

基于自动语音识别技术的防误操作保护装置的研究

杨 杰¹, Muhammad Junaid², 姜 楠¹, 宋桂昭¹, 胡向峰¹, 秦强强¹

(1. 国网临沂供电公司, 山东 临沂 276000;

2. 中国矿业大学电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 气体绝缘金属封闭开关 (Gas Insulated Switcher, GIS)、断路器、隔离开关等设备的误操作是导致电力事故的重要因素之一, 严重影响电力供应的稳定性。随着设备的误操作事件频发, 对于防误操作保护装置的研究成为热点内容之一。工作人员在操作和检修过程中, 若误入带电间隔, 将引起运行设备的误操作, 严重危害电力生产安全。提出一种基于自动语音识别 (Automatic Speech Recognition, ASR) 技术的防误操作保护装置。工作人员开启设备控制柜柜门的瞬间, 防误操作保护装置循环提示人员口述本间隔双重名称关键词, 直至关键词口述正确, 语音和警示灯关闭。通过制作一台基于 ASR 技术的 GIS 防误操作保护装置测试样机, 验证了该装置的可行性。

关键词: 控制柜; 防误操作; 保护装置; 自动语音识别; 双重名称关键词

Research on anti-misoperation protection device based on automatic speech recognition technology

YANG Jie¹, MUHAMMAD Junaid², JIANG Nan¹, SONG Guizhao¹, HU Xiangfeng¹, QIN Qiangqiang¹

(1. State Grid Linyi power supply company, Linyi 276000, China; 2. School of Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Misoperation of equipment such as gas Insulated Switchers (GIS), circuit breakers, and isolating switches is one of the important factors leading to power accidents, which affects the stability of power supply seriously. Research on anti-misoperation protection devices has become one of the hot topics with the frequent occurrence of misoperation events. During the operation and maintenance process, the misoperation caused by staff mistakenly entering the electrified interval which will seriously endanger the safety of power production. This paper proposes an anti-misoperation protection device based on automatic speech recognition (ASR) technology. When staff open the control cabinet, the anti-misoperation protection device repeatedly prompts the personnel to speak the double name keywords of this interval. The voice and warning lights are turned off until the keywords are correctly spoken. This article verifies the feasibility of the GIS anti-misoperation protection device based on automatic speech recognition technology by making a test prototype.

Keywords: control cabinet; anti-misoperation; protection device; ASR; double name keywords

0 引言

变电站在运行过程中面临着多种安全隐患，尤其是设备误操作和系统故障等问题，给电力系统的安全性带来了严峻挑战^[1-2]。因500 kV及以上变电站内设备多采用3/2接线方式（110~220 kV变电站内多采用双母线接线），间隔之间安装紧凑^[3]。工作人员在操作和检修设备时，容易发生误入带电间隔，发生误操作导致跳闸、停电，从而影响电力设备稳定运行^[4-5]。2024年10月24日，国网某公司在1 000 kV某特高压变电站扩建工程调试准备工作过程中，施工人员采用“一匙通”走错间隔并打开控制柜门，用短接线误分运行断路器，从而导致电气误操作事件，造成恶劣影响。因此，设计防止工作人员误入带电间隔、防误操作的保护或告警装置显得尤为重要^[6-7]。

随着信息技术和通信技术的快速发展，如何将新技术有效应用于智能变电站的安全管理成为当前研究的热点^[8-9]。当前变电站内防止误操作和误入带电间隔的措施多采用传统方式。第一种方式是在运行设备门上加装机械锁，当工作人员操作设备时，由需求人员向运维人员提出开锁申请，得到许可后方可工作^[10]。但是，目前站内控制柜机械锁由于长期缺乏维护，损坏严重，多处于常开状态^[11]。第二种方式是采用五防微机 and 电子锁结合的方式，当工作人员有需求时，需在五防机后台设置模拟或操作程序，用电子钥匙可打开间隔门加挂的五防锁^[12-13]。但在变电运维人员操作过程中，需求人员和许可人员交叉，当申请许可环节存在违规时，五防锁的保护作用减小^[14]。关于运维管理制度的创新举措也是解决当前防误操作的研究方向之一^[15]。但制度创新下的监督和遵守机制对工作人员的知识普及存在盲点，并且规范化管理在人为的制度实施过程中存在折扣^[16-17]。文献[18]提出新一代集控系统一键顺控防误操作技术，通过在集控站主站和变电站站端配置智能防误主机，与新一代集控系统进

行防误“双校核”，可以有效提高倒闸操作可靠性。文献[19]设计的综合防误系统利用变电站内置的GOOSE系统快速响应误操作，将误操作信息传输至控制中心进行监控，同时安装防误闭锁。但控制环节增加闭锁逻辑，使控制方式复杂化。文献[20]提出采用智能五防锁，通过使用高像素指纹识别仪读取器来识别用户的指纹，并读取用户的工作卡以进行身份确认，防止工作人员误操作。

针对目前开关设备存在的误操作事件频发情况，本文提出一种基于自动语音识别技术的防误操作保护装置，并通过制作一台实物样机验证了该装置的可操作性。对比传统防误操作装置，该系统具备以下特性：①借用可编辑ASR模块，根据需求更新关键词库，可应用于不同间隔和设备的防误操作告警和提示；②ASR模块自带降噪和语音清晰背景处理，可快速响应间隔命令并确认，对检修和操作工作时间不造成影响；③集成传统微动开关和继电器元器件，控制方式简单、易操作；④循环报警装置采用可编辑语音模块和频闪光警示灯的声光结合，提示信息更全面、更可靠。

1 基本结构和原理

本文提出的一种基于ASR技术的防误操作保护装置主要包括ASR模块、继电器控制电路、可编辑语音播放组件和频闪光警示灯，如图1所示。

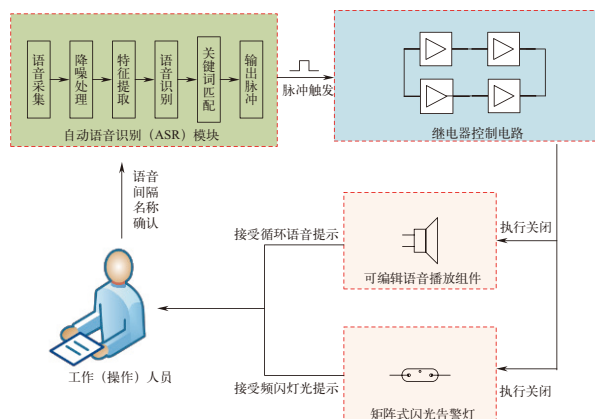


图1 工作原理图

Fig. 1 The working principle diagram

该装置的控制电路如图2所示。其中ASR模块主要包括MIC麦克风和语音处理的MCU组件；中间包括光耦隔离和ASR模块执行继电器 K_1 ；外部控制电路包括中间控制继电器 KA_1 和微

动开关 S_1 ；执行报警模块包括可编辑语音播放组件 HA_1 和频闪光警示灯 HL_1 ；整个装置所用电源为 V_{ref} 、 V_{c1} 和 V_{c2} 。

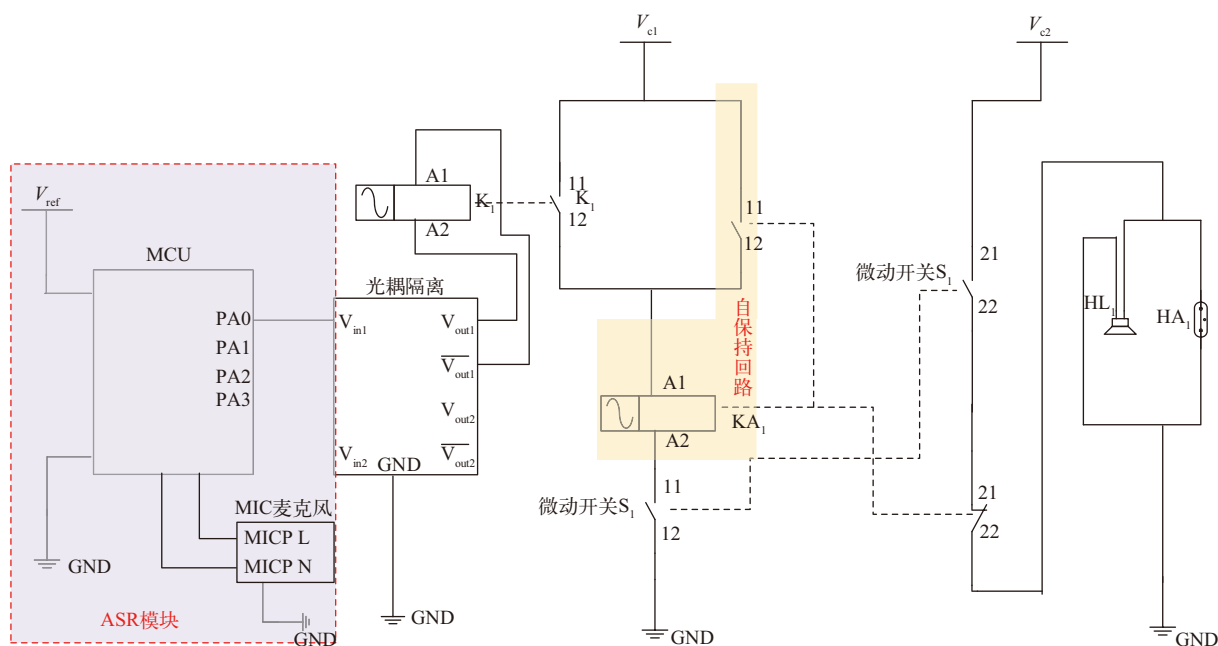


图2 控制电路图

Fig.2 The control circuit diagram

根据装置需求和原理设计，该装置的基本工作原理主要分为以下四种工作模式。

模态1：工作人员进入高压室后，走到待工作间隔并打开控制柜柜门，门微动开关 S_1 （21、22）导通，中间继电器 KA_1 常闭节点 KA_1 （21、22）处于导通状态，可编辑语音播放组件 HA_1 循环播放设定语音“请口述本间隔名称”，同时频闪光警示灯发出频闪光。

模态2：工作人员说出该设备间隔名称关键词后，ASR模块接收语音信息并进行识别处理，同时匹配语音数据库信息。当匹配成功后，ASR模块输出高电平脉冲信号，驱动执行继电器 K_1 动作， K_1 节点（11、12）导通，门微动开关 S_1 （11、12）处于导通状态，中间继电器 KA_1 磁回路导通而瞬间吸合。 KA_1 自保持节点（11、12）使 KA_1 始终处于吸合导通状态，ASR脉冲高电平消失后，也能使之正常吸合。此时，告警回路常闭节点 KA_1 （21、22）断开，循环播放语音和频闪光同时关闭。间隔

已确认，工作人员可以开展工作。

模态3：工作人员工作完毕后，关闭控制柜柜门，门微动开关 S_1 （11、12）断开，中间继电器 KA_1 磁回路断开，使装置整体复归。

模态4：工作人员走到待工作间隔并打开控制柜柜门，循环播放语音和频闪光提示工作人员确认待工作间隔，工作人员发现走错间隔，随即关闭控制柜柜门，门微动开关 S_1 （21、22）断开，循环播放语音和频闪光同时关闭，防止了工作人员误操作。

2 关键组件设计

为了验证本文提出的基于ASR技术的防误操作保护装置的可行性，拟搭建一台实物样机。通过模块性能和经济性对比，最终选取以下方案作为装置的部件参数。

2.1 ASR模块

ASR模块是整个装置的核心检测部件，使用

麦克风获取外部语音信息,利用数字信号处理器对接收到的语音信号进行降噪处理,同时优化语音信号的质量。首先对降噪后的语音信号进行特征提取。同时,将处理信号分割为短时帧,从中提取有用的频谱特征和声学特征,并转换为特征向量,将识别出的语音按顺序拼接为文本。ASR模块设置关键词词库,对识别文本与关键词进行匹配,匹配成功后,数字处理器输出高电平,对外部继电器进行控制。

本文所设计的防误操作保护装置采用的ASR模块配置继电器外接接口,通过驱动元件和电路设计,可实现外扩继电器的节点控制。最后,模块软件采用简易的语言程序配置,通过USB控制芯片CH340K和数据线进行程序烧制,如图3所示。

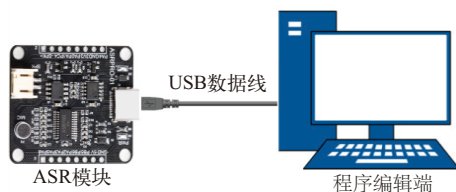


图3 程序烧录过程

Fig. 3 The program burning process

2.2 继电器和微动开关

本文所设计的防误操作保护装置使用一个ASR模块执行继电器 K_1 和一个中间控制继电器 KA_1 。由于ASR模块执行继电器与ASR模块采用同一个供电电源,节点为一个常开和一个常闭节点(测试样机需要测试四个端口的性能,因此设置四路继电器进行测试,实际应用为一路线继电器)。中间控制继电器 KA_1 与可编辑语音播放组件 HA_1 、频闪光警示灯 HL_1 采用同一个供电电源。

所设计装置中微动开关 S_1 安装在开关设备柜门上,在开闭柜门时,实现整个声光报警组件的开关。所用微动开关需结合金属支架牢固安装在柜门内侧,所用节点为两个常开节点。

2.3 可编辑语音播放组件和频闪光警示灯

本文所设计的防误操作保护装置拟采用一个可以编制语音文件的上电循环播放组件。该组件通过将录制好的MP3语音文件存储到播放组件

中,并设置所需播放模式和播放音量。采用文本转语音软件生成循环提示语音“请口述本间隔名称”,并拷贝到组件存储器,播放模式为循环可间断模式。

所设计装置拟采用一个频闪警示灯与可编辑语音播放组件并联使用,两个装置组成声光结合告警模块。

3 实物验证

为了验证该装置的可行性,搭建了一套基于ASR技术的GIS防误操作保护装置实物样机,如图4所示。为该实物样机的组件参数见表1。

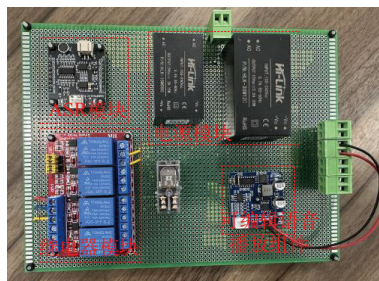


图4 实物样机

Fig. 4 The physical prototype

表1 实物平台的组件参数

Tab. 1 The component parameter of the physical platform

名称	型号	电源驱动	功率/W
ASR	ASRPRO	DC 5V	<2.5
K_1	JQC-3FF-S-Z	DC 5V	<5
KA_1	OMRON G2R-2	DC 12V	<15
S_1	DZ-10GW-1B	-	<15
HA_1	JR90	DC 5V	<2
HL_1	LTE-5051J	DC 12V	<5

为了测试样机的可行性,本文对样机的语音识别准确率进行了测试和数据统计。分别对PA0~PA3四路端口进行100次语音识别实验,通过语音输入并检测继电器区启动情况,可测试语音识别准确率。ASR模块四路输出端口语音识别率统计见表2。从表2中看出,PA1端口识别率达到100%,其余三路端口识别率在98%以上。结合现场实际,语音识别过程受环境噪声、口述者声音、语调、声速和咬字影响,ASR模块平均识别率在98%以上。

表 2 端口语音识别率统计

Tab. 2 Speech recognition rate statistics of ports

实验次数	1	2	3	4	5	6	...	97	98	99	100	识别次数
PA0 口	√	√	√	√	√	√	...	√	√	√	√	99
PA1 口	√	√	√	√	√	√	...	√	×	√	√	100
PA2 口	√	√	√	√	√	√	...	√	√	√	√	98
PA3 口	√	√	√	√	√	√	...	√	√	√	√	99

说明：√ 表示从端口语音识别成功并触发高电平；× 表示端口语音未识别成功并触发高电平

为了测试样机的语音识别响应速度，本文对样机的语音识别响应时间进行了测试和数据统计。采用示波器对PA0~PA3四路端口进行了20次语音识别响应时间测量。ASR模块其中一路端口的语音识别响应波形如图5所示。其中，语音接收时刻为口述者输出语音的时刻，不易通过麦克风电信号直接读取。本文采用模拟方式，口述者完成语音时刻，手动触发开关，触发高电平代表语音接收时刻。脉冲切换时刻为输出口电平转换时刻，此时ASR模块完成识别并输出。两个时刻的时间差值为ASR模块的响应时间，从图5中波形可以看出时间约为460 ms。20次语音识别端口响应时间统计见表3，ASR响应时间在300~500 ms之间，满足装置对语音识别响应速

度的需求。

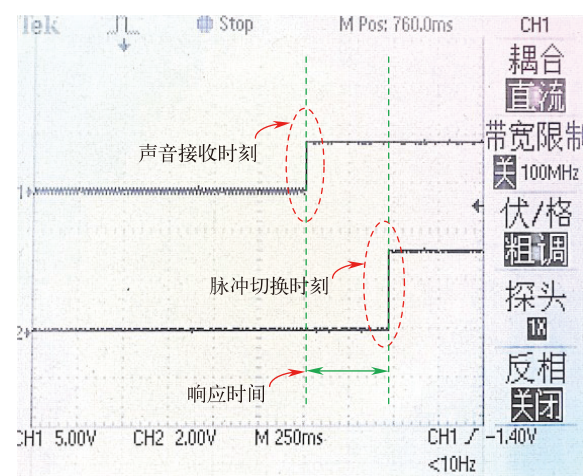


图 5 语音识别响应速度测试

Fig.5 The speed test of speech recognition response

表 3 端口语音识别响应速度测试

Tab. 3 The speed test of speech recognition response of ports

实验次数	1	2	3	4	5	6	...	17	18	19	20	平均值
PA0 口响应时间	350	440	370	465	365	396	...	404	432	397	475	435
PA1 口响应时间	427	460	390	367	428	389	...	365	426	423	330	458
PA2 口响应时间	375	347	430	435	428	345	...	398	400	342	430	395
PA3 口响应时间	320	354	415	438	347	364	...	432	347	475	436	453

4 结束语

本文针对电气设备误操作事件频出的问题，提出了一种基于自动语音识别技术的防误操作保护装置，并通过一台实物样机验证了其实用可行性。对比传统报警装置，该系统具备以下特性：

1) 借用可编辑ASR模块，并根据现场需求更新关键词库，可应用于不同间隔和设备的防误操作告警和提示。

2) 所采用的ASR模块自带降噪和语音清晰背景处理功能，可快速响应间隔确认命令，对检修和操作工作不造成影响。

3) 结合传统的微动开关和继电器，控制方式简单、易操作。

4) 循环报警装置采用可编辑语音模块和频闪光警示灯的声光结合，防止误操作性能更可靠。

参考文献

- [1] 朱玛, 商钰, 刘学. 基于拓扑分析的变电站防误操作方法[J]. 电子器件, 2021, 44(5): 1165-1169.
- [2] 李泽荣, 刘文博, 魏琴梅, 等. 故障恢复操作票系统的研究与开发[J]. 电气应用, 2014, 33(9): 76-81.
- [3] 曾军. GIS全封闭式组合电器安装和关键工艺控制点[J]. 水泥工程, 2022(2): 65-67.
- [4] 秦晓宇, 吕寻浩, 陈玉, 等. 高寒地区GIS的适应性研究[J]. 高压电器, 2021, 57(6): 72-78, 85.
- [5] 余屹林. GIS全封闭组合电器设备的安装及注意事项[J]. 上海节能, 2021(5): 508-511.
- [6] 邵利民, 吴展锋, 崔亚博. 特高压交流变电站500 kV GIS母线压变异常原因探析[J]. 电工技术, 2019(5): 80-81.
- [7] 周军. 变电断路器防误操作安装的改进方法[J]. 自动化应用, 2018(8): 114-115.
- [8] 李凡, 曹建伟. 220 kV变电站主变压器泡沫喷淋灭火系统防误操作控制方案研究[J]. 电气应用, 2016, 35(15): 45-49.
- [9] 孔德鑫. 变电运维误操作事故的预控对策分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41(10): 352-353.
- [10] 张广龙. 变电运维中顺序控制及防误技术优化应用[J]. 产业创新研究, 2024, 10(20): 124-126.
- [11] 石亚威. 变电站五防闭锁装置的故障分析及应用策略[J]. 光源与照明, 2022(10): 161-163.
- [12] 滕井玉, 金岩磊, 王言国, 等. 新能源电站集控中心统一综合防误系统[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(11): 157-162.
- [13] 王巍琴. 35 kV变电站微机“五防”系统应用[J]. 自动化应用, 2024, 65(03): 204-205, 214.
- [14] 李宽宏. 变电站二次设备防误风险管控系统实现方案[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(17): 95-101.
- [15] CUI Mingde, LUO Jin, LI Feifei. Research and realization of visual anti-misoperation system of substation based on image recognition technology[C]. 2014 International Conference on Power System Technology (POWERCON 2014), 2014(5): 2498-2503.
- [16] LIN Chuan, XU Qifeng. Risk assessment of substation integrated anti-misoperation system considering human reliability[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2023, 38(3): 2022-2033.
- [17] 樊陈, 倪益民, 窦仁晖, 等. 智能变电站五防闭锁功能模型标准化设计及实现[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(4): 80-84.
- [18] 孙琛, 陈宁. 新一代集控系统一键顺控防误操作技术研究[J]. 电力与能源, 2024, 45(5): 594-598.
- [19] 穆天博. 智能变电站综合防误技术的设计与实现[J]. 电力设备管理, 2024(18): 35-37.
- [20] 李智欢, 管霖, 魏略, 等. 电气设备防误操作系统的设计与开发[J]. 数字技术与应用, 2024, 42(8): 235-237.

作者简介

杨杰 (1990—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为电力电子及其在GIS组合电器中的应用。

(收稿日期: 2024-12-03)