

风电机组传动链测试平台数据采集系统设计

风电机组传动链测试平台要实现对齿轮箱、风力发电机和风电变流器等机组传动链关键部件运行状态的测试评估,测试项目多且信号采集复杂。根据传动链测试项目及其特征参量完成了系统测试量部署,设计了一套基于PXI平台的数据采集系统,实现测试平台中电气量、载荷量、温度以及振动噪声等多种信号的同步采集与数据处理,通过在100 kW风电机组传动链测试平台实验,验证了设计的数据采集系统能够很好地满足风电机组传动链测试需求。

李丰林¹ 胡书举¹ 吴涛^{1,2} 孟岩峰^{1,2} / 1.中国科学院电工研究所
2.中国科学院大学研究生院

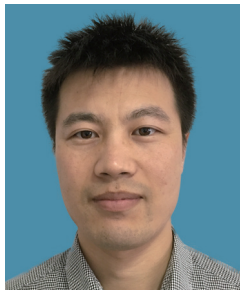
0 引言

风电机组传动链作为机组的核心部分,其故障率一直居高不下,且其故障停机时间长、维修成本高,因此为确保机组性能满足要求,在机组下线前可以通过传动链测试平台进行全面的测试。风电机组传动链测试平台包含由齿轮箱、风力发电机和风电变流器等关键部件构成的被测系统以及由拖动变频器、拖动电动机和加载装置等部件构成的测试系统。美国、德国和丹麦等国家针对风电机组传动链地面测试技术的相关研究,建设了功能非常完善的国家级大功率风电机组传动链地面测试平台,最大功率等级已达15 MW,这些测试平台为传动链的检测和认证等提供了有效的技术手段,目前国内还没有建立针对大型风电机组全工况模拟的传动链地面测试平台,部分企业建设有兆瓦级风电机组传动系统测试平台,但功能相对简单,主要用于对自身研发的产品进行拖

动试验,在测试平台功能、工况模拟技术及地面测试方法等方面存在较大差距^[1-3]。数据采集系统是风电传动链地面测试平台进行测试研究的重要部分,一方面需要对包括测试平台拖动模拟装置、载荷加载装置以及电网模拟器等传动链测试系统进行运行状态与参数的监测,了解实证测试系统运行状态是否满足设计要求的相关运行指标,为大型风电机组传动链的设计参数提供参考;另一方面还需要实现对由齿轮箱、风力发电机和风电变流器等关键部件组成的被测传动链运行参数进行实时测量获得传动链实时运行状态^[4],同时对运行数据进行采集存储,以便进行后期分析处理。目前针对平台数据采集系统缺乏相关材料为国内测试平台的建设作参考,本文根据风电机组传动链测试平台的测试需求完成了测试参量部署,并设计了相应的数据采集系统。

1 平台测试量部署

风电机组传动链测试平台需要完成传动链的振动测试、噪声测试、电气性能测试和功能性测试等基本性能测试,还要进行调频测试、电网电压频率支撑测试等电网适应性测试,以及一些极端工况的测试,每种测试项目涉及了多个部件多种状态信号,因此测试平台测试量需要针对平台要完成的相关测试内容进行布局,测试平台部署的主要测试量如下表所示,测试量涵盖了拖动模拟装置、载荷加载装置和电网模拟器等传动链测试系统以及齿轮箱、风力发电机和



李丰林/助理研究员

关键词/Keywords

风电机组传动链·
测试平台·
数据采集·
PXI·

国家科技支撑计划资助项目(2015BAA07802)。

风电变流器等被测传动链核心部件，测试量是表征部件运行特性的重要参量。传动链进行的每一项测试都需要对多种信号进行同步采集处理，以了解每种工况下多种运行特性及其之间的相互影响。

表 测试平台测试量

部件	测试量
拖动模拟装置	拖动电动机径向加速度、电动机噪声和变频器供电功率
联轴器	高速轴径向位移、低速轴径向位移
加载装置	轴向加速度、径向加速度、噪声和油液系统温度
电网模拟器	三相输出电压电流
齿轮箱	输入轴扭矩与弯矩、输出轴扭矩与弯矩、齿根应力、径向轴向加速度、轴向位移和油液系统温度
发电机	径向加速度、转速和噪声
风电变流器	三相定子电流、三相转子电流、三相并网电压电流、母线电压和温度

2 数据采集系统硬件设计

2.1 系统硬件架构

风电机组传动链实证测试系统的数据采集系统硬件设计如图1所示，系统的电气、载荷、转速、振动噪声和温度等通过电压电流传感器、应变电桥、位移传感器、加速度传感器、噪声传感器以及铂电阻等传感器获取，并通过屏蔽线缆传输至电压采集卡、应变采集卡、温度采集卡以及计数器模块等，采集卡对相应的信号进行调理、A-D转换，传输给采集仪主机，采集仪主机通过背板总线与多种采集卡进行信号的同步以及数据传输，并通过以太网与上位机进行数据的通信交互，上位机实现对采集系统的采集设置、采集控制、数据的实时监测以及同步处理存储。

2.2 多信号采集设计

2.2.1 采集仪主机

采集仪主机作为数据采集的核心，要实现电气量、载荷量、振动噪声以及温度等多种类型采集卡信号的同步采集，运行实时采集软件，实现海量数据实时处理与存储，根据功能需求，采集仪采用美国国家仪器基于PXI的测量系统，是一种

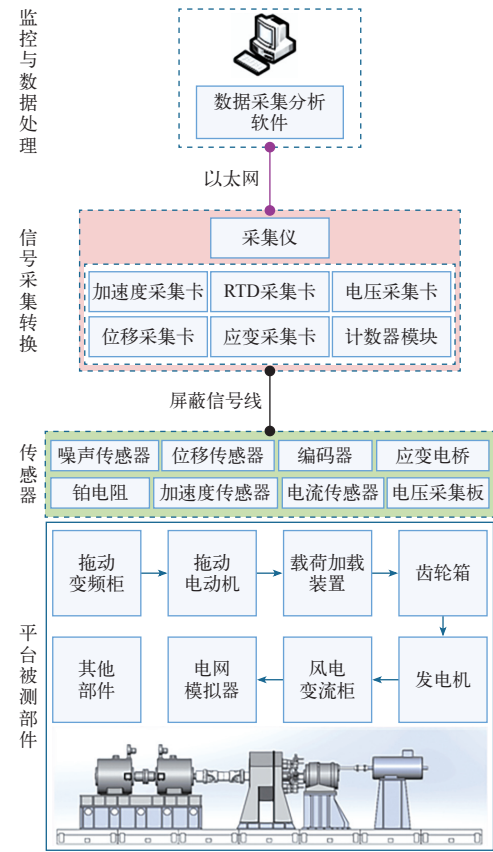


图1 数据采集系统硬件设计框图

坚固且基于计算机的平台，PXI结合了PCI的电气总线特性，增加了专门的同步总线和主要软件特性^[5]，PXI总线具有132 MB/s的峰值带宽在多个设备之间分配，背板总线能够满足高速采集卡信号采集传输的带宽需求，总线上不同的采集卡能够相互通信，PXI增加了集成定时和同步功能，用于内部选择同步时钟和触发器路径^[6-7]，基于PXI的平台适合多种类型信号的采集，保证实时数据的处理。

2.2.2 电气量采集

风电变流器、风力发电机和电网模拟器等部件都需要进行相应的电气量采集，电气参量采集硬件框图如2所示，在测量电压时，被测电压通过电阻与莱姆电压传感器连接，输出电流与被测电压成正比，可以测量交直流电压，这样通过传感器，可以把强电电压信号隔离采集，转换为与强电电压信号成正比的弱电电流信号。在测量电流时，需要测量交直流电流，通过传感器转换为

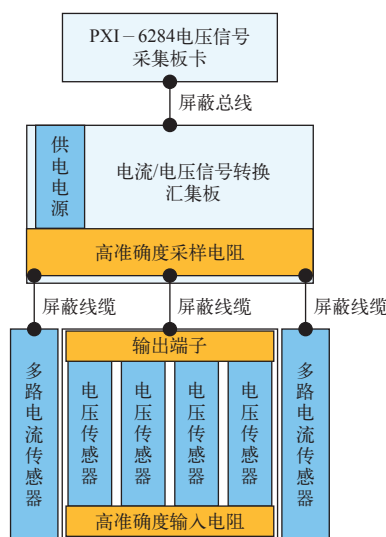


图2 电气参量采集硬件框图

与大电流信号成正比的弱电流信号，输出电流与被测电流成正比。由于电流信号抗干扰能力强、传输距离远，通过电压传感器与电流传感器得到的电流信号经屏蔽线传输到电流/电压信号转换汇集板，由于需要对信号进行50次谐波分析，因此不对信号采集过程低通滤波处理，经过采样电阻把电流转换为电压信号采集板卡能识别的电压信号，通过屏蔽接线盒接入PXI-6284电压采集卡进行采集与转换。

2.2.3 载荷量采集

齿轮箱的载荷量包括扭矩、弯矩以及应力等参数，统一采用应变电桥进行信号采集，因为应变电阻随产生的应变成正比变化，进行应变测量必须能够准确测量极微小的电阻值变化，为了测量如此微小的电阻变化，几乎都采用带电压激励的电桥形式，根据测量误差容许范围以及测量的便携性，应变信号的采集采用了1/4桥和全桥两种方式。应变电桥输出通过可热插拔TB-4330前置接线盒接入PXI-4330应变/桥采集卡，支持速度为102.4 kS/s的1/4桥和全桥传感器。

2.2.4 振动噪声采集

齿轮箱、风力发电机以及联轴器等部件的振动噪声信号通过位移传感器、加速度传感器以及噪声传感器采集，通过屏蔽线缆接至PXI-4472B

通用动态电压采集卡上进行信号调制处理与模数转换，采集卡集成了用于加速度计和麦克风的集成电子压电信号调节功能，具有内置抗混叠滤波器，采样率达到102.4 kS/dB，当设备处于交流耦合状态时，低频段频率可以达到0.5 Hz，满足风电机组低频振动测试需求，加速度、位移以及噪声传感器都是基于压电原理的，振动噪声的测试容易受到噪声的影响，可以通过合理将系统接地的方法来减少影响，也可以对信号进行适当的调理或将传感器接地的方法，来避免环形接地和浮地。

2.2.5 温度采集

齿轮箱油液系统以及风力发电机等部件的温度信号采集采用电阻温度探测器（RTD），RTD输出通过可热插拔TB-4357前置接线盒接入PXIe-4357温度信号采集板卡。RTD是一种被动测量设备，因此必须为其提供激励电流，然后读出跨越其端子的电压，可通过简单的算法将读出的电压值转换为温度值，RTD输出信号的典型值为毫伏量级，因而极易受到噪声的干扰，PXIe-4357温度信号采集板卡集成了数据采集与信号调理，因此可以直接接入2线、3线或者4线RTD。温度参数属于缓变信号，因此对该参数的采集可以使用低通滤波器消除工频以上干扰信号，保证测量的准确性。

3 数据采集处理软件

3.1 软件架构

通过数据采集卡采集到的传感器信号在采集卡内部被数字化以后，通过数据采集处理软件实现数据处理、显示和存储。数据采集处理软件以LabVIEW软件包为基础进行开发，数据采集软件程序流程主要包括采集通道初始化和采集参数设置，基于生产者/消费者设计模式的数据采集与处理，基于时间标识的数据存储以及系统资源释放和错误程序处理，软件程序的功能流程图如图3所示。

数据采集前需要完成硬件初始化和采集参数设置等工作，这些工作均可通过LabVIEW特有的NI-DAQmx驱动内的函数快速完成，比如采集模式、采样速率、通道特性、量程、单次采样点数

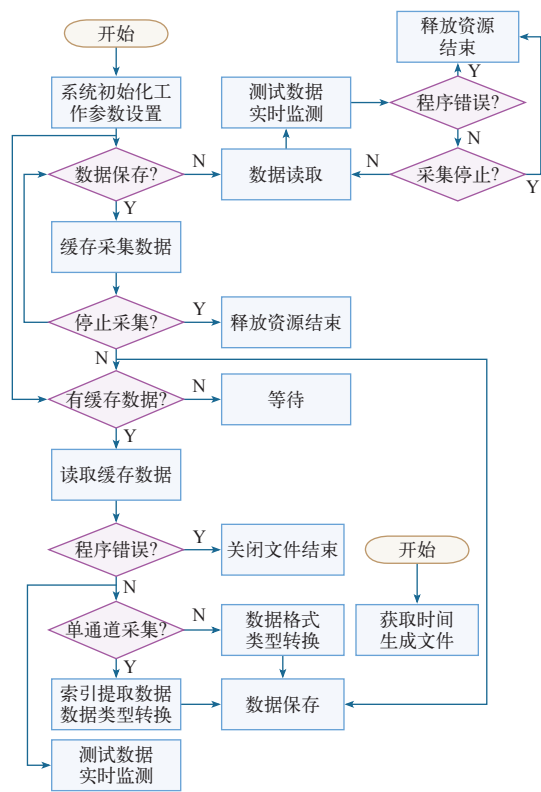


图3 数据采集软件程序流程图

以及触发条件等。

由于数据采集软件既要实现数据的采集，又要实现数据的存储，且数据采集速度要快于数据存储速度，因此采用基于生产者/消费者循环模式，基于多循环架构的生产者/消费者一个循环用于“生产”数据，其他循环则用于“消费”这些数据，并通过列队的方式进行通信和数据缓存，从而提高不同速率多个循环之间的数据共享能力，以避免在同一个循环中前一批采集的数据还没处理完，后一批采集的数据即使在已准备完毕的情况下却无法接收。

数据采集时如果每次都输入存储文件名不但费时费力，而且容易误操作，覆盖原有文件，因此采用时间标识采集数据存储文件是一种非常有效的做法。

3.2 多板卡数据同步采集

采集系统要实现电气量、载荷量、温度以及振动噪声等多种信号的同步采集与数据处理，集成了多个采集板卡，因此程序上要实现多板卡数

据的同步采集，由于程序中每种I/O都可以建立不同类型的任务，每个任务均可以实现单个板卡内包含多个通道的目标采集，各个板卡的任务互相独立，只需将定时参数从一个任务扩展到另外一个任务即可实现。整个同步程序应该包括通道设置、定时设置、同步、发送触发及采集数据等几个关键部分。当需要进行多个设备及多个板卡进行同步采样时，只要为每个设备创建一个任务，然后将采样时钟和触发信号从一个任务连到另外一个，由此即可同步多个设备，实现多个设备的采集同步，图4为多个板卡同时进行采集时程序框图。

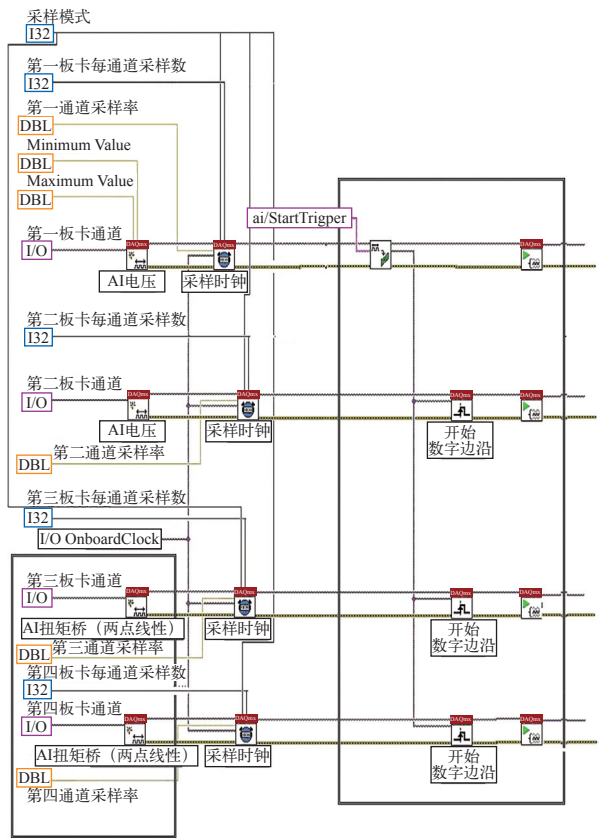


图4 多板卡同步采集程序

4 实验测试

在现有的100 kW风电机组传动链测试平台搭建了设计的数据采集系统，100 kW测试平台包括拖动模拟装置、载荷加载装置和电网模拟器等测试装置以及由齿轮箱、风力发电机和风电变流器等风电传动链，构成了完整风电传动链测试平台

以及被测传动链,在完成相关的传感器、信号线路、信号转换板、采集板卡以及采集仪器的部署安装后,运行风电机组传动链测试平台,对双馈风电机组运行参数进行状态监测,风电机

组运行在额定功率时采集信号如图5所示,对双馈风电机组运行参量进行采集并与传统示波器采集的数据进行对比,验证了数据采集系统设计的有效性。

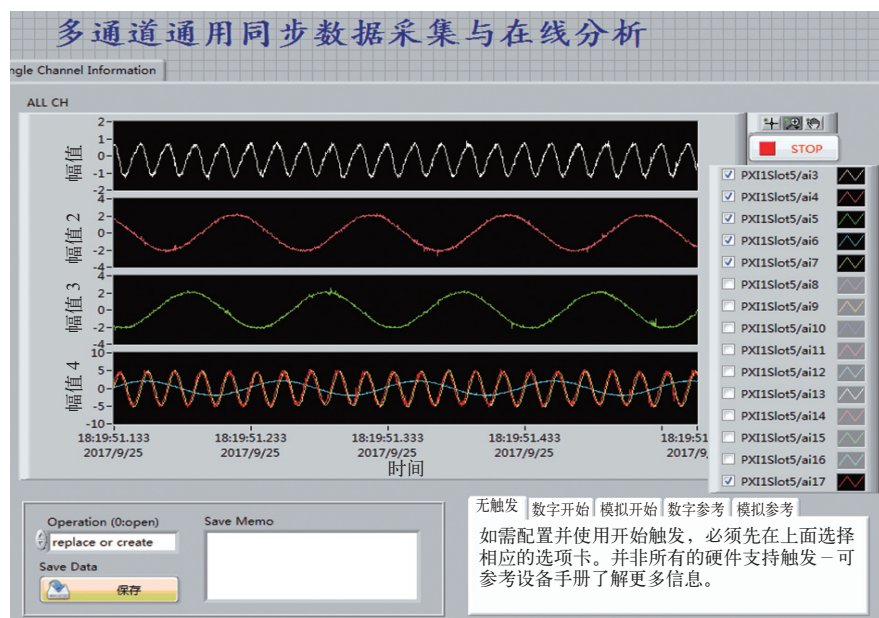


图5 数据采集系统实验结果

5 结束语

为实现风电机组传动链测试平台自身运行状态监测并完成齿轮箱、发电机和变流器等机组传动链关键部件的运行状态的测试评估。根据传动链测试项目,给出了风电传动链测试平台关键测试量,提出了基于PXI平台的电气量、载荷量、温度以及振动噪声等多种信号的同步采集与数据处理的软硬件设计方案,实验结果也验证了设计方案的可行性,设计的数据采集系统为风电机组传动链振动测试、噪声测试和电气性能测试等性能测试提供数据支撑,同时也为我国大型风电机组传动链地面测试平台数据采集分析系统的设计提供参考。

参考文献

- [1] Sheng S. Report on wind turbine subsystem reliability—a survey of various databases [R]. NREL/PR-5000-59111. National Renewable Energy Laboratory, 2013.
- [2] Schkoda Ryan F, Fox Curtiss. Integration of

mechanical and electrical hardware for testing full scale wind turbine nacelles [C]. 2014 Clemson University Power Systems Conference, PSC 2014.

- [3] 孟岩峰, 胡书举, 李旭, 等. 应用于动模试验系统的风电模拟技术研究 [J]. 电工技术学报, 2016, 31 (3): 130-137.
- [4] Link H, Keller J, Guo Y. Gearbox reliability collaborative phase 3 gearbox 2 test plan [R]. NREL/TP-5000-58190. National Renewable Energy Laboratory, 2013.
- [5] 刘睿, 郑玮, 等. 基于PXI Express的托卡马克同步数据采集系统设计 [J]. 原子能科学技术, 2014, 48 (1): 170-174.
- [6] 龙华伟, 伍俊, 等. LabVIEW数据采集与仪器控制 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.
- [7] 范利军, 王永杰, 等. 基于LabVIEW和PXI的某装备组合故障诊断系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (12): 4089-4092.

(收稿日期: 2017-10-12) EA