

# 基于 LonWorks 技术的断路器在线监测系统设计

胡丹晖<sup>1</sup>, 郭贤珊<sup>2</sup>, 朱庆翔<sup>2</sup>

(1. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072 2. 国家电力公司华中公司, 湖北 武汉 430077)

**摘要:** 针对变电站断路器的在线监测, 设计了一种基于 LonWorks 现场总线技术的网络化、开放式的断路器在线监测系统。

**关键词:** 断路器; 在线监测; LonWorks

中图分类号: TM561, TM769

文献标识码: A

文章编号: 1006-6519(2002)05-0016-04

## Design of On-Line Monitoring System Based on LonWorks for Circuit-Breakers

HU Dan-hui<sup>1</sup>, GUO Xian-shan<sup>2</sup>, ZHU Qing-xiang<sup>2</sup>

(1. Electric Engineering college of Wuhan University, Wuhan 430072 China

2. Central Company of State Power Corporation, Wuhan 430077 China)

**Abstract:** On the study of on-line monitoring system for circuit-breakers, an open and network on-line monitoring system based on LonWorks bus was developed in this paper.

**Key words:** circuit-breakers; on-line monitoring; LonWorks

对电力系统来说, 高压断路器的可靠性是至关重要的, 虽然制造商在不断开发出寿命更长的断路器, 但是正确的现场维护仍是提高断路器可靠性的重要方法。有关统计表明<sup>[1]</sup>, 一半以上的变电站维护费用是花在开关上, 而其中 60% 又是用于断路器的小修和例行检修上, 10% 的断路器故障是由于不正确的检修所致。断路器的大修, 既费时, 费用也很高, 而且解体和重新装配会引起很多缺陷, 甚至产生新的故障而导致事故发生; 另一方面, 由于没有及时发现某些缺陷而导致电网事故的情况也时有发生。因此通过断路器在线监测系统, 实时了解断路器的状态, 减少过早或不必要的停电试验和检修, 做到应修则修, 则可以显著提高电力系统可靠性和经济性。

另外, 随着变电站的自动化程度提高和网络化的发展, 站内的各种电气设备如变压器、绝缘等监测设备很多, 但是不同的监测设备各成体系, 而且现场每个监测系统的各种电缆繁多, 互不共用, 极大地浪费了资源。能不能采用一种共用的、网络化的、开放的监测系统或标准, 融合自动化和各种监测信息呢? LonWorks 技术为设计和实现可互操作的控制网络提供了一套完整、开放、成品化的解决途径。

现场总线是一种先进的工业控制技术, 它将网络通信与管理的观念引入了工业控制领域。本质上

说, 它是一种具有数字通信协议, 连接智能现场设备和自动化系统的数字式、全分散、双向传输、多分支结构的通信网络。现场总线的典型代表 LonWorks 是美国 Echelon 公司在 1991 年推出的局域操作网络, 是一个完整的平台, 采用基于嵌入式神经元芯片的总线技术。它的应用可较好地解决变电站监测系统中现场级控制及站内通信问题, 代表了未来变电站自动化监控技术的发展方向。本文针对断路器的在线监测系统的开发, 介绍 LonWorks 技术在其中的应用。

### 1 LonWorks 技术及其特点

Lon(Local Operating Network)是一种全新的现场总线, 它为全分散式的现场设备提供了可互操作的控制网络, 已获得世界上 140 多个公司、组织的确认。

#### 1.1 控制节点

Lon 网的关键技术是以具有控制功能和通信功能的智能节点取代了基本调节器。节点由神经元 (Neuron) 芯片、外扩存储器、收发器、I/O、A/D、D/A、光耦等组成。Neuron 芯片有 MC143150、MC143120 两种, 内部有 3 个 8 位微处理器, 分别是: 媒体访问控制处理器、网络处理器及应用处理器。前两个主要管理通信, 后一个留给用户开发应用程序。

#### 1.2 网络协议和通信服务

收稿日期: 2002-08-18

作者简介: 胡丹辉(1973-), 男, 河南省信阳人, 工程师, 武汉大学电气工程学院硕士研究生。

LonWorks 技术的通信协议称为 LonTalk 协议, 它支持多种通信媒体和网络拓扑结构, 符合国际标准化组织(ISO)基准模式, 具有完整的七层协议。该协议采用分级式编址模式, 共分 3 级: 域、子网和节点地址。域是第一级地址, 是分布在一个或多个信道上的一系列节点的集合。每个域最多可包含 255 个子网, 一个子网最多可包含 127 个节点, 每个子网中的所有节点必须在同一个信道上或由网桥联接的两个信道上。

LonTalk 协议提供 4 种报文服务: 端到端确认服务、请求/应答方式、非确认重发方式及非确认方式。

LonWorks 网络中各智能节点是通过网络变量联系起来。网络变量是利用程序说明的一组特殊静态目标, 可以是输入变量, 也可以是输出变量。给输出网络变量赋值, 可以将这个数值向所有把该网络变量说明为输入的节点传送, 例如: 某节点有一个测控设备, 任何时刻该节点测得的新数值都使网络变量更新, 同时传送至将该节点设定为输入变量的节点。

### 1.3 LonWorks 技术特点

LonWorks 技术采用完全分布式控制系统, 其特点:

- (1) 网络结构简单, 不需要专用中央处理机或服务器。
- (2) 安装方便, 控制节点之间可用双绞线、同轴电缆、光纤及电力线做为网络介质。
- (3) 采用扩频技术, 抗干扰能力强。
- (4) 系统扩展方便, 自由的网络拓扑结构, 增减控制接点而不必改变网络物理结构。
- (5) 系统可靠性高, 个别节点故障只影响该节点, 而不会造成整个系统或子系统的中断。
- (6) 每个节点内部有 LonTalk 网络通信协议, 使得系统集成开发简单, 应用编程简化。
- (7) LonBuilder 应用软件有面向用户的开发平台, 可编程性好。
- (8) 节点彼此通信网络化, 信息共享, 标准化接口可直接收发和传送信息, 开放性强。

## 2 断路器的在线监测参数及方法

目前断路器主要故障为操动机构故障, 所以断路器在线监测的重要对象就是操动机构。机械机构的状态获取是十分复杂的, 出现某一种故障, 机构的状态特征可能很多, 同时, 当机构的某一状态特征发生变化时, 其引起的故障原因或故障点也可能不唯一, 因此获取操动机构所有的状态特征并不现

实。因此, 如果能可靠地将断路器操动机构发生概率最大的故障检测到, 或者按照概率因素分配监测系统资源和重要性权重, 那么就既可以显著提高设备可靠性, 又可以降低监测系统的复杂性, 节省费用, 其实用性价比也大大提高。同时, 对于断路器的电气性能如触头状态、电寿命等的监测, 可以减少由于检修中的盲目解体拆卸而造成停电损失和降低设备寿命等。

对断路器电寿命的在线监测, 可以采用对断路器电磨损的实时监测实现。以往对电磨损的监测是记录累计开断电流或累计电弧能量( $I^2t$ ), 事实上, 同一断路器在同样的外部条件下先后开断两次同样大小的电流值, 其烧损程度也不可能相同。如果采用累计开断次数或累计开断电流来衡量断路器触头的烧损就会出现下面这个问题, 同样大的累计开断电流值, 在大电流开断时的烧损与在小电流时的烧损相差很大, 从这一点看, 用累计开断电流来判断触头烧损量是不够的; 另外电磨损虽然取决于电弧能量, 但还与触头分断速度等因素有关, 电磨损并不与电弧能量有比例关系。文<sup>[3]</sup>中提出了通过记录断路器的开断电流来监测各种断路器电寿命的理论方法。

对断路器 SF<sub>6</sub> 气体和油的监测较易实现。开断电流信号可以从变电站中央控制室的屏上抽取, 每个断路器每相一个电流信号, 采用在 CT 回路上套装主动式霍耳电流传感器, 这样就既对回路没有负载效应, 也与回路没有接触。

对断路器的机械特性的监测, 文献<sup>[3][5]</sup>作出过深入分析, 通过实时监测断路器的振动信号、分合闸回路的电流、辅助接点及液压机构的压力, 然后综合分析以上信号, 实现对断路器的分合闸时间、同期、合分时间、操动机构、分合闸线圈电流、回路电压及机构压力等的实时监测。分合闸回路电流采用在回路上套装霍耳电流传感器, 对于分相动作的断路器, 每相有三个电流信号, 即主分、付分和合闸回路。辅助接点信号和分合闸命令脉冲的监测, 采用开关量检查节点的通断。对于机构压力, 则可以很方便地将压力信号送到采集器。对于测量振动信号的加速度传感器, 一般只有几克重, 在断路器的外壳上便于安装和固定。安装合适数量和位置的传感器将影响分析结果的灵敏度和准确率, 考虑将传感器装在关键部件(如故障率高、重要性高)的振动源附近或连接部位, 如灭弧室(垂直方向)、操动机构(垂直方向)或二者之间位置(如弹簧机构的缓冲器

附近),以达到信号重复性和稳定性好,传输清晰可靠。试验结果表明,在灭弧室上安装振动传感器可以方便地检测出断路器同期、灭弧室故障和传动部分的等缺陷,具有很好的优势。

### 3 基于 LonWorks 的监测系统设计

基于 LonWorks 技术采用分层分布式开放结构,断路器监测系统将具有网络化、层次化、模块化和开放式的特点。各个节点之间信息发布可以实现共享,网络化仪器采用资源共享的方式,可便于系统集成和构建大网络,并节省资源。层次化和模块化设计就是按照系统各部分所完成的任务,如传感器层、数据采集层、通讯层、数据分析处理层等,分层设计;每层之间采用标准的通讯或接口协议,每层的功能标准化、模块化;每个模块完成特定的功能,可根据需要增加模块,模块可即插即用。这样系统的可靠性就大大提高,可以灵活地根据需要配置满足不同要求的监测系统,只要满足接口或通讯标准的要求。

图 1 为基于 LonWorks 的变电站断路器监测系统结构图,系统由管理网络和监测网络组成。变电站管理网络为 LAN 网构成,由 LonWorks 组成的监测网络以点对点、点对多点的方式解决 Lon 网节点相互之间的通讯;而 LAN 网与 Lon 网之间通过串行 SLTA 或并行 PCLTA 等网络适配器通讯。监测网络采用了分布式现场总线,通过双绞线将所有的现场 Lon 节点连接起来,且不存在模拟信号的远程传输,信号的干扰、衰减及接地等问题就迎刃而解;而且采用环形网络结构,部分 Lon 节点的通讯中断不会影响整个网络,节点之间可以共享资源。

C196KB 主处理器完成监测任务,80C196KB 与 MC143120 采用并口进行数据交换,速度可达 100kByte/s 以上。

对于断路器监测系统现场的 Lon 节点,需处理的信号主要有 7 路模拟信号,每路信号采用独立的信号滤波、放大、隔离电路,包括振动信号 2 路,根据振动信号频率范围,采样率 40 kHz;分合闸线圈电流,包括主、副分回路及合闸回路共 3 路,采样率 10 kHz;机构压力信号 1 路,5 kHz 采样率,SF<sub>6</sub> 气体压力 1 路,5 kHz 采样率。辅助接点 A、B 触点和分合闸回路主接点共 6 路开关量信号,通过光电隔离器进入采集电路,原理结构图如图 2 所示。A/D 转换采用 MAX125,采样频率 250 kHz,有 8 个通道,根据每个通道的采样率要求巡回采样,有 14 位分辨率,节点采样由分合闸命令启动,系统时钟采用 DS12887。

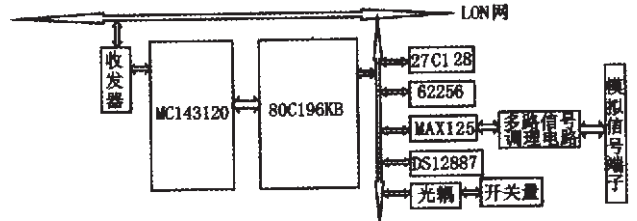


图 2 LonWorks 数据采集节点框图

开断电流的采集节点放置在主控室,电流模拟信号的从主控室 CT 屏上取,采样率为 10 kHz,采用集中式模块化设计,每个模块可采集 8 路电流信号。

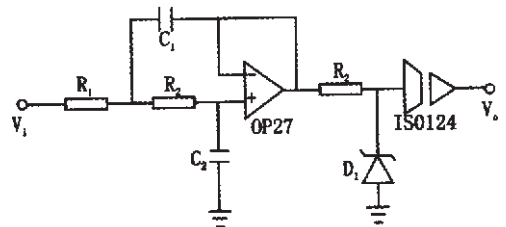


图 3 低通滤波电路

Lon 节点中,对于一般模拟信号采用 OP27 构成二阶低通滤波器(图 3 所示);对于振动信号采用带通滤波电路(图 4 所示),采用 ISO124 低功耗精密隔离放大器实现模拟信号的隔离。图中稳压管 D1 用于电压限幅,以防 Vi 过大而损坏后续电路。OP27 是一种超低噪声、高精度单片运放,失调电压不大于 25 μV,温漂仅为 0.6 μV/°C,开环增益不小于 120 dB,高共模抑制比,可广泛应用于精密仪表、数据采集、测试设备、传感器电路等。ISO124 额定隔离电压为 1 500 V,最大非线性误差为 0.01%,固

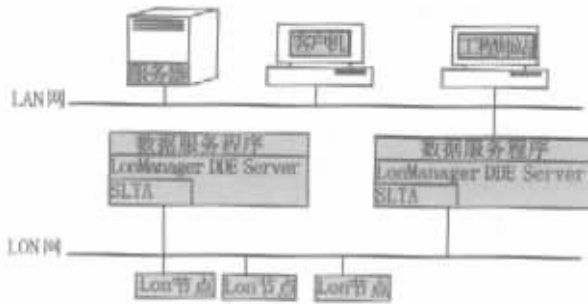


图 1 变电站断路器监测系统结构图

Neuron Chip-hosted 节点中 Neuron 芯片是唯一的处理器,不仅承担网络通信的任务,而且要对应用程序进行处理,因此只适合对较简单的 I/O 设备和任务处理。针对变电站断路器的监测,本系统现场 Lon 节点采用 Host-based 节点,Neuron MC143120 芯片只作通讯处理器,由单片机 80

定单位增益,电源电压范围为 $\pm 4.5 \sim \pm 18 \text{ V}$ ,可广泛应用于工业过程控制、数据采集及测试设备等。采用这两种器件来设计模拟通道电路,可确保模拟通道的精度。

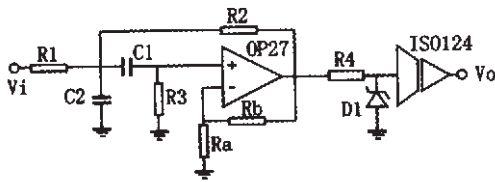


图 4 带通滤波电路

由于系统中各种仪表或变送器信号的地电位不尽相同,有时相差很大,甚至高达上千伏电位差。如果节点的输入信号各模拟信号通道之间不采取隔离措施,则会引起测量误差增大,甚至导致系统不能正常工作。为了解决这一问题,同时也为提高节点的通用性,在节点的各模拟输入通道之间设置了隔离电路。

节点的基本功能是进行多通道模拟量的数据采集,然后将采集结果以网络变量的形式送到 LonWorks 网络。主要有以下几个方面:

(1) 模数转换功能。巡回采集 8 个模拟输入通道,并将模拟量转换成数字量,然后传送至 Lon 网。

(2) 信号滤波功能。由于生产过程中的信号通常带有干扰,特别是那些恶劣环境中的信号。节点中采用硬件滤波和软件滤波相结合的方法,来滤除输入信号中的噪声。

(3) 由于配电系统电源线有各种噪声,既要考虑外部干扰,又要考虑内部数字电路的干扰,因此监测节点单元电源使用隔离电源,加  $\pi$  型滤波器,对需要电源的传感器采用 DC/DC 变换器独立供电。

(4) 网络通信功能。节点采用一对双绞线与 LonWorks 网络相连,由于 Lon 是自由拓扑(free topology)的控制模块,因此节点与网络的连接既可采用总线式结构,也可选择其它任意形式的网络拓扑。

## 4 结束语

采用合理可靠的在线监测手段比常规试验和检修更能提高设备的可靠性,不仅节约检修费用,减少停电时间,而且提高了整个电网的经济效益。本文根据断路器故障概率统计和重要性,设计了一种基于 LonWorks 的状态监测系统, LonWorks 现场总线的应用满足了系统的分布性、开放性和可扩充性的要求,提高了该系统监测的实时性和可靠性。

参考文献:

- [1] J. Reason. Circuit Breakers with On-line Condition Monitoring[J] Electrical World. February 1995.
- [2] 王章启,郭贤珊.高压断路器开断参数的监测与记录[J]电网技术,1996,Vol.20.
- [3] 郭贤珊,等.断路器触头电寿命在线监测[J]高压电压技术[J]1999,Vol.25.
- [4] 何正友,等.基于 LonWorks 技术的变电站自动化系统[J]电力自动化设备,2000(4).
- [5] 郭贤珊,等.断路器在线监测参数的选择[J]华中电力.2001(3).

(上接第 15 页)

## 6.2 磨损大大减轻

改造前低温再热器处的烟气流速为  $9.68 \text{ m/s}$ ,改造后为  $7.91 \text{ m/s}$ 。由于烟气对管子的磨损量与烟速的 3 次方成正比,经过一个大修周期后的检查和壁厚测量对比,低温再热器管无明显磨损。

## 6.3 壁温情况

长时间运行和试验表明,低温再热器螺旋肋片管上的肋片壁温度在  $440 \sim 490 \text{ }^\circ\text{C}$ ,低温再热器螺旋肋片管上的肋片壁温度在  $440 \sim 490 \text{ }^\circ\text{C}$ ,均低于管材允许温度。

## 6.4 积灰情况

将原光管式更换为螺旋肋片管低温再热器,变原来的顺列布置改为错列布置,可加强螺旋肋片管背面的尾迹扰动,低温再热器基本不存在积灰现象

## 7 结论

(1) 4 号锅炉低温再热器经改造,再热蒸汽温度  $530 \sim 540 \text{ }^\circ\text{C}$ ,低温再热器壁温均低于相应管材的允许温度。

(2) 通过试验计算,4 号锅炉低温再热器经过改造,其焓增和热偏差基本符合改造设计要求。

(3) 4 号锅炉低温再热器采用螺旋肋片管,增强传热效果,提高了锅炉运行的安全性和经济性,达到预期效果。

(4) 螺旋肋片管的应用,对于锅炉尾部受热面布置极为有利,尤其对燃用劣质煤锅炉的尾部受热面防磨改造,具有广阔的前景。

参考文献:

- [1] 中国动力工程学会主编.火力发电设备技术手册(第一卷锅炉)[M]北京:机械工业出版社.2000(4).