

基于3G无线通信的智能设备多指标状态监测系统的研究

智能变电站长时间运行时，检修人员从保护装置运行信息不能充分了解到保护装置状态，如保护装置的隐性故障，元件老化、元件过热、元件振荡损坏等问题，且通过传统的故障检测、故障分析和故障定位方法对于设备的隐性故障排查不太适用，因此需要配置支持状态监测、状态分析，故障定位的监测系统。传统的状态监测系统使用无线局域网监测单一信号量，多用于一次设备的监测，其存在着信号弱、距离短、布网复杂等弱点，且不支持直接远程查看和综合分析设备状态信息功能。针对上述问题提出基于3G无线通信模式，监测智能设备多个状态指标的系统设计模型及实现方法，达到定位排除隐藏故障，简化用户工作量，提高电网可靠性的目的。

王洋¹ 房亚因¹ 李大勇¹ 杨畅¹ 刘宏君² 殷学功¹ 杨捷^{2/1}. 国网天津市电力公司电力调度控制中心 2. 长园深瑞继保自动化有限公司



王洋/工程师

关键词/Keywords

继电保护 ·
智能变电站 ·
状态监测 ·
3G无线通信 ·
监测指标 ·

0 引言

随着智能电网技术的发展，为了保障电网运行的可靠性、安全性，继电保护装置承担着越来越重要的角色。由于继电保护装置需要长时间带电运行，而随着运行时间的累积，在复杂电磁环境等因素的影响下，其电子元件慢慢老化，将形成很多装置异常和故障缺陷的隐性故障点，可能成为电网运行的事故隐患。比如电源模块老化导致的装置掉电；电流端子老化造成的虚接；电压互感器老化造成烧毁；电源滤波电容老化爆炸鼓包造成装置抗干扰能力下降等。而当前智能变电站运行时，从运行设备所获取的运行信息不能充分反映保护装置状态，难于判断装置异常和故障缺陷等故障点，且保护装置的隐性故障如老

化、元件过热、元件振荡损坏等问题难于监控和定位，检修人员使用传统的故障检测、故障分析和故障定位方法对于设备的隐性故障排查不太适用。

因此对于智能变电站通信监视系统的信息应用亟需进行扩充。要求能实时监控二次设备的状态，并能对监控数据深入挖掘及综合分析，最终为检修维护人员使用和管理二次设备，快速分析和处理电网事故，智能判断和评估保护装置健康状况和动作行为提供实用的技术支持。

目前国内外对继电保护装置的监测研究方向：①只依据继电保护装置的动作行为来判断装置的状态；②只依据装置TA、TV信号及出口信号、装置逻辑判断结果来诊断装置的状态。

现有国内外研究的局限性：①难以实现在线故障诊断、故障定位和状态检修；②无法预防保护装置因自身器件原因造成的误动作；③只通过监测单一性能指标来判断设备状态，不能全面准确地反映设备的状态；④为了保证现有待监测的保护设备的正常运行，不能使用影响现有智能保护设备的方案，常用的嵌入传感器并通过保护装置网口传输数据的方法不能很好地适应现场的需求；⑤站内的无线局域网信号弱、距离短、布网复杂，不能直接远程查看和分析设备状态信息，且采用的传输协议均为短距离通信协议（如ZigBee 协议），只适用于小范围内对设备微环境监控的应用^[1]。

因此基于3G无线通信的智能设备多

指标状态监测的研究有重大创新和突破，其既解决了现有无线局域网通信的局限性，也解决了单一监测指标的片面性，该研究有远大前景和重要意义。

1 智能设备监控指标的研究

1.1 温度对于智能设备的影响

元器件的失效大多数是由于体内和表面的各种物理、化学变化所引起，和温度有密切关系。温度升高后，化学反应速率大大加快，失效过程得到加速，使元器件加速老化、很可能提前出现故障。而在温度变化情况比较复杂的地方，由于热胀冷缩的应力会使内部热匹配性能不好的元器件失效，在极端高温和极端低温间的热胀冷缩应力，对于有热性能缺陷的元器件有致命的影响^[2]，因此分析温度曲线的高峰和低谷的峰值以及变化频率可推测出高概率故障的元件位置，提醒用户提前更换元件。而电源模块老化造成装置掉电、电流端子老化造成虚接、电压互感器老化造成烧毁以及电源滤波电容老化爆炸鼓包等原因都会造成板件或者机箱内部温度升高，因此智能设备的内部温度变化情况能够及时反映电源损坏、TV烧毁、TA接线虚接等故障而引起的高温异常现象^[3]。

1.2 振动对于智能设备的影响

在复杂电磁环境、温度变化等因素的影响下，随着运行时间的累积，智能设备中的电子元件慢慢老化，会产生元件振荡变化，电源线圈振动等现象。而外部的过强的振动也可能引起智能设备的正常运行，从而埋下安全隐患。因此通过装置机箱、互感器机箱上的振动传感器，能及时发现元器件老化导致的箱体异常发声、异常振动等现象，既可以达到反映内部板件和电源插件老化的问题，也可以监控外部环境过强的振动影响。

1.3 烟雾对于智能设备的影响

在智能设备内部，发生烟雾的情况一般是较为严重的损坏，如电源烧坏、板件线路短路、或者外部环境起火等，该问题可能直接导致智能设备停止工作，或者引起整个变电站的火灾，对于

智能设备的影响是毁灭性的。因此监控设备内部烟雾的情况可以及时准确地定位和处理故障。

1.4 多指标综合反映智能设备的状态

单个指标只能反映单个因素的状态，难于准确详细地反映装置总体情况，将多个监测指标综合起来分析，更能确定故障原因，定位故障位置。如电源模块温度测点的数据变高，而同时烟雾测点的数据也有突变，则可以综合分析可能发生了电源模块烧毁的严重故障。而综合温度和振动对于电源线圈的监控数据也可以综合分析：温度变高且振动加强，则可能是线圈老化过度；而温度不变，但振动变强，则可能是外部环境影响。

2 状态监测系统总体架构

系统整体架构包括：监测模块、公网域名服务器和后台模块三部分。监测模块包括温度传感器、振动传感器、烟雾传感器和3G通信发送四部分；三个传感器主要采集测点的实时状态数据，输出模拟量到3G通信发送模块；3G通信发送模块接收各个传感器的采集数据后，转换为数值量，获取后台公网IP后将数据上送。公网域名服务器，主要功能为获取后台的动态IP，提供给监测模块在数据上送时作为目的IP。后台模块主要功能包括传感器数据接收，监控界面的状态数据显示，故障定位以及针对状态历史数据提供专家数据分析。系统架构如图1所示。

系统数据处理和数据流向如图2所示，首先由传感器采集数据，接收到板件数据处理模块，将数据以特定的数据规约组包存入发送缓冲区，3G无线发送数据模块读取发送缓冲区的待发送数据，将数据发送给目的服务端；服务端的3G无线接收数据模块一直处于监听状态，一旦有客户端的发送数据到达，则读入到数据接收缓冲区，处理后将实时数据存入实时数据内存和后台数据库，假如数据有较大突变，则生成突变录波文件记录突变数据；最后由人机界面读取数据显示给用户。

2.1 监测模块架构

监测模块硬件结构包括两大部分：主板和扩展板。主板功能包含电源接入，消息处理及发

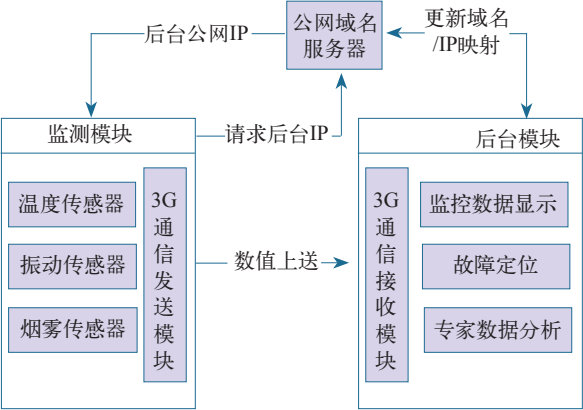


图1 系统架构图

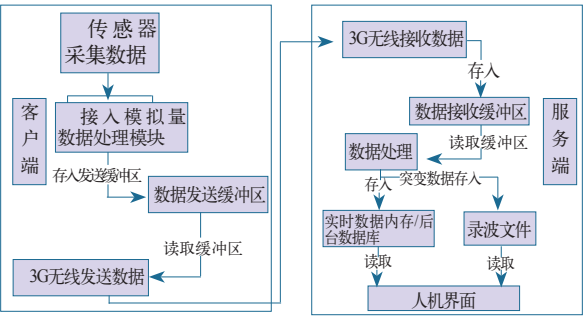


图2 数据流程图

送；其由电源模块、3G通信模块、接扩展板接口组成；扩展板功能包括传感器数据接收，数据滤波、放大等信号数据处理，其由接主板接口、接7路温度传感器输入模块、接3路振动传感器输入模块、接3路烟雾传感器输入模块、高速采样板接3路HFCT组成。其架构图如图3所示。

分主板和扩展板两大模块设计的方式遵循模块化设计的原则，便于维护和扩展，为后期扩展，维护提供接口，提高效率。

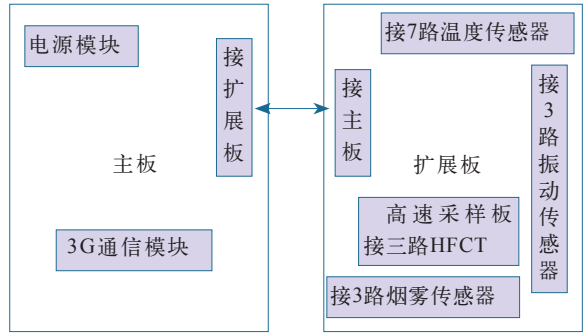


图3 硬件架构图

传感器模块将现场的环境状态通过传感器元件，转换为电压数据输入到数据采集模块；数据采集接口模块接收传感器发送的数据，使用放大电路对信号放大，使用滤波模块过滤噪声，并建立起环境状态参数与数值的对应关系，最后将数据重组包，发送给3G通信发送模块。3G通信发送模块接收组包后的数据，使用CDMA2000模块发送给电信服务端，由电信服务端转发给目的服务器^[4]。

2.2 后台模块架构

后台模块在标准的SCADA-HMI工业架构模式的基础上，针对状态监测模块的需求，对原系统进行模块简练和功能扩展。SCADA作为通信服务器，由局域网模式改为广域网模式，能接收状态监测设备使用广域网发送的数据，为监控人机界面（HMI）和Web分析提供数据来源；HMI负责显示状态实时数据，提供人机交互界面；通信服务器也支持Web服务，能通过广域网，使用浏览器，访问历史状态数据，并支持历史数据的图表波形数据查看及分析，支持故障定位和专家数据分析。

基于IEC 61850通信规约，使用人机界面（HMI/Web）—通信服务器—状态监测设备三层架构，构建监控系统。如图4所示。

状态监测设备包括智能设备或者独立的传感器，用于收集并上送装置状态信息，如温度、光功率等信息，通过3G发送模块，经过电信广域

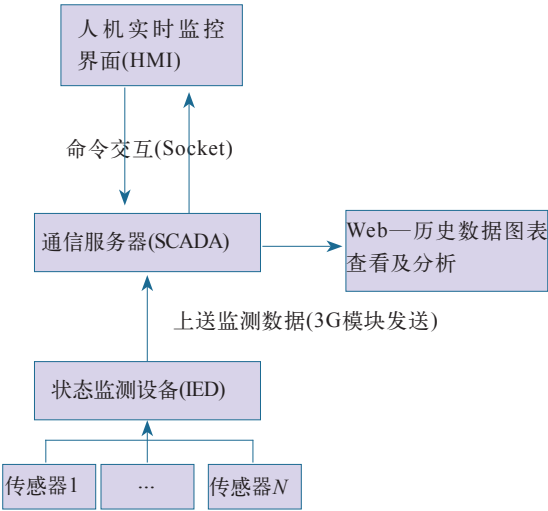


图4 软件架构图

网，将数据发送到目的通信服务器；通信服务器接收网络数据信息，将数据作为历史数据保存在数据库，同时也转发给人机界面（HMI）作为实时数据显示；通信服务器也接收HMI下发的操作命令，并转给下层装置；HMI作为人机接口，负责显示状态信息，接收用户操作命令。

3 系统数据分析的研究

3.1 温度传感器数据

温度传感器的探头为温度电阻，电阻变化正比于温度，采用2.5 V基准源与ADC芯片采集传感器接入的电压变化，根据电压值计算传感器测量的温度电阻，再转换成温度数据^[5]。

实验环境为户外柜，测量目标为处于运行状态的保护装置电源板。测量方法：使用三个温度探头，分别采集PCB板的水晶模块（电流输入模块）温度、散热片温度、板件所处的环境温度，收集一个月的数据。三个测点的温度变化曲线如图5所示。

依据测量数据图可知，水晶电阻模块的温度最高，因为其作为电源模块的电流输入端，电流最大，电阻最大，依据焦耳定律可知其产热量最多。水晶电阻模块温度超出环境温度接近10℃，是反映板件输入电流量是否正常、板件电源接口是否安全的关键参数；从图中曲线可知散热片温度和环境温度很接近，表明装置重要芯片温度正常，以此可以监测重要芯片的工作情况。

3.2 振动传感器数据

振动传感器依据异极晶体受压力变形而引起

电阻变化的原理，输出电压数据，将电压数据与加速度对应起来，则反映出在各个方向上的振动情况。

振动传感器的原理是测量监测设备在某个方向上的加速度，而测量加速度则是利用惯性原理中的力的平衡

A = F/M (1)

式中，A为加速度；F为惯性力；M为物体质量。因质量可以约定得知，需要得出加速度则只需要测量F。使用电磁力平衡加速度的作用力则得出F对应于电流的关系，从而得出加速度对应于电流的关系。目前大多数加速度传感器是根据压电效应的原理来得出加速度与电流的关系。其原理是因为对于不存在对称中心的异极晶体加在晶体上的外力除了使晶体发生形变以外，还将改变晶体的极化状态，在晶体内部建立电场，并产生电压，只要计算出产生电压和所施加的加速度之间的关系，就可以将加速度转化成电压输出。

U = KA (2)

式中，U为输出电压；K为系数；A为加速度；加速度使惯性质量偏转、差分电容失衡，从而传感器输出的电压（振幅数据）与加速度成正比。一般的振动传感器以重力加速度g作为基准加速度。

使用振动传感器监测户外柜内部的保护装置的振动情况。安装方式为将振动模块插入装置内部，并固定、收集一个月的数据。在XYZ三个方向的振动数据图如图6、图7所示。

从图6和图7可知继电保护装置在日常运行中

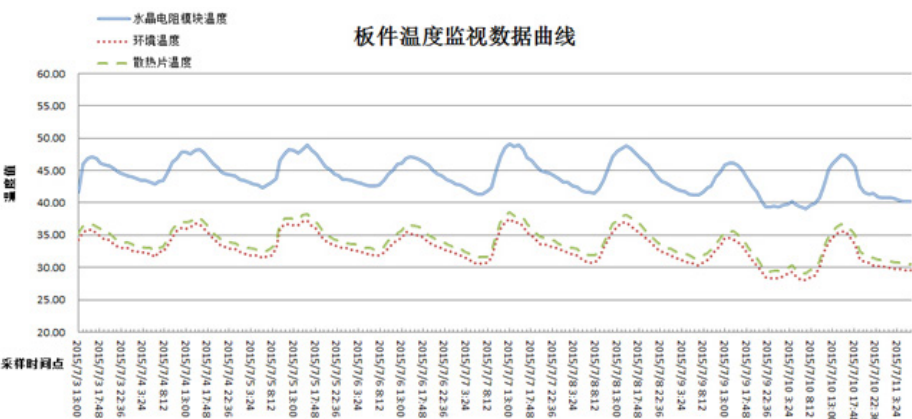


图5 板件温度监测数据图

受到各种环境振动的影响。

3.3 烟雾传感器数据

烟雾传感器的原理是因气敏元件对不同的气体以及气体浓度有不同的电导率，从而能输出不

同的数值，其浓度与电阻成反比。板件因为短路产生的烟雾，相对于装置内部，烟雾浓度太低，传感器数据变化值太小，无法检测到有效数据，故得出结论在继电保护二次设备内部检测烟雾是

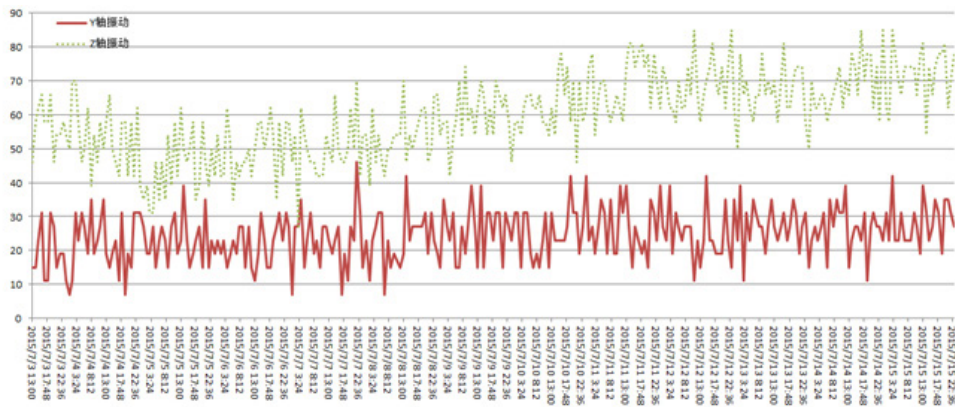


图6 Y轴与Z轴的振动图

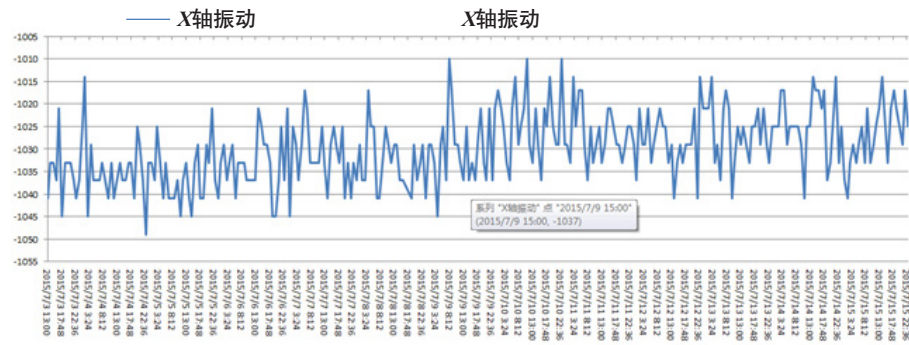


图7 X轴振动图

无效的。

3.4 传感器数据处理

三大传感器的数据接收都经过高速采样板，通过放大电路的信号放大处理，然后经过有源带通滤波器对信号进行模拟滤波，输入到FPGA，最后输出。高速采样板负责高速数据采集，采用如图8所示结构模块。

传感器的信号可直接接入高速采样板。高速采样板提供3路低功耗HFCT (0.5~20 MHz，1~20 mV)的信号同步采集，其采样频率为50 MHz。采入的数据经放大电路增益为50倍，通过ADC传入FPGA，最后由FPGA上传给输出端子（MCU）。

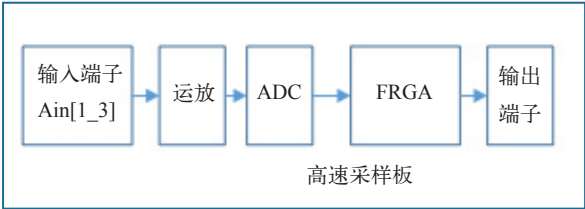


图8 高速采样板结构图

4 应用实例

状态监测软件将温度、振动、烟雾传感器数据收集存储，为软件分析监测设备的状态提供数据源，能实现实时监测状态数据，并自动判断告警；实现在线判断故障类型、定位故障位置功

(下转第622页)

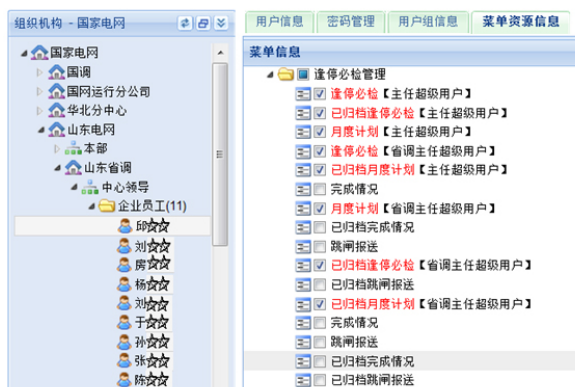


图5 人员权限综合管理页面

广应用价值。

参考文献

- [1] 刘晓娟. 省地县一体化电力调度管理系统通用权限方案[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.

(收稿日期: 2015-12-10) **EA**

(编辑：鞠佳)

(上接第611页)

能^[6-7]。存储的历史数据可依据时间显示图表曲线,提供元器件异常点分析,元器件寿命推测分析。依托天津市电力公司,实时实地对该系统进行了试运行。

5 结束语

综上所述,使用温度、振动、烟雾三大指标,通过3G无线通信建立整体监控网络,对智能变电站二次设备的状态进行综合全面的实时监控,既解决现有无线局域网通信的局限性,也解决单一监测指标的片面性。在二次设备的状态监控历史数据的基础上,通过深入挖掘及综合分析,最终为检修维护人员使用和管理二次设备,智能判断和评估保护设备健康状况,快速分析和处理电网事故,提供实用的数据参考和技术支持,从而减少专业人员运维的工作量,提高智能站继电保护的可靠性,有远大前景和重要意义。

参考文献

- [1] 王阳光, 尹项根, 游大海, 等. 应用于变电站自动化系统的无线传感器网络技术[J]. 电网技术,

- [2] 李伟, 郭登峰, 徐正, 等. 基于R3方法论的企业级统一角色权限管理在电力企业中的运用[J]. 山电力信息化, 2010, 8(7).
- [3] 靳丹, 张小东, 刘少博, 等. 电力企业统一权限管理系统的研究与应用[J]. 电力信息化, 2010, 8(7).
- [4] 朱建江, 王宁生, 等. 一种通用的应用系统权限管理的实现方法[J]. 计算机应用研究, 2001, 18(7): 62-63.

作者简介

辛刚（1971-），男，高级工程师，主要从事电网调度运行与控制、电网调度安全管理、新能源并网与运行、电网调度综合技术管理方面的工作。

(收稿日期: 2015-12-10) **EA**

(编辑：鞠佳)

- 2009(2).
- [2] 刘宇通. 电子元器件的失效机理和常见故障分析[J]. 数字通信, 2012(3).
- [3] 李小博, 黄新波, 陈绍英, 等. 基于ZigBee网络的智能变电站设备温度综合监测系统[J]. 高压电器, 2011(8).
- [4] 谢伟红, 章健军. 3G无线传感器网络在智能配电网的应用研究[J]. 电信科学, 2010(10).
- [5] 韩学军, 刘宾涛, 陈永辉, 等. 基于无线通信的高压断路器温度在线监测系统[J]. 电力系统自动化, 2006(8).
- [6] 黄新波, 程荣贵, 王孝敬, 等. 输电线路在线监测与故障诊断[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [7] 黄新波. 变电设备在线监测与故障诊断[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

作者简介

王洋（1983-），男，工程师，主要从事电力系统继电保护方面的工作。

(收稿日期: 2015-12-10) **EA**

(编辑：鞠佳)