

基于多层结构和组件技术的保护装置整定计算系统研究

王星华¹, 石东源², 段献忠², 李峥山³, 万春竹⁴

(1. 广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510900; 2. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074;

3. 江西电力调度通信中心继保科, 江西 南昌 330029; 4. 贵州电力调度通信中心继保科, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 基于传统一体化结构的整定计算软件无法有效应对保护装置定值项的新增和整定原则的变化, 因而在面向装置的整定计算中实际应用效果不佳。通过对保护装置整定计算特点的分析 and 归纳, 将多层结构的思想和组件技术引入继电保护装置整定计算软件的开发过程中, 有效地解决了上述问题。在此基础上, 提出了软件的总体层次划分、服务接口设计等方面的技术方案, 深入探讨了利用组件技术实现各层次接口的方法和关键技术, 并在实际开发过程中验证了其有效性。

关键词: 保护装置; 整定计算; 多层结构; 组件; 数据结构

Study of relay protection device setting coordination software based on multi-layer structure and component technology

WANG Xing-hua¹, SHI Dong-yuan², DUAN Xian-zhong², LI Zheng-shan³, WAN Chun-zhu⁴

(1. Department of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510900, China;

2. Department of Electrical Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

3. Jiangxi Electrical Power Dispatch Center, Nanchang 330029, China;

4. Guizhou Electrical Power Dispatch Center, Guiyang 550002, China)

Abstract: For the relay protection device setting coordination software based on the integrated structure, it is hard to adapt well to the frequent change of protection relay device, and the effect of application is not so good. According to the analysis and summary on the characteristic of the device setting coordination procedure, this paper introduces the multi-layer structure and component technology into the development of the software, and provides effective solution on above problems. Furthermore, this paper presents the primary layer-division structure and the service interface design, and discusses the method and key technique of its implementation. These techniques are verified effectiveness in the practical system development.

Key words: relay protection device; setting coordination; multi-layer structure; component; data structure

中图分类号: TM744

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)07-0006-05

0 引言

继电保护整定计算是电力调度运行中一项必不可少的日常工作, 其最终目的是形成装置定值通知单, 即装置定值项定值。从相邻保护间相互关系的角度, 保护装置定值项可以划分为两类:

1) 需要与相邻保护协调的, 称为配合定值, 如常见的阶段式电流和距离后备保护。

2) 仅与本保护装置信息相关而与相邻保护无关的, 称为装置定值。这类定值需根据具体保护装置的動作原理逐项依据整定原则整定。

现有的整定计算软件多数基于传统的一体化软件结构^[1~4], 即在应用程序中集成了用户界面, 业务逻辑和数据处理。对于后备保护, 由于整定

原则不会经常变动, 能充分发挥传统结构中间环节少, 速度快的优点, 实际应用效果较好。而对于装置定值, 由于保护装置的发展很快, 一旦出现新装置, 或定值项整定原则变化, 则传统结构的软件必须从数据库操作、整定计算、显示输出等多方面对程序代码进行补充或修改, 维护成本很高, 极大地影响了软件的实际应用效果。近年发展起来的多层软件结构^[5]可将经常变化的业务逻辑组合成相对独立的中间层, 进而有效地控制因业务逻辑变化而引起的代码修改量, 为解决上述问题提供了崭新的思路。

多层软件结构目前主要用于分布式网络应用环境, 大多采用基于 B/S 模式的典型三层结构^[6,7]。但多层软件结构决不仅仅是一种技术, 更

是一种朴素的软件设计思维模式, 通过对复杂应用进行有效的层次分解, 提取公共服务层, 从而提高软件的复用性和可维护性。

组件技术^[6]为多层软件结构的实现提供了强有力的技术支持。组件将庞大复杂的应用分解为多个相对较小的服务, 通过相互之间的互操作实现完整的功能。组件技术本质上是定义在二进制级别的软件互操作规范, 因此, 利用组件实现多层软件结构的业务逻辑层, 只要对外提供的服务接口不变, 系统就可以实现二进制级别上的插件式升级。

本文将多层结构的基本思想和基于组件的开发技术应用于继电保护装置整定计算软件的设计及开发中, 详细论述了软件的层次结构, 并以 COM 技术为基础, 对各层的实现思路 and 关键技术进行了深入的探讨。

1 继电保护装置整定计算特点分析

从整定计算角度, 可将装置定值分为三类^[1]:

- 1) 开关量: 即定值取 0 或 1 的控制字。
- 2) 非计算量: 指定值项取厂家或用户推荐的缺省值而无需计算的。
- 3) 计算量: 指定值项需根据整定原则进行电网运行方式组合、调用故障计算, 而且涉及复杂的公式计算和逻辑判断。

很显然, 对于前两类定值, 由于各种装置计算过程没有差别, 因而可以利用统一的模块处理, 而后一类则是整定计算软件开发的重点问题。

从保护装置发展的历史来看, 近十几年来在保护原理上的发展较小, 而各保护厂家相互借鉴和学习, 又使得保护装置在动作原理和整定原则上的趋同性越来越明显。以 CSL101A 和 WXH-11 为例, 保护的功能、定值项的整定原则都非常相似, 而新型的 RCS 系列保护多数定值项的整定原则与 LFP 系列相应定值项完全相同^[9]。例如, 多套保护中的“零序启动电流 I_{0zd} ”的整定原则均为:

- 1) 躲最大负荷不平衡零序电流;
- 2) 线末故障最小零序电流有 2 倍灵敏度。

因此, 从现有保护装置整定项中提取出相同或相似的计算量组织成统一的计算层, 为所有装置的整定计算服务, 能大大减少代码开发量。对于这些计算量, 本文称之为共性量。更进一步分

析, 对于很多不同的共性量, 虽然整定原则不同, 但相当部分都包含有相同的计算内容, 如 CSL101A 中 I_{0zd} 和 $3I_0$ 均需计算线末故障最小零序电流, 因此可将这类具体计算功能进一步划分为公共计算服务层。

2 总体结构分析

保护装置整定计算软件的分层结构如图 1。

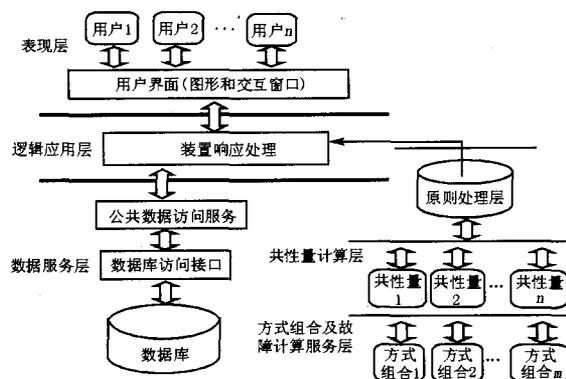


图 1 继电保护装置整定计算系统总体层次结构

Fig. 1 Main structure of protection relay device coordination system

可以看出, 从总体结构上来看, 系统遵循多层结构的典型设计模式, 分为数据服务层、逻辑应用层 (业务逻辑层) 和表现层, 各层以组件构成, 以组件接口的形式提供服务。

2.1 数据服务层

1) 数据库访问接口。采用 ADO 接口, 根据公共数据访问服务的要求操作数据库, 存、取或组合查询所需数据。

2) 公共数据访问服务。负责初始化从数据库中读取的原数据, 形成核心逻辑层能够识别的数据结构, 并为各种逻辑应用提供公用的数据。

在大多数的多层结构应用中, 一般仅包含数据库访问接口层。然而对一个功能可能不断扩展的应用系统, 类似于数据软总线的公共数据访问服务, 能为各类应用提供一个通用的数据访问标准, 并最大限度地减少数据存、取所需的代码量和运行时间。

2.2 逻辑应用层

逻辑应用层是整定计算软件多层结构的核 心, 向上为表现层提供对各种用户命令的具体响应实现, 向下则通过公共数据访问服务获取计算

所需的数据并存储计算结果。

根据前文的分析,为进一步复用各种公共的计算服务,将逻辑应用层划分为以下几层:

1) 原则处理层。根据待计算装置定值项的类型,分别调用不同的计算流程。

2) 共性量计算层。依据整定原则进行计算和取值,包括方式组合计算、复杂公式计算、逻辑判断以及定值结果的选择等。

3) 方式组合服务层(计算服务层)。根据共性量计算要求进行方式组合,并调用故障计算模块提供的计算接口获得相应的故障信息量的极值。

2.3 表现层

即用户界面,通过图形和交互窗口的方式接受用户命令,并将用户命令解析为对逻辑应用层接口服务的调用,由逻辑应用层处理完成后,再将处理结果返回。对于各种装置定值,整定计算过程中需要显示的信息主要包括:

1) 原定值和新定值信息。

2) 装置整定原则涉及的各计算内容详细信息。包括计算内容各自的名称、选择的方式故障及其各计算内容的最终计算结果。若定值项不是共性量,则只需显示为空即可。

3) 计算参数信息。如灵敏度,可靠系数等。

通过上述归类,软件可以采用通用的数据结构和界面设计,以表格方式分别将上述信息在统一的界面中显示,并提供调整操作功能,从而避免针对不同整定原则信息显示的个性化编程。

3 关键技术分析

3.1 公共数据访问服务

整定计算过程中所需数据可分为下述两类:

1) 内存驻留类。此类数据在计算中反复使用,且数据量较大,耦合关系强,传输速度要求高,不宜临时从数据库中读取,如电网拓扑参数等。

2) 临时读取类。此类数据耦合关系弱,个体数据量小而总量数据大,使用时可临时从数据库读取。例如装置模板,装置定值等。

因此,公共数据访问服务接口设计如图2所示。

在通过外部访问接口 INetData、ISetPar 访问第一类数据时,组件直接访问内存中的数据传

输给请求者。其中内存中的数据应在系统启动时就利用数据库访问接口从数据库中读取。

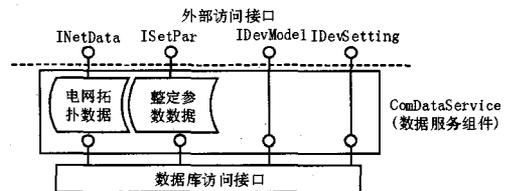


图2 公共数据服务层基本结构

Fig. 2 Basic structure of common data access layer

而利用 IDevModel, IDevSetting 访问第二类数据时,组件内部调用数据库访问接口,从数据库中临时读取相应的数据。

对于逻辑应用层而言,所有的数据访问服务都是透明的,逻辑应用层完全不必关心接口内部是如何实现的,程序的结构更为清晰。

3.2 逻辑应用层接口设计

由于装置定值整定无须考虑装置之间的配合,整定时可以逐套装置进行,因此逻辑应用层可利用单个装置组件(ComDevice)和定值项(ComField)组件提供多个外部访问接口,如图3所示。

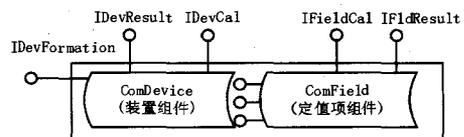


图3 逻辑应用层外部接口示意图

Fig. 3 Interface of logic application layer

其中:

1) 计算接口。包括装置计算接口(IDevCal)和定值项(IFieldCal)计算接口,其中前者可通过对后者的循环调用聚合而成。

2) 获取结果接口。获取每个定值项的整定计算结果(IDevResult 和 IFldResult)。

3) 调整接口。自动计算完成后,用户可根据需要调整参数、方式,然后再次进行计算。调整接口实际上就是定值项计算接口。

4) 定值单形成接口。按装置生成最终的定值通知单(IDevFormation)。

逻辑应用层的关键是定值项计算接口。因为所有装置的开关量和装置量算法一样,所以可将其封装于计算接口内部统一处理,而共性量则由定值项计算接口调用公共计算服务层进行计算。

3.3 共性量处理层实现分析

共性量处理层面向的是定值项具体整定原则, 是整个系统计算功能的核心, 其扩展性和重用性实际上决定了整个系统的可维护性。

共性量整定原则的差异表现为整定计算内容的差异。整定计算内容主要包括以下两类:

1) 公式计算量。利用元件本身的参数进行的公式计算, 如四边形距离电阻、最大负荷不平衡电流等。目前, 已有较成熟的商用公式编辑器组件用于处理各种复杂公式, 用户只需对元件参数进行编号, 并利用数据库存储参数和编号之间的对应关系, 在公式编辑器内部利用编号获取元件参数进行相应的处理。

2) 方式组含量。各种故障量极值的计算。这类计算量虽然复杂, 但通过对现有装置原理的分析和综合, 总能将其归为有限的几类, 从而构成简单的方式组合计算组件。以线路保护为例, 几乎所有的故障极值计算都可归为以下几种:

- a. 保护对侧母线故障最大、最小零序电流。
- b. 保护对侧母线故障最大、最小相电流。
- c. 保护对侧母线故障最大、最小负序电流。
- d. 保护对侧母线故障最大、最小正序电流。

因此, 将两类整定计算内容封装为两个公用的计算组件: 方式组合组件 (ComMode) 和公式计算组件 (ComEquat), 提供各种计算内容处理接口, 共同构成计算服务层, 那么, 整定原则的差异就转化为对计算服务层接口调用的不同。

进一步分析, 若将不同的共性量都封装成独立的共性量计算接口, 则整定原则的差异实质上就变为对不同共性量计算接口的调用。更为重要的是, 新原则的添加就变为添加一个新接口, 且由于组件接口本身的技术特性, 新增的接口不会影响原有接口的运行^[6], 这样就大大降低了共性量处理层面向不同原则时的开发和维护工作量。

为了维护外部访问接口的稳定, 共性量处理层只提供一个公共的外部访问接口, 根据外部传入的参数决定调用哪一个共性量计算接口, 使具体的原则差异均置于接口内部实现。共性量处理层的内部结构如图 4 所示。

其中:

1) 共性量处理层仅对外开放一个公共的访问接口 ICVCalc。

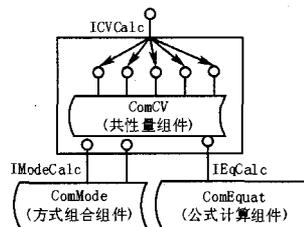


图 4 共性量处理层内部结构

Fig. 4 Structure of common-variable calculation layer

2) 在公共访问接口内部, 根据外部输入的接口参数, 调用各具体共性量计算接口。

3) 方式组合、公式计算对外接口仅由共性量处理层调用, 使得整个系统结构极为清晰。

在本层组件实现时, 为了避免计算过程中电网参数在组件之间的频繁传递, 采用了较大粒度^[6]的设计方案, 即在较少的组件对象中实现多个访问接口。在进行原则扩展时, 利用组件的特性, 不必重新编译全部代码, 只需替换或新增组件即可实现, 对于系统的维护非常有利。

3.4 核心数据结构

装置级整定计算系统的核心数据主要包括电网参数数据, 装置数据和共性量计算结果数据, 其数据结构如图 5 所示。

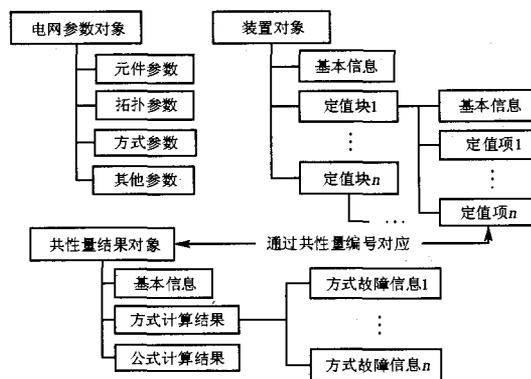


图 5 核心对象数据结构

Fig.5 Data structure of core object

各种数据结构均由一族相互关联的类构成, 以装置对象的定义为例:

```
class CRDevField//定值项类
{
    unsigned int m_nFieldID; //定值项编号
    unsigned int m_nCVCalcID; //共性量编号
    ...
}
class CRDevSZone //定值块类, 对应不同 CPU
{
    unsigned int m_nZoneID; //定值块编号
    CRDevField *m_pSField; //包含多个定值项
    ...
}
```

```

}
class CRDev //装置类
{
    unsigned int m_nDevID; //装置编号
    CRDevSZone *m_pSZone; //定值块数组
    ...
}

```

需要指出的是, 共性量计算结果对象与定值项对象之间则通过共性量编号对应, 指向同一共性量的定值项在获取结果时实际上得到的是同一个共性量计算结果。同样, 可给出共性量数据结构示例:

```

class CRDevSetCom : public CObject
{
    int m_ID; //共性量 id 号
    float m_NewSet; //共性量取值结果
    ...
    CComPara *m_ParaArray; //参数数组
    CResult m_ModeChain; //方式故障结果链

```

表

```

...
}

```

根据上述分析和示例, 在进行数据库结构设计时, 也可以用通用的方式表达各种不同的装置、共性量信息, 避免新装置出现时引起数据库结构变化。

3.5 层间数据交换

建立在组件基础上的多层应用软件, 各层之间的数据交换建立在组件的统一数据传输技术基础上, 通过一个“数据对象”来表达所要传输的数据信息。数据对象本身是一个 COM 对象, 通过实现 `IDataObject` 接口来访问数据, 组件之间数据传输过程实质上是 `IDataObject` 接口指针传输的过程。

COM 提供的统一传输机制定义了两个数据结构 `FORMATETC` 和 `STGMEDIUM` 分别描述数据格式和存储介质(内存地址或文件句柄等)。需要访问数据的组件在获得 `IDataObject` 指针后, 得到定义数据交换格式和存储介质, 再根据 `FORMATETC` 中描述的数据格式进行数据访问。

以装置数据从数据服务层传入逻辑应用层为例, 说明层间交换的过程:

- 1) 将 `CRDev` 注册为新的数据格式。
- 2) 利用公共数据访问服务提供的装置信息访问接口 (`IDevSetting`) 将装置信息装入内存。
- 3) 数据服务层根据装置对象数据格式和地址填充 `FORMATETC` 和 `STGMEDIUM` 结构。
- 4) 构造 `IDataObject` 接口, 调用 `SetData()`

函数, 将 `FORMATETC` 和 `STGMEDIUM` 信息填入数据对象。

5) 客户层通过查询获得 `IDataObject` 接口, 调用其成员函数 `GetData`, 获得数据格式和存储介质。

6) 客户程序根据数据格式和存储介质得到 `CRDev` 对象信息。

4 结语

本文描述了基于多层软件结构的保护装置整定系统的总体设计, 详细阐述了利用组件技术实现多层结构时需要考虑的各种因素和关键技术。实际开发经验表明, 利用这种设计思想和实现方法, 具有以下显著优点:

- 1) 将功能相近的模块合并在同一层次中, 结构清晰, 大大提升了模块的重用性, 并能使新装置和新原则投运带来的开发工作量得到有效控制。
- 2) 利用组件实现的各层仅为相邻的上一层提供服务, 并调用下一层接口。因此只要各层对外的组件访问接口不变, 对层次内部的修改不会影响对该层服务的调用, 便于软件的维护。
- 3) 通过对层次间交互的数据结构定义, 促进层次开发的标准化, 并可实现模块的自由替换, 可以更方便地实现新功能的添加和升级。

软件实际应用情况也证明, 在不同省级电网调度部门移植以及增加新型号保护装置时, 二次开发和维护的工作量很小, 而且能够保证不影响原有装置的整定计算。

参考文献

- [1] 李银红, 王星华, 等. 电力系统继电保护整定计算软件的研究[J]. 继电器, 2001, 29(12): 5-8.
LI Yin-hong, WANG Xing-hua, et al. Study of Relay Coordination Software[J]. Relay, 2001, 29(12): 5-8.
- [2] 邓健, 宋玮, 等. 基于组件技术的继电保护整定计算软件的设计与实现[J]. 继电器, 2004, 32(6): 44-48.
DENG Jian, SONG Wei, et al. Design and Realization of Component Based Software for Relay Protection Setting Calculation[J]. Relay, 2004, 32(6): 44-48.
- [3] 李银红, 等. 电力系统线路保护整定计算一体化系统[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(9): 66-69.

(下转第 27 页 continued on page 27)

公式可直接用于三相不平衡时的线损计算, 从而使分析计算工作大为简化。

附表

附表 1 总负荷 (3I) 不变, 三相负荷分布方式不平衡时引起的线损增加率

序号	三相负荷分布方式	引起的线损增加率
1	三相对称分布	0
2	三相负荷大小角度都不对称	$2(1+\beta_A^2+\beta_B^2+\beta_A\beta_B)+4[(1+\beta_A)\cdot\cos\varphi_B+(1+\beta_B)(1-\beta_A-\beta_B)\cos\varphi_C+(1+\beta_B)(1-\beta_A-\beta_B)\cos(\varphi_B-\varphi_C)]/3$
3	三相负荷大小不等, 角度对称	$2(1+\beta_A^2+\beta_B^2+\beta_A\beta_B)-2[(1+\beta_A)\cdot(2-\beta_A)+(1+\beta_B)(1-\beta_A-\beta_B)]/3$
4	三相负荷大小相等, 角度不等	$2+4[\cos\beta_B+\cos\beta_C+\cos(\varphi_B-\varphi_C)]/3$
5	仅两相有负荷, 大小相等, 相角差不为 120°	$3.5+3\cos(\varphi_B-\varphi_C)$
6	仅两相有负荷, 大小不等, 相角差不为 120°	$2(2-\beta_B^2-\beta_B)+4[(1+\beta_B)(2-\beta_B)\cdot\cos(\varphi_B-\varphi_C)]/3$
7	仅两相有负荷, 大小不等, 相角差为 120°	$2(2-\beta_B^2-\beta_B)-2(1+\beta_B)(2-\beta_B)/3$
8	仅两相有负荷, 大小相等, 相角差为 120°	3
9	单相运行	8

参考文献

- [1] 卜永红. 配电网三相负荷不对称对技术线损的影响[J]. 大众电气, 2004, (12): 30-31.

(上接第 10 页 continued from page 10)

- LI Yin-hong, et al. Study on Line Protection Integrative Coordination System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(9): 66-69.
- [4] Damborg M J, et al. Application of Relational Data Base to Computer-aided-engineering of Transmission Protection Systems[J]. IEEE Trans on PWRs, 1996, 1(2): 187-193.
- [5] 潘爱民. COM 的原理和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- PAN Ai-min. Principle and Application of COM[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999.
- [6] 高军, 李晓明. 基于三层结构的电力信息系统智能报表的研究[J]. 电力科学与工程, 2003, (3): 23-26.
- GAO Jun, LI Xiao-ming. Research of Intelligence Report Based on Three-layer Structure in Power Information System[J]. Electric Power Science and Engineering, 2003, (3): 23-26.
- [7] 孙庆恭, 杨新梅, 等. 一种基于 B/S 三层结构维护、查询及实现折线图方法[J]. 电力情报, 2001, (4): 31-34.

BO Yong-hong. Influence on Technical Loss by Three-phase Load Unbalanced in Distribution Networks[J]. Popular Utilization of Electricity, 2004, (12): 30-31

- [2] 王树田. 三相不平衡线路的线损分析[J]. 农村电气化, 1994, (2): 29-30.
- WANG Shu-tian. The Circuit Loss Rate Analysis of Three-Phase Unbalanced Circuit [J]. Rural Electrification, 1994, (2): 29-30.
- [3] 郜俊琴. 三相不平衡线路的线损分析[J]. 电力学报 2001, 16(2): 91-93.
- GAO Jun-qin. The Circuit Loss Rate Analysis of Three-Phase Unbalanced Circuit [J]. Journal of Electric Power, 2001, 16(2): 91-93.
- [4] 蔡树锦. 三相负荷不平衡对线损的影响[J]. 农村电气化, 2002, (4): 23-24.
- CAI Shu-jin. Influence on Circuit Loss by Three-phase load Unbalanced[J]. Rural Electrification, 2002, (4): 23-24.

收稿日期: 2006-10-12; 修回日期: 2007-01-22

作者简介:

张五一(1977-), 男, 硕士, 研究方向为电力系统运行与分析;

张言滨(1979-), 男, 硕士, 研究方向为配电网简化分析与优化;

刘华伟(1977-), 男, 高工, 研究方向为变电运行。
E-mail: lhw13837916317@163.com

SUN Qing-gong, YANG Xin-mei, et al. Maintenance, Query and Plotting Methods Based on 3 Tiered B/S System[J]. Information on Electric Power, 2001, (4): 31-34.

- [8] 南瑞继保. RCS 系列线路保护装置技术说明书[Z]. Nari. RCS Series Transmission Line Protection Manual[Z].
- [9] Zhu J, Jossman P. Application of Design Patterns for Object-oriented Modeling of Power Systems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14 (2): 532-537.

收稿日期: 2006-10-10; 修回日期: 2006-12-11

作者简介:

王星华(1972-), 男, 讲师, 从事电力系统分析、信息化电力系统、电能质量等领域的研究和开发;
E-mail: riskmouse@163.com

石东源(1974-), 男, 副教授, 从事电力系统分析、二次系统自动化、电力系统软件技术等领域的研究;

段献忠(1966-), 男, 教授, 从事无功电压、FACTS、电力系统网络化控制、电力系统软件技术等领域的研究。