

充电桩直流计量模块现场检测装置及其溯源

李 恺 杨茂涛 王 智 杨 静

(国网湖南省电力公司电力计量中心 长沙 410001)

摘要:为顺应电动汽车充电桩直流计量模块的现场检测要求,研制了一种表源一体化现场检测装置。该装置的源输出反馈调节模块和标准功率计量模块共用一套传感器。电压环节采用精密电阻分压测量方案;电流环节采用零磁通测量方案,零磁通电流互感器的反馈调节部分以二次谐波分量为敏感值,通过二阶滤波和两级放大实现提取。设计了分部式同步溯源方案校准该装置,对误差校准结果进行了不确定度评定。结果表明该装置在典型充电工况下准确度最佳,其他工况下的计量性能也满足溯源要求。

关键词:充电桩直流计量模块;现场检测装置;量值溯源;零磁通电流互感器;分部式同步校准

中图分类号: TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4017

Field detection device for DC charging pile power metering module and its traceability

Li Kai Yang Maotao Wang Zhi Yang Jing

(State Grid Hunan Electric Power Company Metrology Center, Changsha 410001, China)

Abstract: In order to calibrate DC power metering modules in the electric vehicle charging pile in the field, developed a field detection device based on source and meter integration design. In the device, the power source module and the standard power metering module shared a set of transducer. In the device, voltage was measured by precise resistance voltage divider, current was measured by zero flux current transformer. In the zero flux current transformer, measuring sensitive parameter for feedback regulation was second harmonic component, which was extracted by second-order filter and 2 stage amplifier. Designed a distributed synchronous traceability scheme. Evaluated uncertainty of calibration result. The results of calibration and evaluation indicate that the measurement accuracy is most high in the typical charging condition, and satisfy demand in the other charging condition.

Keywords: charging pile DC power metering module; field detection device; traceability of value; zero-flux current transformer; synchronous division calibration

0 引 言

电动汽车的应用和发展是保障能源安全,应对环境挑战的重要途径^[1-4]。根据国家工信部推出的《汽车与新能源汽车产业发展规划》,到2020年,我国新能源汽车保有量将达到500万辆,以混合动力汽车为代表的节能汽车将达到1500万辆以上。与电动汽车蓬勃发展相辅相成的是,配套的充电桩也处于如火如荼的建设阶段。

直流充电桩因具备优异的快充能力得到各界青睐,是重点建设和发展对象。目前直流充电桩的结算计量普遍采用交流侧计量的模式,但基于产权分界的计量要求,直流计量用于结算更加合理,也体现了公平交易原则,更是今后的发展趋势,这使得直流计量装置的溯源日益重要^[5]。直流

充电桩中除了直流电能表还有直流分流器、直流分压器等装置参与计量,现有的溯源方案都是针对单个计量装置进行检定校准^[6-14],缺少对装置整体计量性能的评估。另外,现有的检定校准方式普遍是在实验室中进行^[6,9-10,13-14],没考虑现场实际情况。在充电站现场,直流计量装置实际运行时的计量准确性受到安装方案、安装工艺等因素影响,与实验室溯源结果有差别。因此需要一种现场检测装置,在实际安装条件下对直流计量装置的整体计量性能进行评估。

本文提出一种直流充电桩计量模块现场检测装置,该装置能在充电站现场对直流电能表、分流器、分压器进行单独检测,也能对整个直流计量模块进行整体误差检测。该装置自带电压电流源和标准功率表,采用表源一体化设计

思路,简化了内部结构。可参考有关国家计量检定规程或校准规范设置检测点^[12-13],也能满足未来出台的充电桩检定规程要求。针对直流电能表单独计量的模式,设计了全自动误差检测程序,符合 JJG 842 规程对误差检测点的要求。利用分部式同步溯源方法对该装置进行校准,确保其计量准确性。校准结果表明该装置在典型充电工况下计量性能最佳,其他工况下的计量性能也满足现场检测要求。

1 现场检测装置的功能和性能

1.1 现场检测装置的功能

检定装置的设计依据 Q/GDW1826-2013《直流电能表检定装置技术规范》、JJG842-1993《直流电能表检定规程》,采用表源一体化设计思路,即程控直流源和直流计量标准装置布置在同一台设备内,共用部分元器件。控制系统对源输出、标准电能表电量计量、被检表脉冲同步采集、误差计算等环节进行精确控制。主要功能如下。

1) 具有两路输出直流源,分别为额定 700 V 电压输出,额定 100 A 电流输出。直流源具备校准功能,能根据外接标准的示值,修正标准源的输出值。

2) 可实现直流电能表的全自动和单点手动检定。检定项目包括基本误差试验、起动试验、潜动试验、日计时误差试验等。

3) 配置大容量非易失存储器,可存储 1 000 块被检表的原始数据,以供查询和上传。

4) 设有 USB 和 RS232 接口,可通过 PC 进行上位机操作。

1.2 现场检测装置的性能

程控源的性能如下。

1) 电压输出包含 3 个量程:350 V、500 V、700 V,最大输出容量 20 VA。

2) 电流输出包含 3 个量程:20、50、100 A,最大输出容量 100 VA。

3) 输出电压、电流、功率稳定度 $\leq \pm 0.01\%/2 \text{ min}$ 。

4) 电压、电流输出调节范围 0%~120% 额定值,调节细度为 0.1% 额定值。

标准功率表的性能如下。

1) 电能计量的准确度等级达到 0.05 级,年稳定度优于 1×10^{-6} 。

2) 校验脉冲的额定输出频率为 20 000 Hz。

2 检测装置主要硬件

直流电能表检定装置由主机控制模块、DSP 信号发生器、程控功放源、测量模块、电能计量模块等组成。装置的系统结构如图 1 所示。主机控制模块用于人机交互、源输出命令的发布、检定过程控制和数据处理。DSP 信号发生器将源输出命令转变为数字形式的输出量值。程控功放源根据 DSP 指令调整输出范围,输出相应的电压、电流。测量模块对输出电压、电流量进行测量,一方面用于输出量值的深度负反馈调节,另一方面用于电能功率计量。电能计量模块采集来自测量模块的输出量,将反映电压、电流的模拟量小信号转变为数字信号并做乘法处理,得到电能功率并通过脉冲发生器将功率转化为对应频率的脉冲信号输出。电能计量模块和 P/F 转换器可以视作标准功率表。

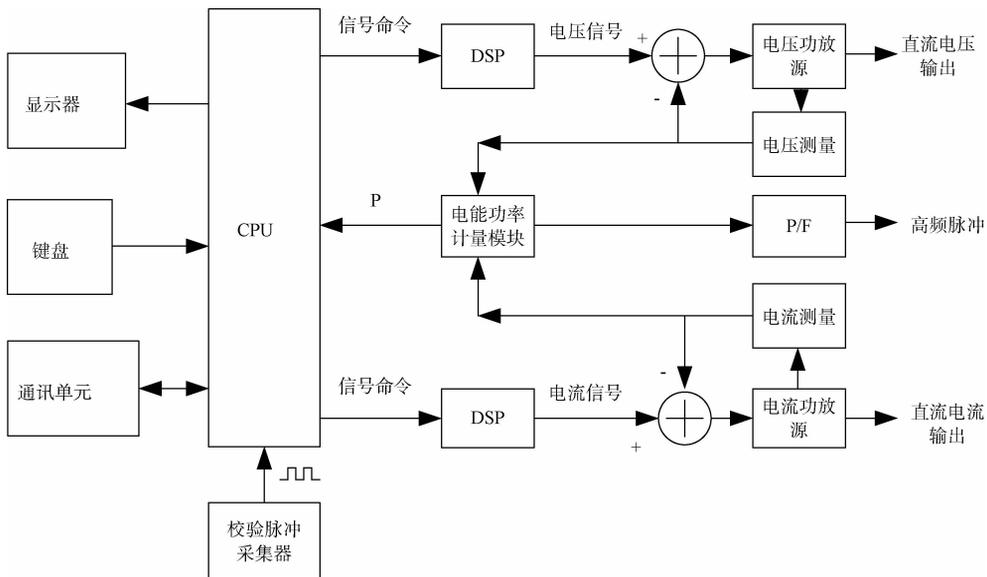


图 1 直流计量检测装置系统结构

2.1 主机控制模块

主机控制模块以 CPU 微处理器为核心,与 DSP 信号

发生器及功放源实现命令的上行下发,与上位机通信,下发数据存储和调用命令等。CPU 采用新华龙公司的

SILOCON 系列 C8051F064, 主频为 24 MHz, 供电电压 3.3 V, 配有 128 KB 闪存。CPU 与各外设之间采用串行和并行接口。

CPU 与 DSP 信号源之间实现串行通讯接口, 采用三线同步串行方式。CPU 通过键盘或上位机接收输入指令, 以串行方式传输给信号源, 信号源再响应发生出直流电压或直流电流信号。在 CLK 定时情况下, DSP 芯片的数据串行输入端接收来自 CPU 指令。

2.2 信号发生模块

信号源采用 32 位 DSP 和 16 位高速数模转换器组成, 形成可控波形信号。在 DSP 和可调时钟电路控制下, 由波形合成电路输出数字信号, 经 D/A 变换、低通滤波后得到连续低失真的具有一定幅值的模拟直流电压、电流信号。信号源输出直流电压额定为 5 V, 幅值调节细度为 5×10^{-5} 。DSP 采用德州仪器公司的 TMS320 系列, 主频 150 MHz, 3.3 V 低电压供电, 128 KB 片内 FLASH。高速数模转换器转换最大分辨率为 200 μV , 16 位转换位数。

2.3 功放标准源

信号源发生的信号经过功放标准源实现功率放大, 产生出最终与被检直流电能表相适应的各量程电压电流。功放源分为电压源和电流源两部分。

电压源部分采用脉宽调制原理, 由 PWM 控制器、输出变压器、整流滤波电路、取样反馈电路组成。功放电路和输出变压器组合进行功率放大并耦合输出稳定的直流电压 $V+$ 。采样反馈电路测量取样值 $V+$, 反馈至电压差值调节模块, 进入差值调节模块的测量值 $V+$ 与信号源设定值进行比较, 根据两者比较的差值来调节实际源的输出值, 以保证源的输出值时刻与设定值一致。电压功放源原理如图 4 所示。 $R_{18} \sim R_{22}$ 结合 $C_{18} \sim C_{22}$ 组成滤波网络, $J_1 \sim J_3$ 分别控制 3 个输出量程。

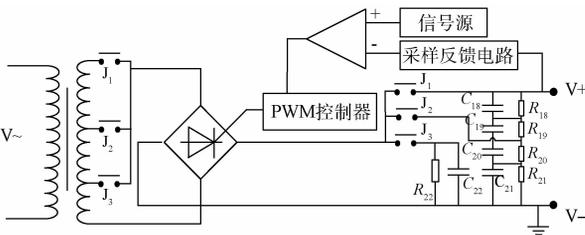


图 2 电压功放源原理

电流发生源设计方案与电压发生源类似, 通过 PWM 调制调节输出电压以控制输出电流。反馈输出过程采用深度负反馈技术和差值调节技术, 反馈采样信号来源于直流电流磁制变换器。信号源经运算放大器、光耦隔离、直流互感器组合进行功率放大并耦合输出稳定的电流源。采样电路测量直流电流大小和方向, 反馈至功放控制电路的差流调节模块。进入电流差流调节模块的测量值与设定值进行比较, 根据两者比较的差值来调节实际源的输出

值, 以保证源的输出值时刻与设定值一致。

2.4 电压/电流测量模块

电压传感器采用 0.01 级精密电阻分压器, 如图 3 所示。

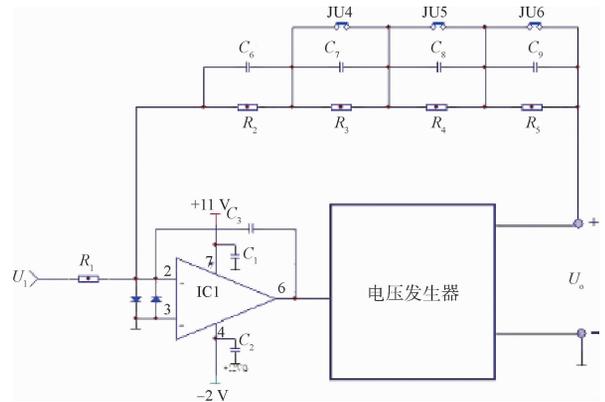


图 3 精密电阻分压器拓补

反馈电阻与输入电阻、运放整体组成闭环反馈网络, 电阻 $R_2 \sim R_5$ 与继电器结合, 分别控制 100~700 V 4 个量程。 $R_2 \sim R_5$ 与输入电阻 R_1 的阻值决定了各量程的输出值。以 100 V 量程为例, $U_0 = R_2/R_1 \cdot U_i$, U_i 为满量程 5 V 时输出 100 V。 R_5 取 200 k Ω , R_4 取 150 k Ω , R_3 取 250 k Ω , R_2 取值 100 k Ω , R_1 取值 5 k Ω 。

电流传感器为直流电流磁调制变换器, 又称为零磁通直流电流互感器。它的基本原理是采用闭环零磁通检测, 利用高导磁率铁芯在方波激励下可以饱和的非线性特性来探测微弱磁场。直流互感器结构和具体实现原理如图 4 所示。

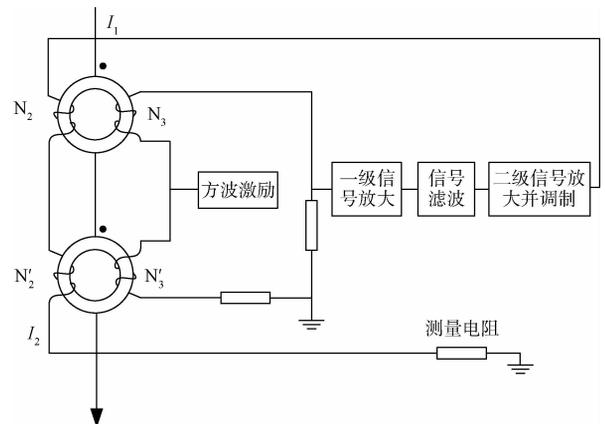


图 4 直流电流磁调制变换器原理

线圈 N_3 为激励线圈, N_2 为检测线圈。当线圈 N_3 通以交变对称的方波电流, 磁芯就会反复饱和, 如果原边电流(也就是直流被测电流) $I_1 = 0$, 那么在检测线圈 N_2 上就可以出现正负峰值对称的方波波形。若原边 N_1 有 I_1 通过, 则会加入新的直流偏置磁场, 产生磁调制, 使得检测线

圈 N_2 的方波频谱中各次频率波形发生相位偏移,方波的对称性被破坏,二次谐波含量激增。二次谐波的幅值和相移可以反映直流被测电流的大小和方向。

为了减少噪声对测量准确性的影响,并将二次谐波进行提取,设计了第一级放大和滤波环节。放大系数为 5,滤波环节通过二阶滤波器实现。而在滤波的过程中,二次谐波有效值必然会产生一定衰减,于是再加入第二级放大环节,第二级放大系数为 5,并将该二次谐波信号通过调制转换为直流信号。该直流信号通过 N_2 绕组回路,形成直流电流 I_2 ,抵消了原边 I_1 所形成磁场对磁芯的饱和度影响。直流电流 I_2 通过标准测量电阻形成压降由 A/D 转换器进行采样。

3 检测装置的溯源

3.1 分部式同步溯源方案

直流电能量值溯源体系还在建设完善中,直流电能标准不能直接溯源到直流电能国家基准。鉴于此,设计一种分部式同步溯源方案,将直流电能量值向电压、电流、频率量值体系溯源。

检测装置能够分别输出可控的直流电压、直流电流以及与交流功率相关的高频脉冲,且电压、电流、脉冲频率值很稳定,变化率不超过 $0.01\%/2 \text{ min}$,满足同步溯源要求。分别使用高精度的电压表、电阻网络、高精度频率表对此三类电参量进行同步溯源,并通过电压、电流、功率与输出频率的关联性来评估装置的直流电能计量误差。

具体的溯源方案如图 5 所示。FLUKE 8508A 型精密数字多用表校准直流电压;装置输出的直流电流经精密电阻网转化为小电压输出给 FLUKE 8508A 型精密数字多用表校准;Agilent 34401A 型精密数字多用表校准高频脉冲频率。精密电阻网的拓扑如图 6 所示。

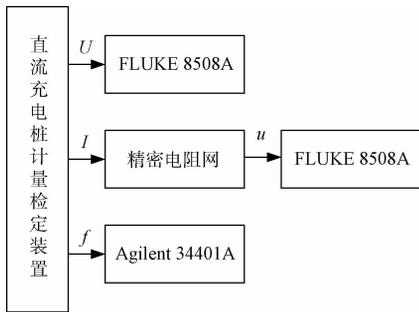


图 5 直流计量检测装置的分部式溯源方案

精密电阻网由 n 个型号相同的 0.01 级精密电阻和两个汇流排组成。连接精密电阻和汇流排的导线的长度、材质、线径相同,使流过每个精密电阻的电流尽可能一致。精密电阻的额定工作电流为 20 A,根据电流源输出大小确定 n 值。

被校准装置的直流电能相对计量误差可以表述为:

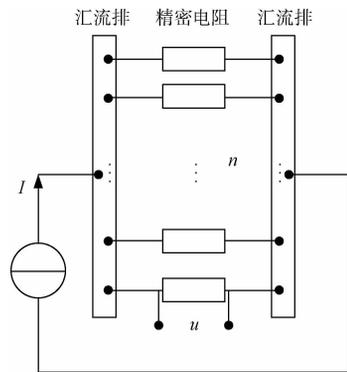


图 6 精密电阻网拓扑

$$\epsilon = \frac{P_x - P_o}{P_o} = \frac{P_x - U_o \cdot I_o}{U_o \cdot I_o} = \frac{P_x - U_o \cdot \sum_{n=1}^N u_n / R_n}{U_o \cdot \sum_{n=1}^N u_n / R_n} \quad (1)$$

式中: P_x 为被校装置测量的功率, P_o 为参考功率; U_o 为参考电压,来源于精密电压表测量值, u_n 为参考小电压,来源于精密电阻网和精密电压表测量值, R_n 为精密电阻阻值。被校装置测量的功率大小通过高频脉冲的输出频率体现,表示为:

$$P_x = \frac{f_o \cdot P}{f_N} \quad (2)$$

式中: f_o 为被校准装置实际输出脉冲的频率,由精密频率表测量得到; P 为被校准装置设定的额定功率; f 为被校准装置输出脉冲的额定频率,即 20 000 Hz。 P 与 f 对应,即输出功率设置为 P 时,输出脉冲频率设定为 f 。数据处理时,取 5 个计算结果的平均值作为该档位的校准结果。

结合式(1)和(2)可得被校准装置的相对计量误差:

$$\epsilon = \frac{\frac{f_o \cdot P}{f} - U_o \cdot \sum_{n=1}^N u_n / R_n}{U_o \cdot \sum_{n=1}^N u_n / R_n} \quad (3)$$

3.2 校准结果的不确定度评定

校准结果的 A 类不确定度评定按照贝塞尔公式计算得到,校准结果取 5 次结果的平均值,自由度为 4,则校准结果的 A 类不确定度为:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^5 (\epsilon_n - \bar{\epsilon})^2}{4}} \times 0.447 \quad (4)$$

校准结果的 B 类不确定度来源于精密电压表的误差极限、精密频率表的误差极限、精密电阻的误差极限、电压表和频率表分辨率、同名端电位差、被校准装置输出的电压电流稳定度,各部的标准 B 类不确定度评定如表 1 所示。

校准结果的 B 类合成不确定度平方表示为:

$$u_b^2 = \sum_{m=1}^2 \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial f_o} \cdot u(\epsilon_{f_m}) \right)^2 + \sum_{m=1}^4 \left[\frac{\partial \epsilon}{\partial U_o} \cdot u(\epsilon_{U_m}) \right]^2 + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^4 \left[\frac{\partial \epsilon}{\partial u_n} \cdot u(\epsilon_{u_n}) \right]^2 + \sum_{n=1}^N \left[\frac{\partial \epsilon}{\partial R_n} \cdot u(\epsilon_{R_n}) \right]^2 \quad (5)$$

式中: $u(\epsilon_{f_m})$ 为频率表的误差极限和分辨力带来的不确定度; $u(\epsilon_{U_m})$ 为直接测量直流电压时精密电压表的误差极限、分辨力、被校准装置输出的电压稳定度、同名端电位差带来的不确定度; $u(\epsilon_{u_n})$ 为精密电阻压降测量过程中引入的不确定度,包括精密电压表的误差极限、分辨力、被校准装置输出的电压稳定度、同名端电位差带来的不确定度; $u(\epsilon_{R_n})$ 为精密电阻引入的不确定度。计算上述影响量带来的绝对不确定度时,灵敏系数的表达式如下:

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial f_o} = \frac{P}{f} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial U_o} = - \sum_{n=1}^N u_n / R_n \quad (7)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial u_n} = - \frac{U_o}{R_n} \quad (8)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial R_n} = \frac{U_o \cdot U_n}{R_n^2} \quad (9)$$

表 1 给出了各不确定度的影响量大小和对应的灵敏系数。

表 1 不确定度影响量

Table 1 Impact of uncertainty

不确定度来源	最大偏差	分布类型	k	灵敏系数
电压测量准确性	5×10^{-6}	正态分布	3	$\partial \epsilon / \partial U_o$
电压测量分辨力	2.5×10^{-8}	均匀分布	$\sqrt{3}$	$\partial \epsilon / \partial U_o$
频率测量准确性	1×10^{-4}	正态分布	3	$\partial \epsilon / \partial f_o$
频率测量分辨力	2.5×10^{-6}	均匀分布	$\sqrt{3}$	$\partial \epsilon / \partial U_o$
精密电阻的准确性	1×10^{-4}	均匀分布	$\sqrt{3}$	$\partial \epsilon / \partial R_n$
电阻压降测量准确性	5×10^{-6}	正态分布	3	$\partial \epsilon / \partial u_n$
电阻压降测量分辨力	2.5×10^{-8}	均匀分布	$\sqrt{3}$	$\partial \epsilon / \partial u_n$
电压源的稳定度	1×10^{-4}	均匀分布	$\sqrt{3}$	$\partial \epsilon / \partial U_o$
电流源的稳定度	1×10^{-4}	均匀分布	$\sqrt{3}$	$\partial \epsilon / \partial u_n$
同名端电位差	0.83×10^{-4}	均匀分布	$\sqrt{3}$	$\partial \epsilon / \partial U_o$ $\partial \epsilon / \partial u_n$

注:同名端电位差影响了高电压测量环节和电阻压降测量环节,因此有两个灵敏系数

3.3 校准结果

按照装置的 3 个档位开展校准,表 2 给出了校准结果,校准结果的最大扩展合成不确定度按照 95% 置信概率计算。

表 2 直流电能误差校准结果

Table 2 The result of calibration

(%)

额定输出	基本误差												校准结果的最 大扩展合成 不确定度 U	
	$0.1I_n$	$0.2I_n$	$0.3I_n$	$0.4I_n$	$0.5I_n$	$0.6I_n$	$0.7I_n$	$0.8I_n$	$0.9I_n$	I_n	$1.1I_n$	$1.2I_n$		
350 V/ 20 A	$0.1U_n$	-0.042	-0.047	-0.031	-0.037	-0.035	-0.035	-0.031	-0.023	-0.024	-0.021	-0.024	-0.016	0.02
	$0.4U_n$	-0.033	-0.032	-0.036	-0.030	-0.027	-0.025	-0.033	-0.034	-0.027	-0.021	-0.028	-0.020	
	U_n	-0.023	-0.025	-0.026	-0.027	-0.026	-0.020	-0.030	-0.026	-0.018	-0.019	-0.020	-0.015	
	$1.1U_n$	-0.023	-0.030	-0.027	-0.022	-0.029	-0.026	-0.029	-0.025	-0.026	-0.027	-0.015	-0.019	
500 V/ 50 A	$0.1U_n$	-0.041	-0.042	-0.034	-0.039	-0.040	-0.030	-0.030	-0.029	-0.029	-0.027	-0.022	-0.019	0.03
	$0.4U_n$	-0.029	-0.032	-0.037	-0.028	-0.027	-0.026	-0.029	-0.034	-0.026	-0.027	-0.028	-0.024	
	U_n	-0.033	-0.031	-0.024	-0.029	-0.022	-0.018	-0.026	-0.029	-0.026	-0.025	-0.025	-0.024	
	$1.1U_n$	-0.029	-0.029	-0.035	-0.025	-0.026	-0.020	-0.024	-0.027	-0.018	-0.021	-0.015	-0.020	
700 V/ 100 A	$0.1U_n$	-0.046	-0.040	-0.039	-0.037	-0.036	-0.034	-0.031	-0.024	-0.020	-0.021	-0.021	-0.019	0.04
	$0.4U_n$	-0.034	-0.028	-0.032	-0.033	-0.036	-0.027	-0.025	-0.035	-0.025	-0.026	-0.030	-0.031	
	U_n	-0.031	-0.032	-0.027	-0.025	-0.025	-0.019	-0.021	-0.027	-0.021	-0.020	-0.017	-0.025	
	$1.1U_n$	-0.028	-0.027	-0.034	-0.032	-0.021	-0.028	-0.028	-0.029	-0.017	-0.027	-0.014	-0.021	

从表 2 可看出,该装置的直流电能计量性能满足 0.05 级准确度等级要求。比较基本误差的变化情况可发现,实际输出电压、电流与额定值相比处于较低水平时,装置的基本误差虽满足要求,但是在误差极限附近;实际输出接近额定值时,基本误差明显转好,这是装置电压、电流传感器的计量特性引起的。对检测装置计量性能的调校针对电动汽车充电桩的运行特性。充电桩的运行工况主要在额定值附近,特别是运行电压不可能低于 $0.4U_n$,运行电流也基本处于 $0.5I_n$ 以上。浮充状态下虽然电流很低,但该

工况下对直流电能表的性能要求也有所放宽。因此该检测装置满足对直流充电桩计量模块的现场检测。

4 结 论

本文所述的直流充电桩计量模块现场检测装置采用表源一体化设计,电压、电流传感器既用于对输出的反馈调节,也用于对直流功率的测算。电压传感器采取精密电阻分压方案;电流传感器采取零磁通反馈测量方案,其励磁反馈环节以二次谐波分量为敏感量,通过二阶滤波和两

级放大实现二次谐波分量的提取。设计了一种分部式同步溯源方案,将输出电压、电流和脉冲频率进行同步溯源,根据电压、电流、功率与输出频率的关联性评价装置的电能计量误差,给出了校准结果并进行了不确定度评估。该检测装置的计量性能针对直流充电桩的实际运行工况进行了调校,对应正常充电工况的计量性能最优,其他工况下的计量性能也满足对直流充电桩计量模块的溯源要求,总体满足现场检测工作需要。

参考文献

- [1] 余岳,栗梅,孙尧,等. V2M 系统分时电价博弈研究[J]. 仪器仪表学报,2016,37(1):200-207.
- [2] 许斌杰,王耀南. 电动汽车增程器运行优化的改进粒子群算法研究[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(9):1397-1404.
- [3] 朱江森,张森. 电动汽车充电站实时网络电能计量系统的研制[J]. 国外电子测量技术,2015,34(12):53-56.
- [4] 余小莉,郝玢鑫. 新型绿色电动汽车电池更换站的研究[J]. 电子测量技术,2016,39(10):16-20.
- [5] 赵伟,孟金岭,陈锐民,等. 电动汽车充换电设施电能计量及溯源方法[J]. 电力系统自动化,2013,37(11):113-118.
- [6] 徐子立,李前,胡浩亮,等. 电动汽车充电桩直流电能表检定装置的研制[J]. 电测与仪表,2011,48(12):65-69.
- [7] 王幸,袁辉,王林,等. 直流电能表校验技术研究[J]. 电子设计工程,2015,23(8):125-128.
- [8] 刘峥,张维戈,李景新. 基于 LabVIEW 的直流电能表检验装置设计[J]. 电子设计工程,2010,18(10):57-60.
- [9] 熊浩,曹敏,毕志周,等. 基于直流比较仪的直流电能表检定装置研制[J]. 云南电力技术,2013,41(6):61-63.
- [10] 陆春光,姚力,金立人. 直流电能表检定研究[J]. 电测与仪表,2012,49(10):50-54.
- [11] 张昀,黄艳,赵志华,等. 电动汽车充电站用直流电能表产品标准和检测技术研究[J]. 电测与仪表,2012,49(10):68-74.
- [12] 杨春光,黄葆文,谭彦民,等. 直流输电系统用直流分压器现场检测方法研究[J]. 电子测量技术,2014,37(1):117-121.
- [13] 王新军,汪心妍,李道民,等. 分流器自动检定系统的研制[J]. 电测与仪表,2010,47(8):33-35.
- [14] 钟乃元,高飞. 大电流高精度恒流源[J]. 电子测量技术,2007,30(9):176-179.

作者简介

李恺,1985 年出生,工程硕士,工程师,主要研究方向为电能计量装置的现场检测和状态评估。

E-mail:likai179@163.com