

配电自动化状态估计的软件设计

潘向华, 李仁俊, 车仁飞, 高广玲

(山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 在研究了配电自动化、面向对象技术、数据库技术和网络技术的最新发展的基础上, 阐述了配电自动化状态估计软件的设计思想及具体实现, 从而实现了配电自动化状态估计理论在实际中的应用。文章首先就配电自动化状态估计软件的总体设计思想、数据库的建立以及与 SCADA 数据库接口连接进行阐述, 然后详细地论述了状态估计的数学建模、网络接线分析、计算结果存储等方法。文中所阐述的方法同样适用于潮流计算、短路电流计算、网络重构等重要功能。

关键词: 配电自动化; 高级应用软件; 状态估计

中图分类号: TM734 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2002)04-0050-04

1 引言

在配电自动化中, 其基本应用为 SCADA、LM、设备管理等。它们的应用将对电力系统的安全、经济、可靠运行发挥重要的作用。而一旦拥有了高级应用软件, 就拥有了更加有力的调度工具, 通过它可掌握当前的运行状态, 从而挖掘出安全与经济方面的巨大潜力。高级应用软件作为配电自动化系统软件的重要一部分, 包括潮流计算, 状态估计, 短路电流计算, 网络重构等^[1]。配电网状态估计也称实时网络状态分析, 即利用 SCADA 提供的断路器状态(变化)和量测数据并补充母线负荷预报的伪量测数据, 检测与辨识不良数据, 估计出全配电网的实时网络状态(即实时潮流), 向其它应用软件提供可靠而全面的实时运行方式。

本文所涉及的配电自动化状态估计软件是根据配电网的特点, 在自主开发 DA2000 配电自动化系统的基础上, 综合运用目前先进的软件工程设计思想、方法和手段, 研究设计而成的。

2 总体设计思想

配电自动化状态估计软件的运行必须依赖大量有关配电网状态的数据, 为了提高软件运行的可靠性和节约开发成本, 需要借助于配电自动化现有实时数据库和历史数据库。因此在运行状态估计软件第一步建立相关的接口和管道联接, 实现状态估计软件数据库与 SCADA 实时数据库和历史数据库数据的共享。第二步应用改进后的状态估计算法, 实现状态估计的计算, 并把计算后的数据存入高级应用数据库, 以便配电自动化系统的应用。其中, 通过

SCADA 实时数据库读取实时数据, 并将数据存入内存, 从而建立状态估计软件与 SCADA 的接口连接。对于状态估计软件中所用到的历史数据通过 Open Database Connectivity (ODBC) 数据库接口, 查询历史数据库获得。总体框图如图 1 所示:

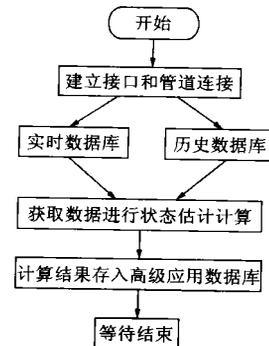


图1 状态估计总体框图

3 状态估计软件的具体实现

本文以配电自动化系统 DA2000 为例, 对状态估计功能的实现进行详细的分析。

3.1 数据库的建立

配电自动化系统中的数据库管理系统有两部分组成, 其一是采用目前国际上流行的、商用化的、支持 ANSI SQL 访问的关系型数据库管理系统, 主要用来支持数据模式建立、历史数据存储、报表统计系统以及对外部系统的数据接口; 其二是按照面向对象的思想和技术自行的分布式实时数据库管理系统, 用来支持数据的快速访问和处理以及面向对象的模式存储和访问。实时库是以对象方式存储、以各类链表进行组织、以指针进行访问的内存库, 驻留于各

个节点的计算机中,各节点的实时库管理程序通过邮件槽广播的方式进行数据库的同步。历史数据库和实时数据库两部分之间的协调、数据同步和并发访问管理由实时数据库管理系统进行。实时数据库在启动后,由定时管理功能实现数据的刷新,及时获得配电网最新的实时数据,以供 SCADA 和高级应用等功能调用。实时数据库的启动模块如图 2 所示:

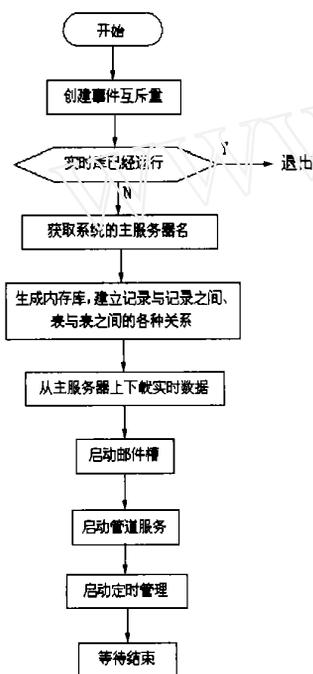


图 2 SCADA 实时数据库启动模块

高级应用数据库不同于 SCADA 历史数据库和实时数据库,它是一套相对独立的数据库,主要存储高级应用计算后的数据。高级应用数据库的结构采用模块化结构,不同的高级应用对应不同的数据库模块,以便调用和维护。每个模块内采用分布式结构,由变电站、馈线、节点逐渐细化,建立链表进行管理。这些链表包括支路链表、节点链表等。支路链表中包含线路相应参数,如电流。节点链表中包含电压、相角等参数。各链表中的元素通过指针建立关联关系。

3.2 建立相关的接口和管道联接

SCADA 实时数据库启动成功后,建立状态估计软件与它的接口和管道联接,实现数据共享。状态估计软件在启动开始下载 SCADA 实时数据,启动管道服务,按地区变电站、站内实时数据、站内其他设备和量测实时数据的顺序读入数据,并将状态估计所用到的数据存入内存。在管道服务中建立数据服务端,监听客户端的请求,并根据请求提供实时数据

以供计算。在定时管理功能中创建多线程,实现各种状态估计的计算功能,定时刷新计算后的各种数据,并把数据存入高级应用软件数据库以便调度人员及时获得当前的配电网状态。状态估计软件启动模块如图 3 所示:

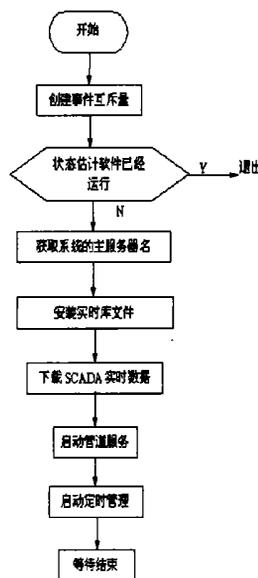


图 3 状态估计软件启动模块

3.3 状态估计计算

3.3.1 数学建模

由于配电网的状态估计与高压输电网的状态估计有很大差异,需要开发适用于配电网的状态估计算法。针对这种情况,本文应用了一种基于基本加权最小二乘估计的改进算法^{[2][3]}。

基本加权最小二乘估计(the weighted least square, 简称 WLS)是状态估计最基本的算法。一般情况下,量测量和状态变量的关系可由以下数学关系式描述:

$$z = h(x) + v \tag{1}$$

其中 z 为量测向量, $h(x)$ 表示量测和状态变量 x 的关系表达式, v 是量测误差向量。

为了使计算过程能得到简化,改进的基本加权最小二乘法所具有的主要特点是改造导纳矩阵的对角元素,即将各节点的对地并联支路(如线路充电电容、并联电容器及并联电抗器、非标准变比变压器等值电路的对地支路等)从导纳矩阵的对角元素中分离出来,并作为节点的一个恒定阻抗来处理,于是有:

$$\left. \begin{aligned} G_{ii} &= - \sum_j G_{ij} \\ B_{ii} &= - \sum_j B_{ij} \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

因此,可将系统视为无接地支路。

基本加权最小二乘法所有节点电压的初值都取为平衡节点的电压(用直角坐标形式表示):

$$e_i^{(0)} + jf_i^{(0)} = e_s + j0 \quad (3)$$

改进基本加权最小二乘法的迭代公式与修正方程为:

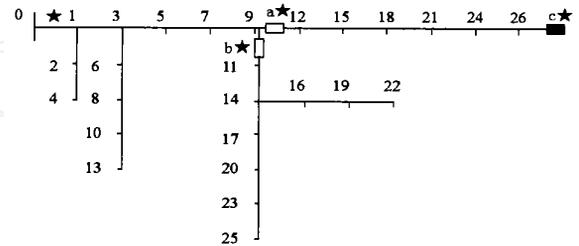
$$\begin{cases} x^{(l)} = [H^T(x^{(0)}) R^{-1} H(x^{(0)})]^{-1} H^T(x^{(0)}) R^{-1} [z - h(x^{(l)})] \\ x^{(l+1)} = x^{(l)} + x^{(l)} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $H(x) = \frac{\partial h(x)}{\partial x}$ 是量测函数 $h(x)$ 的雅可比矩阵, R 为量测误差方差阵。在基本加权最小二乘法中,雅可比矩阵的各元素在迭代过程中是变化的,从而每次迭代要重新计算雅可比矩阵和因子表,造成计算量大和计算时间长等缺点。充分考虑电力系统物理上的性质,一般说来,一个运行良好的系统中各节点的电压幅值不会偏离参考节点电压太大,潮流计算和基本加权最小二乘法状态估计的结果也证实了这一点,所以雅可比矩阵在迭代中仅有微小的变化,若作为常数处理仍能得到收敛的结果。利用常数化的雅可比矩阵就不必在每次迭代中重复对 $[H^T R^{-1} H]$ 进行因子分解了,仅利用第一次分解得到的因子表对不同的自由矢量 $H^T R^{-1} [Z - h(x^{(l)})]$ 进行前推和回代计算便可以求其对应的状态修正量,因此可以大大减小计算量,提高计算速度,当然,迭代次数要有所增加。

3.3.2 网络接线分析

在明确了状态估计的算法后,对网络进行接线分析,形成状态估计所用的数据结构。配电网的基本单元是馈线,每条馈线相似于树状,馈线与馈线之间除根节点外无电气联系,因此对配电网的状态估计不再以全网为单位,而以馈线为单位,各条馈线可分别进行状态估计,从而减少计算量和计算机内存占用。在配电网中,实时量测量很少,通常只有在馈线的根节点处有量测(P 、 Q 、 V),单纯地从使用仪表量测数据来说,系统是不可观测的。为了解决可观测性问题,就需要补充一些伪量测数据。大部分状态估计中所需的伪量测数据来源于负荷预测、抄表记录或向现场人员询问,但是能够利用的历史数据不足,数据(记录值)的准确性也差,这无疑影响到状态估计乃至潮流计算结果的精度。因此,为了更好地监视配电系统的状态,可以在经济上可行的前提下,根据需要在合适的地方装设一些量测和监控装置。为了提高状态估计所需数据的精度,量测仪表的配置方法既要考虑到仪表的装设位置,又顾及仪

表的类型。以下给出仪表配置的简单规则:(1)在所有的需要监视的线路开关处装设监测装置。(2)沿馈线段装设附加仪表,而且,由这些仪表定义区域内总负荷在模值上大致相等。(3)把仪表装设在用于馈线切换的常开联络开关处。基于以上所述,现以27节点,26条支路的线路为例,说明量测仪表的配置。如图4所示。



a、b代表线路分段开关,c代表联络开关,*表示有实时量测。

图4 10kV 线路网络拓扑

在节点0处已经有有功功率和电压模值量测,对于状态估计来说,还缺少无功功率;根据以上规则,首先考虑在节点0处装设功率型量测装置。在节点9的两条支路上分别安装有线路分段开关a、b,对应于规则1,应该分别在开关a、b处装设量测装置,这些量测装置可以是电流型的,也可以是功率型的。对应于规则2,应该在支路9末端装设一量测装置。但在这里,由于节点9的下一级支路已经装设了量测装置,利用它们的量测量可以得到所需要的支路9末端数据,故支路9末端的装置可以不装。对应于规则3,应在节点26联络开关处加装一电流型量测装置,用这一量测量可以监视联络开关的状态,以便确定网络的拓扑结构。综上所述,本系统共有4处应配置量测装置,具体位置如图4中*所示。

确定了网络量测后,对配电网支路进行分层,对节点进行编号。网络分层首先要确定根节点的位置,然后以从根节点开始网络分层。根节点的位置由断路器的状态决定。如果断路器闭合,从该节点开始分层,并由下述方法完成初始数据到计算数据的转换。否则返回。网络分析过程仍以图4为例,分为下述步骤:

a) 形成层-支路关联链表

从根节点开始,按广度优先搜索进行分层,建立层链表。每层对应一条或几条支路,建立支路链表。它们之间通过指针相互指向,建立表1所示的关系。

表 1 层 - 支路关联表

层号	支路号
1	1
2	2,3
3	4,5,6

b) 形成支路 - 节点关联链表

每条支路对应两个节点,而每个节点对应一条或多条支路。在遍历支路时,建立支路与节点的对应关系,如表 2 所示。

表 2 支路 - 节点关联表

支路号	始端节点号	末端节点号
1	根节点 0	1
2	1	2
3	1	3
4	2	4
5	3	5

c) 形成支路、节点、配电网量测之间的关系

在支路所对应的数据结构中包含层指针、节点指针、阻抗、电流等数据。在节点所对应的数据结构中包含注入功率、注入电流、节点电压等数据。具体数据表述如下:

```
class CComplex;//复数类,表明它所定义的数据类型为复数
class CLayer;//层类,对应层关系
class CNodeS//节点类
{public:
    CNodeS(){}
    ~CNodeS(){branchlist.RemoveAll();}
public:
    int NodeNum;//节点对应的数字编号
    CComplex complexSInput;//注入功率
    CComplex complexCurrentInput;//注入电流
    CComplex complexVoltage;//节点电压
    CComplex complexSdelta;//功率误差    CBranchList
branchlist;//所连支路
};
class CBranch//支路类
{public:
    CBranch(){pLayer=NULL;pNode1=NULL;
        pNode2=NULL;}
    ~CBranch(){}
public:
    CLayer * pLayer;//层指针
```

```
CNodeS * pNode1;//始端节点指针
CNodeS * pNode2;//末端节点指针
CLine * pLine;//对应线路段指针
CComplex complexSelfImpedance;//自阻抗
CComplex complexMutualImpedance;//互阻抗
CComplex complexCurrent;//支路电流
};
```

3.3.3 计算存储

网络分析完毕后,按照层链表、支路链表和节点链表的对应关系,由实时数据库的接口和管道联接读取线路各种参数及量测数据。由于在网络分析过程中已经完成了节点编号和数据对应,因此在形成导纳矩阵时,只需根据编号将导纳对应存入即可。然后由导纳矩阵和量测量形成雅克比矩阵。状态估计采用潮流计算值作为真值,加上测量误差模拟实际测量值,进行状态估计的模拟计算。量测误差可以由配电管理人员根据经验人工设定。最后由矩阵运算得出结果,并将计算结果存入高级应用软件数据库,以便调度人员的管理调用。

4 结束语

本文设计和开发了配电自动化状态估计软件系统,分别就设计思想、体系结构、软件特点以及数据库的应用进行了有益的探讨。该状态估计软件已经运行于 DA2000 系统,实践证明该软件技术是成功的。

参考文献:

[1] 王明俊,于尔铿,刘广一. 配电系统自动化及其发展 [M]. 北京:中国电力出版社,1998.
 [2] 诸骏伟. 电力系统分析 [M]. 北京:水利电力出版社,1995.
 [3] 于尔铿. 电力系统状态估计 [M]. 北京:水利电力出版社,1985.

收稿日期: 2001-09-29; 改回日期: 2001-10-08

作者简介: 潘向华(1976-),男,硕士,主要从事配电网高级应用软件及其状态估计研究; 李仁俊(1939-),男,教授,博士生导师,主要从事于电力系统仿真和配网自动化的研究和开发工作; 车仁飞(1971-),男,博士,主要从事于配网自动化的研究和开发工作。

Software design on state estimation for distribution automation

PAN Xiang-hua, LI Ren-jun, CHE Ren-fei, GAO Guang-ling
 (School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

(下转第 69 页)

试验人员在屏后端子排上电源入口处接入抗干扰电容 C1、C2 为 1.2 μ F/630V。补做上述试验,恢复 35kV 华开 3401 线防跳机构原样,再次拉合 35kV 华开 3401 线开关,直流接地仍然出现,但此时 110kV 旁路开关保护装置异常情况消失。证明已躲过该干扰脉冲。

3 结论

根据试验和检查结果可以得出:直流瞬时接地与 35kV 华开 3401 线防跳动静触点的通断及绝缘无关,而与本开关分闸的强大振动有关,因此可以断定,开关在分闸过程中产生的瞬时直流接地,是由于分闸过程的强大振动,引起接在机构内防跳静触点的振动和松动的固定螺帽相碰造成的。

110kV 旁路开关零序过流 II 段保护在手拉 35kV 华开 3401 开关时的误动原因为:由于 110kV 旁路开关保护装置电源未接抗干扰电容,使零序速动段躲不过 35kV 华开 3401 开关跳闸,并伴随瞬时直流接地所产生的杂波干扰而误动跳闸。

4 防范措施

4.1 在 110kV 旁路开关保护装置屏后端子排电源端正对地、负对地接入抗干扰电容 C1、C2 为 0.47 μ F/630V,C3 为 1.2 μ F/630V,如图 2 所示。经多次试验拉合 35kV 华开 3401 开关时直流瞬时接地产生的杂波干扰不会使 110kV 旁路开关保护装置内 1LJ0 - 5LJ0 发光二极管闪亮了,达到了抗干扰目的。

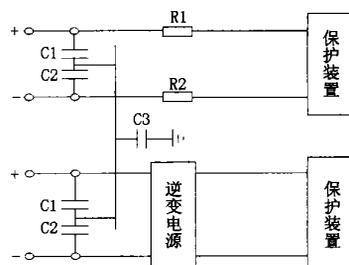


图 2 技改后接线图

4.2 紧固 35kV 华开 3401 开关机构内机构防跳松动螺帽,并增加防跳静触点与固定螺帽间距离达 6mm。

4.3 线路保护屏与地之间用截面为 10mm² 的多股铜芯线可靠接地。

4.4 举一反三,对全局各变电所线路保护进行全面检查,并对不符反措要求之处进行技改,杜绝类似情况的再次发生。

5 结束语

改进后几年来,我局 110kV 线路保护不再由于直流接地而使线路保护误动跳闸情况,可见反措效果明显,改进方法是可行的。我们认为,此种由于手分开关而使其它运行线路保护误动的原因比较少见,可供同行们参考借鉴。

收稿日期: 2001-09-12

作者简介: 汪为民(1963-),男,助工,从事继电保护管理工作; 周生苗(1963-),男,工程师,从事电力调度管理工作。

Maloperation analysis and countermeasure for JL - 11D zero - sequence overcurrent II protection

WANG Wei-min, ZHOU Sheng-miao

(Quzhou Electric Power Bureau, Quzhou 324002, China)

Keywords: maloperation; interference; measures

(上接第 53 页)

Abstract: In this paper the design and the implementation of the state estimation software for the distribution automation is depicted on the base of the research on the distribution automation, object-oriented programming technology, database technology and network technology. Thus the theory of the state estimation for the distribution automation is applied in the practice. First in this paper discussed are the overall design thinking, the database building and the interface linking with the SCADA database. Then the paper expatiates the math modeling, network connection analyzing and the computing result storage in the state estimation. The method depicted in the paper is also hold true to the power flow calculation, the state estimation, the short circuit current calculation and the network reconfiguration.

Keywords: distribution automation; advanced application software; state estimation