

文章编号: 1671-6833(2004)01-0089-05

基于虚拟仪器的负荷特性测辨系统的研究

宋红志, 章 健, 孙丰奇

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 针对电力系统负荷建模研究的现状, 引入了基于虚拟仪器技术的负荷特性辨识系统的设计思想, 介绍了虚拟仪器的发展, 虚拟仪器软件与硬件的特点; 结合负荷建模研究的理论, 阐述了利用虚拟仪器技术开发负荷特性辨识系统的可行性及优越性. 根据负荷特性辨识理论与方法, 通过远程数据采集和控制中心离线辨识的方式, 设计了采用图形化编程语言LabVIEW开发的负荷特性辨识系统. 研究表明, 利用虚拟仪器技术开发负荷特性测辨系统是可行的、实用的, 并且可以大大提高开发效率.

关键词: 虚拟仪器; 负荷特性; LabVIEW; 测辨

中图分类号: TM 714 **文献标识码:** A

0 引言

电力系统数字仿真已成为电力系统试验研究、规划设计、和调度运行的重要工具. 正确选择电力系统数学模型和参数是电力系统仿真的基础. 大量的电力系统工程研究和事故仿真说明, 模型与参数对电力系统仿真精度与可信度有重大影响. 目前发电机组、励磁系统和输电网络的模型已相当成熟, 相对而言, 负荷模型仍相当简单, 负荷模型的过分粗糙已经成为制约电力系统仿真计算精度的关键因素之一. 因此, 建立相对精确的负荷模型对提高和改善电力系统仿真的精度具有十分重要的意义.

近年来, 国内外学者就负荷模型做了大量的研究工作, 采用总体辨识法进行了很多负荷特性的现场试验, 研制了一些负荷特性测辨装置, 取得了一定进展. 虚拟仪器(Virtual Instrumentation)是指通过应用程序将通用计算机与功能化硬件结合起来, 用户可通过友好的图形界面来操作这台计算机, 就像在操作自己定义、自己设计的一台单个仪器一样, 从而完成对被测试量的采集、分析、判断、显示、数据存储等. 虚拟仪器技术已经在电力系统得到了应用, 但多用于测量领域. 本文将虚拟仪器技术引入到电力系统负荷建模研究中, 提出利用虚拟仪器构建一套负荷特性测辨系统的思想, 并且对系统的构建提出一套较为完整的方案, 其相

对于以前的测辨装置有很大的优越性.

1 虚拟仪器技术简介

1.1 虚拟仪器的发展

20世纪80年代中期, 美国国家仪器公司(National Instrument, 简称NI)首先提出了“软件就是仪器”这一虚拟仪器概念. 这个概念为用户定义、构造自己的仪器系统提供了完美的解决途径. 虚拟仪器通过软件将计算机硬件资源与仪器硬件有机地融合为一体, 从而把计算机强大的计算处理能力和仪器硬件的测量、控制能力结合在一起, 大大缩小了仪器硬件的成本和体积, 并通过软件实现对数据的显示、存储以及分析处理. 虚拟仪器技术先进, 十分符合国际上流行的“硬件软件化”的发展趋势, 因而常被称作“软件仪器”. 配以相应的辨识软件, 便可以完成相应参数的辨识.

1.2 虚拟仪器的特点

1.2.1 硬件方面

虚拟仪器的硬件主体是电子计算机, 通常是个人计算机, 也可以是任何通用电子计算机. 为计算机配置的电子测量仪器硬件模块是各种传感器、信号调理器、模拟/数字转换器(ADC)、数字/模拟转换器(DAC)、数据采集器(DAQ)等. 电子计算机及其配置的电子测量仪器硬件模块组成了虚拟仪器测试硬件平台的基础. 虚拟仪器还可以选配开发厂家提供的系统硬件模块, 组成更为完善

收稿日期: 2003-09-05; 修订日期: 2003-12-20

基金项目: 河南省优秀青年骨干教师基金资助项目

作者简介: 宋红志(1978-), 男, 河南省禹州市人, 郑州大学硕士研究生.

的硬件平台。

1.2.2 软件方面

N 公司推出的虚拟仪器概念迅速得到世界各国的广泛欢迎和支持,其主要原因就是他们从一开始就推出丰富而实用的开发软件,面向科学家和工程技术人员(而不是计算机的编程人员)的 LabVIEW 和 LabWindows /CVI 虚拟仪器开发平台软件。这些软件以简单直观的编程方式、众多源码级的设备驱动程序、丰富实用的分析表达功能和支持功能,使使用者能快速地构建自己的测量仪器或测量仪器系统。LabVIEW 是美国 N 公司图形化、交互式的编程设计环境,为虚拟仪器提供了实现途径。LabVIEW 具有图形化的编程方式,设计者无需写任何文本格式的代码,是真正的工程师的语言。LabVIEW 是一个通用的编程系统,它不但能够完成一般的数学运算与逻辑运算和输入输出功能,它还带有专门的用于数据采集和仪器控制的库函数和开发工具,尤其是还带有专业的数学分析程序包,基本上可以满足复杂的工程计算和分析要求^[3]。

2 利用虚拟仪器开发负荷特性测辨系统的可行性与优越性

2.1 可行性

电力系统负荷特性辨识,主要通过采集扰动情况下负荷信息,利用现代辨识技术辨识负荷模型结构及模型中的参数。其中采集的数据是现场的三相电压、三相电流的瞬时值。由于虚拟仪器的测量优点,进行电力系统中电压、电流等参数的测量是非常方便的,且具有很高的准确度与灵活性。同时虚拟仪器本身具有功能丰富的数学计算,包括小波分析等模块,还具有与 MATLAB 软件的接口^[3],可以方便地调用 MATLAB 辨识工具箱完成参数的辨识,提高了辨识的可靠性、准确性及开发效率。因而,无论从硬件还是软件,都可以利用虚拟仪器技术开发负荷特性测辨系统。

2.2 优越性

目前已经有基于工控机、Windows 平台、Borland C 开发的负荷特性测辨系统,这些系统包括数据采集的测量部分,要考虑与其它子模块的连接与驱动,进行功能扩展时,必须淘汰已有的部件。虚拟仪器技术已经有了一系列的标准规范,例如 VXI、GPIB 和 VISA 等,用户在选购虚拟仪器系统之时,只要选用符合统一标准的虚拟仪器部件和模块,就很容易借助标准接口将其连接,构成一

整套虚拟仪器系统。在需要扩展功能时,可以重新进行虚拟仪器系统的调整和组装,而且不必淘汰原有的部件和模块,从而大大地节省了开支。以前的系统使用 C 语言开发图形用户界面以及辨识模块,需要花费大量时间,开发效率低。本文所构建的辨识系统是在 LabVIEW 平台上开发的,系统的图形用户界面使用各种图形控件开发,辨识部分调用 MATLAB 辨识工具箱完成,大大减少了开发的工作量,提高了开发效率。

3 系统的总体设计方案

系统流程图如图 1 所示。整个系统主要包括硬件部分和软件部分,硬件部分主要实现数据测量、传送;软件部分主要实现预处理计算和参数辨识。考虑到系统的实用性,采用变电站采集数据,远程传送数据,控制中心离线辨识。数据采集部分,从负荷所在母线的电压、电流互感器(TV/TA)上获得瞬时电压、电流值,经过数据采集卡处理后,存储到硬盘,然后通过 Modem 将数据传送控制中心。辨识软件安装在控制中心,数据预处理部分对电压、电流数据进行预处理计算,计算出辨识所需的电压、有功功率及无功功率。辨识部分,通过虚拟仪器的用户界面完成数据文件输入与初值设定、模型设定等,通过程序接口调用相应的 MATLAB 辨识工具箱辨识出负荷特性参数,再将结果输出到用户界面。

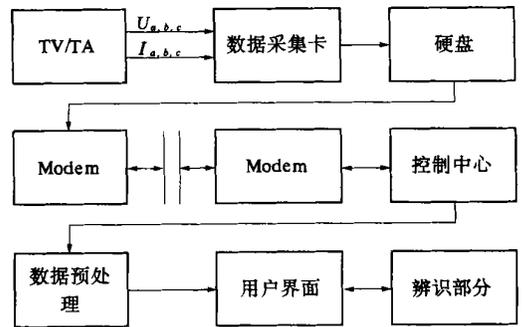


图 1 系统流程图

Fig. 1 The flow chart of the system

4 系统主要硬件介绍

负荷特性辨识系统的硬件基础是 Pentium 以上的微机 and 插入主机 PCI 扩展槽的高性能数据采集卡。要采集的电压、电流信号由电压、电流互感器送入采集卡。

数据采集卡是本系统的硬件核心部分,它主

要完成数据的采集、A/D 转换和存储。考虑采集的信号、采样频率与 A/D 转换速度等技术指标，本系统采用美国 M 公司(National Instrument) 的 PCI-1200 型数据采集卡。PCI-1200 数据采集卡是一块基于 32 位 PCI 总线的多功能数据采集卡，支持 DMA 方式和双缓冲区模式，保证了实时信号的不间断采集与存储。它支持单极和双极性模拟信号输入，信号输入范围分别为 0~10 V 和 -5~5 V。提供 16 路单端/8 路差动模拟输入通道、2 路独立的 D/A 输出通道、24 线的 TTL 型数字 I/O、3 个 16 位的定时计数器等多种功能^[4]。

5 系统软件设计

软件是虚拟仪器的核心，利用软件可以定义和开发各种测试分析仪器。虚拟仪器系统的软件一般分为 4 层：系统管理层、测控程序层、仪器驱动层和 I/O 接口层^[3]。按系统辨识理论的思想，总体辨识法负荷建模就是根据负荷的观测数据来确定模型的结构和模型参数，使得模型响应能最好地拟合观测到的负荷响应，并且要求通过模型校验。本系统采用 LabVIEW 软件平台，设计的负荷特性辨识软件总体上包括数据采集、预处理计算、模型辨识等几大模块。

5.1 数据采集模块

数据采集模块主要完成数据采集控制，包括触发控制、通道选择控制、时基控制等，在软件编程上也就是数据采集卡的驱动程序设计。由于要采集扰动时的数据，所以要有个扰动判断单元来进行控制。用电压作为判据，当测量到的电压连续几个周波大于或小于稳态电压的百分数(百分数可根据需要指定)时，就启动记录扰动过程中的电压、电流，存储到相应的数据文件中。

5.2 数据预处理模块

数据预处理除进行必要的滤波、剔除野值外，主要是根据电压电流测量值计算出其基频正序值，进而计算出有功、无功功率，为负荷建模提供数据。设时域信号 $x(k)$ 在一个周期 T 中采样个数为 N ，第 k 个采样值为 $x(k)$ ，根据傅里叶算法，其基频分量相量为

$$X = X_R + j X_I \tag{1}$$

其中，

$$X_R = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \sin \left[k \frac{2\pi}{N} \right];$$

$$X_I = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cos \left[k \frac{2\pi}{N} \right].$$

对于测量的电压电流 $u_a(t), u_b(t), u_c(t)$,

$i_a(t), i_b(t), i_c(t)$ ，利用上述公式可计算出基频分量 $U_a, U_b, U_c, I_a, I_b, I_c$ ；利用对称分量法公式可计算出正序分量，即

$$U_{a+} = (U_a + \alpha U_b + \alpha^2 U_c) / 3 = U \tag{2}$$

$$I_{a+} = (I_a + \alpha I_b + \alpha^2 I_c) / 3 = I \tag{3}$$

其中， $\alpha = e^{j120^\circ}$ 。

有功功率为

$$P = \text{Re}(3U, I^*) \tag{4}$$

无功功率为

$$Q = \text{Im}(3U, I^*) \tag{5}$$

公式计算了一个数据窗 T 中的值，若不断移动数据窗，移动步长为 $T_s = T/N$ ，则可得一系列 $U(i), I(i), P(i), Q(i), i = 1, 2, \dots$ 。

5.3 综合负荷模型与模型辨识

目前，在电力系统动态分析中存在两大类动态负荷模型，一种是感应电动机机理模型；另一种是基于输入-输出数据构造的非机理模型。

5.3.1 感应电动机机理模型

(1) 一阶感应电动机

状态方程：

$$T_J \frac{ds}{dt} = T_m - T_e = K \left[\alpha + (1-\alpha)(1-s) \right] - \frac{2T_{e\max}}{s_{cr} + s_{cr}} \left(\frac{V_L(t)}{V_{L0}} \right)^2 \tag{6}$$

输出方程：

负荷母线 L 的视在功率

$$S_L(t) = \frac{V_L^2(t)}{Z_D^*} + \frac{V_L^2(t)}{Z_L^*} \tag{7}$$

式中：感应电动机参数 $\theta = (r_s, x_s, r_r, x_r, r_m, x_m, s_{cr}, T_{e\max}, \alpha, \beta, T_J, s_0, K)^T$ ； $V_{L0}, V_L(t)$ 为稳态与动态时负荷母线电压； Z_D 为感应电动机等值阻抗； Z_L 为与感应电动机并联的恒定阻抗； K_H 为不同基准下阻抗折算系数。

(2) 三阶感应电动机

状态方程：

$$T_J \frac{ds}{dt} = K \left[\alpha + (1-\alpha)(1-s) \right] + (e_R I_R + e_I I_I) K_H \tag{8}$$

$$\frac{de_R}{dt} = \frac{1}{T_{d0}} \left[K_H(x - x') I_I + T_d' e_I s - 2\pi f_0 - e_R \right] \tag{9}$$

$$\frac{de_I}{dt} = \frac{1}{T_{d0}} \left[-K_H(x - x') I_R - T_d' e_R s - 2\pi f_0 - e_I \right] \tag{10}$$

输出方程：

负荷母线L 的视在功率

$$S_L(t) = -V_L(t) I(t)^* \quad (11)$$

$$I(t) = I_R(t) + jI_I(t) = \frac{e'(t) - V_L(t)}{jK_H(jx' + r_s)}$$

上式中, 感应电动机参数为 $\theta = (r_s, x, x', \alpha, \beta, s_0, T_J, T_d'0, K)^T$; K_H 为阻抗归算系数; $e' = e_R' + j e_I'$ 为暂态电势.

5.3.2 非机理模型

(1) 时域线性系统模型

连续变量模型形式为

$$\frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + a_2 \frac{d^{n-2} y}{dt^{n-2}} + \dots + a_{n-1} \frac{dy}{dt} + a_n y =$$

$$\frac{d^m u}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} u}{dt^{m-1}} + \dots + b_{m-1} \frac{du}{dt} + b_m u \quad (12)$$

式中: 输出变量 y 可以是有功 P 或无功 Q ; 输入变量 u 为电压 U ; 待辨识参数为 a_1, a_2, \dots, a_n 及 b_1, b_2, \dots, b_m .

差分方程模型形式为

$$y(k) + a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) + \dots + a_n y(k-n) = u(k) + b_1 u(k-1) + \dots + b_m u(k-m) \quad (13)$$

输入、输出变量、待辨识参数同上.

(2) 时域非线性系统模型

对于表现出较强非线性特性而用线性模型无法很好描述的负荷, 可采用非线性模型. 非线性模型状态方程的一般形式为

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x(t), u(t), \theta, t) \\ y(t) = g(x(t), u(t), \theta, t) \end{cases} \quad (14)$$

式中: 输出变量 $y(x)$ 可以是有功 P 或无功 Q ; 输入变量 $u(t)$ 为电压 U ; 待辨识参数为 θ .

在负荷建模研究中, 根据具体负荷的特点已提出了很多的非线性模型的具体形式, 例如考虑功率恢复特性的非线性负荷模型、状态方程中含有输入变量与状态变量交叉乘积项的双线性模型等^[7]. 此外还有差分方程形式的双线性模型、非线性自回归滑动平均模型 NARMAX、人工神经网络模型等^[7]. 上述诸模型的参数可采用最小二乘法、极大似然估计法等方法辨识^[8,9].

5.4 用户界面

基于虚拟仪器的电力系统负荷特性测辨系统的主界面共分四部分: 数据预处理, 负荷特性辨识, 模型验证, 曲线显示, 如图 2 所示. 主界面设置有数据文件选择栏、结果保存栏、各种命令按钮和结果曲线的显示窗口.

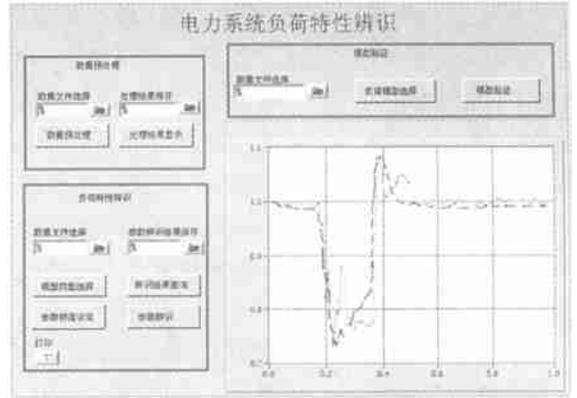


图 2 系统主界面
Fig. 2 Main Interface

6 结论

虚拟仪器技术的出现, 使得用户可以自己定义仪器, 灵活地设计仪器系统, 满足多样化实际需求, 虚拟仪器系统开发周期短, 费用低, 测量结果准确度及可复用性高, 且便于维护和扩展. 基于虚拟仪器的这些特点, 并结合负荷建模的特点, 将虚拟仪器技术引入到负荷特性辨识中, 提出了一套完整的负荷特性辨识系统的设计方案, 并通过基于虚拟仪器技术的负荷特性辨识系统的实现, 验证了虚拟仪器在负荷建模领域的实用性、优越性, 并有着广阔的应用前景.

参考文献:

[1] 汤涌. 电力系统数字仿真技术的现状与发展[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(17): 66~70.

[2] 石博强, 赵德永, 李畅, 等. LabVIEW 6.1 编程技术实用教程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.

[3] 艾欣, 杨以涵, 周孝信, 等. 虚拟仪器技术及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化 2001, 25(15): 54~57.

[4] 杨乐平, 李海涛, 肖相生, 等. LabVIEW 程序设计与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.

[5] 周鸿. 虚拟仪器系统软件结构的设计[J]. 计算机自动测量与控制, 2001, 8(1): 21~24.

[6] 张红斌. 电力系统负荷建模理论的研究及应用程序开发[D]. 郑州: 郑州工业大学, 2000.

[7] IEEE Task Force On Load Representation For Dynamic Performance. Load representation for dynamic performance analysis[J]. IEEE Trans On Power System, 1993, 8(2): 472~482.

[8] 沈善德. 电力系统辨识[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.

[9] 鞠平, 马大强. 电力系统负荷建模[M]. 北京: 水利

电力出版社,1995.

Study on Identification System of Power Load Characteristics Based on Virtual Instrumentation

SONG Hong-zhi, ZHANG Jian, SUN Feng-q

(College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract : According to the state of load modeling study in electric power system a new idea of electric load characteristic identification system based on virtual instrumentation is proposed in this paper and the feasibility and advantages of this system are also pointed out. By means of the remote data acquisition and off-line identification in the control centre this identification system is developed by using the graphic programming language LabVIEW, and it proves to be feasible and practical and highly efficient in developing.

Key words : virtual instrumentation ; load characteristic ; LabVIEW identification

(上接第52页)

[6] SCOTT P M. Development of a database of pipe fracture experiments[J]. Nucl Engng Des, 1994, (151): 359~372.

[7] KRISHNASWAMY P, SCOTT P. Fracture Behavior of Short Circumferentially Surface Cracked Pipe; NUREG/CR-629[R]. Washington: US Nuclear Regulatory Commission, 1995.

[8] 胡兆吉. 周向面型缺陷压力管道塑性极限载荷分析[D]. 上海: 华东理工大学, 1998.

Plastic Limit Load and Graphic Evaluation of L_r for Cracked Piping Under Multiple Loads

GUO Cha-xiu, WEI Xin-li, WANG Ding-biao, LIU Hong

(College of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract : The plastic limit load solutions of the circumferentially cracked piping, under various combined loads of tension force, bending moment, torsion moment and internal pressure are derived based on NSC method and Von-Mises yield criterion. A new definition of L_r parameter for considering the three dimensional stress distribution caused by hoop stress and torsion shear stress is made and the L_r solutions of these structures under various multiple loads are developed in the form of the simultaneous equations and a single exponential function equation. The work in this paper complements the codes and has significance for the safety assessment of structure containing defects.

Key words : plastic limit load ; cracked piping ; L_r parameter