

定子端三相电压、电流信号进行长时间的采集、保存、显示和分析,可以有效的观察和分析启动、正常运行及故障状态下矢量控制系统的有效性和快速性。

本测试系统的测试对象是一套感应电机矢量控制开发装置,如图2所示。矢量控制算法由控制板上的一片 TMS320LF2407A 完成。相电流 i_A 和 i_B 分别通过两个电流变送器检测,经滤波后送入 DSP。电机的转速信号由一个 512 线的光电编码盘测量,经电平转换后送入 DSP 的正交编码脉冲电路。

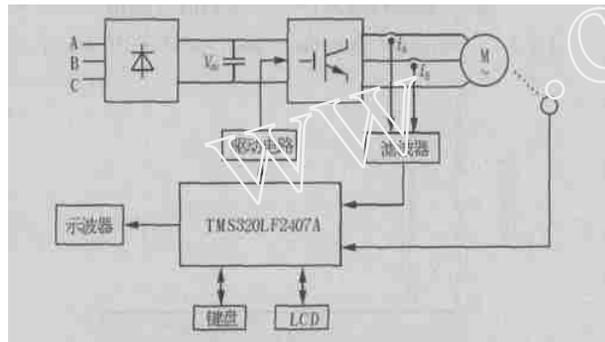


图2 基于DSP的感应电机矢量控制系统

Fig.2 Vector controlled induction motor system based on DSP

2 虚拟仪器测试系统

为了记录、分析感应电机的实际运行效果,需要对定子端三相电压、电流等信号进行同步采集、保存、显示和谐波分析。该虚拟仪器测试系统硬件由前端信号调理板、数据采集卡和系统机构成。根据虚拟仪器软件体系结构 VISA (Virtual Instrumentation Software Architecture) 主要包含的两个层次,需要进行设备驱动程序的设计和运用虚拟仪器开发环境进行用户应用程序的开发。图3为虚拟仪器测试系统结构框图。

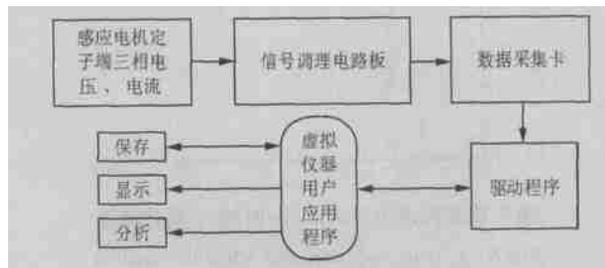


图3 虚拟仪器测试系统结构框图

Fig.3 Block diagram of test system structure of virtual instrument

2.1 仪器硬件设计

感应电机定子端三相电压、电流信号经交流电压互感器和交流电流互感器引入,先在信号调理电

路板进行隔离、放大、滤波的处理。因为来自互感器的电信号与数据采集卡输入不匹配,易受环境噪声干扰而存在一些尖峰信号^[3],为避免出现混叠现象,必须首先进行信号调理才能被数据采集卡可靠精确地测量。

本文设计的计算机 ISA 总线数据采集卡为 12 位 16 路的同步数据采集卡,它采用 4 片模拟器件公司(ADI)的四通道 12 位同步数据采集芯片 AD7874,该芯片全部四通道采样频率为 29 kHz;占用两个中断号,用跳线设置为 IRQ10 和 IRQ11,占用 I/O 端口地址为 0x280 至 0x29f。

2.2 虚拟仪器的应用软件开发

本文选择 Windows 2000 作为本测试系统开发的操作系统,选择 WinDriver 作为数据采集卡设备驱动程序的开发工具;选择 LabVIEW 作为虚拟仪器开发环境,进行用户应用程序的设计。

用 WinDriver 开发的设备驱动程序在用户态下通常能捕捉到 5 k ~ 10 k 次/s 的中断,可见对大多数的工程应用,WinDriver 的用户态模式足够应付。在 Windows2000 下,先用 WinDriver 生成设备驱动框架代码,并改写使之驱动 AD7874 数据采集卡工作,再用 VC6.0 将其封装成动态连接库,使其能够与 LabVIEW 交换信息。

LabVIEW 是专门用于虚拟仪器开发的图形化软件编程平台,在这个平台上,提供了一种像数据流一样的编程模式,用户只要连接各个逻辑框图即可构成程序。同时,还以图形方式提供了大量的波形显示和信号分析处理程序库,利用此软件平台可大大缩短虚拟仪器测控软件的开发时间,而且在这个平台上用户可以建立自己的测试方案^[4]。

本虚拟仪器测试系统能实现的功能包括:

- 1) 同步采集多路电压、电流信号,动态测量频率可达 25 kHz,能满足对瞬态电流的测试要求。
- 2) 可选择多种灵活的方式进行显示。分别显示三相电压(电流),一同显示三相电压电流,一相电压(电流),一相滤波后电压(电流),一相电压(电流)幅频,一相电压(电流)自功率谱,并且能自动变换坐标轴以获得最佳的显示效果。
- 3) 实时保存电压、电流、幅频特性、自功率谱。数据存储量很大,理论上可以达到计算机硬盘的存储量,使长期监测感应电机的运行工况成为可能,尤其是对故障状况的记录非常有用。

4) 强大的数字信号处理功能包括数字滤波、FFT、功率谱分析,为谐波分析提供了强有力的工具。可同步进行,也可对保存的数据进行数字信号

处理。

5) 能对保存的数据进行回放,支持滚动回显和光标,便于观察和直接读取数值。

本文采用模块化的设计方法,将虚拟仪器用户程序分为与上述功能对应的五个模块:数据采集模块、数据显示模块、数据保存模块、数据分析模块和数据回放模块。用户程序界面美观、操作方便、分析处理功能强大,并且可以根据实际测试需要对其进行灵活修改。本虚拟仪器用户应用程序前面板界面图如图4所示。

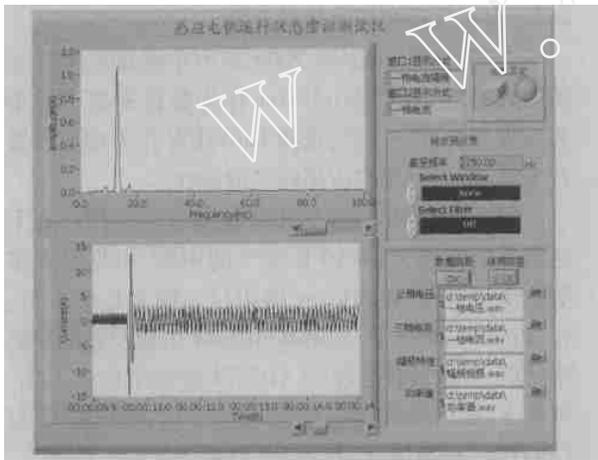


图4 虚拟仪器用户应用程序前面板界面图

Fig. 4 User program interface of the virtual instrument

3 应用及实验结果

本次实验的实验装置包括一台4 kW、380 V、3对极、50 Hz的感应电机、感应电机矢量控制开发装置和一套本文介绍的基于虚拟仪器技术的感应电机矢量控制的测试系统。感应电机的负载是一台3.7 kW的发电机。

实验结果如下列各图所示。图5是感应电机稳态转速为250 r/min时的 i_A 波形,在 $t=0$ s到 $t=10.5$ s内电机处于静止励磁阶段, $t=10.5$ s时启动,然后迅速进入稳态;其幅频特性见图6,基波是12.5 Hz,在基波附近有两个幅值较大的谐波;图7是转速从250 r/min突然加速到500 r/min时的 i_A 波形,目的在于模拟故障情况下的 i_A 波形。图8是稳态转速为500 r/min时的 i_A 的幅频特性,用于比较稳态转速为250 r/min的 i_A 的幅频特性。图9是数字示波器存贮的稳态转速为800 r/min时的 i_A 波形,用于和本测试系统记录的波形进行比较。

由图7和图9可以看到:本测试系统可以记录几分钟乃至更长时间的波形;而数字存贮示波器在5 k samples/s采样率下只能存储2 s的波形,无法存

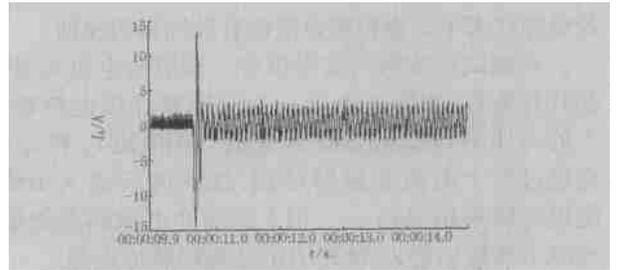


图5 稳态转速为250 r/min时的 i_A 波形

Fig. 5 i_A waveform when the rotation speed is 250 r/min

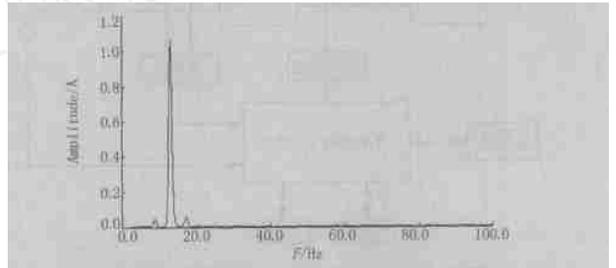


图6 稳态转速为250 r/min时的 i_A 幅频特性

Fig. 6 i_A magnitude response when the rotation speed is 250 r/min

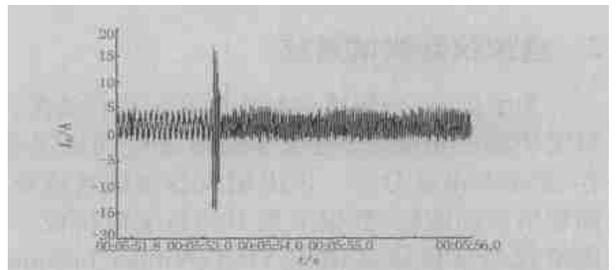


图7 转速增大时的 i_A 波形

Fig. 7 i_A waveform when the rotation speed turns up

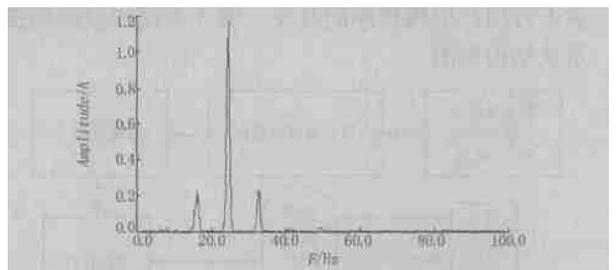


图8 稳态转速为500 r/min时的 i_A 幅频特性

Fig. 8 i_A magnitude response when the rotation speed is 500 r/min

储如此大量的数据,这是本系统的显著优点之一。本文之所以选择数字存贮示波器作为比较对象,是因为它已经得到了相当广泛的应用,能保存一定量的波形,实验结果具有说服力。而现有测试仪器,如模拟示波器等的性能普遍还不及数字存贮示波器,所以没有列入本次实验的比较对象。

通过图5、图7以及和图9的比较说明:本测试

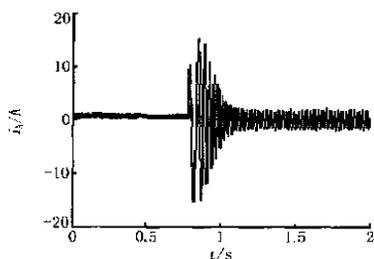


图9 数字示波器存储的稳态转速为 800 r/min 时的 i_A 波形

Fig. 9 i_A waveform when rotation speed is 800 r/min stored by a digital oscilloscope

系统的动态反应性、实时显示效果和智能性都良好,能同步准确的反映感应电机矢量控制的电流波形。

由图 6 和图 8 可以看到:稳态转速增大后,电流的谐波将加大。下列分析的是谐波加大的一个原因:两台感应电机连在一起时需要同心,否则电机旋转起来后负载转矩就会不稳定。这样在转速控制系统中,为了保持转速恒定,就必须输出一个与负载一致的转矩,此时,由于负载转矩是个与转速成比例的脉动转矩,转速越高,负载转矩脉动越大,电机输出的电磁转矩脉动越大,所以电机电流的脉动也越大,所以谐波也就越大。通过这个分析,进一步证明了本虚拟仪器测试系统的正确性。

4 结论

本文介绍的基于虚拟仪器技术的感应电机矢量控制的测试系统成功地解决了感应电机的运行工况测量、保存和分析问题,从其研制过程和实验结果来看,可以得出下列结论:

1) 该测试系统能同步采集、实时保存、在线显示多路信号,示波方式灵活方便;数据回放功能丰富,可以对波形进行数字滤波、FFT、功率谱分析等多种数字信号处理。相对于数字存储示波器和现有

测试仪器,显示出强大的数据存储、显示和分析能力,有很强的优越性。

2) 该测试系统方案确定,硬件制作和软件开发具备完备性和准确性,获得良好的测试效果。

3) 整套测试系统成本低廉、可靠实用,具有良好的性价比。

与数字存储示波器和现有测试仪器相比,该虚拟仪器测试系统功能强大,大容量的数据保存能力尤其突出,操作方便、安全,不仅可用于感应电机矢量控制的测试,也可用在涉及电流大而且变化比较剧烈的场合,如电机的启停或负载突然发生变化、短路及变压器的运行等试验的测试中。

参考文献:

- [1] 雷绍充 (LEI Shao-chong). 电机启动的虚拟仪器测试系统 (Starting Test System for Electric Machine by Using Virtual Instrument) [J]. 中小型电机 (S & M Electric Machines), 2001, 28(6): 52-54.
- [2] Peter Vas. Sensorless Vector and Direct Torque Control [M]. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- [3] Shaw S R, Leeb S B. Identification of Induction Motor Parameters from Transient Stator Current Measurements [J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 1999, 46(1): 139-149.
- [4] 杨乐平,等 (YANG Le-ping, et al). LabVIEW 高级程序设计 (LabVIEW Advanced Programming) [M]. 北京:清华大学出版社 (Beijing: Tsinghua University Press), 2003.

收稿日期: 2004-01-13; 修回日期: 2004-02-27

作者简介:

吴俊 (1979 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为数字信号处理器在电机运行工况检测中的应用; E-mail: wujurcqu@sohu.com

刘和平 (1957 -), 男, 教授, 研究方向为电力系统保护与控制、智能仪器与自动化测试系统, 数字信号处理器在电力系统测控中的应用。

Test system for vector controlled induction motor drive based on virtual instrumentation

WU Jun, LIU He-ping

(College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In the research of vector controlled induction motor, the signals during induction motor starting and running need to be sampled, stored, displayed and analyzed. However, digital oscilloscopes and current measurement instruments have limits both in sampling rates and storages, so a test system based on virtual instrumentation for vector controlled induction machine drive is introduced to solve these problems. The application of this test system is described with examples and the test result is presented. Additionally, the relationship between stator current harmonics of induction motors and the coaxial degree of electric machines is analyzed. The test system has a good dynamic response, real-time display and intelligence, which can reveal the current waveforms in vector controlled induction motor drive synchronously and precisely.

Key words: virtual instrument; induction motor; vector control