

# 基于网络的全图形化故障录波分析软件系统

桂勋, 郭凯, 谭永东, 钱清泉

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

**摘要:** 随着电力系统运行管理的逐步网络化, 提出了基于网络的故障分析要求。针对目前故障录波分析软件存在的客户版本多样化、数据格式不统一、图形化能力不强等问题, 自主研发了基于网络的嵌入式全图形化故障录波分析软件系统。讨论了系统的结构、原理和方法以及系统中的五个关键模块: 可切换的软件运行框架、COMTRADE 读写引擎、可灵活扩展的网络下载子系统、灵活的波形显示控制子系统、故障分析报告自动生成子系统。最后介绍了软件在全图形环境下的各种录波分析功能。

**关键词:** 故障录波; COMTRADE 标准; 谐波分析; 序分量分析; 阻抗轨迹

**中图分类号:** TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)24-0044-06

## 0 引言

随着计算机科学的不断进步, 电力系统的运行管理向网络化和图形化方向发展。通过网络已经可以将各个子站连接在一个专用网内, 从而可以对电力系统进行远程管理。故障分析是电力系统运行管理系统很重要的一部分, 在这种发展趋势下已经出现了能在网络上通过 FTP 或者 HTTP 协议调用不同子站录波文件的故障分析软件<sup>[1]</sup>。但现在使用的系统不同程度地存在以下问题。

1) 现有网络功能的录波分析软件都只能独立运行, 不能和浏览器融为一体, 这必然带来了客户端软件的多版本问题, 同时也带来了客户操作和软件维护升级的复杂性。不能实现最理想的在线故障分析工作方式。

2) 这类软件处理的数据都是不同录波器厂家自己的数据格式, 不是国标规定的 COMTRADE 数据格式, 这就导致了不同厂家的录波分析软件通常只能处理自己特有的录波格式数据。

3) 现在的 COMTRADE<sup>[2]</sup> 格式录波文件可能记录多达几百个通道的数据, 文件可达数十兆, 但这其中对分析有用的通道不多, 在数据库中保存这些数据将占据很大的磁盘空间。

4) 现有的录波分析软件在波形显示上虽说实现了整体的缩放, 但不能实现选定通道群、通道局部的自由缩放、通道间自由移动等图形操作, 这在故障分析需要人工分析和计算的时候很不方便。

## 1 解决思路

针对现有录波故障分析软件存在的问题提出下面的解决思路。

1) 通过基于 OLE 的 ActiveX 文档服务器技术实现了可切换的软件运行框架, 既可以独立运行也可以嵌入到浏览器中运行。在网络下可以通过浏览器自动下载录波文件并在软件中打开, 实现了网络下最理想的在线故障分析工作方式。

2) 分析软件是以标准 COMTRADE 数据格式为输入标准的, 不同录波厂家基本上都提供了把自己的特殊格式文件转换为 COMTRADE 格式文件的函数库, 这极大的提高了故障分析在数据来源上的灵活性。

3) 专门设计 COMTRADE 数据读写引擎, 能对原始数据进行通道数据提取和指定时间区域的数据截取。在选定了分析有用的数据以后再数据另保为 COMTRADE 格式的配置文件和数据文件, 这样就可以极大的减少保存故障录波文件的存储空间。

4) 结合 CAD 二维图形技术构建一个独立的波形显示、控制子系统。实现波形整体上的自由缩放, 并且还可以进行选定通道群和通道局部的自由缩放。通道间可以自由移动, 选定的通道群还可以沿着时间轴方向自由平移。对于完全不同的 COMTRADE 文件可以读进同一个窗口中进行联合分析, 并且能让通道数据在时间上对齐, 这就解决了双端分析和双端测距中两个记录文件要求时间对齐的问题。

## 2 软件系统模块关系

软件系统由单机运行软件框架模块、嵌入运行软件框架模块、COMTRADE 文件读写引擎、波形显示、控制模块、算法模块、故障报告自动生成系统 7 个模块组成,如图 1 所示。单机运行软件框架模块和嵌入运行软件框架模块负责在两种运行状态下装载不同的软件界面窗口及其相关资源。COMTRADE 文件读写引擎负责读取各种版本的 COMTRADE 文件和文件创建工作。网络下载模块负责在软件系统独立运行时为系统提供可靠稳定的文件下载功能。波形显示、控制模块负责把通道图形对象和通道数据对象联系起来进行波形显示和自由缩放。算法模块负责计算分析从波形、控制模块得到的选定数据,并将分析结果数据进行保存。故障报告自动生成模块负责在分析数据的基础上自动生成超文本形式的报表,并且将系统绘制的波形保存为 JPG 格式的图片以便在报表中显示。

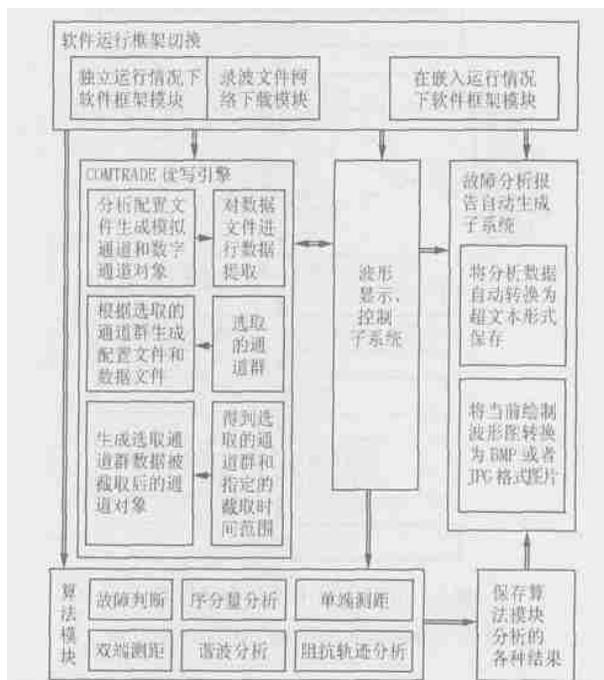


图 1 软件系统结构组成图

Fig. 1 Structure of the software system

## 3 软件模块关键技术

### 3.1 可切换的软件运行框架

为了使软件既能独立运行又能嵌入 IE 中运行,就必须实现程序中同时绑定两套软件运行框架。在

Windows 下只有基于 OLE(对象的连接和嵌入)的 ActiveX 文档服务器<sup>[3]</sup>技术能做到这一点,当软件以 ActiveX 文档服务器的形式存在于 Windows 中,软件就被作为一种服务组件被系统注册。在用户要求查看特定格式文档时,操作系统就自动启动这个服务组件,同时由于软件本身就是一个服务组件,所以就能运行在其他的 ActiveX 容器环境中。在 Windows 下的 Word 就是一个典型的 ActiveX 文档服务器,它既可以单独运行,又可以嵌入在其它的 ActiveX 容器中,比如 IE 浏览器、PowerPoint。

本系统使用 MFC 开发 ActiveX 文档服务器,系统在单机运行模式下的框架是从类 CFrameWnd 继承下来的 CMainFrame 类,子框架是从类 CMDIChildWnd 继承下来 CChildFrame 类,这是通常情况下 MFC 多文档程序的应用程序框架。在嵌入运行方式下系统就不调用主框架 CMainFrame,主框架切换为 ActiveX 文档容器的主框架,子框架由 COleDocIPFrameWnd 类继承下来的 CInPlaceFrame 类代替。软件运行框架切换是在操作系统提示下自动完成的,在每次应用程序启动的过程中,系统都会调用函数 ParseCommandLine 得到当前的命令行启动参数,在命令行参数对象中的成员变量 m\_bRunEmbedded 为真就说明软件运行在嵌入环境中,为假时为正常的启动,系统通过这个变量的真假从而指示 ActiveX 文档服务器进行软件框架切换。软件独立运行图和嵌入运行图分别如图 2 和图 3 所示。

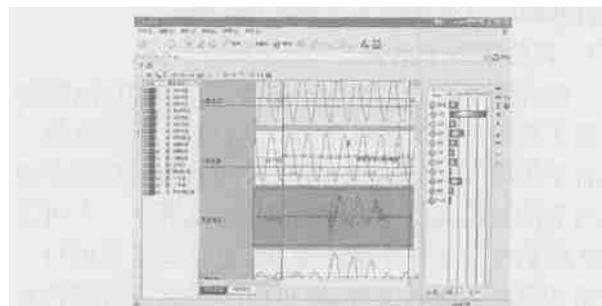


图 2 嵌入 IE 浏览器后的软件框架

Fig. 2 Software framework with IE embedded

### 3.2 COMTRADE 文件读写引擎

现在的 COMTRADE 数据记录文件可包含几十个甚至是几百个通道的数据,文件可达到数十兆,但其中对分析有用的通道并不多,保存到数据库中的数据应该只是对分析有用的通道记录数据。为此专门设计的 COMTRADE 文件读写引擎可以在用户选定通道的基础上将数据另存为标准 COMTRADE 的

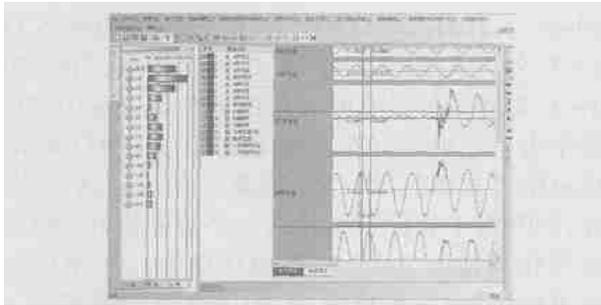


图3 独立运行的软件框架

Fig. 3 Framework of independent software running

配置文件和数据文件,另外通道记录中对分析有用的只是一个时间段的数据,所以为了进一步减少保存的数据量,引擎还可以提取通道中一个指定时间段的数据再保存到数据库中。这样就极大地减少了存储这些录波文件的磁盘空间。以往不同的 COMTRADE 文件因为配置文件的不同而不能读入到一个视图中同时进行分析,现在利用完全对象化设计的 COMTRADE 读写引擎就可以将完全不同的录波文件读入到同一个视图中,这样就方便了故障两端同时有故障录波文件,而且要求同时分析两端录波数据的情况。

COMTRADE 文件读写引擎由文件解析和文件创建两大部分组成。文件解析就是将通道数据对象化的一个过程,这个过程首先要分析配置文件,之后再提取数据文件中的录波数据,这个过程的算法流程如图 4 所示。在用户选定通道之上生成新的配置文件和数据文件的算法流程如图 5 所示。

### 3.3 网络下载子系统

软件系统在嵌入运行时依靠强大的 IE 浏览器实现了稳定可靠的文件下载,为了在软件系统独立运行不依赖 IE 浏览器的情况下也能为用户提供稳定可靠的录波文件下载服务,系统提供了一个可灵活扩展的录波文件下载子系统,用户只需要编写一个格式简单的配置文件,即可由子系统进行解析并且自动生成树形的下载列表。如图 6 所示。

子系统分别实现了 FTP 和 HTTP 协议的后台下载线程。当用户选择不同的下载协议录波下载网络地址,子系统会自动将下载地址交给后台处理线程,后台线程得到下载地址后就会自动连接子站,稳定可靠地下载录波文件。子系统工作流程如图 7 所示。

### 3.4 波形显示、控制子系统

为了实现任意选择通道及其区域的自由缩放,

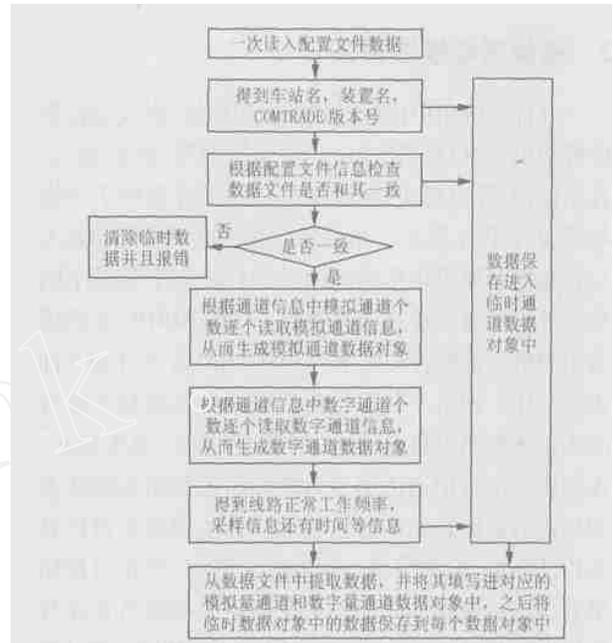


图4 COMTRADE 文件解析过程

Fig. 4 Process of parsing COMTRADE file

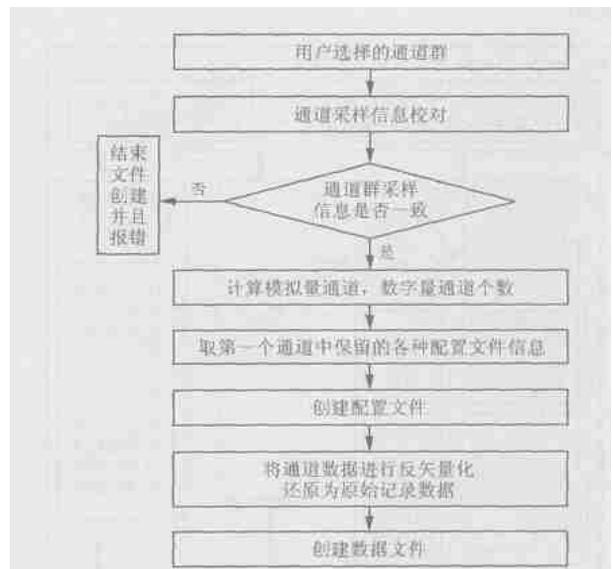


图5 COMTRADE 文件创建过程

Fig. 5 Process of creating COMTRADE file

系统构建了一个高效的图形系统,将通道绘制、通道波形数据、通道控制分别作为三个独立的模块来开发。通道绘制模块将通道数据绘制成波形,任何对通道的操作都会被映射进入通道控制模块中,例如:通道在时间轴上的移动、通道数据的截取、从通道中提取数据等。这三个模块间的关系如图 8 所示。

由于通道绘制要占用很多计算机资源,为了加快绘制速度系统采用了优化的绘图技术: 通道

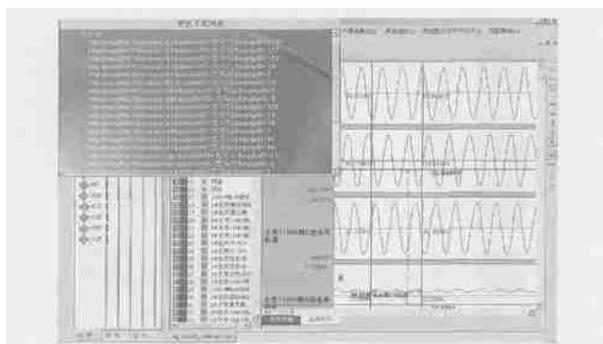


图 6 录波文件下载列表

Fig. 6 Download list of record file

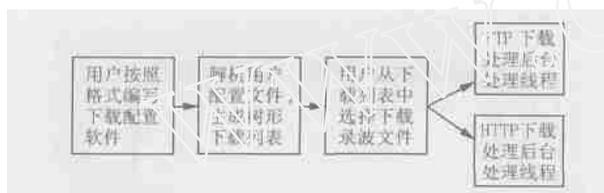


图 7 下载子系统工作流程

Fig. 7 Working process of download subsystem



图 8 波形显示控制子系统各模块间的关系

Fig. 8 Relationship of each module in the subsystem of wave show and control

绘制函数内嵌在通道数据对象内,在用户操作图形时程序内部自动判断当前需要绘制的通道,并自动得到需要更新的图形区域,这样系统只是绘制用户看见的通道,而不是全部的通道。系统确定绘图区域后自动调用区域包含的通道内嵌入绘制函数将图形先绘制在内存位图中,绘制完毕后再显示出来,这样绘制出来的图形就不会出现闪烁并且很平滑。通过这两项技术系统极大的提高了绘图的效率。

为了实现通道图形自由缩放,从数据文件中提取进入系统的数据不是原始的采用数据,而是经过矢量化过程后的数据,假如数据要进入算法模块或者要显示出来就要经过一个反矢量过程来还原原始记录数据,矢量化和反矢量的算法流程图分别如图 9 所示。

经过矢量化后的数据其实就是通道波形在纵轴上的矢量坐标,在得到包含通道的矩形大小后就可以将矢量坐标还原为绘制通道图形需要的绝对坐标。

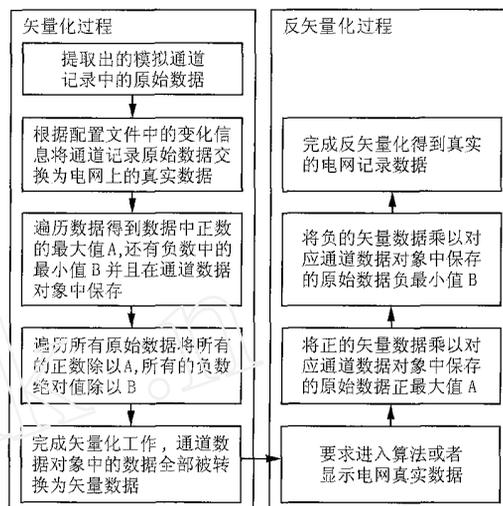


图 9 矢量化和反矢量化过程

Fig. 9 Process of vectorization and anti-vectorization

在程序上专门对通道数据对象如何实现进行了分析,因为模拟量通道和数字量通道在数据还有显示上差别很大,但处理这些数据的方法都是类似的,所以就利用 C++ 的多态性来进行抽象和设计。模拟量通道和数字量通道分别为 CChannelPropert 和 CDChannelProperty,但他们都有共同的基类 CChannel,在 CChannel 中有一个变量 m-bIsAChannel 来标识通道是否为模拟量通道。相对于把这两个通道分开设计来说,这种设计可以在大幅减少代码量的同时提高代码的可读性。

### 3.5 故障分析报告自动生成子系统

在用户选定通道群和故障开始点以后,系统就能自动生成故障分析报告,故障报告包括了故障发生前后、重合闸前后、跳闸前后 5 个周波电流电压的有效值计算结果,故障分析结果和波形图片的生成等。由于报表是以网页格式保存的,在计算得到各种分析结果的前提下还要将数据融入网页报表格式中,为了简化这个过程,实现数据和网页报表格式的无缝连接,系统采用了对网页报表格式进行抽象的基础之上通过类封装的方法。为了进一步提高算法的效率和减小代码量,系统采用了 STL(C++ 标准模板库)技术。STL 通过大量运用 C++ 的抽象能力和泛性(generic types)特性,提供了一系列共同的类别和接口,软件开发籍此获得了更高层次的抽象能力。

在自动生成报表的同时这个子系统还通过使用 JPEG 图形开发库,将图形系统绘制的波形自动生成为 JPEG 格式的图片,并在报表中嵌入显示。

#### 4 系统实现的主要分析功能

软件系统提供了丰富录波分析功能这包括了谐波分析、序分量分析、阻抗轨迹、测距等,所有的分析操作都在图形系统上进行,直观、快捷、易操作。

用跟随鼠标活动的时标线就可选取时标线之前一个周期的数据进入系统进行谐波分析,谐波含量使用柱状图显示(如图3所示),也有对应的谐波详细数据表,如图10所示。

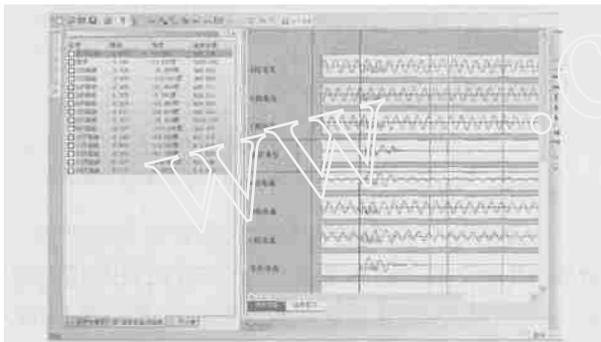


图10 谐波分析详细数据表

Fig. 10 Detailed data of harmonic analysis

进行序分量分析需要选定三相电压或电流3个通道,用户可以任意指定通道中的分析起始点,结果以数据和矢量图的形式同时给出。相位以A相正序为参考相位。如图11所示。

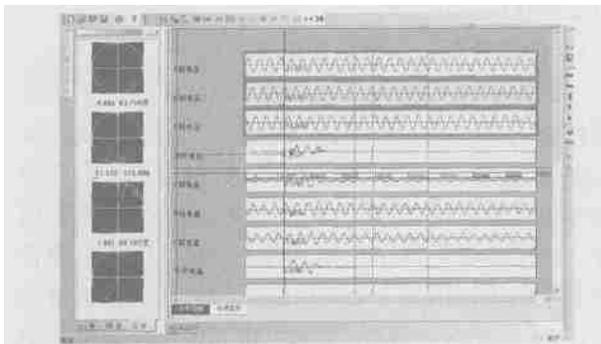


图11 序分量分析

Fig. 11 Sequence analysis

选定同一相的电压和电流通道就可进行阻抗轨迹分析,阻抗轨迹从红色渐变到蓝色,代表时间的渐变过程,如图12所示。

选定三相电压电流及其零序分量通道,用时标线选取故障点,系统能自动进行故障判断和单端测距。在有故障两侧故障记录数据的情况下也可以进行双端测距。

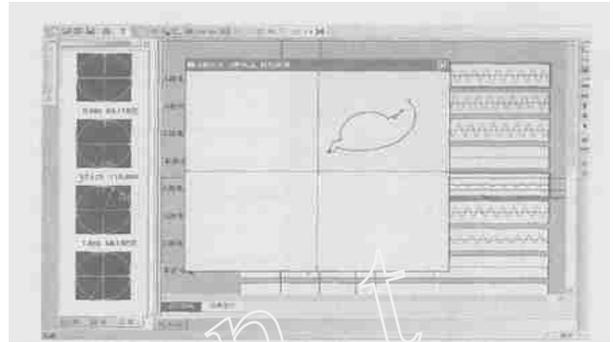


图12 阻抗轨迹

Fig. 12 Impedance locus



图13 故障诊断和测距

Fig. 13 Fault diagnosis and location

#### 5 结束语

在基于网络的嵌入式全图形化的录波分析软件系统中,可切换的运行框架使软件和网络实现了无缝连接,软件的独特的COMTRADE读写引擎,使对COMTRADE文件的处理达到了完全可视化的程度。同时灵活的波形显示控制系统实现了直观、快捷方便的图形操作。可自由切换和移动的时标线和幅值查看线可随时查看每个记录点上的值,做各种快速分析。这个模块再结合分析算法模块实现了各种故障分析的全图形化操作,省去了以往繁重的手工计算分析,极大的提高了工作效率,值得推广应用。

#### 参考文献:

- [1] 中国电机工程学会(CSEE). 中国电机工程学会继电保护专委会运行技术组会议资料之五,电力系统暂态数据交换(COMTRADE)共用格式(Proceedings of the CSEE Relay Protection, Part Five, Transient Data Format for Exchanging in Power System COMTRADE) [Z]. 2003.
- [2] 郑敏, 黄华林 (ZHENG Min, HUANG Hua-lin). 故障录波数据通用分析与管理软件的设计 (General Analysis and Management Software for Transient Data from Protective Re

- laying and Fault Recorder) [J]. 电网技术 (Power System Technology), 2001, 25(2): 75-77.
- [3] David Bennett. Visual C++ 5 开发人员指南 (Visual C++ 5.0 Develop Guider) [M]. 北京:机械工业出版社 (Beijing: China Machine Press), 2000.
- [4] 李光琦 (LI Guang-qi). 电力系统暂态分析 (Transient Analysis of Power System) [M]. 北京:水利电力出版社 (Beijing: Hydraulic and Electric Power Press), 1995.
- [5] 朱声石 (ZHU Sheng-shi). 高压电网继电保护原理与技术 (The Principle and Technology of Relaying Protection in High-voltage Power System) [M]. 北京:中国电力出版社 (Beijing: China Electric Power Press), 1995.
- [6] Josuttis N M. C++ 标准模板库 (C++ Standard Library) [M]. 侯捷,译 (HOU Jie, Trans). 武汉:华中科技大学出版社 (Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press), 2002.
- [7] 刘金龙,高兆法,巩玉国 (LIU Jin-long, GAO Zhao-fa, GONG Yu-guo). Visual C++ 6.0 类参考详细 (Visual C++ Reference Library) [M]. 北京:清华大学出版社 (Beijing: Tsinghua University Press), 1999.
- [8] Eddon G, Eddon H. Inside COM+ Base Services [M]. 北京:北京希望电子出版社 (Beijing: Beijing Hope Electronics Press), 2000.

收稿日期: 2004-04-12; 修回日期: 2004-07-09

作者简介:

桂 勋 (1978 - ), 男, 博士, 从事电力系统自动化的研究; E-mail: guinh3 @263. net

郭 凯 (1981 - ), 男, 硕士, 从事电力系统自动化的研究;

谭永东 (1963 - ), 男, 副教授, 从事电力监控系统的研究;

钱清泉 (1936 - ), 男, 工程院院士, 从事电力监控系统及其自动化的研究。

### All-graphic software system for fault record analysis based on network

GUI Xun, GUO Kai, TAN Yong-dong, QIAN Qing-quan

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** With the prevailing of network technology in management of electric power system, the demand of fault analysis based on network is required. To satisfy the demand, the embedded all-graphic software system for fault record analysis based on network is developed. The paper discusses the structure, principle and methods of the software, and five key modules of the system which includes the switchable software framework, the reading and writing engine of standard COMTRADE files, the flexible subsystem of download, the agile subsystem of wave show and control, and the auto-subsystem of fault analysis report. In the end, the main analysis functions of the software system in the graphic environment is introduced.

**Key words:** fault record; COMTRADE standard; harmonic analysis; sequence component analysis; impedance locus

(上接第 36 页 continued from page 36)

作者简介:

陈 琛 (1979 - ), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护的研究; E-mail: chenchentop528 @sohu. com

张 举 (1946 - ), 男, 教授, 主要从事电力系统继电保护的研究;

成敬周 (1980 - ), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护的研究。

### Study on inrush current identification based on distributed artificial neural network

CHEN Chen, ZHANG Ju, CHENG Jing-zhou

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**Abstract:** Aimed at the disadvantages of second harmonic for inrush current identification in transformer protection, a new method is presented in this paper to distinguish inrush current based on the half-circle-added theory and the distributed artificial neural network. The simulation tests show that the new method can correctly judge the transformer's inrush current and internal fault without the harmonic effect, and it has a good reliability.

**Key words:** inrush current; phase differential current; artificial neural network (ANN)