

基于虚拟仪器的高压电缆工频参数测试技术的应用

论述了一个基于虚拟仪器技术的电缆参数测试仪的设计要点，硬件平台采用基于光纤的数据采集系统，包括远端采集和近端接收装置，其中远端采集装置提供三相电压电流的同步实时高精度的信号采集并通过光纤发送，近端采集装置将光纤转换数字信号后通过USB端口发送到计算机处理。运行软件采用LabVIEW平台开发，使用的技术包括数字滤波技术、相位测量技术、功率测量技术等。

经过实践检验，硬件平台选用光纤技术不仅为远程测量提供了解决方案，而且独有的隔离技术，极大地提高了小信号测量精度和稳定度。再加之虚拟仪器的处理方式，较之传统仪器，提供了更丰富的测量信息、友好的操作界面以及离线数据分析等功能。

周利军 王媚 李海 陈越超 叶頔 陈佳/国网上海市电力公司检修公司



周利军/高级工程师

0 引言

如今，基于计算机处理平台的虚拟仪器技术方兴未艾，除了日新月异的计算机硬件处理技术外，数字信号处理技术的快速发展与应用将极大助推了这项新兴技术在各个行业的发展。区别于传统仪器，虚拟仪器更好的为用户提供了基于自定义的柔性处理技术，这项技术不仅体现在用户可以灵活地添加需要的软件处理模块，而且可以随着技术发展不断更新仪器的功能。

1 虚拟仪器技术

1.1 移动式电缆检修平台及电缆参数测试仪发展简介

随着社会现代化的发展，电力电缆

在发供电系统和广大用电企业中使用越来越频繁，正因为如此，电缆安全运行至关重要。如何对电缆进行日常维护，以及一旦发生故障迅速定位，始终是重要的课题。

由于电缆维护往往涉及高压领域，使用的检修设备繁多，导致检修电缆程序相对笨拙，而且电缆故障要求定时定点完成排故，在极短时间内完成检修，对整个工程提出了挑战。

基于此，改进电缆检修平台越来越成为可预期的解决方案之一。重点是，除了建立一个移动式的车载式的平台，能够容纳检修设备，同时提供适宜的人工操作空间外，至关重要的是改进检修设备，以符合移动式要求。

电缆检修中，电缆参数测试是最基本但也是关键的测试项之一，如何改进以适合移动式检修的需求，成为越发重要的课题。

传统的电缆参数测试，往往涉及到多个模拟表头，不仅接线变换复杂，而且需要多个人员的合作操作，并将测试记录在案，随后登录到信息系统。这个过程中，既涉及了仪器的精确性，而且人员的操作带来的间接误差，也不能忽视。故此，替换测量表头的数字检测设备开始开发并应用。

最新的数字电缆参数测试仪表往往基于嵌入式开发的独立仪器，能够完成各项电缆参数测试，并自动完成测试报告。由此，数字化的发展简化了测量步骤，而且提高了测试的可靠性。

随着信息化的需要，对电缆参数测试

关键词/Keywords

虚拟仪器 ·
光纤 ·
电缆参数测试 ·
LabVIEW ·

测试仪提出了新的要求,仪器本身需要提供信息的快速通道。基于此,基于计算机的电缆参数测试仪就应运而生。但是,考虑到现场应用环境复杂性,仪器的便捷性需要与计算机结合应用,这样才能符合实际需求。

如今,虚拟仪器技术应用发展如火如荼,其信息化特征正好符合以上需求。考虑到此,基于分布式采集系统的数字电缆参数测试仪应运而生。

1.2 虚拟仪器技术的发展

美国国家仪器公司NI (National Instruments) 提出的虚拟测量仪器 (VI) 概念,引发了传统仪器领域的一场重大变革,使得计算机和网络技术得以长驱直入仪器领域,和仪器技术结合起来,从而开创了“软件即是仪器”的先河。其特征主要体现在以下4方面。

(1) 性能高

虚拟仪器技术是在PC技术的基础上发展起来的,所以完全“继承”了以现成即用的PC技术为主导的最新商业技术的优点,包括功能超卓的处理器和文件I/O,使您在数据高速导入磁盘的同时就能实时地进行复杂的分析。此外,不断发展的因特网和越来越快的计算机网络使得虚拟仪器技术展现其更强大的优势。

(2) 扩展性强

NI的软硬件工具使得我们不再受限于当前的技术中。这得益于NI软件的灵活性,只需更新计算机或测量硬件,就能以最少的硬件投资和极少的、甚至无需软件上的升级即可改进整个系统。在利用最新科技的时候,我们可以把它们集成到现有的测量设备,最终以较少的成本加速产品上市的时间。

(3) 节约时间

在驱动和应用两个层面上,NI高效的软件构架能与计算机、仪器仪表和通讯方面的最新技术结合在一起。NI设计这一软件构架的初衷就是为了方便用户的操作,同时还提供了灵活性和强大的功能,使我们轻松地配置、创建、发布、维护和修改高性能、低成本的测量和控制解决方案。

(4) 无缝集成

虚拟仪器技术从本质上说是一个集成的软硬

件概念。随着产品在功能上不断地趋于复杂,工程师们通常需要集成多个测量设备来满足完整的测试需求,而连接和集成这些不同设备总是要耗费大量的时间。NI的虚拟仪器软件平台为所有的I/O设备提供了标准的接口,帮助我们轻松地将多个测量设备集成到单个系统,减少了任务的复杂性。

1.3 基于虚拟仪器分布式系统的应用

经典的虚拟仪器技术从集中式测控起步,核心是基于计算机运行平台的采集装置以及运行在计算机上的测控软件,以实现仪器的各项功能。

随着技术的发展,分布式采集系统体现了更多的优势。即采集装置不运行在计算机上,而是独立的设备运行在外部,通过协议的总线传回给计算机,再由运行在计算机上的软件进行数字信号处理后显示相关结果。

对于移动式检修平台的应用,分布式采集系统更符合实际需求。实际运行时候,操作人员将移动式采集设备可带离控制中心,放置于现场测试点,接完相关测试线后,就可远离现场到控制中心完成。这样的方式,不仅仅提高了测量精度,而且极具灵活性,符合移动式要求。

考虑到检修电缆处往往处于高压领域,基于光纤收发结构分布式系统体现了无可比拟的优势。

以下,就基于虚拟仪器技术的电缆参数测试仪分两部分介绍,一部分是基于光纤的分布式硬件的实现,另一部分是基于LabVIEW平台的测试仪的开发。

2 基于光纤的电缆参数测试仪实现 (如图1)

2.1 远端采集装置的设计

主要按功能分为不同子板,包括信息处理底板以及电压电流调理板,板子之间通过电气互联。其中,信息处理板完成模拟采集和数字控制以及光纤收发,而电压电流调理板完成对三相电压电流的调理。如图2。

2.1.1 基于电池的低功耗设计

作为分布式系统,电源供给由电池完成。所以,设计开始就需要考虑到低功耗准则。

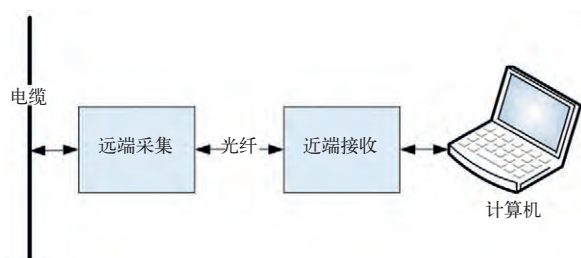


图1 基于光纤的电缆参数测试仪实现

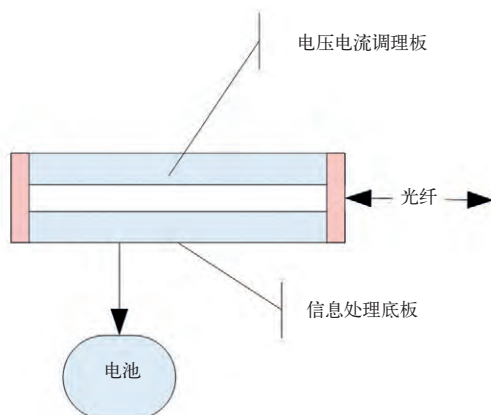


图2 远端采集装置

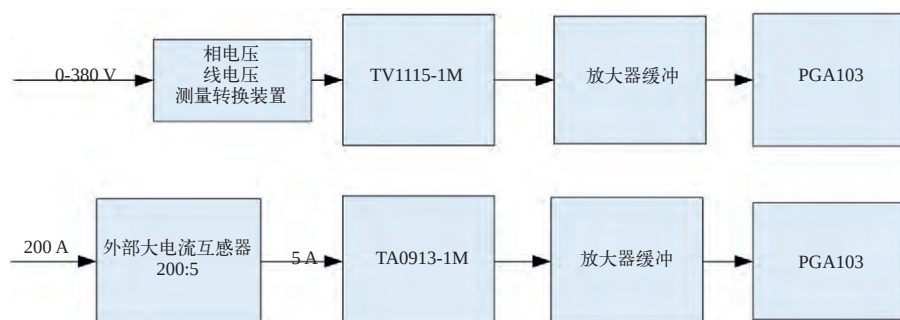


图3 基于电池的低功耗设计

如图3，其中调理部分还包括相电压与线电压测量的转换切换，主要实现程控测量线或相电压。由于电缆参数测试的时候，涉及到小电压大电流的测量、大电压大电流测量以及大电压小电流测量，所以测量的动态范围比较大。故设计时采用了程控放大器进行必要的信号放大处理。

2.1.3 基于FPGA的同步采集设计

电缆参数测试要求对三相电压电流同时采集，以避免相位损失带来功率测试的误差。故，设计的时候，采用了同步采集芯片AD7606。

AD7606是一款16位，200 KS/s,双极性输入，8通道同步模数转换芯片，已广泛应用于电能质量

电源实现主要在信息处理底板，设计时，采用极低静态电流的电源芯片，提供系统所需要的各种电源。本设计中采用了LT1763系列低功耗电源变换芯片，其中所产生正负电源由LTC3260完成，其提供理想的低纹波输出，并同时具备低功耗性能。

2.1.2 电压电流调理技术设计

电缆的三相电压电流接入核心采集芯片之前，需要进行相关调理。调理的目的是将0~380 V（线电压）及0~200 A范围内的相电流调理成标准信号，同时尽可能减少相位损失。如图3。

本系统设计时，电压调理采用精密交流电压互感器TV1115-1M，其主要特性是提供<0.1%非线性度及<5'相移，并提供高隔离度，保证采集装置的安全性。电流采集的时候，外部采用0.2%级的200:5的电流互感器，调理成5 A电流信号后，再接入内部精密交流电流互感器TA0913-1M，其主要提供<0.1%非线性度及<5'相移，并提供高隔离度，保证采集装置的安全型。

分析仪上。如图4。

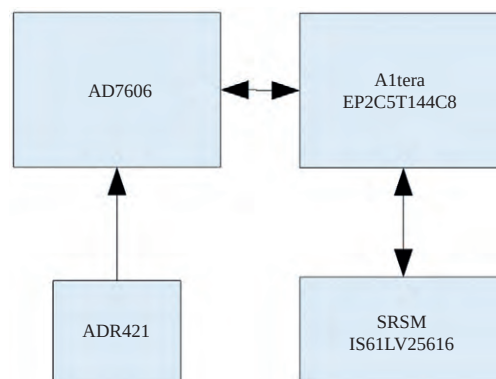


图4 基于FPGA的同步采集设计

AD7606的时序控制由Altera系列的FPGA实现，完成采集后，将数据存入SRAM。

AD7606的参考源由高精度的ADR421实现，以符合高精度的要求。

2.1.4 光纤收发技术设计

光纤的收发装置采用HFBR系列，其中发送采用HFBR1414，采集采用HFBR2416，采用经典的收发电路，如图5所示。

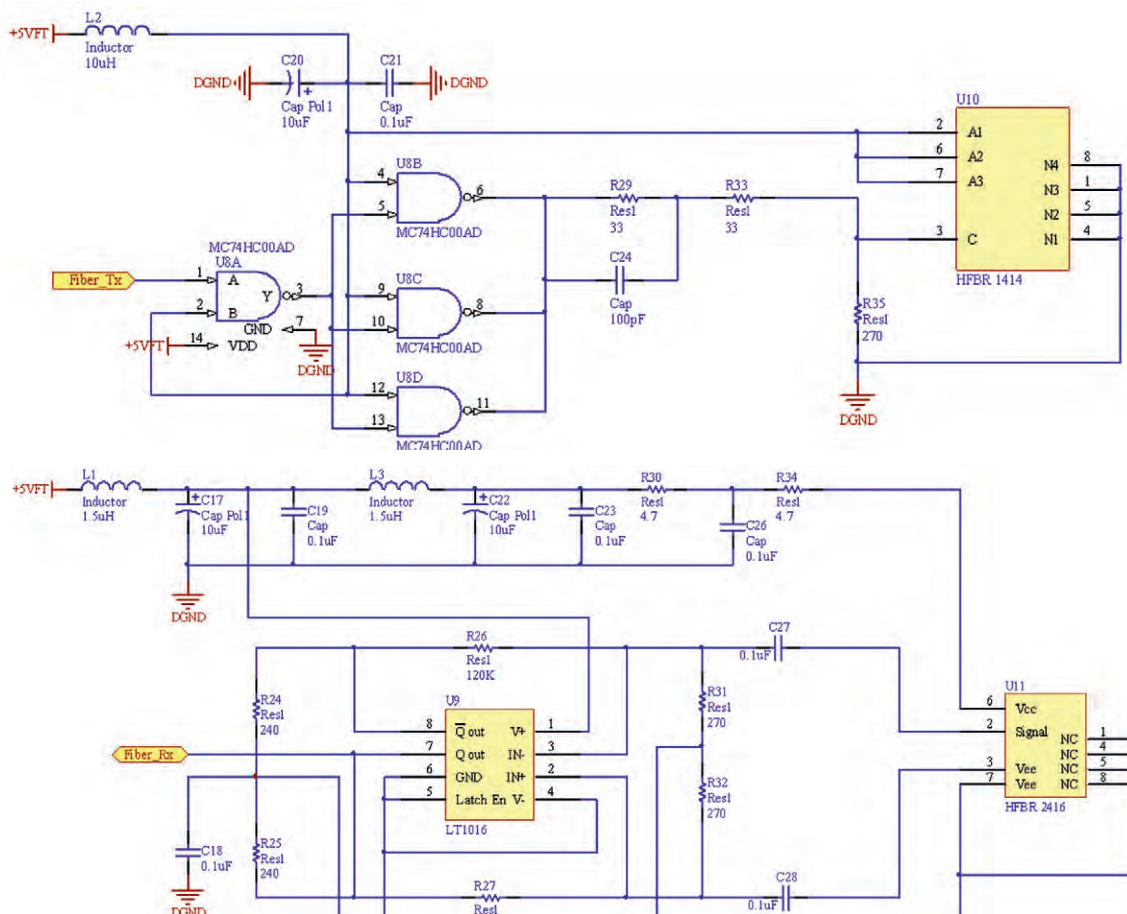


图5 光纤的收发装置

经过实践证明，此收发装置高速，功耗低，可靠性高。

2.2 近端接收装置的设计

由远端通过光纤发送过来的信号，需要转换为计算机可接受的总线形式，以便进行采样信号的复现。

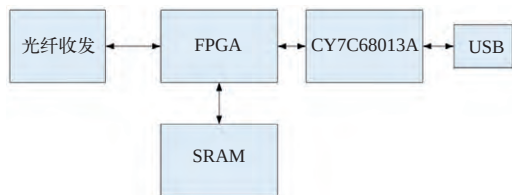


图6 近端接收装置

如图6，其中控制的核心是FPGA，将光纤收发信号通过解析后，存入SRAM，然后通知CY7C68013A

读取数据，将数据通过USB发送给计算机。

2.2.1 基于CY7C68013A的USB传输技术设计

CYPRESS公司EZ-USB FX2LP系列的CY7C68013A单片机，它主要包括USB2.0收发器、智能串行接口引擎（SIE）、增强型8051微处理器、16 KB的RAM、4 KB的FIFO存储器、地址和数据总线、I/O口、I²C控制器和通用可编程接口（GPIF）。

CY7C68013A提供USB2.0完整高速协议，并提供开发固件，适合应用于USB传输开发。

2.2.2 基于LabVIEW平台的CY7C68013A固件开发

CYPRESS公司提供了CY7C68013A的固件代码，但并没有适用于LabVIEW的驱动，所以系统

需要为此开发必要的驱动。设计时，将在VC平台下，调用固件，并完成dll封装。然后在LabVIEW里建立相关驱动代码，以供给上层应用。

3 基于LabVIEW平台的软件设计

LabVIEW是一种程序开发环境，由美国国家仪器（NI）公司研制开发，类似于C和BASIC开发环境，但是LabVIEW与其他计算机语言的显著区别是：其他计算机语言都是采用基于文本的语言产生代码，而LabVIEW使用的是图形化编辑语言G编写程序，产生的程序是框图的形式。LabVIEW软件是NI设计平台的核心，也是开发测量或控制系统的理想选择。LabVIEW开发环境集成了工程师和科学家快速构建各种应用所需的所有工具，旨在帮助工程师和科学家解决问题、提高生产力和不断创新。

3.1 电缆参数主要测试项分析

3.1.1 正序阻抗算法（如图7）

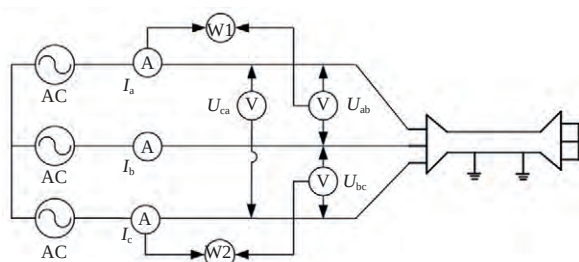


图7 正序阻抗算法

$$\text{正序阻抗 } Z = \frac{U}{\sqrt{3}I} \Omega \quad (1)$$

$$\text{交流电阻 } R = \frac{P_1 + P_2}{3I^2} \Omega \quad (2)$$

$$\text{正序电抗 } X = \sqrt{Z^2 - R^2} \Omega$$

其中， U 为电缆三相导体电压平均值，单位V； I 为电缆三相导体电流平均值，单位A； P_1 、 P_2 为功率表读数，单位W；

系统设计的时候，并没有采用功率表，而是通过采集电压电流，经过数字信号处理的方式计算有效功率。

3.1.2 零序阻抗算法（如图8）

$$\text{零序阻抗 } Z_0 = \frac{3U_0}{I_0} \Omega$$

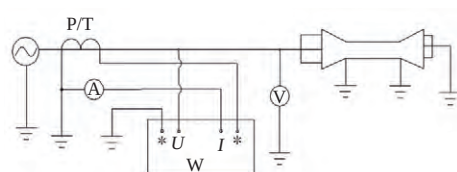


图8 零序阻抗算法

$$\text{交流电阻 } R_0 = \frac{3P_0}{I_0^2} \Omega$$

$$\text{零序电抗 } X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} \Omega$$

其中， U_0 为电压表读数，单位V； I_0 为电流表读数，单位A； P_0 为功率表读数，单位W。

系统设计的时候，并没有采用功率表，而是通过采集电压电流，经过数字信号处理的方式计算有效功率。

3.2 数字信号处理

电缆参数测试仪涉及到有效功率计算，借助LabVIEW强大的信号处理平台，通过相关数字信号处理方式计算相位差，从而获取有效功率。谱分析求相位差的原理是通过求取周期信号的频域特性（主要是相频特性），然后获取两信号相频特性曲线中对应信号各频率分量的相位值，其差值即为所求相位差。理论上，该放大有很好的选频特性，对谐波干扰抑制型号。实际处理中，通常采用快速傅里叶变换（FFT）来进行频谱分析。NI为电力测试提供了相关测试工具包，其中应用了FFT测试相位差的处理方式，简便了开发过程。

4 结束语

本系统设计基于虚拟仪器技术，采用了最新的基于光纤的分布式测控技术方式，既符合移动式高压环境需求，又提升了测量精度。开发平台采用业界广泛应用的LabVIEW平台，采用数字信号处理技术，测量有效值、有效功率等，简化了硬件设计，同时提升了精度。本系统设计经过实践验证，可以很好的应用于电缆参数测试，在快速移动定位检修电缆中，有广阔的应用前景。

（收稿日期：2015-05-25）EA

作者简介

周利军（1971-），男，高级工程师，主要从事电力设备检修工作。