

基于线圈电流和触点状态的 断路器故障分析

胡晓光¹, 孙来军², 纪延超²

(1. 哈尔滨工程大学 自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 哈尔滨工业大学 电气工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 介绍了一种基于线圈电流信号与触点状态的高压断路器故障诊断专家系统。首先, 分析了高压断路器的操作过程, 并根据其操作特性提取隐含在线圈电流和触点状态中的有效信息; 其后, 在找出特征参数与断路器状态对应关系的基础上, 设计了基于规则的断路器故障诊断专家系统; 最后, 以锁勾润滑不足、分闸线圈故障 2 种故障为实例, 分析专家系统的推理过程。经试验验证, 该专家系统可以准确地诊断出断路器多种故障, 并在目前断路器维护现状的基础上给出合理的检修建议。

关键词: 断路器; 故障; 线圈电流; 专家系统

中图分类号: TM 561; TP 182

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)08-0005-03

0 引言

断路器的检修周期长, 这有可能使一些导致断路器运行恶化的早期征兆不能及时地检测出来。目前, 合理的检修方式是使用便携式检测设备连接断路器, 通过手动控制断路器动作, 检测设备记录各相关信号。检修人员现场分析数据, 如果发现异常则启动适当的维修程序。

本文在分析断路器分/合闸操作过程、断路器操作线圈电流特性的基础上, 设计了基于操作线圈电流信号和触点状态信号的断路器故障诊断专家系统。专家综合知识可以通过界面输入数据库, 提供一个标准的诊断方案, 减少因个人认识所引起的诊断冲突。经试验验证, 该专家系统可以准确地诊断出断路器多种故障, 并在目前断路器维护现状的基础上给出合理的检修建议。

1 断路器运行分析

断路器操作是通过其合闸控制电路和分闸控制电路完成的, 简化电路如图 1 所示^[1-2]。

断路器分闸控制电路主要包括 2 部分: 分闸线圈 TC (Trip Coil)、辅助触点 52a。图 1 中其余部分即为合闸控制电路。当断路器处于“合”状态时, 所有 52a 触点处于“合”位, 在主控室给控制电路发分闸动作信号, 即 S_T 闭合, 分

闸线圈 TC 上电, 产生分闸线圈电流, 分闸电磁铁开始蓄能。当能量达到一定程度时铁芯被推出线圈, 使维持蓄能的掣子动作, 从而使压缩弹簧释放能量以驱动其他机构分开主触头; 断路器主触头一旦打开, 辅助触点 52a 随之改变状态, 分闸回路断开, TC 线圈去电, 分闸操作完成, 断路器准备下一次合闸操作。因而在分闸状态, 辅助接点 52a 处于“分”位。

当主控室发出合闸信号时, 即 S_C 闭合, 由于此时 52Y_b 触点处于“合”位, 52X 线圈上电, 52X_a 触点闭合, 从而给合闸回路闭合, 合闸线圈 CC (Close Coil) 开始上电, 产生合闸线圈电流; 当合闸电磁铁能量达到一定程度时铁芯被推出线圈, 使压缩弹簧释放能量, 闭合主触头; 主触头一旦闭合, 机构就会同时闭合辅助触点 52a, 这样就使线圈 52Y 上电, 其所有的触点状态发生改变; 52Y 上电一直维持到合闸触发信号消失, 合闸过程结束。这里, 线圈 52Y 的作用就是防止合闸线圈二次上电, 使在一次合闸信号内合闸线圈上电一次, 这就是所谓的“反泵”^[3]。

在断路器的每次分/合过程中, 铁芯的任何运动细节都会引起操作线圈电流的变化; 同时, 铁芯、线圈及其他相关机构如锁勾、连杆等的运行状态也可由操作线圈电流信号反映, 这也是多年来利用操作线圈电流信号诊断断路器故障的原因。

2 电流信号及故障分析

一般情况下, 线圈电流波形可以反映的状态有铁芯行程, 铁芯卡滞, 线圈状态 (如是否有短路匝), 与铁芯顶杆连接的铁门和阀门的状态, 合、分线圈的辅助接点状况与转换时间。通过对分、合操作线圈动作电流的监测, 运行人员可以大致了解断路器二次控制回路的工作情况及铁芯的运动有无卡滞等, 为检修提供一个辅助判据。下面以一标准的分闸线

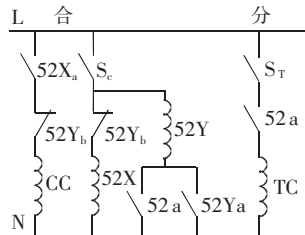


图 1 断路器控制电路简化图
Fig.1 Simplified control circuit of circuit breaker

圈电流信号为例,如图 2 所示,分析一般情况下从电流信号中所提取的信息。

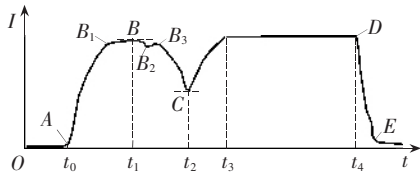


图 2 典型断路器分闸线圈电流信号

Fig.2 Typical current signal of trip coil

图中时间轴上的 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 就是代表了电磁铁动铁芯在触头脱扣或释能过程中的动作情况的几个关键时间点,也是一般处理线圈电流信号所需要提取的几个关键时间点^[4-5]。图中时间坐标零点代表分闸指令发出时刻;在 t_0 时刻线圈开始通电;到 t_1 时刻铁芯开始运动, t_1 就是开关分闸计时的起点,即铁芯开始移动的时刻, t_0 和 t_1 与控制电源及线圈电阻有密切的关系; t_2 是触头开始运动的时刻,从 t_2 时刻铁芯停止运动,开始由机构通过传动系统带动触头分闸, $t_2 \sim t_1$ 这段时间曲线的变化反应了电磁铁铁芯运动是否有卡制、脱扣、释能机械负载变动等的情况; t_3 时刻断路器辅助接点切断, $t_3 \sim t_4$ 阶段电流达到近似的稳态; t_4 时刻辅助开关开断,此时刻之后电流迅速减小。同时,B 点电流可以反映电源电压,C 点电流可以反映线圈电阻,D 点电流可以反映电磁铁动铁芯的速度信息,这 3 个点的电流也可作为分析动作的参考^[6]。

3 专家系统设计

3.1 推理机构与诊断原理

针对目前断路测试、检修的现状,设计了一个基于规则的断路器故障诊断专家系统,其中包括的规则主要来源于断路器检修人员经验与 IEEE 所建议的断路器故障诊断规则^[7]。专家系统的核心是推理机构,如图 3 所示。

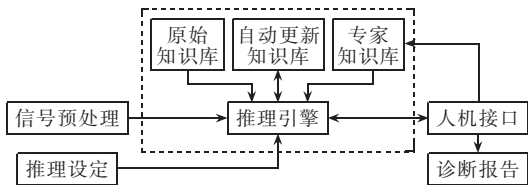


图 3 专家系统结构

Fig.3 Structure of expert system

推理机构主要包括数据库和推理引擎,数据库主要保存断路器故障诊断的各种规则信息和历史数据。推理机构根据诊断规则,找出输入信息与故障信息间的对应关系。其中,数据库由以下 3 个部分组成:

- a. 原始知识库主要用于存储断路器诊断基本信息,如断路器安装使用说明中所规定的限值信息等,这一部分在安装后不可更改;
- b. 专家知识库可以存储断路器故障诊断专家根

据经验所总结的诊断规则,它可以通过人机接口人工添加;

c. 自动更新知识库由系统根据一系列更新规则自动添加或删除的,主要存储系统根据不同断路器历次的输入信息所做出的趋势分析等,可用作下次诊断的参考,它对于一些缓变故障的预测比较有效。

设计中的推理引擎是由一系列规则处理程序组成的,如图 4 所示。

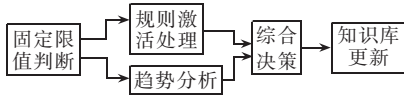


图 4 推理引擎

Fig.4 Reasoning engine

信号经过预处理所提取的参数被输入到推理引擎,在这里主要是从线圈电流信号和触点状态信号中提取的时间参数、电流参数。推理的第 1 步是用一系列基本规则检测所提取的参数是否在其所容许的范围内。如果一个参数超出了推理的设定范围,该参数所对应的所有推理规则将被激活,这些规则主要保存在原始知识库和专家知识库。激活规则的处理可以提供断路器故障的初步诊断结果,而与其并列的趋势分析则是根据各个参量的历史数据分析它的变化趋势,并对其可能出现的故障做出预测,使缓变故障在其发展阶段就能被检测出,避免故障的发生。综合决策则是根据规则处理和趋势分析的结果综合分析,找出深层的、可能诱发的故障,同时对故障的原因作出分析,形成最终的诊断报告,以供断路器维护人员参考。

3.2 一般推理规则

数据库中的每条诊断规则解释一个用于决策过程的知识框架。规则都使用 IF-THEN 表达,其中 IF 部分叫前提,THEN 叫推理。前提部分指定一系列的标准,只有满足了标准,该条规则才能被激活。规则激活后,推理中的处理程序才能被执行。一条推理可能给出断路器状态的最终诊断结果,也可能只是得出一个中间结果,以被其他规则或更复杂的推理使用。处于推理过程中的规则一般只输出中间结果,但对于某故障敏感规则的输出也可以反映到最终的决策报告与检修建议中。

根据 IEEE 建议报告^[7-8]及断路器维护人员经验,设计断路器故障/检测信号对应关系,部分对应关系如图 5 所示。图中中间一层为检测信号,上、下 2 层为各种故障,连线关系表明该信号可以从某一方面反映故障,不同故障可能对应不同的特征参数。

推理过程使用 C++ builder 实现,并设计较好的人机界面,推理规则做成模块,供推理过程调用。专家系统有参数输入和信号输入 2 种方式,前者输入已经提取出来的参数;后者直接以文本文件方式输入信号。下面以分闸锁勾润滑不足和分闸线圈故障 2 种典型的故障解释专家系统的推理过程。

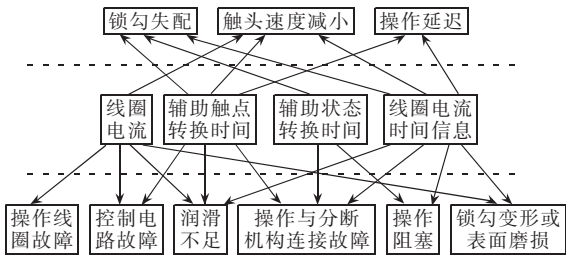


图 5 断路器故障/检测信号对应关系图

Fig.5 The relationships between eigen-parameters and breaker conditions

4 实际应用分析

4.1 分闸锁勾润滑不足故障

断路器分闸锁勾润滑不足是断路器运行中经常出现的一种故障,它是一种缓变故障,但如果不能在其发展过程中及时检测出来并作出相应的处理,其结果会导致断路器出现拒分的恶性故障。这种故障可以通过对分闸线圈电流信号与触点转换时间的分析检测出来。首先,信号预处理部分从本次操作的线圈电流信号中提取 5 点时间参数、3 点电流参数,并由触点状态转换信号计算分闸操作时间。图 6 为连续 3 次分闸操作的电流信号和触点状态转换信号。

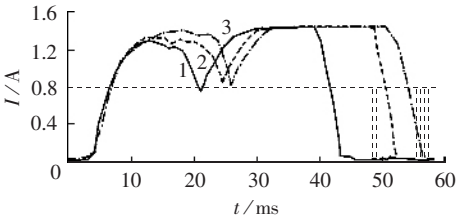


图 6 连续 3 次分闸信号(依次为 1、2、3)

Fig.6 Trip coil current signals of three sequential operations(sequence:1,2,3)

从图中可以发现,断路器操作时间逐渐增长,尤其是 t_4 时刻后移。利用信号方式依次将 3 次操作信号输入专家系统。对第 1 次操作信号,系统输出表示正常;对第 2 次操作信号,经过规则判断发现, t_4 时刻后移超过设定阈值。与 t_4 相关规则被激活,经规则判断与趋势分析,结果是不会导致故障,只给出一般的变化情况。在输入第 3 次操作信号时,与 t_4 相关的规则再次被激活,继续处理后发现线圈耗能增加超过设定阈值 2.1 %,纹波系数低于上次操作;同时发现分闸操作时间比上次操作增加 2.5 ms。趋势分析单元得出结论:最近连续 2 次线圈耗能增加,分别为 1.5 %、1.4 %, t_4 时刻后移分别为 9.6 ms、3.3 ms。综合决策部分据此判断机构润滑不充分,并给出可能故障点以及报警信息:“锁勾—变形”、“锁勾—润滑”、“连杆机构—润滑”、“2 次操作后拒分”。

4.2 操作线圈故障

操作线圈故障也是断路器运行过程中经常出现的另外一种故障。这种故障的发生一般比较突然,看不出前期预兆,图 7 就是一典型的分闸线圈故障时的操作电流与触点状态信号的对比图。从图中可

以看出,在发生线圈故障时,线圈电流低于正常值,同时断路器操作时间也较正常状况加长。

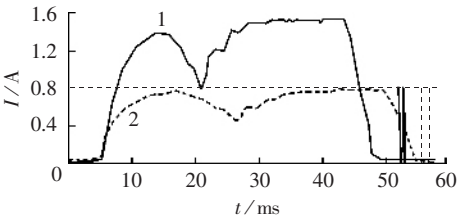


图 7 断路器分闸操作信号(1 为正常)

Fig.7 Trip coil current signals(1 is normal)

如上所述,以信号方式输入专家系统诊断,此时与 I_1 、 I_2 、 I_3 、 t_2 、 t_4 相关的规则被激活,同时发现电流 AB 段斜率低于正常,电流扰动有所增加;趋势分析认为这是偶然状况,不能预测。综合分析后,系统得出结果:“线圈阻抗—增加”、“分闸线圈—内部故障”、“2 次操作后拒分”。

5 结语

本文在详细介绍断路器分/合闸操作过程的基础上,分析了断路器操作线圈电流的特性及其在断路器故障诊断中的应用,并专门就操作线圈电流信号和触点状态信号设计一实用的故障诊断专家系统。经试验验证,该专家系统可以准确诊断出断路器多种故障,并在目前断路器维护现状的基础上给出合理的检修建议。所设计的故障诊断专家系统由于推理过程复杂、用时较长,难以用于小型 CPU 如单片机、DSP 等所设计的本体在线诊断系统^[5,9],这可以通过单位所有断路器监测组网、主控室集中深层诊断来解决。

参考文献:

[1] HENDERSON R,SEEDS D. Condition assessment of circuit breakers using a trip coil profiling approach[C]//Monitors and Condition Assessment Equipment,IEE Colloquium on 5 Dec 1996. London,UK:IEE,1996:811-813.

[2] GLINKOWSKI M T,SCHMIDT L,VEERKA E F. Bibliography of switchgear literature[J]. IEEE Trans on Power Delivery,1998,13 (1):135-143.

[3] GOTO K,SAKAKIBARA T,KAMATA I,et al. On - line monitoring and diagnostic of gas circuit breakers [J]. IEEE Trans on Power Delivery,1989,4(1):375-381.

[4] 霍凤鸣,苏红梅,潘瑾,等. 高压断路器操作机构的电气动态特性[J]. 高压电器,2001,37(4):55-57.

HUO Feng - ming,SU Hong - mei,PAN Jin,et al. Electric dynamic characteristics of operating mechanical for HV circuit breakers[J]. High Voltage Apparatus,2001,37(4):55-57.

[5] 王昌钧. SF₆ 高压断路器机械参量在线监测系统[J]. 电网技术,1999,23(7):34-37.

WANG Chang - jun. Mechanical parameter on - line monitoring system for SF₆ high voltage circuit breakers[J]. Power System Technology,1999,23(7):34-37.

[6] 沈力,黄瑜珑,钱家骊. 高压断路器机械状态监测的研究[J]. 中国电机工程学报,1997,17(2):113-117.

SHEN Li,HUANG Yu-long,QIAN Jia-li. Research on mechanical

+++++
(上接第 7 页 continued from page 7)

condition monitoring for HV circuit breakers[J]. Proceedings of the CSEE,1997,17(2):113-117.

[7] IEEE Power Engineering Society. IEEE Std C37.10.1. IEEE guide for the selection of monitoring for circuit breakers[S]. New York:Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001.

[8] BERGMAN W J B. Selecting circuit breaker monitoring[C]// Transmission and Distribution Conference and Exposition,2001 IEEE/PES. Atlanta,USA:IEEE,2001:1071-1076.

[9] 姚月娥,张挺,王章启,等. 断路器在线机械状态的信息处理[J]. 高压电器,2004,40(2):107-111.

YAO Yue-e,ZHANG Ting,WANG Zhang - qi,et al. Data processing of online mechanical condition for circuit breakers[J]. High Voltage Apparatus,2004,40(2):107-111.

(责任编辑: 柏英武)

作者简介:

胡晓光(1961-),女,黑龙江哈尔滨人,教授,博士研究生导师,研究方向为电能计量装置、电气设备在线监测与故障诊断;

孙来军(1977-),男,山东嘉祥人,博士研究生,研究方向为高压断路器状态监测与故障诊断(E-mail:slaijun@126.com)。

Circuit breaker fault analysis based on coil currents and contact states

HU Xiao - guang¹,SUN Lai - jun²,JI Yan - chao²
(1. Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; ,
2. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: A fault diagnosis expert system for high voltage circuit breaker is designed based on coil currents and contact states. The operating process of breakers is analyzed, and the available information is extracted from coil currents and contact states according to operating features. The fault diagnosis expert system for breakers is then designed based on relationships between eigen - parameters and breaker conditions. The reasoning process of the expert system is introduced with two fault examples: poor lubrication and trip coil fault. It is validated that the expert system can detect different kinds of breaker faults accurately and provide reasonable maintenance suggestions.

Key words: circuit breaker; fault; coil current; expert system