

# The Research and Application of Power Distribution Automatic Detection Device

Fei Deng<sup>1</sup>, Shibin Liang<sup>1</sup>, Qingsheng Tian<sup>1</sup>, Yuan Wang<sup>2</sup>, Yi Zhang<sup>3</sup>, Jian Xu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Yunnan Electric Power Test & Research Institute Group CO., Ltd, Kunming Yunnan

<sup>2</sup>Graduate Workstation, Yunnan Power Grid Co., Ltd, Kunming Yunnan

<sup>3</sup>Hunan Willfar Information Technology Co., Ltd, Yiyang Hunan

Email: feigeoffice@163.com

Received: Nov. 16<sup>th</sup>, 2018; accepted: Dec. 3<sup>rd</sup>, 2018; published: Dec. 10<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In order to regularize fault indicator's standard, ensure product quality, and improve detection efficiency, we develop the Automatic Detection Device, and fulfill the automatic and mass detection. The paper introduces the testing principle, mixes the technology of image recognition and simulating current and voltage, analyses the each component and detection procedure, and verifies the validity and accuracy. The device has been applied in the power grid access detection, the arrival sampling and so on, which provides important technical support for distribution network in Yunnan.

## Keywords

Fault Indicator, Automatic Detection, Image Recognition, Current and Voltage Simulation, Fault Detection

---

# 配电线路故障在线监测装置自动化检测技术的研究与应用

邓 飞<sup>1</sup>, 梁仕斌<sup>1</sup>, 田庆生<sup>1</sup>, 王 渊<sup>2</sup>, 张 义<sup>3</sup>, 许 健<sup>3</sup>

<sup>1</sup>云南电力试验研究院(集团)有限公司, 云南 昆明

<sup>2</sup>云南电网有限责任公司研究生工作站, 云南 昆明

<sup>3</sup>湖南威胜信息技术有限公司, 湖南 益阳

Email: feigeoffice@163.com

收稿日期：2018年11月16日；录用日期：2018年12月3日；发布日期：2018年12月10日

## 摘要

为了规范故障指示器标准，保证产品质量，提高检测效率，研究了配电线路故障在线监测装置，实现了自动化的批量检测。本文详细介绍了装置的检测原理，结合图像识别、电流电压模拟等技术，对各个部件及检测流程进行了详细的分析，验证了装置的有效性及准确性。此自动检测装置已经应用于云南配电网故障指示器的入网检测、到货抽检等，为云南的配网建设提供了重要的技术支持。

## 关键词

故障指示器，自动检测，图像识别，电流电压模拟，故障检测

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

配网自动化已成为我国电力行业研究发展的重点之一[1]，故障指示器在配网自动化中也得到了广泛的应用[2] [3] [4]。在大量的运用过程中，为了提高故障指示器的应用效果，学者们也对故障指示器做了大量的研究，[5]从故障指示器的经济性配置出发，提出了基于免疫算法的最优配置，降低了设备安装和运行成本；[6]通过细菌觅食算法来建立分析数学模型，并针对细菌觅食算法存在的缺陷，通过定义进化域的前进方向优化了算法，优化了故障指示器配置，降低了成本；周强辅等通过拓扑分析和计算，查找故障位置并及时发送给运维人员，节省了故障排查时间[7]。

随着配网自动化的发展，配电线路故障定位和在线监测类设备的种类越来越多，故障指示器的应用越广泛，出现了传统的架空型故障指示器、录波型故障指示器、电缆型故障定位装置等等，功能更加强大，性能要求更高，应用规模越来越大。然而现在市场上的故障指示器种类繁多，质量参差不齐，实际的应用环境复杂多变，导致故障指示器短路、接地故障不翻牌及误动情况时有发生[8] [9]，严重影响线路故障点的定位[10]。为此，为了提高故障指示器质量，必须对故障指示器进行规范化测试，广西电科院对此也进行了研究[11]。

故障指示器作为电气产品挂网运行，在安装前应该进行标准的电气试验测试，但目前国内并没有出台试验标准；并且，随着故障指示器的广泛使用，其人工检测的传统方法效率低下，实现不了大批量的产品测试。针对以上两个问题，云南电力试验研究院(集团)有限公司在国家电力行业标准[12]要求的基础上，制定了云南省地方标准[13] [14] [15] [16] [17]，从而从源头上进行了规范；在此地方标准的基础上，进一步开展了配电线路故障在线监测装置自动化检测(以下简称“自动检测装置”)的技术研究与应用，能够实现大批量的产品测试，大大提高检测效率，能够针对故障指示器的通信规约、功能性能等进行检测，可以广泛应用于招标采购、入网、到货抽检、验收和日常检测等方面，对于提升配电线路故障定位项目的建设质量、保障运行管理，具有重要意义。

## 2. 自动检测装置的检测原理

自动检测装置的检测原理如图 1 所示，通过控制单元建立各类检测方案，检测方案的具体测试项目

可以编辑，每一个项目包括输入与预期结果等；即在进行测试时，先将故障指示器批量挂入模拟输出线圈回路中，通过控制单元选择方案启动测试后，装置自动下发测试模型控制升流升压装置，自动模拟输出所需的短路、接地、防误动等故障波形，同时控制单元获取被测故障指示器的遥测、遥信数据，结合图像识别动作情况，来判断各项是否合格，最后输出详细的测试报告。

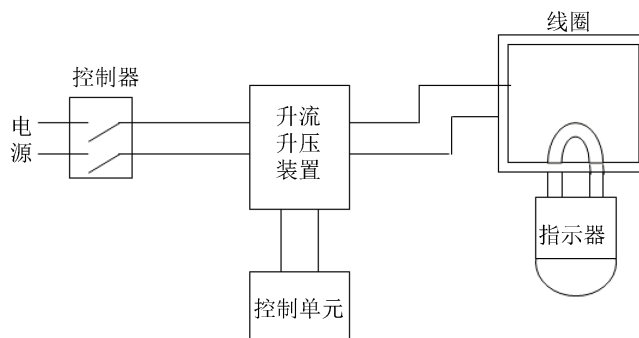


Figure 1. Schematic diagram of automatic detection device  
图 1. 自动检测装置原理图

## 2.1. 系统框图

整个自动检测装置系统，实现了使用低成本、小容量的设备来实现大电流高电压的输出。在进行测试时，先将故障指示器批量挂入模拟输出回路中，通过控制单元控制升流升压装置，模拟故障电流，通过通信规约采集等方式，收集、记录故障定位装置在模拟线路的状态及相关数据，结合图像识别摄像头进行图像处理，自动输出测试结论。系统可设定状态序列，并自动调节升压、升流装置的输出电压、电流值，模拟各类线路运行情况，如短路故障模拟试验、接地故障模拟试验、负荷波动防误动试验、变压器空载合闸涌流防误动试验、线路突合负载防误动试验、人工投切大负荷防误动试验、非故障相重合闸防误动试验、自定义波形试验、图像识别故障定位装置状态、自动报表等。其装置的系统组成框图如图 2:

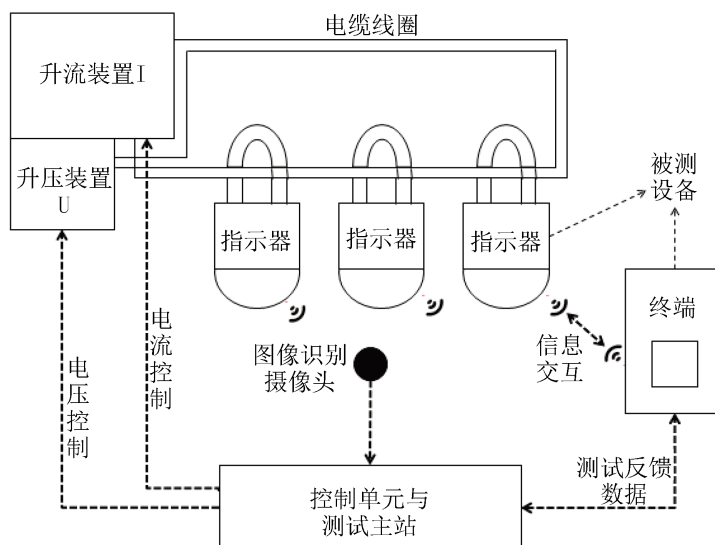


Figure 2. System chart of Automatic Detection Device  
图 2. 自动检测装置的系统框图

如图 2 所示, 控制单元与测试主站是整个检测装置的核心。自动检测时, 控制单元按照设定方案同步控制电流源与电压源, 模拟各种测试项目所需的电流和电压, 实现各种试验波形输出; 同时测试主站持续通过图像采集、通信规约采集等方式, 收集、记录被测设备在各测试项目下的运行情况与数据, 并自动给出测试结论。

## 2.2. 电流电压模拟系统

自动检测装置通过电流电压模拟系统, 运用高精度程控电源, 实现了一种低成本小容量的方案实现大电流高电压输出, 且输出的电流电压时间可以任意设置, 电流电压的输出精度可以达到 1%, 电流输出角度, 突变角度可以灵活设定, 电压和电流同步在 10 ms 之内。其电流电压模拟系统的原理如图 3 所示。

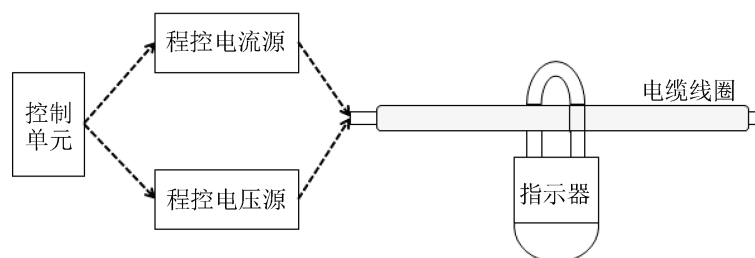


Figure 3. Schematic diagram of large current and high voltage output from low cost and small capacity

图 3. 低成本小容量的方案实现大电流高电压输出原理图

如图 3 所示, 采用电压电流分不同设备输出, 然后通过特殊工艺电缆把电压和电流叠加到同一根电缆上, 这样故障指示器在检测的时候既可以感应电流也可以感应到电压信号, 同时通过控制单元实现电压和电流信号之间的同步。首先把电压和电流拆开到两个不同的设备输出, 这样电压设备输出的电压, 电流设备输出的电流都可以做到很大, 但是设备的容量、体积却得到极大的减小, 控制单元的运用又保证了电压和电流的同步。

控制单元: 控制单元是电流电压模拟系统的大脑, 控制整个系统的有序运行, 通过下发各种时间、电流大小、电压大小、相位等参数, 使得在电缆上组合出各种故障特征的波形。

程控电流源: 电流源负责大电流的输出, 最大输出为 1000 A。由于电流源外接的电缆存在内阻, 特别是接头部分的接触电阻还远大于电缆的电阻, 为了能够让电流源能够带动足够大的负载, 且不对人身安全造成威胁, 电流源的输出电压控制在 15 V 以下。电流源输出电流大小、时间、相位可以远程控制。

程控电压源: 电压源负责高电压的输出, 最大输出为 10 kV。由于电压高, 所以对电流严格控制小于 50 mA, 当出现电流超过 50 mA, 立马停止电压的输出, 防止意外情况发生。电压源输出电压的大小和时间可以远程控制。

## 2.3. 电缆线圈

故障指示器工作的环境是电流和电压混合, 要模拟这样的环境, 那么就需要把电压源和电流源两个设备的输出合二为一。但是电流源输出电压只有 18 V, 在耐压方面承受不了电压源输出电压, 如果直接把两个设备的输出叠加到一起, 势必会造成设备的损坏, 所以电缆需要经过特殊的处理, 让挂载到电缆上的指示器既可以感应到电压和电流型号同时两个设备之间又不相互干扰。其电缆构造如图 4 所示。

由图 4 可看出, 电缆的最里层为铜棒, 为电流的流进通道, 最外层为铜管, 为电压的流进通道, 中间为绝缘层, 绝缘层要求有 20 kV 的耐压能力。要求外层铜管两端的长度比中间绝缘层的长度都短 100 mm, 中间的绝缘层完全包裹住里层的铜棒, 这样电压和电流回路就完成独立, 但都集合到了一根电缆上。

制作时首先按照自己需要的长度截取铜棒，然后再外层套上绝缘层，通过加热的方式，让绝缘层热缩，并抱紧铜棒，最后把热缩好的铜棒穿过铜管在用一小节绝缘层套在两端并热缩，这样就把铜管固定了。把电缆的铜棒和电流源的输出对接，铜棒上的铜管和电压源的输出对接，这样挂载到电缆上的指示器既可以感应到电压信号和电流信号，而设备的容量和体积却得到了极大的减小。

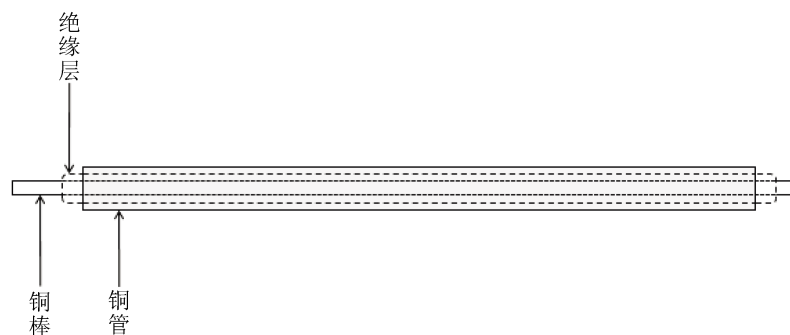


Figure 4. Structural map of cable  
图 4. 电缆线圈构造示意图

## 2.4. 测试主站

测试主站与通信终端之间建立了双向的信息反馈机制，主站可以对终端进行遥设功能(设置复归时间、心跳周期、突变电流值、突变延时等功能)和遥调功能(翻牌、复归)，终端可以上报遥信(故障遥信、通讯异常、电池欠压等)和遥测(电流值、电压值、信号强度等)到主站。通信终端与故障指示器之间通过无线 433 MHz 频段来进行信息交互，终端把主站下发的指令发传递给指示器，指示器把采集到的各类信息传给终端，再由终端上报给主站。主站与通信终端、故障指示器之间的通信过程如图 5 所示。

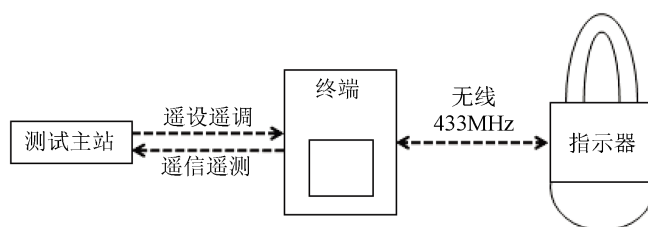


Figure 5. Process of communication between test system and terminal  
图 5. 测试主站与终端的通信过程

测试主站遵循了云南省地方标准[16]，严格依照标准中规定的数据传输的帧格式、数据编码及传输规则，适用于点对点、点对多点的通信方式，适用于主站对终端执行主从问答方式以及终端主动上传的通信方式。此主站能够对远方终端设备采集的信息进行分析处理，具备故障报警、信息展现、查询统计、维护管理等功能。

## 3. 检测流程

此自动检测装置可以实现自动检测，无人值守，大大节省了工作量，其自动检测流程如图 6 所示。

自动检测装置可以实现系统配置、故障试验(短路、接地、防误动)、电流精度测试和通信规约一致性测试等内容，这些环节都是通过控制单元与测试主站自动控制实现，配合图像识别功能，实现高效的检测过程。

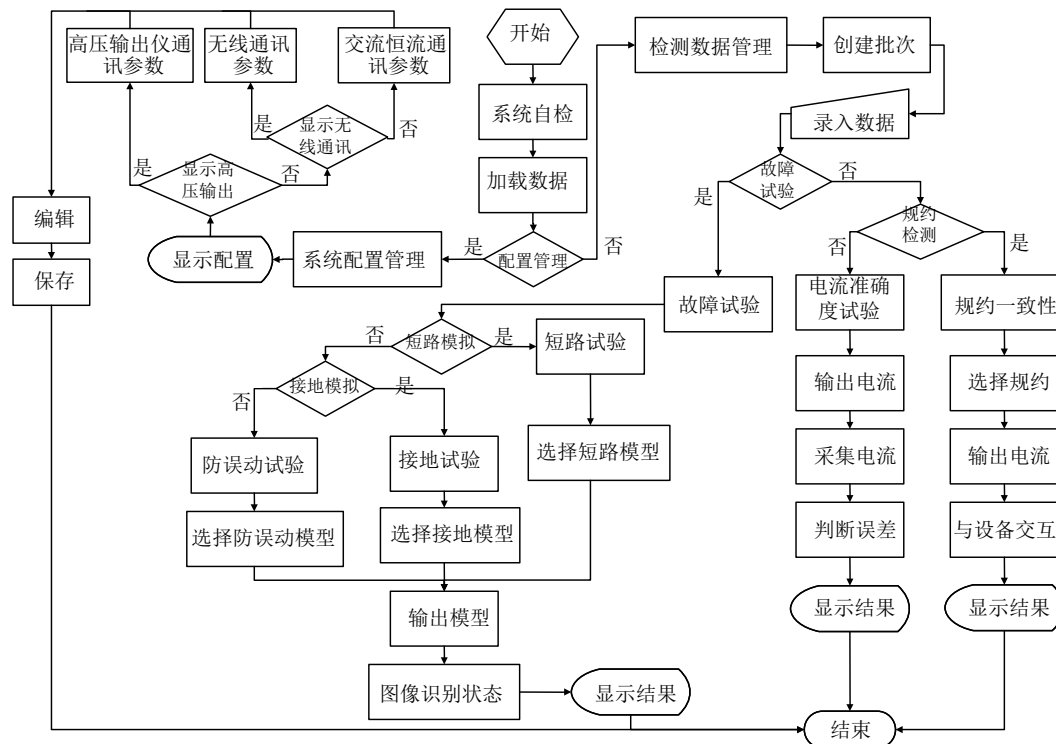


Figure 6. Flow chart of automatic detection  
图 6. 自动检测流程

### 3.1. 系统配置

在开始测试工作时，可以对测试方案进行个性化配置，根据试验需要配置所需的试验内容。系统可以灵活配置短路模型、接地模型、防误动模型，设置升流装置、升压装置的各项参数，设定电流精度、通信规约的输出电流值，选择摄像头是否启动图像识别功能，根据不同是试验内容配置不同的试验方案并保存，避免了后续试验重复性的配置工作。

### 3.2. 故障试验

进行短路故障试验时，设备通过控制单元控制升流、升压装置，输出所需的短路模型，但短路波形完成以后，通过摄像头观察故障指示器是否翻牌，并通过图像识别技术进行分析处理，再结合测试主站与通信终端进行信息交互，查看主站是否收到故障遥信。通过以上两个环节进行比对，要同时满足“翻牌 + 上报故障要求”，系统就自动判定此项试验成功，否则失败。接地故障试验同理于短路故障试验。

进行防误动试验时，也是通过控制单元控制升流、升压装置输出相应的模型，然后通过摄像头观察故障指示器是否翻牌，再与测试主站进行比对。与短路、接地试验不同的是，此项的判断依据是“不翻牌 + 不上报故障要求”，从而来判断防误动试验是否成功。

### 3.3. 电流精度试验

为了保证自动检测装置的准确性，输出的电流是否准确起到了决定性的作用。所以，装置还设计了电流精度测试的功能模块，在正常环境温度下，将指示器接入模拟回路中并施加正常负荷电流，负荷信息主动上送测试主站，主站通过分析电流大小，并与标准值进行比较自动判断测量误差是否满足检测要求，以检验故障指示器线路电流采样的精度。

### 3.4. 通信规约一致性测试

在开始通信规约测试时,自动检测装置会通过测试主站检测通信终端设备是否上线,当确认通信终端设备上线后才能开始通信规约测试。然后主站会检测终端是否上报校时、总召信息,然后依次进行遥信(短路故障遥信上报、接地故障遥信上报、通讯异常遥信上报等)、遥测(电流值、电压值、信号强度等)、遥设(设置复归时间、心跳周期、突变电流值、突变延时等功能)和遥调功能(翻牌、复归)检测,通过主站与终端间的信息交互比对,结合必要的图像识别技术,自动完成通信规约测试。

## 4. 运用效果

### 4.1. 检测能力

当采用传统的人工检测方法,完成一组终端的短路故障、接地故障、防误动、通信协议等测试工作时,一般需要2个工作日;然而,使用自动检测装置开展相同试验时,70分钟即可完成任务,明显缩短了每组终端的检测时间。

对于传统的方法,每次只能检测1组设备,而采用自动检测装置方法,每次可以同时检测12组设备,检测时间更加节约,大约5个小时即可完成。

在一整年度中,采用传统的人工方法,年检测量183组,检测效率低下,满足不了日益增长的指示器检测需求;使用自动检测装置开展试验,完成检测后会自动生成检测报告,其检测能力可以达到21,000组/年,其检测能力提高了50倍以上。

### 4.2. 线路电流精度功能试验

为了保证自动检测装置的准确性,通话系统配置了10 A、20 A、50 A、100 A、200 A、300 A、400 A、500 A、600 A的电流输出值,然后通过装置检测到的值与标准值进行比较。起结果如表1所示。

**Table 1.** Test table of current accuracy

**表 1.** 电流精度测试表

序号	标准值(A)	测量值(A)	误差
1	10	10.36	+0.36A
2	20	20.40	+0.4A
3	50	50.49	+0.49A
4	100	100.15	0.15%
5	200	200.85	0.425%
6	300	300.60	0.2%
7	400	398.91	-0.2725%
8	500	497.70	0.46%
9	600	597.25	0.458%

从以上测试结果可以看出,自动检测装置的电流精度满足 $\pm(0.5\% \text{red} + 0.5 \text{ A})$ 的要求,说明此装置的准确性达到精度要求。

### 4.3. 输出波形准确性测试

以一输出波形为例,对批量化自动检测装置按照下面参数进行设置,测量输出波形的准确性。其波形图如图7所示。

共 3 段电流波形:

- 1) 输出 10 A, 持续 60 S;
- 2) 然后跳变到 200 A, 持续 10 mS;
- 3) 再停止输出。

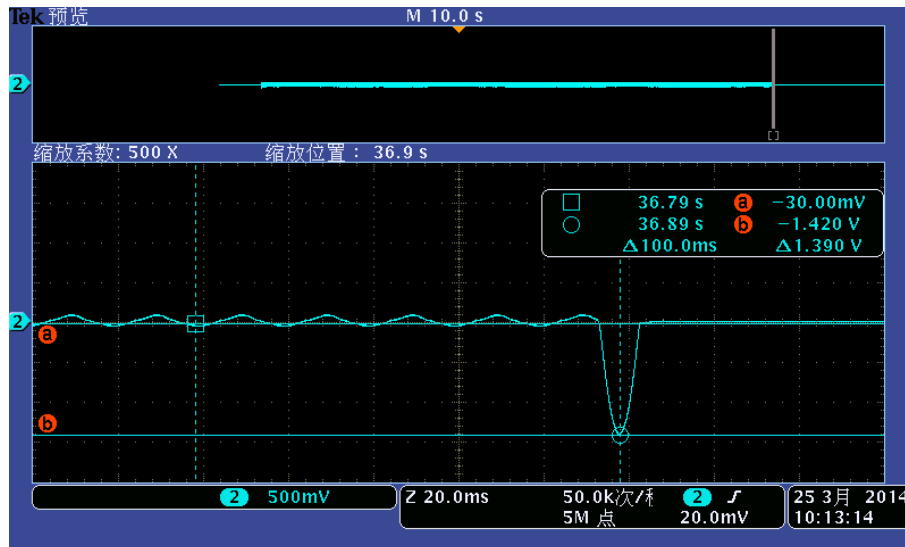


Figure 7. Waveform of example  
图 7. 示例波形图

由上图波形图可以看出, 波形, 可见高速跳变。(电流有效值 = 波形峰值 \* 200/1.4, 波形 B 点处电流有效值为 198.5 A), 其输出的波形正常。

## 5. 结论

通过实际应用效果, 可以看出本自动检测装可实现高效、可靠的全自动检测, 具备以下特点。

1) 实现了全自动化检测。通过图像识别方法, 自动判别故障指示器翻牌情况, 并与主站后台进行交互, 确认故障信息上报情况, 最终自动判断故障试验是否成功。

2) 检测对象范围广。自动检测装置支持批量、自动检测单个厂家或多个厂家的设备, 支持检测成套设备(故障指示器与通信终端)或单独检测故障指示器。未启用“图像识别”功能时, 一次性可以检测指示器 20 组; 启动“图像识别”功能: 可以一次性检测故障指示器 12 组。

3) 检测方案可配置。自动检测装置支持各种功能、性能测试项目, 可灵活选择所需的测试项目组成特定的检测方案, 或对预设检测方案进行删减, 形成新的检测方案。

4) 检测项目全面。自动检测装置支持各种功能、性能测试项目, 测试项目全, 涵盖了目前故障指示器产品的主要功能, 包括短路故障检测、接地故障检测、防误动检测、线路负荷精度检测、通信规约测试等等。

5) 试验波形可编程。自动检测装置存储有丰富的测试项目, 且测试项目的试验波形可编程, 如电压、电流、幅值、持续时间等参数都可以修改。

6) 运行安全防护性高。自动检测装置的输出电压、电流、功率、相位、频率、电能均为数字显示, 具有电压短路、电流开路自动报警切断、保护和指示功能。检测过程中, 有相应警示, 以及急停开关、安全防护门、安全光幕等安防措施。



目前,自动检测装置已经投入使用,用于检测通信终端和故障指示器的通信规约、功能性能等功能,可以广泛应用于招标采购、入网、到货抽检、验收和日常检测等方面,具备1万组/年的检测能力。此设备的研究与应用,对故障指示器的入网质量进行了把关,能够保证配电线路故障指示器的稳定运行,实现了高效、可靠的全自动批量检测,为云南配网设备采购、评标、到货验收等环节提供重要的质量保证。

## 参考文献

- [1] 张强,张伯明,李鹏. 智能电网调度控制架构和概念发展述评[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(12): 1-6.
- [2] 张彩友. 单相接地故障指示器技术现状分析[J]. 电网技术, 2007(s2): 280-283.
- [3] 徐荣明. 一种基于故障指示器的配电线路故障自动定位系统[J]. 电力设备, 2005, 6(10): 66-67.
- [4] 苏浩益,贺伟明,吴小勇,等. 10kV 电缆故障指示器应用研究[J]. 南方电网技术, 2014, 8(1): 85-88.
- [5] 陈煦斌,秦立军. 配网故障指示器最优配置研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014(3): 100-104.
- [6] 孔涛,贾明娜,怀浩,等. 基于细菌觅食算法的故障指示器优化配置研究[J]. 电测与仪表, 2017, 54(6): 1-6.
- [7] 周强辅,屈莉莉,李斌银,吴茂. 基于故障指示器的配电线路故障自动定位系统研发[J]. 南方电网技术, 2010, 4(5): 96-98.
- [8] 张斌,袁钦成,袁月春,等. 配电线路故障指示器现状分析[J]. 供用电, 2005, 22(5): 29-30.
- [9] 张大立. 配电故障指示器的应用及发展[J]. 电气应用, 2008, 27(5): 53-55.
- [10] 张功林,林韩,张榕林,等. 配网发展若干问题探讨[J]. 电力与电工, 2009, 29(4): 8-9.
- [11] 李克文,张大立,高立克,等. 配电线路故障指示器测试仪的设计[J]. 广东电力, 2013, 26(8): 78-85.
- [12] DLT 1157-2012 配电线路故障指示器技术条件[S].
- [13] DB53/T 813.1-2017 配电线路故障指示器及定位系统技术规范第 1 部分: 主站[S].
- [14] DB53/T 813.2-2017 配电线路故障指示器及定位系统技术规范第 2 部分: 监测终端[S].
- [15] DB53/T 813.3-2017 配电线路故障指示器及定位系统技术规范第 3 部分: 工频信号源[S].
- [16] DB53/T 813.4-2017 配电线路故障指示器及定位系统技术规范第 4 部分: 远动协议[S].
- [17] DB53/T 813.5-2017 配电线路故障指示器及定位系统技术规范第 5 部分: 系统集成[S].

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2332-6980, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [iae@hanspub.org](mailto:iae@hanspub.org)