

在毫伏级量程校准电压交直流转换标准的方法

杭 标 高 金 伟

(北京东方计量测试研究所 北京 100086)

摘 要: 电压交直流转换标准是电学计量常用标准之一,通过电压交直流转换标准将交流电压和已知直流电压进行比较,可以将交流电压最终溯源到直流电压上。介绍了常用的几种电压交直流转换标准的原理和校准方法。对在毫伏级量程校准交直流转换标准的方法、步骤和主要不确定度来源进行了简要分析和阐述,给出了采用10:1自校准感应分压器时在系统设计中应注意的问题和环节。在此基础上,还阐述了在交直流转换校准时数据处理的方法和公式。

关键词: 电压交直流转换;感应分压器;自校准

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4017

Calibration of AC-DC voltage converter traceability at millivolt range

Hang Biao Gao Jinwei

(Beijing Oriental Institute of Measurement, Beijing 100086, China)

Abstract: Voltage AC-DC converter standard is one of the common electricity metering standards, compared with voltage AC-DC converter standard, AC voltage can ultimately be traced to DC voltage, which has a higher precision. This article describes several common voltage AC-DC converter standard principles and calibration methods. Calibration methods in the millivolt range of AC-DC converter standard, procedures and major sources of uncertainty are briefly analyzed and explained, this paper also gives a system design of 10:1 voltage divider self-calibration. On this basis, the paper also describes the AC-DC converter calibration data processing methods and formulas.

Keywords: AC-DC voltage converter traceability; inductive voltage divider; self-calibration

1 引 言

电压交直流转换,是通过功和热或者其他形式将交流电压与已知的直流电压相比较,来确定交流电压量值的一种方式^[1]。在电磁学计量中是交流电压溯源的主要途径之一。通过交直流转换标准仪器设备,可将交流电压量值溯源至直流电压,获得具有 10^{-5} 或更高量级的交流电压测量不确定度,这种交流电压溯源方法在电磁学计量领域得到了广泛的应用。高等级校准实验室基本采用交直流转换标准器作为交流电压量传的标准;而对于该类转换标准器本身,当前尚无正式的国家级规程规范给出明确的校准方法和步骤。本文主要讨论在毫伏级量程对该类标准器的校准方法。

2 概 述

交直流转换常用的计量标准器包括单结热偶、多结热偶、固态真有效值变换^[2]等原理。其中单、多结热电偶以及衍生出的各种类型的热电变换器虽然准确度等级较高,但

工艺复杂、加工制造难度大,通常用于国家级实验室最为最高等级的计量标准。基于固态真有效值原理的交直流转换仪器如FLUKE公司的792A和5790A,已经作为可采购的商用标准广泛用于一般的校准实验室,作为交流电压溯源链中的过渡标准。此类交直流转换仪器测量范围一般为2 mV~1 000 V/10 Hz~1 MHz。在200 mV以上的量程,交直流转换仪器在上级校准实验室(通常为国家级校准实验室)一般采用作为热电转换工作基准的多元热偶或者采用多台组成的标准器组进行校准,最佳不确定度一般在 10^{-6} 量级;而在200 mV以下量程,由于计量标准和方法的限制,只能沿用200 mV以上量程的校准方法,但是校准不确定度增大,下限也只能达到20 mV。

3 交直流转换标准的原理

基于固态真有效值原理的交直流转换仪器,核心是固态真有效值变换器,其原理图如图1(a)所示,结构如图1(b)所示^[3]。基本工作原理是在输入端加入已知直流电压 U_{DS} (标准电压),在电阻 R_1 上做功,使用差分放大器调节

Q_1 、 Q_2 基极平衡,得到直流输出 U_{O1} ,加入待校准交流信号 U_{AC} ,同样在电阻 R_1 上做功,通过差分放大器调节 Q_1 、 Q_2 基极平衡,得到直流输出 U_{O2} , U_{O1} 与 U_{O2} 的相对误差即为待测交流电压有效值与已知直流电压值的相对误差,从而将交流电压溯源到直流电压。这种原理得到的交直流转换测量不确定度较高,在 $2\text{ V}/1\text{ kHz}$ 可以达到 1×10^{-5} ($k=2$)。在实际应用该标准器校准交流电压时,引入的不确定度分量主要来源于该标准器的交直流转换差(示值误差)、输入标准直流电压的不确定度、其输出直流电压的准确度和稳定性,以及系统重复性等^[4]。

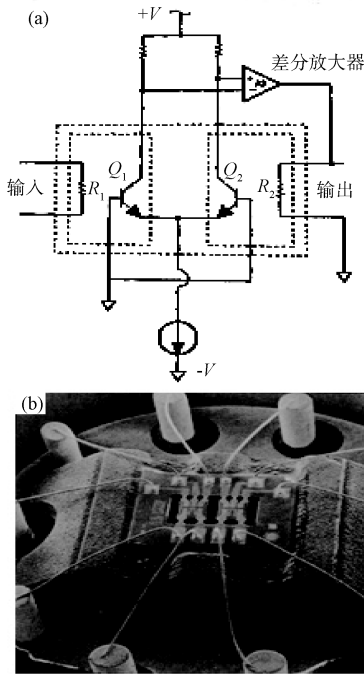


图 1 固态真有效值原理的交直流转换仪器

4 校准交直流转换标准的方法

在毫伏级量程,典型热电变换器原理的电压交直流转换标准的不确定度如表 1 所示。在 $200\text{ mV} \sim 1000\text{ V}$ 范围内,采用多元热偶和交直流转换标准器组的方法可以实现满足其不确定度的校准过程;而在 200 mV 以下的低电压量程,上述方法受阻抗匹配、系统噪声等因素影响(另文阐述),校准结果的准确度和稳定性较差,难以满足其校准需求^[5]。

表 1 $2 \sim 200\text{ mV}$ 不确定度

电压/mV	10 Hz	1 kHz	20 kHz	100 kHz	1 MHz
2	2 200	1 600	1 600	1 900	5 000
20	280	140	140	450	1 300
200	200	40	40	150	600

按照该转换器原理,在对其进行校准时,若输入有效值相等的理想的交流电压和直流电压信号时,其输出的交直流差即为其测量误差^[6]。当前以德国 PTB、意大利 IEN、中国 NIST 等为代表的国家级计量机构正在研究利用十进制或二进制感应分压器经自校准得到准确的交流毫伏级电压的方法和系统,应用此类研究结果可以用前述方法对电压交直流转换标准的毫伏级量程进行校准^[7],校准线路图如图 2 所示。

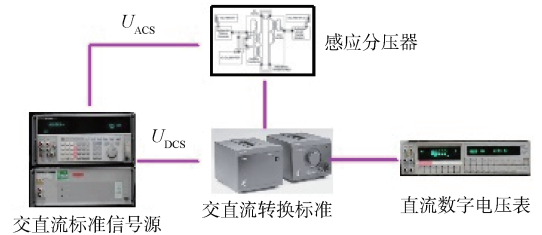


图 2 毫伏量程下交直流转换系统

以 $200\text{ mV}/1\text{ kHz}$ 点校准为例,所用标准器为:1)交直流标准信号源;2)10:1 自校准感应分压器;3)标准直流电压表。

校准过程如下:

- 1)在 $2\text{ V}/1\text{ kHz}$ 下用常规方法校准交直流标准信号源的交流有效值 U_{ACS} 。
- 2)在 200 mV 下用直流电压标准校准交直流信号源的直流输出值 U_{DCS+} 、 U_{DCS-} 。
- 3)对 10:1 感应分压器进行自校,得到比例误差 δ_k 。
- 4)使交直流标准信号源输出 100 mV 校准值 U_{DCS+} ,用直流数字电压表读出交直流转换标准输出直流电压 U_{S+} ;使交直流标准信号源输出 -100 mV 校准值 U_{DCS-} ,用直流数字电压表读出交直流转换标准输出直流电压 U_{S-} ,则直流参考值为^[8]。

$$U_{DCR} = \frac{U_{S+} + U_{S-}}{2} \quad (1)$$

- 5)使标准源输出 $1\text{ V}/1\text{ kHz}$ 交流校准值 $U_{ACS}(1-\delta_k)$,经 10:1 自校准感应分压器分压后输入交直流转换标准,用直流数字电压表读出交直流转换标准输出直流电压 U_{AC} ;则交直流差表示为:

$$\Delta = \frac{U_{AC} - U_{DCR}}{U_{DCR}} \times 100\% \quad (2)$$

校准过程中多次采用了校准值代替标称值,使得交直流差计算简便,避免了繁琐的迭代关系^[9]。通过上述过程,得到 $200\text{ mV}/1\text{ kHz}$ 下的交直流差校准值,重复上述步骤,可得到 $20,2\text{ mV}$ 下的交直流差的校准值。

对上述过程进行分析,主要的不确定度分量来源有^[10]:

- 1)标准信号源输出交直流标准电压信号的上级校准不确定度;
- 2)标准信号源输出交直流电压的短期稳定性;

- 3) 感应分压器自校准过程引入的不确定度;
- 4) 直流数字电压表的上级校准不确定度和短期稳定性;
- 5) 测量结果的重复性。

5 结 论

在实际工作中, 10:1 可自校感应分压器的设计、验证是难点之一, 要充分考虑其输入输出阻抗匹配、噪声抑制、自校准回路等因素, 确保其工作可靠, 自校准数据准确。交直流转换标准本身用于交流电压的量值传递工作, 对其校准需要借助参考级标准完成, 在毫伏级量程更应保证校准方法的简便、可靠。本文阐述的方法经实验验证能够以 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 不确定度在 200 mV 以下开展对交直流转换标准的校准工作, 与国家计量院给出的测试结果进行了对比, 在 10 mV/1 kHz 点数据一致性保持在 10^{-5} 量级。

参考文献

- [1] 钟青, 张江涛, 贺青. 交直流热电转换器的发展与研制[C]. 第四届全国电磁计量大会文集, 2007: 215-219.
- [2] KOCHAV K, WOOD B. Transformer calibration at NRC using thompson's method [C]. 2008 NCSL International Workshop and Symposium, 2008.
- [3] 陆文骏. 十进感应分压器的误差综合[C]. 第四届全国电磁计量大会文集, 2007: 180-181.
- [4] 侯德鑫, 徐浩, 邱建, 叶树亮. 铁氧体裂纹检测自相关处理与多特征辨识方法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(1): 117-124.
- [5] DJOKI B. Calibration of 10:1 inductive voltage dividers by Thompson's method using an electronically-enhanced three-stage calibrating transformer [C]. 2012 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM), 2012: 500-501.
- [6] 张振, 徐科军, 杨双龙, 等. 具有快速响应的电磁流量计高低压励磁系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(6): 562-571.
- [7] POGLIANO U, BOSCO G C, LANZILLOTTI M. Calibration of a wideband transformer for measurement in the millivolt range by means of AC-AC transfer [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2007, 56(2): 543-546.
- [8] 张江涛, 赵毅, 许晨. 二进制感应分压器的自校准及其在量程扩展中的应用[C]. 第四届全国电磁计量大会论文集, 2007: 201-203.
- [9] 屠治国, 王薇, 高金伟. 低电压交直流转换仪器的几种溯源方法[C]. 国防计量测试学术交流会议论文集, 2012.
- [10] 胡军. 一种微电流测量方法的研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(4): 31-35.

作者简介

杭标, 1989 年出生, 中国空间技术研究院硕士研究生, 仪器、科学技术专业。
E-mail: vs-powership@163.com

是德科技新型大电流、超低噪声滤波器将电源输出范围提高至 500 mA

电源可支持在研发过程中对灵敏器件进行准确测量

新闻要点:

- 新型大电流、超低噪声滤波器现在将处理能力提高到 500 mA, 同时让噪声性能保持在 $10 \mu\text{Vrms}$ 的水平上
- 全球独一无二的超低噪声电源售价不到一万美元

2016 年 6 月 3 日, 北京——是德科技公司 (NYSE: KEYS) 日前推出一款专为 B2961A 和 B2962A 6.5 位低噪声电源设计的新型大电流、超低噪声滤波器。这两种电源能够在保持 $10 \mu\text{Vrms}$ 和 $1 \text{nVrms}/\sqrt{\text{Hz}}$ (10 kHz 频率下) 噪声性能的基础上, 提供 500 mA 电流。凭借不到一万美元的起价, B2961A 和 B2962A 是能够在超低噪声电平上提供电信号的低成本独立电源。这些产品可以帮助研究人员、电子研发工程师和电子技术人员应对设备研发和测试时可能面对的最困难的测量挑战。

随着电子设备和器件越来越趋向于小型化、一体化和便携化, 它们对智能化、一体化、低功耗也提出了更高的要求。力求产品创新和突破性进展的研究人员、设计人员以

及开发人员在研发下一代器件时, 通常需要使用电源等基础设备。研发灵敏器件时, 设计人员所使用的电源必须具备高精度和高分辨率, 还要能够提供低噪声电压。

Keysight B2961A 和 B2962A 能够提供高精度和极低的本底噪声, 完全可以满足当今设计工程师在研发模数/数模转换器、VCO、传感器和变换器等器件时的需求。这些器件往往需要低噪声的宽广电流和电压范围。通过应用新型超低噪声滤波器, B2961A 和 B2962A 的输出电流可达 500 mA, 同时保持本底噪声处于 $10 \mu\text{Vrms}$ 和 $1 \text{nVrms}/\sqrt{\text{Hz}}$ (10 kHz 下) 的极低水平。这些功能使得 B2961A 和 B2962A 成为与其他设备共用的最佳高精度电源, 包括网络分析仪、信号源分析仪和纳伏表。

大部分信号源分析仪, 即使其有内置电源, 也无法同时提供低噪声电压输出和许多工程应用所需要的电流水平。但是 B2961A 和 B2962A 的新型大电流、超低噪声滤波器却能够同时满足这些需求。