

基于工作流的电网检修计划管理系统研究

雷云川¹, 吕飞鹏¹, 胡美蓉², 谢熹¹, 陈冬¹, 刘洋¹

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 四川省南充电力局, 四川 南充 637100)

摘要: 为实现电网检修计划管理业务流程的网络化、自动化, 利用微软的工作流新技术 Windows Workflow Foundation (WWF), 提出了基于 MS NET平台的电网检修计划管理系统解决方案。利用 Petri网对一个典型的电网检修计划业务流程建模并分析所建模型的正确性, 给出了基于 WWF模型驱动和面向组件实现所建电网检修计划工作流模型的可视化设计方法, 能够较好地满足实际应用的需要, 具有实现成本低、开发难度小, 系统灵活性、可扩展性好等优点。

关键词: 工作流; 检修计划; Petri网; Windows Workflow Foundation (WWF)

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)22-0040-06

0 引言

检修计划就是根据设备的运行状况、存在缺陷和用户用电需求, 对需要检修设备的停电时间做出预先安排。按照安排的时间不同, 可以分为检修年计划、月计划、周计划、日计划等。检修计划管理系统主要是对检修计划的申请、审批、执行等过程进行监控, 并负责对检修计划进行优化。检修计划申请一般由下级基层部门按照检修规程规定的检修周期和项目, 申报年计划、月计划、周计划、日计划等检修计划, 而审批是上级调度部门根据各个下属供电部门上报检修计划和电网的负荷情况确定统筹安排制定检修计划。

现阶段检修电力系统各单位的调度机构的检修计划管理系统对检修计划的申请采用两种方式。第一种是传统的手工编制管理模式^[1], 手工编制的检修计划下一级部门到上一级部门依次传递, 采用手工的稿件逐级审批, 因此在审批过程中浪费了大量的人力、物力和时间。对一些跨部门、跨大区域的检修计划申请不能实现异地协同工作管理。第二种采用计算机管理模式, 其中计算机编制的一种是基于 SCADA/EMS检修计划申请管理系统, 摈弃了传统 SCADA/EMS/DMS的缺陷。另一种是基于 MIS系统的^[2], 对已经使用信息管理系统的单位, 将检修计划和执行结果输入 MIS网, 针对具体业务流转, 建立合理的检修计划管理工作流模式, 规范业务流转。

工作流就是自动运作的业务过程部分或整体, 表现为参与者对文件、信息或任务按规程采取行动, 并令其在参与者之间传递。简单地说, 工作流就是

一系列相互衔接、自动进行的业务活动或任务^[3]。近年来, 工作流技术在电力信息系统建设中已广泛应用。采用工作流技术, 用户只需在电脑上填写相关的表单, 文件就会按照定义好的流程自动向下进行, 下一级审批者将会收到相关资料, 大大提高了工作效率^[4]。现有的基于工作流的应用系统, 有的是利用工作流的思想, 使用传统的编程语言开发, 例如 VB、JAVA、C++等, 开发工作量很大, 而且这些语言对工作流没有专门的类库支持, 必需从最底层的数据结构进行开发, 开发之后工作流如何加载运行, 工作流中数据存储, 以及如何长时间运行, 工作流如何保存运行状态等缺少有效的底层技术架构支持, 造成大量的工作流应用的重复开发, 工作流应用的功能不完善。有的工作流应用使用 Biztalk, Biztalk 开发, 开发成本高, 难度大, 而且对人为流程支持得不够好, 不能很好地参与流程控制。

根据电网检修计划管理系统的要求和特点, 本文提出了一种基于 Windows Workflow Foundation (WWF)工作流技术和 MS NET平台的电网检修计划系统解决方案。以一个典型的电网检修业务流程为例, 利用 Petri网对电网检修计划流程建模, 分析模型的正确性, 并详细介绍利用 WWF技术设计实现 Petri网工作流模型的方法。WWF是一个免费的、通用的、可扩展的工作流框架, 用来执行所有在 Windows平台下的客户端应用程序。开发者可以用 .NET语言轻松地进行检修计划工作流的开发, 它可以方便地将工作流管理集成于应用程序中, 无需购买第三方组件, 开发成本低、难度小, 系统灵活性强、可扩展性较好。

1 WWF技术介绍

WWF是.NET框架下一代产品的重要组成部分。使用Windows 2000、Windows XP、Windows Server 2003、Windows Vista的用户,都可以采用WWF技术进行 workflow 开发。WWF的系统架构如图1所示。

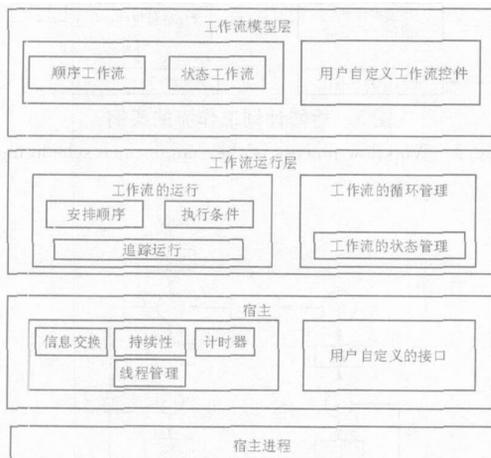


图1 Windows Workflow Foundation的系统架构

Fig 1 Architecture of Windows Workflow Foundation

WWF的基本架构包括:

最底层是一个宿主进程,这个进程可以是任何进程,包括Web Service的进程。

在这个宿主中提供重要的接口服务。这些接口服务包括:信息交换、持久服务、对计时器、线程的管理等。

在宿主层之上是工作流运行层,这一层是WWF最重要的一层,是对工作流运行进行管理,

1) 执行各种流程或者是事件例如事件处理,异常处理和交易事件等等。

2) 追踪服务:通过追踪接口产生一个追踪事件来追踪整个流程。

3) 状态管理服务:通过一个持续性接口连续性的管理状态工作流模式。

4) 安排服务:安排事件执行的先后顺序。

5) 条件服务:为各种假设条件的事件提供执行的规则。

在工作流运行层之上是工作流模型层,

1) 顺序工作流:这种模型是按照事先设计的方案,一步一步地流入下一个步骤,它可以用流程图来表示。用于典型化结构工作流。

2) 状态机工作流:这种模型运用了状态机模块之间的转变来代表工作流。从设计方面来说,每个

步骤之间没有明确的路径关系。因为这种工作流的流程不是按照预定的顺序自然执行的。而是按照事件产生来驱动控制整个工作流程。

利用WWF开发有以下优点:

1) 基于Windows平台的通用工作流技术,可运用于跨应用场景。

2) WWF支持面向人和系统两种工作流应用。

3) 工作流的流程框架可以重复利用,当客户的需求发生变化时可以根据客户的要求在原有的基础上进行二次开发。

4) 可以将功能代码封装为更高级形态的控件,扩展控件或者类库可以升级程序。应用程序中内嵌流程编辑器,用户可以随时调整工作流。

因此,采用WWF技术开发基于工作流的检修计划管理系统,可大大提高电力系统检修计划审批流程的效率,能够保证软件系统具有更好的可扩展性、灵活性,能根据实际需要快速地修改工作流程。

2 基于WWF的电网检修计划系统架构

工作流管理系统由三部分组成,如图2所示。

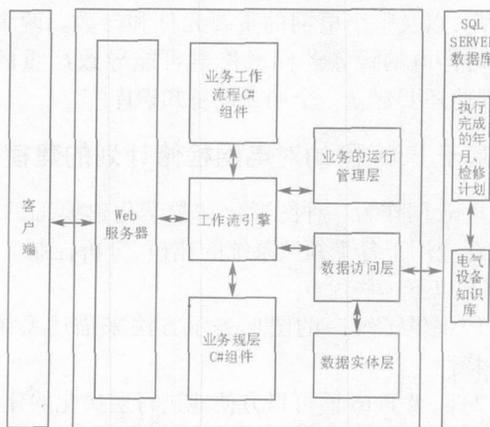


图2 工作流管理系统架构

Fig 2 Architecture of workflow management system

第一层为客户端,根据用户访问角色权限的不同,为参与工作流程的管理人员提供与系统进行交互的用户界面。对检修计划的创建、审批等进行管理。

第二层为核心部分有以下几个部分构成:

1) Web服务。因为检修计划的申请,审批常需要不同的部门,如班组、保护处、调度处等大量人员共同参与来完成,因此,Web服务的主要作用是各个部门的计算机相互之间交流检修计划数据和文件提供了一个统一的交换平台,并且使工作流运行

主程序和客户端应用程序各个彼此分离,使客户端的应用程序能够更快地调用工作程序。

2) 业务规则层。完成系统业务流程定义和控制的功能。在本系统中使用业务规则层实现各种工作流程规则和逻辑。

3) 业务工作流程。为了实现系统的工作流程可视化管理,采用了一系列工作流类库和控件来实现工作流程。

4) 业务运行管理流层。跟踪工作流的运行进程,如果遇到异常,抛出异常,终止工作流进程。

5) 数据访问层。为业务规则层提供数据库操作的服务。为了统一对数据库的访问方式,本系统设计的框架类库中包含了数据访问服务,封装了.NET框架上的 ADO.NET 中的各种数据库访问和操作对象,实现了常用的对各种数据库的操作,可以访问不同类型的数据库,这一层通常执行的操作包括连接数据库、执行数据库操作、数据库事务操作等。

6) 数据实体层。它们封装并隐藏特定数据表示格式的细节,在系统运行时承载数据。

第三层为数据库包括了执行完成的年、月等检修计划,以及整个电网的重要元件和参数。两个不能同时停电的设备若同时停电可能导致严重的后果,因此还要建立一个冲突设备知识库^[5-7]。

3 基于 Petri网的对电网检修计划的建模

Petri网作为一种图形化和数字化建模工具,已经广泛应用于各个领域系统的建模、分析控制。Petri网有以下一些优点^[10]:

- 1) 提供了统一的图形表示方法来描述系统的各个特性。
- 2) 高级 Petri网可以方便地进行层次化的建模。
- 3) Petri网有坚实的理论基础、严格的数学描述和比较成熟的分析方法。

Petri网可用一个有向图来表示,其中库所只能与变迁相连,变迁只能与库所相连。图中,库所用圆圈表示,变迁用矩形表示。

典型的电网检修计划流程如图 3所示。

利用 Petri网的原理^[11]对图 3进行电网检修计划流程建模,结果如下:

在这个 Petri网图形中有九个库所,十个变迁(如图 4所示),九个库所代表检修计划的九个不同的状态, P₂, P₄, P₆, 表示调度处对检修计划在各种状态下处理的意见; P₁, P₅, P₇, 表示检修班组对检修计划生成所做的各种改动; P₃ 表示保护处对检修计

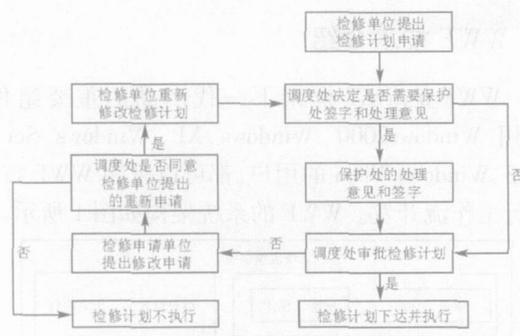


图 3 检修计划工作流的实例

Fig 3 Workflow process of the maintenance scheduling

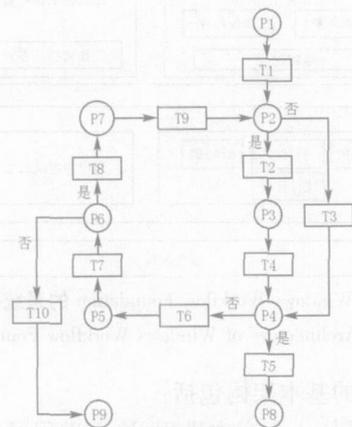


图 4 检修计划工作流网

Fig 4 WF-net of maintenance scheduling

划的处理意见; P₈, P₉ 分别是检修计划的最终两种状态,一个是执行检修计划,一个是不执行检修计划。这个 Petri网还包括四条路由选择结构分别为 T₂, T₃, T₅, T₆, T₈, T₁₀。其中 T₂ 表示检修计划需要保护处的处理意见和签字, T₅ 表示调度处同意检修计划执行, T₈ 表示调度处同意检修班组的新申请。

以上的建模可以分析所建模型的正确性。

一个工作流是正确的当且仅当^[12,13]:

- 1) 对于任何一个由 i 可达的状态 M, 都存在一个实施序列 M 可达状态 o, i 和 o 分别是初始和结束状态。

$$\text{即: } \forall_M (i \rightarrow M) \Rightarrow (M \rightarrow o)$$

- 2) 对于任何一个由 i 可达的状态 M, 如果此时在位置中 o 存在至少一个标记 (token), 该状态就是终止状态。终止时, 该工作流网除了有一个标记在 o 位置中外, 其他的位置都应该是空的。

$$\text{即: } \forall_M (i \rightarrow M \wedge M \rightarrow o) \Rightarrow (M = o)$$

- 3) 没有死任务, 也就是说 Petri网是有活性的。

$$\text{即: } \forall_i, T, \exists_{M, M'} i \rightarrow M \wedge M' \leftarrow T$$

据此,对检修计划模型进行验证:

1)可以根据模型图看出任何一个初始状态到结束状态,都可以经过一系列的库所变迁到达。例如把库所 P_1 设为开始状态, P_8 设为结束状态,可以分析看出有两种组合的 M 序列可以实现这种流程。

第一种: $M_1(1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ $M_2(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ $M_3(0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ $M_4(0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0)$ $M_5(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0)$

第二种: $M_1(1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ $M_2(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ $M_3(0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ $M_4(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0)$

其他初始状态到结束的状态也可以用同样的方法来分析。

2)可以根据模型图看出,此模型有两个终止状态, P_8 和 P_9 。当 P_8 作为结束状态时,此库所有一个托肯,其他的库所是空的。当 P_9 作为结束状态时,此库所有一个托肯,其他库所也是空的。

3)可以根据模型图看出,此模型的每一个任务都可以执行,每一个任务都可以触发,有三种执行方式。

P_1 P_2 P_3 P_4 P_8 , P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_9 ,以及 P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7 P_2 P_4 P_8 。每个库所和变迁都经历过。

根据以上三点的分析,可以看出检修计划的模型设计是合理的。

4 检修计划的实现

4.1 检修计划管理工作流的实现

检修计划的流程管理涉及到多机的异地协同合作以及大量人工操作和参与,为了满足用户对 workflow 管理要求,选择使用状态机模型来实现,其优点是比较适合于构造管理有较多人为参与的工作流程,对于定义好的流程也能够根据临时的、不可预知的需要进行快捷、方便的修改。从设计方面的优点来说,状态机 workflow 模型每个步骤之间没有明确的路径关系,因为 workflow 不是按照顺序自然执行的,而是按照事件产生来驱动控制整个工作流程。这种 workflow 中一个状态可以触发另一种状态引起另一件事件的触发。

根据图 4 的模型,选用 WWF 状态机模型来具体实现这个工作流程:

1) workflow 中接口的定义。为了使电网检修计划 workflow 实例能够完成设计的需要,需要在 workflow 的运行过程中产生和响应一些事件(Event),把事件

产生作为触发点,事件作为信息的载体,将 workflow 运行过程中需要在各个部门之间交换的信息加载于所生成和发布的事件之中,在流程定义过程中通过订阅(Subscribe)相应的事件来获取有关信息,然后通过事件的响应来对需要的信息进行处理。为实现示例系统的工作流模型,在服务接口中定义了电网检修计划已生成、检修计划需要保护处签字、调度处同意检修计划执行、调度处不同意检修计划执行等事件。

2)过程的定义。这个 workflow 中每一个方框表示一个状态,可以在整个流程中用五个 State 控件来表示,它们分别是检修单位、保护处、调度处、检修计划不执行、检修计划执行这五种状态。在每种状态下可以定义很多事件,这些事件可以控制 workflow 的进程,例如在调度处审批检修计划这个状态下可能发生四种事件,第一种是审批同意,第二种是审批不同意,第三种是同意检修单位重新提出的检修申请,第四种是不同意检修单位重新提出的检修申请。对应的这四种事件以分别用一个 EventDrive 控件来表示,所以在调度处这个 State 状态下有四个 EventDrive,如图 5 所示。调度处的审核人员在审批检修计划时,就可能产生同意或者不同意的事件,就自动响应上面四个事件中的一个 EventDrive。EventDrive 可以看成是一个事件发生,程序内部通过订阅事件的发生产生相应的响应,对于这个事件可以先定义一个接口,然后再实现这个接口的方法,最后通过 Web Service 调用这个方法。EventDrive 也可以看成是一个容器类,在 HandleExternalEvent 控件属性中

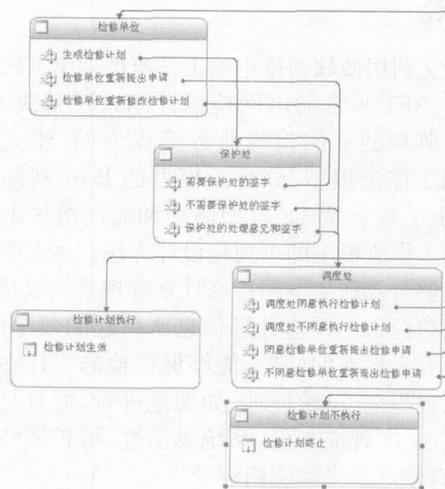


图 5 State Machine 模型设计器

Fig 5 Designer of the State Machine model

确定此控件继承的接口,然后确定实现接口中的具体方法。HandleExternalEvent可以定义事件的名字,事件响应,以及事件响应后其他事件的触发,可以根据事件响应后其他事件的触发这条规律来进行程序和用户的很好交流。在EvenDrive中只能放入一个HandleExternalEvent,为了更好控制工作流程,在EvenDrive中放入SetState控件,用SetState控件来控制工作流程的跳转,当工作流程进行到任何一个EvenDrive中的SetState表示一个State状态下的一个事件发生完毕,工作流程流向下一个状态。例如调度审批检修计划状态下的不同意事件发生完毕,在这个事件下的SetState控件将指向下一个状态检修单位。通过分析用五个State来实现整个工作流,都可以按照定义调度审批检修计划状态的方法来进行定义。

4.2 系统运行过程描述

首先检修班组根据检修规程提出检修计划的申请,在工作流中产生了一个事件,相应的工作流系统发布一个待审核的事件,相应的客户端捕捉到这个事件的发生,调度处订阅了此事件的发生,该事件产生的同时,向订阅了此事件的客户端通过数据库传递检修计划的相关信息,调度处查阅检修计划的相关信息再确定是否需要保护处的签字,因此在调度处的客户端又有可能向工作流发布两种事件的可能,一种是需要保护处的签字,一种是不需要保护处的签字,这两种事件由不同的部门订阅,订阅它的部门又产生不同的响应,引起检修计划申请流程的继续传递。

5 结论

本文利用微软新推出的工作流框架WWF,提出了基于.NET平台的电网检修计划系统解决方案。以一个典型的电网检修业务流程为例,建立了其Petri网工作流模型,分析了模型的Petri网的正确性,给出了基于WWF模型驱动和面向组件电网检修计划工作流模型的可视化设计方法。本文提出的方法能够有效解决电网检修计划管理系统以往通过纸面表单经人工传递处理信息所引起的效率低、准确性及安全性差的问题,能够保证检修工作在各种检修规程规范下、快捷地、如期地进行,而且具有开发难度小,实现成本低,系统灵活性、可扩展性好等优点,有较好的实际应用前景。

参考文献:

[1] 高国宁,那志强,李海翔,等.适应电网发展新形势的

调度计划及检修管理软件[J].浙江电力,1996,15(2):6-8

GAO Guo-ning, NA Zhi-qiang, LI Hai-xiang, et al Software of Dispatching Plans and Maintenance Management for Updating to New Development of Electric Grid[J]. Zhejiang Electric Power, 1996, 15(2):6-8

[2] 陈森利,陈卫中,陈忠义.基于MIS的输变电设备智能巡检和修试ABC规范化文档管理系统的开发及应用[J].电力系统通信,2004,(10):44-48,53.

CHEN Sen-li, CHEN Wei-zhong, CHEN Zhong-yi. Patroling of the Intelligent Equipment and Developing Text-file managing System[J]. Telecommunication for Electric Power System, 2004, (10):44-48,53.

[3] 李涛,朱一凡.基于.Net的工作流管理系统设计[J].计算机工程与设计,2005,26(10):2798-2801.

LI Tao, ZHU Yi-fan. Workflow Design Based on .Net[J]. Computer Engineering and Design, 2005, 26(10):2798-2801.

[4] 董雷,鲍海,等.一种供电系统检修计划自动制定系统的设计方法[J].现代电力,2001,18(3):57-60

DONG Lei, BAO Hai, et al The Automating Determination of Maintenance Scheduling for Power Supply System[J]. Modern Electric Power, 2001, 18(3):57-60

[5] 缪亚林,卞正中,等.可视化知识库智能建立的研究与实现[J].计算机工程,2005,31(22):210-212

MIAO Ya-lin, BIAN Zheng-zhong, et al Study and Implementation of Intelligent Establishment for Visual Repository[J]. Computer Engineering, 2005, 31(22):210-212

[6] 缪相林,孙超,等.电网检修计划设计的智能分析与可视化实现[J].西安交大报,2005,39(6):582-585.

MIAO Xiang-lin, SUN Chao, et al Intellectualized Analysis of the Power Network Overhaul Scheme Design and Visualization Implementation[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2005, 39(6):582-585.

[7] 董雷,鲍海,等.应用于供电系统检修计划的关系数据库组织方法[J].电网技术,2001,25(4):14-16

DONG Lei, BAO Hai, et al Organization of Relational Database for Scheduled Maintenance of Power Supply System[J]. Power System Technology, 2001, 25(4):14-16

[8] 丁晓宇.供电系统检修计划优化(硕士学位论文)[J].杭州:浙江大学,2005.

DING Xiao-yu. Optimal of Maintenance Scheduling for Power Supply System, Thesis[J]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.

[9] 张粒子,等.配电网检修计划优化模型设计[J].电力系统自动化,2005,29(21):50-51,62

ZHANG Li-zi, et al The Designing Model of Optimal

- Maintenance Scheduling for Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (21): 50-51, 62
- [10] 袁崇义. Petri网原理 [M]. 北京:电子工业出版社, 1997.
- YUAN Chong-yi The Principle of Petri-nets [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1997.
- [11] 王玮, 徐丽杰, 王林, 等. 基于工作流的电力系统检修管理建模方法和技术实现 [J]. 电力系统及其自动化, 2004, 28 (13): 80-84.
- WANG Wei, XU Li-jie, WANG Lin, et al The Modeling Method and Realization of the Power System Overhaul and Repair Management Based-on Workflow Technique [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (13): 80-84.
- [12] 欧阳俊, 杨贵中. 基于对象 Petri网 workflow 建模的研究与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2005, 26 (10): 2688-2691.
- OUYANG Jun, YANG Guan-zhong Research and Implementation of Workflow Modeling Based on Object Petri-net [J]. Computer Engineering and Design, 2005, 26 (10): 2688-2691.
- [13] Kawahara K, et al A Proposal of a Supporting Expert System for Outage Planning of Electric Power Facilities Retaining High Power Supply Reliability, Part II Knowledge Processing and Simulation Results [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1998: 1459-1465.

收稿日期: 2006-07-17; 修回日期: 2006-08-31

作者简介:

雷云川 (1979 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为微机继电保护; E-mail: leiyunchuan@tom.com

吕飞鹏 (1968 -), 男, 博士, 教授, 研究方向为电力系统继电保护和故障信息处理智能系统;

胡美蓉 (1973 -), 女, 工程师, 从事电力系统运行管理。

Studies on the management system of maintenance scheduling for power systems based on workflow

LEI Yun-chuan¹, LÜ Fei-peng¹, HU Mei-rong², XIE Xi¹, CHEN Dong¹, LIU Yang¹

(1. School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Nanchong Electric Power Bureau, Nanchong 637100, China)

Abstract: In order to implement the automation of the business process of the management of maintenance scheduling for power systems, a new solution based on MS NET framework is presented by utilizing Microsoft Windows workflow Foundation (WWF). A typical business process of maintenance scheduling is modeled and validated by using Petri net, and the visualization method to realize the maintenance scheduling workflow model is given based on WWF model-driven and component-oriented design. The requirements of practical applications can be easily satisfied with better extensibility, less development and implementation cost.

Key words: workflow; maintenance scheduling; Petri net; Windows Workflow Foundation (WWF)

(上接第 16 页 continued from page 16)

Research on harmonic calculation of power system based on Matlab

WU Jie, LIU Jian, LU Zhi-gang, SONG Guo-tang, JIANG Shun-qiang

(1. Institute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China;

2. Qinhuangdao Harbor Bureau Electric Company, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: In power system, harmonic from nonlinear loads has caused power network voltage distorted and power quality decreased. In order to suppress the harmonic, it is necessary to evaluate harmonic currents injecting into PCC of the equipment before being installed. Because custom harmonic flow calculation has the drawback of difficulty for building model and intricacy for counting, this paper proposes a method using the Powerlib in Matlab to build the model for a 110 kV substation, and assess the value of the harmonic currents emitting into the system. The result of harmonic evaluation indicates that the proposed method has the advantages of simply building model and rapid computation of the outcome.

Key words: harmonic evaluation; harmonic flow calculation; Matlab