

中压开关柜在线监测软件系统设计

在中压开关柜在线状态监测中, 软件系统通常应具有网络通信、Web浏览、远程操作、专家系统和报表打印等功能。对于工矿企业的小型在线监测网络, 可采用LAMP架构(即Linux + Apache + MySQL + PHP的组合), 成本最低; 对于规模较大的电力系统, 宜采用性能更好的Java平台。在数据库方面, 单机模式的数据库管理系统已不能满足要求, 需要采用分布式的数据库集群。基于串行通信的IEC 60870-5-103规约和基于以太网的IEC 61850规约是目前主要采用的通信标准, 其中IEC 61850是未来的发展主流。以人神经网络、支持向量机等人工智能技术为基础的专家系统将为开关柜的安全运行提供服务。

黄荣辉 张 欣 向 真 姚森敬/深圳供电局有限公司
全芳轩/上海华魏光纤传感技术有限公司



黄荣辉/高级工程师

关键词/Keywords

开关柜 · 在线监测 · 数据库 · 网络通信 · 专家系统 · 中压开关柜是电力系统的重要设备之一, 其运行状态对电力系统的可靠性具有重大影响。当开关柜发生故障时, 轻则线路、设备受损, 电量损失; 重则造成用户大面积停电。目前开关柜的维护基本上采取定期检修制度, 这种制度在保证开关柜正常工作中确实起到了预防或延迟故障的作用, 但也存在较大缺陷: ①当开关柜还未达到规定的检修周期时就发生了故障, 造成不足维修; ②当达到检修周期时, 开关柜仍处于稳定工作状态, 此时对其进行维修, 反而会降低开关柜的运行可靠性^[1]。

在开关柜运行过程中或在基本不拆卸的情况下, 通过开展开关柜的在线监测, 采用各种测量、分析和判断方法, 结合开关柜的历史状况和运行条件有针对性地进行检修。相对于定期检修, 基于在线监测的状态检修可以避免电力系统不必要的停电, 减少设备因维修造成

的损害或事故, 同时也可大大减少设备维修所需的人力、物力和财力^[2]。

在开关柜的在线状态监测中, 软件系统扮演着重要角色。在线监测软件一方面通过现场总线或以太网实时收集硬件系统获得的数据, 并对数据进行挖掘分析, 评估开关柜的当前状态, 及时给出预警信息, 为开关柜的运行维护提供参考; 另一方面软件系统在保证安全、可靠和高效运行的前提下, 为用户提供友好的人机界面, 使之容易操作、易于维护。

软件的功能

目前, 中压开关柜在线监测对软件系统所要求的功能十分宽泛, 尚无一个标准对其提出明确规定。但可以确定的是, 对于中压开关柜在线监测软件, 一方面要与硬件系统相互配合, 对监测数据进行收集和处理; 另一方面要实现“所见即所得”, 降低用户的使用成本。此外, 为了保证整个供电系统的稳定运行, 其所配套的在线监测软件也需要满足运行稳定不宕机、报警及时不误报的要求。中压开关柜在线监测软件系统具有的功能如图1所示。



图1 中压开关柜在线监测软件系统的功能

(1) 网络通信功能

在中压开关柜在线状态监测中, 各类传感器(如温度传感器、泄漏电流传感器和角位移传感器等)通过物联网通信技术无缝透明地接入电力系统的输变电信息网络层。这类网络层以现场总线或以太网为媒介, 通过各种网络协议传输数据。在线监测软件则需要在应用层面上解析这些监测数据, 以供进一步的分析和应用。此外, 在实际通信过程中还需满足低延时要求。

(2) Web浏览功能

无论是在工矿企业还是变电站, 随着自动化水平的提高, 无人值守的作业操作越来越多, 人工现场干预的事件越来越少。因此, 对应的在线监测软件需要实现Web浏览功能, 以方便运行维护人员在远端及时访问并了解设备的运行状况。图2为某一智能开关柜在线监测Web浏览系统的首页。



图2 智能开关柜在线监测Web浏览系统的首页

(3) 远程操作功能

通过远程发送动作命令来操作开关柜的接地开关和底盘车, 以方便运行维护人员检修。此外, 对于有报警功能的在线监测装置, 应允许管理员通过软件修改报警阈值并进行远程设置。

(4) 专家系统功能

采集监测数据的最终目的是为了降低设备的全生命周期成本(LCC)。通过基于人工智能技术(如人工神经网络、支持向量机等)的专家系统对监测数据进行挖掘和分析, 评估设备的当前状态, 发现潜在的缺陷并预测设备的剩余寿命, 从而为开关柜的运行检修提供辅助决策信息。

(5) 报表打印功能

该功能允许系统维护人员或管理人员远程打印历史数据和故障数据等信息。

软件的开发框架

在线监测软件本质上是一个Web系统, 目前主流的开发语言有PHP、JSP和.NET。在这三种语言中, PHP的可移植性最好, 代码几乎无须修改便可在Windows、Linux等不同平台上运行, 但性能比Java略差; 相比于PHP, 基于Java的JSP开发成本相对较高, 开发效率较差, 不太适合小项目; .NET则属于微软的“个性”产品, 可移植性不够。因此, 目前在大型企业应用中, Java占绝对主流; 在中小型企业应用中, PHP则是主流。综上所述, 本文建议: ①工矿企业由于内部自建在线监测网络规模较小, 可以采用LAMP架构(即Linux + Apache + MySQL + PHP的组合), 成本最低, 同时稳定性和性能能够得到保证; ②电力系统由于需要同时管理成百上千座变电站内的开关柜, 规模较大, 宜采用性能更好、移植性也不错的Java, 方便后期的维护和将来的迁移。

数据库设计

由于中压开关柜在线监测系统长期连续运行, 数据量十分巨大, 如果不能对这些数据进行有效的存储和管理, 将会影响整个系统的稳定运行。因此, 在线监测软件实时采集的监测数据、故障报警信息需要存入专门的数据库中, 通过数据库管理系统(DBMS)来查阅和分析。

目前, 成熟的商业化数据库管理系统主要包括SQL Server、Oracle、DB2和Access等。SQL Server是微软公司的产品, 不能跨平台移植; Oracle和DB2价格昂贵, 对硬件要求也很高; Access属于桌面小型数据库, 速度较慢, 功能也不完善。因此, 许多在线监测系统开始使用免费且性能卓越的开源数据库(如MySQL)。MySQL是目前最快的关系型数据库之一, 以系统结构设计精巧、功能强大以及应用程序接口丰富著称, 是许多中小型系统的首选。

对于需要管理成千上万个开关柜的在线监测系统, 单机模式的MySQL已不能有效管理海量的监测数据, 也不能同时满足高并发性的要求, 而

往往需要采用分布式的MySQL集群，并保证数据的同步和负载均衡。图3为应用于电力系统在线监测的MySQL数据库系统拓扑结构。

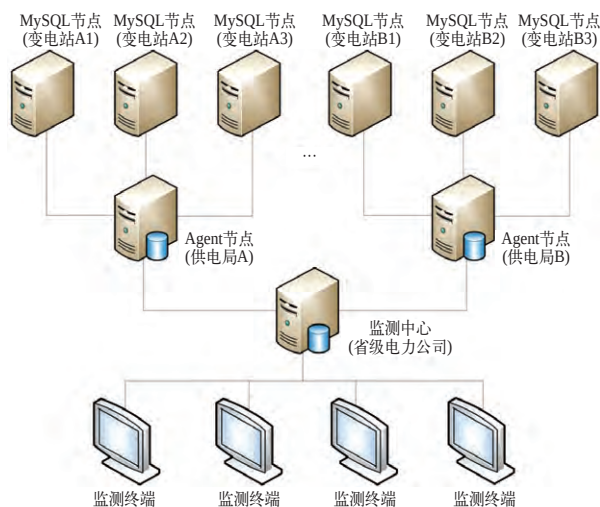


图3 分布式MySQL数据库在电力系统在线监测中的应用

网络通信协议

在中压开关柜在线监测领域，主要的通信有三种：基于RS 232/RS 485的串行通信协议、基于CAN总线的通信协议以及基于以太网的通信协议。

1. 基于RS 232/RS 485的串行通信协议

在串行通信的实际应用中，IEC 60870-5-103规约作为通信标准被广泛使用。103规约是问答式规约，子站在任何时候都不能主动发送数据，而只能等待主站的数据召唤。103规约包括兼容范围和专用范围：兼容范围是全部制造厂都采用的数据标准；专用范围是制造厂为了实际应用而各自定义的范围。图4为一种使用自定义103规

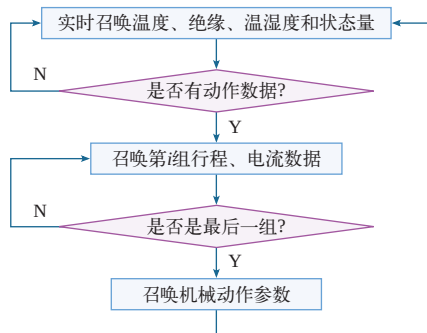


图4 自定义103规约召唤开关柜内触头温度、环境温湿度、泄漏电流和断路器动作信息的通信流程

约召唤开关柜内触头温度、环境温湿度、泄漏电流和断路器动作信息等监测数据的通信流程。

2. 基于CAN总线的协议

CAN总线协议（CAN 2.0）对应于OSI模型中的物理层和链路层，不包括其他层。CAN总线的应用层协议有标准（如DeviceNet、SDS等）和自定义两种。在线监测软件接收和处理CAN报文帧的流程如图5所示。

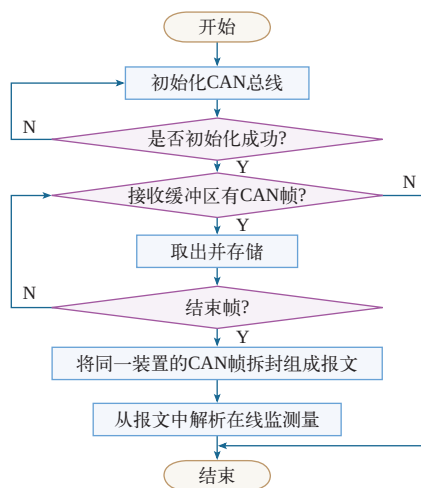


图5 在线监测软件接收和处理CAN帧

3. 基于以太网的通信协议

在电力系统中，基于以太网的通信协议主要是IEC 61850标准。该标准将变电站自动化系统分为三层：变电站层、间隔层和过程层。根据这种分层分布的思想，结合中压开关柜在线监测系统自身的特点，可以制定出开关柜在线监测系统的具体设计方法。IEC 61850标准强调面向对象建模，并且定义了基于Client/Server结构的数据模型，每个IED设备不仅对外提供服务器，而且自身也是一个客户端。在中压开关柜在线监测系统中，采用IEC 61850中的数据自描述方式可以降低在线监测系统的调试工作量，方便实现互操作。

状态评估与专家系统

对中压开关柜进行在线监测的最终目的是基于监测信息对设备进行综合状态评估，为运行维护提供参考依据。中压开关柜综合状态评估主要包括绝缘状态评估和机械状态评估两个方面。

对绝缘状态的评估,目前主要通过检测环氧绝缘套管表面的泄漏电流来实现。根据环氧套管表面绝缘性能的劣化规律,绝缘状态可分为三个阶段:①无局部放电,泄漏电流平稳建立;②发生局部放电,泄漏电流减小;③泄漏电流将突然增大,污闪很可能随时发生。基于这些规律,在线监测软件可以根据泄漏电流值来分析开关柜的绝缘状态。

对机械状态的评估,目前主要使用的监测项目包括分合闸线圈电流、触头行程和速度以及振动信号等。AEG公司在其产品中使用光电运动传感器检测开关的运动特性、弹簧储能和能量释放情况,利用基于法拉第效应的电流传感器检测电流,对开关的机械性能进行监测和评估^[3]。西安交通大学电器教研室则利用ADAMS软件仿真断路器的故障情况,结合人工神经网络强大的状态识别和自学习能力,设计了断路器故障诊断专家系统^[4]。

在综合状态与寿命评估方面,神经网络、支持向量机等人工智能方法用于建立专家系统。其中神经网络具有突出的模式识别能力,对故障的识别具有很高的准确性;而支持向量机算法则克服了传统神经网络算法的局部最优、收敛难以控制以及结构设计困难等缺点。西安交通大学电器教研室曾提出基于人工神经网络^[5]和支持向量机^[6]的机械故障诊断与寿命预测算法,并比较了两种算法的优劣。随着可获得的数据量的增大,基于人工智能算法的寿命评估专家系统将会为电力系统的安全可靠运行提供服务。

结束语

中压开关柜在线监测软件系统应具有网络通信、Web浏览、远程操作、专家系统和报表打印等功能。对于中压开关柜在线监测软件系统的设计,本文得出如下结论:

1) 在软件框架方面,工矿企业的小型在线监测网络可以采用LAMP架构(即Linux+Apache+MySQL+PHP的组合),成本最低;对于规模较

大的电力系统,宜采用性能更好的Java来开发。

2) 在数据库设计方面,为了保证在线监测系统的可靠性,应采用分布式数据库集群(如分布式MySQL等)。

3) 在网络通信方面,基于串行通信的IEC 60870-5-103规约和基于以太网的IEC 61850规约是目前主要采用的通信标准,其中IEC 61850是未来的发展主流。

4) 在状态评估与专家系统方面,人工智能技术(如神经网络、支持向量机等)为中压开关柜的状态评估与寿命预测提供了解决方案,并将随着研究的深入逐步得到应用。

参考文献

- [1] 曹荣江,顾霓鸿.高压交流断路器的运行条件[M].北京:北京工业大学出版社,1999.
- [2] 荣命哲,贾申利,王小华.电器设备状态检测[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [3] Dewulf J A, Jung T, Dupraz J P, et al. A development and application of circuit breakers diagnostic and monitoring [C]. Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PES, 2003, 2: 774-779.
- [4] 王小华,荣命哲,吴翊,等.高压断路器故障诊断专家系统中快速诊断及新知识获取方法[J].中国电机工程学报,2007,27(3):95-99.
- [5] Wang Xiaohua, Rong Mingzhe, Qiu Juan, et al. Research on mechanical fault prediction algorithm for circuit breaker based on sliding time window and ANN [J]. IEICE Transactions on Electronics, 2008, 91(8): 1299-1305.
- [6] Li Dongyan, Rong Mingzhe, Wang Xiaohua. Study on mechanical fault recognition of circuit breaker in 550 kV GIS based on improved SVM [J]. WIT Transactions on Engineering Sciences, 2013: 303-310.

(收稿日期:2015-01-08) EA