

## Research on the Application of Narrow-Band Internet of Things in Power Anti-Stealing of Special Transformer Users

ZHANG Xiaoxin<sup>1\*</sup>, WANG Qichao<sup>1</sup>, LIN Feng<sup>1</sup>, YU Baosheng<sup>2</sup>

(1. School of Electronic and Information Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang Liaoning 110136, China;

2. State Grid Hebei Electric Power Corporation Cangzhou Power Supply Branch, Cangzhou Hebei 061000, China)

**Abstract:** This paper proposes an anti-theft scheme for users of special transformers based on narrow-band Internet of things, the scheme determines whether the power is stolen by monitoring the operating parameters of the power system in real time. To be precise, it determines whether power theft occurs by using LoRa to compare the current or the power of vacuum circuit breaker with the power of meter box, at same time it also monitor the status of the meter box. If power stealing occurs, the data will be uploaded to the OneNET platform through NB-IoT device, and then the platform send the data through API (Application Program Interface) to the web application. The power data is obtained by reading the smart electricity meter and the smart switch controller. This system uses STM32 chip to control the hardware circuit and uses China Mobile M5311 to design the NB-IoT module. Through test and data analysis, it can effectively monitor against power theft.

**Key words:** special transformer; anti-stealing power; NB-IoT; LoRa

EEACC: 7210A; 8110B

doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2021.01.034

## 窄带物联网在专变用户窃电应用中的研究

张晓新<sup>1\*</sup>, 王奇超<sup>1</sup>, 林峰<sup>1</sup>, 于宝胜<sup>2</sup>

(1. 沈阳航空航天大学电子信息工程学院, 辽宁 沈阳 110136; 2. 国网河北省电力有限公司沧州供电分公司, 河北 沧州 061000)

**摘要:** 针对专变用户窃电问题, 文中提出了一种基于窄带物联网的窃电方案, 该方案通过实时监测用户电力系统运行参数来判断是否窃电。准确地说是通过使用 LoRa 对比真空断路器侧和计量箱侧的电流或功率以及监测计量箱状态判断窃电是否发生。如果发生窃电数据将通过 NB-IoT 上传至 OneNET 平台, 然后通过 API 将平台数据传送至 Web 应用。数据通过读取智能电能表、智能开关控制器以及设计高压窃电监控仪获取。该系统硬件电路以 STM32 为核心, NB-IoT 模块采用中国移动 M5311 设计。通过安装测试以及数据分析判断, 能够有效进行窃电监测。

**关键词:** 专变; 窃电; NB-IoT; LoRa;

中图分类号: TM933

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2021)01-0178-04

窃电问题一直是困扰电力企业的难题<sup>[1]</sup>。据统计仅在 2019 年 1 至 7 月国家电网公司反窃电工作中共计追回电量 5.78 亿 kWh, 挽回经济损失 17.39 亿元。窃电行为不仅会造成大量损失并且存在极大的安全隐患, 为电网的安全运行带来了一定挑战<sup>[2]</sup>。近年来电力企业不断地加大监察力度, 对传统的窃电大力打击, 同时采用了更加先进与智能的计量设备如电能表中增加零线电流的采集, 建设了覆盖率 100% 的低压侧电力用户用电信息采集系统, 一定程度上杜绝了一些窃电行为<sup>[3-4]</sup>。但是随着技术的进步, 窃电手段也越来越专业和隐蔽<sup>[5-6]</sup>。同时用电终端监管乏力, 导致窃电虽然已经入刑, 但是难以获取证据以及

难以计量具体窃电量等问题。按照我国供用电规则, 一些用户需要采用专用变压器进行高压方式供电(专变用户)。专变用户的计量设备因变压器产权问题会一同安装在用户辖区内, 检查人员进行窃电侦查存在诸多不便, 发现、查处窃电行为难度较大且由于用户特性与规模, 使得窃电一旦发生往往损失极大<sup>[7]</sup>。

### 1 常见窃电方法

电能表计量电量取决于电压、电流、功率因数和时间的乘积, 因此窃电的方法虽然五花八门, 但都是从电能计量的基本原理入手, 使电表少计、不计或者直接弃用电表, 从而达到窃电的目的。常见窃电类

型如下。

**欠压窃电法:**改变电能表电压计量回路接线使电能表的电压计量装置开路或降低输入电压,从而导致电能表不计或少计电量。常用方法有:电压回路安放分压电阻,电压回路、熔断器或接线端子开路或接触不良及断开电压互感器(Potential Transformer, PT)一次回路等<sup>[8]</sup>。

**欠流窃电法:**通过减少或让电流无法通过电能表计量装置,使电能表计量失准或失效,从而少计或不计电量。常用方法有:加接导线绕越电表;三相三线电能表 B 相接入单相负载或短接电表电流端子;针对电流互感器(Current Transformer, CT)采取短接 CT 一次或二次线、断开 CT 二次线或更换大变比 CT<sup>[9-10]</sup>。

**移相窃电法:**调整电能表接线方式,引入无关计量的电压、电流或通过电容、电感接线法,改变电能表电压、电流相位关系,使电能表无法记录用户的实际用电量。

**扩差窃电法:**窃电者改变电能表的内部结构性能,使电能表的计量误差增大,或使用外力方式直接损毁电能表,使电能表不能正常记录用电量。常用方法有:改变表内有关接线;制造表内零件或接线故障;用过载电流烧坏电表;用机械外力损坏电表;用外部磁场干扰电表;改变电表的使用环境<sup>[11]</sup>。

**无表窃电法:**窃电者未经报装入户就私自在供电部门的线路上接线用电,或者有电能表用户私自甩表用电。

**其他窃电法:**反向大电流法窃电、制造中性点位移法窃电、断零窃电、绕越计量装置窃电、改变互感器变比法窃电、大功率无线非接触型干扰窃电技术、高频高压电源干扰窃电、遥控窃电等。

## 2 窃电原理

专变用户的计量方式分为“高供高计”和“高供低计”两种方式<sup>[12]</sup>。“高供低计”计量一般需要电能表、计量 CT,“高供高计”还需要计量 PT。专变台区配电柜一般至少会存在 2 种类型的 CT,即计量 CT 和保护 CT。计量 CT 准确度等级一般为 0.2S 或 0.5S。计量专用 PT 二次侧只有一组测量绕组,精度等级 0.2S。其中 S(special)代表特殊用途互感器精度标准,S 级互感器在额定电流(电压)1%~120% 范围内都能保持准确测量。

### 2.1 “高供高计”传输特性

“高供高计”供电系统如图 1 所示,三相电压对称,三相负荷平衡。“高供高计”一般选用三相三线智能电能表,规格为“3×100 V、3×1.5(6) A”。计量

CT 和 PT 及智能电能表位于计量箱内,CT 和 PT 数量为 2 个,CT 分别串接在 A 相和 C 相,PT 采用“V-V”接法并入电路,PT 二次侧 B 相接地。

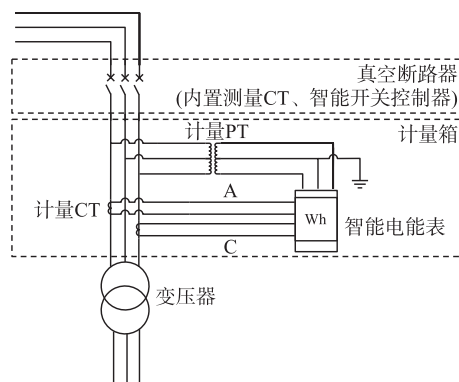


图 1 “高供高计”供电系统图

真空断路器与计量箱正常情况下功率、电压、电流、相角相等。因二者皆位于高压侧,且国家电网电力用户用电信息采集系统会对功率因数进行越限统计,所以在窃电监测中通过判断智能电能表是否欠压以及对比真空断路器和计量箱 A 相和 C 相电流判断是否窃电,按照电力公司数据符合式(1)即为正常。

$$|(I_h \times k_0 - I_l \times k_1) / (I_h \times k_0)| \leq 20\% \quad (1)$$

式中: $I_h$  为智能开关控制器测量电流, $k_0$  为真空断路器测量 CT 变比, $I_l$  为智能电能表测量电流, $k_1$  为计量箱计量 CT 变比。

### 2.2 “高供低计”传输特性

“高供低计”的供电方式,电能表规格为“3×220 V/380 V、3×1.5(6) A”,计量 CT 共有 3 个,分别安装在 A、B、C 三相上。因配电变压器不具有移相功能,所以图 2(a)的判断方式与“高供高计”相似,首先判断电能表是否欠压然后根据式(2)判断是否存在电量异常情况。 $k_2$  为变压器变比。(用户低压侧三相三线计量方式采用较少)

$$|(I_h \times k_0 - (I_l \times k_1) / k_2) / (I_h \times k_0)| \leq 20\% \quad (2)$$

如图 2(b)的供电方式提供工业用电同时兼顾生活用电,采用三相四线式电能计量方式。三相四线线路所带负荷难以保证绝对平衡,并且还存在着较多的单相负荷,因此窃电监测必须对比真空断路

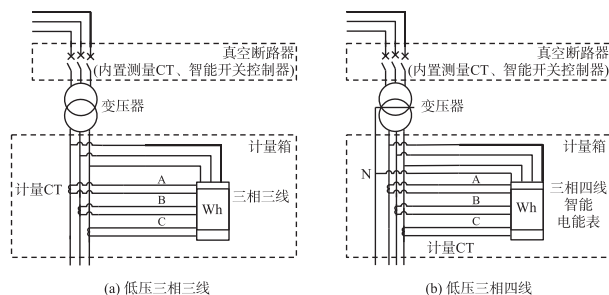


图 2 “高供低计”供电系统图

器与计量箱的功率,通过式(4)判断是否正常。

$$\begin{cases} P_1 = U_a I_a \cos\theta + U_b I_b \cos\theta + U_c I_c \cos\theta \\ P_2 = U'_a I'_a \cos\theta + U'_b I'_b \cos\theta + U'_c I'_c \cos\theta \end{cases} \quad (3)$$

$$|(P_2 \times k_0 - P_1 \times k_1) / (P_2 \times k_0)| \leq 20\% \quad (4)$$

式中: $P_1$ 为智能电能表计量功率, $P_2$ 为真空断路器功率, $k_0$ 为真空断路器测量 CT 变比, $k_1$ 为计量箱计量 CT 变比, $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$ 为计量箱侧相电压, $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$ 为计量 CT 引出的相电流, $U'_a$ 、 $U'_b$ 、 $U'_c$ 为真空断路器侧相电压, $I'_a$ 、 $I'_b$ 、 $I'_c$ 为真空断路器侧 CT 引出的相电流, $\theta$ 为相电压与相电流夹角, $\cos\theta$ 按照功率因数调整电费办法取分段定值。

### 3 防窃电装置

典型物联网架构为四层,分别是感知层、网络层、平台层、应用层<sup>[13]</sup>,防窃电装置架构如图3所示。感知层:采集真空断路器侧和计量箱侧数据。网络层:由 NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) 和 LoRa (Long Range Radio) 组成。真空断路器侧和计量箱侧参数的实时比较采用无线 LoRa 模块点对点传输,通过本地计算,如果出现窃电嫌疑,再通过 NB-IoT 传送至云平台,这样可以节省流量,降低系统运行成本。平台层:通过 LWM2M 物联网协议将报警数据上传至中国移动物联网的 OneNET 平台。应用层:Web 应用通过 API 数据接口从 OneNET 平台获取数据,应用包括数据分析、数据存储、数据统计、指令发送、报警以及地图等,实现物联网的智能应用。

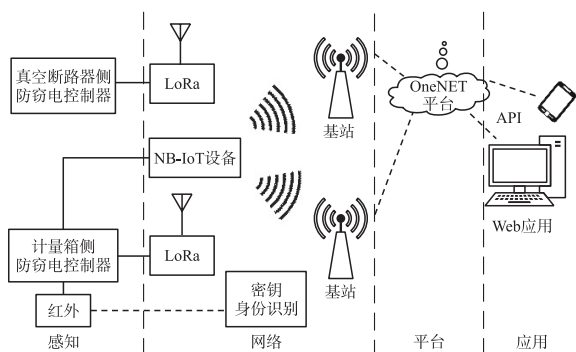


图 3 高压防窃电监控仪

该防窃电方案硬件电路以 STM32 为核心设计,控制器关键数据断电保存在 STM32 的 Flash 中。NB-IoT 设备和 LoRa 设计了单独模块。NB-IoT 设备采用中国移动公司的 M5311 通信模组,M5311 特别适用于以超低功耗、超小尺寸为核心需求的智能 IoT 行业。LoRa 采用 TTL-100 型号,发射功率 100 mW,理论直线通信距离为 3 000 m,在现实中从真空断路器到落地式计量箱之间距离不超过 300 m。

#### 3.1 计量箱侧防窃电控制器

主要功能有获取电流电压以及功率、参数对比、数据上传、计量箱状态监测、身份识别等。因大部分窃电方法都需要对计量箱的设备进行操作,因而需要对计量箱的状态进行监测,对工作人员设计身份识别的密钥方便正常操作计量箱。控制器设计额外电源供应,防止窃电前切断电源而失去监视的能力。

装置通过智能电表的 RS485 接口,按照 DL/T 645—2007 通信协议即可查询到防窃电监测所需参数。目前使用 DL/T 645—2007 通信协议的电能表仍然是安装数量最多的电表。智能电表有两个 RS485 接口,其中一个被用作远程抄表,使用空闲的 RS485 接口可以防止查询命令与远程抄表指令相互串扰。

#### 3.2 真空断路器侧防窃电控制器

主要功能就是获取高压侧参数通过 LoRa 传送至计量箱侧防窃电控制器,因窃电多数围绕计量设备展开,因此该部分为整个防窃电系统最重要部分。

智能开关控制器作用是依据电流的大小通过真空断路器保护电源线路和设备,通过 RS232 接口,采用三线制直接连接,按照 IEC60870-5-101 通信协议读取智能开关控制器,即可获得防窃电所需参数。智能开关控制器的 RS232 通信接口多数空闲,可直接使用,此法比较简单,成本也比较低。

因 IEC101 通信协议比较灵活,总召唤指令虽然相近,但是数据位置、数据格式以及召唤流程各不相同,有些厂商生产的开关控制器因召唤过程较为复杂,读取速度较慢,正常查询一次需要至少 100 ms。并且只有部分开关控制器如 YQT-500 型智能开关控制器可以提供 12 V 直流电源,其他需要额外设计供电电路,因此并非所有厂家的开关控制器都适用于此防窃电系统。

如图4所示,通过高压感应取电装置加霍尔传感器设计高压防窃电监控仪,此方法测量速度快,精度高,不容易被破坏。电源部分采用高压互感取电技



图 4 防窃电系统架构图

术,通过互感线圈获取直流电源为整个电路供电。取电线圈和霍尔传感器并排安装,通过 AD 获取数据。

## 4 现场实验分析

在某地 25 个疑似窃电位置,安装了测试设备,设备部分异常测试结果如表 1 所示,共计 5 个设备发现异常,经最终排查发现有 3 个确实存在窃电行为。设备 2 计量箱曾经被非法打开(计量箱状态未验证),数据正常,经询问后得知用户曾经私自开箱检查设备。

表 1 测试结果

设备号	供电类型	变压器容量	真空断路器		计量箱				窃电嫌疑(Y/N)	时间
			智能开关控制器/高压防窃电监控仪电流(A)	CT 变比	智能电能表电流(A)	CT 变比	电能表状态	计量箱状态		
2	高供高计	630 kVA	A:0.46 C:0.42	200/5	A:1.495 C:1.376	60/5	正常	未验证	Y	200502
7	高供高计	630 kVA	A:0.44 C:0.40	200/5	A:0.000 C:0.000	60/5	失压	正常	Y	200512
10	高供高计	630 kVA	A:0.45 C:0.42	200/5	A:0.000 C:0.000	60/5	失压	未验证	Y	200517
11	高供高计	1 250 kVA	A:1.33 C:1.26	200/5	A:3.478 C:3.293	75/5	正常	未验证	Y	200515
18	高供低计	1 000 kVA	A:1.25 C:1.21	200/5	A:2.102 B:1.955 C:2.058	1500/5	正常	未验证	Y	200513

## 5 结束语

文中提出了一种基于窄带物联网的防窃电方案。该方案针对专变用户包括真空断路器侧防窃电控制器、计量箱侧防窃电控制器、NB-IoT、LoRa、OneNET 平台和 Web 应用。能够快速准确判断窃电是否发生。通过实验结果表明文中防窃电系统效果良好具备了防窃电功能。

### 参考文献:

- [1] 黄荣国,陆春光,姚力平,等. 防窃电仿真试验平台设计与实现[J]. 电测和仪表,2016,53(24):115-120.
- [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):96-103.
- [3] 王全兴,李思韬. 基于采集系统的反窃电技术分析及防范措施[J]. 电测和仪表,2016,53(7):78-83.
- [4] 王辉,刘斐. 无线通信技术在防窃电工作中的应用[J]. 电测和仪表,2015,52(1):124-128.
- [5] 刘超超,赵向阳. 基电流互感器二次侧回路状态检测装置研制[J]. 电测与仪表,2018,55(1):121-125.
- [6] 黄鹏. 电网公司反窃电管控评价技术的研究[D]. 广州:广东工业大学,2019.
- [7] 熊德智,陈向群,陈奕蕾,等. 智能用电监控装置的研制[J]. 电测和仪表,2019,56(5):143-147.
- [8] 匡红刚,易鹏飞,邹平,等. 常见窃电手段分析及反窃电装置设计[J]. 电工技术,2020(4):64-65.
- [9] 窦健,刘宣,卢继哲,等. 基于用电信息采集大数据的防窃电方法研究[J]. 电测与仪表,2018,55(21):43-49.
- [10] 肖监,王玉萍,桂专,等. 一种分布式高低压线路防窃电设计[J]. 电测和仪表,2016,53(15A):185-187.

设备 7 在某一时间段内电能表失压和电流异常,但是会自动恢复正常运行,最终发现用户曾经使用大功率无线非接触型干扰装置使电能表停止工作。设备 10 从计量箱被非法打开后,出现电能表失压和电流异常的现象,排查发现电能表电压回路被人为断开。设备 11 计量箱曾经被非法打开又马上关闭,数据正常,通过排查发现计量箱老化,存在一些松动。设备 18 计量箱被非法打开后数据存在较为严重异常,通过检查发现用户曾经私自改接线路。

- [11] 吴迪,王学伟,窦健,等. 基于大数据的防窃电模型与方法[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2018,45(6):79-86.
- [12] 苏万武. 基于实时监测的智能防窃电系统的设计与研发[D]. 大连:大连理工大学,2017.
- [13] 江秀臣,刘亚东,傅晓飞,等. 输配电设备泛在电力物联网建设思路与发展趋势[J]. 高电压技术,2019,45(5):1345-1351.



张晓新(1975—),男,汉族,辽宁丹东人,硕士,副教授。主要从事电力电子与电机传动、模拟电子信息技术、航空电子信息系统的研究,359192790@qq.com;



王奇超(1990—),男,汉族,山东临沂人,硕士研究生。研究方向为信息获取与处理,wqcexcellence@163.com;



林峰(1963—),男,辽宁沈阳人,教授。研究方向为控制理论与控制工程,lfshenyang163@163.com。