

基于 LabVIEW 的共直流母线型电机测试系统

李晓航¹, 张文武², 王安敏³, 段俊勇³

- (1. 青岛钜洋信息工程有限公司, 山东 青岛 266041;
2. 中国海洋大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 266100;
3. 青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要: 详细介绍了基于 LabVIEW 的共直流母线型电机测试系统架构组成, 采用高精度高动态响应的 ASD 伺服驱动器, 选配合适的电流传感器与功率分析仪, 上位机 LabVIEW 与 MATLAB 结合绘制电机 MAP 图、外特性曲线, 上位机 LabVIEW 与 SQL 数据库建立联系, 共直流母线型系统优化了能量循环方式, 实现能量母线侧内循环。测试结果表明: 该系统功能全面, 可实现精准控制与测量, 可靠性高, 可用于 200 kW 以下的交流异步电机或永磁同步电机的性能及耐久性测试。

关键词: 电机测试系统; 系统架构; 共直流母线; LabVIEW

中图分类号: TM 306 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2019)09-0080-05

Common-DC-Bus Motor Test System Based on LabVIEW

LI Xiaohang¹, ZHANG Wenwu², WANG Anmin³, DUAN Junyong³

- (1. Qingdao Juyang Information Engineering Co., Ltd., Qingdao 266041, China;
2. College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;
3. College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: The architectural components of the common-DC-bus motor test system based on LabVIEW was introduced, the ASD servo driver with high precision and high dynamic response was adopted, and suitable current sensor and power analyzer were selected. The upper computer LabVIEW and MATLAB combined to draw the motor MAP figure and external characteristic curve. The upper computer LabVIEW established relationship with the SQL database. The common-DC-bus system optimized the energy circulation mode and realized internal circulation of energy on the bus side. According to the test results, the system had comprehensive functions, could achieved precise control and measurement, had high reliability, and could be used in the performance and durability tests of AC asynchronous motor or permanent magnet synchronous motor below 200 kW.

Key words: motor test system; system architecture; common-DC-bus; LabVIEW

0 引言

随着新能源产业的发展, 行业对产品的性能评价体系也将逐步完善, 测试技术的改进是完善评价过程的重要环节之一^[1]。电机测试技术在国外发展较早, 对三相异步电机性能试验的方法和

技术均比较成熟, 但是, 采用高速永磁同步电机作负载的案例比较少^[2-3]。目前, 国内的新能源汽车准入要求中明确规定整车厂须具备动力系统、驱动系统、控制系统集成测试能力、电子电控测试系统功能测试能力^[4-5]。对新能源汽车关键零部件厂商来说, 产品的开发需要进行大量的试验

作者简介: 李晓航(1989—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为现代机电控制技术与电力电子技术。

张文武(1965—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为计算机控制技术。

王安敏(1960—), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为现代机电控制技术。

证,不断的调整,电机与控制器的测试尤为如此。由于委外测试部门测试周期长,并且不能满足整车厂和关键零部件厂商灵活测试的要求,电机性能测试设备价格昂贵。针对以上亟待解决的问题,本文结合 GB/T 18488.1—2015《电动汽车用驱动电机系统 第1部分:技术条件》^[6]、GB/T 18488.2—2015《电动汽车用驱动电机系统 第2部分:试验方法》^[7],融入虚拟仪器和现代测试技术^[8],提出了基于 LabVIEW 的共直流母线型电机测试系统。该系统实现能量回馈,优化了能量循环方式,实现了能量母线侧内循环,能量利用率高,且节约了造价成本,实现可靠运行,满足电机性能测试的要求。

1 系统架构组成

基于 LabVIEW 的共直流母线型驱动电机测试系统架构如图 1 所示。主要包括 AFE 整流器、双向 DC/DC 调压源、ASD 伺服驱动器、冷却系统 1、冷却系统 2、负载电机、功率分析仪、T40B 转速转矩传感器、机械本体、操作台、LabVIEW 上位机、被测电机、驱动控制器等。

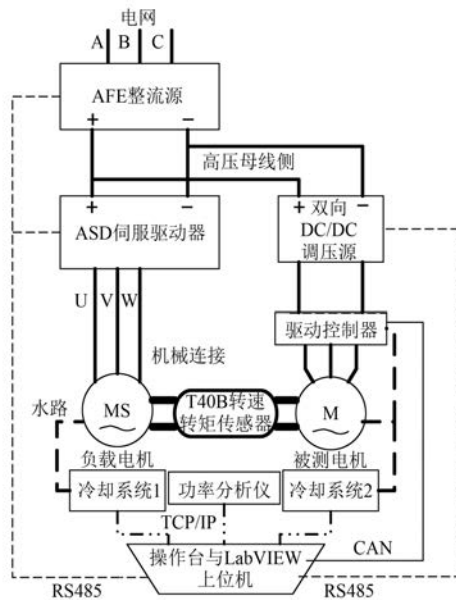


图 1 系统架构

图 1 中,AFE 整流器采用回馈型 AC/DC 整流,具备四象限运行功能,输出电压范围为 560~850 V 可调节;双向 DC/DC 调压源,采用全数字高频控制,输出响应快,输出电压范围为 24~

800 V;ASD 为四象限伺服驱动器,即可用于驱动永磁同步电机和交流异步电机,满足负载电机灵活配置增量式编码器、正余弦式编码器或旋转变压器等速度传感器;负载电机选取高速永磁电机^[2];操作台主要包括工控机、西门子系列 314PLC、西门子模拟量采集模块,PLC 通过以太网与冷却系统 1、冷却系统 2、功率分析仪建立通信,模拟量采集模块用于采集负载电机的轴伸端轴承、非轴伸端轴承、UVW 三相绕组以及被测电机绕组的温度,314PLC 通过 PROFIBUS-DP 转 485 模块与 AFE 整流源、ASD 伺服驱动器以及双向 DC/DC 调压源建立通信,PLC 采用模块化的编程思想,编程语言以形象、直观的梯形图为主,STL 语句为辅;冷却系统 1、冷却系统 2 具有恒温控制功能,即能快速冷却或加热;机械本体包括铸铁平台、减振器、R+W 波纹管以及防护罩等;LabVIEW 上位机通过 PRODAVE 与 S7-300PLC 通信,通过 CAN 通信模块与驱动控制器建立通信。

该系统架构采用共直流母线型,而非共交流母线型,优化了能量循环方式。DC/DC 调压源为驱动电机控制器提供可变宽范围的电压等级,适用于不同电压等级电机的测试。ASD 伺服驱动器不需要能量回馈电网,被测电机与负载电机一台处于电动状态,另一台则处于发电状态,电网只须补充系统损耗,能量在系统内部(AFE 整流源输出侧)循环使用,系统造价低,能量利用率高,没有谐波污染。

2 LabVIEW 上位机设计

在工控机上运行编写的电机测试软件程序来实现电机性能试验^[9],上位机界面分为上下两部分:上部分为当前转速、转矩、各类通信显示、故障显示以及迅速急停动作;下部分为一个双界面选项卡,分为驱动控制界面和数据采集曲线显示界面。驱动控制界面包括:负载端、被测端、整流调压系统以及冷却系统,如图 2 所示。相关的直接控制、数据采集、曲线显示界面,如图 3 所示,用于采集转速、转矩、直流电压、直流电流、系统输入功率、电机输入功率、电机输入三相线电压、三相电流、电机输出功率、系统效率、电机效率值,可以自动采集与手动采集。



图2 驱动控制主界面

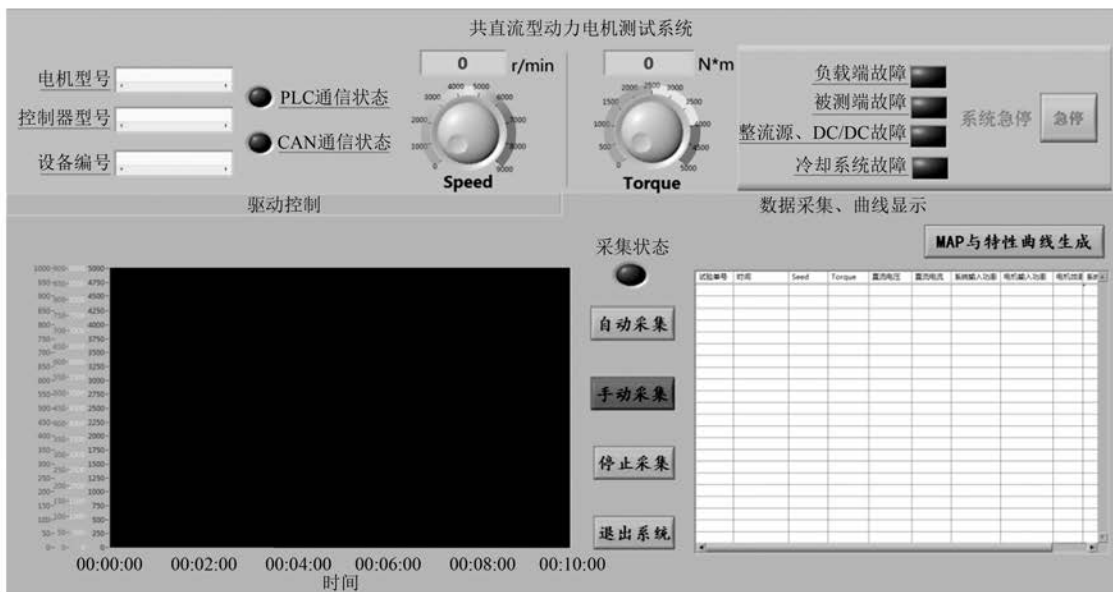


图3 数据采集、曲线显示界面

软件编写同样采用模块化的编程思想^[10],为灵活方便,上位机的被测端控制为开放式,只要不点击被测端按键,该模块就不使能。用户可以将被测端的控制分离出来。在后面板有多类保护措施,比如默认情况下,负载端采用转速模式、负载端采用转矩模式;若运行过程中出现飞车现象,系

统包含多类算法保护措施。

LabVIEW 上位机通过调用 PRODAVE MPI V6.0 的 DLL 动态链接库函数与 S7-300 PLC 建立连接,通信流程如图 4 所示。由图 4 可知,需要的硬件支撑是 CP5611 卡,从而实现对可编程逻辑控制器中的 DB 块进行读写,完成对共直流母线

型电机测试系统的监控,包括负载端的监控、整流源的监控、DC/DC 的监控、冷却系统的监控、功率分析仪数据的采集、PLC 通信等。

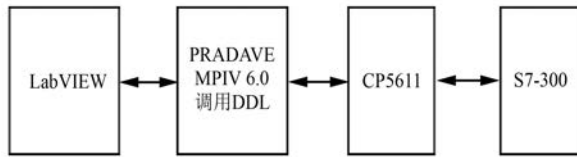


图4 通信流程

LabVIEW 提供的工具包具有多种封装好的 ADO 控件,将 LabSQL ADO functions 放在安装目录下的 instr.lib 中,通过一系列配置 ODBC 数据源管理器,与 SQL 数据库建立联系,测试通过完毕,就可以完成往数据库中插入输入数据、查询数据、删除数据等一系列操作。

测试完电机的外特性之后,被测电机及驱动器的有关数据会保存到 Excel 中,在点击数据采集、曲线显示界面中的 MAP 和特性曲线生成按钮,会弹出 MAP 云图与外特性曲线生成器,如图 5 所示。给上位机指定好数据路径,开发用户输入 MAP 云图名称,MAP 云图与外特性曲线生成器会有默认的因子 1~因子 10。因子 1~因子 10 为生成 MAP 云图的等高线,为开放式的,用户可根据需要的等高线进行设置。转速极值为电机的峰值转速,转矩极值为电机输出转矩的最大值,点击云图生成按钮会弹出 MAP 云图,点击曲线生成按钮,会弹出外特性曲线。使用 LabVIEW 与 MATLAB 的混合编程功能,在 LabVIEW 中调用 MATLAB 程序,从而完成电机 MAP 和外特性曲线生成功能。



图5 MAP云图与特性曲线前面板

LabVIEW 为图形化编程方式,直观灵活便捷高效,缩短了系统的开发周期^[11]。

3 测试数据分析

测试现场实物如图 6 所示。图 6 中,柜体排列从左到右依次是 AFE 整流源、ASD 伺服驱动器、双向 DC/DC 调压源,平台左侧电机为 200 kW 高速永磁负载电机,平台右侧电机为被测电机。基于 LabVIEW 共直流母线型驱动电机测试系统可完成的试验项目有反电动势测试、电动状态测试、发电状态测试、最高工作转速、电压波动外特性、温升特性测试、堵转测试、耐久性试验等,系统功能完善。



图6 被测电机实物图

以国内某知名企业的 1 台额定功率/峰值功率为 30/60 kW、额定转速/峰值转速 2 865/9 000 r/min、额定转矩/峰值转矩 100/230 N·m 的 8 极车用永磁同步电机为例,进行测试。图 7 所示为被测电机实物图。图 8 所示为做完外特性试验,采集数据后截取的部分实际数据。转速、转矩测量数据是通过 T40B 转速转矩传感器采集,驱动控制器输入电流、被测电机三相输入电流是通过高精度 LEM 电流传感器采集,系统选取致远 PA3000 功率分析仪。为了保证测量数据的准确性,所有数据为功率分析仪同一时间采集的数据,集体打包发送。通过采集的数据可以看出,ASD 伺服驱动器转速模式运行精度高、动态响应快,为系统的关键点之一。图 9 所示为被测电机在电动状态下运行,采集数据后生成的电机 MAP 云图,



图7 测试现场实物图

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
试验单号	时间	Speed	Torque	直流电压	直流电流	系统输入功率	电机输入功率	电机效率	系统效率	U_a	U_i	U_m	I_a	I_i	I_m	电机输出功率
SY-30	2018-8-14 下午 07:56:28	6999	28.1	335.7	67.5	22632.3	22349.8	92	90.9	232.6	230.5	232.3	61.1	60.3	61.9	20568.5
SY-30	2018-8-14 下午 07:56:36	6999	37.5	335.4	89.6	30030.1	29610.2	92.8	91.5	232.9	230.3	232.1	77.8	77	78.7	27465.8
SY-30	2018-8-14 下午 07:56:43	6999	46.8	335.2	111.4	37328.8	36790.2	93.2	91.9	233	230.1	231	94.3	93.8	95.4	34289.7
SY-30	2018-8-14 下午 07:56:49	6999	56	335	133.3	44623.4	44128.8	92.9	91.9	232.9	229.9	229.9	111.5	111.2	112.7	41012.1
SY-30	2018-8-14 下午 07:56:57	6999	65.5	334.7	156.1	52230.4	51479.3	93.2	91.9	233.4	230.4	229.4	128.9	128.9	130.3	47994.6
SY-30	2018-8-14 下午 07:57:02	6999	74.3	334.5	178	59505.8	58851.1	92.5	91.5	232.7	230.3	228	148	148.3	149.4	54454
SY-30	2018-8-14 下午 07:57:08	6999	84.3	334.2	203.4	67922.4	67121.8	92	90.9	232.5	230.4	226.9	171.4	172	173	61771.6
SY-30	2018-8-15 上午 08:06:57	6999	89.7	334	215.5	71921.1	71056	92.5	91.4	232.1	229.7	225.9	182.3	183.2	184.2	65736.5
SY-30	2018-8-15 上午 08:12:35	7998	25.8	335.5	71	23795.1	23352.9	92.6	90.9	235.8	231.9	233.4	69.7	70.1	71.1	21630.4
SY-30	2018-8-15 上午 08:12:42	7998	34	335.2	92.7	31067.1	30577.9	93.1	91.7	236	232.2	232.3	84.2	84.8	85.6	28477.4
SY-30	2018-8-15 上午 08:12:48	7998	42.3	335.1	114.9	38513.7	37991.6	93.4	92.1	234.8	231.3	230.3	100.1	100.8	101.4	35461.5
SY-30	2018-8-15 上午 08:12:55	7998	50.5	334.8	137.4	45996	45392.6	93.2	92	234.4	231.2	228.9	116.2	117.2	117.5	42323.6
SY-30	2018-8-15 上午 08:13:02	7998	59	334.6	160.7	53725.7	53125.5	93	92	234	231.8	228.1	133.3	134.7	135	49412.5
SY-30	2018-8-15 上午 08:13:08	7998	67.3	334.3	184.1	61520.4	60559.2	93.1	91.6	233.8	231.6	227	152	153.4	153.6	56397.2
SY-30	2018-8-15 上午 08:13:36	7998	78.2	334	217.3	72497.8	71241.1	92	90.4	231.6	231.7	225.1	184.1	185.6	185.4	65525.7
SY-30	2018-8-15 上午 08:19:26	8999	23	335.5	72.3	24246.7	23943.1	90.4	89.3	235.2	233.6	233.4	76.2	76.8	77	21655.9
SY-30	2018-8-15 上午 08:19:32	8999	30.3	335.4	94.3	31605.4	31289.9	91.3	90.4	235.5	233.2	232	89.7	90.3	90.6	28561.1
SY-30	2018-8-15 上午 08:19:38	8999	37.5	335.1	115.2	38942.2	38518.4	91.8	90.8	234.7	233.6	231.9	103.7	103.9	104.3	35355.5
SY-30	2018-8-15 上午 08:19:45	8999	44.5	334.9	137.6	46070.1	45379.5	92.5	91.1	232.5	232.5	229.3	118.6	118.6	118.8	41958.5
SY-30	2018-8-15 上午 08:19:52	8999	51.3	334.6	159.1	53207.1	52533	92.1	90.9	232.5	232.8	229	133.7	133.9	133.9	48366.9
SY-30	2018-8-15 上午 08:19:58	8999	59	334.4	183.7	61409.4	60451.9	92	90.5	232.3	233.2	227.7	152.3	153.1	152.6	55588.5
SY-30	2018-8-15 上午 08:20:04	8999	65.9	334.1	206.4	68906.8	67749	91.7	90.1	231.4	233.7	227.9	172.5	173	172.4	62094.4
SY-30	2018-8-15 上午 08:20:25	8999	68.5	334	216.2	72154.3	70904.8	91.1	89.5	231.7	234.4	227.7	182.3	183.3	182.6	64588.3

图8 截取的部分实际测试数据

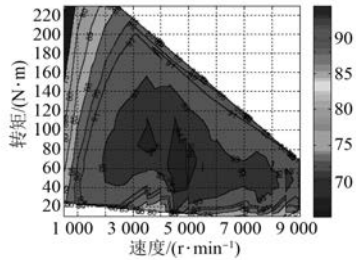


图9 MAP云图

可以清晰查看被测电机的高效区。图10所示为此被测电机理论设计和实际测试的外特性曲线对比。上位机 LabVIEW 与 SQL、MATLAB 结合,可以非常直观地反映数值曲线等。

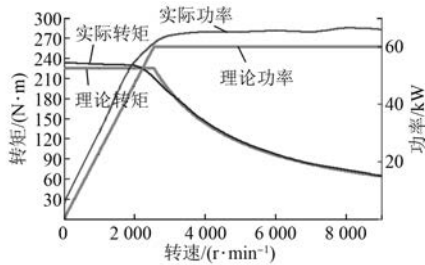


图10 外特性曲线

4 结 语

本文对电机测试系统进行了阐述,并基于 LabVIEW 的共直流母线型电机测试系统进行了测试。测试结果表明:该系统优势明显,相比共交流母线型测试系统,节省了1台双向 AFE 整流源,并且优化了能量循环,实现了能量内循环。ASD 伺服驱动器转速模式运行精度高、动态响应快,基于 LabVIEW 的上位机设计,开发周期短,与 MATLAB 结合,生成电机 MAP 云图和外特性曲线,与 SQL 数据库建立连接,保存系统数据,成本

优势明显。多套系统良好的运行结果表明,基于 LabVIEW 的共直流母线型电机测试系统能够精确完成对 200 kW 以下新能源异步电机或永磁同步电机的性能及耐久性测试,比其他测试设备功能全面。未来将继续完善系统,为该行业领域的发展贡献一点力量。

【参考文献】

- [1] LEVI P, SCHANZ M, AVRUTIN V. Modeling and analysis of a simple manufacturing-oriented multi-agent system [J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 1999, 5(1): 35.
- [2] 陈慧涛. 基于 LabVIEW 陀螺电机自动化测试系统设计研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [3] 陈子凯. 工程电机及其电测器测试系统的设计与研发 [D]. 厦门: 集美大学, 2011.
- [4] 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.
- [5] 王记磊, 杨坤, 王杰, 等. 新能源汽车动力电机测试平台设计 [J]. 汽车工程学报, 2017, 7(6): 407.
- [6] 电动汽车用驱动电机系统 第1部分: 技术条件: GB/T 18488.1—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [7] 电动汽车用驱动电机系统 第2部分: 试验方法: GB/T 18488.2—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [8] 殷国富, 杨杰斌, 赵雪峰, 等. 面向现代制造的先进测试技术及其发展趋势 [J]. 中国测试, 2010, 36(1): 1.
- [9] 闫伟. 基于虚拟仪器的电动汽车电机测试系统 [D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [10] 杨萍. 电机综合性能测试系统的研究与设计 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.
- [11] 卫建华, 景晶晶, 李晓东, 等. 电机综合测试系统 [J]. 国外电子测量技术, 2018, 37(11): 95.

收稿日期: 2019-05-07