

# 继电保护的 UML 建模及其转换

韩爱稳<sup>1</sup>, 张纪平<sup>2</sup>

(1. 邢台勘探设计院, 河北 邢台 054001; 2 华北电力大学电气工程学院, 河北 保定 071003)

**摘要:** Alby是一种具有简洁语法结构的形式语言(formal language),它能够对众多不同类型的系统建模、规范并进行自动化分析。而作为半形式语言(semi-formal language)的UML(Unified Modelling Language),是一种用于对软件系统进行描述、可视化和构架,并用于商业建模的语言。它作为一种对基于对象的系统进行建模、规范和执行的事实上的标准,已经被软件工程界所广泛接受。利用这两种语言各自的优势,提出了设计继电保护离散动作行为的UML模型的思想,并以三段式电流保护为例进行分析与建模,最后对其转化为Alby模型以及对转化后的模型实施各种分析进行了论述。

**关键词:** UML; 保护装置; 离散事件; OCL; Alby; 模型转换

**中图分类号:** TM774 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)12-0010-04

## 0 引言

由于UML(Unified Modelling Language)<sup>[1]</sup>语言自身能够对基于对象的系统进行建模、规范并执行的特点,它已经成为事实上的标准而被工业界、科技界和应用界广泛支持与接受。因此,用UML对继电保护装置的動作行为进行建模,不但较为直观,也有利于对保护的过程进行深入理解和分析。但由于UML语言本身是半形式(semi-formal)的,而用形式的方法进行建模将更有利于提高系统的稳定性,同时也能够对系统进行验证和自动化分析,所以,当前将UML模型转换为形式语言的必要性已经得到广泛的关注。先后出现了一些转换工具,这些工具可将UML的模型系统转换为Z、Object-Z或者Petri Nets等建模语言,从而以形式的语言进行分析。

目前,在国内,有关UML语言在电力系统中的应用的研究主要有:基于UML语言对电力系统中的调度管理信息、物资管理、营销管理等模型的研究<sup>[2]</sup>;另外就是应用UML语言开发继电保护整定计算的智能程序<sup>[3]</sup>。而将这些模型向形式语言进行转换的研究却并不多见。但在国外,UML语言应用较广,大多针对离散事件驱动的系统进行建模或是转换,用于电力系统的研究也比较多,主要用于电力系统中控制与仿真系统<sup>[4]</sup>,如用基于UML环境的平台对电力系统潮流进行分析与仿真等。

本文首先提出了用UML这一大众化的语言,对保护的离散动作行为建模的思想。该模型使用能量

管理系统应用程序接口(EMS-API)中的公共信息模型(CM)的标准进行创建,并以继电保护中的三段式电流保护的基本動作行为为例,建立了较为详细的模型<sup>[5]</sup>。

为了将该模型转化为具有形式特性的Alby模型,本文使用UML2Alby<sup>[6]</sup>进行转换,然后根据转换后的模型,可以验证其合理性以及从安全性、活跃性等角度对其进行分析。

## 1 继电保护动作行为的UML模型设计思想

电力系统中的继电保护装置的動作行为是一种典型的离散事件行为<sup>[7]</sup>。用于对离散事件驱动的系统进行描述和建模的语言有很多,如自动机、Petri网、UML等。其中UML语言是一种针对不同系统的、面向对象的、容易被人们所广泛理解和接受的事实的标准语言,有着其他语言无法比拟的优势。因此用UML语言对继电保护的离散動作行为建模,不但直观便于理解,更能够有效地提高模型本身的性能与精度。

继电保护模型基本的動作行为可以描述为图1。图中P1、P2、P3分别代表保护工作时的三种模式(正常模式、启动模式及动作模式),保护从一种模式进入到另一种模式可以用函数来进行描述,图中:p1()代表从P3模式进入P1模式;p2()代表从P1模式进入P2模式,依此类推。从启动(P2)模式进入动作(P3)模式时,可以通过I段动作,也可以通过II段或III段进行。几种模式之间的转换需要用一定的约束机制进行调节。比如,从正常(P1)模

式进入到启动 (P2)模式的约束条件是发现系统异常,如电流超过了保护的整定值,或是电压出现异常等。接下来需要判断潮流的方向来决定动作与否。此时 I II III段都分别开始从正常模式 (P1)进入启动 (P2)模式。如果为正方向,且发现为区内故障,则 I段首先动作,I段拒动,II段作为后备进行延时动作;如果为区外故障,II段在故障段线路的 I段拒动的情况下延时动作。

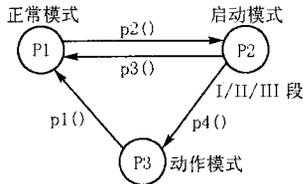


图 1 继电保护的基本动作行为模式图

Fig 1 Structure of basic behavior of relay protection

CM模型应用 UML 语言,较为详细地定义了电力系统各个组成部分的模型包,分别用“类”(Class)概念加以描述。类与类之间的关系,也进行了图形化说明。图 2 给出了 CM模型中继电保护类与其它类的关系,其中,带有空心的箭头表示“继承”(generalization)。从图中可以看到:继电器类继承了保护装置类(Protection Equipment)的所有属性,而保护装置除了继承其它电力系统装置类(Equipment)外,还和断路器类(Breaker)及导电设备类(Conducting Equipment)相“关联”(association),表示对这些设备进行操作和控制。其它类的意义可参考文献<sup>[1]</sup>。

按照 CM模型,对继电保护的基本动作行为进行建模:

第一、所建继电保护动作行为的模型应该继承图 1中的某一继电器类,如 CurrentRelay(电流继电器)。因此也就继承了其中的固有属性(Atribute),同时它也继承了其它父类属性,如 Protection Equipment(保护装置)的属性。另外,除了继承父类属性外,还应该有其自身的属性。

第二、根据保护的動作特性,分别为继电保护的三段建立相关联的类,每一个类的内部有各自的固有属性,比如该段保护的動作模式,以及同其它类之间的协调控制信号等。除了固有属性外,类中还有对这些属性实施的各种操作(Operation),一般用函数的形式表示。如,对于保护的 I段建立一个类,在操作项中可以定义如前所述的 p1()、p2()等。

第三、创建一个新类,用于描述各个模式(或状态),并对 I II III段的三个类进行初始化。由于三

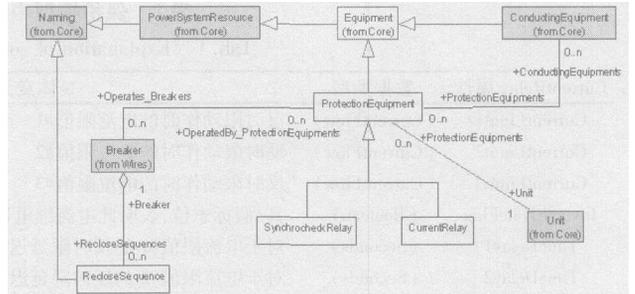


图 2 CM模型中保护类与其它类的关系图

Fig 2 Diagram of relationship between the relay class and others in CM

段保护动作行为之间需要协调运作,因此还需要另外创建一个新类用于控制三段的动作行为,该类中的操作项里,也用函数的方式定义了如何对三段保护进行控制。

## 2 继电保护离散动作行为的建模与分析

当前用于建立 UML 模型的软件平台比较多,本文将采用 ArgoUML<sup>[8]</sup>平台建立一个继电保护离散模型的实例,并进行分析,用以更好地说明本文所提出的思想。

根据这一思想,建立了如图 3所示的一种三段式电流保护的模型。

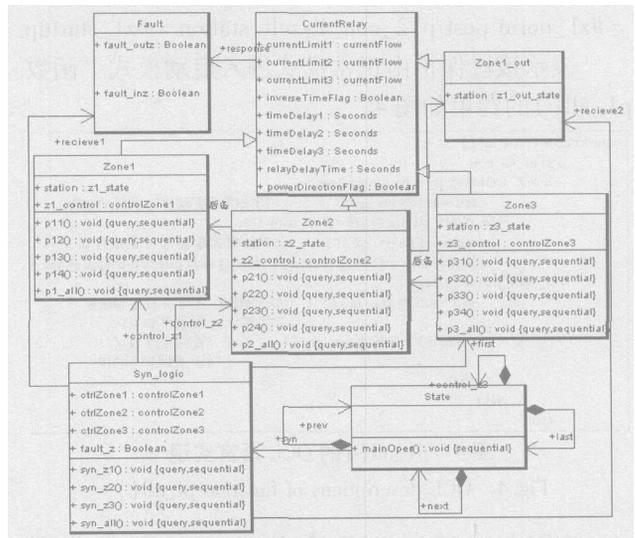


图 3 三段式电流保护离散动作行为的 UML 模型

Fig 3 UML models for discrete behavior of the three-step distance relays

其中: Zone1、Zone2、Zone3 分别代表保护的三段,它们分别继承了 CurrentRelay(电流继电器)的属性,表 1 给出了这些属性具体的意义。

三段的各类之间用实线箭头连接,并注明了他

表 1 保护模型中相关属性的具体意义

Tab 1 Explanation of some attributes in relay models

CurrentRelay属性	数据类型	具体意义	Fault类属性	数据类型	具体意义
CurrentLimIt1	(CurrentFlow)	反时限动作时的电流限值 #1	Fault_outz	(Boolean)	区外故障
CurrentLimIt2	(CurrentFlow)	反时限动作时的电流限值 #2	Fault_inz	(Boolean)	区内故障
CurrentLimIt3	(CurrentFlow)	反时限动作时的电流限值 #3			
InverseTimeFlag	(Boolean)	真/假标志位,表明此电流继电器是否具有反时限特性			
TimeDelay1	(Seconds)	对于电流限值 #1的反时限延迟 1			
TimeDelay2	(Seconds)	对于电流限值 #2的反时限延迟 2			
TimeDelay3	(Seconds)	对于电流限值 #3的反时限延迟 3			
RelayDelayTime	(Seconds)	从检测到异常状态到继电器动作的时间延迟			
PowerDirectionFlag	(Boolean)	方向与有功潮流值的正方向相同			

们的关系, Zone1与 Zone2的“后备表示段是段的后备保护,段与段同理。Zone1\_out表示邻近线路I段保护。在这三个类中,定义了 station属性,对应着该段保护的 mode,比如 z1\_state可以是 z1\_norm(正常模式)、z1\_oper(动作模式)等。其中在操作项中定义了 p11()、p12()等函数,这些函数分别用 OCL(Oracle Class Library)语言定义了该段保护的状态。比如对于 Zone1中的 p11(),用如下形式定义:

```
context Zone1: : p11() pre p11_1: self station = #z1_oper post p11_1_1: self station = #z1_norm
```

表示该段保护由动作模式进入正常模式。而 p12()可定义为:

```
context Zone1: : p12() pre p12_con: self station = #z1_norm post p12_con_1: self station = #z1_startup
```

表示该段保护由正常模式进入启动模式。函数 p1\_all()的约束如图 4。

```
context Zone1 pl_all()
post pl_all_con
if self station @ pre = #z1_oper then
    self = self @ pre p11() //初始模式是'动作',则运行 p11()
else if self station @ pre = #z1_norm then
    self = self @ pre p12() //初始模式是'正常',则运行 p12()
else if ((self station @ pre = #z1_startup) and (self z1_control @ pre = #z1_oper_inhibit)) then
    self = self @ pre p13() //初始模式'启动'并且控制信号为'禁止',则运行 p13()
else self = self @ pre p14() //否则运行 p14() //即,使保护 I 动作
endif
endif
endif
```

图 4 p1\_all()的 OCL 语言实现

Fig 4 OCL descriptions of function p1\_all()

在图 2 中还定义了 Fault类、Syn\_logic类和 State类。Fault描述了故障的类型,其中, fault\_outz和 fault\_inz是两个布尔属性的量,表示所发生的故障是区外故障或是区内故障。Syn\_logic表示对每一段保护进行控制,State则定义每一段保护动作行为的模式以及对其初始化。Syn\_logic中有三个控制属性,分别为 ctrlZone1、ctrlZone2、ctrlZone3,用来控制和协调各段保护的动作为。从该类到各段保

护类的控制信号分别用强制关联(用实心箭头表示) ctrl\_z1、ctrl\_z2、ctrl\_z3来定义。receive信号用来接收故障类型,并以此作为控制各段保护的动作为的一个约束条件。操作项中的各个函数用来规定具体的控制和协调操作。如用于控制 II段的 syn\_z2(),图 5 给出了相应的 OCL 语句。

```
context Syn_logic : syn_z2()
post syn_z2
if ((Fault receive fault_inz = #ture) and (Zone1 station <=> #z1_startup)) then
    Zone2 station = #z2_startup //如果是区内故障,且 I 段不动作,
    self ctrlZone2 = #z2_oper_Permit //则将 II 段置为'启动',并发'允许动作'
    //给 II 段,
elseif (Fault receive fault_inz = #ture) and (Zone1 station = #z1_startup) then
    self ctrlZone2 = #z2_oper_inhibit //如果是区外故障,且 I 段启动,则禁止 II 段动作
elseif (Fault receive fault_outz = #ture) and (Zone1_out station <=> #z1_startup) then
    Zone2 station = #z2_startup //区外故障,且故障线路 I 段不动作,则本段
    self ctrlZone2 = #z2_oper_Permit //II 段启动,且发'允许'信号给 II 段
else self ctrlZone2 = #z2_oper_inhibit //其它情况禁止动作
endif
endif
endif
```

图 5 syn\_z2()的 OCL 语句描述

Fig 5 OCL descriptions of function syn\_z2()

III段情况与此类似。

### 3 继电保护 UML 模型的转换与分析

为了对所建保护模型进行验证及分析,将它转换为 Alloy语言。为了便于进行较为全面的分析,本文选用 UML2A lloy进行转换。针对 Alloy中的分析机制,UML2A lloy提供两种关键的转换功能——“验证”(verification)和“仿真”(simulation)。“验证”有利于分析模型的完备性及合理性,而“仿真”则有利于提高模型的有效性。将模型转换为 Alloy模型后,利用 Alloy Analyzer(Alloy语言建模环境)进行分析,该工具提供了对模型直观的各种分析方式,包括验证和分析模型的初始化(initialize)、函数(all\_function)、安全性(safety)以及活跃度(liveness)<sup>[9]</sup>等。例如当我们将转换后的模型进行安全性分析时,可以在 Alloy Analyzer中对各段保护动作模式之间的关系进行验证,以下为模型转换后,安全性中的某段 Alloy语句:

```
no s: State | (s. syn. control_z1. station = z1_
_startup) && (s. syn. control_z2. station = z2_o-
_per_inhibit)
```

表示当保护 I段开始动作时,保护 II段不允许动作。

另外,经 Alloy分析后,将以各种不同的方式显示分析结果,如以“表格”(Tables)或“树”(Tree)等形式显示模型内部各类及成员的关系,或以 XML 语言的形式描述,甚至可以用“图”(Graph)的可视化形式显示。

可以看出:首先,由于形式语言更有利于对模型系统进行分析,因而更能提高系统的稳定性;其次,各种形式语言,如 Alloy等强大的功能为这种分析提供了可能;最后,分析结果的多样化,可以从各个角度对模型进行理解与剖析,为建立一个更精确、更可靠、更完善的模型提供了依据。因此,由 UML 这种非形式语言向 Alloy等形式化语言的转换具有很大的应用和研究意义。

#### 4 结论

本文提出了用 UML 语言建立继电保护模型,以及对其进行转换与分析的思想及步骤,并以三段式电流保护的离散动作行为为例,建立了较为详细的 UML 模型。随后,用工具 UML2Alloy 将其转换为 Alloy形式语言,并用 Alloy Analyzer对其进行进一步验证及各种分析。总之,本文利用了 UML 语言的直观、普及性的特点,Alloy所具有的形式语言特性和强大的分析能力的优势,提出了建立继电保护离散动作行为的思想、步骤及分析方法。按照这种思路,不但可以方便地对保护的動作行为建立直观、层次分明的模型,也能对模型进行验证及分析,因而,可以更深入地理解保护的動作特性。

#### 参考文献:

- [1] Selic B. A Generic Framework for Modeling Resources with UML Computer. Innovative Technology for Computer Professionals [J]. Membership Magazine of the IEEE Computer Society, 2000, 33 (6): 64-69.
- [2] 钟建伟. 基于 UML 的电力调度管理信息系统的设计

与实现 [J]. 西安航空技术高等专科学校学报, 2005, 23 (3): 34-36

ZHONG Jian-wei Designation and Implementation of Power Dispatch System Based on UML [J]. Journal of Xi'an Aeronautical College, 2005, 23 (3): 34-36

- [3] 张沛超,郁惟镛. 应用 UML 开发智能继电保护的整定计算程序 [J]. 电网技术, 2001, 25 (4): 32-35, 39.  
ZHANG Pei-chao, YU Wei-yong Application of Unified Modeling Language to Development of Intelligent Setting System for Protective Relaying [J]. Power System Technology, 2001, 25 (4): 32-35, 39.
- [4] deVos A, W idergren S. Ontology and the Age of Integration in the Electric Power Industry [EB/OL]. <http://www.semantic-conference.com/program/sessions/L4.html>
- [5] Draft IEC61970, Energy Management System Application Program Interface (EMS-API), Part301: Common Information Model (CIM) Draft 6 [S].
- [6] Bordbar B, Anastasakis K. UML2Alloy: a Tool for Lightweight Modelling of Discrete Event Systems [A]. The Proceeding of IAD IS Applied Computing Algarve (Portugal): 2005.
- [7] 米增强,赵洪山,王海萍,等. 数字保护继电器的抽象建模方法研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (21): 51-56  
MI Zeng-qiang, ZHAO Hong-shan, WANG Hai-ping, et al. Abstract Modeling Method of Digital Protection Relay [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (21): 51-56
- [8] Jackson D. 2004. Alloy 3. 0 Reference Manual [EB/OL]. <http://alloy.mit.edu/beta/reference-manual.pdf>
- [9] Jiang J, et al. Real-time Synchronization of Multiaxis High-speed Machines from SFC Specification to Petri Net Specification [J]. IEEE Proceedings—Control Theory and Applications, 1996, 143 (2): 164-170.

收稿日期: 2005-12-26; 修回日期: 2006-02-17

作者简介:

韩爱稳 (1964 - ), 女, 高工, 从事工作为变电站二次设计;

张纪平 (1979 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析、运行与控制。E-mail: aendey@163.com

#### UML modelling and analysis for protection relay

HAN Ai-wen<sup>1</sup>, ZHANG Ji-ping<sup>2</sup>

(1. Xingtai Exploration Design Institute, Xingtai 054001, China;

2. School of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

(下转第 19 页 continued on page 19)

- 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 conformed 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