

模拟小信号电能表的应用及其检测技术

艾兵 江波 杨华云 梁祖权 杨勇波
(四川电力科学研究院 四川 成都 610072)

摘要:为适应智能变电站计量技术的发展,在新的技术条件基础上需有一套符合智能变电站特点的计量系统。结合电子式互感器输出信号特点及计量有关标准,着重讨论符合 IEC 60044-7/8 标准输入的模拟小信号电能表工作原理、性能特点和实际应用,论述了模拟小信号电能表检测系统和溯源方案,提出了一套模拟小信号电能表的现场考核系统。由于模拟小信号电能计量暂无国家标准和行业标准,随着智能变电站的大量投运,相关一系列建标工作即将开展。

关键词:模拟小信号电能表; 电能计量; 检测; 考核系统

Abstract: In order to adapt to the development of metering technology in smart substation, it requires a set of measurement system which is consistent with the features of smart substation on the basis of new technical conditions. Combined with the characteristics of output signal of electronic transformer and the relevant standards of measurement, the working principle, performance characteristics and practical applications of the analog small-signal power meter are discussed in line with IEC 60044-7/8. The testing system and traceability program of analog small-signal power meter are also discussed, and a set of on-site assessment system for the analog small-signal power meter is proposed. Since there are no national standards and industry standards for the analog small-signal power metering, establishing the relevant standards will be carried out along with smart substation being put into operation.

Key words: analog small-signal power meter; energy metering; detection; assessment system

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)02-0011-04

随着数字化智能技术不断发展,传统的变电站自动化系统已无法满足智能化电网的要求,智能变电站将是电力系统变电站建设的一次革新,将来新建变电站将全部为智能变电站^[1-4]。数字化技术的推广,引发了电能计量技术的变革,包括新型电子式互感器的运用、一次侧到二次侧电参量传输的介质改变、电参量传输的信号模式改变、表计量采用专用芯片与自用算法的数字信号处理、表计的容错处理和表计的检验与溯源等^[5-8]。智能变电站电能计量同样是通过互感器及二次回路联合电能表按照规定的接线方式进行组合构成在线电能计量系统来实现的。由于电子式互感器的应用,电能计量输入信号为数字量和模拟小信号量,例如全国首座智能变电站北川永昌 110 kV 变电站高压侧采用的是全数字式电能计量,10 kV 侧则是符合 IEC 60044-7/8 标准输出的电子式互感器的计量特点,采用的为模拟小信号量输入的电能计量方式^[9-14]。在电力市场条件下,为保证公开、公平、公正地为电能生产者和服务者提供优质服务,有必要在新的技术条件的

基础上有一套符合现代化智能变电站特点的计量和检测系统。但是智能变电站电能计量暂无国家标准和行业标准,只有通过已有智能变电站的实际运用情况和参照地方标准和行业标准进行。随着数字电路的发展,电路的可靠性和精度得到了提高,必定会推动了智能变电站电能计量快速发展^[15,16]。

1 模拟小信号电能表的现场应用

模拟小信号电能表是一款符合 IEC 60044-7/8 标准的模拟信号接口规范的多功能电能表。其主要特点是计量电压电流信号输入采用模拟小信号输入,电源设计采用交直流外接电源供电。适用于基于 IEC 60044-7/8 标准的电子式互感器模拟小信号输出的计量方式。根据 IEC 60044-7/8 标准规定,输出的模拟小信号全部为电压模拟信号,对于三相三线系统为 1.625 V、2 V、3.25 V、4 V、6.5 V,三相四线系统为 $1.625/\sqrt{3}$ V、 $2/\sqrt{3}$ V、 $3.25/\sqrt{3}$ V、 $4/\sqrt{3}$ V、 $6.5/\sqrt{3}$ V。但是对于特殊要求用户,模拟量也可

以设计成非标准大小,如北川永昌 110 kV 智能变电站就设计成 1.5 V,主要是配合应用于保护测控。模拟小信号电能表的实际应用接线如图 1 所示。

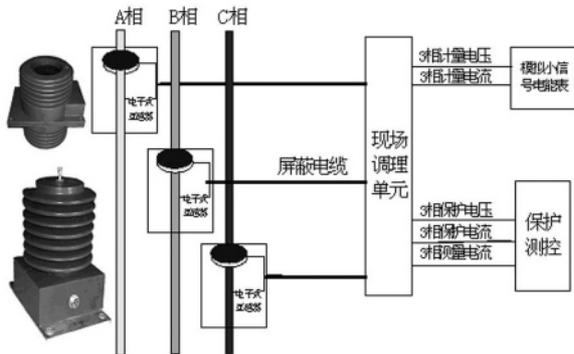


图1 模拟小信号电能表的应用

2 工作原理及实现功能

模拟小信号电能表由电压、电流分压电路、计量芯片、微处理器、温补实时时钟、数据接口设备和人机接口设备组成。计量芯片将来自电压、电流分压电路的模拟信号转换为数字信号,并对其进行数字积分运算,从而精确地获得有功电量和无功电量,微处理器依据相应费率和需量等要求对数据进行处理。其结果保存在数据存储单元中,并随时向外部接口提供信息和进行数据交换。其原理框图如图 2 所示,外形接线示意图如图 3 所示。

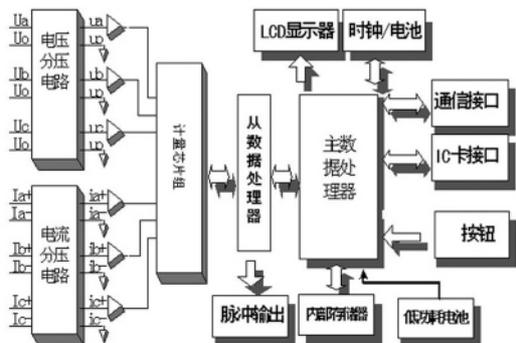


图2 工作原理(三相四线表)

电能表须符合 GB/T 17215 - 2002、GB/T 17882 - 1999、GB/T 17883 - 1999 和 DL/T 614 - 1997 等电能表有关标准,采用 DL/T 645 - 1997 通信规约(有扩展)。

三相三(四)线模拟小信号电能表与传统的电子式电能表结构上差别为:用电压、电流的分压电路取代了原电子式电能表的电流互感器和电压互感器,其输出为规定的电压信号。所以对于模拟小信号电能表的性能要求可以依据传统的电子式电能表

检定所依据的 GB/T 17215.322 - 2008,电能表基本参数一般设置如表 1。

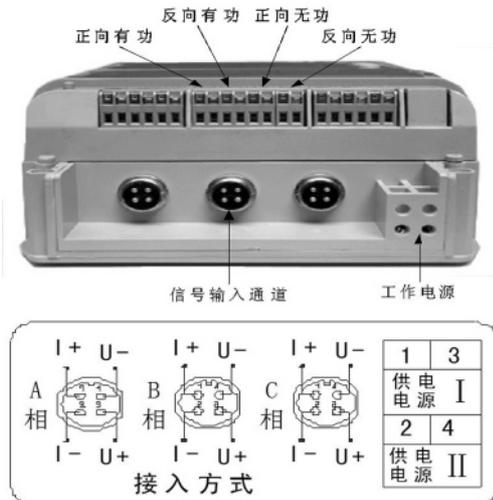


图3 模拟小信号电能表外形示意图

表1 电能表基本参数

项目	技术要求
工作电压范围	AC: 85 V ~ 265 V; DC: 220 V ± 20% V
量程电压/输入	3 × 3.25 / √3 V (3 × 57.7 V)
量程电流/输入	3 × 1 V 3 × 5(6) A
准确度等级	有功 0.2S 级、0.5S 级、无功 1 级
工作温度	-25 °C ~ +55 °C
极限工作温度	-35 °C ~ +65 °C
相对湿度	≤ 95% (无凝露)
频率范围	(50 ± 2.5) Hz
启动电流	1% I _n (0.5 S 级) 2% I _n (1 级)
功耗	< 2 W, 10 VA
MTBF	≥ 6 × 10 ⁴ h

模拟小信号电能表在实现功能方面与传统电子式电能表一致,可以实现分时计量,可计量总及分相元件的正、反向有功,四象限无功及感、容性无功电能。月电量统计及实时测量总及三相电压、电流、功率、功率因数、频率。可记录失压、失流、断相、数据无效、装置失电、电压电流合格率记录及自检功能。最大需量可计量有、无功最大需量及出现时间,最大需量的积分周期和滑差步进时间。另外可以实现电量冻结、结算数据记录、负荷曲线记录可保存最近 2 个月或者更长时间的日负荷曲线,且负荷曲线保存的时刻与电表时钟同步,以及可以实现其他事件记录等主要功能。模拟小信号电能表面板上装设有两个红色 LED 指示灯指示是否有有功、无功电量脉冲输出,辅助端子配置正、反向有功输入无功、输出无功光耦空接点脉冲输出,可用于仪表误差检验,也可接 RTU 等终端设备。

3 电能计量检测系统

电子式互感器的电流电压信号在传输到二次设备和二次设备处理的过程中均会产生附加误差,降低计量的精度。在二次回路上有功率传输,就有二次压降和功率损耗,传统的二次电压降测试工作需要进行现场测试和实验室测试的结果,当输入信号在 10% 额定以下时,受到的干扰较为严重,特别在变电站干扰复杂的环境下,波形出现了畸变和漂移,谐波含量丰富。故对模拟小信号电能表的检测,检测系统需要融合现代数字信号处理、计算机通信、最新电能计量理论和软件工程思想于一体的高技术,具有对在线运行被检表的接入影响极低、计量精度高、校验参数灵活设置、适用复杂现场环境等特点。按照上述电能检测系统的要求和原则,该系统的检测原理如图 4 所示。此检测系统关键为标准表,该表必须通过最高计量单位的溯源论证,方可应用到本系统。

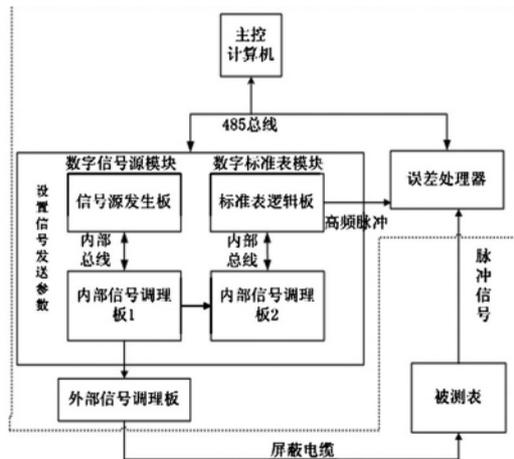


图 4 检测系统原理示意图

检测系统主要由功率源、标准表、误差处理设备以及控制计算机组成。信号分别从相互独立高输入阻抗模拟信号输入通道 U_a 、 U_b 、 U_c 、 I_a 、 I_b 、 I_c 接入,如图 5 所示,经阻抗匹配、信号滤波等处理后输入各通道对应的相互隔离的 ADC 模数转换电路,并对输入的信号做同步采样量化,经 FPGA 读出并传送给 DSP 和管理工控机。ADC 数据传输至数字信号处理 DSP 时对采样的数据进行实时处理计算出电参量、频率、功率信息等,控制计算机通过 RS485 总线与功率源以及误差处理设备相连,由控制计算机来统一控制功率源和误差处理设备。主台软件通过设置信号源参数使信号源工作在参数控制工作的模式

下,输出符合参数要求的 IEC 60044-7/8 标准电压信号。在测试过程中通过调节运行参数,模拟各种测试条件,对被测表做各项测试。

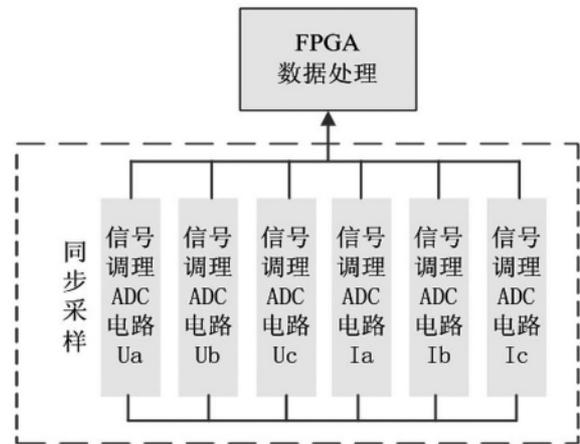


图 5 信号调理处理方式

模拟小信号电能表可以根据现有标准 GB/T 17882-1999《2 级和 3 级静止式交流无功电能表》、GB/T 17883-1999《0.2S 级和 0.5S 级静止式交流有功电能表》、DL/T 614-2007《多功能电能表》、DL/T 645-1997《多功能电能表通信规约》、GB/T 17215.322-2008 等,实现电能表的功能测试,如基本误差、分时、需量、事件记录、负荷曲线等测试项目。一般现场试验检测项目如表 2 如下。

表 2 试验项目

序号	试验项目
1	通用要求测试
2	功率要求试验
3	电流改变量引起的误差极限
4	其他影响量引起的误差极限
5	仪表常数
6	起动和潜动试验

对于初始起动,在参比电压加到仪表接线端后 5S 内仪表应达到全部功能状态。在功率因数为 1.0 和 0.001 I_n 下,表计能起动并连续计量。对于潜动试验当施加电压而电流线路无电流时,仪表的测试输出不应多于一个脉冲。试验时,电流线路应开路,电压线路所加电压为参比电压的 115%。最短时间 Δt 为

$$\Delta t \geq \frac{900 \times 10^6}{kmU_n I_{max}} \text{min} \quad (1)$$

式中 k 为每千瓦时脉冲常数,imp/kWh; m 为测量单元数; U_n 为参比电压, V; I_{max} 最大电流, A。

4 电能计量性能考核系统

为了适应智能变电站电能计量技术的发展,为保证公开、公平、公正计量,现阶段部分新建智能变电站的计量仍采用对侧传统电子式电能表计量的方式,故模拟小信号电能计量方式的可信度大打折扣,为了提供参考可对比的数据,这里构思了一套电能计量性能现场考核系统如图 6 所示,在同一个母线下装设传统互感器和电子式多功能电能表的计量系统和模拟小信号电能表的计量系统,测量数据上传至电能分析系统,实时对数据进行分析比较。

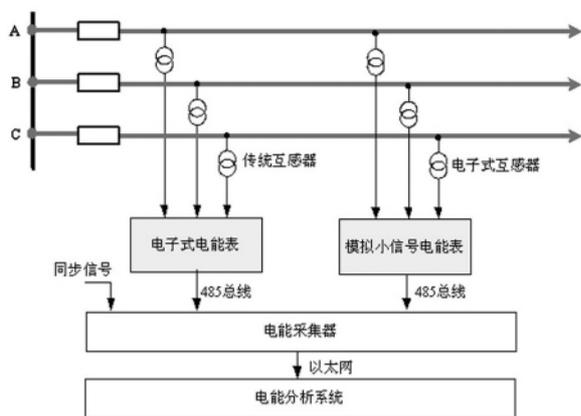


图 6 电量采集分析系统图

该系统应用先进的信息和通信技术,采用分层、分布、开放型结构构造理念兼平台一体化设计思想,可实现电能量信息的自动采集和管理。系统具备电能量信息比对、电能有功、无功分析及对时等功能。系统以数据采集为基础,以电量统计为核心,以用电量数据流为导向的并具备一个完整的数据流监控、统一接口、数据集中、服务于多个接口外部系统。系统可实现信息高度共享,使业务实现流程化,规范化管理,加速内部沟通,提高处理效率,从客户用电信息的源头提供数据支持。通过电量采集分析系统图可以看出,该系统充分结合实用、先进、可靠、经济几方面因素,在工程技术上实现起来比较简单。该系统可以长期实时监控模拟小信号电能表计量系统性能,可提供给广大用户真实的数据,对评估模拟小信号电能表计量准确度奠定技术基础。

5 结语

结合电子式互感器输出信号的特点及计量相关标准,着重讨论符合 IEC 60044-7/8 标准输入的模拟小信号电能表的工作原理、性能和实际应用,重点

论述了模拟小信号电能表电能计量检测系统和溯源方法,可供有关工程技术人员对智能变电站调试参考。确定了一套模拟小信号电能表的现场考核系统,该系统充分结合应用实际以实现公正计量为目标,在工程技术上实现可行。随着对智能变电站电能计量和检测新技术进行积极的研究探讨,在逐步积累运行经验基础上,电能表的标准体系将逐渐完备,计量技术相关试验及检测标准即将形成规范。

参考文献

- [1] 高翔. 数字化变电站应用技术 [M]. 北京: 中国电力出版社 2008.
- [2] 包红旗. HGIS 与数字化变电站 [M]. 北京: 中国电力出版社 2009.
- [3] 郑尧, 李兆华, 等. 电能计量技术手册 [M]. 北京: 中国电力出版社 2003.
- [4] 李来伟, 李书全, 孙晓莉. 面向 21 世纪的电能计量装置——浅谈电能计量装置的发展与未来 [J]. 电力设备, 2004(4): 1-4.
- [5] 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): 130-134.
- [6] IEC. IEC 60044-7 Instrument Transformers part 7 Electronic Voltage Transformers [S]. [S. l.]: IEC, 1999.
- [7] IEC. IEC 60044-7 Instrument Transformers part 8 Electronic Current Transformers [S]. [S. l.]: IEC, 2002.
- [8] IEC. IEC 61850 Communication Networks and Systems in Substations [S]. [S. l.]: IEC, 2003.
- [9] 艾兵, 江波. 数字电能计量及其电能表检测技术 [J]. 四川电力技术, 2011, 34(2): 10-13.
- [10] DL/T 448-2000, 电能计量装置技术管理规程 [S].
- [11] 蔡钢, 何朴, 刘曦. 北川 110 kV 智能变电站调试浅析 [J]. 四川电力技术, 2011, 34(2): 1-3.
- [12] 刘贤谔. 电能计量芯片 CS5460A 的应用研究 [J]. 电测与仪表, 2007, 44(1): 62-64.
- [13] 余春雨, 李红斌, 叶国雄, 等. 电子式互感器数字输出特性与通讯技术 [J]. 高压技术, 2003(6): 7-8, 11.
- [14] 费占军, 刘瑞峰. 单相功率电能芯片 CS5460A 的原理与应用 [J]. 电测与仪表, 2001(2): 42-45.
- [15] BOHNERT K. Fiber-optic Voltage Sensor for SF₆ Gas-insulated High-voltage Switchgear [J]. Applied Optics, 1999, 38(10): 1926-1932.
- [16] KOJOVIC L. Rogowski Coils Suit Relay Protection and Measurement of Power System [J]. IEEE Computer Applications in Power, 1997, 10(3): 47-52.

作者简介:

艾兵(1985),男,硕士研究生,主要从事数字电能计量和互感器相关的研究;

江波(1953),男,高级工程师,长期从事互感器和数字电能计量的研究。(收稿日期:2013-01-09)