

采用非同原工作状态检测技术的新型保护压板设计及应用

朱添益

(国网湖南省电力有限公司超高压变电公司, 湖南 长沙 410000)

摘要: 智能变电站的建设需要对站内二次设备进行重点升级或换代, 其中保护硬压板作为变电站关键二次设备之一, 其投入与退出时动作是否到位对于变电站安全运行具有重要意义。针对传统保护硬压板操作人力消耗大、机械断点易开合不到位的问题以及满足现今无人值守工作模式的发展需要, 设计了一种采用非同原理工作状态检测技术的新型保护硬压板, 检测过程采用工作电压与动作执行双重检测, 并使用“与”运算方式, 其中电压检测环节基于采样频率自适应更新与抽取突变算法, 保证压板工作状态检测结果的正确性。工程应用表明所提自动保护压板及其检测方法具有有效性。

关键词: 智能变电站; 保护硬压板; 工作状态检测; 采样频率自适应更新

Design and application of new protective pressure plate using non-identical working status detection technology

ZHU Tianyi

(State Grid Hunan Extra High Voltage Substation Company, Changsha 410000, China)

Abstract: The construction of smart substations requires key upgrades or replacements of secondary equipment in the substation. Among them, the protective hard plate is one of the key secondary equipment of the substation. Whether its input and withdrawal actions are in place is of great significance to the safe operation of the substation. In order to solve the problems of traditional protective hard plate operation, which consumes a lot of manpower, mechanical breakpoints are easy to open and close, and to meet the development needs of today's unattended working mode, a new protective hard plate using non-identical principle working status detection technology was designed. The detection process uses working voltage and action to perform dual detection, and uses the 'AND' operation method. The voltage detection link is based on the sampling frequency adaptive update and extraction mutation calculation method to ensure the accuracy of the detection results of the pressure plate working status. Engineering applications demonstrate the effectiveness of the proposed automatic protection pressure plate and its detection method.

Key words: intelligent substation; protection hard plate; working status detection; sampling frequency self-updating

0 引言

智能变电站是指在原有变电站功能的基础上, 通过运用先进的智能设备自动地完成信息

采集、测量、计算、保护、在线检测和自诊断等功能, 并且支持实时智能调节、自动控制、协同互动和在线分析决策等功能的新一代数字化变电

站。为了提升电力生产水平,优化生产方式,需要加强电网尤其是变电站的建设^[1]。其中无人、少人值守工作模式作为设备管理体系的重要要求之一,改变了以往人工巡视、现场操作等传统巡检模式,不仅减少了工作人员的任务量,而且有助降低误操作的风险,在智能变电站的应用价值越来越高^[2]。我国智能变电站的建设采用新建变电站与传统变电站智能化改造相结合的手段,主要为设备更新或升级改造实现工作状态在线检测、操作一键顺控^[3]、设备异常监控以及机器替代人力等功能。随着电网规模的扩大,设备工作的信息化、智能化水平得到大幅提高,随之而来的是设备数量快速增长、作业半径扩大但人员数量增长有限的挑战^[4]。电网的安全稳定运行依赖站内二次设备的正确运行,随着变电站规模增大、复杂度提高,电网安全稳定运行的要求与检验压力的矛盾日益突出^[5]。因此,推进智能变电站建设以及无人值守工作模式的发展,需要对变电站二次设备进行更新换代或相应升级改造。保护压板作为关键二次设备,在变电站中数量巨大,为满足变电站无人值守目标的需要,全面提升保护设备的智能化运维水平是必然要求^[6],因此,亟需远方可操纵的自动保护压板及其工作状态在线检测技术。文献[7]提出了一种采用非接触光检测的设备状态监测技术。文献[8]提出了一种基于二维码识别与物联网技术的检测方法。文献[9]提出了一种无线射频识别技术与RFID感知设备的压板状态信息采集方法,实现远程控制巡检保护硬压板的信息监测。

在继电保护中,保护压板从功能上可划分为软压板和硬压板。两种类型保护压板都投入时相应保护功能才会投入;若其中任意一种退出,保护功能就会退出。用于保护投入和退出的压板关系到各类保护功能的投入及出口动作的正确性,误投或漏投都将导致相应保护的误动作和拒动作。

本文所设计研究的保护压板属于硬压板。传统保护压板无法满足智能变电站的需要,主要原因如下:

1) 人力资源消耗大。传统保护压板过于依赖人工,投入与退出都需要人工手动操作,人力资源消耗大且误投、错投现象频发。

2) 经验依赖性强。压板工作状态判定依赖于人员的工作经验,存在人为因素导致误判的情况。

3) 时效性差。人工手动进行压板投退操作耗时、耗力,不利于统一管理。

4) 现有保护压板功能不全。市面上存在的保护压板普遍缺乏工作状态检测功能。

具有工作状态在线检测功能的远方可操纵自动保护压板是推进智能变电站建设与无人值守工作模式的重要保障措施,对于加快现场操作流程、减少人力资源消耗、保证设备准确投退及提高变电站智能化水平具有重要意义。

针对上述问题,设计了一种具备工作状态检测功能的远方可操纵新型自动保护压板,分析了保护压板工作状态检测技术和工作流程,采用非同原检测方法,并在电压检测环节引入采样频率自适应更新与抽取突变算法,提高检测效率和准确性。最后通过实际工程应用验证其可行性。

1 智能变电站自动保护压板设计

1.1 自动保护压板功能介绍与控制框架

为了满足智能变电站无人值守工作模式的需要,设计了一种新型保护压板,最终实现对变电站内二次设备保护压板工作状态在线检测与远方操控。所设计保护压板具有以下功能:

1) 远方可操控。压板通过通信控制单元与远方控制室相连,可根据命令实现自动投入或退出。

2) 工作状态在线检测。可实时检测压板工作状态,判断其投入和退出动作是否到位,并将结果实时传递给后方控制室。

3) 状态指示。通过状态指示灯实时显示压板工作状态,分别为:正常工作指示,表明压板处于正常工作状态;异常投退指示,表明压板可能存在投退。

保护压板与其他二次设备集中控制示意图如图1所示。采用RS 485通信方式控制，结果输出采用硬触点（双点脉冲控制）的方式输出。所有动作到位后状态检测模块输出保护压板工作状态信息，实现保护压板自动投退。

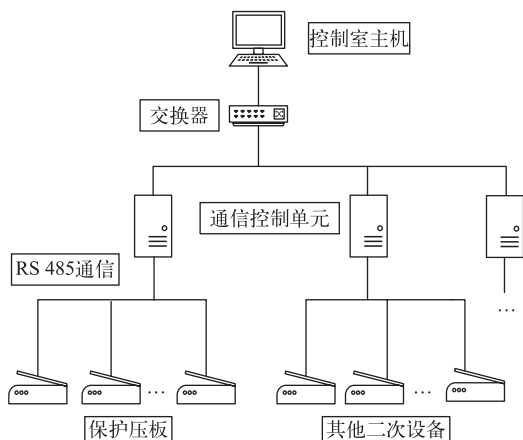


图1 二次设备集中控制示意图

Fig. 1 Schematic diagram of centralized control of secondary equipment

1.2 自动保护压板结构设计

保护压板的外观结构示意图如图2所示。在可观性方面，自动保护压板外观结构与接线方式保持与普通线簧式压板一致，保证与传统压板的兼容性，以便于替代传统压板。其中前部为压板本体部分，用于继电保护时的投入与退出；后部为智能检测部件以及驱动装置，其内部设置有状态检测模块，采用非接触式检测方式，包括工作电压检测模块与动作执行检测模块；驱动装置由高精度步进舵机、减速机构和配合机构组成。

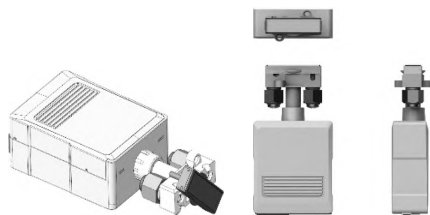


图2 自动保护压板的外观结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the appearance and structure of the automatic protection pressure plate

本文设计的自动保护压板的工作实施流程为：①采集变电站自动保护压板内置传感器信

息，采用双重确认技术对保护压板工作状态进行判定；②自动保护压板由通信控制单元进行控制，控制命令由后方控制室主机下发命令给通信控制单元，进而传递给相应二次设备，同时，自动保护压板将工作状态信息返回至通信控制单元，再传送到控制室监控主机，以此实现闭环控制；③控制室值守工作人员通过观察状态检测结果，根据需要下达命令使压板投入或者退出。

2 自动保护压板硬件组成与状态检测方法

2.1 保护压板硬件组成

自动保护压板的硬件设计原理如图3所示。其核心部件为微控制器（MCU），型号为MSP4305529。程序与功能固化设计，压板断电后可进行手动操作，保证系统的安全性与稳定性。

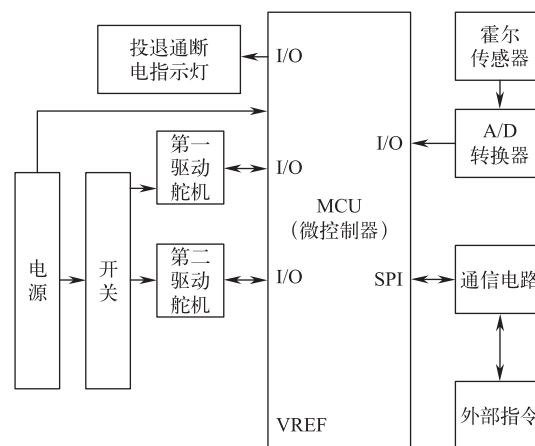


图3 自动保护压板硬件设计原理图

Fig. 3 Automatic protection pressure plate hardware design schematic diagram

其主要作用是读取传感器的测量输出值并进行逻辑运算，从而判断压板的工作状态；同时MCU与后方总控制室建立通信，将压板工作状态实时传递给后方总控制室，并接收控制室的指令，对压板的工作状态进行调整。

第一、第二驱动舵机分别用来驱动传动轴的直线运动和旋转运动，以此带动压板把手旋转、伸出和回位；霍尔传感器用来检测压板工作时的电压；电源用来给MCU以及其他模块进

行供电。MCU经过内置算法进行数据处理运算后，判定出压板的工作状态。一方面通过通信电路将结果传递给后端总控制室，并接收控制室的命令做出调整；另一方面通过状态指示灯将压板工作状态以指示灯颜色表示出来，便于巡检人员随时观测压板工作状态。

2.2 工作电压与执行动作非同原压板工作状态检测方法

工作状态在线检测是自动保护压板的核心功能，其作用是用来检测压板的工作状态，用以保证压板的准确投入与退出，以及解决可能出现的压板投退位置无误但未接触电源或接触不良的问题。其核心逻辑是从两个方面分别进行检测，包括压板工作电压检测与动作执行检测，通过采用非同一原理的检测方式进行判定，保证结果的准确性。

状态检测方法的具体实施流程如图4所示。 N_a 为一个运算周期内采样次数，即逻辑运算循环次数。具体步骤为：

1) 采用霍尔电压传感器采集压板工作时的状态电压 U_1 ，并通过模/数(A/D)转换器将采集的模拟电压信号转化为数字信号，模/数转换器与MCU连接，MCU负责读取并记录压板的工作电压。

2) MCU与驱动舵机连接，驱动舵机负责驱动压板传动轴伸出、旋转与回位。MCU通过输出脉冲宽度调制(PWM)信号驱动舵机转动，并确定舵机的工作旋转角度 θ_1 、 θ_2 ，以此判断传动轴伸出与回位是否到位。

3) MCU通过读取压板的工作状态电压与舵机转动角度，进行逻辑“与”运算，即在误差范围内，如果压板投入时的工作状态下工作电压 U_1 与预先设定的标准工作电压 U_n 相等且舵机旋转角度 θ_1 、 θ_2 与预先设定的标准舵机旋转角度 θ_{n1} 、 θ_{n2} 相等，即可判定压板位于投入状态，否则判定压板位于退出状态，并经过通信电路将结果传递给后端总控制室。信号采集时，在预设周期内进行多次采集和运算，以保证结果的准确性，工作流程具体如图4所示。

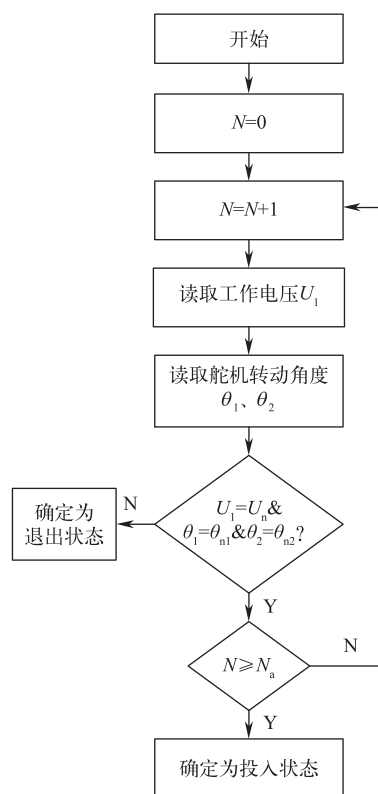


图4 压板工作状态检测判断流程图

Fig. 4 Pressure plate working status detection and judgment flow chart

(1) 参数采集与数据处理

在状态检测过程中，考虑设备数据冗余对数据处理带来的压力，引入设备检测频率自适应更新，减少通信与检测过程中的数据量，具体为

$$f_{t0} = k_t \left| \frac{U_t - U_{t0}}{U_{t0}} \right| f_0 \quad (1)$$

$$\text{Flag} = f_{t0} / f_0 \quad (2)$$

$$f_t = \begin{cases} f_{t0} & \text{Flag} \geq 1.5 \\ f_0 & 1 \leq \text{Flag} < 1.5 \\ 0.95f_0 & \text{Flag} < 1 \end{cases} \quad (3)$$

式中， f_0 为初始设置频率； f_{t0} 为检测频率更新中间标志量； f_t 为本次更新后的检测频率； U_{t0} 为最近一次记录二次设备运行电压； U_t 为当前检测设备运行电压；Flag为检测频率标志位。

根据自适应更新的采样频率对电压进行采集，对于所采集的电压参数，基于抽取突变算法，去除静态和缓慢变化的数据，强调瞬间变

化,以此来突出反映保护压板不正常的参数变化。计算式为

$$\begin{cases} U_{10} = K_i U_{old} + (1 - K_i) U_{new} \\ U_1 = U_{new} - U_{10} + U_{old} \end{cases} \quad (4)$$

式中, U_{10} 为加权平滑输出值; U_{old} 为传感器上次采集值; U_{new} 为传感器本次采集值; K_i 为加权系数, $K_i=0.8$; U_1 为输出值,表示此刻压板工作电压。

(2) 逻辑“与”运算

数据处理结束后,由MCU进行逻辑“与”运算,压板工作电压与舵机转动角度为非同一原理信号,以保证判断结果的准确性。具体流程为:首先预设压板标准工作电压 U_N 和舵机标准转动角度 θ_{n1} 、 θ_{n2} ,以及误差裕度 U_ε 、 $\theta_{\varepsilon1}$ 、 $\theta_{\varepsilon2}$ 。逻辑判断计算式为

$$\begin{cases} U_N - U_\varepsilon \leq U_1 \leq U_N + U_\varepsilon \\ \theta_{n1} - \theta_{\varepsilon1} \leq \theta_1 \leq \theta_{n1} + \theta_{\varepsilon1} \\ \theta_{n2} - \theta_{\varepsilon2} \leq \theta_2 \leq \theta_{n2} + \theta_{\varepsilon2} \end{cases} \quad (5)$$

式中, θ_1 、 θ_2 分别为第一、第二驱动舵机转动角度; U_N 为预设压板标准工作电压; θ_{n1} 、 θ_{n2} 为舵机标准转动角度; U_ε 、 $\theta_{\varepsilon1}$ 、 $\theta_{\varepsilon2}$ 为误差裕度。

当每次逻辑运算都满足计算式且循环次数达到设定次数时,即可判定压板工作状态为投入工作状态,否则判定为退出工作状态。

工作结束后,MCU通过通信电路将工作状态检测结果传递给后方控制室进行统一处理,后端根据情况向保护压板发出命令并进行调整。

3 工程示范应用

以湖南省长沙市某110 kV变电站内试运行四联组自动保护压板系统为例,设立普通线簧式保护压板作为对照组,面向对象为同一屏柜,所发出投退信号保持同步。采集2023年7—9月份12周时间内两种压板工作情况信息。测试过程中,自动保护压板进行动作并开始工作状态检测,结果传递至总控制室;普通压板对照组则采用人工现场手动投退。

图5、图6分别为现场校验与新型压板软件控制程序页面。现场校验自动保护压板工作状态

检测结果,提取时间、新型自动保护压板正确投入率、现场工作人员记录普通保护压板正确投入率,结果见下表。



图5 现场校验

Fig. 5 On-site verification



图6 压板软件控制页面图

Fig. 6 Pressure plate software control page diagram

表 保护压板工作状态检测结果

Tab. Detection results of working status of protective pressure plate

时间 / 周	准确次数	检测次数	成功率 (%)
1	319	320	99.8
2	280	280	100
3	270	270	100
4	290	290	100
5	311	311	100
6	330	331	99.7
7	325	325	100
8	297	298	99.8
9	276	276	100
10	264	264	100
11	258	259	99.7
12	298	298	100

压板运行结果如图7所示,所述新型自动保护压板投入正确率与稳定性较普通压板相比都有明显提高,在第2、3、4、5、7、9、10、12周运行记录中投退成功率均为100%,证明所设计

的新型自动保护压板与工作状态检测方法的有效性。传统压板由于缺乏状态检测功能且考虑人工检测的局限性，投退成功率较所提新型压板低并且波动大。

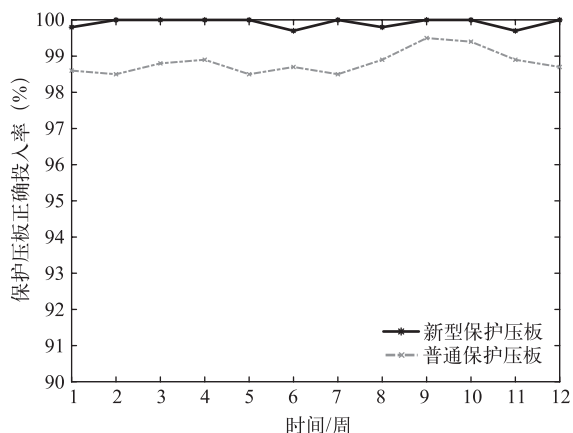


图7 压板运行结果

Fig. 7 Pressure plate operation results

4 结束语

本文设计了一种变电站新型自动保护压板，提出了远方操控、非同一原理工作状态检测关键技术，并构建了具体工作实施框架，实现了无人值守变电站保护压板自动投入、退出与工作状态在线检测的功能。所设计的保护压板具有一定的推广价值，其技术也可拓展至变电站其他二次设备，有助于提高变电站智能化程度，推进智能变电站建设与无人值守工作模式的发展。

参考文献

[1] 王优优, 朱维钧. 智能变电站二次系统优化分析

[J]. 湖南电力, 2021, 41(3): 83-86.

[2] 孙晓宇. 无人值守变电站发展与电力自动化应用研究[J]. 数码世界, 2020(5): 276.

[3] 严亚兵, 黎刚, 李辉, 等. 智慧变电站监控系统智能联动技术浅析[J]. 湖南电力, 2020, 40(3): 77-81.

[4] 徐刚, 孙鹏, 刘宗杰, 等. 智能变电站保护压板远程运维技术研究与应用[J]. 电气时代, 2019(9): 59-62.

[5] 魏颖莉, 杨晶鑫, 刘喆, 等. 智能变电站二次设备协同自动检验技术研究[J]. 电气应用, 2023, 42(7): 74-81.

[6] 刘戈, 纪陵, 刘文彪. 智能继电保护数字孪生模型构建及应用[J]. 电气技术, 2023, 24(7): 83-88.

[7] 李然, 金元元, 钟丽波, 等. 变电站硬压板状态在线监测功能研究[J]. 东北电力技术, 2015, 36(8): 54-56, 59.

[8] 吕杰, 马鹏姬, 王静雨. 变电站二次保护硬压板状态检测及校核系统的研究[J]. 电气应用, 2021, 40(5): 34-38.

[9] 周玮, 马爽. 变电站二次保护硬压板状态识别技术研究[J]. 光源与照明, 2022(5): 155-157.

作者简介

朱添益 (1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事直流换流站变电运维工作。

(收稿日期: 2023-10-30)