

智能变电站二次设备状态监测技术研究

徐长宝¹, 庄晨², 蒋宏图²

(1. 贵州电力试验研究院, 贵州 贵阳 550002; 2. 上海思源弘瑞自动化有限公司, 上海 201108)

摘要: 设备状态监测及评估是状态检修的基础, 针对智能变电站技术特点, 对二次设备状态监测及评估技术进行了研究。用 IEC 61850 采集交换机的状态信息, 选取交换机端口流量、端口接收光强、发送光强、工作温度及端口误码率作为交换机的评价指标, 用模糊综合评价方法, 对交换机的状态进行综合评价。为防止保护出口跳闸回路触点粘连、失效、忘投压板等问题, 设计后台监控系统与智能组件配合, 实现了跳闸触点的定检。对间隔层、过程层之间的 SV、GOOSE 收发异常, 提出了一种不依赖网络报文分析仪的诊断方法, 诊断出是间隔层装置、还是智能组件故障。

关键词: 智能变电站; 状态监测; 二次设备; 模糊综合评价; 跳闸回路定检; 通信故障诊断

Technical research of secondary equipments' state monitoring in smart substation

XU Changbao¹, ZHANG Chen², JIANG Hongtu²

(1. Guizhou Electric Power Test and Research Institute, Guiyang 550002, China; 2. Shanghai Siyuan Hongrui Automation Co., Ltd., Shanghai 201108, China)

Abstract: The equipment's state monitoring and evaluation is the foundation of state maintenance. According to the technical features of smart substation, this paper researches on secondary equipments' state monitoring and evaluation in smart substation. Switch state information is acquired with IEC61850, the switch port traffic, port to receiving light intensity, port to sending light intensity, working temperature and port error rate are selected as evaluation indicator of switch, and the switch state is evaluated comprehensively with the fuzzy comprehensive evaluation method. For the problem of preventing the protection of export trip circuit contact adhesion, failure, and forgetting the cast plate, the background monitoring system is designed in conjunction with the intelligent component to realize the inspection trip contact. For SV, GOOSE transceiver anomaly between the bay layer and process layer, it presents a dependency network packet analyzer diagnostic method to diagnose out a bay layer device or intelligent component failure.

Key words: smart substation; state monitoring; secondary devices; fuzzy comprehensive evaluation; trip circuit inspection; communication fault diagnosis

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)07-0127-05

0 引言

一次设备的状态监测和状态检修已取得了很多的应用成果, 文献[1]描述了一种智能变电站断路器状态监测方法。变电站二次设备状态监测也有很多的研究及应用成果^[2-4], 其中文献[2]研究了继电保护装置的状态监测, 在状态评价的基础上, 进行风险评估, 进而制定整体检修策略和相应的检修周期; 文献[3]提出了一种兼顾PMS系统应用要求的一、二次设备状态监测信息融合的方案; 文献[4]提出了智能变电站二次设备监测对象为: SV通道的状态、GOOSE通道状态、直流逆变电源的状态以及装置本身自检状态。

智能变电站自动化系统划分为过程层、间隔层、站控层三层体系架构, 具有通信网络化, 数据采集全景化的技术特征^[5]。智能变电站采集了完整的一、二次设备信息, 并有标准的 IEC 61850 信息表述模型。随着智能变电站技术的发展, 新一代智能变电站信息共享程度进一步提升, 功能进一步扩展, 进一步强调了对于二次设备的状态监测^[6]。针对智能变电站的二次设备状态监测, 本文对交换机状态评价、智能组件跳合闸回路定检、过程层通信故障诊断进行了研究。

1 交换机状态评估

通信网络化是智能变电站的技术特征之一。传

统的变电站仅仅是在站控层采用以太网通信, 间隔层通过信号电缆与PT、CT连接^[7], 接入信号。而智能变电站中, 间隔层通过网络方式与合并单元、智能终端通信, 采集实时数据。通信网络是智能变电站自动化系统的基础设施, 通信网络的状态是数字化变电站自动化系统能否正常运行的关键因素之一, 交换机是关键设备, 对交换机状态评估, 具有重要的意义。

对交换机状态进行评估, 涉及到多种因素的相互作用, 并且分析中存在大量的模糊现象和模糊概念^[8]。本文采用模糊综合评价方法^[9]进行量化处理。当分析结果异常时, 通过告警及时提示, 在通信网络影响变电站自动化系统功能前, 消除隐患。

1.1 评价指标

通过分析, 选取某型号交换机的评价指标构成评价因素集 U 如表1所示。利用IEC 61850采集交换机的状态数据^[10]。

表1 评价指标及其特征参数

Table 1 Evaluation indicators and their characteristic parameters

| 评价指标 | 参数范围 |
|-----------------|--|
| 流量(u_1) | <50%(以正常运行后, 10 min 的平均流量为基数, 流量超过基数的比例) |
| 端口接收光强(u_2) | 100FX接收光功率: -14~31 dB |
| 端口发送光强(u_3) | 100FX发送光功率: -14~20 dB |
| 工作温度(u_4) | -40℃~60℃ (不是指交换机的适温范围, 是表征正常时的工作温度) |
| 端口误码率(u_5) | ≤ 10 ⁻¹⁰ |

1.2 模糊评价集的建立

将交换机的状态分为良好状态、较好状态、一般状态和待检修状态, 分别对应可很好地实现其特定性能、可实现但性能有所降低、可实现但性能大幅度降低和几乎不能实现其特定性能。因此组成的评价集为

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \text{良好状态} \\ \text{较好状态} \\ \text{一般状态} \\ \text{待检修状态} \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

1.3 评价因素权重的确定

模糊综合评价方法中, 各因素权重对评价结果有很大的影响。如何确定权重是模糊评判中的重点和难点之一。本文采用层次分析法^[11-12], 构建的判

断矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1/7 & 1/5 & 1/3 \\ 7 & 1 & 1 & 3 & 5 \\ 7 & 1 & 1 & 3 & 5 \\ 5 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/2 \\ 3 & 1/5 & 1/5 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

得到(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)的权重值为 $W = (0.0397, 0.3773, 0.3773, 0.0939, 0.1118)$ 。

1.4 模糊关系矩阵的隶属度

模糊关系矩阵的关键是建立符合实际的隶属度函数。隶属函数的指派要反映这些元素对集合的隶属程度。如何确定一个模糊集的隶属函数至今还是尚未解决的问题^[13]。目前作为隶属函数的分布函数类型比较多, 常用的分布函数有: 抛物型、正态型、柯西型、岭型等。每种分布函数又可分为偏小、偏大、中间型。

岭型分布函数具有主值区间宽、过渡平缓的特点^[13], 能较好地反映交换机状态的模糊关系, 因此本文用岭型函数来计算隶属度。岭型分布函数表示如下:

1) 偏小型

$$u(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a_1 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\pi}{a_2 - a_1}\right)\left(x - \frac{a_1 + a_2}{2}\right), & a_1 < x < a_2 \\ 0 & x \geq a_2 \end{cases} \quad (3)$$

2) 中间型

$$u(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\pi}{a_2 - a_1}\right)\left(x - \frac{a_1 + a_2}{2}\right), & a_1 < x < a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\pi}{a_4 - a_3}\right)\left(x - \frac{a_3 + a_4}{2}\right), & a_3 < x < a_4 \\ 0 & x \geq a_4 \end{cases} \quad (4)$$

3) 偏大型

$$u(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_3 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\pi}{a_4 - a_3}\right)\left(x - \frac{a_4 + a_3}{2}\right), & a_3 < x < a_4 \\ 1 & x \geq a_4 \end{cases} \quad (5)$$

在建立隶属函数具体表达式的过程中, 遵从最模糊原则和最清晰原则, 即表1中区间的端点处于最模糊状态, 隶属度属于相邻两级指标状态的值均为

0.5, 在区间中点其类别是最清晰的, 隶属度属于该级的值为1。

根据交换机各评价指标的参数范围, 把各指标数值代入式(3)~式(5)中相应公式, 即可得出它们相对于评价集的隶属函数。

需要说明的是, 交换机有多个不等数量的端口, 交换机状态与每个端口有关的指标有: 流量、端口接收光强、端口发送光强、端口误码率。每个端口都单独采集, 取劣化程度最大的作为交换机状态评价的输入值。

1.5 模糊综合评价

根据各个指标的值, 代入该指标对应的隶属函数, 即可得到模糊关系矩阵 \tilde{R} 。

模糊综合评价式:

$$B = W \circ \tilde{R} \quad (6)$$

合成算子“ \circ ”采用:

$$b_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot r_{ij} \quad j=1,2,\dots,m \quad (7)$$

式中, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

保护、测控装置等二次设备的状态评价都可以采用同样的方法来评价其状态, 但评价因素集要根据具体设备选定。

2 智能组件跳闸回路定检

为防止保护出口跳闸回路触点粘连、失效、忘投压板等问题, 设计后台监控系统与智能组件配合, 实现跳闸触点定检的智能告警。充分利用智能终端操作回路硬件软件化的特点, 对传统操作箱功能改进, 实现跳闸回路(包含触点及压板)的在线监测和离线定检功能。

开关处于合位时, 智能终端可实现跳闸回路在线监测, 及时发现、定位跳闸回路存在的异常。

开关处于分位时, 智能终端可接收系统命令进行分闸回路离线定检、实现合闸预置功能, 避免忘投压板等人为疏忽。

定检实现原理: 如图1所示。保护出口驱动电路上串接TZ1、TZ2触点, 两触点中间至正、负电间各串接一个用于检测的光耦(监测1、监测2)。智能终端接收保护装置定检命令后, 首先闭合保护触点TZ1, 正电经保护触点TZ1、监测2光耦回路导通, 监测2光耦反馈检测结果, 完成保护触点TZ1的检测; 然后闭合保护触点TZ2, 正电经监测1光耦、触点TZ2、TBJ继电器、压板回路导通, 监测1光耦反馈检测结果, 完成保护触点TZ2、压板、TBJ继电

器的检测。

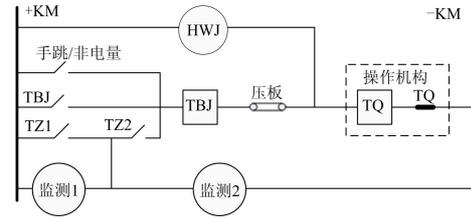


图1 智能终端跳闸触点及压板定检原理示意图

Fig. 1 Intelligent terminal trip and press plate fixed schematic check principle

同样, 可以在分闸回路上实现相同的定检功能。

3 过程层通信故障诊断

智能变电站中, 间隔层与过程层用网络通信代替了信号电缆, 之间用SV、GOOSE传送信息^[14]。当SV、GOOSE收发异常时, 需要及时诊断是间隔层装置、还是智能组件故障。本文提出一种不依赖网络报文分析仪^[15]的诊断方法。

分析SV、GOOSE的传输机制和特性, 可采用接收端是否接收到相应的发送端信号来确定发送端的通信状态, 而不是直接监测发送端的状态。间隔层装置发送GOOSE到智能组件, 智能组件把接收到该GOOSE的状态用另外一个GOOSE送给间隔层装置, 间隔层装置再把该状态值送到监控后台, 完成一个间隔层装置GOOSE发送、智能组件GOOSE接收的状态上送, 如图2所示。间隔层装置接收GOOSE的状态可以直接用来判断智能组件发送、间隔层装置接收的状态。

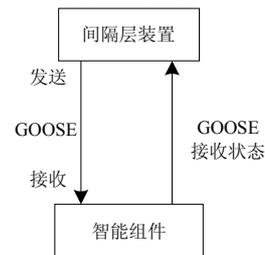


图2 GOOSE接收状态上送示意图

Fig. 2 GOOSE receives the state to send

一个智能组件可以把SV、GOOSE发送至多个间隔层装置, 同样也可以接收多个间隔层装置下发的控制GOOSE, 数据接收、发送是多对多的关系。如图3所示。

故障诊断原理: 根据所辖的发送端口和接收端口判断。当有任意一路发送端口或任意一路接收端口通信正常, 则认为网口正常。如果所有的发送端口和接收端口都异常, 才判定为网口故障。为此监

控后台设计的过程层网络监测模型如图 4 所示。

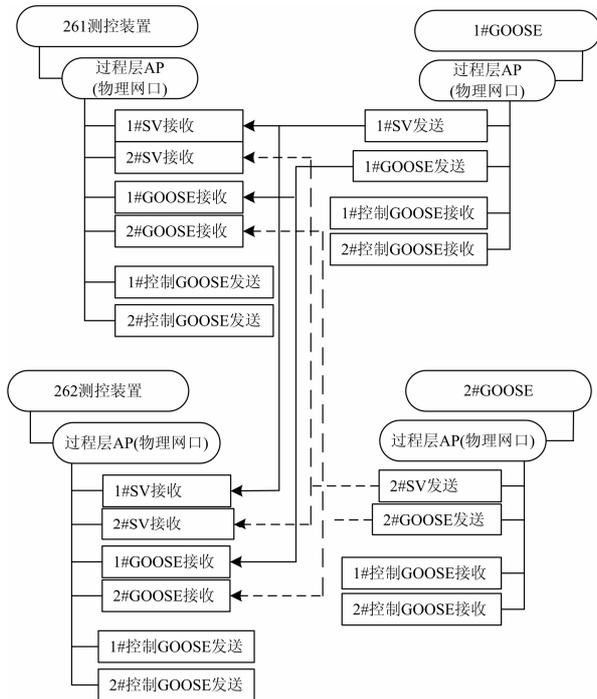


图 3 SV、GOOSE 发送和接收的实例
Fig. 3 SV and GOOSE instance of sending and receiving

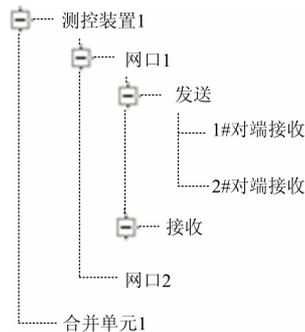


图 4 过程层网络监测模型
Fig. 4 Process layer network monitoring model

4 运行实例

基于上述原理的综合智能告警在贵州都匀泉东 110 kV 数字化变电站投运。某一时刻采集到某交换机的一个状态数据(选用劣化程度最大的端口值)， $(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$ 的值为 $(35, -20.8, -16.7, 28.5, 0.65)$ ，得到模糊关系矩阵为

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.514 & 0.486 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5137 & 0.4863 & 0 \\ 0 & 0.5103 & 0.4897 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$B = (0, 0.619, 0.362, 0.019)$ 。得出当前该交换机状态为较好，可继续工作，无需检修。

5 结语

设备状态监测是状态检修的基础，是二次设备检修的发展方向。针对智能变电站自动化系统的技术特点，交换机是智能变电站自动化系统的核心关键设备。研究了交换机状态监测信息采集，在此基础上提出了用模糊综合评价方法对交换机进行状态评价；为防止保护出口跳闸回路触点粘连、失效、忘投压板等问题，设计了智能组件跳合闸定检回路进行监测；根据 SV、GOOSE 的传输机制和特性，当 SV、GOOSE 收发异常时，提出了一种不依赖于网络报文分析仪，及时诊断是间隔层装置、还是智能组件故障的方法。

本文提出的模型、方法在实际变电站运行中得到了验证。

参考文献

- [1] 李刚, 王晓峰, 周水斌, 等. 一种智能变电站断路器状态监测方案[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(14): 140-143.
- [2] 林鸿波. 继电保护校验的风险分析与风险控制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [3] 葛维春, 王芝茗, 顾洪群, 等. 一、二次设备状态监测信息融合及在 PMS 建设中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(21): 150-154.
- [4] 张晓明, 刘跃新, 刘永欣, 等. 智能变电站二次设备的状态监测技术研究[J]. 电气技术, 2011(4): 41-44.
- [5] 李瑞生, 李燕斌, 周逢权. 智能变电站功能架构及设计原则[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 24-27.

- LI Ruisheng, LI Yanbin, ZHOU Fengquan. The functional frame and design principles of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 24-27.
- [6] 宋璇坤, 沈江, 李敬如, 等. 新一代智能变电站概念设计[J]. 电力建设, 2013, 34(6): 11-15.
SONG Xuankun, SHEN Jiang, LI Jingru, et al. Design of new generation smart substation[J]. Electric Power Construction, 2013, 34(6): 11-15.
- [7] 童悦, 李红彬, 张明明, 等. 一种全数字化高压电流互感器在线校验系统[J]. 电工技术学报, 2010, 25(8): 59-64.
TONG Yue, LI Hongbin, ZHANG Mingming, et al. An all-digital on-line calibration system for high voltage current transformer[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(8): 59-64.
- [8] 张坤, 吴建东, 毛承雄, 等. 基于模糊算法的风电储能系统的优化控制[J]. 电工技术学报, 2012, 27(10): 235-241.
ZHANG Kun, WU Jiandong, MAO Chengxiong, et al. Optimal control of energy storage system for wind power generation based on fuzzy algorithm[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(10): 235-241.
- [9] 张懿议, 廖瑞金, 杨丽君, 等. 基于云理论的电力变压器绝缘状态评估方法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(5): 13-20.
ZHANG Yiyi, LIAO Ruijin, YANG Lijun, et al. An assessment method for insulation condition of power transformer based upon cloud model[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(5): 13-20.
- [10] 刘明慧, 胡绍谦, 王文龙, 等. 智能变电站交换机 IEC61850 信息建模[J]. 电气技术, 2012(1): 30-35.
LIU Minghui, HU Shaoqian, WANG Wenlong, et al. The IEC61850 modeling of the switch used in smart substation[J]. Electrical Technology, 2012(1): 30-35.
- [11] 庄锁法. 基于层次分析法的综合评价模型[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2000, 23(4): 582-585.
ZHUANG Suofa. Study of synthetic evaluation model based on analytical hierarchy process[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2000, 23(4): 582-585.
- [12] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.
DENG Xue, LI Jiaming, ZENG Haojian, et al. Research on computation methods of AHP weight vector and its applications[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2012, 42(7): 93-100.
- [13] 邹志鹏. 基于围岩模糊分类的地下工程稳定性可靠度分析[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
ZOU Zhipeng. Reliability degree analysis of stability in underground engineering based on fuzzy classification of wall rock[D]. Changsha: Hunan University, 2007.
- [14] 李宝伟, 文明浩, 李宝潭, 等. 新一代智能变电站 SV 直采和 GOOSE 共口传输方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(1): 96-101.
LI Baowei, WEN Minghao, LI Baotan, et al. Research of the scheme for SV direct sampling and GOOSE transmit in the same port in new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(1): 96-101.
- [15] 刘玮, 王海柱, 张延旭. 智能变电站过程层网络报文特性分析与通信配置研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(6): 110-115.
LIU Wei, WANG Haizhu, ZHANG Yanxu. Study on message characteristics and communication configuration of process layer network of intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(6): 110-115.

收稿日期: 2014-07-03; 修回日期: 2014-09-13

作者简介:

徐长宝(1977-), 男, 工学硕士, 高级工程师, 主要研究方向为智能电网安全及相关测试技术;

庄晨(1981-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为智能电网监控技术;

蒋宏图(1972-), 男, 工学博士, 高级工程师, 主要从事电力系统及其自动化研究与开发工作。E-mail: jhongtuly@163.com

(编辑 魏小丽)