

Research on On-Line Condition Monitoring System of High Voltage Circuit Breaker Based on CAN Bus

Cailun Huang^{1,2}, Anqi Wang¹, Jing Wang^{1,2}, Yongjun Tian¹

¹School of Information and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan

²Mine Safety Warning Technology and Equipment Hunan Engineering Laboratory, Xiangtan Hunan
Email: 806313410@qq.com, 2267879989@qq.com

Received: Mar. 23rd, 2018; accepted: Apr. 17th, 2018; published: Apr. 24th, 2018

Abstract

High voltage circuit breaker is the most important and widely used control and protection equipment in power system; its reliable operation is very important for the security and stability of power system. A high voltage circuit breaker on-line condition monitoring system based on CAN bus is proposed in this paper, the on-line monitoring system of high voltage circuit breaker is constructed, the contents, steps and requirements of online monitoring of high voltage circuit breaker are analyzed, an on-line state monitoring device based on CAN bus which can monitor a set of high voltage circuit breakers is designed, and the angular displacement sensor and vibration sensor for on-line monitoring of high voltage circuit breaker is developed. The system on-site monitoring device utilizes the characteristics of DSP data processing capability, the on-site monitoring data and integration of the plurality of measurement signals are realized, and the system running state information is converted into the fault characteristic information of each function part of the equipment, greatly reducing the amount of communication data in order to facilitate the implementation of high voltage circuit breaker DCS monitoring network, through the regional PC and task management node to establish a data management library, and through the use of modern data management technology, combined with information transmission technology, to achieve high voltage circuit breaker on-line monitoring data history and horizontal management, to achieve from the regular maintenance to the state maintenance changes.

Keywords

High Voltage Circuit Breaker, CAN Bus, On-Line Condition Monitoring, Information Fusion

基于CAN总线的高压断路器在线状态监测系统

黄采伦^{1,2}, 王安琪¹, 王靖^{1,2}, 田勇军¹

¹湖南科技大学信息与电气工程学院, 湖南 湘潭

² 矿山安全预警技术与装备湖南省工程实验室, 湖南 湘潭
Email: 806313410@qq.com, 2267879989@qq.com

收稿日期: 2018年3月23日; 录用日期: 2018年4月17日; 发布日期: 2018年4月24日

摘要

高压断路器是电力系统中最重要、应用十分广泛的控制和保护设备, 其可靠运行对电力系统的安全性及稳定性至关重要。论文提出了一种基于CAN总线的高压断路器在线状态监测系统, 构建了高压断路器在线监测系统, 分析了高压断路器在线监测的内容、步骤及要求, 设计了能完整监测一组高压断路器的基于CAN总线的在线状态监测装置, 自行研发了适于高压断路器在线监测的角位移传感器、振动传感器。系统现场监测装置利用DSP数据处理能力强的特点, 实时处理现场监测数据并将多个测量信号进行融合, 把系统运行状态信息转换为设备各功能部件的故障特征信息, 大大减少通信数据量以便于高压断路器DCS监测网络的实现, 通过在区域上位机和任务管理节点处建立数据管理库, 运用现代数据管理技术, 结合信息传输技术, 实现对高压断路器在线监测数据的历史和横向的管理, 实现从定期检修向状态检修转变。

关键词

高压断路器, CAN总线, 在线状态监测, 信息融合

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高压断路器[1][2]是电力系统中最重要、最重要的控制和保护设备, 在发电厂和变电所的配电装置中必不可少。高压断路器控制与保护的對象主要有发电机、输配电系统及其他电力设备, 因此, 高压断路器的可靠运行对电力系统的安全性及稳定性至关重要。伴随着电力系统安全可靠性的要求越来越高, 传统的定期检修方法已不能满足实际应用需求, 必将被基于在线监测的状态检修所取代。对高压断路器实行在线状态监测与故障诊断, 能及时、正确的判断高压断路器的各种异常状态, 及时预警发展中的事故隐患、预防和消除故障, 防患于未然, 提高高压断路器运行的可靠性、安全性和有效性, 把故障损失降到最低水平; 另外, 采用在线状态监测代替以往的停电试验, 可减少设备停电时间、节约试验费用, 便于制定合理的检修维护制度, 充分挖掘高压断路器的运用潜力、延长服役期限和使用寿命。

通过对高压断路器进行在线状态监测、故障成因分析、系统性能评估, 可为其结构改进、优化设计、合理制造及安全运行提供有效的数据信息[3][4]。实现高压断路器在线状态监测的前提是: 正确获取所监测零部件的运行状态信号, 首先要选择合适的监测传感器和信号获取装置, 然后通过有线或无线的方式将监测数据传输至数据处理中心, 以实现高压断路器运行状态信号的分析处理和故障诊断。高压断路器位于电网与负荷系统之间, 工作在高电压、大电流状态, 对其进行状态监测与故障诊断时, 高压断路器监测工况下常见的电磁干扰有: 阻尼振荡波干扰、阻尼振荡磁场干扰、电快速瞬变脉冲群干扰、浪涌(冲击)干扰、脉冲磁场干扰、工频磁场干扰、射频场感应的传导干扰、射频电磁场辐射干扰、静电放电干扰、

谐波干扰、交流电源输入端口电压暂降和短时中断干扰、直流电源输入端口电压暂降和短时中断干扰、工频频率变化干扰、直流电源输入端口纹波干扰,约 14 种干扰类型。在这种复杂的电磁环境中,无线通信方式难以保证数据传输的可靠性;为此,本文拟采用现场总线方式来实现高压断路器运行状态的在线监测[5] [6] [7] [8]。

现场总线是近年来迅速发展起来的一种工业数据总线,它主要解决工业现场的智能化仪器仪表、控制器、执行机构等现场设备间的数字通信以及这些现场控制设备和高级控制系统之间的信息传递问题,所以现场总线既是通信网络,又是自控网络。现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)是由现场总线和现场设备组成的控制系统,是继模拟仪表控制系统、集中式数字控制系统、集散控制系统(Distributed Control System, DCS)后的新一代控制系统。目前的现场通信网络,有通信协议完善的具有国际标准的现场总线,也有通信协议不很完善的自定义了部分协议的简单的现场总线;常见的现场总线有:CAN、PROFIBUS、LonWorks、FF、MIC、WorldFIP、DeviceNet 等。在高压断路器运行状态监测系统中,考虑到技术开发难度、应用成本和现场干扰严重等因素,选 CAN 总线作为现场总线。论文重点讨论基于 CAN 总线的高压断路器在线状态监测系统,首先构建高压断路器在线监测系统,接着分析高压断路器在线监测的内容、步骤及要求,进一步设计能完整监测一组高压断路器的具有 CAN 接口的在线状态监测装置,研发适于高压断路器在线监测的角位移传感器、振动传感器,将多个测量信号进行融合并进行故障趋势分析以实现高压断路器从定期检修向状态检修转变[9]。

2. 基于 CAN 总线的在线监测系统

基于 CAN 总线的高压断路器在线监测系统结构如图 1 所示,系统由 1 个连接有 CAN 接口的上位机和 N 个连接有 CAN 接口的现场监测装置两个部分组成,每个现场监测装置对应一组高压断路器,各监测装置通过 CAN 总线连接以形成一个 DCS 监测网络,由上位机统一进行管理与控制。图 1 中的 N 个现场监测装置结构相同,都包括传感器输入接口单元、信号调理与融合单元、信号采集处理与保存单元和 CAN 接口等,具体功能可根据所监测的高压断路器类型在线配置[10]。

现场监测装置的传感器输入接口单元可连接电压电流、位移、开关量、振动温度、SF6 气体检测等传感器,用于在线获取高压断路器运行中的各种状态参量,经信号调理与融合单元后,由信号采集处理

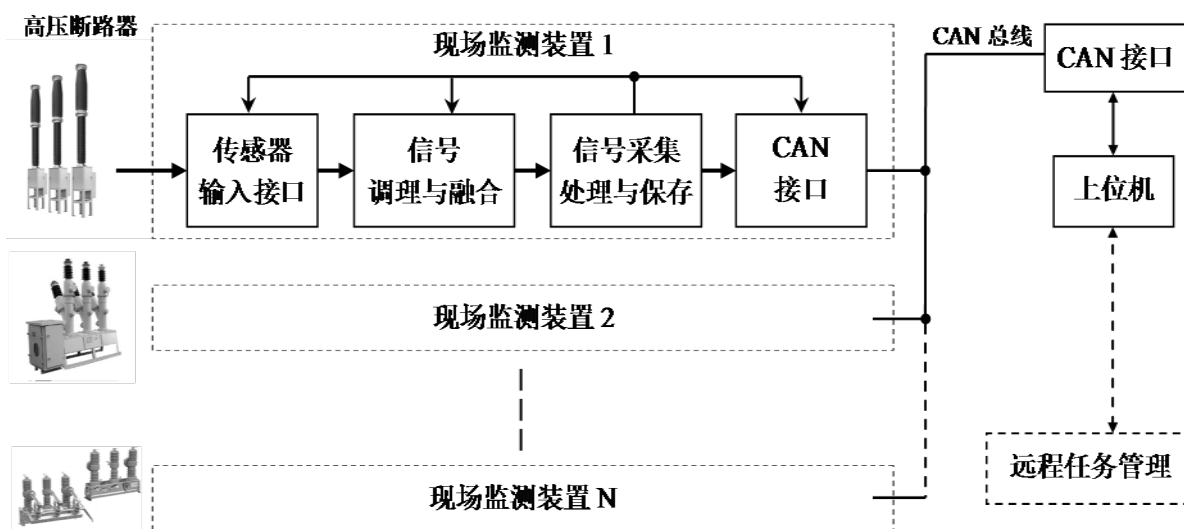


Figure 1. High-voltage circuit breaker on-line monitoring system structure based on the CAN bus

图 1. 基于 CAN 总线的高压断路器在线监测系统结构

与保存单元对采集数字信号进行滤波、频谱细化、谱线搜索等处理和多传感器监测信息融合后得到高压断路器运行的频域特征信息，然后通过 CAN 总线传送到监测区域的上位机，上位机软件通过实时监测数据的处理、分析与综合可对高压断路器运行状态进行定性、定量分析；在区域上位机和其任务管理节点处建立数据管理库，运用现代数据管理技术，结合信息传输技术，实现对高压断路器在线监测数据的历史和横向的管理。现场监测装置是在高压断路器处于运行状态时，对其特定的参数进行不间断的监测，将采集到的信号量进行加工处理，通过实时提取故障特性信息，为上位机诊断高压断路器故障打下基础；上位机软件根据在线监测的信息，结合该高压断路器的运行史，进行纵向比较分析，结合已知的结构特性和参数及环境条件，与同类断路器或其本身不同时期在线监测的结果进行横向比较，以明确故障征兆、原因和系统之间的相互关系，进而确定高压断路器故障的性质、程度、类别和部位，对故障类型、严重程度及原因等进行综合判断，并指明故障发展趋势，以指导维修策略及方法的制定[11]。

3. 高压断路在线监测系统的实现

3.1. 高压断路器在线监测步骤及要求

由于高压断路器结构的复杂性和故障形式的多样性，目前对高压断路器进行状态识别的研究还比较少，常用的状态识别方法有：阈值比较法和人工诊断法。阈值比较法是以阈值比较和过程统计为基础的简易判断方法，即根据一些简单参数对断路器有无故障及故障严重程度做出判断和区别；人工诊断法即在有经验的专家以及工程技术人员的参与下，对某些特殊类型典型故障的性质、类别、部位和原因做出合理的判断和估计。

本系统对高压断路器的状态监测分为以下四个基本步骤：1) 信号采集高压断路器是机电一体化的开关设备，在运行过程中必然会有光、电、声、热、力等各种物理量的变化，首先选择能表征高压断路器工作状态的多种信号及其相应的传感器，然后由监测装置调理并采集各传感器获取的信号；2) 信号处理及特征参量提取特征参量提取是实现高压断路器状态检修的关键环节，将采集到的信号进行分类处理、加工，提取能表征断路器工作状态的特征参量，特征参量是否满足状态监测的需要依赖于监测装置的数字信号处理能力；3) 状态识别和故障趋势分析将经过信号处理后获得的特征参量与规定的允许参数或判别标准进行比较，从而确定高压断路器的工作状态、是否存在故障以及故障的类型和性质等，同时根据当前监测数据预测状态可能发展的趋势，进行故障趋势分析是，应综合运用专家系统、神经网络、模糊逻辑和人工智能等技术方法制定合理的判别准则和策略，以确保对高压断路器运行状态的准确识别；4) 维修决策根据对高压断路器状态识别和故障分析的结果，决定应该采用的对策和措施，帮助技术人员制定合理的维修计划，从而实现了基于在线监测的高压断路器状态检修。

随着在线监测技术的发展，对于在线监测系统的要求也越来越规范。本文提出的高压断路器在线状态监测系统满足以下要求：1) 系统的投入和使用不应改变和影响电气设备的正常运行；2) 系统能自动地连续地进行监测、数据处理和存储；3) 系统具有自检和报警功能；4) 系统具有较好的抗干扰能力和合理的监测灵敏度；5) 监测结果具有较好的可靠性和重复性以及合理的准确度；6) 系统具有在线标定其监测灵敏度的功能；7) 系统具有故障诊断能力。

3.2. 断路器在线监测内容

参考国内外同行的研究成果，本文以某变电站 N 组沈阳高压开关厂生产的 LW12-252 型 SF6 高压断路器为监测对象，并结合无线通信网络和 LW12-252 型断路器的结构特点，采用图 1 所示的拓扑结构对高压断路器进行在线状态监测。为减少 CAN 总线通信的数据量，现场监测装置采用以 DSP & CPLD 为

核心设计,可完成一组 SF6 高压断路器的在线状态监测与故障诊断,其基本结构如图 2 所示。现场监测装置可连接用于监测高压断路器运行状态的振动温度、位移、开关量、电压电流、SF6 气体状态等的传感器,在 DSP 嵌入式软件的控制下完成高压断路器多项参数的在线监测与故障诊断,监测诊断结果通过 CAN 总线发送给上位机。现场监测装置利用 DSP 数据处理能力强的特点,实时处理现场监测数据并将多个测量信号进行融合,把系统运行状态信息转换为设备各功能部件的故障特征信息,大大减少通信数据量以便于系统基于 CAN 总线的 DCS 实现。

3.3. 高压断路器主要状态参量监测

3.3.1. 断路器操动机构的角位移监测

高压断路器操动机构的结构如图 3 所示,在分、合闸的过程中,分、合闸弹簧储能后释放会带动相间拉杆和各相转动轴动作,动触头分、合以实现电力线路的开关。

在图 3 中的转动轴 A、B、C 处分别安装图 4 所示的角位移传感器,监测高压断路器操动机构转动的角位移信号。图 4 所示为课题组自行研发的高压断路器操动机构在线监测用角位移传感器,由永久磁铁、磁敏元件与检测电路板、联轴器及连接轴、信号输出插座、传感器底座、传感器上盖等组成,通过联轴器连接被测转动轴 A、B、C 进行非接触角位移检测,检测磁敏元件与电路安装在螺纹连接的传感器上盖与传感器底座形成的圆柱形密封金属壳体内,检测结果以一对互补的占空比与角位移 θ 成正比的 PWM 波形输出,可适用于在有效调节范围内、规格不同的旋转轴,有效抑制高压断路器监测现场的强电磁干扰,使监测结果更加准确可靠。

3.3.2. 高压断路器的振动监测

高压断路器的振动信号是一个信息非常丰富的载体,它蕴含高压断路器运行的大量状态信息;对振动信号时域和频域的响应曲线进行分析,可揭示振动过程中的每个振动事件与高压断路器主要机械零部件间运动冲击的对应关系[12][13]。因此,通过对高压断路器振动信号进行特征提取、识别振动事件,从而为故障诊断提供数据支持。振动信号一般通过加速度传感器进行采集,本系统采用课题组自行研发的用于高压断路器机械故障监测的振动传感器,其原理电路如图 5 所示。

图 5 所示的传感器安装在高压断路器的被监测部位,振动敏感元件(压电晶体)拾取高压断路器运行状

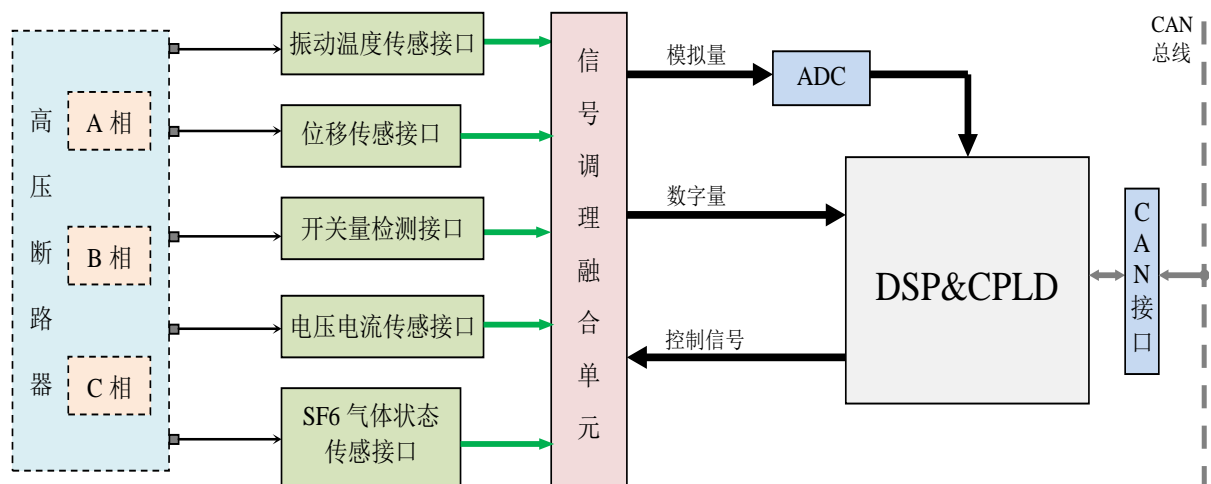


Figure 2. Structure diagram of on-line condition monitoring

图 2. 现场监测装置结构框图

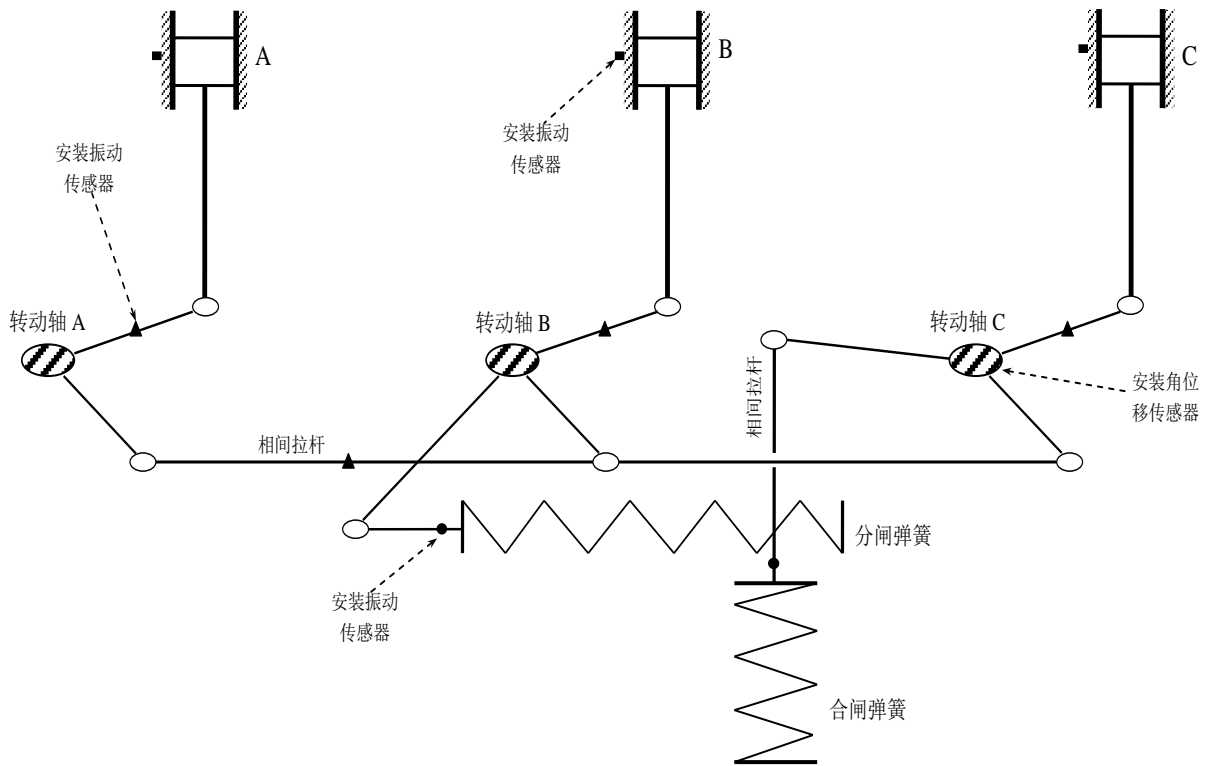


Figure 3. A brief introduction to the transmission principle of high voltage circuit breaker's actuator

图3 高压断路器操动机构传动原理简图

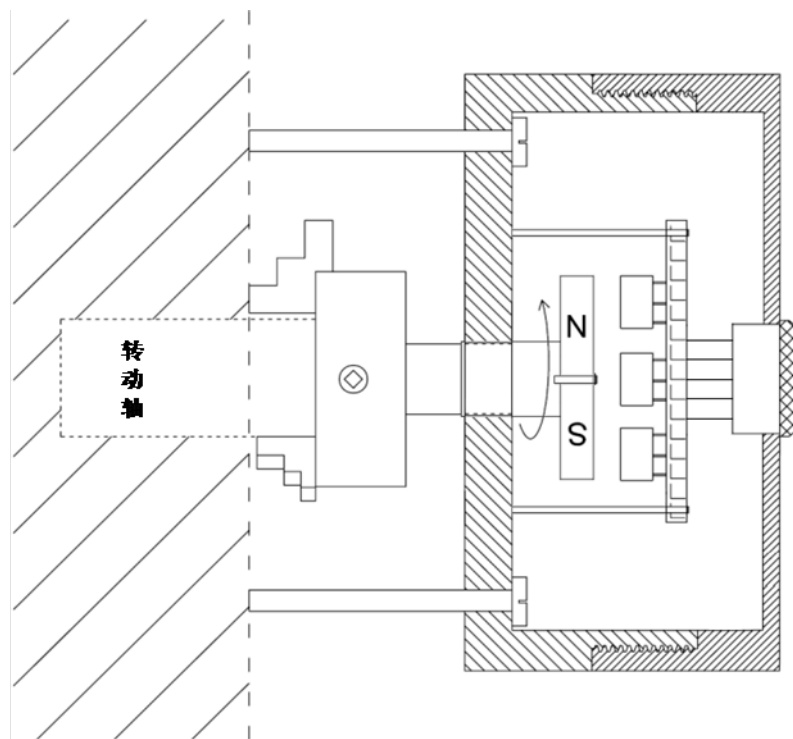


Figure 4. An angular displacement sensors for high voltage circuit breaker's actuator monitoring

图4 高压断路器操动机构监测的角位移传感器

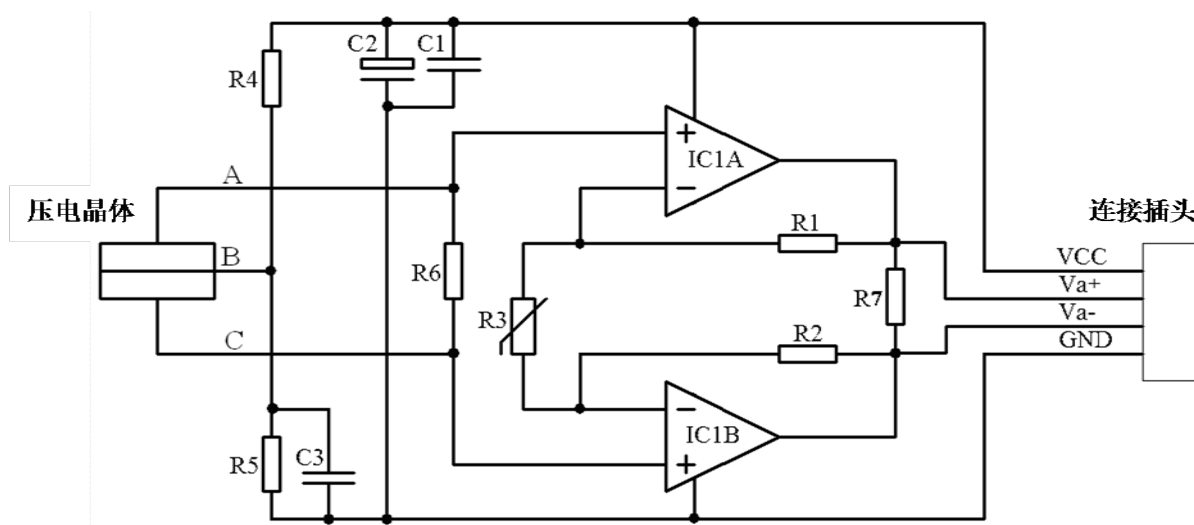


Figure 5. Circuit schematic of high voltage circuit breaker vibration monitoring sensor
图 5. 高压断路器振动监测传感器原理电路

态信号并差分输出至电荷放大器的差分输入，电荷放大器的工作电源及其差分输出信号通过引线接头连接屏蔽双绞线传输至监测装置，振动敏感元件、电荷放大器安装在由传感器壳体和引线接头组成的密封金属腔体内部，能有效抑制高压断路器状态监测工况环境的强电磁干扰，使高压断路器运行状态监测结果更加准确可靠。图 5 中的电荷放大器是一个由低功耗低噪声双运放 IC1，电阻 R1、R2、R3、R4、R5、R6、R7 和电容 C1、C2、C3 组成的单电源全差分放大器；C1、C2 为电源退耦电容，电阻 R4、R5 与电容 C3 一起为串联压电晶体提供工作电压，压电晶体的输出端 A、C 经两根同样长度的导线分别连接至运放 IC1A、IC1B 的同相输入端，电阻 R6 为振动敏感元件的阻抗匹配电阻，双运放 IC1 与电阻 R1、R2、R3 组成一个全差分放大电路，电阻 R7 为传感器输出引线的线路阻抗匹配电阻。

高压断路器在同一操作过程中的不同监测位置的振动监测信号有较大差别，在外壳、机构上进行振动监测，要选择适当的传感器安装位置。在图 3 中，在高压断路器灭弧筒内的动触头传动连杆，其运动状态只有在灭弧筒上有明显反应、而在支架上测不到相应的振动信号，但操动机构铁芯运动的信息在灭弧筒上反应就十分微弱，动触头传动连杆的振动监测传感器应安装在图 3 中实心方块处，操动机构铁芯的振动监测传感器应安装在图 3 中实心三角处；图 3 中实心圆点所处位置为分、合闸弹簧的顶端，当高压断路器分、合闸时，分、合闸弹簧储能后释放能量弹簧会产生很大的运动加速度，实心圆点处比较适合振动信号的获取。

3.3.3. 分、合闸线圈电流监测

高压断路器一般都以电磁铁作为操作的第 1 级控制元件，而在操动机构中使用的绝大部分是直流电磁铁。当线圈中通过电流时，动铁芯受磁力吸引，使高压断路器进行分闸或合闸。通过监测分、合闸线圈的电流波形，可从中提取高压断路器的分合闸时间、铁芯行程和铁芯卡滞等状态信息，这些信息是诊断高压断路器机械故障的重要依据。本系统对分、合闸线圈电流信号的监测采用霍尔电流传感器，霍尔电流传感器精度高、线性度好，动态性能和电气性能也较好，而且体积小、易于现场安装，不会对高压断路器主系统的正常运行造成影响。

3.3.4. 高压断路器的其它参量监测

前述可知，高压断路器监测在线监测的状态参量较多，不限于上述三种状态参量的监测，对于其他

状态参量本系统监测有相对应的监测方式。

对于电压、电流信息的监测通常采用相应电压、电流等级的互感器，本系统监测中取采样周期 T 为工频周期 T_0 的整数倍，即有 $T = kT_0$ (k 为正整数)；在线监测高压断路器的绝缘状态，为诊断高压断路器的早期缺陷和事故隐患、控制突发性绝缘事故提供有效信息，本系统采用平衡桥及不平衡桥相结合的监测原理来检测高压断路器对地的绝缘状态，不受馈线对地电容的影响。

真空断路器的真空灭弧室从制造厂排气系统上封离后，其内部的真空状态通常只能在非运行(离线)状态下采取工频耐压法等才可监知是否还在允许范围内；如何在真空断路器处于带电运行(在线)的状态下随时监测其真空度的变化，是目前国内外还没有真正解决的技术难题；本系统采用非接触式微波传感技术，由安装在真空断路器现场的天线传感器检测屏蔽罩周围反馈信号电场的变化，通过无源传感技术检测微波信号来捕捉真空断路器运行状态下真空度异常时的特殊反馈信号，真正意义上实现真空断路器真空度的在线监测。

由于高压断路器触头位于灭弧室中，外界不能直接观察到，所以不能够直接测量到断路器触头的温度；根据热传导原理，导体通过电流温度升高，和它接触的灭弧室端盖或母线的温度也会升高，通过测量可见灭弧室端盖或母线的温度，由热传导公式即可间接获得断路器触头的实际温度，本系统采用红外温度传感器实现非接触式监测，对断路器本体结构不产生影响，在断路器触头温度测量中可靠性高。

对于 SF6 断路器的气体密度监测，本系统通过在断路器本体上安装压力、温度及湿度传感器，不仅可以解决 SF6 气体微水含量的在线监测，而且能够精确的计算出气体的实时密度值，监测 SF6 气体的微量泄漏。

4. 高压断路在线监测信息的融合

由于本系统的现场监测装置在存储容量、网络通信和计算处理等方面存在一定的资源限制，信息融合技术是解决此类问题的有效方法。传统的状态监测系统大多基于单参数特征，存在很大的不确定性，难以获得正确的监测诊断结果；在基于 CAN 总线的高压断路器在线状态监测系统中，可以测量或者观测的参数其实不止一个，不同的参数或者观测量通过信息融合方法能够为状态监测提供更多的信息，从而提高状态监测系统的性能[14]。图 2 所示的现场监测装置利用 DSP 较强的数据处理能力，实时处理现场监测数据并将多个测量信号进行融合，把系统运行状态信息转换为设备各功能部件的故障特征信息，大大减少通信数据量以便于高压断路器的 DCS 监测网络实现，系统的信息融合监测框图如图 6 所示，监测系统中引入多传感器信息融合技术，并根据高压断路器自身的结构特点，合理分布高压断路器的多类多个传感器，通过一些信息融合算法，可进一步得出高压断路器的结构模型。相对于传统的单一传感器状态监测系统而言，本系统具有信息的完整性、统一性、多样性和容错性等优点；综合利用多种传感器的信息以获得更可靠的监测结果，可以避免单一传感器的局限性限制，减少传感器不确定性误差的影响。

图 6 所示的高压断路器状态融合监测系统，其数据融合分为三个阶段：数据预处理、特征级融合和决策级融合。首先通过多个、多类传感器在线获取高压断路器运行中的各种状态参量，在现场监测装置的传感器接口与信号调理融合单元一起对各状态参量的监测信号进行预处理；然后现场监测装置采集并保存各状态信息，对多组传感器中的同类传感器分别进行贝叶斯融合，优化处理、特征提取后得到各种信号的最佳融合值并通过 CAN 总线发送到区域上位机；最后在区域上位机的数据融合决策级诊断出高压断路器的运行状态，并将结果显示和输出到远程管理节点，通过在区域上位机和任务管理节点处建立数据管理库，运用现代数据管理技术，结合信息传输技术，实现对高压断路器在线监测数据的历史和横向的管理，实现从定期检修向状态检修转变。对于特征级的融合，大多方法来源于模式分类或者识别的方法；对于决策级，主要是基于各种不确定性测度的方法[15]，比如 Bayesian 规则、证据理论和模糊决策等。

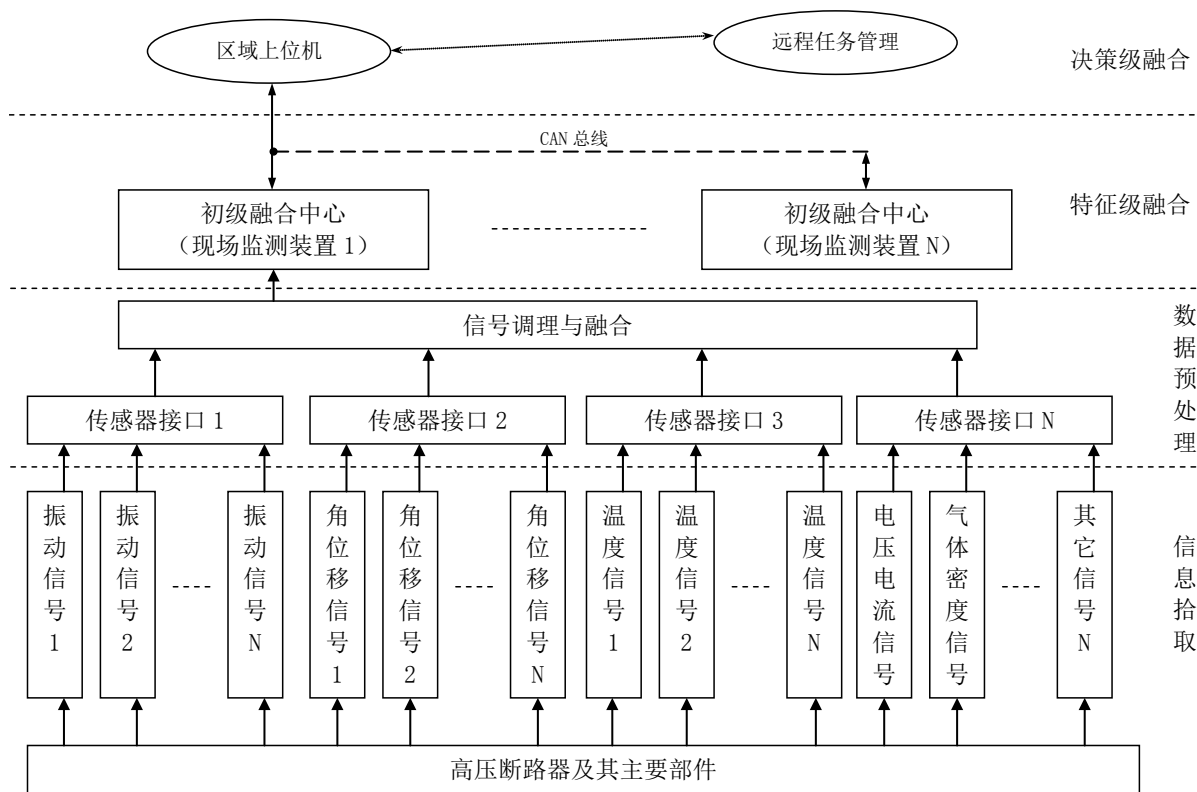


Figure 6. Block diagram of high voltage circuit breaker state fusion monitoring system
图 6 高压断路器状态融合监测系统框图

5. 结论

高压断路器作为一种控制和保护电器在电力系统中应用十分广泛,采用基于 CAN 总线的高压断路器在线状态监测系统对高压断路器进行实时监测,并及时对潜在故障进行预判,对于实现高压断路器的状态检修和提高其安全可靠性的具有重要的意义。与传统检测系统相比,论文所述系统具有以下特点与优势:

- 1) 以一组高压断路器为单位设置在线状态监测装置,利用 DSP 数据处理能力强的特点,实时处理现场监测数据,实现了对高压断路器运行的快速状态监测与故障诊断。
- 2) 由于现场监测装置可根据高压断路器的故障发生部位以及各部位故障的概率进行统计分析而确定在线监测参数,合理规划高压断路器的在线监测;大大减少通信数据量,以便于实现 DCS 监测网络。
- 3) 对于传感器的特性,主要考察性能、可靠性、寿命、价格以及成本的综合因素;本系统针对高压断路器特点自行研发了相关的监测传感器,既考虑系统的成本,又兼顾监测的效果。
- 4) 将多个测量信号进行融合,把系统运行状态信息转换为设备各功能部件的故障特征信息是监测与诊断的最终目的。
- 5) 通过在区域上位机和任务管理节点处建立数据管理库,运用现代数据管理技术,结合信息传输技术,实现对高压断路器在线监测数据的历史和横向的管理,实现从定期检修向状态检修转变。

论文把 CAN 总线技术引入到高压断路器在线状态监测系统中,以一组高压断路器为单位设置现场监测装置,实现了变电站或发电厂高压断路器运行状态信息的实时集群监测和最佳融合数据传输,有效解决了不同规模变电站、发电厂的高压断路器在线状态监测问题。本系统除用于高压断路器在线状态监测外,还可用于其它大型电气设备如变压器、隔离开关以及输电线路的在线状态监测,有效提高电力系统

中电气设备状态监测与故障诊断的效率与可靠性。

资助信息

湖南省自然科学基金资助项目(14JJ3110); 湖南省科技计划项目(2015GK3123)。

参考文献

- [1] 杨景刚, 刘媛, 高山, 等. 高压断路器机械故障诊断技术[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(2): 1-6.
- [2] 苗红霞, 王宏华. 基于数据融合的高压断路器故障诊断方法研究[J]. 工矿自动化, 2010, 36(10): 45-48.
- [3] Mei, F., Mei, J., Zheng, J.Y., *et al.* (2012) Research on a Modified Judgment Method of the Closing Moment for On-line Monitoring System of High Voltage Circuit Breaker. *Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM)*, **22**, 551-555.
- [4] 赵洋. 高压真空断路器机械特性在线监测技术研究现状与展望[J]. 工矿自动化, 2016(12): 19-24.
- [5] 黄新波, 赵阳, 廖志军, 等. 基于物联网的高压开关柜综合在线监测装置设计[J]. 高压电器, 2015(5): 1-7.
- [6] 罗勇强, 郎宝华. 断路器性能参数在线监测装置的设计[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(2): 480-486.
- [7] 李斌, 郝建成, 刘一涛, 等. 断路器机械特性特征数据稳定性和故障机理[J]. 中国电力, 2015, 48(2): 59-65.
- [8] 陈建平, 胡占强, 苏晓东. 智能化断路器机械特性在线监测关键技术设计[J]. 高压电器, 2014, 50(4): 108-112.
- [9] 徐一秋. 无线传感器网络研究现状与应用[J]. 黑龙江科学, 2016, 7(9): 8-9.
- [10] Hou, L. and Bergmann, N.W. (2012) Novel Industrial Wireless Sensor Networks for Machine Condition Monitoring and Fault Diagnosis. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, **61**, 2787-2798.
- [11] 汤宝平, 黄庆卿, 邓蕾, 等. 机械设备状态监测无线传感器网络研究进展. 振动测试与诊断, 2014, 34(1): 1-7.
- [12] 张传明. 基于 CAN 总线的通信设计与应用[J]. 电子技术与软件工程, 2017(5): 54-54.
- [13] 白龙, 王淑玉, 付东辉, 等. 基于 DSP 的 CAN 总线网络设计[J]. 科技创新与应用, 2017(22): 23-23.
- [14] 王海伦, 蔡志宏, 范一鸣. 电气设备温度监测的无线传感器网络节点设计[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(7): 97-99.
- [15] 张国栋, 牛国平, 宋建成. 高压断路器振动信号在线监测系统的研究[J]. 山西电力, 2012(3): 50-54.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2328-0514, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aepe@hanspub.org