

# 示波器差分探头的校准方法

## The Calibration Technique of Oscilloscope Differential Probe

刘红煜

(中国电子科技集团公司第二十研究所计量站,陕西 西安 710068)

**摘要:**随着测量信号速率的提高,差分信号变得越来越普遍,为了确保测量结果的准确性和可靠性,本文提出了对示波器差分探头的校准方法。

**关键词:**差分探头;校准;方法

为了抑制信号中的共模噪声,示波器差分探头被广泛的使用,但是示波器差分探头是否准确对测量结果有很大的影响,为了确保测量结果的准确性和可靠性,需要对示波器差分探头计量校准。国家对示波器计量检定/校准有相应的检定规程和校准方法,但对示波器差分探头计量校准却没有规定,因此本文提出了示波器差分探头计量校准方法,供同行参考。

### 1 示波器差分探头计量校准的主要项目有

(1)共模抑制比;(2)直流衰减系数;(3)差分信号范围;(4)频带宽度;(5)上升时间;(6)输入阻抗(包括电阻和电容)。

### 2 校准项目和校准方法

#### 2.1 共模抑制比校准方法

2.1.1 共模抑制比(CMRR)的定义:在差分信号测量中,为了说明差分放大电路抑制共模信号的能力。共模抑制比是反映差分探头性能的一个关键参数,被定义为:

$$CMRR = |A_d/A_c| \quad (1)$$

$$\text{或以 dB 表示: } CMRR = 20 \lg(A_d/A_c) \quad (2)$$

其中: $A_d$ —差模信号电压增益;

$A_c$ —共模信号电压增益。

一般差分探头的接线端有 3 个,第一个是标有“+”端,第二个是标有“-”端,第三个是“地”端,如图 1 所示:

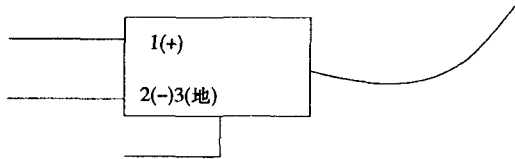


图 1 差分探头的接线端

差模信号电压放大倍数  $A_d$  越大,共模信号电压放大倍数  $A_c$  越小,则 CMRR 越大。此时差分放大电路抑制共模信号的能力越强,放大器的性能越好。当差分放大电路完全对称时,共模信号电压放大倍数  $A_c = 0$ ,则共模抑制比  $CMRR \rightarrow \infty$ ,这是理想情况,实际上电路完全对称是不存在的,共模抑制比也不可能趋于无穷大。电

路对称性越差,其共模抑制比就越小,抑制共模信号(干扰)的能力也就越差。共模抑制比是一个与频率相关的参数,随着频率的增加而减小。因此高共模抑制比的高频差分探头比同样共模抑制比的低频差分探头性能好。

#### 2.1.2 共模抑制比(CMRR)的校准

从共模抑制比的定义中,只要能测量差模信号电压增益和共模信号电压增益的大小,用公式(1)或(2)可以计算出差分探头共模抑制比。

校准需要的标准仪器:(1)示波器(本文推荐 TEK 公司 DPO4104 数字示波器,也可用其它满足使用要求的示波器)。(2)标准信号源(本文推荐 FLUKE 9500B 示波器校准仪),按图 2 的方法连接线路。

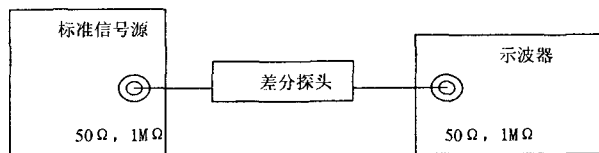


图 2 共模抑制比(CMRR)的校准连接图

测量差模信号电压增益  $A_d$  和共模信号电压增益  $A_c$  的方法有两种:第一种是从示波器上读测量值,第二种是从标准信号源上读标准值。下面分别介绍:

#### 第一种方法操作步骤:

(1)按图 2 连好线,设置标准信号源和示波器的阻抗匹配,选择差分探头的量程和衰减系数,依据差分探头技术说明书中的频率点设置共模抑制比测量点,对不同频率对应的共模抑制比测量点应全部校准;

(2)测量共模信号电压  $A_c$ ,把标准信号源的输出端与差分探头的输入端连接(探头“+”接标准信号源信号端,探头“-”接标准信号源地端),标准信号源输出一个固定正弦波电压  $V$ ,从示波器上读出测量值,即值  $A_c$ ;

(3)测量差分信号电压  $A_d$ ,把标准信号源的输出端与差分探头的输入端连接(探头“+”、“-”短路后接标准信号源信号端,探头“地”接标准信号源地端),标准信号源输出一个固定电压的正弦波电压  $V$ ,从示波器上读出

测量值,即值  $A_d$ ;

(4)标准信号源正弦波电压  $V$  保持不变,设置不同的频率,重复步骤(2)、(3),直至校准完所选测量点,用公式(1)或(2)计算出差分探头共模抑制比。

第二种方法操作步骤:

(1)按图 2 连好线,设置标准信号源和示波器的阻抗匹配,选择差分探头的量程和衰减系数,依据差分探头技术说明书中的频率点设置共模抑制比测量点,对不同频率对应的共模抑制比测量点应全部校准;

(2)测量共模信号电压  $A_c$ ,把标准信号源的输出端与差分探头的输入端连接(探头“+”接标准信号源信号端,探头“-”接标准信号源地端),标准信号源输出一个正弦波电压,从示波器上读出波形高度或格数,记录标准信号源显示的电压值,即值  $A_c$ ;

(3)测量差分信号电压  $A_d$ ,把标准信号源的输出端与差分探头的输入端连接(探头“+”、“-”短路后接标准信号源信号端,探头“地”接标准信号源地端),标准信号源输出一个正弦波电压,从示波器上读出波形高度或格数(同步骤(2)的波形高度一样高),记录标准信号源显示的电压值,即  $A_d$  值;

(4)标准信号源设置不同的频率,重复步骤(2)、(3),直至校准完所选测量点,用公式(1)或(2)计算出差分探头共模抑制比。

### 2.1.3 共模抑制比校准中应注意的问题:

(1)为了确保信号波形不失真,所用标准仪器示波器制造商和被校准探头制造商最好是同一个厂家,示波器型号最好选择厂家推荐与探头相匹配的型号;

(2)标准信号源与探头连接时,必须使用厂家提供的探头尖适配器,这种探头尖适配器能够使探头连接快速方便,并且稳定可靠。严禁使用普通的连接线;

(3)为了减小地线上的阻尼振荡,使地线可能的短和直接;

(4)在校准时,示波器的模式放在平均采样,平均次数设置 16 次,在第二种方法操作步骤(2)中,波形高度最好达到 6 格(6 个 DIV),并开启自动测量功能,保证两次波形高度一致。

2.2 直流衰减系数校准方法:大多数的示波器差分探头直流衰减系数准确度在 3%~5%,故要求标准的准确度优于 1%,现在大多数的数字示波器厂家给出直流准确度在 1%~3%,而实际测量得出直流准确度优于 1%,如 TEK 公司 DPO4104 示波器测量的实际直流准确度优于 0.5%,所以可以用 DPO4104 数字示波器作为测量标准。

校准需要的标准仪器:(1)示波器(本文推荐 TEK 公司 DPO4104,也可用其它满足使用要求的示波器)。(2)标准信号源(本文推荐 FLUKE 9500B),按图 2 的方法连

接线路。

操作步骤:

(1)把标准信号源和示波器的阻抗设置在  $1M\Omega$ ,选择探头量程和直流衰减系数,测量点一般设置 3 个(依据实际情况,也可增加),按满量程的 30%,70%,100% 给出;如果探头带有零复位功能,测量首先要零复位;

(2)把标准信号源的输出端与差分探头的输入端连接(探头“+”接标准信号源信号端,探头“地”接标准信号源地端),标准信号源输出直流电压值,从示波器上读出测量值,计算得到直流衰减系数;

(3)把标准信号源的输出端与差分探头的输入端(探头“-”接标准信号源信号端,探头“地”接标准信号源地端)连接,标准信号源输出直流电压值,从示波器上读出测量值,计算得到直流衰减系数;

(4)选择探头不同量程和直流衰减系数,重复步骤(2)、(3),直至校准完所选测量点。

对于直流衰减系数的校准,在选用标准时,也可以用数字多用表作为测量标准(原因是其准确度高),但是本文不推荐使用,主要原因:(1)大多数数字多用表的阻抗在  $10M\Omega$  或更高,为了达到阻抗匹配,需要并联电阻,使操作连线复杂化,不能达到阻抗匹配的最佳效果;(2)数字多用表与探头的连接困难,如果有源探头,无法直接连接,需要转换器;(3)探头在实际工作中的使用都是与示波器匹配使用,故用示波器测量的数据比用数字多用表测量的数据更能反映探头的真实性能。

2.3 差分信号范围校准方法:对探头差分信号范围的校准,同 2.2 直流衰减系数校准方法基本相同,不同的是:标准接在探头的“+”“-”端测量。

2.4 频带宽度校准方法:对探头频带宽度校准方法和具体操作,可参照国家对示波器带宽计量检定/校准校准方法,不同之处是:(1)不但测量阻抗在  $50\Omega$  时的频带宽度,而且测量阻抗在  $1M\Omega$  时的频带宽度;(2)标准信号源测量频带宽度一般参考频率为 50kHz,探头频带宽度校准时参考频率为 1MHz 或依据说明书中的要求参考频率。

2.5 上升时间校准方法:对探头上升时间测量,可参照国家对示波器上升时间计量检定/校准方法。校准中使用的快沿脉冲信号发生器,上升时间应不大于被校准仪器的  $1/3$ ,否则测量的上升时间用公式(3)修正。

$$t_p = \sqrt{t_{(s+p)}^2 - t_s^2} \quad (3)$$

式中: $t_p$ —探头上上升时间;

$t_{(s+p)}$ —示波器测量上升时间;

$t_s$ —示波器建立时间。

(下转第 30 页)

法、维护情况和稳定性考核记录、比对核查记录等,这些实际经验记录在一般书本资料中找不到,可是对于从事实际工作的人是非常有用的。

(11) 计量控制图:以均值控制图、标准偏差控制图等形式记录标准装置性能的变化情况。

(12) 其他:本企业设计、工艺、检验、试验、运行各系统工作与该量值有关的各类信息,如需用量限、准确度、动静性能、检测介质要求等。与各系统交往中产生的各种文件、协议等也是重要的技术资料。

### 3 标准装置使用手册的应用

(1) 对标准装置进行考核、验证的依据:因期间核查、标准装置搬动、更换配套设备、环境设施变化等,需要对标准装置全部或部分技术参数进行重新考核、验证时,标准装置使用手册可以提供数据和方法。

(2) 日常计量测试工作的信息资料库:随着工业化进程的不断加快,在各种工业产品中不断应用新技术、新工艺、新方法,产品技术指标的实现、测量数据是否准确、是否满足设计预期要求,离不开测量和试验验证,计量工作是保证测量量值准确统一的唯一途径。在凸显计量技术优势的同时,也对计量工作不断提出新的要求。计量工作已不局限于量值传递,还承担着产品的精密测试,新仪器设备的调试工作,这就要求计量部门掌握更多的技术信息、方法、手段,在开展新的检定、校准、检测项目时,能够高效、高质量地完成任务。标准装置使用手册可提供的各种技术参数、检测方法、数据处理及不确定度评定程序等,正是解决这些问题的有力工具。另外,有了标准装置使用手册这个信息资料库,为编制计量发展规划、工作报告等文件也提供了可靠、全面的数据资料。

(3) 培训计量检定员的教材:对于新进专业的检定人

员,通过认真阅读理解标准装置使用手册,可以尽快达到全面掌握、正确使用检定设备的目的。多年前在我们单位发生的事例可以说明系统学习标准装置使用手册的重要性。当时因工作需要,热工组由其他专业调入一名检定员,由于不了解热工计量的特点,不知道热电偶检定炉存在热场梯度,也没看建标时制作的升温曲线和保温曲线函数图,在检定一批新购的工作用热电偶时,得出整批被检热电偶输出值严重偏离标准值的结论,审核人员发现整批被检热电偶输出值一致,电偶节点外观正常,初步判定该检定员的结论不合常规。经过认真复查分析,发现该检定员违反操作规程,检定时将炉温快速升至检定点,未经保温即开始测量,错误地认为只要测量完所有被检偶后第二次测量标准偶的数值与第一次测得值一致,即说明没有“跑温”,忽视了操作程序对升温 and 保温过程的要求,从而得出了错误的计量结论。重新按操作程序对该批电偶检定,结论是全部合格。因此,要求各专业检定员工作前必须熟知所用仪器设备的工作原理及性能,熟悉理解标准装置使用手册的内容,正确认识并严格执行相关规章制度,可以有效地提高计量工作质量。

### 4 结束语

计量体系基础建设是一项需要长期持续开展的工作,在此过程中,除了更新设备、改善环境、提高人员素质、完善规章制度之外,收集整理现有资源、积累经验并有效利用,也是提高计量科学应用水平的途径。只要有认真、敬业的精神,通过广大计量工作者的共同努力,一个单位的计量综合能力就会得到不断提高。

作者简介:张玉山,男,工程师。工作单位:郑州飞机装备公司理化计量中心。通讯地址:450005 河南郑州 1084 信箱理化计量中心。

收稿时间:2008-03-27

(上接第28页)

2.6 输入阻抗(包括电阻和电容)校准方法:探头电阻的准确度一般在2%左右,测量标准的准确度优于0.5%就能满足要求,因此测量标准可用数字多用表(测量电阻的准确度优于0.1%)或标准信号源(本文推荐 FLUKE 9500B,测量电阻的准确度:0.1%~0.5%)直接测量,测量点包括:(1)探头“+”端与“-”端之间的电阻,(2)探头“+”端与“地”端之间的电阻,(3)探头“-”端与“地”端之间的电阻。

探头电容一般不要求准确度,只要求电容值小于探头说明书规定的某个值(在说明书规定的特定频率下测量),测量标准选用 LCR 仪直接测量,测量点包括:(1)探头“+”端与“-”端之间的电容,(2)探头“+”端与“地”端之间的电容,(3)探头“-”端与“地”端之间的电容。

### 3 结束语

本文使用的校准方法在示波器差分探头实际检测中取得了较好效果,能满足目前三大示波器厂家(美国泰克公司,安捷伦公司,力科公司)和国内厂家生产的示波器差分探头,此校准方法可以在计量校准中工作使用。

#### 参考文献

- [1] JJG 262-96. 模拟示波器检定规程. 国家技术监督局.
- [2] JJG 1057-1998 数字存储示波器校准规范. 国家技术监督局.
- [3] 无线电电子学计量(5)上册. 国防科工委科技与质量司组织编写.
- [4] TEK 差分探头和 DPO4104 数字示波器说明书. 美国 TEK 公司.
- [5] FLUKE 9500B 示波器校准仪说明书. 美国 FLUKE 公司.

作者简介:刘红煜,男,工程师。工作单位:中国电子科技集团公司第二十研究所计量站。通讯地址:710068 陕西省西安市。

收稿时间:2008-03-27