

采用无线传感器网络的分布式母线保护

王晓芳¹, 李付亮², 袁旭龙¹, 朱群峰¹

(1. 邵阳学院电气工程系, 湖南 邵阳 422004; 2. 湖南水利水电职业技术学院电力工程系, 湖南 长沙 410131)

摘要: 提出了将无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)应用于分布式母线保护的新理念, 并针对无线传感器网络的特点, 提出了采用比较行波方向作为分布式母线保护的故障判别原理, 对于单母线、双母线运行方式分别设计了无线传感器网络的拓扑结构以及数据融合的处理算法, 以具体的母线保护为例, 评估了无线传感器网络的性能, 并就实用化过程中数据传输的可靠性以及与现有电力网络的互联进行了探讨。通过仿真分析证明了无线传感器网络能够满足分布式母线保护的要求。

关键词: 分布式母线保护; 无线传感器网络; 行波方向; 拓扑结构; 网络性能

Distributed busbar protection using wireless sensor network

WANG Xiao-fang¹, LI Fu-liang², YUAN Xu-long¹, ZHU Qun-feng¹

(1. Department of Electrical Engineering, Shaoyang University, Shaoyang 422004, China; 2. Department of Electric Power Engineering, Hunan Hydroelectric Occupational College, Changsha 410131, China)

Abstract: In this paper, the idea of wireless sensor network(WSN) for DBP is proposed. According to the features of WSN, the DBP principle based on current traveling waves is presented, and the topology structure and data fusion of WSN are presented in accordance with different busbar operation modes. As a concrete example to busbar protection, the performance of WSN is evaluated. The reliability of data delivery and interconnection with existing power communication network is discussed. The simulation has proved that WSN can satisfy the requirement of DBP.

Key words: distributed busbar protection; wireless sensor network; direction of traveling waves; topology structure; network performance

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)08-0075-06

0 引言

母线是电力系统中非常重要的元件之一, 母线工作的可靠性直接影响到整个电力系统运行的可靠性。母线保护作为保证母线可靠运行的设备, 在母线出现故障时应能快速准确地切除故障, 避免引起事故扩大从而破坏电力系统的稳定运行, 甚至造成电力系统的瓦解。

传统母线保护的布置方式一般采用集中式, 这种布置方式需要将各分支电流互感器的二次侧通过电缆接入保护装置。对占地面积大、出线分支多的母线保护而言, 需要敷设较多的电缆, 成本较高; 控制回路需要长电缆传输控制信号, 易受分布电容

的影响; 电流互感器二次回路所接电缆过长, 会增加回路的负载; 当母线保护装置在正常运行时出现误动现象, 会切除整个母线上的所有分支, 造成大面积停电; 除此之外, 还存在二次接线复杂、灵活性低等缺点。随着变电站自动化技术的飞速发展, 继电保护下放至开关场逐步得到认可和实施^[1]。显然, 保护下放对母线保护提出了新的要求, 传统的集中式母线保护难以满足, 随着计算机技术和通信技术水平的迅速提高, 分布式母线保护应用而生, 它不仅能满足保护下放的要求, 而且具有消除厂站不同设备单元间的电气连接、减少电缆投资、缩减中央控制室与厂站占地、节约成本、配置灵活等优势, 将成为今后母线保护发展的趋势。

通信技术是分布式母线保护得以实现的基本前提。当前, 分布式母线保护的通信系统大多采用

基金项目: 湖南省教育厅科技项目(08C787)

RS-485 总线、CAN 现场总线或以太网技术^[2-3], 它们都属于有线通信形式, 无一例外地都存在布线限制、组网灵活性低、升级扩展不便、安装维护困难等缺点^[4]。就通信网络的结构而言, 传统的有线通信网络一般采用总线结构、环网结构或交换式网络结构, 总线结构下的各保护单元被赋予一个顺序的逻辑位置, 只有取得总线控制权后, 才能发送数据, 这种通信结构的最大弊端在于每个保护单元轮流控制总线, 在保护单元较多的情况下降低了通信效率, 且总线出现开路故障时, 保护单元无法获取正确的保护数据而无法切除故障; 环网结构下的各保护单元以环形方式连接, 各保护单元依次传输数据, 这种通信方式很好地解决了总线开路故障下数据传输的可靠性问题, 但是通信效率较之总线结构的通信方式并未得到改善; 交换式网络将整个网络分成数个冲突域, 每个冲突域由一个交换机传送它们的数据至冲突域中的一个保护单元, 这些组合了各自冲突域数据的保护单元再通过一个交换机完成数据交换, 这种通信方式能很好地解决通信效率与通信可靠性的要求, 但是大量交换机的采用大大地增加了整个系统的成本。随着微电子技术、计算机技术和无线通信等技术的进步, 无线通信领域出现了无线传感器网络 (wireless sensor network, WSN)。传感器网络不仅具有一般无线网络不需布线、灵活性强、易于扩展等优点, 还具有分布式处理系统的高监测精度、高容错性、覆盖区域大、可远程遥测、遥控、自组织、多跳路由等优点^[5]。在国外, 传感器网络在电力系统中开始得到应用^[6-7], 国内也有文献对传感器网络应用于电力系统展开了一定的研究^[8-10]。传感器网络的诸多特点非常适合于分布式母线保护的组网, 但是, 有关传感器网络在继电保护中的应用尚未见诸报端。传感器网络能否满足母线保护对通信性能的要求? 这是传感器网络能否应用于分布式母线保护的关键问题。本文将以理论分析为基础, 网络仿真为手段, 探讨一种采用传感器网络的新型分布式母线保护的网路构成, 论证数据吞吐量等方面能否满足分布式母线保护的要求, 以求为分布式母线保护的发展提供一条新的思路。

1 基于 WSN 的分布式母线保护原理

在分布式母线保护中, 如果采用电流差动比较

原理区分母线的内部故障与外部故障, 由于要传输大量的实时数据, 必然给通信系统带来很大的压力, 传感器网络很难满足实时性的要求; 方向式母线保护只需要比较各方向元件的方向, 传输的数据量少, 通信系统易满足要求; 但是, 无论电流差动还是方向比较, 都是基于对工频电量的处理, 对电量的处理在一个周期以上, 不利于故障的快速切除; 同时, 在外部故障时, CT 容易饱和, 导致保护误动, 需要额外的 CT 饱和识别元件。因而, 电流差动与方向比较都难以作为基于 WSN 分布式母线保护的原理。

线路或母线出现故障时, 会产生沿线路传输的行波。利用线路和母线故障时, 母线各连接支路第一个行波方向的规律, 可以正确地区分母线内部与外部故障。研究表明, 电流互感器从故障前的线性传变特性进入深度饱和需要一个 3~5 ms 的过程^[11], 利用小波变换的奇异性检测理论可以在故障发生后, CT 尚未饱和前, 检测出行波的方向。因而, 基于小波变换的电流行波检测理论在母线保护中得到了广泛的研究^[12-13]。这种基于小波变换的电流行波母线保护原理因为只需传输少量的行波方向量, 且能快速检测出电流行波方向, 不受 CT 饱和的影响, 因而, 非常适合用于采用 WSN 组网的分布式母线保护。

线路或母线发生故障后, 利用叠加定理, 故障后的网络等效于正常运行的网络与故障网络的叠加, 图 1 所示为母线内部短路与外部线路短路时的故障分量网络。

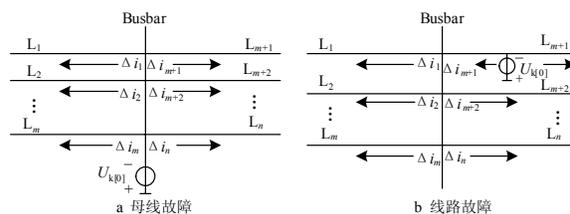


图 1 故障分量网络

Fig. 1 Network of fault components

从图 1 可知, 当母线内部故障时, 初始暂态电流行波从母线向所连接线路传播, 各线路暂态电流行波极性一致; 当线路发生故障时, 初始暂态电流行波从故障点向故障所在线路两侧传播, 到达母线的行波经折射后再向各线路传播, 因而, 故障线的暂态行波极性与其他正常线路的暂态行波极性相反。利用该特点可以正确区分母线内部故障与外部

线路故障。

三次中心B样条函数的导函数所构成的小波函数是行波分析的最佳小波函数。暂态电流行波小波变换的极大值 W 刻画了暂态电流的突变点, 极性代表了行波的方向。假设暂态电流行波极性以母线流向线路为正, 考虑到故障可能发生在交流电压的正半周或负半周, 得到基于小波变换的暂态电流行波母线保护的判剧为:

$$T = \prod_{i=1}^n W_i + \prod_{i=0}^n \overline{W}_i \quad (1)$$

式中: W_i, \overline{W}_i 分别为支路 i 电流行波的正、反极性。

依据保护判剧, 图2给出了保护跳闸逻辑。

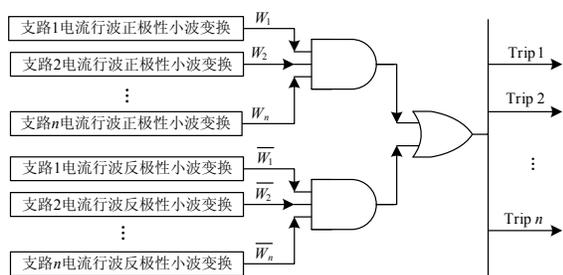


图2 保护跳闸逻辑图

Fig.2 Tripping logic diagram of protection

2 分布式母线保护的传感器网络拓扑结构

母线的运行方式有很多种, 且灵活多变, 不同的母线运行方式对母线保护的选择性有不同的要求。因而, 利用无线传感器网络构建分布式母线保护时, 就必须针对不同的母线运行方式构建相应的网络拓扑结构, 才能最大发挥网络的优势, 提高通信效率。

2.1 单母线运行方式

单母线运行方式下母线发生故障时的电流行波示意图如图3所示。当母线上发生故障时, 各线路上的电流行波具有相同的方向, 且各线路与母线的连接方式是固定不变的, 因而, 母线保护的选择性就是确定的, 即当各线路行波方向一致时判为母线故障, 切除母线上连接的所有线路。

用于分布式母线保护的无线传感器网络的任务就是将各保护单元采集到的行波方向信息分别发送给每个保护单元。由于单母线运行方式下母线保护的选择性是确定的, 因而网络的拓扑结构也具有一定的确定性。在数据传送时如果采用每个保护单元同时广播的方法就容易引发洪泛现象, 造成网络的堵塞, 如果采用分时广播的方法也就减低了通信的效率。本文针对单母线运行方式的特点设计了一

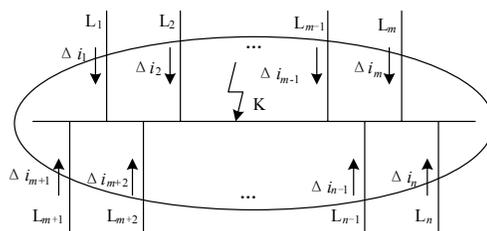


图3 单母线运行方式行波示意图

Fig.3 Diagram of single busbar traveling waves

种高效的系统控制者融合传感器网络拓扑算法。该算法给每个保护单元从1开始进行编号, 然后选择选择编号最小的一个作为网络的控制者, 当控制者确定好后, 向整个系统内的所有节点广播行波方向收集消息, 控制者收到系统内所有节点的行波方向后进行各行波信号的组合, 然后再以广播的形式下发组合了所有节点信息的数据包, 该数据包即为各保护单元判断母线是否存在故障的所有信息, 当系统内有支路退出系统时, 此时应宣布该节点失效, 重新进行控制者的选择。图4、图5分别代表了单母线运行方式无线传感器网络的拓扑结构图与系统控制者融合算法的基本流程。

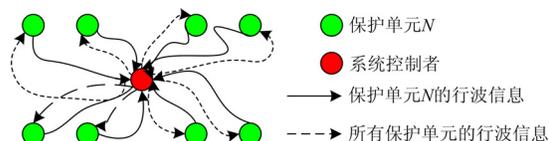


图4 单母线运行传感器网络拓扑结构

Fig.4 WSN architecture for single busbar protection

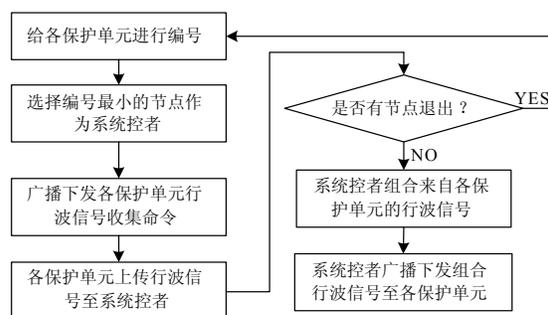


图5 单母线系统节点融合算法流程图

Fig.5 Flow chart of WSN integration algorithm under single busbar protection

2.2 双母线运行方式

双母线运行方式下母线发生故障时的电流行波示意图如图6所示。当母线出现故障时(以图6中母线I为例), 母线I上各线路的行波方向与流过母联的行波方向是一致的; 而母线II上各线路的行波

方向是一致的，但与流过母联的行波方向相反。据此，先断开母联断路器，再断开母线 I 上所有的断路器，将发生故障的母线 I 从系统中切除，没有发生故障的母线 II 仍然可以继续工作，提高了供电的可靠性。

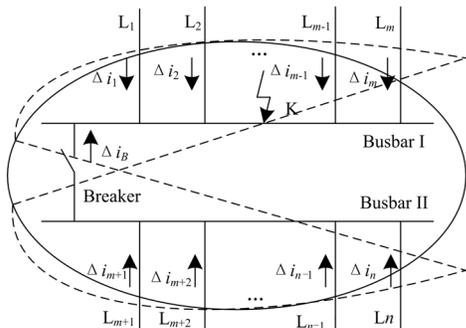


图 6 双母线运行方式行波示意图

Fig.6 Diagram of double busbar traveling waves

从双母线行波方向保护的原理来看，当发生母线故障时，流过母联断路器的行波方向是区分双母线中故障母线的重要参数，且母线故障时必须先断开母联断路器以保证非故障母线的安全正常工作。鉴于母联断路器在双母线运行方式下如此重要的作用，在设计分布式母线保护的无线传感器网络拓扑结构时可以将母联断路器作为一个系统控制者，将两条母线上的线路按所连接的母线进行分组，然后将每条线路的行波方向信息传送至系统控制者（母联断路器），系统控制者将收集到的行波方向信息按组别进行打包，并将打包后的行波信息广播至对应组别的每个节点，各路线节点收到行波信息包后完成故障判别工作，并且母联节点也分组完成故障判别。此外，当母线上的线路连接方式被破坏时要及时更新线路节点的分组，以防止母线保护误动，克服传统元件固定连接的母差保护存在的固有缺陷。另外，当母联节点出现故障退出后，整个网络转化为 2 个独立的网络，按单母线运行方式的拓扑结构进行数据处理。图 7、图 8 分别代表了双母线运行方式无线传感器网络的拓扑结构图与系统控制者融合算法的基本流程。

2.3 其它母线运行方式

除了上述两种最基本的母线运行方式，还有单母线分段、双母线分段、一个半断路器接线等运行方式，这些母线运行方式下的无线传感器网络拓扑结构可以单母线与双母线的网络拓扑结构为参照，简单讨论如下：

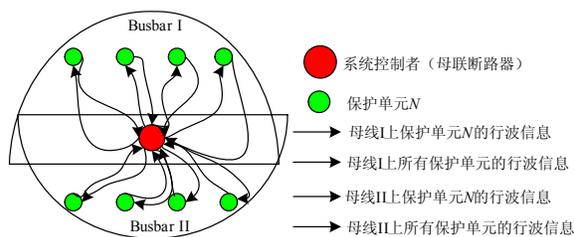


图 7 双母线运行传感器网络拓扑结构

Fig.7 WSN architecture for double busbar protection

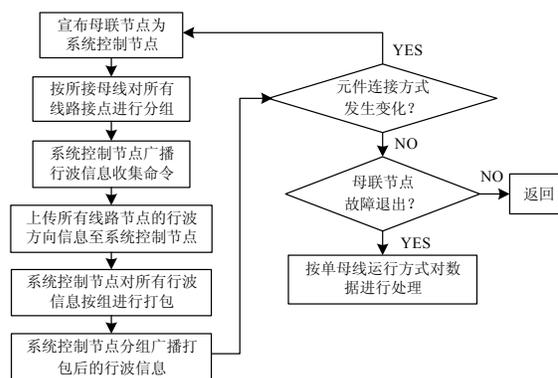


图 8 双母线系统节点融合算法流程图

Fig.8 Flow chart of WSN integration algorithm under double busbar protection

1) 分段式母线运行方式。无论是单母线分段还是双母线分段，其分布式母线保护无线传感器网络拓扑结构与双母线接线方式是类似的。对于两段的情况只需要将双母线中的母联断路器节点替换为分段断路器节点即可；对于多段母线运行的情况，以母线段为单位对节点进行分组，并以分段断路器节点为系统控者，进行数据的收集与转发。

2) 一个半断路器接线方式。一个半断路器接线的分布式母线保护无线传感器网络拓扑结构是单母线与双母线两种运行方式的结合。根据其接线特点，我们按单母线运行方式的网络拓扑结构对节点进行分组，即每条母线上的出线节点为一组；考虑断路器检修或一组母线短路时相应出线由另一母线供电的情况，采取类似双母线中元件连接方式发生变化的处理方法，将断路器或母线退出对应的节点划分到另一组节点中即可。

3 无线传感器网络通信性能评估

传感器网络具有的不需布线、灵活性强、易于扩展等优点非常适合于分布式母线保护，但是其网络通信性能到底如何，能否分布式母线保护对通信网络的要求却有待证明。本节将从 WSN 的数据吞

吐量出发, 对传感器网络的通信性能进行评估。

假设连接在母线上的进线、出线、变压器等为 20 条, 采样频率 1 200 Hz, 在 MAC 层使用带冲突检测的多路载波监听 (CSMA/CD) 算法来仲裁系统控制节点的使用权。针对基于行波方向的分布式母线保护的应用特点, 设计数据流的帧结构如图 9 所示。收集命令帧采用广播形式下发, 用一个字节作为收集命令; 每个节点上传的行波信息帧包括一个字节的源地址、一个字节的地址以及 8 位行波信息, 其中, 源地址为系统控制节点的编号, 目的地址为就地保护单元节点的编号, 行波信息用 1 或 0 代表行波的方向; 行波信息广播数据帧共收集了 20 条线路节点的行波方向信息, 所以用 4 个字节表示相应节点的行波信息, 每一位代表行波方向, 最低位代表编号最小的保护单元, 依次类推。同时每种帧都附有 2 个字节的 CRC 校验码进行差错控制。



图 9 信息流帧结构

Fig.9 Frame of information stream

获得完成一次保护运算的所有数据共需三个阶段, 每个阶段传输的数据量分别为: $8+8+16=32$ 位; $(8+8+8+16)\times 20=800$ 位; $8+32+16=56$ 位。1 s 内传输的行波信息总量为 $(32+800+56)\times 1200=1065.6$ kb。即要求网络的数据吞吐量大于 1.07 Mbps。

因而, 应用于分布式母线保护的无线传感器网络 MAC 协议不适合采用 802.15.4 WPAN, 因为 802.15.4 WPAN 把低能量消耗、低速率传输、低成本作为重点目标, 其最高传输速率只有 250 kbps, 显然不能满足行波方向式分布式母线保护的要求。考虑电力系统的实际应用情况, 可以从被监测的电力导线上感应电能给传感器节点供给能量^[10], 因而, 可以考虑数据吞吐量更大的 MAC 协议, 如 802.11 WLAN, 其数据吞吐量可达 2~11Mbps, 完全可以满足行波方向式分布式母线保护对传输速率的要求。

4 实用化的关键技术

4.1 可靠性技术

如何解决变电站强电磁干扰下数据传输的可靠性是分布式母线保护无线传感器网络能否实用的关

键问题。解决这一问题的关键在于采用合适的可靠性技术。

传感器网络与其它无线通信网络一样, 提高可靠性的方法有多种, 主要的方法有两个, 一是通过差错控制技术, 降低数据传输的误码率; 另一个是增强整个网络的健壮性。具体的措施有: 差错控制编码、差错控制方法、可靠的硬件设备、健壮的网络拓扑结构。

4.2 与现有电力网络的互联

母线保护作为变电站间隔层设备, 需要与站控中心或调度中心进行信息交互, 从而, 需要研究无线传感器网络与现有电力网络的对接问题。随着数字化变电站的建设, 以太网已广泛应用于电力系统, 成为电力通信网络的主要形式。本文采用一个无线网关实现传感器网络与站内以太网的信息交互。这里, 承担无线网关作用的是一个专门的传感器节点, 传感器网络通过一个无线通信接口接入网关, 再通过一个以太网接口接入站内以太网, 图 10 所示为一个无线网关接入系统。

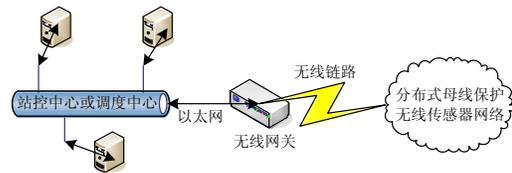


图 10 无线网关接入系统

Fig.10 System for WSN access to Ethernet use wireless gateway

5 仿真与分析 (图 11)

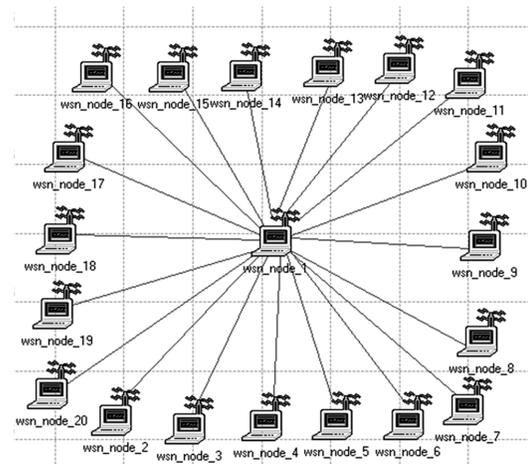


图 11 基于传感器网络的分布式母线保护通信结构

Fig.11 Communication architecture of distributed busbar protection based on WSN

利用 OPNET Modeler 对系统的通信性能进行

仿真,其仿真模型如图 11 所示。MAC 协议采用 802.11 WLAN,其数据吞吐量为 2 Mb/s,节点数据包的发送速率为 1 200 个/s,数据包长度为 111 个字节。设置在每秒时间间隔中,由于环境干扰而导致链路误差服从参数 $\lambda = 0.5$ 的 Poisson 分布。仿真结果如图 12 所示。仿真结果表明,链路的利用率只有 53%左右,网络的负载在可控范围之内,因而,在 MAC 层采用 802.11 WLAN 协议,无线传感器网络完全可以满足行波方向式母线保护对通信网络数据吞吐量的要求。

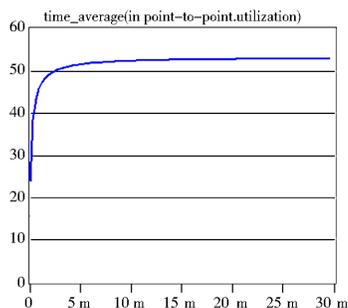


图 12 链路利用率

Fig.12 Utilization ratio of link

6 结论

通信网络是实现分布式母线保护最重要的技术之一,本文针对现有通信网络存在的弊端,提出了将无线传感器网络应用于分布式母线保护的新理念。并提出了在分布式母线保护中采用行波方向保护原理可以减轻网络负担,适用于无线传感器网络。对于不同的母线运行方式,宜设计不同的网络拓扑结构和数据融合算法。由于保护对数据传输速度有较高的要求,常见的 802.15.4 WPAN 协议不能满足保护对数据吞吐量的要求,因而,建议在 MAC 层采用 802.11 WLAN 协议,仿真结果表明在 MAC 层采用 802.11 WLAN 协议,无线传感器网络完全可以满足行波方向式母线保护对通信网络性能的要求。

本文对于将无线传感器网络应用于分布式母线保护仅仅提出了原理上的一些设想及简单的验证,真正地该技术实用于保护现场还有待进一步的研究。

参考文献

- [1] 黄叙银. 变电站二次设备的布置方式及设计优化[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(4): 58-60.
HUANG Xu-yin. The Arrangement of Substation Equipment and Optimal Design[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(4): 58-60.
- [2] 王风光, 焦彦军, 张新国, 等. 一种分布式母线保护的

新型通信方案[J]. 电网技术, 2005, 29(21): 72-74.

- WANG Feng-guang, JIAO Yan-jun, ZHANG Xin-guo, et al. A New Communication Scheme for Distributed Busbar Protection[J]. Power System Technology, 2005, 29(21): 72-74.
- [3] 彭谦, 王增平, 徐岩, 等. 分布式母线保护通信系统研究[J]. 继电器, 2004, 32(24): 25-28.
PENG Qian, WANG Zeng-ping, XU Yan, et al. Research of Communication System in Distributed Bus Protection[J]. Relay, 2004, 32(24): 25-28.
- [4] 沈国荣, 黄健. 2000 年国际大电网会议系列报道——通信技术是变电站自动化的关键[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(10): 1-5.
SHEN Guo-rong, HUANG Jian. A Review of CIGRE'2000 on Substation Automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(10): 1-5.
- [5] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
SUN Li-min, LI Jian-zhong, CHEN Yu, et al. Wireless Sensor Networks[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.
- [6] Nordman M. An Architecture for Wireless Sensors in Distributed Management of Electrical Distribution System[D]. Hilsinki(Finland): Hilsinki University of Technology, 2004.
- [7] Livshitz A, Chudnovsky B H, Bukengolts B. Online Condition Monitoring and Diagnostics of Power Distribution Equipment[A]. in: Proceedings of 2004 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition[C]. New York(USA): 2004. 646-652.
- [8] 黄绪勇, 刘沛, 苗世洪, 等. 无线传感自组网在电力监控中的应用动态[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(7): 99-103.
HUANG Xu-yong, LIU Pei, MIAO Shi-hong, et al. Application of Wireless Networks in Power Monitoring System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(7): 99-103.
- [9] 郑鹏, 郑更生, 龚志勇, 等. 基于输电走廊的无线传感器网络结构研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2006, 39(3): 115-118.
ZHENG Peng, ZHENG Geng-sheng, GONG Zhi-yong, et al. Research for Structure of Wireless Sensor Networks Based on Power Transmission Hallway[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2006, 39(3): 115-118.

(下转第 96 页 continued on page 96)

定程度上降低了对厂站图的依赖程度,提高了图示化视图的适应性。值得注意的是,由于所有的视图均为自动生成,增加视图的种类和数量不会影响用户的工作量和系统的效率。

3.5 漫游功能的实现

无论是图示化视图,还是报表视图,都是由基本图元构成的,每一个图元都记录了对应的设备类型及设备名称,具有超链接的属性。例如,用户点击某厂站图内的任意母线、变压器等电气设备,通过获取设备类型和设备名就可以直接切换到相应设备的视图上。

4 结论

计算机图形技术已经普遍应用于电网的建模、计算控制和结果显示等过程。以往大部分研究和开发工作往往集中于构建功能强大的图模一体化平台。本文根据电网数据的特点,开发出了免维护的电网图示化编辑器。该编辑器动态读取电网的结构、参数、运行信息,自动生成树状层次视图、图示化视图、报表视图等视图。用户可以从图形画面中直观地获得电网信息,同时也可以直接在视图上进行数据修改,大大方便了相关人员,特别是电网计算分析人员的工作效率。

参考文献

[1] 辛耀中,陶洪铸,李毅松,等. 电力系统数据模型描

(上接第 80 页 continued from page 80)

[10] 王阳光,尹项根,游大海,等. 应用于变电站自动化的无线传感器网络组网方案及关键技术研究[J]. 电网技术, 2009, 33(2): 20-26.
WANG Yang-guang, YIN Xiang-gen, YOU Da-hai, et al. Research on Networking Scheme and Key Technologies of Wireless Sensor Network for Substation Automation Systems[J]. Power System Technology, 2009, 33(2): 20-26.

[11] Sachdev M S, Sidhu T S, Gill H S. A Busbar Protection Technique and Its Performance During Saturation and CT Ratio-mismatch[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15(3): 895-901.

[12] 葛耀中,董杏丽,董新洲,等. 基于小波变换的电流行波母线保护的研究(一)——原理与判据[J]. 电工技术学报, 2003, 18(2): 95-99.
GE Yao-zhong, DONG Xing-li, DONG Xin-zhou, et al. A New Busbar Based on Current Traveling Waves and Wavelet Transform(1)——Basic Principle and

述语言 E[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (10): 48-51.
XIN Yao-zhong, TAO Hong-zhu, LI Yi-song, et al. E Language for Electric Power System Model Description[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (10): 48-51.

[2] 陈树勇,李健,白晓民. 基于 CORBA 的应用软件标准接口的研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22 (6): 17-20.
CHEN Shu-yong, LI Jian, BAI Xiao-min. Research on Standardized Application Program Interface Based on CORBA[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22 (6): 17-20.

[3] 朱永利,栗然,刘艳,等. 电力系统厂站主接线图形的自动生成[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12 (1): 41-44.
ZHU Yong-li, LI Ran, LIU Yan, et al. Automation Single-line Substation Diagrams[J]. Proceedings of the EPSA, 2000, 12 (1): 41-44.

收稿日期: 2009-05-18; 修回日期: 2009-09-02

作者简介:

严亚勤(1978-),男,工程师,硕士,主要从事电网调度自动化技术的研究与软件开发管理工作; E-mail: yanyaqin2004@163.com

邱健(1981-),男,工程师,硕士,主要从事电网调度自动化软件的开发和维护工作;

瞿鹏(1982-),男,助理工程师,硕士,主要从事电网调度自动化软件的开发和维护工作。

Criterion[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2003, 18(2): 95-99.

[13] 董杏丽,葛耀中,董新洲,等. 基于小波变换的电流行波母线保护的研究(二)——保护方案与仿真试验[J]. 电工技术学报, 2003, 18(3): 98-101.
DONG Xing-li, GE Yao-zhong, DONG Xin-zhou, et al. A New Busbar Based on Current Traveling Waves and Wavelet Transform(2)——Scheme and Simulation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2003, 18(3): 98-101.

收稿日期: 2009-05-31; 修回日期: 2009-06-30

作者简介:

王晓芳(1965-),女,硕士,副教授,主要从事电力系统及其自动化方面的教学与研究工作; E-mail: bynum87@gmail.com

李付亮(1974-),男,硕士,副教授,主要从事电力系统继电保护和水电站综合自动化的教学与研究工作;

袁旭龙(1963-),男,硕士,副教授,主要从事电力系统分析的教学与研究工作。