

# 基于无线通信的配电网用户实时防窃电系统设计

蔡耀年<sup>1</sup>, 唐杰<sup>1</sup>, 马燕玲<sup>1</sup>, 李贤靓<sup>2,3</sup>

(1. 国网西宁供电公司, 青海 西宁 810001; 2. 湖南大学, 湖南 长沙 410000;

3. 北京普锐电子有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 由于传统系统存在防窃效果差的问题, 结合无线通信网络, 提出了配电网用户实时防窃电系统设计; 根据系统总体结构, 将无线通信网络作为载体, 以现场 RS-485 总线为主要通讯方式设计硬件终端, 通过双向通信向主站传递信息; 采用 ADE7758 芯片作为防窃电主站核心芯片, 保证各相电流在 1000:1 动态范围内误差最小, 将通信接口与 SPI 兼容串行接口相连接, 保证计量参数全部传递; 采用无线网络接入方式设计无线通信服务器供电线路, 使每一级负荷点计量都可用作实时通讯数据; 采用 .NET Remoting 设计系统软件功能, 通过计算主负荷节点用电量和实际线损率, 实现配电网用户实时防窃电系统设计; 由实验结果可知, 该系统最高防窃效果可达到 98%, 确保配电网的可靠运营。

**关键词:** 无线通信; 配电网; 防窃电系统; 双向通信; 供电线路; 负荷节点

## Design of Real-time Anti Theft System for Distribution Network Users Based on Wireless Communication

Cai Yaonian<sup>1</sup>, Tang Jie<sup>1</sup>, Ma Yanling<sup>1</sup>, Li Xianliang<sup>2,3</sup>

(1. State Grid Xining Electric Power Company, Xining 810001, China;

2. Hunan University, Changsha 410000, China; 3. Beijing PROEE Electronics Co., Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** Due to the poor anti-theft effect of traditional systems, a real-time anti-theft system for distribution network users is designed based on wireless communication network. According to the overall structure of the system, the wireless communication network is used as the carrier, and the hardware terminal is designed with RS-485 bus as the main communication mode. The information is transmitted to the main station through two-way communication. ADE7758 chip is used as the core chip of anti-theft power station to ensure the minimum error of each phase current in the dynamic range of 1000:1. The communication interface is connected with SPI compatible serial interface to ensure the transmission of measurement parameters. The wireless network access mode is used to design the power supply line of the wireless communication server, so that each level of load point measurement can be used as real-time communication data. .NET Remoting is used to design the software function of the system. By calculating the power consumption of the main load node and the actual line loss rate, the real-time anti-stealing system design for distribution network users is realized. The experimental results show that the maximum anti theft effect of the system can reach 98% and ensure the reliable operation of the distribution network.

**Keywords:** wireless communication; distribution network; anti-stealing electricity system; two-way communication; power supply line; load node

## 0 引言

配电网是电力系统的一个重要研究领域, 对于实时防窃电是配电网优化设计的重要环节。供电部门进行反窃电, 可有效维护配电网用户用电安全, 对社会经济稳定发展具有深远意义<sup>[1]</sup>。目前, 我国对配电网用户实时防窃电的研究主要有两类, 分别是通过对高压电流、计量表计量电流进行判断和计量装置窃电判断。这两种方法都存在检测计量方面的问题, 查找窃电行为需花费较长时间, 用户会故意拖延时间, 导致线路窃电位置无法识别, 用户谐波含有率随实际情况发生变化。根据我国防窃电工作成果, 可将当前窃电现象总结如下两点: 一是国家在法治社会上推

进工作存在问题, 导致众多用电单位认为自然窃电与一般偷窃窃电是有区别的, 致使窃电行为猖獗; 二是电力部门内部监管出现漏洞, 如果没有及时对该漏洞进行修补, 那么配电网将无法安全运营, 严重影响用户用电安全<sup>[2]</sup>。

在当前市场经济环境下, 用户用电是需要收费的, 但在实际生活中存在一定数量用电单位为了获取利益而通过非法途径进行窃电, 这种窃电行为不仅对用户经济财产带来巨大损失, 还会使配电网运行混乱, 严重影响电力企业收入, 扰乱正常供电情况, 给供电网络造成诸多隐患。因此, 相关部门应对窃电行为给与打击, 保证社会公正公平<sup>[3]</sup>。为此, 提出了基于无线通信的配电网用户实时防窃电系统设计, 防窃电是配电网优化重要环节, 集多功能于一体, 同时监测配电变压器运行状况, 促进平安和谐社会构建。

## 1 系统总体结构设计

通过对用户电能计量回路监控, 可将计算机获取的全部数据传送到主站, 如果用户端出现了窃电行为, 那么在

收稿日期: 2018-11-12; 修回日期: 2018-12-06。

作者简介: 蔡耀年(1964-), 男, 青海西宁人, 高级工程师, 高级技师, 主要从事电能计量技术研究、智能控制技术方向的研究。

通讯作者: 李贤靓(1970-)男, 主要从事仪器仪表, 电力系统继电保护方向的研究。

中断将会发送报警信息<sup>[4]</sup>。此时，工作人员能够通过窃电分析用户位置，相关人员可及时采取措施保护配电网安全。而信息平台可根据系统相关参数配置，将报警信息传递到工作人员手机上，工作人员通过手机进行智能控制，避免主站因无人值守而无法及时发现窃电问题<sup>[5]</sup>。

系统主要是由监控终端、无线通信网络、主站组成的，具体结构设计如图 1 所示。

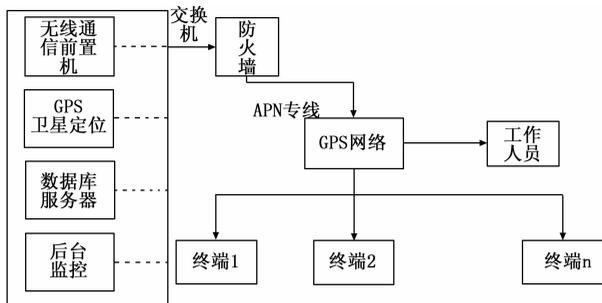


图 1 系统总体结构示意图

由图 1 可知：在监控终端安装用户电表，通过无线通信网络与主站进行数据通信，采用终端主动上报和主站召测方式，将采集到的数据全部传送到窃电系统主站。在系统监控终端软件部分，采用嵌入式操作模式，使通信信道具有全双工的无线通信模块，内置 TCP/IP 协议，支持无线网络通信<sup>[6]</sup>。

## 2 系统硬件结构设计

无线通信配电网用户实时窃电系统硬件是由终端监控、无线通信服务器和主站这 3 部分组成的，具体结构设计如图 2 所示。

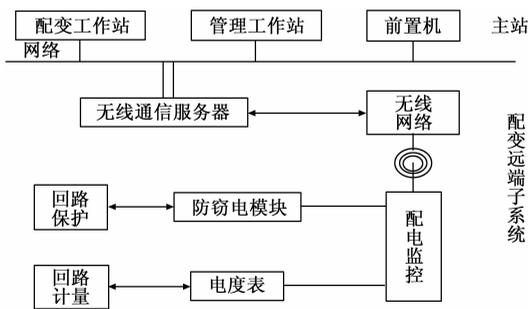


图 2 系统硬件结构框架

配电网用户实时窃电系统是由配电网监控、窃电和无线通信模块组成，可实现窃电处理。无线通信模块是以通信服务器为传输通道，实现前置机实时通信；无线通信作为主站服务器，可通过软件进行数据存储与转发，实现无线通信终端和用户端前置机双方数据处理。在通信服务器终端设置防火墙，能够保证系统数据传递的安全；客户端主站前置机网络向无线通信服务器申请连接，可为用户端建立无线网络连接。将前置机与设备终端实时通信，可对远端发送的数据进行有效处理，并对配电设备下发指令，完成相应行为<sup>[7]</sup>。

### 2.1 终端结构

实时窃电系统终端是以公共无线通信网络为载体，

以现场 RS-485 总线为主要通讯方式，将配电站、变电站为主要控制管理对象，实现从变电站到电力用户的综合控制与管理<sup>[8]</sup>。

窃电系统终端主要是由电源、处理单元、通信接口和外围设备组成的，具体设计如图 3 所示。

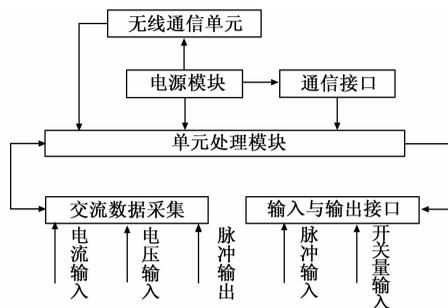


图 3 硬件终端结构

由图 3 可知：无线通信单元通过无线网络和窃电主站进行双向通信，将终端发送的信息全部传递给主站，执行主站命令，并处理各种数据，统计与分析处理单元的 Flash 芯片，采用标准 RS-232 接口供现场通讯使用<sup>[9]</sup>。

### 2.2 窃电核心 ADE7758 芯片

窃电核心 ADE7758 芯片是最新一款功能先进的数字电度表芯片，集成数字积分器、温度传感器和数字信号处理器等电路，能够适用于三相四线，对电压和电流有效值进行计算。核心 ADE7758 芯片原理结构如图 4 所示。

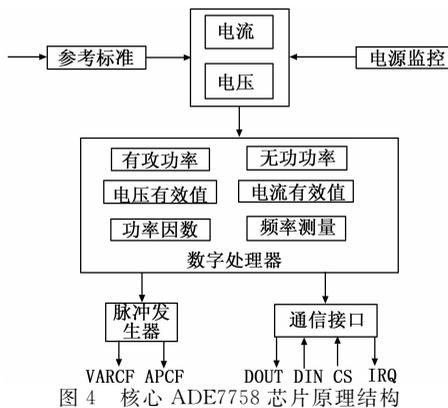


图 4 核心 ADE7758 芯片原理结构

由图 4 可知：监控处理单元器是 ADE7758 核心部分，其是由数字信号处理器、电源监控和模数转换组成的。数字信号处理器可对各路数据进行采集，获取各相有功功率和无功功率参数，保证各相电流在 1 000:1 动态范围内误差最小，提高实时数据采集精度；模拟 AVDD 电源小于 4 V 的电源监控模块，可使核心芯片在断电之前就可停止工作，防止出现电量计量错误；通过对多路电压和电流进行数据采集，可保证电压输入最大值。

窃电核心 ADE7758 芯片通信接口与 SPI 兼容串行接口共占用 MCU5 个 I/O 口和 1 个中断输入口，通过外部 MCU 与内部接口完成计量参数以及校表参数传递。

### 2.3 供电线路

基于无线通信配电网用户实时窃电系统的供电线路设计如图 5 所示。

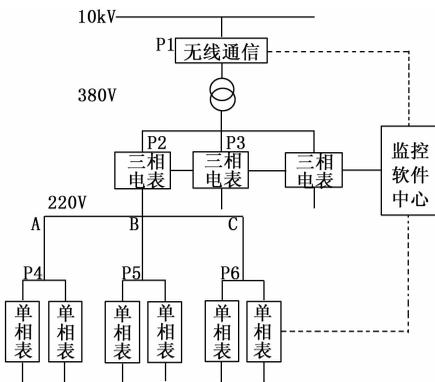


图 5 实时窃电系统供电线路

由图 5 可知: 将配电网供电线路划分为三个部分, 分别是 10 kV 供电线路、经变压器转变后的低压线路、供用户使用的 220 V 供电线路。在通讯信道处, 采用无线网络接入方式, 配置各个终端参数。通过无线通信连接各个服务器, 使每一级负荷节点的计量都可用作实时通讯的数据, 为软件实时分析各个负荷节点用电量提供支持, 确定异常用电区域。

以公共无线网络为载体, 以现场 RS-485 总线为主要通讯方式设计终端结构, 实现从变电站到电力用户的综合控制与管理; 使用 ADE7758 芯片作为窃电主站核心芯片, 可适用于三相四线, 通过外部 MCU 与内部接口, 对多路电压和电流进行数据采集, 保证数据采集更加精准; 在通讯信道处, 采用无线网络接入方式设计无线通信服务器供电线路, 使每一级负荷节点计量都可用作实时通讯数据, 为软件实时分析各个负荷节点用电量提供支持。

### 3 系统软件功能设计

采用 NET Remoting 设计系统软件功能, 在无线通信技术的支持下, 将窃电监控中心分成三个部分, 分别是应用层、核心层和通讯层。其中应用层包括窃电管理、线损分析、报表管理和 WEB 服务, 负责各项具体的功能应用; 核心层包括系统管理、应用程序服务器、数据库服务器, 可用于安装商用数据, 负责数据存取; 通讯层包括两个服务器, 具有多个终端, 负责与各计量节点网络表、终端进行远程通讯。

#### 3.1 软件功能设计流程

在硬件结构中, 主站系统具有多种应用功能, 针对该功能进行窃电行为识别与诊断, 设计的流程如下所示:

当主站接收到异常报警信息时, 通过终端发送相关信息, 并由主站进行多功能检测。

①主站检测: 实时功率值异常偏升/负荷曲线异常? 如果是, 则提示进行现场检查与设备维护; 如果不是, 查看用户端实时功率值是否降低。如果降低, 则需提示进行现场检查和窃电处理; 如果不是, 需检查用户功率表和负荷曲线, 确定可能窃电的用户。

②终端发送: 查看计量是否异常? 如果是, 则提示进行现场检查与设备维护; 如果不是, 则需查看窃电是否异

常。如果异常, 则需提示进行现场检查和窃电处理; 如果正常, 则说明其他地方异常, 需提示进行相关处理。

采用小信号提取技术, 对工频信号进行采集, 并对特征信号分离, 解决谐波影响问题, 实现用电状态监测, 为线损精细管理提供技术保障。

#### 3.2 窃电功能具体实现

在配电网终端配置高精度 ADE7758 核心芯片, 可实时监测用电端所用到的电能值, 通过无线网络将监测到的数据传送到客户端前置机。

通过前置机将窃电采集到的数据进行处理, 并与多功能用电客户端功率值比较, 一旦发现用电曲线不一致, 需立即报警。经过软件功能展示出来的用电异常用户信息, 可为检察人员提供参考, 随时启用实时监测功能, 不断监视用电异常状况。如果发现用电曲线不一致, 那么说明超出正常范围, 系统就会发出窃电报警信息, 制止窃电行为, 并将电能计量损失降到最低。

在系统硬件中, 第一级 10 kV 供电线路负荷节点用电信息可通过采集高压侧电量信息进行直接测量, 经过无线通讯模式传至监控中心, 并将互感器和电表融为一体, 使不良用户无法篡改用电信息。在供电线路中的负荷节点 P1 对应第二级别供电线路中的若干个分支, 每个分支用电量信息都是由三相电量采集的, 经过无线通讯可将各项信息传送到监控中心。对于主负荷节点以及后继分支线路, 需按照网络拓扑结构, 计算主负荷节点的用电量, 计算公式如下所示:

$$Q(P1) = \sum Q(P1n) + W(P1) \quad (1)$$

公式 (1) 中:  $Q(P1n)$  表示用电量总和;  $W(P1)$  表示线路损耗电量。由此可获取实际线损率:

$$S(P1) = [Q(P1) - \sum Q(P1n)]/Q(P1) \quad (2)$$

在正常用电条件下, 线损率应与以往统计数据保持一致, 软件监控中心通过实时获取的用电量来推算实际线损率。如果实际线损率大于监控中心对线路所设定的线损最大值时, 系统软件将对线路发出预警信息, 由此实现配电网用户实时窃电系统设计。

### 4 实验

基于无线通信配电网用户实时窃电系统的监控中心需通过通讯服务器与负荷节点计量进行实时通讯, 并将获取的各项数据存储到服务器之中, 以此作为实验标准, 验证该系统设计的合理性。

#### 4.1 参数设置

窃电系统各个节点终端配置如表 1 所示。

表 1 窃电系统各个节点终端配置

负荷点/V	计量表配置	通讯配置
10000	高压	无线通讯
380	三相	负荷控制
220	单相	无线集中

根据表 1 所示的窃电系统各个节点终端配置, 进行

实验验证分析。

### 4.2 实验结果与分析

以功率和电量为实验对象，分析功率、电量防窃电曲线与多功能表计量曲线之间的关系。

#### 4.2.1 功率分析

如果用户出现窃电情况，发生的时间是早上 6 点到中午 12 点，而偷偷用电量则是正常用电量的两倍，图 6 所示功率防窃电曲线与计量曲线对比。

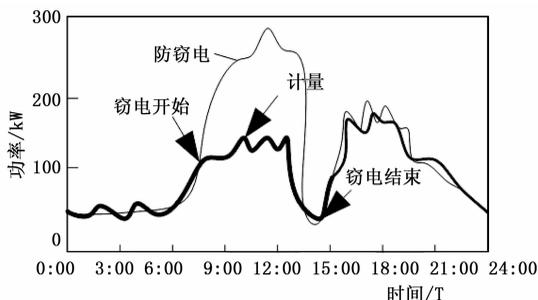


图 6 功率对比分析

由图 6 可知：当时间为 8 点时窃电开始，防窃电曲线此时的功率大小与计量曲线功率大小一致，都为 110 kW。当时间为 14 点时窃电结束，防窃电曲线此时的功率大小与计量曲线功率大小一致，都为 50 kW。当时间为 8~14 点时，防窃电曲线功率是计量曲线功率的 2 倍。

#### 4.2.2 电量分析

由于偷窃电量手段千变万化，许多供电局使用电量最科学的防窃电系统，图 7 所示电量防窃电曲线与计量曲线对比。

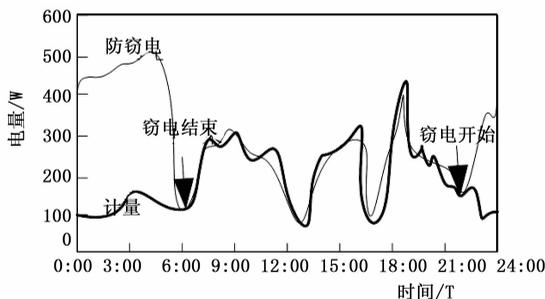
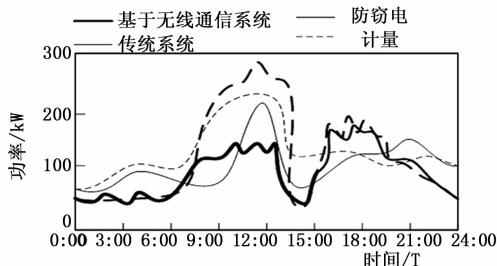


图 7 电量对比分析

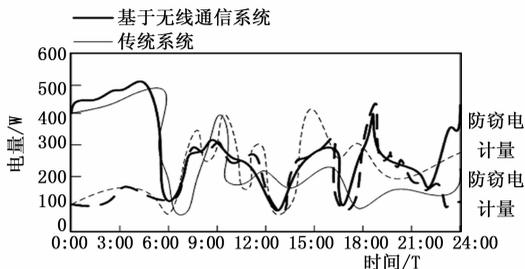
由图 7 可知：当时间为 6 点时窃电结束，防窃电曲线此时的用电量大小与计量曲线用电量大小一致，都为 130 kW。当时间为 22 点时窃电开始，防窃电曲线此时的用电量大小与计量曲线用电量大小一致，都为 190 kW。当时间为 6~22 点时，防窃电曲线用电量与计量曲线用电量一致，而在 22 点至次日 6 点时，防窃电曲线用电量是计量曲线用电量的 2 倍。

根据上述内容，将传统系统与基于无线通信实时防窃电系统的功率、电量进行对比分析，结果如下所示。

①功率对比分析结果：当时间为 3 点时，传统系统防窃电曲线功率大小为 90 kW，计量曲线功率大小为 95 kW；基于无线通信系统防窃电曲线功率大小为 49 kW，计量曲线功率大小为 50 kW。当时间为 6 点时，传统系统防窃电曲线功率大小为 80 kW，计量曲线功率大小为 93 kW；基于无



(a) 两种系统功率对比分析



(b) 两种系统电量对比分析

图 8 两种系统功率、电量对比分析

线通信系统防窃电曲线此时的功率大小与计量曲线功率大小一致，都为 110 kW。当时间为 11 点时，传统系统防窃电曲线功率大小为 210 kW，计量曲线功率大小为 220 kW；基于无线通信系统防窃电曲线功率大小为 130 kW，计量曲线功率大小为 280 kW。当时间为 14 点时，传统系统防窃电曲线功率大小为 70 kW，计量曲线功率大小为 130 kW；基于无线通信系统防窃电曲线此时的功率大小与计量曲线功率大小一致，都为 50 kW。

结合图 6 可知，基于无线通信系统防窃电系统所获取的功率大小与实际值是一致的。

②电量对比分析：当时间为 6 点时，传统系统防窃电曲线功率大小为 150 kW，计量曲线功率大小为 90 kW；基于无线通信系统防窃电曲线此时的用电量大小与计量曲线用电量大小一致，都为 130 kW。当时间为 15 点时，传统系统防窃电曲线功率大小为 230 kW，计量曲线功率大小为 390 kW；基于无线通信系统防窃电曲线此时的用电量大小与计量曲线用电量大小一致，都为 270 kW。当时间为 22 点时，传统系统防窃电曲线功率大小为 170 kW，计量曲线功率大小为 220 kW；基于无线通信系统防窃电曲线此时的用电量大小与计量曲线用电量大小一致，都为 190 kW。

结合图 7 可知，基于无线通信系统防窃电系统所获取的电量大小与实际值是一致的。

将传统系统与基于无线通信实时防窃电系统的防窃效果进行对比分析，结果如表 2 所示。

由表 2 可知：当时间为 0:00 时，基于无线通信实时防窃电系统比传统系统防窃效果高 48%；当时间为 3:00 时，基于无线通信实时防窃电系统比传统系统防窃效果高 50%；当时间为 6:00 时，基于无线通信实时防窃电系统比传统系统防窃效果高 50%；当时间为 9:00 时，基于无线通信实时防窃电系统比传统系统防窃效果高 45%；当时间为 12:00

表 2 两种系统防窃效果对比分析

时间/T	传统系统	基于无线通信实时防窃电系统
0:00	42%	90%
3:00	39%	89%
6:00	45%	95%
9:00	51%	96%
12:00	58%	91%
15:00	49%	98%
18:00	50%	91%
21:00	54%	92%
24:00	52%	93%

时, 基于无线通信实时防窃电系统比传统系统防窃效果高 33%; 当时间为 15:00 时, 基于无线通信实时防窃电系统比传统系统防窃效果高 49%; 当时间为 18:00 时, 基于无线通信实时防窃电系统比传统系统防窃效果高 41%; 当时间为 21:00 时, 基于无线通信实时防窃电系统比传统系统防窃效果高 38%; 当时间为 24:00 时, 基于无线通信实时防窃电系统比传统系统防窃效果高 41%。

### 4.3 实验结论

综上所述: 对比传统系统与基于无线通信实时防窃电系统的功率和电量结果可知, 传统系统与实际值相差较大, 而基于无线通信实时防窃电系统基本与实际值一致。通过对比两种系统防窃效果可知, 传统系统的防窃效果最高可达到 58%, 最低可达到 39%; 基于无线通信实时防窃电系统的防窃效果最高可达到 98%, 最低可达到 89%。由此说明, 基于无线通信实时防窃电系统具有较好防窃效果。

## 5 结束语

### 5.1 结论

通过分析对比防窃电装置采集到的用电数据和用电负荷数据, 可有效解决窃电问题。以窃电现象为切入点, 详细分析系统结构, 采用无线通讯网络作为数据传输渠道,

(上接第 172 页)

态阈值分割目标、目标形心跟踪、二维云台跟踪控制等, 能够满足高帧频图像处理需求, 提高了系统的跟踪精度。

### 参考文献:

- [1] 侯宏录, 高伟平. 500 fps 图像采集及实时显示关键技术研究 [J]. 光学仪器. 2013, 32 (2): 52-57.
- [2] T. H., T. I. FPGA implementation of high frame rate and ultra-low delay vision system with local and global parallel based matching [C]. Nagoya, Japan: IEEE, 2017.
- [3] 袁云, 侯宏录, 赵正川. 高速视频的运动目标特征信息值提取算法 [J]. 西安工业大学学报, 2016, 36 (12): 959-964.
- [4] 赵志刚, 郭金川, 杜杨, 等. CMOS 图像传感器 LUPA-4000 具有开窗读出功能成像系统的实现 [J]. 传感技术学报. 2010, 23 (5): 670-675.
- [5] 李健, 刘歆洵. 目标二次提取法在高帧频视频跟踪器上的应

可保证监控中心全天候在线, 并将采集到的数据实时发送给主站。借助主站数据库服务器高效存储功能, 可及时对异常情况进行处理, 使用 10kV 节点设计系统, 杜绝不良用户窃电可能性, 有效提高系统监控效率, 预防窃电事件发生。由实验对比结果可知, 基于无线通信实时防窃电系统的防窃效果最高可达到 98%, 最低可达到 89%。

### 5.2 未来展望

虽然该系统具有较高防窃效果, 但是对于系统是否能够稳定运行还有待考察, 因此, 在日后研究进程中, 以系统稳定运行为核心, 全面观察防窃电系统智能运行效率, 从主站服务器稳定性出发, 设计高效运行系统, 为用户安全用电提供支持。

### 参考文献:

- [1] 刘玉田, 宗丽英, 程桂卿. 试论基于 GPRS 通信技术的防窃电实时监控系统方案 [J]. 科技尚品, 2016, 18 (6): 29-32.
- [2] 王毅, 丁力, 侯兴哲, 等. 基于层次分析法的加权力线窃电检测方法 [J]. 科学技术与工程, 2017, 17 (33): 41-45.
- [3] 范可, 李晓军, 张金金, 等. 防窃电分界开关监测系统及其实现 [J]. 工程建设与设计, 2018, 22 (6): 51-53.
- [4] 张越杰, 孔祥新, 刘童, 等. 防窃电实时报警管理系统的研究 [J]. 电子技术, 2016, 41 (6): 32-38.
- [5] 刘海云, 王兴刚, 刘国庆. 浅谈配变监控系统的防窃电功能实现 [J]. 建筑工程技术与设计, 2016, 32 (34): 62-67.
- [6] 杨俊红, 马国峰, 张平川. 基于 C8051F350 及 CC2420 的无线智能电表设计 [J]. 商丘职业技术学院学报, 2016, 15 (5): 28-31.
- [7] 肖监, 王玉萍, 桂专, 等. 一种分布式高低压线路防窃电设计 [J]. 电测与仪表, 2016, 53 (s1): 185-187.
- [8] 黄荣国, 陆春光, 姚力, 等. 防窃电仿真试验平台设计与实现 [J]. 电测与仪表, 2016, 53 (24): 115-120.
- [9] 张富裕, 秦榛. 基于单相有载调压器的配电网低压治理方法研究 [J]. 电子设计工程, 2018, 26 (10): 189-193.
- [10] 用 [J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38 (6): 66-69.
- [6] 向劲松, 吴金勇, 李晓双, 等. 高帧频激光光斑采集系统设计 [J]. 电子技术应用. 2014, 40 (1): 13-15, 19.
- [7] 陈必威, 梁志毅, 王延新, 等. 基于 FPGA 的高帧速 CMOS 成像系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (5): 1397-1400.
- [8] 李光春, 苏沛东, 杜世通, 等. 基于 FPGA 的视频采集及实时显示系统设计 [J]. 计算机测量与控制. 2015, 23 (11): 3810-3812, 3815.
- [9] 陈序, 卿斌波, 何小海. 基于 FPGA 的高速图像处理平台设计 [J]. 成都信息工程学院学报, 2013, 28 (2): 114-118.
- [10] 温建飞, 岳凤英, 李永红. 大容量弹载数据记录器的设计与实现 [J]. 电子器件, 2016, 39 (4): 951-956.
- [11] 李华. 基于 FPGA 的图像目标提取系统设计 [J]. 电视技术. 2014, 38 (7): 58-61.