

# 配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统

卢仁军<sup>1</sup>, 王力<sup>2</sup>, 孙兴华<sup>3</sup>

(1. 国网江苏省电力公司泰州供电公司, 江苏泰州 225300;

2. 国网江苏省电力公司靖江市供电公司, 江苏泰州 214500;

3. 国网江苏省电力公司泰州市姜堰区供电公司, 江苏泰州 225500)

**摘要:** 为解决当前遥测终端隐蔽故障检测系统存在的实时性差、能耗高及检测准确性低等问题, 提出设计一种配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统; 通过分析遥测终端隐蔽故障检测系统硬件框架, 对电参数测量单元、无线通讯单元、时钟单元、温度采集单元及电源单元等系统硬件部分进行改进, 优化开发软件部分主程序、数据采集程序及故障检测程序, 完成配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统的设计; 实验结果表明, 该系统对隐蔽故障的检测准确性高, 实时性好, 检测能耗低。

**关键词:** 配电网; 自动化; 遥测终端; 隐蔽故障检测; 系统设计

## Hidden Fault Detection System for Automatic Telemetry Terminal in Distribution Network

Lu Renjun<sup>1</sup>, Wang Li<sup>2</sup>, Sun Xinghua<sup>3</sup>

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Taizhou Electric Power Company, Taizhou 225300, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company Jingjiang Electric Power Company, Taizhou 214500, China;

3. State Grid Jiangsu Electric Power Company Taizhou Jiangyan Electric Power Company, Taizhou 225500, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of the real-time detection, the high energy consumption and the low accuracy of the telemetry terminal hidden fault detection system, a design of a hidden fault detection system for the telemetry terminal of distribution network is proposed. Through the analysis of the hidden fault detection system of remote terminal hardware frame of hardware, electrical parameter measurement unit, wireless communication unit, clock unit, temperature acquisition unit and power supply unit and other parts of the system are improved, the optimization software part of the main program, data acquisition program and fault detection program, complete the design of power distribution automation remote terminal hidden fault detection system. The experimental results show that the system has high accuracy, good real-time performance and low energy consumption for detection of hidden faults.

**Keywords:** distribution network; automation; telemetry terminal; hidden fault detection; system design

## 0 引言

配电网自动化遥测终端是集数据采集、数据传输、数据存储为一体的多功能器件<sup>[1]</sup>, 适用于太阳能发电监测等方面, 能够最大程度地减少太阳能发电的成本, 降低施工难度, 在气象、水文水利、地质等行业已被广泛应用<sup>[2]</sup>。配电网遥测终端是电力系统中重要设备之一, 一旦发生故障, 则会使电力系统的安全受到威胁<sup>[3]</sup>。遥测终端各组件易产生隐蔽故障, 现有的故障检测系统难以准确出隐蔽故障, 而隐蔽故障均会引起整个配电系统产生故障, 影响电力输送<sup>[4]</sup>。相关专家学者对遥测终端隐蔽故障检测系统进行研究, 已有一定的有效成果, 但传统的故障检测系统的检测准确性较低、能耗较高, 且实时性差, 无法满足隐蔽故障检测需求<sup>[5]</sup>。为此提出改进设计配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统。依据系统硬件整体框架, 对硬件电参数

测量单元、电源单元等进行改进, 优化软件隐蔽故障检测程序, 完成遥测终端隐蔽故障检测系统的设计。实验证明, 该系统检测准确性高, 能耗低, 实时性好。

## 1 遥测终端隐蔽故障检测系统硬件框架分析

配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统, 主要是对配电网的遥测终端, 电压和电流以及温度等参数错误进行检测<sup>[6]</sup>。并通过无线网络和检测中心进行通讯, 将参数实时地传递给检测中心, 并做出及时地处理。检测系统的主要组成部分为: 主控单元、电参数测量单元、蓄电池和充电单元、实时时钟单元、温度采集单元、接口电路单元、无线传输单元以及看门狗单元。则检测系统硬件框架如图 1 所示。

其中主控单元采用的是 8 位单片机 C8051F020, C8051F 系列的单片机是集成模拟和数字信号综合一体的高速单片机。该单片机兼容性高, 具有内部的调试电路, 利用 4 脚 JTAG 接口能够实现全速非侵入式的调试, 能够很好地控制系统能耗。结合配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统硬件设计, 需要单片机控制功能, 选择 C8051F020

收稿日期: 2018-03-06; 修回日期: 2018-03-27。

作者简介: 卢仁军(1978-), 男, 江苏海安人, 高级工程师, 主要从事配电网自动化及智能运维方向的研究。

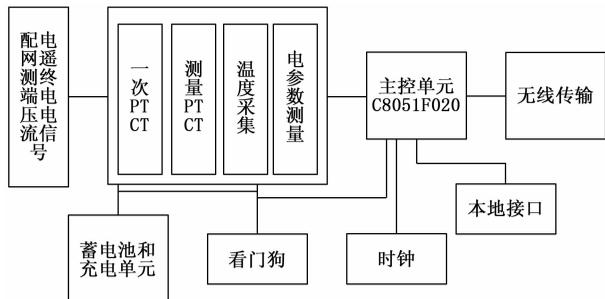


图 1 检测系统硬件框架

作为检测系统核心控制单元, 其中有 64 个可编程 I/O 接口和 64 KB 的 FLASH 存储器, 能够提高系统检测的精度, 满足以后功能扩展需要。

硬件框架分析为配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统硬件部分的改进设计提供充足的理论依据, 使系统硬件设计具有合理性。

## 2 遥测终端隐蔽故障检测系统硬件搭建

依据配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统硬件框架分析, 对系统硬件中的电参数测量单元、无线通讯单元、时钟单元、温度采集单元及电源单元五个主要组成部分进行改进设计, 具体设计过程如下。

### 2.1 电参数测量单元

隐蔽故障检测系统的电参数测量电路, 是利用 CS5463 单一芯片设计而成, 它摒弃了当前的滤波及放大和隔离、A/D 转换等电路中存在的复杂现象。CS5463 作为一款高精度功率测量 IC, 可提高整个系统的检测精度, 能够用在单相、多相多功能的电能表设计中。CS5463 的内部集成了串行口和功率计算, 电能和频率之间的转换等单元, 可较精确地测量瞬时电压和电流, 计算瞬时功率等参数, 同时具有相位补偿和电压下降检测等功能, 利用串行接口实现通讯。另外 CS5463 还具有数字滤波器等性能, 用来实现相移的校准以及偏移的校准。其三相电参数的测量图如图 2 所示。

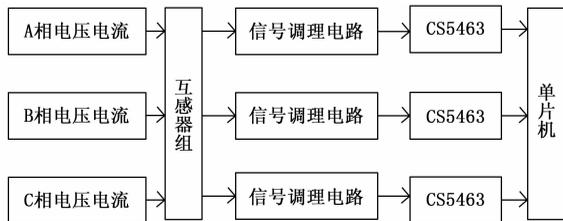


图 2 三相电参数的测量原理

CS5463 可提供一种由信号采集, 至存储及调理滤波, 一直到计算输出集成化的解决方法, 能够简化电路设计, 提高系统稳定性。CS5463 还能够利用成本较低的互感器对电流进行测量, 根据电压互感器测量电压, 节省设计硬件的成本。

### 2.2 无线通讯单元

利用 GPRS/CDMA 1x 网络, 实现遥测终端无线通讯的

设计。其具有运行平稳, 覆盖率高等特点<sup>[7]</sup>。GPRS/CDMA 1x 数据网络中的信道, 能够提供 UDP 和 TCO/IP 连接, 可用于和 Internet 网络连接, 完成数据传输。从开发的成本和开发的周期, 与数据传输的可靠性方面考虑, 直接选取技术已经成熟的公司, 开发数据传输模块。利用对国内各公司的 DTU 产品进行比较, 选取 HT-XDTU 型的 DTU 终端设备。HT-XDTU 作为 HT-XDTU 系列既可降低数据采集成本, 又可兼顾稳定性的产品, 达到降低开发周期和开发成本的目的。利用 GPRS 网络能把和 HT-XDTU 连接的设备数据, 传送至 Internet 上的任意主机中, 完成数据的透明传输。

### 2.3 时钟单元

系统的时钟单元为系统提供时间参考, 方便记录更多的运行数据。选择的实时时钟芯片为 DALLAS 公司的 DS1302, 该芯片的特征有: 工作电压的范围为 2.5 V 至 5.5 V, 能够应用双电源进行供电, 并具有一个主电源、一个副电源, 且可以给副电源充电; 该芯片提供秒至面等实时时间的信息, 具有闰年的补偿功能; 芯片中有 31 个字节 RAM, 能够用来存储时间信息, 利用电路接口和其他模块通信; 封装小, 成本低。DS1302 和主控单元接口电路如图 3 所示。

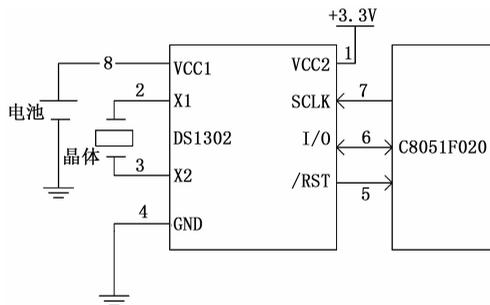


图 3 时钟接口电路

图 3 中, DS1302 主电源的端口, 接的是 3.3 V 电压, 备用电源的端口 VCC1 接的是镍氢电池, 该电池的电压小于 3.3 V, 否则会由电池给 DS1302 供电, 图中的 SCLK 是串行时钟输入的引脚, I/O 是双向数据线, /RST 是复位引脚, 利用 C8051F020 来控制 DS1302 复位。

### 2.4 温度采集单元

遥测终端检测系统温度采集单元, 就是采集遥测终端运行时的温度。将 PT1000 置于遥测终端中, 其次将 PT1000 与温度采集电路进行连接, 为防止干扰或大能量冲击, 系统温度采集部分利用线性光耦 HCNR200 进行隔离, 隔离之后直接进入 C8051F020 的转换单元实现转换。

PT1000 为铂热电阻, 1000 代表在 0°C 时, 阻值是 1000 Ω, 它的阻值随着温度的上升呈匀速增长<sup>[8]</sup>。PT1000 因为测量的准确性高且范围大、稳定性好被应用在该系统中。PT1000 的安装有两线制和三线制以及四线制这三种方式。其中使用两线制方式时, PT1000 电阻的变化值, 和连接的导线电阻值一起组成传感器输出值。这种方式最适合于改

进设计的温度采集单元,因此采用两线制的方式进行温度采集模块的设计。温度采集电路如图 4 所示。

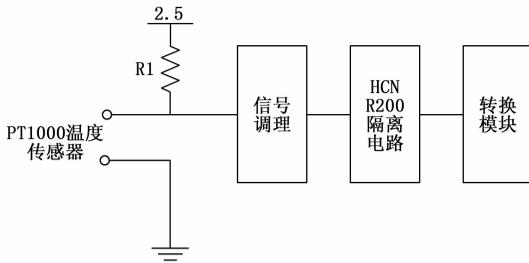


图 4 温度采集电路

图 4 中,分别在 PT1000 与 R1 加上 2.5 V 的恒压源,当温度发生变化时,PT1000 的阻值也随之产生变化,在电压分压方面也会产生变化,根据信号调理电路检测到的 PT1000 电压,实现对电压进行放大及滤波处理,通过 HC-NR200 隔离电路,进入转换器实行转换,将温度值与采集电压值进行分段对应,获得电压换算的温度值。

## 2.5 电源单元

进行遥测终端检测系统设计时,在保障配电网遥测终端无法正常工作,需确保系统出现故障的情况下也能进行隐蔽故障检测,并使工作时间长达 24 小时以上,这就需要对系统硬件中的电源单元进行改进设计。提出备用电源设计方案,选用小型铅酸蓄电池作为系统备用电源,以便满足配电网在断电之后,检测系统能够正常运行 24 小时以上,持续检测隐蔽故障情况。依据充电电路的相关需求,应尽量地延长铅酸蓄电池的使用的寿命,仔细暴恐铅酸蓄电池的充电过程。具体充电过程描述如下:

1) 涓流充电。假设电池电压低于设定阈值电压,此时电池可能已经为深度放电状态,也可能是电池内部出现了短路现象,这种情况下应采用小涓流电流进行充电,提升电池零容量时所对应的电压值,涓流充电方式可有效防止短路现象产生,避免铅酸蓄电池中大量气体的释放;

2) 大电流充电。经上述过程,电池电压已经超过涓流充电阈值电压,电池需采用大电流进行充电,并对主要电能进行恢复;

3) 过充电。大电流的充电后,需对电池进行过充电,该过程能够确保蓄电池在短时间内,电量充满;

4) 浮充电。为使蓄电池电量充足,需将电池调至浮充电状态,此时要设定电池充电电压为一个恒定的值,充电电路向蓄电池提供充电电流,以便维持电压恒定,采用这种充电电流补偿电压的方式,可有效防止电池漏电造成的电量减少问题产生。

有负载接入电路后,充电电路负责提供负载所需电流。此时蓄电池的电流维持在浮充电电流阶段,直到电池电压低至充电阈值电压 90%。当电池电压小于浮充电压的 90% 时,铅酸蓄电池转变为充电状态。在充电电路设计中,采用 UC2906 铅酸蓄电池控制芯片。它起到电压控制和逻辑控制的作用,此外还能够在充电过程中对温度进行补偿控制。

给出系统电源电路如图 5 所示。

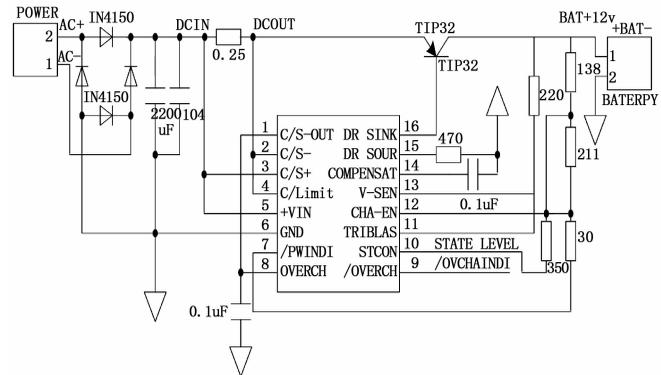


图 5 系统电源电路

图 5 中电源电路的设计采用电阻分压电路完成。对比分压电阻电路的输出电压和温度补偿电压,确定浮充电压值、过充电压值和涓流电阈值电压值。UC2906 的电流差分电路只要负责将成“过充电”状态转换到浮充电的工作状态,该过程不需要单片机进行控制,芯片会自动实现全部控制<sup>[9]</sup>。

## 2.6 看门狗电路

为了防止干扰而导致的主控单元死机,使整个系统瘫痪,需要内置看门狗。看门狗的芯片采用的是 MAX706 低电平的复位芯片。主要功能包括多复位,即上电、断电和手动复位,对供电电压进行检测,此外还起到看门狗保护的作用。

综上所述,通过对电参数测量单元、无线通讯单元、时钟单元、温度采集单元及电源单元进行改进,完成配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统硬件部分的设计,为系统软件设计奠定良好的硬件基础。

## 3 遥测终端隐蔽故障检测系统软件开发

在遥测终端检测系统软件开发过程中,需对数据采集和隐蔽故障检测功能进行优化。采用单片机控制软件对数据采集和隐蔽故障检测功能进行设计,选用 C51 语言作为编程语言,Keil uvision2 编译环境,同时采用 UCE-5 调试器实现在线调试。给出系统软件检测流程如图 6 所示。

由图 6 可知,配电网遥测终端隐蔽故障检测的主要步骤为:

- 1) 配置交叉端口;
- 2) 外部读取存储器节点编号,并配置阈值信息;
- 3) 初始化系统时钟,该功能主要通过控制主程序以及各功能芯片实现;

4) 采集电网参数,将电压电流数据与设定的阈值进行比较;如果电压和电流数据和阈值进行比较的结果是超限,那么进入故障处理程序,并立即把目前的配电网遥测终端参数进行存储,继续循环对配电网遥测终端参数进行采集,申请数据的传输,将配电网遥测终端参数实时地通过 GPRS 传至检测中心,以确保数据采集实时性,一直到接收停止

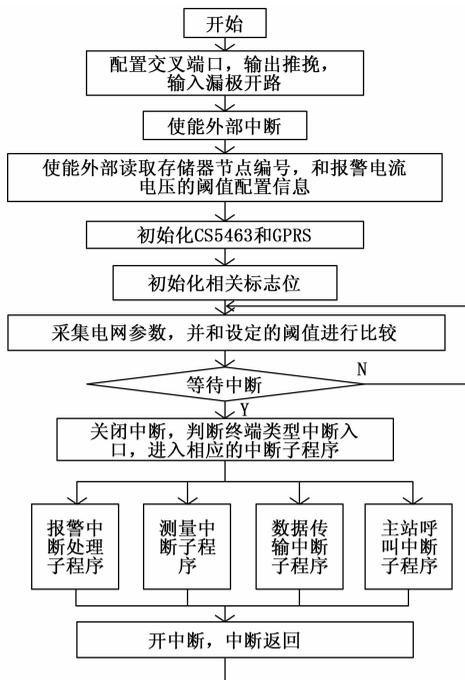


图 6 系统软件检测流程图

命令。假设没有超限, 则采集下相数据, 并继续比较; 读取遥测终端信息, 当采样次数到达预定值后, 将采集到的参数, 和目前时间输入至 Flash 存储器内保存, 实现各功能中断信号触发;

5) 等待中断, 当程序检测到中断, 则会跳转至数据采集的中断子程序, 子程序通过接口向 CS5463 内部寄存器输入命令, 把电压及电流数据传入寄存器;

6) 关闭中断, 判断终端类型中断入口, 进入相应中断子程序;

在以上步骤中, 步骤 4) 中采集电网参数, 将电压电流数据与设定的阈值进行比较。传统系统往往直接对采集到的电压电流数据做判断, 而所提改进系统将其与阈值进行比较, 可以有效提高隐蔽故障检测的准确性。只需对比较结果进行判断, 也降低了系统的能耗。根据以上步骤, 完善系统硬件电参数测量单元、温度采集单元、电源单元等组件, 改进开发软件的数据采集、隐蔽故障检测等功能, 完成配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统的设计。

### 4 实验分析

为了验证改进设计的配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统的性能, 需要进行一次相关性实验。实验平台为 LabVIEW, 实验参数源于某大型配电站。将分别对检测系统的实时性、能耗控制、准确性进行实验, 观察配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统的可行性。

分别采用传统系统和改进系统对遥测终端的隐蔽故障情况进行检测, 测试两种不同系统的能耗控制情况, 对比两种系统的能耗控制结果如表 1 所示:

表 1 两种不同系统所用能耗对比结果

时间/h	传统系统所用 能耗/W	改进系统所用 能耗/W
1	70	30
2	85	38
3	96	45
4	109	52
5	118	57
6	129	68
7	138	72
8	145	81
9	159	89
10	168	93

分析表 1 可知, 采用传统系统对遥测终端的隐蔽故障情况进行检测, 其检测所用能耗随时间的增加大幅度增长, 起始能耗为 70 W, 所用能耗平均值约为 110 W。采用改进系统对遥测终端的隐蔽故障情况进行检测, 其检测所用能耗随时间的增加, 增长幅度较小, 起始能耗为 30 W, 所用能耗平均值约为 75 W。对比传统系统和改进系统的实验结果可得, 改进系统的起始能耗小于传统系统起始能耗的一半, 且改进系统的使用能耗远远小于传统系统的所用能耗, 充分说明改进系统的检测能耗更低, 这是因为改进系统利用 C8051F020 作为主单元控制芯片, C8051F 系列的单片机是集成模拟, 和数字信号综合一体的高速单片机。其中的 4 脚 JTAG 接口能够实现全速非侵入式的调试, 从而提高系统能耗控制效果。

检测准确性是配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统的重要性能指标, 分别采用传统系统和改进系统对电流和电压的检测准确性进行实验, 测得两种不同系统电流、电压检测准确性对比结果如 7 所示。

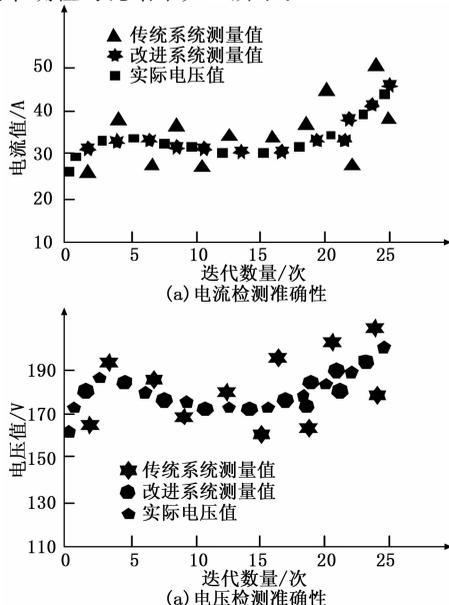


图 7 两种不同系统检测准确性对比结果

分析图 7 实验结果, 图 7 (a) 为两种不同系统电流检测准确性对比结果, 传统系统的电流检测值大部分偏离实际电流值, 其电流检测准确性较低。改进系统的电流检测值基本与实际电流检测值基本保持一致。图 7 (b) 为两种不同系统电压检测准确性对比结果, 传统系统的电压检测值大部分偏离实际电压值, 其电压检测准确性较低。改进系统的电压检测值基本与实际电压检测值基本保持一致。对比传统系统和改进系统的电流电压检测准确性, 改进系统的电流、电压检测准确性远远高于传统系统的电流、电压检测准确性, 充分说明改进系统的检测准确性跟高, 具有一定的可行性。

实时性指的是, 规定时间内, 系统反应能力。将下图内的各种形状当作遥测终端正在运行的各项参数, 圆形为遥测终端的隐蔽故障数据, 分别利用传统检测系统和改进检测系统对遥测终端的隐蔽故障情况进行检测, 测试两种不同系统采集隐蔽故障数据的反应时间。对比两种不同系统的实验结果如表 2 所示:

表 2 两种不同系统检测实时性

隐蔽故障点数量/个	传统系统采集隐蔽故障数据用时/s	改进系统采集隐蔽故障数据用时/s
1	5	1
2	9	3
3	12	4
4	18	5

分析表 2 可得, 采用传统系统对遥测终端隐蔽故障情况进行检测, 其采集隐蔽故障数据用时随着隐蔽故障点数量的增加大幅度上升, 隐蔽故障点数量为 1 个时, 所用时间为 5 s, 采集隐蔽故障数据的平均用时约为 11 s。采用改进系统对遥测终端隐蔽故障情况进行检测, 其采集隐蔽故障数据用时随着隐蔽故障点数量的增加变化幅度较小, 隐蔽故障点数量为 1 个时, 所用时间为 1 s, 采集隐蔽故障数据的平均用时约为 3 s。对比传统系统和改进系统的采集隐蔽故障数据用时可得, 改进系统的起始用时远远小于传统系统的其实用时, 改进系统的平均采集隐蔽故障数据用时也远远小于传统系统的平均用时, 说明改进系统的采集隐蔽故障数据用时更少,

(上接第 33 页)

[6] Sophian A, Tian G Y, Taylor D, et al. Design of a pulsed eddy current sensor for detection of defects in aircraft lap-joints [J]. *Sensors and Actuators: A*, 2002, 101 (1): 92-98

[7] 美国无损检测学会. 美国无损检测手册电磁卷 [M]. 上海: 世界图书出版公司, 1999.

[8] Smith R A, Hugo G R. Transient eddy current NDT for ageing aircraft capabilities and limitations [J]. *Insight: Nondestructive Test Condition Monitor*, 2001, 43 (1): 14-25.

[9] Moulder J C, Bieber J A. Pulsed eddy-current measurement of cracking in aging aircraft [A]. *Materials Research Society Symposium Proceedings of Nondestructive Characterization of Materials in Aging Systems* [C]. USA: L. M. Robertson, 1998;

检测实时性更好, 验证了系统的实用性。

综合以上实验结果, 改进设计的配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统的检测准确性高、能耗低、检测实时性好, 具有一定的有效性和实用性。

### 5 结束语

网络化与信息化的不断发展, 使得配电网遥测终端隐蔽故障检测系统的设计已经被广泛研究。提出设计的配电网自动化遥测终端隐蔽故障检测系统, 在改进温度采集单元、电源单元等硬件设备, 优化隐蔽故障检测程序等软件功能之后, 有效解决了传统系统存在的检测准确性低, 运行能耗高, 实时性差等问题。实验证明, 该系统具有检测准确性高, 能耗低, 实时性好的特点, 充分满足遥测终端隐蔽故障检测的需求。下一步的研究工作会在隐蔽故障点准确位置方面进行为更好地服务大众的正常用电提供帮助。

### 参考文献:

[1] 白雪峰, 梁英, 范闻博, 等. 配电终端自动化检测系统的设计与应用 [J]. *电测与仪表*, 2016, 53 (s1): 191-198.

[2] 尹禄高, 陈志红, 陈策, 等. 一种遥测系统自动化测试平台的设计 [J]. *计算机测量与控制*, 2016, 24 (4): 33-35.

[3] 牛强军, 蔡朋帅. 仪表着陆系统机载设备检测系统研制 [J]. *电子设计工程*, 2017, 25 (22): 89-92.

[4] 刘健, 张志华, 张小庆. 配电自动化主站的容错故障定位方法 [J]. *电力系统保护与控制*, 2016, 44 (20): 6-11.

[5] 刘健, 张志华, 陈宜凯, 等. 适用于含 DG 配电网故障处理性能测试的主站注入测试技术 [J]. *电力系统自动化*, 2017, 41 (13): 119-124.

[6] 杨帆, 关焕新. 配电网单相接地故障的自动化检测模型设计 [J]. *科学技术与工程*, 2017, 17 (4): 218-222.

[7] 程学珍, 林晓晓, 朱春华, 等. 含分布式电源的配电网故障诊断方法 [J]. *工矿自动化*, 2017, 43 (4): 55-59.

[8] 吴素我, 张焰, 苏运. 基于配用电数据关联的中压配电网断线故障诊断方法 [J]. *电力自动化设备*, 2017, 37 (7): 101-109.

[9] 谢坤, 余华武, 陈福锋, 等. 一种兼容 Comtrade 格式用于间隔层故障诊断的新型智能终端 [J]. *电力系统自动化*, 2016 (4): 111-114.

[10] Lepine B A, Wallace B P, Forsyth D S, et al. Pulsed eddy current method developments for hidden corrosion detection in aircraft structures [A]. *Proceeding of American Conference for NDT*. Toronto, 1998, 3.

[11] Tian G Y, Sophian A, Taylor D, et al. Multiple sensors on pulsed eddy current detection for 3-D subsurface crack assessment [J]. *IEEE Sensors*, 2005, 5 (1): 90-96.

[12] Lebrun B, Jayet Y, Baboux J C. Pulsed eddy current signal analysis: application to the experimental detection and characterization of deep flaws in highly conductive materials [J]. *NDT&E International*, 1997, 30 (3): 163-170.

[13] Tober G, Shiller D. EADS Airbus GmbH [A]. *Proceedings of 15th WCNDT* [C]. Rome, 2000: 15-21.