

一种无表电量计费智能分析仪的研制与应用

陈 星¹, 毛 恒², 陈亚文¹, 王 佳³, 马 创¹, 舒世钰¹, 翁嘉明⁴

(1. 国网青海省电力公司电力科学研究院, 西宁 810008; 2. 华北电力大学 电气与电子工程学院, 北京 102206;
3. 红相股份有限公司, 福建 厦门 361008; 4. 上海交通大学 电力传输与功率变换控制教育部重点实验室, 上海 200240)

摘 要: 为了解决目前无法精确计算用户电能表更换期间的电量, 损害供电方、发电方及用户之间的切身利益。研制了无表电量计费智能分析仪, 首先, 通过研究二次回路的实际功率, 对无表计费方法的软、硬件原理进行了分析研究, 研制出了无表电量计费智能分析仪, 实现了电量的准确追补; 其次, 为了确保所研制仪器的安全性以及实时性, 提出了一些优化措施, 减小装置的接入与拆除对系统二次回路的影响; 最后, 将研制的分析仪应用于多个现场, 并以其中一个现场应用进行剖析, 结果表明传统计量追补电量的误差为 11.7%, 通过现场数据验证了研发的无表计费装置的实用价值。

关键词: 电能表更换; 无表计费; 电量追补; 现场应用

DOI: 10.15938/j.jhust.2021.01.011

中图分类号: TM933.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2021)01-0077-09

Development and Application of an Intelligent Meter-less Electricity Charging Analyzer

CHEN Xing¹, MAO Heng², CHEN Ya-wen¹, WANG Jia³,
MA Chuang¹, SHU Shi-yu¹, WENG Jia-ming⁴

(1. State Grid Qinghai Electric Power Company Electric Power Research Institute, Xining 810008, China;
2. North China Electric Power University School of Electrical & Electronic Engineering, Beijing 102206, China;
3. Hongxiang Co., Ltd., Xiamen 361008, China; 4. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to solve the problem to accurately calculate the electricity quantity during the replacement of electricity meters for users, which damages the vital interests of the power supplier, the power generator and the users, this paper developed an intelligent meter-less electricity charging analyzer. Firstly, by studying the actual power of the secondary loop, the software and hardware principles of the meter-less billing method were analyzed and researched, and a smart meter for meter-less charging was developed, which realized the accurate recovery of electricity. Secondly, in order to ensure the safety and real-time performance of the developed instrument, some optimization measures were proposed to reduce the impact of device access and removal on the secondary circuit of the system. Finally, the developed analyzer was applied to multiple sites and one of them was analyzed. The analysis of the application showed that the error of the traditional metering was 11.7%, and the practical value of the developed

收稿日期: 2019-07-24

基金项目: 国家自然科学基金(51677116); 青海省电力公司电力科学研究院 2019 年科技项目(52280717000R); 国家电网有限公司总部 2019 年科技项目(5228001900K)。

作者简介: 毛 恒(1978—), 男, 博士, 高级工程师;

陈亚文(1986—), 男, 本科, 工程师。

通信作者: 陈 星(1987—), 男, 工程师, E-mail: 619695715@qq.com.

meter-less electricity charging analyzer was verified by field data.

Keywords: electricity meter replacement; meter-less charging; power recovery; field application

0 引言

电能表是电力企业经营的主要测量工具,其计量准确性直接关系到发供电三方的切身利益^[1]。目前,用户用电过程中所使用的电能表已经较为成熟、准确,但是根据电力相关部门规定需定期更换电能表,则在更换电能表的过程中将无法准确计量用户所用电量,因此开展无表电能计量研究对电量追补具有非常重要的实际意义^[2-4]。

目前国内很多学者对电量追补问题进行了深入研究^[5-11]。范涛等^[5]研究了失压状态下,电能表追补电量的研究;王昕等^[6]对电厂关口电量少计开展了追补算法研究;王俊融等^[7]以计量自动化系统采集电能量数据为基础,提出几种基于计量自动化系统的电量追补方法。这些学者所开展的追补电量研究均是基于电能表主要计量功能完好情况下的电量追补,目前国内外针对无表情况下的追补电量方法为:记录换表前后的电压、电流大小以及功率因数,对换表前后的电压等参数取平均值,进而求得换表期间的追补电量。这种方法只能粗略估算追补电量不能准确计算现场上网(下网)的实际电量,尤其是在线路倍率很大时,与实际电量的差值会很大;且经常有用户向计量单位反映了对所追补电量存在疑问,对优质服务工作的印象大打折扣。

鉴于此,本文开展了无表电量计费的研究,首先通过对二次回路的功率进行研究,并基于此对无表电能计费智能分析仪的硬件、软件进行了设计,确定了各个模块的设计;其次,鉴于此装置要装在二次回路上,因此对装置的安全性以及实时性进行了研究分析,提出了恰当的保护措施以避免该装置对原有的二次系统造成影响;最后,研制了无表计费装置样机并通过了华东国际计量测试中心的鉴定,并将该装置应用于多个电站出口处,通过现场实验验证此种装置相比传统方法更能准确计算追补电量,说明了此装置具有良好的实用价值。

1 无表计费智能分析仪的设计分析

1.1 无表电能计费的理论研究

通过采集单元对 A、B、C 三相的电压、电流进行

同步采样,采样频率为 N ,每获得一个周期的数据,及时地对 6 路信号进行处理,计算三相电压、电流、有功功率、无功功率、视在功率、相位和频率等电参量。

对一个周期内的三相电压电流数值,分别计算 N 个波形点的均方根,由此获得每一相的电压、电流有效值。计算有功功率时可将 6 个电压波形数组和电流波形数组的点对点相乘并相加;而无功功率计算时则采用移相 90° 方法^[12],即:

$$\left. \begin{aligned} P_a &= U_{a1}I_{a1} + U_{a2}I_{a2} + \cdots + U_{aN}I_{aN} \\ P_b &= U_{b1}I_{b1} + U_{b2}I_{b2} + \cdots + U_{bN}I_{bN} \\ P_c &= U_{c1}I_{c1} + U_{c2}I_{c2} + \cdots + U_{cN}I_{cN} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_a &= U_{a1}I_{a_{N/4+1}} + U_{a2}I_{a_{N/4+2}} + \cdots + U_{a_{3N/4}}I_{a_N} + \\ &\quad \cdots + U_{aN}I_{a_{N/4}} \\ Q_b &= U_{b1}I_{b_{N/4+1}} + U_{b2}I_{b_{N/4+2}} + \cdots + U_{b_{3N/4}}I_{b_N} + \\ &\quad \cdots + U_{bN}I_{b_{N/4}} \\ Q_c &= U_{c1}I_{c_{N/4+1}} + U_{c2}I_{c_{N/4+2}} + \cdots + U_{c_{3N/4}}I_{c_N} + \\ &\quad \cdots + U_{cN}I_{c_{N/4}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

由此,可以得到三相的有功、无功功率:

$$\left. \begin{aligned} P_z &= P_a + P_b + P_c \\ Q_z &= Q_a + Q_b + Q_c \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

根据式(3)即可获得用户的电能数据,而目前全国基本采用峰谷电价,因此在进行电量计费时应考虑电能的实时性,方能准确计算无表期间的电费。

1.2 系统设计

1.2.1 无表计费软硬设计

根据上述电能计量的原理,设计了如图 1 所示的系统硬件结构图。整个设备主要由电压、电流模拟采样单元、数字信号处理单元、误差计算单元、双向计量电能单元、人机界面控制单元、通讯单元和辅助工作电源单元组成。

根据图 1,在模拟输入模块中,直接接入三相电压,经相关电阻分压采样到 A/D 模块进行转换。电流的采样可依照现场校验需求选择经内置的精密互感器或钳形互感器方式采样得到。所采集到的模拟信号经 16 位串行 A/D 转换器转换为数字信号。为使每相电压、电流同时进行采样,采用采样保持器以保证最后信号以串行方式输入至数字信号处理

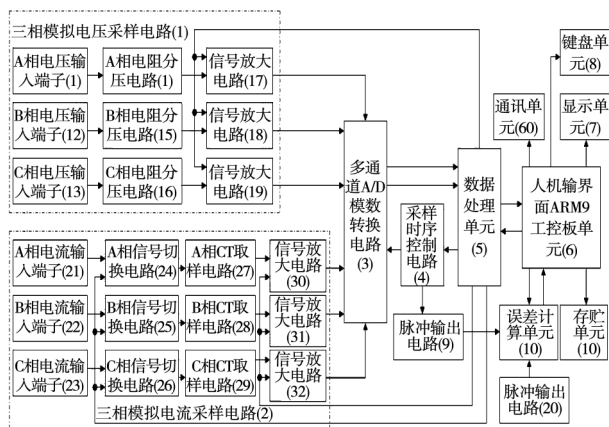


图1 无表计费装置整机硬件原理图

Fig. 1 Hardware schematic diagram of meter-less charging device

器^[13-15]。在数字信号处理器中将对采样的信号进行高速加工运算处理,最后并将处理完的结果上传至ARM中央处理器。ARM可对结果进行后期处理,输出数据显示查看,数据管理和功能切换等。可完成对现场工作中、电能表更换期间的电量追补、测试电路三相相电压、线电压、三相电流、相位差、容性、感性判别、接线相序、电表走字快慢、接线是否正确等判断。

通过上述硬件研究和软件研究,解决了标准电能表无法进行实时计费的问题,使得无表计费装置具备了实时计费、故障判断、电能表校验等诸多功能。

1.2.2 无表计费软件设计

结合无表计费的原理以及系统的硬件设计部分,对软件部分进行了设计,软件运行流程如图2所示。

图2可描述为:将无表电量计费智能分析仪(以下简称无表计费装置)接入被测系统后,启动软件的无表计费功能,对实时采样现场的电压、电流进行采样。

第1步:判断瞬时值的正确性,如果显示电压电流瞬时值不对,需要重新检查接线是否正确;

第2步:判断接线方式是否正确,界面显示六角向量图,显示接线的正确性。如果判断结果不正确需要重新检查接线并确认;

第3步:等一切准备就绪后,即可在软件界面中“启动计费”功能。此时,无表计费装置开始进行通过内部的标准计量单元,进行计费,并且能够实时通过界面反馈具体计量信息,时间长度等。同时,工作人员开始现场进行表计更换等检修维护工作;

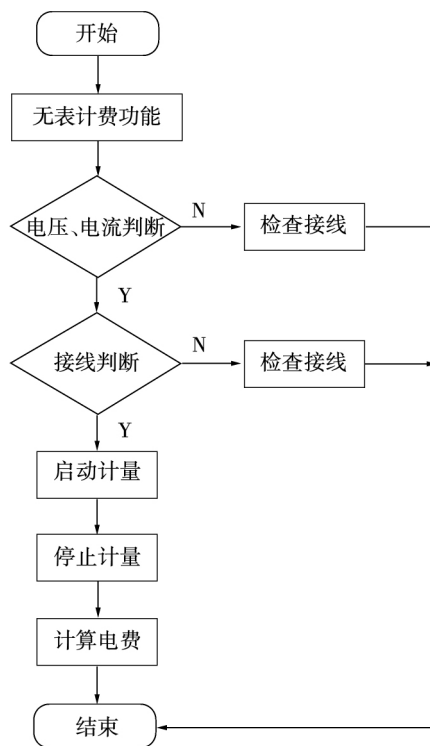


图2 无表计费装置软件分析流程图

Fig. 2 Flow chart of software analysis for meter-less charging device

第4步:当现场工作完成并保证正确操作后,即可“停止计费”,仪器自动通过内部算法将此时间段内的电能量进行统计,换算,形成正式结算界面显示并保存。

2 系统的优化设计

为了保证测量仪器的计算结果准确性以及外接设备不影响原系统的稳定性和安全性,本节对此部分进行研究,保证原系统依旧能稳定运行。

2.1 无表计费电量追补的安全优化设计

通过对国内常用电能表计量二次回路接入方式的研究^[16-17],通过在电能表屏后侧试验端子接线方式将本文设计的无表计量装置的接入二次回路中。

具体分析为:电能表屏后侧试验端子接线是通过计量屏后侧的试验端子排将电能计量无表计费装置接入电流二次回路。这种方法将无表计费装置接在试验端子排互感器本体测,当划开试验端子排中间的电流短接连片后,电能表侧将没有电流,同时也不会发生电流互感器二次侧开路的问题,避免了采用组合接线盒、互感器试验端子排到电能表方式的弊端。

在接入的安全性上,本文提出了两种措施以防止接线错误或工作失误而导致安全事故:

第一,无表电量计费装置对稳定性要求较高,如果装置的电压或电流线掉落或者电能表屏端子排上电压或电流线掉落,就会导致电量计量异常。考虑到装置对计量稳定性要求较高,在电压和电流线两端增加了锁紧部件,确保了装置计量电量时不发生电压失压或电流失流。

第二,无表电量计费装置对接线正确性要求极高,所以装置需有错误接线判断功能以防止接线错误造成电量追补错误。在装置串接入计量二次回路后,首先进行接线判断,确定接线无误后,方能启动无表计费功能。

为了保证无表计费装置在电能表更换期间运行的可靠,采用了输入范围为 50 ~ 450 V 的开关电源,具有超范围切断保护功能,内置锂电池,可电池供电同时也可选择端供电,电源原理框图如图 3 所示。

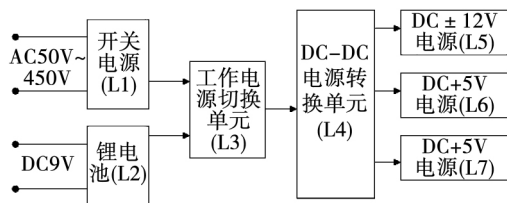


图3 电源原理图

Fig. 3 Power supply schematic diagram

因此,通过本节的设计内容,保证了无表计费装置在电能表更换期间接入二次回路的安全性及运行的可靠性,有效保证了无表计费电量的追补及二次设备的稳定运行,提升电能表更换工作质量,避免了诸多安全隐患。

2.2 无表计费电量追补的实时性优化设计

为了确保无表计费装置在电能表更换期间电量追补的实时性及准确性,结合硬件原理和软件原理,通过开展模拟采样优化研究、电能误差计算单元研究、数据管理单元研究、双向电能计量单元研究,人机界面单元研究,通信单元研究,实现了无表计费电量追补的实时性及准确性。

2.2.1 模拟采样优化研究

为了提高电流电压信号的采样的精确性,采取了以下方法:电流采样通过端子直接输入时采用额定 AC 5 A 输入,可过载一倍电流,有源补偿;电流采样通过钳表输入时采用额定 AC 5 A 输入,有补偿电路进行补偿。模拟电路由 CT/高精度钳表、精密电阻、信号调理电路、A/D 转换电路、电流基准组成,

可实现电流信号准确采样。CT 取样原理框图如图 4 所示。

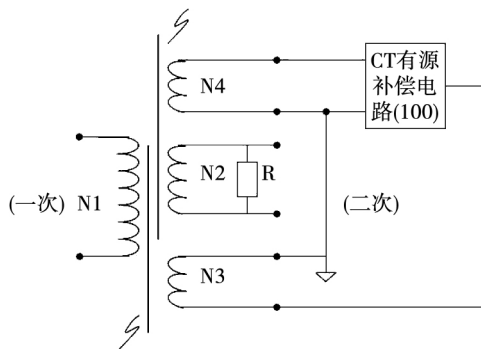


图4 CT取样原理框图

Fig. 4 Principle block diagram of CT sampling

电压采样采用直接输入方式,最大输入 AC 500 V,通过内部电阻取样;模拟电路由精密电阻分压电路、信号调理电路、A/D 转换电路、电压基准组成,可实现电压信号准确采样。

2.2.2 电能误差计算单元研究

误差测量单元采用 STM32F103 芯片设计,可输入两路被测脉冲,具备两路脉冲同时检验功能;脉冲输入回路具备防误入高压信号保护电路,能够实现电能误差计算^[18-20],其原理框图如图 5 所示。

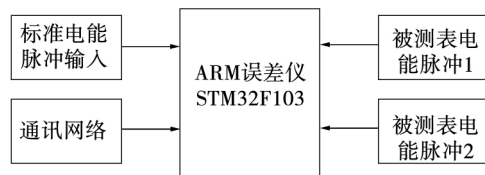


图5 误差计算单元原理图

Fig. 5 Schematic diagram of error calculation unit

2.2.3 数据管理单元研究

信号处理单元是基于 STM32F207 芯片设计,基于此设计饿的信号处理模块具备频率捕获和跟踪功能、电压、电流、相位、频率和功率等所有电参量计算功能和有无功电能脉冲输出功能具备数据上传功能。

2.2.4 双向电能计量单元研究

双向脉冲式计量单元光电转换及双向脉冲输出控制电路如图 6 所示。

双向电能计量单元具有双向计度的功能,既能测量正向消耗电能,又能测量反向消耗电能^[21]。当负载呈感性时正转,对应感性负载的耗能计量;负载呈容性时则反转,用另一计数器对容性负载的耗能计量。另外,一些并网运行变电站使用的有功电能

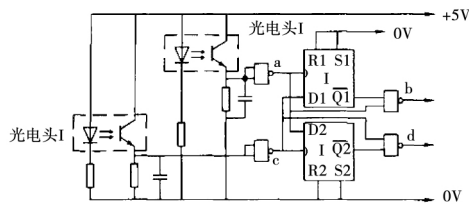


图 6 双向脉冲输出控制电路图

Fig. 6 Bidirectional Pulse Output Control Circuit Diagram

表也有反转的可能,对此,过去一般都采用两只有功电能表分别进行正、反向计量,双向计量单元即可实现有功电能的正、反转计量。

在电路设计和制造上,双向脉冲计量单元比单向脉冲计量单元复杂,它有两套脉冲转换电路,分别输出正转和反转电能脉冲,通过上述方式,实现了正(反)向有功(无功)电量的准确计量。

2.2.5 人机界面单元研究

人机界面单元采用 A8 核心嵌入式系统,显示单元采用 5.6 寸真彩具备触摸屏功能的液晶显示屏,可实现电量显示、参数配置、功能检测、通信等功能。

2.2.6 通信单元

通信单元具备 RS232/485 通信接口、USB 通信接口及 wifi 或蓝牙通信接口,可支持多种通信模式,实现数据交互功能^[2]。

3 无表计费装置的研发与现场应用

根据以上的理论分析以及装置的软硬件设计,研发了一种现场用的无表计费装置,且经过华东国家计量测试中心的相关测试,证明了所研发仪器功能的完整性、性能的准确性。此外,为了验证所研设备的实用性,将此设备进行了现场应用,通过实际应用验证了所研发的无表计费装置的有效性。

3.1 装置的研发

为了增强研发装置的实用性,在开发无表计费模块的同时,还为该仪器设置了其他功能,可辅助仪器进行无表计费。此外,在仪器计费故障时也可查询故障原因,研发的无表计费装置的主界面如图 7 所示。

3.1.1 波形显示

该仪器设置波形显示功能更为直观地示用户的电压、电流情况,同时在电量计费过程中,也需要用到采集的电压、电流信号。根据图 2 的计费流程,一

测量				波形显示	
电 压		电 流		功率因数	
U1		I1		PF1	
U2		I2		PF2	
U3		I3		PF3	
有功功率		无功功率		视在功率	
P1		Q1		S1	
P2		Q2		S2	
P3		Q3		S3	
总 功 率		相 角		电压相角	
ΣP		$\Phi 1$		$\Phi 12$	
ΣQ		$\Phi 2$		$\Phi 13$	
ΣS		$\Phi 3$		FRE	

图 7 电能测试界面

Fig. 7 Electric Energy Test Interface

旦电压、电流接线有误,系统将提示使用者检查仪器接线,此时可打开此界面,通过分析采集得到的电压、电流波形分析接线故障原因。

3.1.2 接线判别

接线判别主要用来检查电能表接线是否正确,可显示三相电压和三相电流的向量图,三相四线时,只要看向量图,检查接线就一目了然。此外,在采用三相三线接线方式时,除了观察电压、电流的向量图外,还可对不同的接线判别分析结果。

三相三线状态下,进行接线判别时,需要根据功率因数判别其负载的容性或感性,如果是容性负载,需要按最上面第一个功能键将负载参数设置成“容性”,反之,设置成“感性”。另外,功率因数要在大于 0.5 的情况下,接线判别结果才能保证准确,界面如图 8 所示。



图 8 接线判别界面

Fig. 8 Wiring discrimination interface

具体判别方法如下:

1) 判断正相序和逆相序:

如果角度 $U_{bc} < 180^\circ$ 为正相序, $U_{bc} > 180^\circ$ 为逆相序。一般算出来的角度是 U_{cb} , 所以需要加上 180° 或者减去 180° 。

2) 根据“容性负载”或者“感性负载”参数加

55°或者加5°:选择“容性负载”时, I_A 和 I_C 角度均加55°,择“感性负载”时, I_A 和 I_C 角度均加5°。

3) 判断电流角度区间:

这里提到的电流角度 I_A 和 I_C 都是相对于 U_{ab} 之间的角度。0~360°之间一共分成6个角度区间, I_A 和 I_C 分别都可能处在这6个区间,如图9所示。

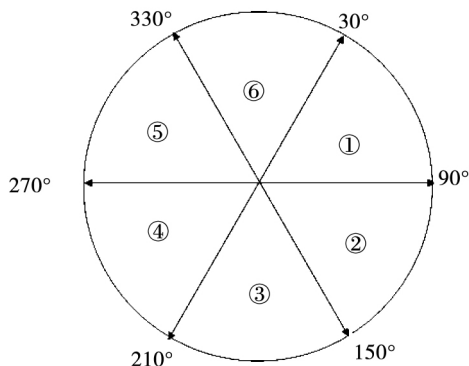


图9 接线判别界面

Fig. 9 Wiring discrimination interface

根据前期的测试试验分别获得 I_A 和 I_C 在各个区间内所对应的接线情况(例如A、B相电压接错、A、B、C电压接为B、C、A等),根据实际测得的电压、电流结果测试仪器将显示出目前接线的判别结果。

3.1.3 误差测量

在电能测试界面上,按“误差测试”功能键,将进入电能表误差测试画面,如图10所示。

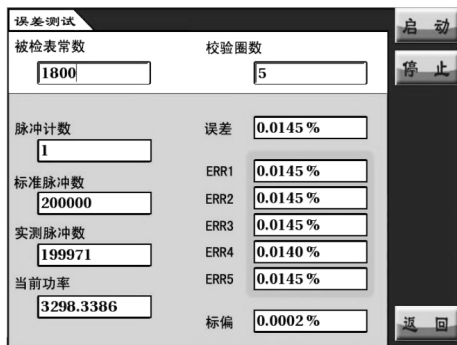


图10 误差测试界面

Fig. 10 Error test interface

由图10可见,“被检表常数”和“校验圈数”为两个可设置的参数。进入该界面开始测试电能表误差之前,一定要设置好这两个参数。“被检表常数”为被检电能表的电能常数。不同的被检表有不同的电能常数,一般情况下,这个常数在被检电能表的铭牌上会有标示。“校验圈数”则用来定义误差计算的频率,也就用来规定每几个被检表脉冲计算出一个电能误差。“脉冲计数”为误差测试过程中,被检

表脉冲以校验圈数为一个循环进行的计数。每记满一个循环,算出一个误差。“标准脉冲数”为各个档位根据标准电能常数算出来的一个理论脉冲数。“实测脉冲数”为在一个循环内实际测量到的脉冲数。电能表就是根据这两个脉冲数计算出来的。公式如下:

$$\text{误差} = (\text{标准脉冲数} - \text{实测脉冲数}) \div \text{实测脉冲数} \times 100\%$$

“当前功率”指的是标准表当前测到的功率,此功能有可能是有功功率,也可能是无功功率,这由当前的被检表是有功电能还是无功电能、参数设置界面上的“电表类型”参数是选的是有功(3P4W W 或者 3P3W W)还是无功(3P4W Var 或者 3P3W Var)来决定。“误差”则是根据上面的公式算出来的误差值。“ERR1~ERR5”为实时更新的5个误差值。“标偏”则是根据5个误差值,实时算出来的标准偏差。

如果启动误差测试后,界面并不显示误差测试数据,则应该检查测试系统接线是否正常,被检表脉冲是否以低频方式输入到该标准表。如果界面显示了误差测试数据,但数据不正常,则应该检查被检表常数是否设置正确。

3.1.4 无表计量

所研发仪器的主要功能为无表计量,其界面展示如图11所示。



图11 无表计量界面

Fig. 11 Meter-less measurement interface

进入此界面后,区域1显示当前的电能状态;区域5为无表计量电能累积显示区域;区域2为原表数据填入区域,用户可以在开始测量前将电表的数据录入到现场校验仪中;区域3为电能测量区域,显示当前的各项参数,包括电压、电流等;区域4为接线判断功能,用户可以根据接线判断功能来判定是否接线正确。

在用户接好线路一切准备就绪后,可以通过按钮“启动”键来开始无表计量的主功能,届时仪器将会自动开始累积电能功能(显示在区域 5)。

下面 3 个按键分别是无表计量的 3 个附加功能界面,分别是“数据查看”,“数据保存”,“系统时间设置及尖峰平谷时间段设置”。在“数据查看”界面内,可以看到最近保存的无表计量测试数据,如有需要可将数据导出到 U 盘里。

对于图 11 中的“设置”模块,可设置尖峰平谷的时间段,这对正确计量用户的电费尤为重要,如图 12 所示。



图 12 无表计量时间设置

Fig. 12 Meter-less metering time setting

3.2 现场应用

为了验证本文所研制的设备可行性与准确性,对无表计费电量计量智能分析仪在部分发电厂及变电站进行了现场验证,验证结果如表 1 所示。

表 1 现场验证结果

Tab. 1 Field verification results

线路名称	线路倍率/ 万	传统计量/ (万 kWh)	无表计量 电量/ (万 kWh)	电量误差/ (%)
某水电站 35 kV 线路	3.5	0.760 7	0.764 8	0.539 0
某水电站 110 kV 线路	6.6	2.659 4	2.661 1	0.063 9
某风电厂 110 kV 线路	88	0.612	0.636 8	4.052 3
某光伏电站 330 kV 线路	660	17.256	15.444	1.089 5
某火电厂 330 kV 线路	396	11.60	11.761 2	1.390
西宁 750 kV 官宁线	1 912.5	58.596 1	58.331 2	0.452 1

以互补光伏电站现场为例,对比传统方法追补电量以及采用无表计量装置的追补电量。线路关口电能表为三相四线接线方式,线路倍率为 660,更换表计前后三线电压、电流、功率因数统计如表 2 所示。

表 2 表计更换前后各参数值

Tab. 2 Various parameter values before and after meter replacement

参数	换表前	换表后
U_a/V	61.358	61.330
U_b/V	61.667	61.619
U_c/V	61.246	61.236
I_a/A	0.308	0.226
I_b/A	0.310	0.224
I_c/A	0.307	0.224
$\cos\varphi$	0.999	0.999

此次换表时间为 32 min(即 0.533 h)根据表 2 中数据可以计算获得电压、电流的平均值分别为 61.409 V、0.267 A,再结合电表的倍率为 660,可以获得利用传统方法计算的追补电量为 17.256 万 kWh。

同时利用所研制的无表电能计费装置统计换表期间电能表示数为 0.023 4 万 kWh,如图 13 所示。根据电表的倍率为 660 计算得到无表计量装置的追补电量为 15.444 万 kWh。

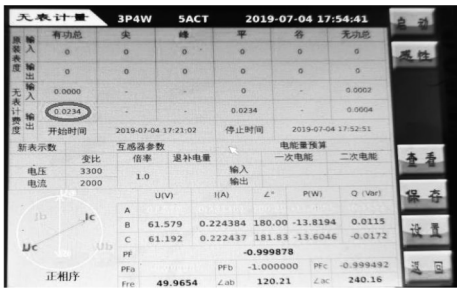


图 13 无表计量电能显示

Fig. 13 Aliasing signal

通过此光伏电站换表后追补电量的计算可知,两种追补方法的电量差值为: 15.444 - 17.256 = -1.812 万 kWh,通过传统计算方法多追补电量 1.812 万 kWh,统计发电站多发 11.7% 的电量,这会对后续发电站统计线损、发电量等造成巨大的困难。

通过上述现场验证情况可以看出,对于负荷波动比较小、线路倍率也较小的线路来说,采用传统电量追补方法追补出的电量与实际电量差异较小,而

当线路倍率大且负荷变化较大的线路来说,采用传统方法追补出的电量与实际产生的电量差异将非常明显,论证了所研制出的无表计费装置具有重要的价值意义。

4 结 论

本文通过对无表计量电费的研究,研制了一套无表计能装置,获得了以下几条结论:

1) 通过对电能表更换期间传统的电量追补方法进行探讨的基础上,提出一种将具备电量计量功能的标准电能表串接入计量二次回路,以达到准确计量无表计费期间的准确电量的思路;

2) 为了保证所研设备接入、拆除过程中对系统的影响较小,采用了电能表屏后侧试验端子接线方式将标准装置接入二次回路,并对装置的安全性、可靠性、实时性与准确性进行了分析研究,提出了相应的优化措施;

3) 通过软、硬件研究和开发,成功研制出了无表计费电能计量智能分析仪,其具备显示三相电压、电流波形及瞬时值、判别电表接线、无表计能等功能。经华东国家计量测试中心检测,认定所研设备具有精度高、准确度达万分之五、抗电磁干扰能力强等优点。通过将研发的无表计量装置在多个发电站应用,证实了传统方法的误差性较大,且随着线路倍数、负荷波动越大,传统方法计算获得的追补电量误差越大。

综上所述,本文成功研制出了一套无表计费电能计量智能分析仪,可准确计算电能表更换期间的追补电量,并通过现场测试了此仪器的实用性,填补了国内外在此方面的空白,这将促进电能计量装置相关工作的开展,可提高电能计量装置相关工作的效率和工作质量,体现电能计量的公平公正,以此保障多方的利益不受损害。

参 考 文 献:

- [1] 侯兴哲,刘型志,郑可,等. 泛在电力物联网环境下新一代智能电能表技术展望 [J]. 电测与仪表,2019,13(2):1.
HOU Xingzhe, LIU Xingzhi, ZHENG Ke, et al. Technical Prospect of a New Generation Smart Meter in the Ubiquitous Power Internet of Things Environment [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2019,13(2):1.
- [2] 陈书弘. 电能计量故障处理的问题分析及改进方法 [J]. 广东电力,2015,28(12):94.
CHEN Shuhong. Problem Analysis on Fault Processing on Electric Energy Measuring and Improvement Method [J]. Guangdong Electric Power, 2015,28(12):94.
- [3] NOMURA S, SHINTOMI T, AKITA S, et al. Technical and Cost Evaluation on SMES for Electric Power Compensation [J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2010, 20(3): 1373.
- [4] 寇英刚,范洁,楚成博,等. 无线电能表串户排查的传输损耗研究 [J]. 哈尔滨理工大学学报,2018,23(3):28.
KOU Yinggang, FAN Jie, CHU Chengbo, et al. Research on Transmission Loss of Wireless Electricity Meters in Household Checking [J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2018,23(3):28.
- [5] 范涛,王帅,杨晓斌. 高压电能表失压追补电量方法的研究 [J]. 电力需求侧管理,2018,20(5):56.
FAN Tao, WANG Shuai, YANG Xiaobin. Research on the Method of Make-up Electric Power During Voltage-loss of Electric Energy Meter [J]. Power Demand Side Management, 2018, 20(5):56.
- [6] 王昕,曹敏,赵旭,等. 线性趋势预测的电厂关口电量追补研究 [J]. 软件,2017,38(9):108.
WANG Xin, CAO Min, ZHAO Xu, et al. Analysis of Point Electric Energy Compensation Based on Linear [J]. Computer Engineering & Software, 2017,38(9):108.
- [7] 王俊融,欧家祥,王吉,等. 计量自动化系统中的电量追补问题 [J]. 贵州电力技术,2015,18(12):69.
WANG Junrong, OU Jiaxiang, YANG Jing. Analysis of Power Retroactive Problems in Measurement Automation System [J]. Guizhou Electric Power Technology, 2015,18(12):69.
- [8] 陈广开,陈书弘,潘炜,等. 基于随机森林滚动预测的电量追补算法 [J]. 智慧电力,2018,46(12):45.
CHEN Guangkai, CHEN Shuhong, PAN Wei, et al. Electricity Consumption Rectification Algorithm Based on Random Forest and Rolling Prediction [J]. Smart Power, 2018,46(12):45.
- [9] 莫芳华. 电量追补自动化管理平台研究及开发 [D]. 桂林:广西大学,2018.
- [10] 翟莺鸽,辛洁晴,夏正侃. 基于智能电表的窃电量和追补电费估算方法 [J]. 华东电力,2014,42(4):709.
ZHAI Yingge, XIN Jieqing, XIA Zhengkan. Estimation of Electricity Theft Quantity and Retroactive Charge Based on the Smart Meters [J]. East China Electric Power, 2014,42(4):709.
- [11] 肖伟峰,王大雷. 智能电能表三相全失压监测功能及实现方法 [J]. 电测与仪表,2010,47(4):21.
XIAO Weifeng, WANG Dalei, Three-phase Voltage Lost Detecting Function & Implementations of the Smart Electricity Meter [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2010,47(4):21.
- [12] 李静,杨以涵,于文斌,等. 电能计量系统发展综述 [J]. 电力系统保护与控制,2009,37(11):130.
LI Jing, YANG Yihan, YU Wenbin, et al. Review of Electric Energy Metering System [J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2009,37(11):130.
- [13] 尚秋峰,陈于扬,姚国珍,等. 基于 Wince 嵌入式内核的新型电力参数实时测量系统 [J]. 电力系统保护与控制,2010,38(22):183.

- SHANG Qiufeng, CHEN Yuyang, YAO Guozhen, et al. A Novel Real-time Power Parameters Measurement System Based on Embedded Wince-kernel [J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2010, 38(22): 183.
- [4] 曾争, 林国营. 满足 R46 国际建议的新一代智能电能表法制计量分离方案研究 [J]. 电测与仪表, 2020, 57(7): 141.
- ZENG Zheng, LIN Guoying. Research on Metering Separation of New Generation Smart Meters Based on R46 International Recommendation [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2020, 57(7): 141.
- [5] 陈金辉, 韩媛媛, 武文平. 基于单片机 PIC16F877A 和计量芯片 ATT7022A 的三相多功能复费率电能表的设计 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(2): 98.
- CHEN Jinhui, HAN Yuanyuan, WU Wenping. A New Design of Three-phase Multi-function Electric Power Meter Based on the PIC16F877A and ATT7022A [J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2010, 38(2): 98.
- [6] 郭洪, 武玉丰, 李家允. 电能表主、副表连接方法的探讨 [J]. 河南电力技术, 2006(4): 28.
- GUO Hong, WU Yufeng, LI Jiayun. Connecting Methods of Primary and Assistant Electric Power Meter [J]. Henan Electric Power, 2006(4): 28.
- [7] 许金宇, 熊剑, 曹子涛. 基于标准加密算法的智能电能表通信安全方案设计 [J]. 电测与仪表, 2018, 55(17): 125.
- XU Jinyu, XIONG Jian, CAO Zitao. Design of Smart Meter Communication Security Based on Standard Encryption Algorithm [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 55(17): 125.
- [8] 史训涛, 蒋金良, 欧阳森. 谐波情况下感应式电能表计量误差的校正模型 [J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 106.
- SHI Xuntao, JIANG Jinliang, OUYANG Sen. The Model for Correcting Errors of Power Measurement of Induction Watt-hour Meter under Harmonic Conditions [J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(20): 106.
- [9] 王吉, 肖勇, 张乐平, 等. 温度影响条件下的关口电能表误差研究 [J]. 电测与仪表, 2018, 55(13): 98.
- WANG Ji, XIAO Yong, ZHANG Leping, et al. Error Research of Gateway Energy Meter under the Influence Conditions of Temperature [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 55(13): 98.
- [10] HAQUE M M, HOSSAIN M K, ALI M M, et al. Microcontroller Based Single Phase Digital Prepaid Energy Meter for Improved Metering and Billing System [J]. International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 2011, 1(2): 139.
- [11] 刘慧众. 双向电能计量算法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [12] 黄建业, 李双洋, 郭谋发, 杨耿杰, 高伟. 单相电子式电能表短距离无线通信接口设计 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 172.
- HUANG Jianye, LI Shuangyang, GUO Moufa, et al. Design of Short-distance Wireless Communication Interface for Single-phase Electronic Watt-hour Meter [J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2010, 38(24): 172.

(编辑: 温泽宇)