

高压断路器运行状态实时监测系统设计

杜凌艳,王振浩,王 刚,李国庆

(东北电力学院,吉林 吉林 132012)

摘要: 根据当前国内外高压断路器在线状态监测技术的现状,结合延边电业局的实际情况设计了一套高压断路器实时运行状态监测系统,介绍了该系统的系统结构及其基本组成单元,对高压断路器合(分)闸线圈的电流波形进行了分析,设计了开断电流的监测模块和振动波形的监测模块。系统以 80C196 单片机为核心构成实时状态监测单元,通过 RS-485 串口总线方式将监测信息上传给主站计算机。

关键词: 高压断路器; 状态监测; 80C196 单片机

中图分类号: TM 56; TM 76

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)01-0058-03

在深入研究、学习、借鉴国内外高压断路器在线状态监测技术的基础上,结合延边电业局实际情况设计了一套高压断路器实时运行状态监测系统^[1-7]。

该系统对高压断路器的运行状况进行在线监测,对有可能影响其正常运行的相关参数进行了实时采集、分析、处理和计算,为高压断路器的维护提供了参考依据。本文主要介绍该系统总体结构和各模块设计原理。

1 系统的总体结构

系统的总体结构如图 1 所示。以 80C196 单片机为核心的实时运行状态监测单元主要对断路器开断电流、合(分)闸线圈电流、电寿命、操动机构的机械特性等几个方面进行实时监测,将获得的断路器信息以串口通信的方式通过 RS-485 总线传给主站计算机。主站计算机是 1 台装有上位机软件的工控机,它通过相应的计算和处理得出断路器的各个具体参数,并显示出来,还可以在同一时间轴上自动绘制出振动、合(分)闸线圈电流、辅助开关的波形,工作人员可以根据显示的参数和波形方便快捷地分析、诊断出断路器的运行状态。

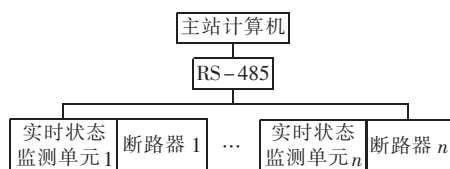


图 1 系统结构图

Fig.1 System structure

2 系统的基本单元

a. 信号检测单元:通过各类传感器检出断路器

待测的各个参数,并将其转化成采集单元能识别的电信号。

b. 数据采集单元:对传感器变送来的信号进行预处理,用数字滤波器滤除信号中无用的干扰信号提高信号质量,然后进行 A/D 转换。

c. 数据分析处理单元:对采集的数据进行处理和分析,例如抑制干扰,提取特征值,为诊断提供有效数据。

d. 信息诊断单元:将处理后的数据同历史数据、运行人员的运行经验等进行分析比较,对断路器运行状态及可能发生的故障作出判断,为采取进一步的措施提供依据。

3 合(分)闸线圈电流波形监测模块

3.1 监测目的

电磁铁线圈的电流波形中包含了很多信息,反映了电磁铁本身及所控制的锁闭或阀门以及连锁触头等在操作过程中的工作情况,如铁芯运动机构有无卡滞、脱扣,释能机械负载变动的情况,线圈的状态(如电阻是否正常),与铁芯顶杆连接的锁闭和阀门的状态。通过监测合(分)闸线圈的电流波形可获得断路器的状态信息,这种方法又称为跳合闸线圈电流轮廓法,即 TCP(Trip Coil Profiling)。

3.2 合(分)闸线圈电流的采集及波形分析

根据电磁铁线圈的电源不同分为交流电磁铁和直流电磁铁。操动机构中使用的绝大部分是直流电磁铁。因此,线圈中的电流也为直流电流。本系统采用补偿式霍尔电流传感器获得直流模拟量,因为它精度高、线性度动态特性和电气性能好,而且体积小,不会对高压断路器主系统的正常运行造成影响。通过霍尔电流传感器得到的电流很小(毫安级),需要将它转换成单片机可以识别的电压,系统通过电流/电压转换及放大滤波器实现,再计算平均值

获得电流的有效值。
典型电流波形如图 2 所示。

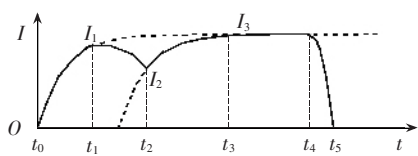


图 2 合(分)闸线圈电流波形
Fig.2 Waveform of coil current

- 这一波形根据铁芯的运动可明显分为 5 个阶段。
- a. 阶段 1: $t=t_0\sim t_1$ 。线圈在 t_0 时刻通电,到 t_1 时刻铁芯开始运动。 t_0 为断路器分合命令下达时刻,是断路器分合动作计时起点, t_1 为线圈中电流、磁通上升到足以驱动铁芯运动,即铁芯开始运动的时刻。这个阶段的特点是电流呈指数上升,铁芯静止。这个阶段的时间与控制电源电压及线圈电阻有关。
 - b. 阶段 2: $t=t_1\sim t_2$ 。铁芯运动,电流下降。 t_2 为控制电流的谷点,代表铁芯已经触动操作机械的负载因而显著减速或停止运动。
 - c. 阶段 3: $t=t_2\sim t_3$ 。铁芯停止运动,电流又呈指数上升。
 - d. 阶段 4: $t=t_3\sim t_4$ 。这一阶段是阶段 3 的延续,电流达到近似的稳态。
 - e. 阶段 5: $t=t_4\sim t_5$ 。电流开断阶段,辅助开关 K 分断,在辅助开关触头间产生电弧并被拉长,电弧电压快速升高,迫使电流迅速减小,直到熄灭。

3.3 获取电流波形特征参数

TCP 的关键在于提取合(分)闸线圈电流波形轮廓的特征。图 2 的特征参数有:时间量(以 t_0 为时间零点) t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 和电流量 I_1, I_2, I_3 。由前面的波形分析可以发现波形中的时间特征参数对应着铁芯的运动事件,所以通过提取电流波形中的时间特征参数可以获取断路器的状态特征,此方法可称为自动时标法(automatic timing extraction)。

观察典型波形发现时间特征参数对应电流波形的极值点,极值点处于导函数符号改变的临界点,因此信号在采样点处的导数值可以近似用相邻 2 个采样点的斜率代替,进一步简化为相邻两采样点的增量代替。由此求出电流的极值点,即时间特征参数。根据这些时间特征值再对照典型电流波形图就可以知道断路器的运行状态。

本系统通过程序获得合(分)闸线圈电流的极值点。对波形上的 n 个采样点进行比较,如果 i_k 同时满足 $i_k-i_{k-1}>0$ 和 $i_{k+1}-i_k<0$ 这 2 个条件,则 i_k 为电流的极值点。

图 3 为本系统录下的合闸线圈电流波形,与典型波形相对照根据相似性可以判断出断路器是处于健康的运行状态。

其时间特征参数及其所代表的物理意义如表 1 所示。 t_0 为分合闸命令到达的时刻, t_5 为开关辅助接点切断时刻,表征了合闸特征时间。



图 3 实测合(分)闸线圈电流波形
Fig.3 Measured waveform of coil current

表 1 时间特征参数表 Tab.1 Table of time parameters ms			
特征参数	特征参数值	特征参数	特征参数值
t_0	0	t_3	13
t_1	3	t_4	50
t_2	9	t_5	69

4 开断电流监测模块

4.1 监测目的

通过监测开断电流可以得到断路器触头电磨损进而间接地监测断路器触头的电寿命。因为断路器触头电磨损是影响断路器电寿命的重要因素,是状态监测的一个重要内容。本系统采用触头累积磨损量作为判断电寿命的依据。利用文献[3]中所述的不同开断电流下的等效磨损曲线,将每次电流开断所对应的相对电磨损及时累积;每台断路器的允许电磨损总量由其额定短路开断电流及允许开断满容量次数标定。

4.2 开断电流采集

本系统的电流信号取自于保护回路或测量回路 TA 的二次侧,经电流变换器变为电压信号。A/D 转换器将采集到的输入模拟信号转为数字量,本系统采样周期为每周期 20 个点。

4.3 开断电流计算

本模块的计算对象是高压断路器的开断电流,它的变化范围很大,可能是只有几十安的空载电流,也可能是几十千安的短路电流,都要求有足够的计算精度,并要考虑大电流时的 TA 饱和问题。因此,本文采用交流采样法并选择了两种电流算法进行计算:对负荷电流、小短路电流以及电压量的计算,采用 20 点全周傅氏算法;对大短路电流的计算,采用了最大斜率法。

被测电流每半个周期(10 ms)以 Δt (1 ms)为时间间隔采 10 个点,采样角为 α ,一旦检测信号为零,且延时 10 ms,则认为断路器有分闸动作,立即将最近 5 个半波的电流采样值存储起来,计算有效值后再取它们的平均值作为开断电流。下面是求有效值的具体算法。

设经整流变换后的电流信号为

$$i=\sqrt{2} I \sin(\omega t+\beta)$$

式中 ω 为角频率; I 为电流有效值。

将上式求导得:

$$i'=\sqrt{2} I \omega \cos(\omega t+\theta)$$

显然可见:当 $\omega t+\theta=0$ 时,电流的导数达到最大

值,此点为电流过零点。因此有 $i'_{\max} = \sqrt{2} I \omega$ 。求得电流为

$$I = i'_{\max} / (\sqrt{2} \omega)$$

又因为每相邻采样点的差 Δi 中必有 1 个最大值 $\Delta i_{\max}$, 则有 $\Delta i_{\max} / \Delta t \rightarrow i'_{\max}$, 最终得到:

$$I \approx \Delta i_{\max} / (\sqrt{2} \omega \Delta t)$$

若计算结果大于预先设定的大电流门槛值,则记它为断路器的实际开断电流;若小于,则用全周傅氏算法重新计算实际开断电流。门槛值由现场人员根据一次 TA 的饱和情况等因素综合设定。

根据开断电流模块采集到的开断电流,上位机可以计算出断路器剩余的电寿命和累计开断次数和累计开断电流,并将结果显示出来。

当剩下电寿命达到使用极限时(极限值的设定参见文献[6]),系统将发出报警信号。

5 振动波形监测模块

5.1 监测目的

振动波形和合(分)闸线圈电流波形一样含有丰富的断路器信息。在高压断路器的分、合闸操作过程中,内部主要机构部件的运动和撞击都会引起表面的振动响应。同一台高压断路器的重复操作过程中,振动信号大致是稳定的。利用高压断路器这方面的特性,以外部振动信号为特征信号,可以进行高压断路器机械状态监测。

5.2 振动信号采集

本系统采用压电式加速度传感器获得振动信息,加速度传感器将振动信号转换成电荷信号,通过电荷放大器转换成电压信号,再通过共振解调器获得故障信号。具体实现过程如图4所示。



图4 振动信号的采集

Fig.4 Acquisition of vibration signal

电荷放大器由电荷放大级和归一化电压放大级组成,电路原理如图5所示。

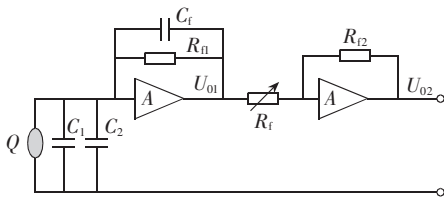


图5 电荷放大器原理图

Fig.5 Principle diagram of electric charge amplifier

电荷放大级的输出电压为

$$U_{o1} = -QA / [C_1 + C_2 + C_f(1 + A)] \approx -Q/C_f$$

归一化电压放大级的输出电压为

$$U_{o2} = -R_{t2}U_{o1}/R_f$$

共振解调技术是指选择冲击激起的一个受环境

振动干扰较小的高频固有振动为研究对象,通过窄带通滤波将其从信号中分离出来,然后通过包络检波,提取出载附在其上的与周期脉冲冲击力对应的包络信号,从其强度和频次就可以判断出故障情况。它是判断设备零件故障的一种有效手段。

6 结语

本文介绍了一种高压断路器实时运行状态监测系统的实现方法。本系统在电路设计上是完全独立的,不影响断路器主回路原结构,并能把断路器动作的相关信息及时地保存,方便运行人员的查看。本系统目前已经在延边电业局投入运行,实践表明该系统运行稳定可靠,为电网安全性提供了保障。

参考文献:

- [1] 范锡普. 发电厂电气部分[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [2] 徐国政. 高压断路器原理和应用[M]. 北京:清华大学出版社,2000.
- [3] 叶琦娅. 高压断路器机械性能的检测[J]. 江西电力, 2001,25(1):9-11.
YE Qi-ya. Measuring of the mechanical performance of the highvoltage circuit breaker[J]. **Jiangxi Electricity**, 2001,25(1):9-11.
- [4] 王章启,刘全志,贾俊国,等. 断路器电寿命预测中的实用电流采样算法及误差分析[J]. 高压电器,2000(2):22-24.
WANG Zhang-qi,LIU Quan-zhi,JIA Jun-guo,et al. The algorithm and error analysis that the practical electric current in the electrical endurance prediction of high voltage circuit breaker[J]. **High Voltage Apparatus**, 2000(2):22-24.
- [5] 孙福杰,王章启. 高压断路器触头电寿命诊断技术[J]. 电网技术,1999,23(3):59-61.
SUN Fu-jie,WANG Zhang-qi. Electrical endurance diagnosis of high voltage circuit breaker contacts[J]. **Power System Technology**, 1999,23(3):59-61.
- [6] 王章启. 关于高压断路器状态检修中累计报警参数的推荐值[J]. 高压电器,1996(3):24-28.
WANG Zhang - qi. Recommendation value adding up to the warning parameter while overhauling about the state of the high voltage breaker[J]. **High Voltage Apparatus**, 1996(3):24-28.
- [7] 何岭松. 包络检波的数字滤波算法[J]. 振动工程学报, 1997,10(3):362-367.
HE Ling-song. Envelop estimation by a pair of digital filters[J]. **Journal of Vibration Engineering**, 1997,10(3):362-367.

(责任编辑:戴绪云)

作者简介:

杜凌艳(1979-),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生,研究方向为电力系统及其自动化(E-mail: donna_2005@163.com);

王振浩(1964-),男,山东潍坊人,高级工程师,主要从事电力系统自动化的教学与科研工作;

王刚(1978-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,研究方向为电力系统及其自动化。

Design of real-time operating state monitoring system for HV breaker

DU Ling-yan, WANG Zhen-hao, WANG Gang, LI Guo-qing
(Northeast China Institute of Electric Power Engineering,
Jilin 132012, China)

Abstract: Based on the current status of on-line state monitoring technology for high voltage circuit breaker and combined with real conditions of Yanbian power bureau, a real-time operating state monitoring system is designed. Its structure and basic components are introduced. The waveforms of coil current are analyzed. Monitoring modules for opening current and vibration waveform are designed. The real-time monitoring unit is constructed with single-chip 80C196 as its core. The monitoring information is uploaded to master computer via RS-485 serial communication bus.

Key words: high voltage circuit breaker; state monitoring; single-chip 80C196