

# 自由故障分析软件系统开发

桂 勋<sup>1</sup>, 青 松<sup>2</sup>, 冯 瀚<sup>2</sup>, 钱清泉<sup>1</sup>

(1. 西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031;

2. 四川省电力公司, 四川 成都 610021)

**摘要:** 指出了目前故障分析软件系统存在的版本多样化、数据格式不统一、图形化能力不强、算法库无法扩展等问题, 给出了解决这些问题的技术方案, 并结合 C++ 模板库(STLPORT、Boost)和设计模式, 开发了一套故障分析软件系统。阐述了该软件系统的原理和结构, 详细讨论了 5 个核心子系统的实现技术: 后台录波数据共享子系统代理对象技术, 自由波形显示控制子系统中的图形撤销算法, 动态的二维和三维分析子系统中的三维分析数据生成算法, 二次分析集成分析环境(IDE)子系统公式快速解析算法和故障分析报告自动生成及其管理子系统中的 OLE 自动化技术。最后介绍了在此分析环境下的各种故障分析功能及其效果。

**关键词:** 故障录波; STLPORT; Boost; 代理对象; 撤销算法; 三维分析

**中图分类号:** TM 73

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1006-6047(2007)10-0077-06

## 0 引言

现阶段我国的保护信息系统和录波器厂家众多, 每家都提供了一套基于某种或多种录波格式数据的故障分析软件, 这就造成电力公司为了进行故障分析, 要同时使用多个设备生产商提供的故障分析软件<sup>[1-2]</sup>; 另一方面, 国内的各种故障分析软件<sup>[3-10]</sup>在系统的可用性、方便性、快捷性和可扩展性存在诸多缺陷。

结合先进的 C++ 模板库(STLPORT<sup>[11-12]</sup>、Boost<sup>[13]</sup>)和设计模式<sup>[14]</sup>, 在此实现了一套自由故障分析软件系统, 该系统包含 5 个关键子系统: 后台录波数据共享子系统、自由波形显示控制子系统、动态的二维和三维分析子系统、二次分析集成分析环境(IDE)子系统和故障分析报告自动生成及其管理子系统。重点分析了软件系统的原理和结构, 阐述了 5 个关键子系统的实现方案, 并介绍了在此自由分析环境下的各种故障分析功能和效果。

## 1 解决思路

针对现有录波故障分析软件存在的问题, 现提出一些解决方案。

**a.** 通过基于 OLE<sup>[15]</sup>的 ActiveX 文档服务器<sup>[15]</sup>技术实现可切换的软件运行框架, 既可独立运行也可嵌入到浏览器中运行。在嵌入方式下运行, 可以通过浏览器自动通过网络下载录波文件并在浏览器中直接打开, 并且系统可根据需要融入电力组态软件系统中去。这极大地方便了电力组态软件用户(技术详情可参考文献<sup>[7]</sup>)。

**b.** 常数级的绘制算法, 不管多大的数据文件, 图形系统都可以通过动态计算找到最佳的绘制区域集合, 保证图形系统运行流畅, 双缓存图形技术保证图形不会发生闪烁现象。

**c.** 采用巧妙的坐标映射方法, 保证分析数值始终在用户分析的焦点上。用户的鼠标移动到什么地方, 具体的数值就显示在相应的图形位置上。

**d.** 采用图形显示和绘图数据相分离的策略, 使得具体通道波形的实现和视图无关, 可以让多个录波文件在同一个视图下进行联合分析。

**e.** 采用坐标融合算法, 可以让多个不同坐标范围内的通道波形在统一的坐标下进行显示。另外, 波形可以在视图内任意移动, 并能与其它波形重叠显示, 这就给用户提供了方便的波形对比手段。

**f.** 系统采用设计模式为指导进行设计, 设计过程中共采用了 10 多种设计模式来辅助设计, 其中图形系统采用了 COMMAND<sup>[14]</sup>和 MEMENTO<sup>[14]</sup>模式进行设计, 实现了良好的撤销、重做功能。

**g.** 采用代理对象技术, 实现了自定义的通道对象剪贴板, 可在各个视图间进行常数级的通道拷贝和通道截取操作。用户可通过通道剪贴板把所需波形通道拷贝到一个新的视图中进行独立分析。

**h.** 以解析录波文件提供的配置信息为基础, 实现了用户可以任意截取数据, 并保存为 IEEE 的 COMTRADE<sup>[16]</sup>格式的文件, 而且系统还提供了独立的大型录波文件截取、压缩工具。

**i.** 采用图形局部刷新技术, 使得在系统内的谐波分析、序分量分析、阻抗分析都是动态分析过程, 分析结果永远跟着用户的鼠标移动而变化, 而且系统提供的动态图表不仅有二维的, 也有三维的, 这为电力用户提供了非常直观的分析方法, 极大地提高了分析的效率。

j. 系统采用先进的 C++ 模板库——STLPORT、Boost 和 COM<sup>[15]</sup> 技术实现了一个可扩展的电力算法包,用户可根据自己的需要向软件系统中加入自己的分析算法。

k. 开发了一个快速公式解析器,解析器可自动完成复杂的矩阵运算,在解析引擎的基础上系统提供了一个基于脚本二次开发的 IDE 环境。该环境提供了 19 种基本数学函数和 30 多种电力系统专业分析函数,用户可在 IDE 环境提供的语法说明下编写自己的分析脚本。该 IDE 中提供了关键字自动感应、高亮度显示、代码收缩/伸展等高级 IDE 环境才具有的功能。用户可把自己编写的分析算法和界面加入到 IDE 环境中,成为 IDE 调用算法库的一部分。

l. 系统采用 OLE 自动化技术,让系统能和 MS Word 在运行时绑定。用户可以在进行分析的同时,在 Word 内自动生成各种美观的故障分析报告,并且此工程中用户还可随时修改报表。另一方面,系统还采用 ATL<sup>[15]</sup> 技术提供了一个 Word 插件,实现了快捷的录波文件及其分析报表管理系统,用户还可在 Word 内直接调用故障分析软件打开指定的录波文件,实现了故障分析软件和 Word 的无缝链接。

m. 系统采用数据显示、坐标映射和数据分离的设计方法,使得系统在同一套接口下可同时拥有多套图形显示、坐标映射的类方法集合,实现了任意选择打印范围的机制和波形折叠打印的功能。这样用户可在选择的打印范围内将较长的波形通道集中打印在一两页纸的范围内。

## 2 系统结构框架

系统结构如图 1 所示。

从图 1 可见,系统由后台录波数据共享、自由波形显示控制、动态的二维和三维分析、二次分析 IDE、基于 OLE 自动化机制的分析报表自动生成等 5 个子系统构成,在系统设计逻辑上依次代表了数据解析层、初级的图形显示控制层、高级的图形显示控制层、系统扩展层、系统输出层。其中,可扩展的算法库是

整个系统的基础部分。数据解析层中提出了一个统一接口的数据解析对象集合,屏蔽了不同格式的录波文件格式的处理过程,系统已经实现了缺省的 IEEE COMTRADE 格式数据解析。初级的图形显示控制层是系统提供的全图形化分析环境中的基础部分,在此基础上系统提供了其它各种基于二维和三维的分析方法,在用户分析的过程中,可以随时向关联的 Word 文档发送命令,动态地创建各种图表。在系统扩展层中,系统提供了一种公式脚本来融合各种 C++ 编写的算法函数,函数通过此解析器脚本可快速地被解释执行,生成各种计算结果数值和通道。

## 3 各子系统采用的关键技术

自由故障分析软件系统在多方面采用了先进的计算机技术和设计模式的思想,软件系统综合性能大幅提升,极大地丰富了各种信息的综合处理能力。

### 3.1 后台录波数据共享子系统

现在大多数录波厂家都使用自己定义的录波格式,或是随意扩展 COMTRADE 格式以满足自己的需要。若要为每种不同的格式都单独设定一套接口,这无疑会增加软件的复杂度,使系统成为一个高耦合的系统。为此,在设计引擎时引入了生成器(BUILDER<sup>[14]</sup>)和类工厂(CLASS FACTORY<sup>[14]</sup>)设计模式。使用这 2 种模式,系统能通过一套统一的接口屏蔽不同格式的录波数据解析过程,此接口集合在系统内被设计为一个解析器对象,系统中一个解析器对象负责解析一个录波文件,并且在内存中保存录波数据,多个不同的录波文件被读取进入不同的解析器对象中,解析器对象在此子系统内被组织为一个哈希表,以使其它子系统能快速获取指定的解析对象。

另一方面,此子系统与其它子系统的交互通过通道数据对象的代理对象实现。为了设计此代理对象,系统引入代理(Proxy<sup>[14]</sup>)设计模式。通过代理设计模式的接口仿真,其它对象使用代理对象就像是在直接操纵通道数据对象本身一样,另外,代理对象的生存管理采用了引用记数机制,实现了自动化的通道数据对象内存管理机制。

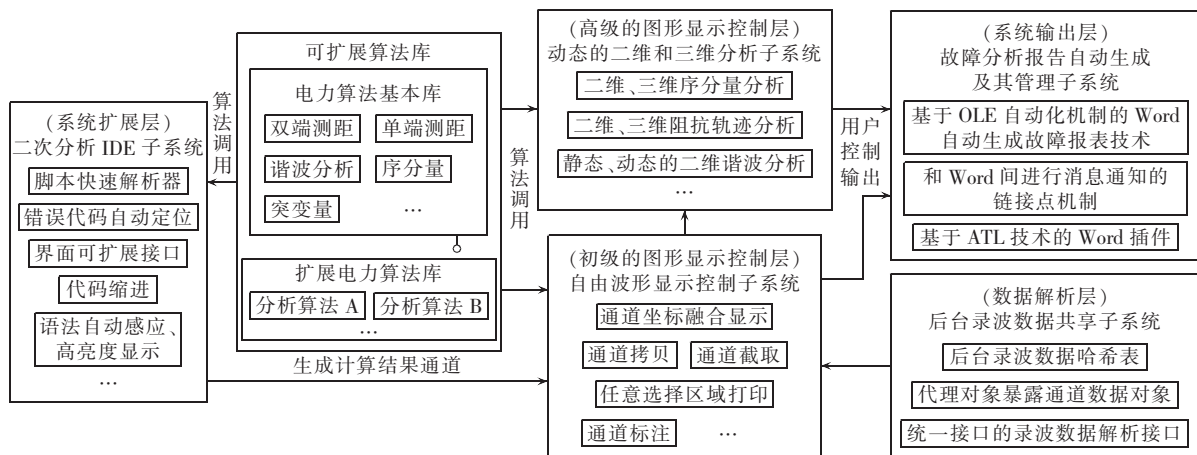


图 1 系统结构

Fig.1 System structure

通过融合以上各种设计模式,后台录波数据共享子系统被设计为如图 2 所示的框架。

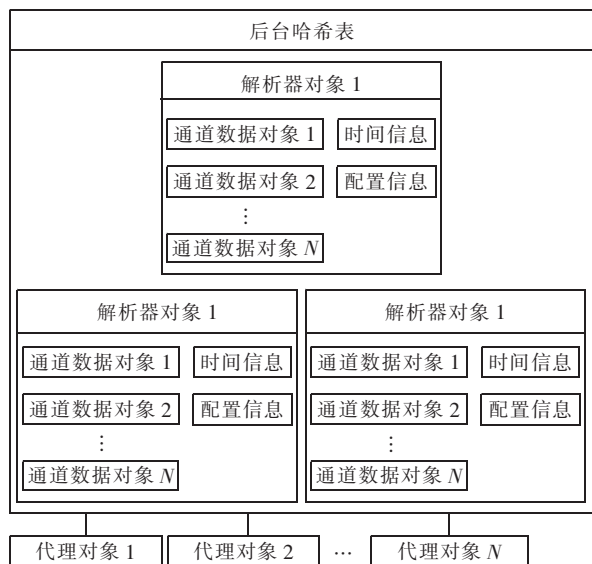


图 2 后台共享录波数据模块的结构

Fig.2 Module structure of background shared fault records

通过此子系统的映射,每个通道数据对象可对应多个不同的代理对象。每个代理对象则始终和一个通道属性对象相关联,然后就可在此视图中绘制出一个可见图形通道,有多个代理就有多个对应于同一个数据源的图形通道。通道图形拷贝、删除操作,在后台其实只是创建、销毁一个代理对象而已,而和通道本身包含多少数据没有关系,所以系统实现的任意通道拷贝、删除算法只需消耗很少内存,并且速度非常快。

### 3.2 自由波形显示控制子系统

自由波形显示控制子系统采用高级二维 CAD 软件技术,每个通道绘制对象都是可独立控制的,全部的通道绘制对象保存在一个可根据显示区域范围进行动态排序的堆中,每次排序后根据结果动态刷新视图中的全部通道绘制对象,这极大地提高了海量数据通道的显示效率。另外,通道绘制对象的全部操作都是基于属性对象的操作,每个通道绘制对象内部都包含了显示属性对象和控制属性对象,对于用户而言,通道的移动、拉伸、截取、取反等操作都只是对属性对象进行新的赋值而已,而系统强大的 Undo 功能就是基于属性对象为单位来实现。

一个良好的图形化分析环境必须实现 Undo 功能,例如 AutoCAD、PSPICE 等,但要实现这个功能必须让系统记住图形变化的前一状态,此算法实现难度较大,需要在内存消耗和算法复杂度间找到一个平衡点,目前国内还没有一个电力录波分析软件能实现该功能。为实现此算法,在引擎设计中引入了命令 (COMMAND<sup>[14]</sup>) 模式,此设计模式可大幅简化撤销重做功能的设计难度,其设计模式原理如图 3 所示。

由图 3 可见,为了减小内存使用量,系统在命令 (COMMAND) 模式的继承树上做了较多分支,这样在

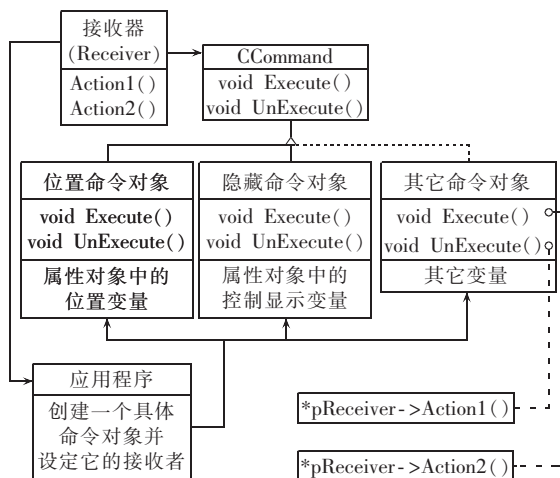


图 3 引擎采用的命令模式原理图

Fig.3 Principle of command pattern in Engine design

图形操作时,系统只记忆当前属性包中变化的量,而不变化的量就不进行记忆,另一方面,COMMAND 模式的引入可让图形显示代码和图形记忆代码完全分离,代码的可复用性得到了增强,并且使对象间代码的耦合度降低。

### 3.3 动态的二维和三维分析子系统

系统在谐波、序分量、阻抗轨迹分析上均提供动态的分析手段;通过用户当前的鼠标位置就可自动取得数据进行分析。另外,系统还为序分量分析、阻抗轨迹分析、机端测量阻抗分析提供了基于 OpenGL<sup>[17]</sup> 技术的全三维分析环境。

动态分析过程采用了基于对象封装的消息技术,系统提供了一个经过抽象后的接口类,具体的动态分析对象都是从这个接口类进行虚拟继承的具体实现类,对象内部提供了统一的窗口消息图形驱动接口、统一的获取原始通道数据和算法分析的接口。动态分析对象由自由波形显示控制子系统进行驱动,当用户在动态分析状态下并且在分析通道上移动鼠标时,当前处于活动状态的动态分析对象将自动调用其内部提供的统一接口获取并且分析原始通道数据,然后通过窗口消息图形驱动接口通知已经绑定的结果输出窗口刷新页面,其具体过程如图 4 所示。

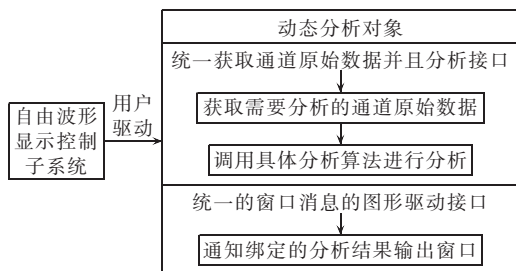


图 4 动态分析对象的结构

Fig.4 Structure of dynamic analysis object

对于序分量分析、阻抗轨迹分析、机端测量阻抗分析,在计算出全通道的分析结果数据以后,再把结果数据都矢量化,并且添加上时间坐标以后就可提供

给三维显示模块。在三维显示模块内可查看序分量、阻抗轨迹、机端测量阻抗随着时间变化的具体过程,并且阻抗轨迹三维分析模块内可任意设置阻抗轨迹整定范围曲面,这样就可很直观地判断出阻抗继电器的具体动作时间点。下面以阻抗轨迹三维分析为例,说明具体的分析数据三维可视化的过程。

序分量分析是继电保护中重要的基础分析算法,其计算公式如下:

$$\text{零序} = (A^0 + B^0 + C^0) / 3$$

$$\text{正序} = (A^0 + B^0 \angle 120^\circ + C^0 \angle -120^\circ) / 3$$

$$\text{负序} = (A^0 + B^0 \angle -120^\circ + C^0 \angle 120^\circ) / 3$$

$A^0$ 、 $B^0$ 、 $C^0$  分别代表电流或电压基波有效值,由全波傅里叶算法计算出。

序分量三维分析需要电压或电流的 ABC 三相 COMTRADE 模拟量记录通道数据,通过 COMTRADE 读程序可获取二次侧或一次侧的 ABC 三相测量数据。从采样起始点开始根据 COMTRADE 配置文件中提供的采样率,向后提取每个通道一周期的数据进行全周期的傅里叶计算,可得到 3 个通道的基波有效值,并分别计算出零序、正序和负序分量,此过程中,假如当前采样段的剩余采样点不足一个周期,就取上一次计算出的基波有效值进行序分量计算,计算完毕后将这 3 个序分量值(复数形式)分别压入 3 个 STL 向量容器<sup>[10]</sup>中保存起来,同时记录下当前点相对于采样起始点的时间差和整个采样段时间的比值。在另一方面,在此遍历计算过程中每次都记录下序分量值中模值最大的值,持续此过程直到全通道数据遍历完毕。

此过程结束以后,全部的时间坐标就已经归一化到(0,1)区间内,之后再将已经保存在 3 个 STL 向量容器中的全部序分量值除以最后保存的最大序分量值的模,就可将全部的序分量幅值归一化到(0,1)区间内,形成适合三维显示的矢量坐标。最后,将已经保存在 3 个 STL 向量中的矢量坐标乘以已经设定好的极坐标半径,再将时间矢量坐标乘以已经设定好的 Z 轴时间坐标跨度,就可获得对应变化量的三维空间坐标,此时再采用 OpenGL 的列表技术将零序、正序、负序的点图和连线图分别绘制在不同的列表中,以便需要绘制的时候随时调用。

### 3.4 二次分析 IDE 子系统

集成分析环境的界面框架采用 MFC 中的文档视图模式进行设计,整个框架被封装在动态连接库中,框架中全部动态对象均采用 Boost 中提供的智能指针进行管理,通过使用各种智能指针可将系统中垃圾回收机制的设计成本降到很低,大幅简化了系统中全局对象的管理。多功能编辑器设计复杂,其设计参考了跨平台的编辑器开源工程 scintilla<sup>[18]</sup>,其中,编辑器的语法高亮度显示可通过加载不同的 XML 配置文件来进行自由定制。通过多功能语法编辑器,集成分析环境可实现诸如 .Net、Dephi 9 等高级集成开发环境才具备的特性,这极大地提高了系统使用的方便性和快捷性。

解析引擎是整个集成分析环境的核心,同时也是设计中最为复杂的子系统,对于数学表达式的解析在编译原理上需要将中缀表达式转换为后缀表达式以后才能进行正确的计算,而通常的数学表达式解析算法都是采用动态使用栈一次性实现,这个解析过程不仅是计算过程同时也是语法校验过程,假如一个复杂的公式在经过耗时很长的计算后,在其公式的最后突然发现有语法错误,这时整个计算进程就将被迫取消,很明显这种算法对于解析引擎而言是不合适的。针对这种情况,系统在设计过程中首先采用动态压栈的算法对数学表达式进行语法校验,并在计算调用栈中顺序构建表达式的计算调用序列,这个过程不作任何具体计算,此过程为解析引擎的动态编译阶段,表达式通过此过程后就对计算调用栈中各个函数的计算参数进行扫描,校验每个函数的计算参数类型并且替换为具体的参数对象指针,此为解析引擎的类型编译阶段。校验通过以后即可采用计算调用栈中保存的各个计算调用顺序来快速计算表达式。

快速解析算法具体过程如图 5 所示。

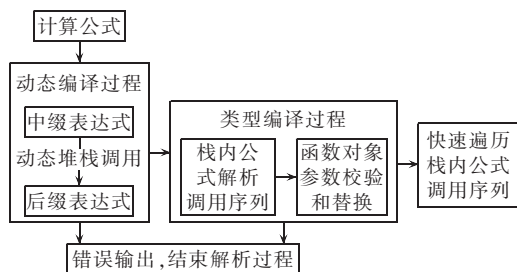


图 5 公式快速解析算法

Fig.5 Algorithm of fast formula parsing

### 3.5 故障分析报告自动生成及其管理子系统

以往电力故障分析软件系统的故障报表生成,都要在报表建模、打印等技术上克服各种难题才能让用户拿到一份满意的故障分析报表,但是这些技术本身往往是以牺牲报表可编辑性为代价而换来的,这样的报表处理方法对用户而言是极其不灵活的。为了解决这个长期以来的难题,系统在设计过程中采用了 MS Word 提供的 OLE 自动化控制机制,通过程序完全控制 Word 生成各种报表,生成的各种报表可由用户自己随意修改,在此技术下一份报表的产生是一个既灵活、又动态的交互过程:用户在 Word 文档内写入自定义分析内容的同时,可根据需要随时向文档内插入各种故障分析报表,并且可以修改,直到满意为止。Word 中提供的各种程序控制接口可通过 VC++ 编译器解析 Word 自带的对象库文件(MSWORD9.0Lb)来自动生成,编译器自动生成全部的 Word 访问控制接口包裹类,这些类都采用了智能指针技术封装具体的 IDispatch 接口指针的创建、销毁过程,简化了复杂的接口管理代码。

在运行过程中,由于 Word 和故障分析软件是 2 个相互关联的进程,所以故障分析软件需要随时监

视当前已经关联的 Word 文档状态,为实现此目的,系统采用 COM 技术规范中的链接点机制来获取已经关联的 Word 文档的各种状态通知消息,通过此技术机制故障分析软件可避免各种由于 Word 意外关闭等原因导致的系统异常,保证了这 2 个分离进程的协调运行。

在录波文件管理方面,以往其它分析软件都是采用一个录波文件及其相关文件占据一个目录的简单管理方法。而在自由故障分析软件中,系统采用 ATL (活动对象模板库)技术实现了一个 Word 扩展插件,通过插件可管理在一个目录树下的全部录波文件及其故障分析报表,通过插件可打开指定的故障分析报告,而且还可直接在故障分析报告和分析软件之间进行切换。

通过以上 3 种技术系统实现了自由故障分析软件和 Word 的无缝连接,成功解决了以往故障报告自动生成的难题,此过程如图 6 所示。

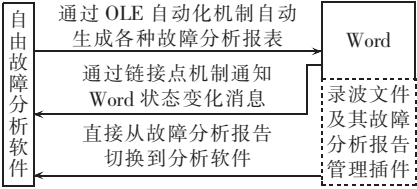


图 6 系统和 Word 间的无缝连接技术

Fig.6 Seamless connection between system and Word

4 系统提供的各种分析手段

图 7~14 显示了一些可视化分析手段。

除了图 7~14 所示功能以外,系统还提供了针对

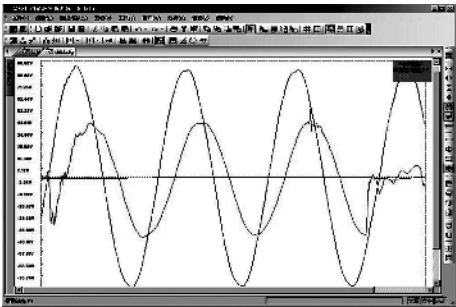


图 7 通道坐标融合显示

Fig.7 Channel coordinates merging display

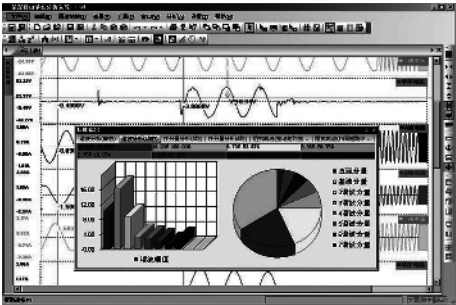


图 8 动态的谐波分析

Fig.8 Dynamic harmonic analysis

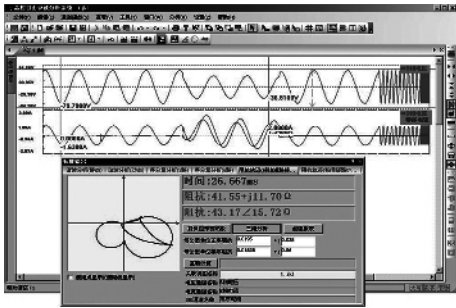


图 9 动态的二维序分量分析

Fig.9 2D dynamic sequence analysis

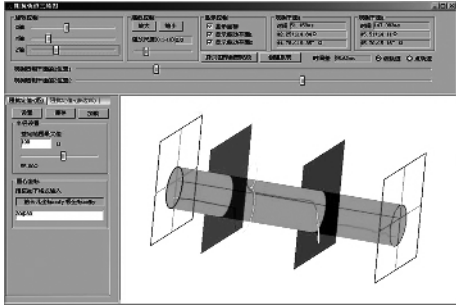


图 10 三维阻抗轨迹分析

Fig.10 3D impedance trajectory analysis



图 11 二次分析 IDE 环境

Fig.11 Secondary analysis IDE environment

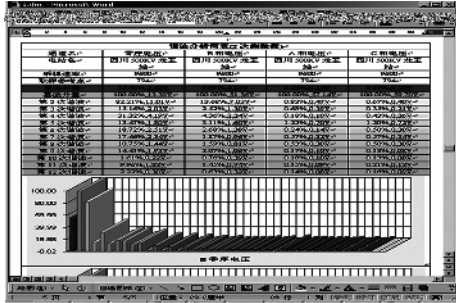


图 12 分析报表自动生成

Fig.12 Automatic generation of analysis report



图 13 Word 插件

Fig.13 Insertion of Word

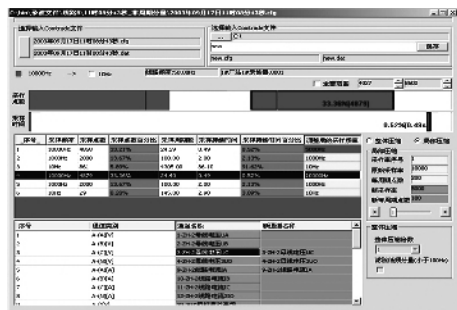


图 14 图形化的录波文件切割压缩工具

Fig.14 Visual tool for intercepting and compressing fault records

任何图形操纵的撤销功能、动态的序分量二维和三维分析功能、三维机端测量阻抗分析功能以及动态的二维功角分析、差流分析、功率分析、过激磁分析等分析功能。并给用户提供了最为全面的 3 种打印方式：所见即所打方式、全通道打印方式、通道折叠打印方式。对于后 2 种方式，用户都可以通过可移动的时标线对打印范围进行自由设定，非常方便。

## 5 结语

提出了一套自由故障分析软件系统，各种自由方法为专业的电力故障分析提供了全面、直观的信息和分析手段。

该系统将在四川省电力调度中心的新主站系统中与国电南思的保护信息系统一起投入使用，并已在多个录波器厂家和保护信息系统厂家试用，反映良好。

## 参考文献：

- [1] 姜建宁,章坚民. 电网故障信息系统中的一次故障建模与识别[J]. 电力系统自动化,2006,30(16):51-56.  
JIANG Jian-ning,ZHANG Jian-min. Primary fault information modeling and identification for grid relay protection and fault information system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(16):51-56.
- [2] 白青刚,夏瑞华,周海斌,等. 采用高性能集成芯片的故障录波故障设计[J]. 电力系统自动化,2005,29(22):94-96.  
BAI Qing-gang,XIA Rui-hua,ZHOU Hai-bin,et al. Design of fault wave recording device using high performance integrated microchip[J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(22): 94-96.
- [3] 郑敏,黄华林,吕鹏,等. 故障录波数据通用分析与管理软件的设计[J]. 电网技术,2001,25(2):75-77.  
ZHENG Min,HUANG Hua-lin,LÜ Peng,et al. General analysis and management software for transient data from protective relaying and fault recorder[J]. Power System Technology,2001,25 (2):75-77.
- [4] 宋墩文,蒋宜国,许勇. 波形数据通用分析系统的设计[J]. 电网技术,2002,26(11):77-79.  
SONG Dun-wen,JIANG Yi-guo,XU Yong. Design of versatile analysis software for waveform data[J]. Power System Technology, 2002,26(11):77-79.
- [5] 张杰,涂东明,张克元. 基于 COMTRADE 标准的故障录波的分

析与再现[J]. 继电器,2000,28(11):20-23.

ZHANG Jie,TU Dong-ming,ZHANG Ke-yuan. Analysis and representation of the recorded fault based on standard COM-TRADE[J]. Relay,2000,28(11):20-23.

- [6] 刘天斌,王永业,柳焕章,等. 基于 COMTRADE 格式的故障分析管理系统[J]. 继电器,2001,29(11):47-49.

LIU Tian-bin,WANG Yong-ye,LIU Huan-zhang,et al. The fault data management & analysis system based on COMTRADE [J]. Relay,2001,29(11):47-49.

- [7] 桂勋,郭凯,谭永东,等. 基于网络的全图形化故障录波分析软件系统[J]. 继电器,2004,32(24):44-50.

GUI Xun,GUO Kai,TAN Yong-dong,et al. All-graphic software system for fault record analysis based on network[J]. Relay,2004, 32(24):44-50.

- [8] 陈佳胜,曾克娥,孙扬声,等. 大型发电机组故障录波装置分析软件的研制[J]. 电网技术,2002,26(5):76-80.

CHEN Jia-sheng,ZENG Ke-e,SUN Yang-sheng,et al. Development of analysis software of fault recorder for high power generator-transformer bank[J]. Power System Technology, 2002,26(5):76-80.

- [9] 刘志超,黄俊,承文新,等. 电网继电保护及故障信息管理系统的实现[J]. 电力系统自动化,2003,27(1):72-75.

LIU Zhi-chao,HUANG Jun,CHENG Wen-xin,et al. The implementation of management information system for protective relaying and fault recorder[J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(1):72-75.

- [10] 杜新伟,李媛,刘涤尘. 电力故障录波数据综合处理系统[J]. 电力系统自动化,2006,30(12):75-80.

DU Xin-wei,LI Yuan,LIU Di-chen. Integrated processing system for power fault recording data[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(12):75-80.

- [11] JOSUTTIS N M. C++ 标准模板库[M]. 侯捷,译. 武汉:华中科技大学出版社,2002.

- [12] STEPANOV A,AUSTERN M. Background mainpage.html [EB/OL]. [2006-08-02]. <http://www.stlport.org>.

- [13] ABRAHAMS D,ADLER D,BREY E,et al. Introduction.html [EB/OL]. [2006-09-20]. <http://www.boost.org>.

- [14] GAMMA E,HELM R,JOHNSON R,等. 设计模式:可复用面向对象软件的基础[M]. 李英军,马晓星,蔡敏,等,译. 北京:机械工业出版社,2002.

- [15] BENNETT D. Visual C++ 5 开发人员指南[M]. 徐军,徐超,王子燕,等,译. 北京:机械工业出版社,2000.

- [16] 中国电机工程学会继电保护专委会. 电力系统暂态数据交换 (COMTRADE) 共用格式[G]. 北京:中国电机工程学会,2003.

- [17] OpenGL Architecture review board,OpenGL 参考手册[M]. 3 版. 孙守迁,王剑,林宗楷,等,译. 北京:机械工业出版社,2001.

- [18] ISHIMOTO A,HAMMOND M,le COGUE F. et al. SciTE. html[EB/OL]. [2006-11-02]. <http://www.scintilla.org>.

(责任编辑:李育燕)

## 作者简介：

桂勋(1978-),男,贵州安顺人,博士研究生,从事电力系统自动化研究(E-mail:guinh3@263.net);

青松(1972-),男,四川成都人,工程师,从事继电保护研究;

冯瀚(1970-),男,湖北武汉人,博士,从事电力电子技术研究;

钱清泉(1936-),男,江苏丹阳人,中国工程院院士,从事电力监控系统及其自动化研究。

## Development of flexible fault analysis software system

GUI Xun<sup>1</sup>, QING Song<sup>2</sup>, FENG Han<sup>2</sup>, QIAN Qing-quan<sup>1</sup>

(1. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Grid Corporation of Sichuan, Chengdu 610021, China)

**Abstract:** Aiming at the weakness of current power system fault analysis software, such as multi-version coexistence, data format disunity, weak graphic capability, inextensible algorithm library, and so on, solutions are proposed and a fault analysis software system is developed combined with C++ template libraries (STLPORT, Boost) and design patterns. Its principle and architecture are expatiated and the key technologies of five core subsystems are discussed in detail; the proxy object in subsystem of background shared fault records, the Undo algorithm in flexible subsystem of wave display and control, the 3D data generation algorithm in 2D & 3D dynamic analysis subsystem, the fast formula parsing algorithm in secondary analysis IDE (Integrated Development Environment) subsystem, and the OLE automation in automatic generation and management subsystem of fault analysis reports. The analysis functions and their effectiveness of the system are given.

**Key words:** fault record; STLPORT; Boost; proxy object; Undo; 3D analysis