

# 一种新型防窃电装置的设计

赵兵, 吕英杰, 邹和平

(中国电力科学研究院, 北京 100192)

**摘要:** 有效遏制窃电行为具有重大意义, 但目前缺乏可靠实用的防窃电手段。介绍了一种新型防窃电装置, 该装置直接采集用户一次侧用电信息, 作为判断窃电的依据, 对该装置的功能及设计方法进行了说明, 并详细说明介绍了从高压侧获取电源的方法。最后给出了防窃电实例证明该装置的实用性。

**关键词:** 防窃电; 采集器; 高压侧获取电源

## Design of a new anti-stealing electricity device

ZHAO Bing, Lü Ying-jie, ZOU He-ping

(China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

**Abstract:** Even though effectively interdicting the action of stealing electricity is significant, reliable and practical means of anti-stealing electricity is lacking. Now, a new anti-stealing electricity device is introduced in this paper. The electro- information is directly collected from high-tension side and which is acted as the criterion of stealing electricity. Further more, the design method and the function of this device are explained, especially the power module. In the end, an example is given to explain the feasibility and reliability.

**Key words:** anti-stealing electricity; data collection device; power supply

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)23-0116-03

## 0 引言

随着市场经济的发展和人民生活水平的提高。用电需求日益扩大。为节省用电开支, 追求高额利润。许多不法个人或单位采取各种方式窃电。使国家蒙受巨大的经济损失。据统计, 北京市供电企业的被窃电量 1996 年时为 1.36 亿 kWh, 折合人民币 4 030 万元; 2001 年, 北京地区被窃电量 2 亿 kWh, 折合人民币 9050 万元; 到 2002 年, 被窃电量已经上升为 2.22 亿 kWh, 折合人民币 1.02 亿元。吉林省年售电量 230 亿 kWh, 窃电造成的线损如果为一个百分点, 就丢失电量 2 亿多 kWh, 折合人民币 1 亿多元。湖北省用电量 859 亿 kWh, 被窃的电占线损比例高达 21.3%, 窃电量约为 15 亿 kWh, 折合人民币 7 亿多元, 居全国第一。因此, 完善防窃电技术, 有效遏制窃电行为具有重大意义。

## 1 现有窃电方式及防窃电技术

计量的电能取决于电压、电流、功率因数三者与时间的乘积, 改变以上任一要素, 都可达到窃电

的目的。现存的窃电手法种类很多, 归纳起来主要分为以下几种方式<sup>[1]</sup>: (1) 电压法窃电。即将接入电能计量设备的电压回路断开或松掉, 导致电压回路失压或欠压。(2) 电流法窃电。即对接入电能计量设备的电流回路(计量电流互感器——CT, current transformer 一二次侧)实施短路或开路, 造成流入计量设备的电流减少。(3) 错相法窃电, 也称移相法窃电或相角法窃电。即改变电能计量设备电压回路或电流回路的接线。从而改变计量设备正确的电压或电流相位关系。使电能计量不准。(4) 扩差法窃电。从物理上破坏电能计量设备的计量机理, 扩大电能计量设备误差。(5) 表前分流窃电。在电能计量设备前私自接线用电, 使一部分电流没有流经计量设备, 从而使电量少计。

对于电压法及错相法窃电可采用高速交流采样芯片采集相电压、电流信号, 通过与阈值电压相比较可判断是否存在失压或欠压; 同时, 采用傅立叶算法可计算电流与电压间的相量角, 从而判断是否存在错相窃电。对于扩差法窃电及表前分流窃电, 主要采取硬件防范措施, 如采用专用计量箱或电表

箱、封闭变压器低压出线端至计量设备的导体、采用防撬铅封等, 均可取得一定的效果。但是, 对于电流法窃电, 并没有实用可行的方法, 文献[1]中提出了在客户总路的保护回路中取电流信号进行测量的方法, 理论上可行, 但涉及到保护系统的安全运行, 并不实用。文献[2]中提出了采用在计量 CT 注入高频信号的方法, 理论上, 电流法窃电, 无论是对 CT 二次侧回路实施开路或是短路, 实质上都是改变了 CT 二次侧回路的电路结构, 也即改变了电能计量设备的外部阻抗。因此由计量设备向 CT 二次侧发出一个探测信号。通过测量探测信号电压均方幅度来达到测量计量设备外部阻抗的目的。但此法首先需要对计量设备的 CT 增加绕组, 由于计量设备目前已成为一类标准化设备, 其检验规范非常严格, 对电表进行改装是不可行的, 另一方面如果不改变电表的 CT, 则需要有一个窃电测量装置串入系统的计量回路, 这是计量工作所不允许的。再次, 由于注入信号和工频信号存在互相干扰, 对计量精度的影响是不可忽视的。

综上所述, 目前发现的这些窃电方式, 有一个共同的特点, 就是都发生在配电线路的二次侧; 所以, 如果能在一次侧安装一个测量设备, 与二次计量设备的测量数据进行比对, 就能很容易发现窃电行为。

## 2 一种新型装置的设计

### 2.1 窃电原理

图 1 为一个大型工业用户的典型配电线路图, 该用户安装了一台负荷管理终端, 该终端同步抄读安装在二次侧的电能表数据和一次侧的采集器数据, 比对数据判别异常; 同时系统根据采集到的数据形成两条负荷曲线, 通过负荷曲线可以判别是否存在窃电行为以及窃电时间。

所以, 设计一个能安装在一次侧的测量装置(数据采集器)成为本防窃电系统的关键。

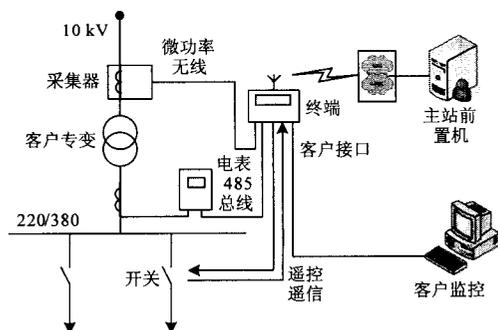


图 1 防窃电原理示意图

Fig.1 Principle of anti-stealing electricity

### 2.2 功能设计

数据采集器直接套/串接在客户专变一次侧电力线上, 用于采集、处理、存储一次侧的三相电流, 三相功率, 并经专门的无线信道将数据发送到专变二次侧的位于负荷管理终端中的数据接收器, 由终端进行专变一、二次侧的负荷曲线比对, 并将异常用电信息及时上报到负荷管理主站。

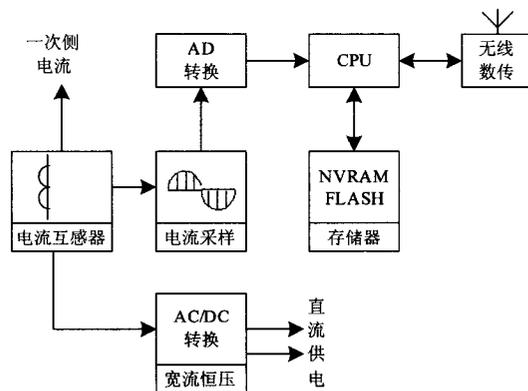


图 2 采集器功能框图

Fig.2 Block diagram of the data collection device

数据采集器的基本原理如图 2 所示。电源模块从高压线路上直接获取电能经整流滤波后供整个装置使用。三相电流经过 CT 转换为标称值为 5 A 范围内的电流, 再把该信号经过传感器转换为标称值为 5 V 的电压信号。信号经过过零比较器生成频率相同的方波, 以利于测频和实现缺相检测。同时信号经极性变换, 进入 A/D 转换器。CPU 控制 A/D 的采集, 并进行电流和功率有效值的计算, 将额定电压作为基准电压  $u(n)$  进行功率计算虽然有误差, 但作为窃电依据是完全可靠的。计算公式如下<sup>[3]</sup>, 其中  $i(n)$  为采样值,  $N$  为采样次数。并将计算后得到的结果保存在掉电不丢失的 NVRAM 里。

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} i(n)^2} \quad (1)$$

$$P = \frac{I}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \times i(n) \quad (2)$$

### 2.3 电源设计

在数据采集器的设计中, 交流采样、A/D 转换和计算电流有效值的方法已经成熟, 而电源的提供成为本装置设计中的关键技术。由于高压测量系统中的高压侧要对地绝缘, 所以此类装置的高压侧电源不能用导线从低压侧供给。在本设计中, 采用反馈控制电路, 通过控制磁通的方法达到控制输出恒定电压的目的<sup>[4]</sup>。工作原理见图 3。

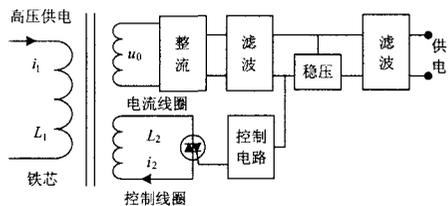


图3 电源原理图

Fig.3 Principle of power supply

电源输出电压为：

$$u_0 = W_0 \frac{d\phi}{dt} = W_0 L_1 \frac{di_1}{dt} - W_0 L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (3)$$

其中： $i_1 = I_m \sin \omega t$  为高压母线电流， $i_2$  为控制回路电流。

由于  $I_m$  在几 A 到几 kA 之间，且为余弦变化，所以只需  $di_2/dt$  去抵消  $I_m$  的大范围变化即可。因此，要求控制回路的开关具有快速关断和导通的能力。

本设计采用双向可控硅，利用其过零关断的特点，达到控制简单、可靠的目的。

电源变压器铁心工作在线性范围内时，变压器的二次侧感应电势为：

$$e_2 = -\omega N_2 \Phi_m \cos \omega t = \omega N_2 \Phi_m (\sin \omega t - \pi/2) \quad (4)$$

感应电势的有效值为：

$$E_2 = (\omega N_2 / \sqrt{2}) \Phi_m = \sqrt{2} \pi f N_2 B S \quad (5)$$

式中： $N_2$  为二次侧线圈匝数； $\Phi$  为磁路中磁通； $f$  为电网电压频率（50 Hz）； $B$  为铁心磁感应强度； $S$  为铁心截面积。可见，只要增大  $N_2$ 、 $B$  或  $S$  就可提高变压器的二次侧感应电势。 $B$  与铁心材料特性有关，为了减少电源工作死区，铁心材料选用新型的坡莫合金，它励磁电流较小，导磁率高，可在较小的母线电流下感应出所需电压；要注意在线性

范围内电源铁心二次侧电流与  $N_2$  成反比，增加  $N_2$  使带负载能力下降；增大  $S$  会使铁心重量增加，故须综合考虑几方面的因素。

电源变压器输出的交流功率信号经由桥式整流和电容滤波电路后得到直流电压平均值为：

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} E_2 \sin(\omega \cdot t) dt = 2\sqrt{2} E_2 / \pi \quad (6)$$

本装置设计中， $U_d$  设计为 12 V，纹波小于 20 mV，提供的功率为 200 mW，可以确保电路的正常工作。

### 2.4 低功耗无线通信设计

根据安装现场通信距离和功耗的要求，对无线通信部分设计指标为：中心工作频率：470 MHz ± 2 kHz，调制方式：GFSK（高斯频移键控），带宽：200 kHz，功能：双向半工通信，通信速率：9600 bps，发送功率：≤ 50 mW，可靠通信距离（无方向）：≥ 30 m，接收灵敏度：≤ -100 dbm，通信数据格式：8 位数据位、1 位起始位、1 位停止位、偶检验，可设置。

## 3 实验与结论

主台软件功能设计先进，可以在同一个时点上自动分析和识别一次侧供电量和二次侧用电量间的异常和窃电的数据特征。如图 4 所示，两条曲线分别为某企业用户一次侧和二次侧的负荷曲线在主站上的显示结果，该数据由安装在企业的负荷管理终端从二次侧电表和一次侧的数据采集器获得。可以清楚地看到，正常情况下，两条负荷曲线基本吻合，但在窃电状态下，二次侧负荷曲线的值明显低于一次侧负荷曲线，而且能记录窃电发生和停止的时间。

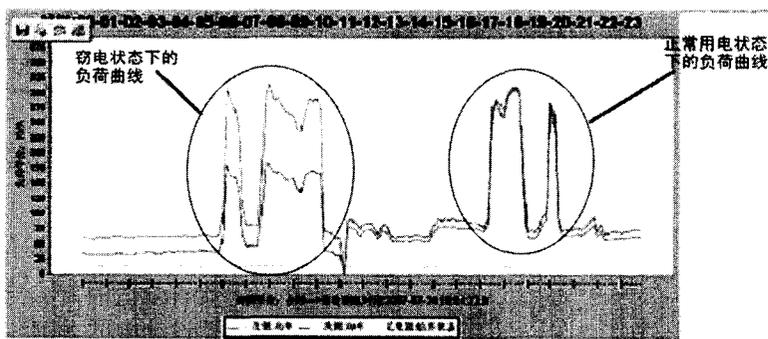


图4 防窃电典型案例图

Fig.4 Typical case of anti-stealing electricity

所以，这种防窃电方法可以做到一次侧监测，数据准确，用户无法破坏，全天二十四小时自动监

控，节约人力物力，实时监控，实时报警，证据确凿，便于计算被窃电量损失。

（下转第 184 页 continued on page 184）

率分辨率, 这样即使导线有 1 mm/s 的运动速度, 比较器也能感知。考虑到晶体振荡器的温度和老化特性, 比较器舍弃了接收信号和常数比较的方式, 提高了比较器的可靠性。

### 4 FPGA 频率比较器仿真

设定外部时钟频率为 40 MHz, 解析时间 10 ms, 当接收信号频率分别大于等于、小于 40 kHz 时, Altera 公司提供的 Quartus II 软件的仿真结果如图 4。(a) 图中 AgeB 信号的瞬时下陷和 (b) 图中开始时段输出信号高电平, 是由于上电时初始频率数据均为零, 以及收发信号的相位差所致, 正常工作时将不再会出现。

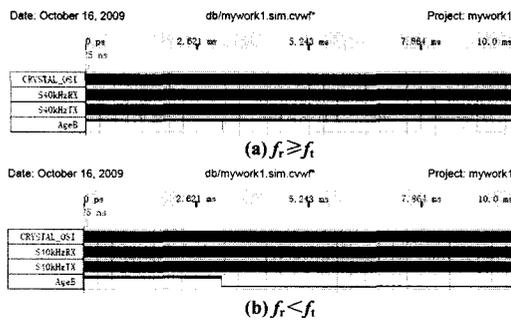


图 4 仿真波形

Fig.4 Simulation waveform

### 5 误差分析

当外部晶振的稳定度在  $10^{-7}$  水平时, 由于要求的分辨率在 0.1 Hz, 约为 40 kHz 的百万分之 2, 晶振的相位噪声对测量结果的影响可以忽略。考虑到导线开始运动时加速度很大, 对晶振的要求可以进一步降低, 稳定度在  $10^{-6}$  数量级即可满足要求。

(上接第 118 页 continued from page 118)

#### 参考文献

[1] 韩谷静, 殷小贡, 秦亮, 等. 电能计量设备防电流窃电新技术[J]. 电测与仪表, 2007, 44(10): 29-32.  
HAN Gu-jing, YIN Xiao-gong, QIN Liang, et al. A Novel Technique of Preventing Electricity-stealing in Current Method for Electric Power Measuring Equipment[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2007, 44(10): 29-32.

[2] 龚文净, 朱世军. 负荷管理系统反窃电技术的应用分析[J]. 中国高新技术企业, 2008, 9: 60-61.  
GONG Wen-jing, ZHU Shi-jun. The Application Analyzing of Preventing Electricity-Stealing in Load Management System[J]. China High Technology Enterprises, 2008, 9: 60-61.

考虑到声速在短时间的稳定性, 声速的变化将不会显著影响定向测量结果。对于高海拔地区, 声速将明显降低, 将影响测向的灵敏度 (最多减少 1/5)。

### 6 结束语

用 FPGA 构造的频率比较器, 具有分辨率高, 工作稳定可靠, 易实现的特点, 和超声波换能器结合, 可方便地实现对张力放线方向的监测, 给激光测长仪提供了实时信号, 保证了导线长度测量的准确性。

#### 参考文献

[1] 郑永令, 贾起民, 方小敏. 力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.  
ZHENG Yong-ling, JIA Qi-min, FANG Xiao-min. Dynamics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.

[2] 安居, 张福民. 利用激光多普勒效应进行电缆动态定长的研究[J]. 工业计量, 2007, 17(5): 6-7.  
AN Ju, ZHANG Fu-min. Study on Dynamic Cable-Length Measurement with Laser Doppler Effect[J]. Industrial Measurement, 2007, 17(5): 6-7.

[3] 李利品. 基于 DSP 的高精度超声波流量控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2009, (3): 132-133.  
LI Li-pin. High precision Ultrasonic Flux Control System Based on DSP[J]. Instrument Technique and Sensor, 2009, (3): 132-133.

收稿日期: 2008-06-06; 修回日期: 2009-07-14

#### 作者简介:

张国志 (1966-), 男, 高工, 工学硕士, 主要从事变电工程技术管理工作;  
刘万东 (1957-), 男, 高工, 主要从事输变电工程技术管理工作。

[3] 伍丁红. DSP 在电力监控装置中的应用研究[J]. 现代电子技术, 2003, 26(20): 91-95.  
WU Ding-hong. Research of DSP'S Application in Power Testing Equipment[J]. Modern Electronics Technique, 2003, 26(20): 91-95.

[4] 李芙英, 朱小梅, 纪昆, 等. 一种应用于高电压侧测量系统中电源[J]. 高电压技术, 2002, 28(3): 46-47.  
LI Fu-ying, ZHU Xiao-mei, JI Kun, et al. The Power Supply of Optoelectric Current Transducer[J]. High Voltage Engineering, 2002, 28(3): 46-47.

收稿日期: 2008-12-12

#### 作者简介:

赵兵 (1971-), 男, 硕士, 工程师, 从事用电新技术研究工作. E-mail: zhaob@epri.sgcc.com.cn