

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2015.06.013

继电保护压板的智能校核方法

高元生¹, 陈 强¹, 熊小伏², 周岐杰¹, 郑昌圣²

(1. 国网四川省电力公司达州供电公司, 四川 达州 635000;
2. 重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044)

摘 要:继电保护压板位置一般与一次设备运行方式相关,在一次设备运行方式改变时,有时需要改变压板的位置进行匹配。实际运行操作中因压板位置投退错误,已导致多起事故发生。为了避免保护压板出现漏投、误投现象,从搜索一次元件状态、运行方式的角度出发,在采集压板位置信息基础上,提出了一种压板位置与一次元件运行方式匹配状态的智能校核方法。根据一次元件的运行状态及相应的压板整定规则,生成一次元件-压板位置关联规则库,利用变电站开关状态信息在变电站倒闸操作后自动识别一次元件状态,与一次元件-压板规则库进行比较,当出现不一致时给出报警提示信号,实现了压板位置的智能校核。通过对实际工程中变压器运行转检修操作任务的分析,验证了所提方法的有效性。

关键词:保护压板;智能校核;运行状态;规则库

中图分类号:TM732

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2015)06-091-08

An intelligent verification method for relay protection pressed board

GAO Yuansheng¹, CHEN Qiang¹, XIONG Xiaofu², ZHOU Qijie¹, ZHENG Changsheng²

(1.State Grid Sichuan Dazhou Electrical Power Company, Dazhou 635000, Sichuan, P.R.China;
2.State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology,
Chongqing University, Chongqing 400044, P.R.China)

Abstract: The position of relay pressed boards is generally associated with primary device operating mode. When the primary device operating mode changes, sometimes it's necessary to accordingly change the position of pressed board. Indeed, the misoperation of pressed board has led to many accidents. To avoid this failing, from the perspective of primary device state and operation mode, an intelligent verification method for relay protection pressed board is proposed on the basis of collecting the position information of pressed boards. Through the relationship between relay protection and automatic devices pressed board setting rules and state of primary devices, a primary device-pressed board position rulebase is generated. When substation switching operation occurs, the device will automatically recognize primary device state and compare the state with the information in the rulebase, and it will give alarm signal when the comparison does not match. A real test of transformer operational processes is carried out, and the result shows that the intelligent verification method is effective.

Key words: protection pressed board; intelligent verification; operating status; rulebase

收稿日期:2015-07-12

基金项目:重庆市科技攻关(应用重点)项目(CSTC2012gg-yyjsB90003)。

Supported by the Key Project of Chongqing Science & Technology Commission (CSTC2012gg-yyjsB90003).

作者简介:高元生(1970-),男,高级工程师,主要从事电力系统保护与控制研究,(E-mail)3837861@qq.com。

继电保护硬压板,因其具有明显的断点,能够确切地区分二次回路通、断状态,从而成为继电保护二次回路当中十分常用的结构设计^[1-2]。虽然结构简单,但是保护压板的操作直接关系到保护的動作结果。由于变电站中保护压板数量众多、且功能各异,仅依靠操作人员的核查难免存在疏漏,漏投与误投仍时有发生。例如,2008年广西某 220 kV 变电站就因误投压板,导致 2 座 110 kV 变电站全站失压,造成 1 400 kW·h 的电量损失^[3]。可见,保护压板的正确投、退,对系统的安全运行有着重要的意义。

随着智能电网技术的不断发展,变电站信息采集、处理和传输过程逐渐向数字化转变。其他继电保护设备都已实现不同程度上的智能化^[4],而保护压板信息的智能化管理研究尚处于起步阶段,大部分变电站仍然沿用传统的人工读取压板位置、核对压板操作的方法。

因此,研究保护压板智能校核方法势在必行。目前,压板的智能化只着重于压板信息采集方法的研究:利用接触式^[5]或非接触式^[6-8]的信息采集手段获取压板投、退状态的实时信息。例如,部分技术采用巡视系统进行开关状态检测、移动检测等功能,以此衍生出基于图像识别法的压板位置检测技术,但该技术适用场合有限,且图像采集^[9]对光线强度有一定要求。另外,工程实际当中也有利用光学检测原理^[10-11]进行压板位置检测的方法,此类方法虽然灵敏,但对光线反射路径的精确度要求较高。以上方法仅从技术手段出发,试图解决压板位置的识别问题,对于当前压板位置是否合理缺乏进一步的探讨。总之,结合保护压板投退规则^[12]进行智能校核的研究还相对较少。

笔者采用的校核思路如下:在进行元件倒闸操作时,也会进行压板位置的匹配操作。对于不同的元件状态、运行方式,继电保护以及相关自动装置的压板整定值也遵循不同的规则。通过分析变电站主接线图,能够事先建立元件状态、运行方式与压板位置的关联规则库。实际操作时,通过开关量变位信息建立变电站内元件状态搜索模型,并采集压板位置信息,从而识别一次元件状态和运行方式。然后与规则库中对应的压板位置信息进行对比,校核压板位置是否正确。当出现不一致时,发出报警信号。

1 智能校核的基本思想

调度下令进行元件倒闸操作时,有两部分信息产生:开关量变位信息和压板投、退信息。笔者所提智能校核方法意在利用开关量变位信息获取倒闸操作后的元件运行状态,从而在事先建立的一次元件-压板位置关联规则库中查找出相应的压板位置,利用压板位置识别装置获取实际操作后的实时位置,实现对压板位置的校核,其原理如图 1 所示。

图 2 为压板智能校核方法的信息流图,智能化的压板位置识别系统应由终端装置、信号采集线路和压板信息监控后台三部分构成。监控后台通过关联变电站主接线图与保护、自动装置整定规则生成一次元件-压板位置规则库,通过搜索开关量变位信息确定当前压板规则,将通过保护压板位置识别系统获得的压板变位信息与规则库进行对比,从而完成压板位置的智能校核。

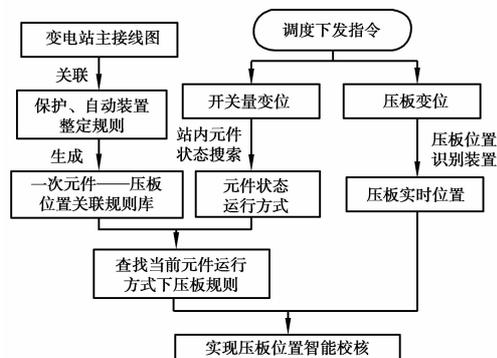


图 1 压板智能校核原理图

Fig.1 Schematic diagram of platen intelligent verification method

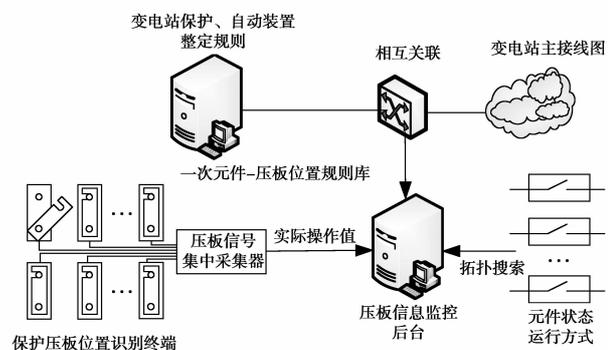


图 2 压板智能校核方法信息流图

Fig.2 Information flow of platen intelligent verification method

2 一次元件-压板位置规则库生成方法

2.1 变电站内拓扑结构

变电站典型拓扑结构如图 3 所示,当线路、母线、变压器元件的运行状态发生改变时,对应着不同的保护需求,对压板的投、退状态要求也有所不同。

针对线路保护的压板操作,仅需关注线路元件处于运行状态还是退出(包括备用、检修)状态。由于 220 kV 母线大多采用双母线、双母线带旁路等接线方式,存在双母线分列运行、并列运行、单母线运行等方式,其压板操作不仅需要关注单个母线元件的状态,还需考虑母联开关的状态。针对变压器,其高、中压侧中性点保护投切方式与变压器的运行方式有关。因此,针对不同的元件而言,随着运行状态以及相应的运行方式的变化,压板位置规则是完全不同的。

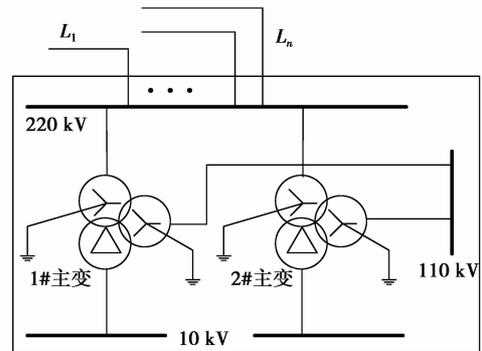


图 3 典型变电站拓扑结构

Fig.3 Typical substation topology

2.2 压板位置规则库生成

因为保护装置的二次回路结构的不同、保护方式的不同、系统的实际运行方式不同^[13],一般而言,难以形成统一的保护压板投退规则。但是,针对某些典型的设备运行状态、运行方式,可以确定部分关键压板的投退规则,为进一步实现这些压板的智能校核提供了可能。

2.2.1 线路保护压板规则

针对线路保护,其保护功能压板与出口压板与线路是否投运有着密切联系:在线路运行时,其保护必须投入。对应的线路保护功能压板和出口压板均为投入状态(后文所述压板状态若为“1”,均表示投入):

$$\begin{cases} \text{功能压板} = 1, \\ \text{出口压板} = 1. \end{cases}$$

2.2.2 母线保护压板规则

针对不同类型的母线,压板的操作存在较大差异。但是,对应不同的母线运行状态,能够制定“母线检修”、“双母分列运行”、“投单母方式”等压板的投退规则。

如图 4 所示,以双母线单分段接线方式为例。

在母联开关断开后,需投入“母联检修”与“双母分列运行”功能压板;在单母线运行方式下,需投入“投单母方式”压板。

其部分压板的规则如表 1 所示。

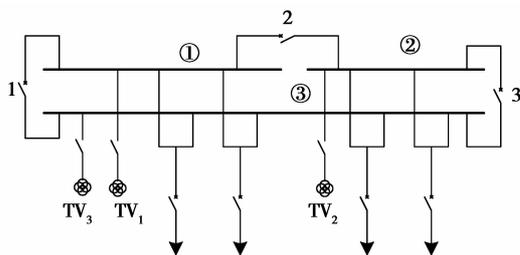


图 4 双母线单分段接线方式

Fig.4 Double bus segmentation connection mode

表 1 不同运行方式下母线保护压板规则

Table 1 The principle of bus protection platen under different operation modes

母线运行方式	压板投入状态		
	投单母方式	母联检修	双母分列运行
①②③母线均并列运行	0	0	0
①③母线并列运行,②母线停运	0	1	1
②③母线并列运行,①母线停运	0	1	1
①②母线并列运行,③母线停运	0	1	1
③母线单独运行	1	1	1

2.2.3 变压器保护压板规则

针对含 2 台或 2 台以上的变电站,变压器的运行方式决定了多台变压器高压侧、中压侧的接地方式,而高、中压侧接地方式又决定了中性点保护压板的投、退状态。因此,针对不同的变压器运行方式,必然有一组中性点保护压板的投退规则与之对应。

变压器中性点保护具体投退规则如下:当中性点接地时,需投入相应的“中性点零序(过流)保护”压板;当中性点不接地时,需改投“间隙零序保护”压板。

以图 5 所示 2 台主变情况为例,存在以下 4 种运行方式:

1) 2 台变压器高、中压侧均并列运行时,1# 变压器高压侧中性点接地,2# 变压器中压侧中性点接地。

2) 2 台变压器高、中压侧均解列运行时,2 台变压器高、中压侧中性点均接地。

3) 2 台变压器仅高压侧并列运行时,1# 变压器高压侧中性点接地,2 台中压侧中性点均接地。

4) 单台变压器退出运行时,剩下的一台变压器高、中压侧中性点均接地。

根据变压器不同的运行方式,不同变压器不同电压侧的中性点保护压板规则如表 2、表 3 所示。

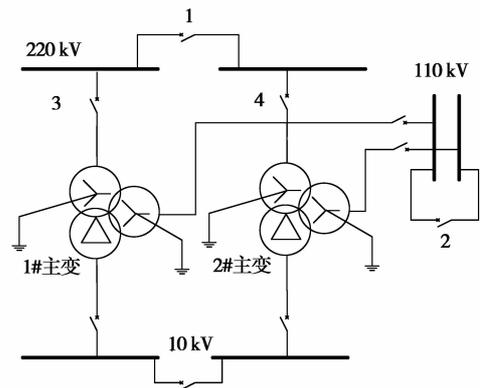


图 5 含 2 台主变的示例系统

Fig.5 Example system with two main transformers

表 2 不同运行方式下中性点零序保护压板规则

Table 2 The principle of neutral point zero-sequence protection platen under different operation modes

变压器运行方式	中性点零序(过流)保护压板投入状态			
	1# 变压器高压侧	2# 变压器高压侧	1# 变压器中压侧	2# 变压器中压侧
1)	1	0	0	1
2)	1	1	1	1
3)	1	0	1	1
4)	0	1	0	1

说明:表中运行方式 4) 以 1# 变压器退出运行为例,1# 变压器退出后,其中性点保护压板均为退出状态。

表 3 不同运行方式下间隙零序保护压板规则

Table 3 The principle of neutral point gap zero-sequence protection platen under different operation modes

变压器运行方式	间隙零序保护压板投入状态			
	1# 变压器高压侧	2# 变压器高压侧	1# 变压器中压侧	2# 变压器中压侧
1)	0	1	1	0
2)	0	0	0	0
3)	0	1	0	0
4)	0	0	0	0

3 压板位置智能校核方法

3.1 站内元件状态、运行方式搜索模型

3.1.1 线路元件状态搜索

在传统拓扑理论中,需要对整个网络进行搜索,从而获取全局网络中具体相连的元件。而压板的整定过程当中,根据保护的需求,仅需确定元件是运行还是退出状态,并不需要获取整个网络的拓扑结构。

图 6 是变电站内 3/2 断路器接线结构,开关与线路元件的接线拓扑是已知的,而当某条线路所连开关均处于断开位置时,即可以认为该线路处于退出状态。

搜索步骤如下:

1) 将 m 条线路与 n 个开关的拓扑关系抽象为相应的线路-开关关联矩阵 A_{line} , 其中矩阵元素 a_{ij} 定义如下:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 号线路与 } j \text{ 号开关相连;} \\ 0, & i \text{ 号线路不与 } j \text{ 号开关相连。} \end{cases}$$

2) 在操作开关后, 根据开关的新状态建立搜索向量:

$$B_{line} = [b_1 \ b_2 \ \cdots \ b_n]^T,$$

若元素 b_j 赋值为 1, 表示第 j 号开关此时为合位, 否则赋值为 0。

3) 进行矩阵运算:

$$C_{line} = A_{line} B_{line},$$

定义线路运行状态矩阵 $C_{line} = [c_1 \ c_2 \ \cdots \ c_m]^T$, 元素 c_i 表示 i

号线路元件在开关操作后实际连接的闭合开关数目。若 c_i 为零, 则表示 i 号线路处于退出状态。

以图 6 为例, 其线路-开关关联矩阵为:

$$A_{line} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}。$$

在 1, 2, 6, 8, 9 号开关闭合情况下, 建立搜索向量:

$$B_{line} = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1]^T,$$

得到线路运行状态矩阵:

$$C_{line} = [2 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 2]^T。$$

可知这种情况下, 线路元件②相连开关均为断开位置, 此时线路②处于退出状态, 其余线路均处于运行状态。

3.1.2 母线运行方式搜索

母线运行方式的搜索类似于线路元件状态搜索:

1) 由于隔离开关的存在, 线路开关此时并不能反映单段母线元件是否停运。通过母联开关的状态建立母线-母联关联矩阵 A_{bus} , 其中矩阵元素 a_{ij} 定义如下:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 号母线与 } j \text{ 号母联相连} \\ 0, & i \text{ 号母线不与 } j \text{ 号母联相连} \end{cases}$$

2) 根据母联开关的新状态建立搜索向量:

$$B_{bus} = [b_1 \ b_2 \ b_3]^T,$$

若元素 b_j 赋值为 1, 表示第 j 号母联此时为合位, 否则赋值为 0。

3) 进行矩阵运算:

$$C_{bus} = A_{bus} B_{bus},$$

定义母线方式矩阵 $C_{bus} = [c_1 \ c_2 \ c_3]^T$, 元素 c_i 表示 i 号母线元件在母联操作后实际运行情况。若 c_i 为零, 则表示 i 号母线元件处于退出状态。

以图 4 所示系统为例, 其搜索结果如表 4 所示。

表 4 双母线单分段接线方式搜索结果

Table 4 The search result of double busbar single segmentation connection mode

B_{bus}	C_{bus}	运行方式
[1 1 1]	[2 2 2]	1) ①②③母线均并列运行
[1 0 0]	[1 0 1]	2) ①③母线并列运行, ②母线停运
[0 0 1]	[0 1 1]	3) ②③母线并列运行, ①母线停运
[0 1 0]	[1 1 0]	4) ①②母线并列运行, ③母线停运
[0 0 0]	[0 0 0]	5) ③母线单独运行

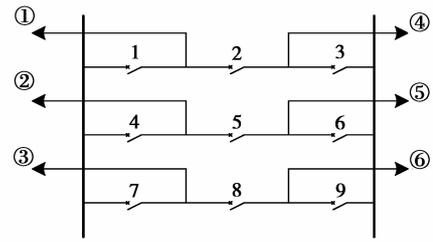


图 6 3/2 断路器接线方式

Fig.6 3/2 breaker connection mode

3.1.3 变压器运行方式搜索

变压器的运行方式确定方法如下,以图 5 为例。

首先,收集变压器高压侧开关向量:

$$\mathbf{T}_{\text{trans}} = [t_3 \quad t_4],$$

若存在开关量 t_j 为 0 的情况,则表示对应变压器处于停运状态,属于运行方式 4)。

若 2 台变压器均正常运行,收集高、中压母联开关量 t_1 和 t_2 ,建立母联开关向量:

$$\mathbf{T}_{\text{bus}} = [t_1 \quad t_2],$$

搜索结果为 $[0 \quad 0]$ 时,属于运行方式 2);搜索结果为 $[1 \quad 1]$ 时,属于运行方式 1);搜索结果为 $[0 \quad 1]$ 或 $[1 \quad 0]$ 时,属于运行方式 3)。

3.2 基于压板位置识别系统的压板位置信息获取方法

作为压板状态校核的重要组成部分,终端装置应具有以下特征:

- 1)能够有效避免压板“虚接”现象;
- 2)能够无延时反映压板的投、退状态;
- 3)能够通过信号采集线路实现大量压板信息的远方传送。

在倒闸操作完成后,通过开关量变位信息的收集,能够获取一次元件的运行状态。然后,查找规则库中对应当前一次元件状态的压板位置 $\{Y_{GZ}\}$ 。

基于压板位置识别系统,能够获取操作后的压板实际位置 $\{Y_{OP}\}$,与规则库中查找所得 $\{Y_{GZ}\}$ 进行对比,则必须满足逻辑判别式:

$$\{Y_{OP}\} = \{Y_{GZ}\}, \quad (1)$$

若不满足判别式,说明当前压板操作存在漏投或者误投情况,从而能够及时报警。

基本的校核流程如图 7 所示。

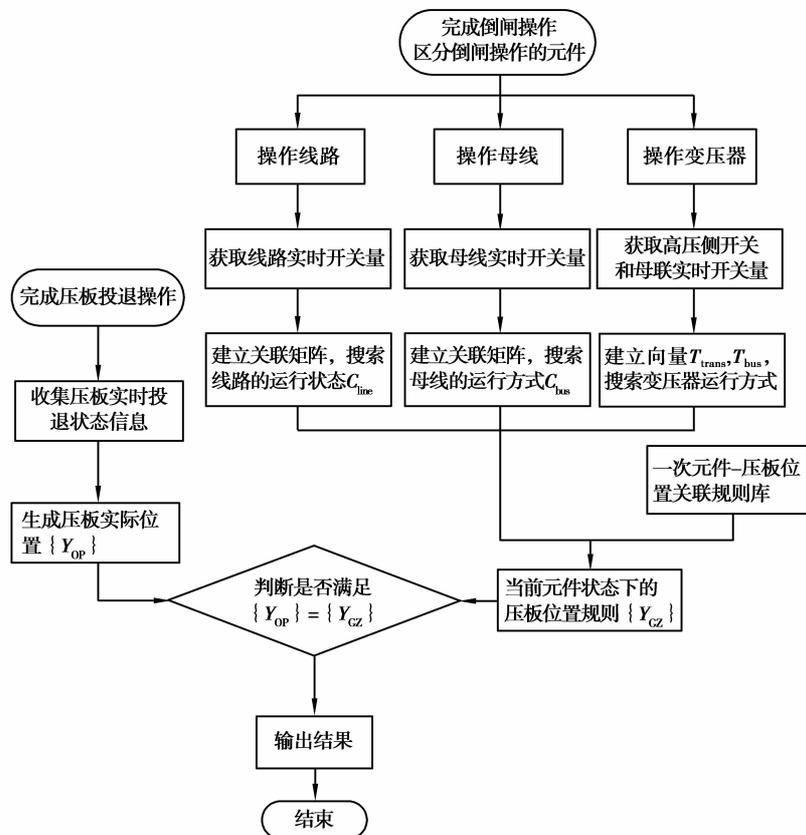


图 7 压板信息校核流程图

Fig.7 The process of the platen state verification

4 应用实例

以达州市某 220 kV 变电站的变压器运行转检修操作作为应用实例。一次接线如图 5 所示,操作任务:220 kV 1# 变压器由运行转检修。操作前运行状态:2 台变压器中、低压侧不考虑合环运行。主要操作步骤如图 8 所示。

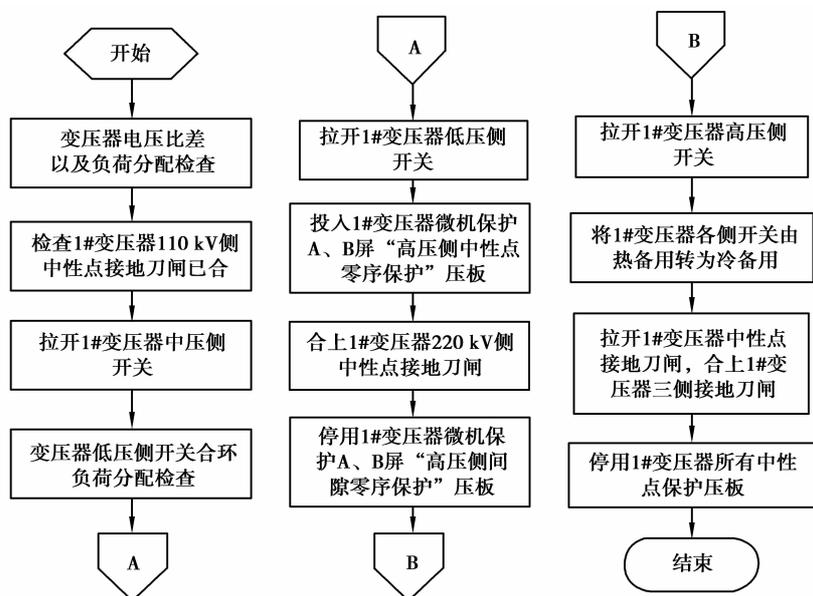


图 8 1# 变压器运行转检修主要操作步骤

Fig.8 The main steps when 1# transformer into maintenance from operation

操作结束后,收集变压器高压侧开关向量 $T_{\text{trans}} = [0 \ 1]$,判断属运行方式 4),查找规则库得到相应压板位置规则:

$$\{Y_{\text{Gz}}\} = \{0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0\}. \quad (2)$$

在图 8 的操作流程中,1# 变压器已退出运行,拉开了 1# 变压器中性点的接地刀闸,因此,停用了 1# 变压器所有中性点的保护压板。2# 变压器因单台运行,其高、中压侧中性点已接地。通过收集压板位置识别系统中对应压板信息,可得压板实际位置:

$$\{Y_{\text{Op}}\} = \{0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0\}. \quad (3)$$

若实际中存在误操作,则会有不同于式(3)的压板位置信息,不满足判别式,从而发出报警。

5 结论

1)给出了线路、母线以及变压器在不同运行状态下,压板所对应的不同投退规则,并以此建立了一次元件-压板位置关联规则库。

2)建立了变电站内元件状态搜索模型,以开关量变位信息为已知条件,实现对线路、母线以及变压器等元件运行状态的实时判别。

3)建立了压板智能校核判别式,该校核方法的主要优点是考虑了当前元件状态下的压板位置规则,能够判别当前的压板位置是否合理。

4)以 220 kV 变压器由运行转检修操作为例,说明了该方法的有效性。

长期以来,压板状态监视一直是变电站安全监控研究的重要课题,压板位置识别系统的研发,为压板状态监视提供了科学的分析手段和技术支持。下一步的研究方向,应从提出普遍适用的压板投、退规则库着手,以进一步提高系统的实用化水平。

参考文献:

- [1] 牛志刚,贾腾飞,徐庆录,等.智能压板系统在齐齐哈尔冯屯 500 kV 变电站中的应用[J].电力系统保护与控制,2010,38(23):219-222,245.
NIU Zhigang, JIA Tengfei, XU Qinglu, et al. The application of intelligent platen system in Qiqihar Fengtun 500 kV substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(23): 219-222, 245. (in Chinese)
- [2] 汪洪明,杨妮娜.二次压板操作的安全措施与防范探讨[J].继电器,2007,35(2):76-78.
WANG Hongming, YANG Nina. Discussion on security and prevention of the operation of secondary pressure plate[J]. RELAY, 2007, 35(2): 76-78. (in Chinese)
- [3] 程海艳,蒋再新,崔海婷,等.智能压板防误操作系统研究与实现[J].机电信息,2014(15):137-138.
CHENG Haiyan, JIANG Zaixin, CUI Haiting, et al. Study and application of intelligent platen system[J]. Mechanical and Electrical Information, 2014(15): 137-138. (in Chinese)
- [4] 薄志谦,张保会,董新洲,等.保护智能化的发展与智能继电器网络[J].电力系统保护与控制,2013(2):1-12.
BO Zhiqian, ZHANG Baohui, DONG Xinzhou, et al. The development of protection intellectualization and smart relay network[J]. Power System Protection and Control, 2013(2): 1-12. (in Chinese)
- [5] 郑敏,罗远安,赵光辉.基于 1WIRE 总线的自动化装置压板状态监测系统设计[J].电力系统保护与控制,2009,37(6):73-76.
ZHENG Min, LUO Yuanan, ZHAO Guanghui. Design of automation devices clips status monitoring system based on 1WIRE bus[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(6): 73-76. (in Chinese)
- [6] 夏志宏,罗毅,涂光瑜,等.基于视觉信息的继电保护压板投退位置的自动识别研究[J].继电器,2005,33(4):40-44.
XIA Zhihong, LUO Yi, TU Guangyu, et al. Image auto-recognition of relay pressed board in on/off states based on visual information[J]. RELAY, 2005, 33(4): 40-44. (in Chinese)
- [7] 李佳容,唐阳.基于光电检测原理的压板状态检测及防误系统[J].重庆大学学报,2014,37(5):29-36.
LI Jiarong, TANG Yang. Condition monitoring and mistake precaution system for power strap based on photoelectric detection[J]. Journal of Chongqing University, 2014, 37(5): 29-36. (in Chinese)
- [8] 陆海宁.二次压板的智能化运行及应用探讨[J].华东电力,2010,38(12):1873-1875.
LU Haining. Intelligent operation and application discuss of secondary pressure plate[J]. East China Electric Power, 2010, 38(12): 1873-1875. (in Chinese)
- [9] Nakano S, Tsubaki T, Yoneda Y. External diagnosis of power transmission and distribution equipment using X-ray image processing[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, 15(2): 575-579.
- [10] Luis A F, Jose L S. Mandrel-based fiber-optic sensors for acoustic detection of partial discharges—a proof of concept[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25(4): 2526-2534.
- [11] WANG X D, LI B Q, Roman H T, et al. Acousto-optical PD detection for transformers[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21(3): 1068-1073.
- [12] 吴东升,陈冬霞.变电站保护压板投、退原则[J].东北电力技术,2007(3):41-43.
WU Dongsheng, CHEN Dongxia. The commissioning and ceasing principles for protecting plate in substations[J]. Northeast Electric Power Technology, 2007(3): 41-43. (in Chinese)
- [13] 马银山.电气倒闸操作及误操作分析[J].中国电力,2003,36(z1):47-50.
MA Yinshan. Analysis of electric operation and operational errors[J]. Electric Power, 2003, 36(z1): 47-50. (in Chinese)

(编辑 张 芊)