

通用配电网潮流程序架构设计和实现

董张卓¹, 刘雪²

(1. 西安石油大学 电子工程学院, 陕西 西安 710065; 2. 西安科技大学, 陕西 西安 710054)

摘要: 针对传统配电网潮流程序用过程式的编程技术开发, 存在的可扩充性和可维护性差的问题, 采用面向对象的虚继承机制和UML统一建模语言建立了配电网潮流程序的对象模型和动态模型。用VC++ 6.0编制了程序, 程序实现了改进的前推回代法和牛顿潮流计算方法, 拓扑表示采用树形表示和矩阵表示。并通过实例验证程序, 结果表明程序计算速度并无大的差异。程序有好的可扩充性和可维护性。

关键词: 配网潮流计算; 面向对象技术; 统一建模语言; 虚继承

Design and realization of universal power distribution network load flow program frame

DONG Zhang-zhuo¹, LIU Xue²

(1.School of Electrical Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China;

2.Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054,China)

Abstract: The program power of distribution network load flow that are developed by process model has bad extensibility and maintenance. The mechanism of object-oriented technology's virtual inherit and Unified Modeling Language are used to develop the power distribution network power flow program. The object-oriented model and dynamic model are designed. The program is compiled by VC++ 6.0. In program the Backward/Forward and Newton arithmetic are implemented. The topology uses the associate matrix and multi-tree. The program is verified by real examples, results show the program speed is equal than tradition program, has better extensibility and maintenance.

Key words: power distribution network load flow; object-oriented technology; UML; virtual inherit

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)08-0038-04

0 引言

配电网潮流计算是配电网运行分析的基本方法, 算法比较成熟^[1~6]。由于各种潮流计算方法的适用方面的差异, 常需要对潮流程序进行维护和扩充。传统的配电网潮流计算程序的实现采用结构化方式, 分为数据输入、数据整理、迭代计算、结果输出四个阶段。这四个阶段按照模块来设计, 因在计算处理过程中各个阶段的数据互相耦合, 使得传统的潮流计算程序由于数据结构和计算过程的耦合, 其可扩充性和可维护性很差。

针对采用结构化方式潮流计算程序存在的问题, 开发一个能扩展、接口一致, 并且包含多种算法的潮流程序有其实际意义。文中采用UML(Unified Modeling Language)设计了配电网潮流计算的对象模型和动态模型, 并在模型中采用了虚继承方式, 实现了拓扑表示方法和潮流算法的方

便扩充。根据以上模型编制了程序, 程序实现过程表明, 模型保证了程序的可维护和可扩充性, 达到了设计的目标。

1 配电网潮流计算方法

1.1 潮流计算特点

配电网潮流计算根据给定的首端电压和各个负荷节点的有功无功数据, 运用特定方法计算出配电网节点电压、支路功率分布和功率损耗。因此, 配电网潮流计算涉及到配电网网络结构分析, 即支路和节点的连接关系以及支路和节点的电气量。配电网网络结构不同于输电网, 为环网设计开环运行, 并且节点数量非常多。

常用的配电网潮流计算方法有前推回代法、牛顿法、B-X分算法等^[1]。前推回代法算法简单、收敛速度快、数值稳定性高, 但不适用于环状网络^[2~4]。牛顿法收敛速度快, 但算法复杂并且初值难以选择^[5,6]。因此在配电网的分析计算方法中, 需要根据计算要求选择不同的算法。

基金项目: 陕西省教育厅2007年度科学技术研究计划(07JK080)

1.2 对象分析

配电网潮流计算过程分为四个阶段:1) 数据输入;2) 过程数据的建立;3) 方程迭代求解过程;4) 计算结果输出。

输入数据一般分为支路和节点数据。其中节点数据为:节点编号、节点电压、节点类型和节点的注入和流出有功无功。支路数据为:支路两端的编号、支路的阻抗和非标准变比或支路对地导纳。

根据输入的数据,从支路数据中得到节点和支路的关联信息,建立支路和节点的关系矩阵或其它数据结构表示的节点和支路关系。根据算法要求,建立阻抗矩阵、导纳矩阵和需要的辅助计算数组。

数据准备完成后,进入程序的循环迭代过程,按照算法流程调用数据结构,进行迭代计算,直至收敛。

计算完成后,输出计算结果。

2 潮流计算程序的模型

根据配电网潮流计算的特点,从保证设计的潮流计算程序的开放性、可扩展性及可维护性出发,应用面向对象技术具有封装性、继承性和多态性的特点,建立潮流计算的对象模型和动态模型,对象之间以事件来驱动。

2.1 潮流计算的对象分析

潮流计算的过程本质是求解一个非线性电路,因此,本质上潮流计算的过程是一个解非线性电路的过程。这样的非线性电路求解的过程结合了配电网自身的特点,即负荷节点有功、无功恒定,首端节点电压为定值等特点。因此,潮流计算过程涉及到:

(1) 电路图的表示方法,即节点和支路的关系表示。通过节点和支路的表示,能方便地得到节点接入的支路和支路连接的节点。

(2) 节点自身的各种参数及支路的参数。分为静态参数和动态参数,静态参数是节点或支路在潮流计算期间不变的参数,动态参数是在计算中得到的参数。

(3) 计算过程即一个算法。通过调用节点和支路参数以及电路连接关系,按照一定的算法进行计算的过程。

不同算法的潮流计算程序的差异,表现在电网的表示和计算过程上。虽然电网的表示和潮流计算过程差异较大,但从应用方面,电网的表示和计算的过程中输入或获取的基础信息是一致的。

2.2 虚基类的应用

目前配电网潮流计算方法和配电网的结构表示

方法较多。各类方法有其优缺点,各种新方法在不断完善中。为了程序的可扩展性,系统中在处理拓扑表示和潮流算法中采用面向对象技术的虚继承方法^[7]。

虚继承能方便实现面向对象技术多态性。即在类的成员函数中定义一个虚函数,在其各个子类中实现此函数,调用过程中,用统一的接口自动识别子类中的函数,即实现消息响应过程的多态。因此定义好一个标准虚基类可以灵活地扩充子类。实现程序功能的扩充。

虚继承机制,通过定义基础的成员函数为虚函数,在其子类中实现函数。通过动态编程实现基类调用的多态性。

虚继承方法的一个重要特征是多态性,即“一个接口,多种方法”技术。采用虚函数(virtual function)可实现对多种计算方法类的调用。

建立计算方法的虚基类 Archmetric,定义相关的方法函数。在具体类中实现函数,即可实现算法的可扩充性。

在拓扑类 Topology 中定义相关的虚函数,从而在具体实现类中,继承该虚类和实现虚函数,即可实现拓扑表示的可扩充性。

2.3 潮流计算的对象模型

根据 2.1 对潮流计算过程的描述,从基本概念出发配电网潮流计算程序设计的类为:节点、支路、拓扑表示、输入接口、负荷、系统调度、标么值 7 个类。其中支路类分为:线路支路、变压器支路;拓扑表示分为:拓扑基类、和扩展拓扑类;算法类分为:算法基类和具体算法类。这些类完成的功能如下:

节点类(Node):潮流计算的节点信息和节点涉及的计算过程。节点信息包括:节点名称、节点类型、节点电压、节点注入功率、节点输出功率、节点的无功补偿等信息以及关联支路的相关信息。相关计算有节点负荷特性、节点功率累加等计算。

支路类(Branch):潮流计算的支路信息与支路的相关计算。支路信息包括:支路名称、支路阻抗、接地导纳、变压器变比、支路的注入功率、支路的输出功率等支路相关信息以及关联节点的相关信息。相关计算有支路的损耗计算等。

实际支路分为线路支路与变压器支路,分别用来处理线路与变压器的原始数据到计算模型数据的计算。建立线路支路类(Line)和变压器支路类(Transformer)处理不同的支路运算,与 Branch 类之间存在唯一关联。

线路类(Line):线路的结构和参数,以及电路模型参数计算。

变压器类(Transformer): 变压器的结构和具体参数, 以及电路模型参数计算。

拓扑表示基类(Topology): 电路的支路和节点的连接关系表示的虚基类, 实现了系统的拓扑初始化, 定义了拓扑表示的外部访问方式。拓扑信息有: 关联节点与关联支路的相关信息。相关计算有拓扑节点的查询、节点关联支路的查询等。

扩展拓扑类: 具体的拓扑表示方法类。例如: 矩阵拓扑表示类(AssoMatTopExpress), 树形拓扑表示类(TreeTopExpress)。

计算方法类(Archetmic): 具体计算方法的虚基类。定义了潮流计算方法的虚函数, 包括数据准备、计算过程和计算结果等。

扩展计算方法类: 具体算法类, 例如: 前推回代法(BackwardForward), 牛顿法(Newton)等。

系统主控类 (SystemManagement): 潮流计算

的过程管理, 包括数据读入、拓扑生成、节点生成、支路生成、潮流计算过程、算法选择等。

数据输入输出接口类 (IOData): 数据输入输出类。该类规范了计算数据的输入与输出, 分离数据录入输出与系统类的运算过程。

标么类 (NormalizedValue): 潮流计算参数采用标么值表示, 而原始参数是有名值, 因此需要建立有名值与标么值的转换类。节点类与支路类继承于该类。

负荷类 (LoadProperty): 负荷的特性表示类, 潮流计算一般用到它的静态特性。根据负荷特性计算负荷, 节点类继承于该类。

根据以上设计的类, 采用 UML 表示的对象模型如图 1 所示。

图 1 中表示出了潮流计算各个类之间的关联关系。

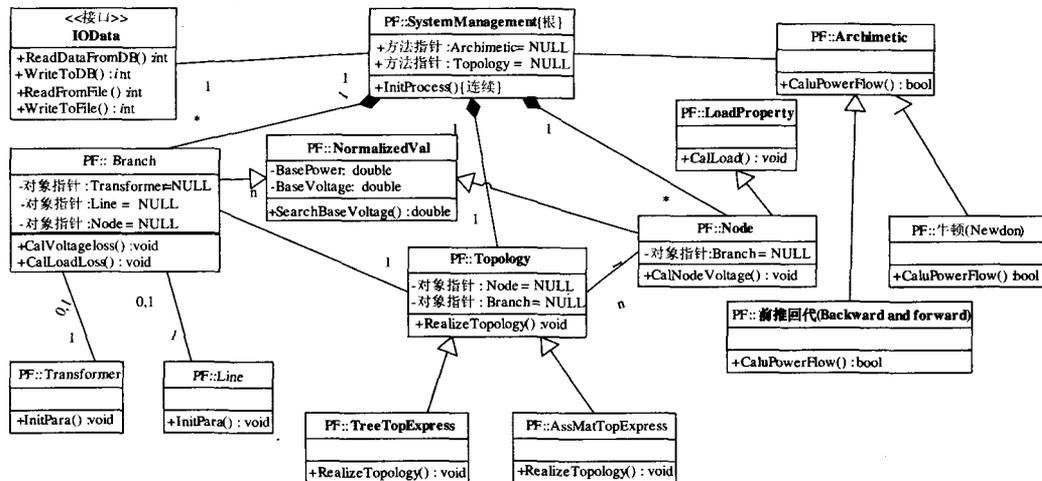


图 1 配电网潮流计算程序的对象模型

Fig.1 Object model of power distribution network power flow calculation program

2.4 潮流计算的动态模型

配网潮流程序运行时, 系统主控类 (SystemManagement), 对系统进行初始操作, 建立 IOData 对象和拓扑对象, 并启动 IOData 的读操作得到数据。根据读入的数据建立线路、变压器、填充拓扑对象、实例化节点、支路、计算方法, 并将指针值传送到指针 p(Archetmic 指针), 启动计算过程进行计算。系统的活动图如图 2 所示。

在节点类和支路类的初始化过程中, 输入数据均从有名值换算到标么值并存储。支路模型采用 π 型等值电路, 通过线路 Line 与变压器 Transformer 对象实例化支路。

程序启动时, 建立系统管理对象, 和接口数据对象, 读取电网的基础数据。然后根据读入的数据

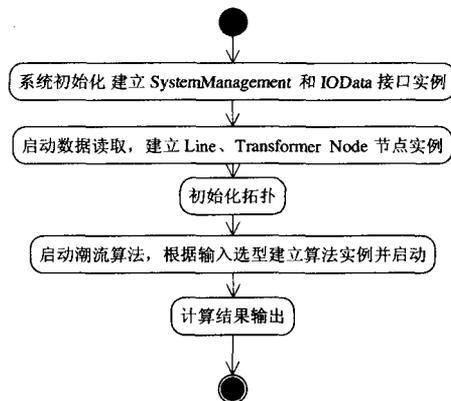


图 2 系统活动图

Fig.2 Active diagram of system

生成节点对象、支路对象和拓扑结构的构建, 系统发送拓扑表生成消息, 生成系统的拓扑实例。进行计算方法选择, 启动潮流计算方法, 通过数据接口

输出结果数据到指定位置。这样就完成了一次潮流计算。程序顺序图见图 3。

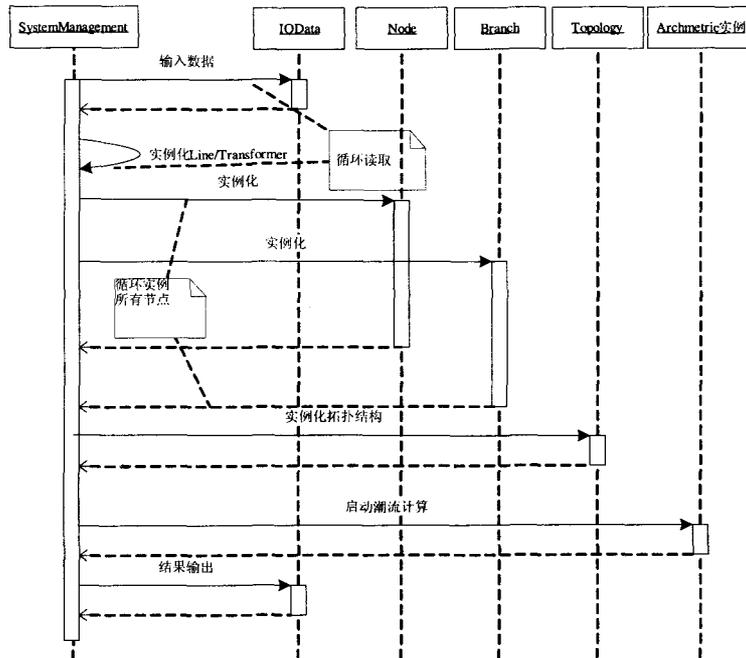


图 3 配网潮流计算顺序图

Fig.3 Sequence diagram of distribution power flow calculation program

3 潮流程序的编制

根据 2 的设计, 用 VC++ 6.0 编制了程序, 程序中实现了前推回代算法和牛顿算法, 拓扑表示采用树形表示和关联矩阵表示。

潮流程序中变量采用复数形式表示和运算。配网潮流计算中的矩阵, 应用稀疏矩阵技术提高计算速度, 节省存储空间。树型网络采用层次遍历的方法, 建立链式队列, 利用队列先进先出的特性完成按层次访问, 提高运算速度^[6]。

4 算例

对实现的程序进行了测试, 并和采用面向过程的结构化 C 语言实现的程序进行了对比, 潮流算法都采用改进前推回代法和牛顿法。

在一台联想配置为: CPU 主频 1.99 GHz, 内存 512 MB 的微机上, 用 IEEE 108 节点配电网系统进行测试, 表 1 给出了性能测试比较结果。

收敛误差为: 10^{-5}

测试结果表明, 计算时间并无大的差别。

表 1 计算结果

Tab.1 Results of calculation

算法	拓扑	计算时间 (秒)		迭代次数
		面向对象程序	结构化程序	
牛顿	矩阵	0.387	0.390	5
	树	0.391	0.393	5
前推回代	矩阵	0.443	0.462	7
	树	0.450	0.458	7

5 结论

文中针对采用结构化语言开发的配网潮流计算程序的缺陷, 运用面向对象技术设计了一个配网潮流计算程序。设计时, 应用 UML 统一建模语言建立了对象模型、动态模型。采用虚继承方式实现了程序的可扩充性。编程实践证明, 模型的应用简化了编程复杂度, 提高了扩展性和维护性。为程序复用和功能扩展提供了基础。模型中实现了前推回代和牛顿法两种潮流算法, 验证了设计思路。

(下转第 78 页 continued on page 78)

源至电源切换装置, 切换后的电源供新增防火墙设备及光电转换装置使用。光纤接口盒则利用屏上已有光纤接接口盒。

在化水车间三层新增 1 面 III 区安全防护屏。屏上装设 III 区通信网关机及 IDS。电源取自 MIS 机房 UPS 电源。

电厂二次系统安全防护系统设备联系图如图 7 所示。

4 结语

电厂按照“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的原则, 对二次系统进行了安全分区, 采用链式防护结构, 在相关部位布置了防火墙、安全装置、安全文件传输系统、通信网关机等防护设备。目前, 该系统已投入运行, 有效地提高了电厂二次系统数据通信和监控过程的安全性, 与即将实施的纵向安全防护体系一起, 构成电厂较为完善的

安全防护体系。

参考文献

- [1] 电力二次系统安全防护规定(电监会5号令)[S]. 2004.
- [2] 电力二次系统安全防护总体方案(电监安全[2006]. 34号)[S]. 2006.

收稿日期: 2008-06-10; 修回日期: 2008-08-11

作者简介:

曾玉(1973-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统二次设计工作; E-mail: zengyu@csepd.com

马进霞(1957-), 女, 教授级高工, 主要从事电力系统二次项目管理工作;

张立平(1973-), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统二次设计工作。

(上接第 41 页 continued from page 41)

参考文献

- [1] 张学松, 柳焯, 于尔铿, 等. 配电网潮流算法比较算法[J]. 电网技术, 1998, 22(4): 45-49.
ZHANG Xue-song, LIU Zhuo, YU Er-keng, et al. A Comparison Power Flow Calculation Methods for Distribution Network[J]. Power System Technology, 1998, 22(4): 45-49.
- [2] Ghosh S, Das D. Method for Load-flow Solution of Radial Distribution Networks[J]. IEE Proceedings Gener, Trans, and Distrib, 1999, 146(6).
- [3] 于继来, 王江, 柳焯. 电力系统潮流算法的几点改进[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(9): 88-93.
YU Ji-lai, WANG Jiang, LIU Zhuo. Improvements on Usual Load Flow Algorithms of Power System[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(9): 88-93.
- [4] 谢开贵, 周家启. 树状网络潮流计算的新算法[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(9): 116-120.
XIE Kai-gui, ZHOU Jia-qi. A New Load Flow Algorithm for Radial Distribution Networks[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(9): 116-120.
- [5] 曹亮, 孔峰, 陈昆薇. 一种配电网的实用潮流算法[J]. 电网

技术, 2002, 26(11): 58-60.

CAO Liang, KONG Feng, CHEN Kun-wei. A Practical Algorithm of Load Flow Calculation for Distribution Networks[J]. Power System Technology, 2002, 26(11): 58-60.

- [6] 颜伟, 刘芳. 辐射型网络潮流分层前推回代算法[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(8): 76-80.

YAN Wei, LIU Fang. Layer-by-layer Back/forward Sweep Method for Radial Distribution Load Flow[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(8): 76-80.

- [7] Dattatri K. C++面向对象高效编程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.

Dattatri K. C++ Effective Object-Oriented Software Construction[M]. Beijing: People's Posts & Telecom Press, 2000.

收稿日期: 2008-09-02; 修回日期: 2008-09-21

作者简介:

董张卓(1962-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事电力自动化方面科研教学工作; E-mail: dongzzxa@qq.com

刘雪(1983-), 女, 硕士研究生, 从事电力系统分析研究工作。