛,孙宁. 新能源汽车用永磁电机转子结构分析[J]. 电机与控制应用,2019,2(46):114-119.
- [9] 潘敬涛. 新能源汽车用永磁电机设计[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2019.
- [10] 柯意. 汽车变速器NEDC行驶工况台架试验研究[D]. 重庆:重庆理工大学,2017.

收稿日期:2019-09-18

修改稿日期:2019-10-18