

继电保护整定计算软件中的若干问题分析

王慧芳

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 详细研究了整定计算软件现状,指出现有整定计算软件在计算结果的正确性、软件的实用性和可用性、软件的通用性和可发展性方面存在的问题,提出了解决的方法,即:(1)把整定计算用的运行方式分解为厂站大小方式、供电方式和检修规则三者的组合,不仅能简化设置缩小选择范围且能保证定值正确;(2)提供完整定值单的生成与管理,增加定值校正功能以加强软件实用性;进行严格的交互设计过程保证软件的可用性;(3)保证软件通用性采用插件式的软件结构通过功能模块的版本控制实现省级、地区级和县级三类用户共同的整定平台;(4)学习和实践软件工程的理论,加强软件开发的管理工作,提高软件质量,保证整定软件具有可发展性。

关键词: 电力系统; 继电保护; 整定计算; 运行方式

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)12-0014-06

0 引言

实现电网安全可靠的保护,原理合理、性能先进、配置齐全的继电保护装置是物质基础,正确的继电保护定值则是必要条件。定值的计算并不象短路电流计算一样是一个单一的计算问题,而是一项十分复杂的技术和智能工作。80年代后,出现了专门用于整定计算的整定软件,但由于计算机技术等条件的限制,基于DOS操作系统的整定软件不仅操作使用不方便,而且功能有限,所以推广应用进度很慢。90年代后,计算机技术蓬勃发展,硬件价格迅速下降,软件开发技术不断进步,同时电网的发展也很迅速,由此出现了很多科研院所积极开发整定计算软件,各电网用户也积极支持整定软件开发的局面。尤其是近几年,整定计算软件的发展很快,出现了百花齐放的局面。

本文在分析整定计算软件的发展情况基础上,指出了整定计算软件存在的一些不足,如计算结果的正确性常遭置疑,软件的可用性和实用性研究不足,软件的通用性和可发展性不理想等,并对这些不足进行了分析,给出了相应的解决方法。

1 继电保护整定计算软件现状

有关整定计算软件开发及研究的文献很多,它们在以下方面各有特色。

1.1 关于故障参数的准备

文献[1]认为,在整定计算前由故障计算模块

完成所有的故障参数准备是合适的,并提出用“分屏分表”技术实现;而文献[2]认为,整定计算是线性流程,即需要一个故障参数就计算一个。两者虽各有利弊,作者倾向于后一种方式。因为前者不仅需要在整定计算前确定需要哪些故障参数,并且要对故障参数进行清楚描述,如运行方式、故障位置、故障类型、计算元件、计算值类型等,这种描述用非自然语言是很繁琐的,查询起来也非常复杂。后者获取故障参数比较直接,但存在出现重复计算的问题。重复计算在目前计算机软硬件计算速度都很快的情况下已不成为主要问题。

1.2 关于运行方式的确定

文献[3]指出整定计算中的所有运行方式由程序自动考虑完成。文献[4]讨论了整定计算中运行方式的组合问题,运用阻抗矩阵法改进了传统运行方式的选择。即传统运行方式的选择仅考虑整定保护所在母线及对侧母线上直接连接的电源和线路的运行方式变化,改进的方式能考虑系统中大电厂和环路上运行方式选择的特殊性问题,能更有效地保证定值的正确性和合理性。文献[5]认为应允许用户根据电网的特点自行确定运行方式的变化范围。文献[6]提出了一种基于耦合度的选择方法,它是利用元件与被保护设备之间的耦合度大小决定该元件对故障电流的影响,可以有效缩小运行方式的选择范围。比较而言,由计算机自动考虑运行方式,若采用传统方法将过于简单,得到的定值将不可靠;若考虑所有可能运行方式的组合又过于复杂,运行方

式数量巨大,即使采用文献[4,6]的方法也需要进行专门的分析。因此宜针对待计算的故障参数考虑运行方式的合理组合与选择,并允许用户进行设置和调整。

1.3 关于整定计算的执行模式

有文献提出整定计算的全自动化实现方案^[7],也有文献认为自动整定在现场实际应用中并不很实用^[8]。更多文献提出了多种模式的并存,如自动模式和人工干预的半自动模式^[9,10]等,允许用户根据电网的特点选择相应的模式。

1.4 关于软件的实现技术

很多文献运用专家系统来实现整定软件^[11,9],并认为专家系统是解决计算机实现整定计算的合适途径。也有文献指出专家系统并没能很好地解决整定计算问题,离实用还有一段距离^[11]。文献[12]对专家系统应用于整定计算的现状进行了综述,肯定了专家系统应用的可行性,并指出了一些需进一步研究和解决的问题。更多的文献不再强调是否采用专家系统,认为能实现软件的通用性和实用性才是关键,如文献[13]开发了一种专门面向继电保护计算与管理的高级编程语言 HT 语言。

1.5 关于软件的应用范围

不少文献介绍的整定计算软件都有特定的应用范围。如有的只能适用于 110 kV 电网,有的则是针对 220 kV 及以上的电网。此外不少整定软件只针对某一类保护原理开发,如有只针对零序电流保护开发的,也有只针对距离保护开发的,更多的整定软件是面向各种原理保护的。

1.6 关于软件的功能

随着整定计算软件研究的深入,整定软件的功能逐渐丰富起来。早期的软件往往只强调整定计算阶段而缺少其它环节,目前的整定计算一般都是一体化的系统,通常包括电网图形的绘制、设备参数和保护配置的录入与管理、故障计算、整定计算、保护定值通知单的生成与管理等功能。此外,文献[14,15]还介绍了对定值进行仿真校验的功能,认为仿真校验能摆脱保护定值只能在保护动作后才能知道是否正确的被动状况,从而比常规的灵敏度校验多了一种验证手段。

2 继电保护整定计算软件存在的问题及解决方法

整定计算软件发展日趋成熟,很多系统已用于实际生产中,创造了不少经济和社会效益。但在推

广应用中,也暴露出不少问题。

2.1 软件计算结果的正确性

2.1.1 存在的问题

由于整定计算不是一个简单计算问题,而是一项相当复杂的智能工作,它通常需要拟定运行方式,选择故障计算条件,对各整定原则的计算结果需要进行比较,对出现的矛盾(如配合关系和灵敏度要求两者难于同时实现时)要进行选择和说明,并形成最终的整定方案。这一系列工作仅靠基本原则是很难解决的,通常需要经验丰富的整定人员干预。因此自动实现整定计算的软件其计算结果的正确性、合理性常遭到用户的置疑,即使软件提供详细的整定计算书,用户需要根据庞杂的描述内容来核对结果,其过程本身相当于用户计算一遍。因此导致不少软件被弃而不用或只用一部分功能,如短路电流计算。

2.1.2 解决方法

常用的解决办法是分步完成整定计算过程,每一步允许用户参与,即所谓的半自动整定模式。这种模式在一定程度上能增强用户对结果的可信度,但不易彻底解决。因为这种模式容易出现一种矛盾:若步骤分得过细,每一项内容都需要用户干预,则整定计算软件变为纯粹的整定计算工具,将所有需要智能的工作都推给用户去完成,失去软件实用性;若步骤分得过粗,相当于将原来大的黑匣子拆成几个小的黑匣子。

要彻底解决这个问题,必须弄清楚整定过程中哪些内容需要用户参与。整定过程通常包括:运行方式选择、故障条件选择、整定原则选择、整定系数选择、整定结果选择等内容。除运行方式选择外,其它内容都可以通过事先设置和过程中由用户调整来实现,唯独运行方式的设置和选择存在两方面困难。一方面,电网在实际运行中其运行方式是非常多样的,若由用户设置,其工作量是巨大的,而且容易出错;若由软件自动进行组合和选择,则不仅会出现数目惊人的运行方式,而且大量方式是无意义的(不符合实际)。另一方面,保护整定中用到的故障电气量通常是一些最不利情况下取得的极值,计算这些极值时所采用的运行方式通常会比实际运行方式还要极端些,比如在实际运行方式下再检修一个或二个相邻元件。

整定计算中运行方式的选择又是至关重要的,选择的合理与否直接关系到整定计算结果的正确性。在 1.2 中提到,运行方式的选择宜由软件选择

与用户参与选择相结合。但如何结合问题一直困扰着软件开发人员和用户。

通过对实际电网运行方式和整定计算中采用的计算运行方式研究,作者发现计算用的运行方式可以通过各厂站大小方式、电网供电方式和设备检修规律三者进行组合而成。

厂站大小方式是指发电厂或变电所内部设备的最大/最小运行方式,而不需考虑进线/出线的运行情况。厂站大小方式的设置是有规律的,所以可由计算机自动设置完成。规律如下:设置厂站大方式,通常把各厂站的所有设备都投运(开关都合上),外接的等值电源阻抗选择大方式运行时的阻抗(即小阻抗值),部分变压器中性点接地运行的选择零序阻抗小的变压器接地;设置厂站小方式,通常把各厂站的部分设备停运(开关断开),如两台主变的选择容量大的主变停运,外接的等值电源阻抗选择小方式运行时的阻抗(即大阻抗值),若有小电源的则停运,部分变压器中性点接地运行的选择零序阻抗大的变压器接地。按以上规律由计算机自动设置完成后,保存成了基本的厂站大小方式,用户可以对部分厂站进行修改并保存。

电网供电方式是指电网中的输电线路的运行情况,而不需考虑厂站内部设备的运行情况。因此电网的供电方式没有最大/最小之分,它通常由用户设置。

厂站大小方式与电网供电方式的组合即可构成实际电网的各种运行方式,但由于整定计算中要用的电气量通常是在极端方式下计算得到的,所以还需在常见的运行方式下再检修掉部分设备。这种检修是有一定的规则的,比如有多条相邻线路时可以轮流检修一回,平行双回线检修一回等。检修规则允许用户设置和修改。

把计算用的运行方式分成以上三类的组合后,不仅简化了设置而且缩小了选择范围。以计算最小助增系数为例,其计算运行方式的选择如下:厂站方式的选择是给整定线路首端供电的各厂站大方式,给整定线路末端和配合线路末端供电的各厂站小方式;供电方式的选择是与该整定设备和配合设备相关的所有供电方式;检修规则是整定线路末端母线连接的元件不检修及轮流检修一回,故障线路末端母线连接的元件轮流检修一回以及故障线路末端故障相继跳闸。

2.2 软件的有用性

2.2.1 存在的问题

软件有用性是整定软件推广应用中备受关注的主要因素。有用性包含两个方面:实用性和可用性。实用性是指软件执行任务的能力,软件能完成的任务越多,其实用性就越高。可用性是指软件执行指定任务的难易程度。这两个方面对整定软件都非常重要。而目前的整定软件对此研究不够,经常厚此薄彼,如软件能自动完成整定计算(可用性好),但不能提供正确的整定方案(实用性差);又如软件的功能很强大,能完成与整定计算相关的各项工作(实用性好),但每完成一项功能用户必须花费大量的时间和精力来学习和使用它(可用性差)。由此最终降低了软件的有用性。

整定软件的实用性已引起不少整定软件重视,如1.6中介绍的开发一体化整定软件,实现整定计算的全过程。但在完整定值通知单的生成与管理以及定值检验等方面还存在不足。

整定软件的可用性还没引起足够重视,主要表现是缺乏良好的交互设计。交互设计不仅仅包括软件工程学科的理论内容,还应包括所有软件开发在实践中需要不断学习和积累的实践经验。

2.2.2 解决方法

1) 提供完整定值通知单的生成与管理功能

微机保护装置的发展使定值项目随功能的增强而逐步增多,而且不同厂家不同型号保护装置其定值项有区别,因此用户需要根据保护装置制作不同的定值单。

软件提供定值单模板生成器,用户通过该功能可定义个性化的定值单模板。定义模板的环境如同使用Excel一样,不仅可以设计表单格式,填写定值数值项名称,指定具体数值项位置,还提供辅助定值定义和应用的功能,可把涉及微机保护装置中保护逻辑、功能等的定值定义为辅助定值进行保存,在生成具体定值单时直接导入,不仅有利于提高工作效率,也能减少整定人员的出错率。模板也可由已有的Excel文件导入,再进行定义,由此可减少工作量。

在生成具体定值单时,软件提供单个或批量地自动生成对应版式的定值单功能。

此外,软件提供定值单审批流程的管理。当某使用者登录系统而同时又有需要其处理的定值单审批任务时,将自动提示其处理。处理过的定值单自动进行属性升级。

2) 提供定值校正功能

整定计算结果是否正确除灵敏度校验外,主要

依靠校核人员进行人工校核。虽然也有软件提出用保护定值动作仿真功能对保护定值进行检验,但这种检验并不彻底。因为这种仿真需要用户设置故障条件(尤其是故障位置),也就是只能对定值在某种故障情况下的动作正确性进行检验,而没法显式地给出保护定值间是否存在失配的情况。

软件提供定值校正功能可解决以上问题。定值校正包括定值检测和定值纠正两项内容。定值检测是在某种具体运行方式下,对电网中保护的定值进行选择、灵敏性等检测,得出是否错误的结论。定值纠正是在定值检测得出定值不满足选择性或灵敏性要求的结论时,给出合理的定值,实质是针对当前运行方式进行定值整定计算。

定值校正可作为整定计算结果的校验工具,检验整定结果在某些整定计算中没有考虑到的特殊运行方式下是否适合,并对定值进行调整或纠正;而且特别适合于新建或扩建电网时校核原电网设备上所安装的保护定值是否仍然合适,若不合适则进行相应调整。定值校正的不足之处是一次只能针对一种运行方式进行,但这正是其实现容易的原因。

3) 进行交互设计保证软件的可用性^[16]

直接影响用户使用的软件设计就是交互设计。用户与软件是通过界面来传递彼此的信息,因此交互设计很容易被误认为是界面设计,而实质上界面设计只是交互设计的最后一步。因为界面设计只是打扮界面,界面上要传递的信息都已确定;而交互设计首先需要进行概念设计,提炼出对用户有价值的东西,然后用行为设计表达软件各元素如何动作和通信以实现概念设计,最后才是界面设计,用界面布置达到行为设计的要求。

整定软件通过交互设计,不仅使软件易学易用,而且提高了智能水平。整定软件不是人工手算和管理过程的简单复制,而是应该对过程进行分析、抽象和重新设计。如整定计算过程,尽管用户可以参与,但不应把所有要思考的问题都推给用户,而应根据具体情况合理缩小用户参与的工作量,甚至在可能的情况下可以不需要用户参与。软件的智能水平还包括对用户要考虑的一些问题,能自动地提供问题解决范围,帮助用户思考和决策。

2.3 软件的通用性

2.3.1 存在的问题

各级电网都需要进行整定计算,但各级电网的网架结构、运行方式、保护配置等都有很大的不同,即使相同等级的电网在不同地区也存在着差异。因

此软件的通用性实现有一定的困难。目前许多整定软件都是针对具体用户开发的,只能在某个地区某个时期特定保护配置条件下适用,导致软件的生命期很短,推广应用受限。此外,各级电网在管理上是上下级关系,在工作中需要沟通,若采用不同的整定软件,就会缺乏沟通的平台。

2.3.2 解决方法

整定软件的使用者(即用户)按行政等级大体可分为省级电网用户、地区电网用户和县网用户三类;按电压等级也大体可分为三类,包括220 kV及以上电网(环网运行方式为主),110 kV电网(分区运行方式为主)和35 kV及以下电网(为辐射形小电流接地系统)。目前两类划分的对应关系是:省网用户的工作对象是220 kV及以上电网,地区网用户的工作对象是110 kV电网和220 kV主变,110 kV主变和35 kV及以下的电网则属于县网用户。但这只是目前的对应情况,随着电网的发展,有些情况会随之变化。比如,以前我国的大多数110 kV电网是环网运行的,随着220 kV主输电网络的形成,110 kV环网得以解环运行,形成了以220 kV变电站为中心电源的辐射型结构的分区网络。再比如目前220 kV是环网运行的,随着500 kV输电网络的形成,220 kV解环运行也是趋势,不少220 kV变电所已实现了分区运行,把分区运行的220 kV电网的管理放到地区局不是没有可能。所以按照电压等级开发整定软件是不稳定的,也很难维护;按行政等级划分则是稳定的。因此整定软件的用户有三类:省网用户、地区网用户和县网用户。

针对三类用户分别开发软件不仅成本高、维护困难,而且会造成三类用户在工作中不易沟通。为解决软件的通用性问题,可把硬件产品插件式结构设计思想引入到软件产品中,实现插件式的软件结构。通过功能插件的版本选择来满足不同类用户的需求,而同类用户的不同需求则通过用户选择配置来实现^[10],如用户在配置整定原则时可以选择一些具有地方特色的整定原则,软件提供最大可能的选择范围。这种结构不仅保障了软件的通用性,而且软件的健壮性和可维护性增强。

2.4 软件的可发展性

2.4.1 存在的问题

软件投入使用后并非一成不变了,往往需要继续发展,如错误的改正、新功能的增加等。这些发展要求软件不仅具有良好的结构、开放的接口,还要求有完整的软件开发文档和数据。这些文档和数据是

软件维护的依据,是软件可发展性的基础。而目前的整定计算软件在软件开发过程和项目管理等方面还有许多不足,很难满足发展的需要。

2.4.2 解决方法

整定软件与其它应用软件一样,其开发过程要经历需求分析、软件设计、编码、测试、维护几个阶段,每一阶段都需要软件工程学科理论与实践经验的指导,并进行严格科学的开发过程管理。只有这样,才能有好的软件质量,才具有可发展性。

3 结论

整定计算软件发展到今天,还存在一些不足,这些不足的改进,需要继电保护和软件开发两个领域一起努力。继电保护专业方面,需要对整定计算工作做进一步的深入理解,获取完整的需求并要抽象出本质,不能仅看人工计算的表面过程而作一个软件翻译,这样开发出来的软件往往不具应用价值。在软件开发方面,必须依靠软件开发相关理论、技术和方法科学地分析、设计、实现软件,并加强软件开发管理,提高软件的质量。只有这两方面共同努力,才有可能实现计算正确、实用性和可用性强、通用性和可发展性好的整定计算软件。

参考文献:

- [1] 赵旋宇,游大海,尹项根. 地方电网继电保护整定计算专家系统的研究[J]. 继电器, 2001, 29(10): 30-33.
ZHAO Xuan-yu, YOU Da-hai, YIN Xiang-gen. An Expert System for Protective Relay Setting of Regional Power System[J]. Relay, 2001, 29(10): 30-33.
- [2] 曹国臣,蔡国伟,王海军. 继电保护整定计算方法存在的问题与解决对策[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(10): 51-56.
CAO Guo-chen, CAI Guo-wei, WANG Hai-jun. Problems and Solutions in Relay Setting and Coordination[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(10): 51-56.
- [3] 王广学,俸玲,王友怀. 智能电力系统线路零序电流保护整定计算程序[J]. 电力自动化设备, 2000, 20(2): 41-43.
WANG Guang-xue, FENG Ling, WANG You-huai. Setting Program for the intelligent Zero-sequence Current Protection of Power Line[J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20(2): 41-43.
- [4] 张锋,李银红,段献忠. 电力系统继电保护整定计算中运行方式的组合问题[J]. 继电器, 2002, 30(7): 23-26.
ZHANG Feng, LI Yin-hong, DUAN Xian-zhong. The Research on Problem of Operation Mode in Relay Coordination for Electrical System[J]. Relay, 2002, 30(7): 23-26.
- [5] 陈青,刘炳旭,黄德斌,等. 继电保护整定计算软件的通用性和实用性研究[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(10): 60-64.
CHEN Qing, LIU Bing-xu, HUANG De-bin, et al. Study on Universality and Practicality of Application Software for Protection Setting Calculation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(10): 60-64.
- [6] 周志辉,周玲,丁晓群,等. 继电保护整定值计算中运行方式选择的新方法[J]. 电力设备, 2005, 6(2): 55-58.
ZHOU Zhi-hui, ZHOU Ling, DING Xiao-qun, et al. New Method of Operation Mode Selection for Relay Protection in Setting and Calculation[J]. Electrical Equipment, 2005, 6(2): 55-58.
- [7] 李银红,王星华,骆新,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): 5-7.
LI Yin-hong, WANG Xing-hua, LUO Xin, et al. Study of Relay Coordination Software[J]. Relay, 2001, 29(12): 5-7.
- [8] 邓健,宋玮,张明霞,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, ZHANG Ming-xia, et al. Design and Realization of Component-based Software for Relay Protection Setting Calculation[J]. Relay, 2004, 32(6): 44-48.
- [9] 吕飞鹏,李华强,张军文,等. 电力网继电保护整定计算专家系统[J]. 中国电力, 2000, 33(8): 50-52.
LÜ Fei-peng, LI Hua-qiang, ZHANG Jun-wen, et al. Expert System for Calculating Relay Protection Settings[J]. Electric Power, 2000, 33(8): 50-52.
- [10] 王慧芳,姚勇,何奔腾,等. 电网继电保护整定计算软件的实用性研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(21): 85-88.
WANG Hui-fang, YAO Yong, HE Ben-teng, et al. Studies on Practicality of Protection Setting Calculation Software[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(21): 85-88.
- [11] 赖业宁,韦化,文杰,等. 220~500 kV 电网继电保护整定计算专家系统[J]. 继电器, 2001, 29(3): 31-34.
LAI Ye-ning, WEI Hua, WEN Jie, et al. Expert System for the Setting Calculation of Relay-protection Setting-calculation on 220~500 kV Power Networks[J]. Relay, 2001, 29(3): 31-34.
- [12] 梅慧兰,徐玮,陈允平,等. 专家系统在继电保护整定计算中的应用研究[J]. 继电器, 2004, 32(8): 15-18.
MEI Hui-lan, XU Wei, CHEN Yun-ping, et al. Application for Electrical System[J]. Relay, 2002, 30(7): 23-26.

- tion Research on Expert System in Protective Relay Setting Calculation[J]. Relay, 2004, 32(8): 15-18
- [13] 陈青, 黄德斌, 唐毅, 等. 一种新的继电保护整定计算及管理系统——高级编程语言 HT[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(17): 59-61.
- CHEN Qing, HUANG De-bin, TANG Yi, et al A New Protection Relay Calculation and Management System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(17): 59-61.
- [14] 韩学军, 朱涛, 韩学山. 供电网继电保护可视化整定计算与动作仿真系统 [J]. 电网技术, 2004, 28(14): 28-31.
- HAN Xue-jun, ZHU Tao, HAN Xue-shan Visualized System of Setting Calculation and Action Simulation for Protective Relaying in Power Supply Network [J]. Power System Technology, 2004, 28(14): 28-31.
- [15] 刘健, 赵海鸣. 继电保护整定计算及定值仿真系统 [J]. 继电器, 2002, 30(9): 47-49.
- LIU Jian, ZHAO Haiming System of Setting Calculation and Simulation of Relay Protection [J]. Relay, 2002, 30(9): 47-49.
- [16] 王慧芳, 何奔腾. 继电保护整定计算软件的交互设计方法研究 [J]. 继电器, 2005, 33(11): 59-62.
- WANG Hui-fang, HE Ben-teng Study of Interaction Design Method in Relay-protection Setting-calculation Software [J]. Relay, 2005, 33(11): 59-62.

收稿日期: 2005-12-23; 修回日期: 2006-04-28

作者简介:

王慧芳 (1974-), 女, 博士研究生, 讲师, 主要从事电力系统继电保护研究。

On some problems about protection setting calculation software

WANG Hui-fang

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: The status of setting calculation software is detailed. The problems are pointed out, such as the validity of calculation results, usability, universality and developability of software. The methods to solve these problems are four steps. First, it takes operating condition as the combination of running mode of plant or station, power supply topological and rules of equipment maintenance. It is useful at simplifying setup and choice of operating conditions and ensuring calculation result correction. Second, the functions of achieving integrated setting list is offered, setting examination and rectification are setting to enhance software's practicality and interaction design method is employed to ensure software's usability. Third, it introduces software structure with insert mode to actualize the common platform. With this structure, the software can be used in various levels of power networks by switching function groupware with corresponding edition. It is important to solve software's universality. Fourth, the theory of software engineering is studied and the management of development course is strengthened to ensure the developability of software.

Key words: power system; protective relays; setting calculation; operation condition

(上接第 9 页 continued from page 9)

(1. Fuzhou Power Supply Bureau, Fuzhou 350004, China; 2. China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: To remove the effect on the line-to-ground fault location of power distribution system by load current, an accurate single terminal fault location algorithm based on fault components is proposed in this paper. The algorithm constructs a fault location function according to the characteristic of fault current, and the fault location is directly calculated by using fault components of voltages and currents derived at only line head. It has been confirmed that the algorithm can locate the fault or fault area effectively by a lot of simulations on fault lines with ATP-EMTP, and is not influenced by the load currents.

Key words: fault location; fault components; line-to-ground fault

(上接第 13 页 continued from page 13)

Abstract: Alloy is a kind of formal language which has a succinct syntax and allows specification and automatic analysis of a wide variety of systems. On the other hand, the Unified Modelling Language (UML) is a semi-formal language, which is accepted by the software engineering community as the de facto standard for modelling, specification and implementation of object based systems. This paper takes advantage of the positive aspects of both the UML and Alloy to outline a method for modelling the discrete behavior of protection relay by using UML, and also presents a case study of modelling and analysis of a prototype three-step distance relays. A discussion for transforming the case from UML to Alloy and analysis for the transformed case is also presented in the end.

Key words: UML; protection relay; discrete event; OCL; Alloy; model transformation