

电力测功机动态测试平台系统

徐萍萍, 宋建国, 王雁峰, 刘 红, 沈光地
(北京工业大学 电子信息与控制工程学院, 北京 100022)

摘 要: 为了测试电动汽车电机驱动性能, 开发了一台高性能电力测功机测试系统, 该系统使用他励直流发电机负载电机和可工作在4个象限的高性能控制器, 实现了电机转速的闭环控制, 配备了高性能的转矩传感器和全数字化的数据采集系统, 实现了对异步电机、直流电机、永磁无刷电机、永磁同步电机及相应控制器的动、静态性能测试。

关键词: 测功机; 动态测试; 转矩测量

中图分类号: TP 29

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2007)06-0582-05

测功机可分为电涡流测功机、水力测功机、磁粉测功机及电力测功机等4类, 最常用的是电涡流测功机和电力测功机, 前者是靠发电的方式产生阻转矩, 不能回馈电网, 只能测试驱动电机或内燃机静态性能; 而电力测功机本质是一个可工作在4个象限的电动机, 从电动到制动的切换时间也较快, 再配上高性能的转矩传感器, 即可测试电驱动系统的动态性能。本测试平台以直流电机为负载电机, 转矩传感器采用HBM的T10F, 实现了测试驱动电机动态指标的目标。

1 直流测功机工作原理分析

电力测功机实际上是一个发电机, 它将内燃机或电动机发出的机械能转变成电能, 通过测定反扭矩和转速便可测得内燃机的扭矩和功率。电力测功机可采用直流发电机, 也可采用交流发电机。直流电力测功机的工作特性是由直流电机的工作特性决定的, 具有负荷和转速调节范围大、工作性能稳定、动态响应快、测量精度高、低速大扭矩的特点。图1是直流他励电机结构示意图^[1-2]。

直流电机作为发电机和电动机运行时, 二者电磁转矩的作用是不同的。发电机的电磁转矩是阻转矩, 稳定运行时被测电机的转矩 M_1 必须与发电机的电磁转矩 M 和空载摩擦转矩 M_0 相平衡, 即

$$M_1 = M + M_0$$

同理, 当直流电机工作在电动模式时, 被测电机工作在回馈制动状态, 则直流电机的电磁转矩 M 也必须与制动转矩和空载摩擦转矩 M_0 相平衡, 即

$$M = M_1 + M_0$$

在实际情况中, 由于 M_0 较小, 通常可忽略不计, 根据电机输出转矩公式

$$M - M_1 = J \frac{d\omega}{dt}$$

只要电机转速达到稳态, 即可得到 $M = M_1$, 电磁转矩可通过转矩传感器测到。负载直流电机工作在转速

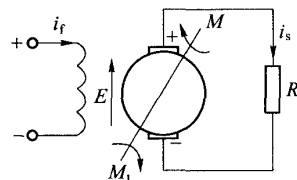


图1 直流他励电机结构示意图

Fig.1 Separately excited DC motor's framework

闭环下,并可在4个象限任意切换,被测驱动电机则工作在转矩闭环下.这样即可实现在同一根传动轴上,通过被测电机控制转矩的大小,负载电机控制转速,保持整个电机工作稳定.

2 系统组成

本电机试验台架可进行最大功率为160 kW、最高转速为7 000 r/s的性能测试,测试内容包括静态功能测试和动态功能测试两大类.

静态测试功能可进行的实验包括:

- 1) 单向电源供电(整流柜供电)时,测量电机在各稳定速度下的稳定转矩;
- 2) 电池组供电时,除了测试在各转速下的电动转矩,还测量电机被拖曳时在稳定速度下的制动转矩;
- 3) 对被测电机控制器的输入/输出电流、电压及功率进行有关测量及分析,通过 LEM 功率分析仪进行信号的频谱分析;
- 4) 测量堵转时的电动机输出转矩.

动态测试功能主要是进行常见工况模拟实验($T-n$),转矩-转速曲线在操作界面上事先设定,无需手动调节.从而对电机控制系统能进行一个自动测试,扩展了测试系统的功效.

测试平台由机械联接系统、电气系统和计算机数据采集处理系统3部分组成,原理如图2所示:整个系统采取的控制模式是被测电机为转矩闭环控制系统,后端的直流负载电机为转速闭环控制系统.以被测电机是交流电机为测试对象来说明系统的工作原理:单向整流电源产生幅值可调的直流电,逆变器将直流电逆变成三相交流电给电机供电,用转矩/转速传感器测量电机的输出转矩和转速;减速器用来降低前端被测电机的转速,他励直流电机是工作在4个象限自动切换的转速闭环模式下,由于控制器是双向可逆的,可以将电机发的电回馈至电网,产生一个阻力矩与被测电机发出的电磁转矩相平衡,实现电机转速的一个稳态^[3-4].

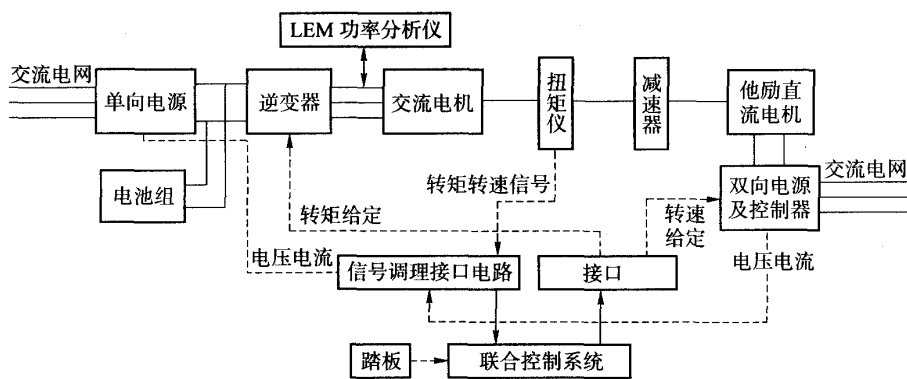


图2 电力测功机系统组成

Fig.2 Electric dynamometer framework

2.1 机械联接系统

机械联接系统全部固定在基座上,如图3所示.由于受测量、加工及安装精度的限制,不同的旋转部件连接时不可避免地会产生轴心不对中,因此,在实际系统中均采用柔性联轴器连接不同的旋转部件.驱动电机的转速可以达到6 000~10 000 r/min,所以对暴露在外的高速旋转部件必须安装安全防护装置,以保证机械运转安全.另外,变速箱在机械传动过程中起到了协调负载电机和驱动电机之间最高转速的作用^[5].

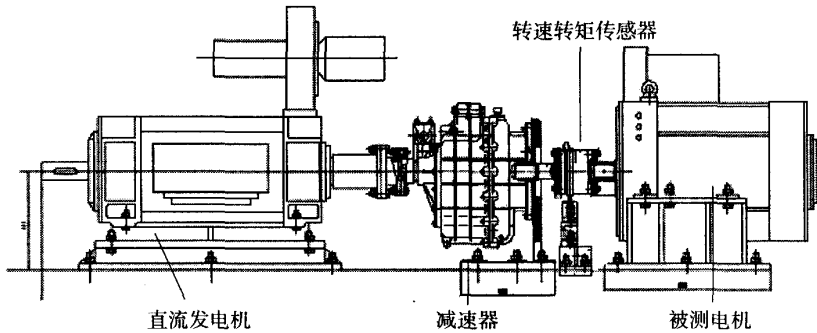


图 3 电力测功机机械结构图
Fig.3 Electric dynamometer mechanical framework

2.2 电气系统

电气设备主要包括开关柜、隔离变压器、可控整流设备、负载直流电机、有源逆变设备等,系统通过开关柜接入电网,隔离变压器完成电网到整流设备的升压隔离,同时可以减少试验设备对电网的干扰,整流设备为变频电机提供直流电源,直流发电机和逆变设备用于调节变频电机负载,并将能量回馈电网,系统原理如图 4 所示^[6-7]。

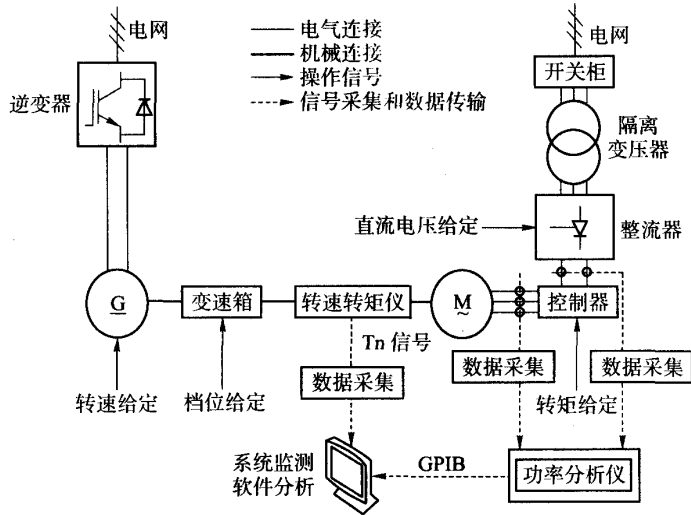


图 4 电力测功机电气组成
Fig.4 Electric dynamometer electric structure

2.3 测试系统数据采集及分析系统

测试系统硬件包括转速转矩仪、工控机、操作台、变频器测试装置等,其中工控机和操作台共同完成对试验设备和测试对象的集中监控和调节,而变频器测试装置则用于实现变频器的谐波分析、效率计算等复杂功能。测试系统软件基于 LabView 软件平台开发,负责数据采集板卡控制、信号采集、分析处理、在线显示、数据存储等工作,软件系统结构简单,功能齐全,使用方便。软件的硬件平台为研华工控机,软件系统包括开机界面、CAN 转矩接收程序、稳态测试程序和动态测试程序 4 部分,如图 5 所示^[8]。

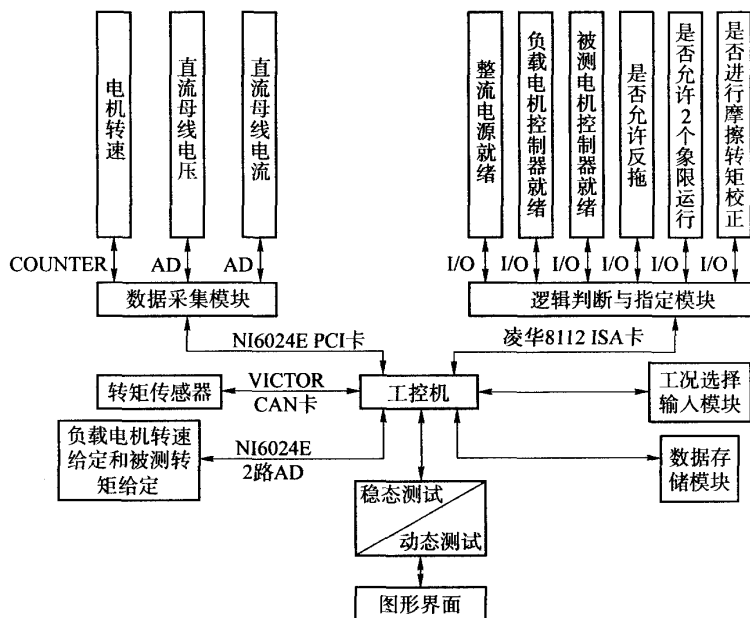


图5 软件系统框图

Fig.5 Software system framework

3 实验结果及分析

下面以某型号交流电机驱动系统的测试结果来说明该测试平台在动态测试能力的实际效果。

在参照北京市公交大客车工况实验循环的基础上,抽取电机转矩、转速与时间的对应关系,做出循环工况图,如图6所示。对于负载电机,电位器给定电压值为3.3 V时,对应的转速为2000 r/min,在整个调速范围内,给定电压与转速呈线性关系。对于被测电机而言,给定电压为2 V时,对应的输出转矩为287 N·m,但由于存在着恒功率的弱磁调速,故在整个调速范围内,给定电压与转矩呈非线性关系。从图6看出,电机转速变化比较剧烈,给定时间间隔是0.5 s,1个循环周期为1 ks。

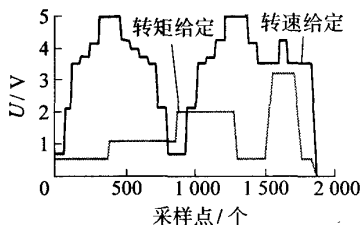


图6 给定转矩-转速曲线

Fig.6 Reference torque-speed given curve

图7是实际转速和转矩响应曲线。从图7(a)可以看出,实际的电机转速与给定曲线形状相吻合,而且

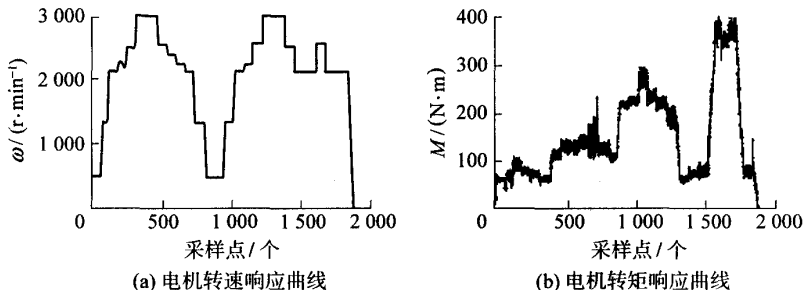


图7 电机响应曲线

Fig.7 Motor response curve

响应迅速;图 7(b)是转矩传感器实测的转矩响应,可以看出,该电机控制系统实际转矩有一个大的波动,从而说明了这个测试平台在动态测试方面的能力。

图 8 是某驱动电机的一个阶跃响应的测试结果,在 t 时刻以前,被测电机给定转矩为 $10\text{ N}\cdot\text{m}$,电机转速为 1000 r/min ,在 t 时刻给被测电机一个阶跃参考信号,在 2 个点的时间间隔内(0.5 s),转矩从 $10\text{ N}\cdot\text{m}$ 达到 $100\text{ N}\cdot\text{m}$,而负载电机转速只是有一个略微的变化。

目前该系统的动态测试能力是最快时间间隔为 0.25 s ,该系统已满足大部分动态测试的要求。

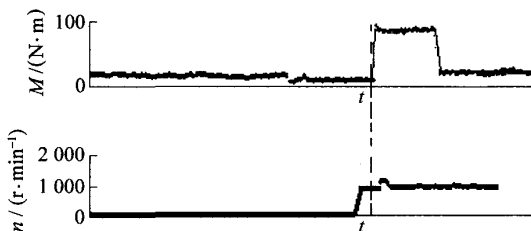


图 8 被测电机转矩阶跃响应

Fig. 8 Motor torque step response

4 结束语

从实验结果来看,该测试平台具有较高的动态特性,完全满足电驱动系统性能的测试。电力测功机的直流负载电机也易于控制且维护方便,应用也很广泛,在电力测功机领域占有重要的地位,配以高性能的转矩传感器可以获得较好的性能指标。

参考文献:

- [1] 顾绳谷. 电机与拖动基础(上,下)[M]. 北京:机械工业出版社,1995.
- [2] 王耀德. 交直流电力拖动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,1994.
- [3] 蒋强,张光辉. 基于计算机的电力测功机自动测控系统[J]. 机械,2002,29(5):51-55.
JIANG Qiang, ZHANG Guang-hui. The auto-measurement and control system of electric ergograph based on computer[J]. Mechanism, 2002, 29(5): 51-55. (in Chinese)
- [4] 刘建国,魏彦. 交流电力测功机励磁控制系统研究[J]. 机电工程技术,2005,34(5):48-51.
LIU Jian-guo, WEI Yan. Research on excitation control system of AC electrical dynamometer[J]. Mechatronics Engineering Technology, 2005, 34(5): 48-51. (in Chinese)
- [5] 张树军,任京乐,吉学东. 立式直流电力测功机的研制[J]. 小型内燃机与摩托车,2001,30(4):44-45.
ZHANG Shu-jun, REN Jing-le, JI Xue-dong. Development of vertical DC dynamometer[J]. Internal Combustion Engine Research Institute, 2001, 30(4): 44-45. (in Chinese)
- [6] 杨家强,黄进. 交流变频电力测功机的控制和实现[J]. 浙江工业大学学报,2006,40(4):620-623.
YANG Jia-qiang, HUANG Jin. Control and implementation of alternating current variable-frequency power dynamometer[J]. Journal of Zhejiang University, 2006, 40(4): 620-623. (in Chinese)
- [7] ISAO Takahashi, YUICHI Ohmori. High-performance direct torque control of an induction motor[J]. IEEE Transactions on Industry Application, 1989, 25(2): 257-264.
- [8] 杨乐平,李海涛. Labview 程序设计与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2001.

Dynamic Testing Platform of Electric Dynamometer

XU Ping-ping, SONG Jian-guo, WANG Yan-feng, LIU Hong, SHEN Guang-di

(College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: This platform is designed for measuring drive characters of motor-driven vehicles. The separately excited DC motors are used to act as load motor, with high-efficiency-motor controller, it can run smoothly at any quadrant. The electric dynamometer includes high performance torque sensor and all digital data sampling system. The system can process AC motor, DC motor, BLDC motor and PMSM motor's static and dynamic character's measurement. It can provide a valid tool for testing EV's motor driving system.

Key words: dynamometer; dynamic testing; torque measurement