

# 一种小模拟量输入电能表检定装置的研制

张 健，穆小星，段梅梅

(国家电网江苏省电力公司电力科学研究院，南京 210019；  
国家电网公司电能计量重点实验室，南京，210019)

**摘 要：**本文设计了一种适用于小模拟量输入电能表的检定装置，介绍了检定装置的技术原理、硬件和软件设计，并重点阐述了小模拟量信号抗干扰的设计方法。

**关键词：**小模拟量输入电能表；检定装置；抗干扰

## Development of the Watt-hour Meter with Small Analog Input Checking System

Zhang Jian, Mu Xiao-xing, Duan M

(State Grid Jiangsu Province Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 210009)

**ABSTRACT:** The paper introduced verification equipment for watt-hour meter with small analog input. The principle, hardware and software of the equipment were introduced. And the anti-disturbance method for the equipment was also gave a detailed explanation.

**KEY WORDS:** watt-hour meter with small analog input; verification equipment; anti-disturbance

## 0 引言

随着国网公司智能变电站试点工作的展开，小模拟量输出的电子式互感器及小模拟量输入电能表也已经在系统中得到应用。传统的互感器其输出为100V或100/及5A或1A，而电子式互感器模拟信号输出的量均为电压量，其量值在几十毫伏到几伏之间<sup>[1]</sup>。因此传统的电能表检定装置对小模拟量输入电能表而言已经不适用。需要研制一种小模拟量输入电能表检定装置，完成小模拟量输入电能表从实验室到现场的一整套测试工作。

## 1 技术原理

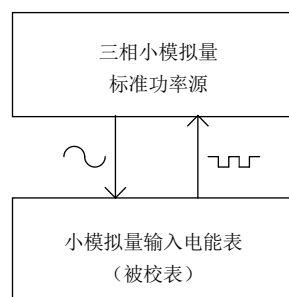


图1 小模拟量输入电能表检定示意图

如图1所示，新型检定装置采用“标准源法”，其核心装置是三相小模拟量标准功率源。三相小模

拟量标准功率源可以产生标准的模拟小电压信号，且内置标准电能脉冲发生器和电能脉冲误差比较器，可以直接接收被检表发出的电能脉冲并计算出电能误差。

目前仪器检定多采用“标准表法”，即用一个功率源同时加载于被检仪器和标准仪器上，比较两种仪器测量值之差，从而得出被检仪器的误差。如图1所示，新型检定装置采用“标准源法”，在检定过程中不再需要标准表。在精度范围内，标准源的设置值既为标准值。采用“标准源法”节省了标准表的制造、运输、维护和操作。且容易实现自动检定系统，使检定工作更简单。

对单相系统或三相系统线间的单相电子式电压互感器，及三相电子式电压互感器，其二次模拟量电压输出的额定值为：1.625V、2V、3.25V、4V、6.5V。用于三相系统线到地的单相电子式电压互感器，其二次模拟量电压输出的额定值为上述额定值除以 $\sqrt{3}$ <sup>[2]</sup>。电子式电流互感器的二次模拟量电压输出的额定值为：22.5mV、150mV、200mV、225mV、4V<sup>[3]</sup>。三相小模拟量标准功率源可以模拟不同电子式电压互感器和电子式电流互感器的额定二次电压输出。

## 2 硬件设计

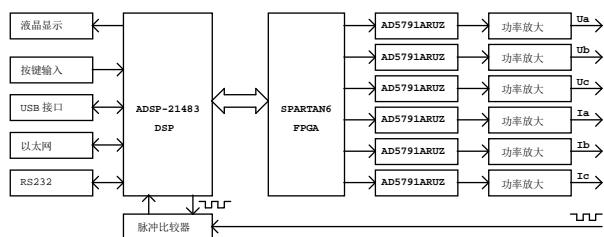


图 2 三相小模拟量标准功率源硬件框图

三相小模拟量标准功率源的硬件框图如图 2 所示。主要由数字信号处理器 (DSP)、现场可编程逻辑门阵列 (FPGA)、人机接口、通讯接口、数模转换器 (D/A)、功率放大器和电源电路组成。

数字信号处理器选择 ADI 公司的第四代 SHARC 处理器 ADSP-21483，该 DSP 基于一款单指令多数据 (SIMD) 内核制成，支持 32 位定点和 32/40 位浮点算法格式，支持 400 MHz 内核时钟速度，而且内置了 FIR、IIR 和 FFT 加速器等额外的处理模块，可以大幅提升系统的整体性能<sup>[4]</sup>。丰富的外设提供便捷的人机接口和通讯接口，还可以与 FPGA 实现无缝连接接口。利用 ADSP-21483 的快速浮点数计算能力，实时计算六路信号每个周波的波形数据，能保证输出正弦波波形失真度在 0.05% 以内。

FPGA 选择 XILINX 公司的 SPARTAN6 FPGA。该 FPGA 提供全新且更高效的双寄存器 6 输入查找表 (LUT) 逻辑和一系列丰富的内置系统级模块。其锁相环 PLL 可消除时钟歪斜和占空比失真，可实现低抖动时钟控制，其频率综合器可实现倍频、分频和调相<sup>[5]</sup>。利用 SPARTAN6 FPGA 的 PLL 可以根据需要产生精密时钟信号，来同步六路 D/A 转换器，保证输出正弦波形的频率稳定性。

人机接口由液晶显示器、面板按键、USB 鼠标、键盘组成。通讯接口由以太网和 RS232 构成。

操作时，通过面板按键等输入设备或以太网远程通讯方式，输入六路交流信号的频率、幅值、相位以及谐波等电参量到 DSP 处理器，DSP 处理器对电参量进行归一化处理，按照等周期采样计算和离散量化处理六路波形数据，并把数据按顺序发给 FPGA，同时发送频率值给 FPGA。FPGA 根据频率值，通过内部数字锁相环输出一个精密时钟信号<sup>[6]</sup>，把六路波形同时送到 D/A 转换器。通过功率放大电路输出所需要的六路交流信号。

### 3 软件设计

新型三相小模拟量标准功率源的嵌入式软件设计分为 DSP 软件设计和 FPGA 软件设计。

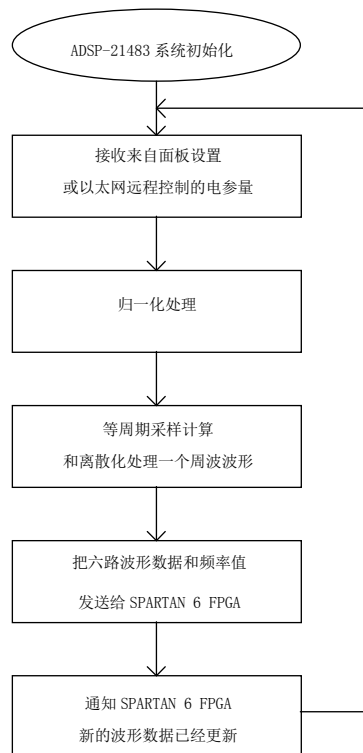


图 3 ADSP-21483 系统主程序框图

其中 DSP 系统程序框图如图 3 所示，软件主要用 C 语言编写。主程序里，DSP 对电参量进行归一化处理，对一个周波的六路波形进行等周期采样计算和离散化处理，然后把离散的波形数据发送给 FPGA，并通知 FPGA 新的波形数据已经更新，每个周期循环一次。人机接口和通讯接口部分采用中断方式处理。

FPGA 则采用 Verilog HDL 设计，主要实现与 DSP 的数据通讯接口，该接口用于接收六路波形数据和频率值。根据频率值利用全数字锁相环产生一个同步时钟信号，用于同步六路 D/A 转换器。

### 4 小模拟量信号抗干扰设计

小模拟量输入电能表检定装置中的小模拟量信号幅值比较小，最小可到 mV 级。小模拟量信号在产生和传输过程中容易受到各种噪声干扰。这些干扰有的来自工作现场的电磁干扰或射频干扰，也有功率源内部其他电路产生的电磁干扰，噪声信号往往会有多种频率成分，严重时会影响输出精度。为了减少噪声信号对校验过程的影响，可以采用以下几个措施，滤除或减小干扰噪声，提高系统的信噪比 (S/N)。

#### 4.1 从供电系统上消除干扰

功率源的数字部分和模拟部分采用隔离供电方式, D/A 转换的数字信号通过电容隔离芯片进行隔离。这样能防止高频数字信号通过公共电源回路干扰小模拟量信号。因为模拟信号与数字信号相比对电源纹波更敏感, 所以模拟部分的电源采用具有低噪声和高电源纹波抑制 (PSRR) 性能的 LDO, 在本设计中使用 ADP7105。该模拟线性稳压器能抑制来自上游电源和下游负载的噪声, 而且自身不增加噪声, 是为敏感模拟电路供电的理想电源器件。

#### 4.2 从器件选型上控制干扰

一般 D/A 转换器的内部电压参考基准温漂系数比较高, 因此必须选用低温漂系数的外部电压参考基准芯片来配合高精度 D/A 转换器。

为了最大程度地降低运算放大器的失调电压和漂移, 消除  $1/f$  噪声, 以实现最佳的信号调理。必须选择零漂移精密运算放大器, 本设计使用 ADA4528-1, 这是半导体业内目前噪声最低的斩波放大器。具有  $0.3 \mu\text{V}$  失调电压、 $0.002 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  失调电压漂移、158 dB 共模抑制和 150 dB 电源抑制。这些规格非常适用于要求高增益放大低水平信号的应用和低噪声精密应用。

除了有源器件, 选择电容、电阻、电位器等无源器件时, 要特别注意这些无源器件的容差、温度、寄生效应。本设计中的精密积分器中的电容必须使用 NPO 陶瓷电容, 它的温度漂移可以达到  $30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 。电阻的温度系数必须严格匹配, 选用热阻较低的同一批次的电阻。

#### 4.3 合理的接地系统和屏蔽系统

众所周知, 仪表系统的接地分为保护接地、系统接地和屏蔽接地。要获得精确的测量值除要求仪表本身具有较高的精度外, 更重要的是系统应有良好的接地系统<sup>[7]</sup>。

功率源选择屏蔽机箱, 这样可以非常有效地防止外部电磁干扰和射频干扰影响其内部模拟电路工作。在屏蔽机箱开口的地方: 如显示器、开关、按键、旋钮、连接器等部分, 要合理地使用导电垫片、网屏和涂料。穿过屏蔽机箱的所有电缆、走线、连接器都应该用环绕金属屏蔽体包裹, 并且该屏蔽体应该在入口点处连接到屏蔽机箱上。

本功率源设计时采用混合接地技术。要求功率源的屏蔽机箱通过 3 芯电源线可靠接大地。功率源内部的模拟信号地通过  $0.01 \mu\text{F}$  低电感陶瓷电容接

屏蔽机箱, 这样可以提高模拟信号抗高频信号的干扰能力。6 路模拟信号在屏蔽机箱外通过屏蔽双绞线进行传输, 双绞线的屏蔽层通过屏蔽连接器接屏蔽机箱。在双绞线远端 (即小模拟量输入电能表端), 也要通过  $0.01 \mu\text{F}$  低电感陶瓷电容接地, 这样即可提供高频接地又阻止低频线路电流在屏蔽体中流动避免构成低频接地环路。

## 5 结论

本文提出了一种新型小模拟量输入电能表检定装置的设计方案, 讨论了其核心装置三相小模拟量标准功率源的软硬件设计方法, 并详细讨论了小模拟量信号抗干扰设计方案。利用该检定装置可以完成小模拟量输入电能表从实验室到现场的一整套测试工作。为有效地校验和检定各种小模拟输入电能表提供了新的手段。

#### 参考文献:

- [1] 金逸, 刘伟, 查显光, 等. 智能变电站状态监测技术及应用[J]. 江苏电机工程, 2012(2).
- [2] GB/T 20840.7-2007, 互感器 第 8 部分: 电子式电流互感器-IEC60044-7:1999[S].
- [3] GB/T 20840.8-2007, 互感器 第 8 部分: 电子式电流互感器-IEC60044-8:2002[S].
- [4] ADSP-21483/21486/21487/21488/21489, SHARC Processor Data Sheet (Rev B, 03/2013).
- [5] Spartan-6 FPGA Data Sheet DS162 (v1.0) June 24, 2009.
- [6] 曾庆贵. 锁相环集成电路原理与应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2012.
- [7] 李福全. 模拟信号传输过程的匹配[J]. 自动化与仪器仪表, 1999(5).

#### 作者简介:

张 健 (1981—), 女, 硕士研究生, 从事电能计量技术、数字化变电站智能设备检测研究;

穆小星, 男, 高级工程师, 主要从事电能计量技术研究;

段梅梅 (1986—), 女, 硕士研究生, 从事电能计量技术、数字化变电站智能设备检测研究, Email: cbadmm@163.com.