

电势诱导衰减测试仪校准
规范

Calibration Specification of PID Tester

JJF(津) 99—2023

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所负责解释

本规范主要起草人：

马新新 (天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所)

翟家强 (天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所)

冯 宇 (天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所)

参加起草人：

楚 铭 (天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所)

周 超 (天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所)

杨雪辰 (天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所)

目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 电势诱导衰减.....	(1)
3.2 泄漏电流.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 输出电压.....	(2)
5.2 泄漏电流.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 主要测量标准及要求.....	(2)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 电势诱导衰减测试仪校准原始记录参考格式.....	(7)
附录 B 电势诱导衰减测试仪校准证书内页推荐格式.....	(8)
附录 C 电势诱导衰减测试仪输出电压测量结果不确定度评定示例.....	(9)
附录 D 电势诱导衰减测试仪电流测量结果不确定度评定示例.....	(11)

引言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编写。使用本规范时，引用文件的最新版本（包括所有的修改草案）适用于本规范。

本规范为首次发布。

电势诱导衰减测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于电压量程不低于 1kV 电势诱导衰减测试仪（又称 PID 测试仪）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

JJF 1597-2016 直流稳定电源校准规范

JJG 795-2016 耐电压测试仪检定规程

IEC 61215-2: 2021 地面用光伏组件 设计鉴定和定型 第 2 部分：测试程序

IEC TS 62804-1: 2015 光伏组件 电势诱导衰减试验 第 1 部分：晶体硅

IEC TS 62804-1-1: 2020 光伏组件 电势诱导衰减试验 第 1 部分：晶体硅 分层

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 电势诱导衰减 Potential-induced Degradation

简称 PID，是指由有源电池电路与光伏组件的外表面或部件之间的电势应力引起的任何光伏组件的退化。

3.2 泄漏电流 Leakage Current

电势诱导衰减测试仪的输出电压通过组件绝缘或分布参数阻抗产生的电流。

4 概述

电势诱导衰减测试仪，简称为 PID（Potential Induced Degradation）测试仪，用于评估光伏组件承受系统偏压的能力，以减少和预防 PID 现象。该仪器适用于各种光伏

组件技术，包括光伏组件生产过程的质量控制、新制造工艺的测试、材料或膜层的变化和等级测试，以及评估不同组件封装技术的影响。

电势诱导衰减测试仪一般具有 8 或 12 路等多通道输出，能够提供多个光伏组件同时进行电势诱导衰减测试。

5 计量特性

5.1 输出电压

电势诱导衰减测试仪输出电压的最大允许误差绝对值一般不超过 2%。

5.2 泄漏电流

电势诱导衰减测试仪泄漏电流的最大允许误差绝对值一般不超过 2%。

注：具体计量特性，可参照被校测试仪的技术要求。以上要求不适用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ；环境湿度：20%RH~75%RH；

电源电压： $220\text{V} \pm 22\text{V}$ ；电源频率： $50\text{Hz} \pm 0.5\text{Hz}$ ；

周围无影响校准工作的机械振动和电磁干扰，并具有良好的接地；无腐蚀性及易燃、易爆气体。

6.2 主要测量标准及要求

根据所采用的校准方法，选择可以满足以下校准要求的测量设备。

表 1 测量设备要求

项目名称 设备要求	输出电压	泄漏电流
范围	不低于 2kV	不低于 10mA
分辨力	不低于被校仪器输出电压最小值的 1/10	不低于被校仪器泄漏电流最小值的 1/10
最大允许误差	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.5\%$
扩展不确定度 ($k=2$)	不大于被校仪器输出电压最大允许误差绝对值或允许范围的 1/3	不大于被校仪器泄漏电流最大允许误差绝对值或允许范围的 1/3

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 2。

表 2 校准项目

序号	项目名称	计量特性的条款	校准方法的条款
1	输出电压	5.1	7.2.2
2	泄漏电流	5.2	7.2.3

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查及功能检查

电势诱导衰减测试仪面板、机壳或铭牌上一般有以下主要标志和符号：仪器名称、型号、制造厂名称或商标、出厂编号、额定输入电压和频率、输出参数额定值等；端钮标识明显且齐全，无松动和脱落等。

通电后，开关、按键或调节旋钮功能正常，显示屏、测量仪表和状态指示灯显示正常。

7.2.2 输出电压的校准

7.2.2.1 校准点选取

在电压量程的 40%~100%测量范围内均匀选取不少于 3 个校准点。

注：可根据客户实际需要选择校准点。

7.2.2.2 输出电压的校准

输出电压的校准可按图 1 (a)、(b) 两种方法进行。

a) 按图 1 (a) 连接线路，接好标准直流分压器、标准直流电压表，通电稳定。

将电势诱导衰减测试仪的输出电压设定为 7.2.2.1 规定的校准点，测量时读取标准直流电压表上的电压标准值，输出电压实际值按公式(1)计算。

$$V_n = n \cdot V_0 \quad (1)$$

式中：

V_n ——输出电压实际值，V；

n ——标准分压器分压比；

V_0 ——标准电压表标准值，V。

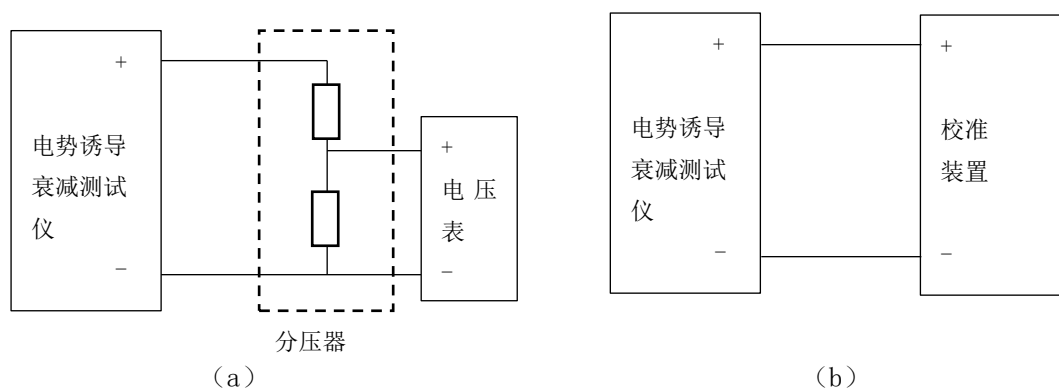


图1 电势诱导衰减测试仪输出电压校准原理图

输出电压误差用公式 (2) 计算。

$$\text{电压误差: } \delta_{V_s} = \frac{V_s - V_n}{V_n} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

δ_{V_s} ——设定电压相对误差, %;

V_s ——设定电压值, V;

V_n ——输出电压实际值, V。

b)按图 1 (b) 连接线路, 采用直接测量法校准, 由电势诱导衰减测试仪校准装置直接读取电势诱导衰减测试仪输出电压标准值, 作为输出电压实际值。输出电压误差用公式 (2) 计算。

7.2.2.3 允许采用满足 6.2 要求的其他方法校准输出电压。

7.2.3 泄漏电流的校准

7.2.3.1 校准点选取

在电流量程的 10%~100%测量范围内均匀选取不少于 3 个校准点。

注: 可根据客户实际需要选择校准点。

7.2.3.2 泄漏电流的校准

电势诱导衰减测试仪电流的校准可按图 2 (a)、(b) 两种方法进行。

a)按图 2 (a) 连接线路, 接好电阻器 R 和标准直流电流表; 电阻器 R 置适当值。

根据测量点, 对电流表进行调节。设置电势诱导衰减测试仪输出电压为适当值, 但不能低于 500V, 启动仪器, 待电流稳定后读取标准电流表上的电流标准值, 作为电流实际值。

并记录电势诱导衰减测试仪电流显示值。泄漏电流误差用公式 (3) 计算。

$$\text{电流误差:} \quad \delta_{I_s} = \frac{I_x - I_n}{I_n} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

δ_{I_s} ——泄漏电流相对误差, %;

I_x ——电流显示值, mA;

I_n ——电流实际值, mA。

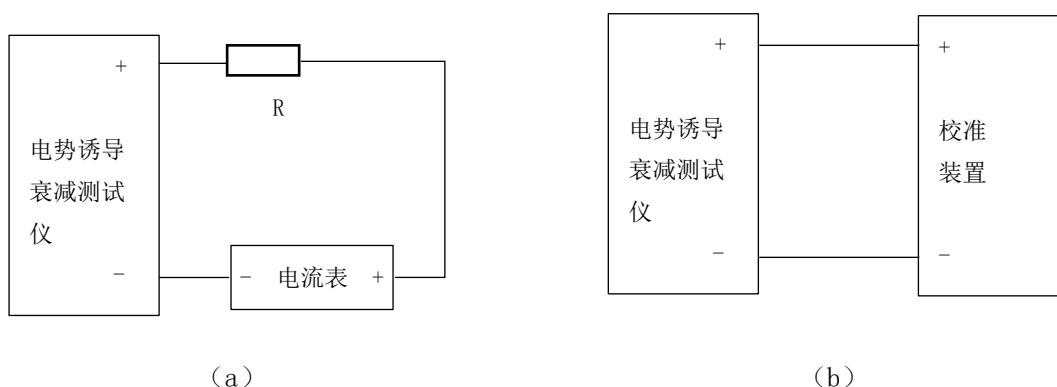


图2 电势诱导衰减测试仪击穿报警预置电流校准原理图

b)按图 2 (b) 连接线路,采用直接测量法校准。根据测量点,对校准装置进行调节。设置电势诱导衰减测试仪输出电压为适当值,但不能低于 500V,启动仪器,待电流稳定后读取校准装置上的电流标准值,作为电流实际值。并记录电势诱导衰减测试仪电流显示值。泄漏电流误差用公式(3)计算。

8 校准结果

8.1 校准证书

校准结果应在校准证书上反映,校准证书应至少包含以下信息:

- a) 标题:“校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点(如果与实验室的地址不同);
- d) 证书的唯一性标识(如编号),每页及总页数的标识;
- e) 客户的地址和名称;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期,如果与校准结果的有效性和应用有关时,应说明被校对象的接收日期;

- h) 如果与校准结果的有效性应用相关时，应对被样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书签发人的签名或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量问题等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

电势诱导衰减测试仪校准原始记录参考格式

证书编号: _____ 原始记录编号: _____

客户名称: _____ 客户地址: _____

仪器名称: _____ 型号规格: _____

制造厂: _____ 出厂编号: _____

校准地点: _____

校准依据: _____

环境条件: 温度: _____ 相对湿度: _____ 校准日期: _____

校准员: _____ 核验员: _____

标准器名称	编号	不确定度或准确度等级 或最大允许误差	证书编号	证书有效期	溯源机构名称

A.1 输出电压校准

通道	量程	被校仪器设定值	实际值	示值误差	测量不确定度

A.2 泄漏电流校准

通道	量程	被校仪器显示值	实际值	示值误差	测量不确定度

附录 B

电势诱导衰减测试仪校准证书内页推荐格式

B.1 输出电压校准

通道	量程	被校仪器设定值	实际值	示值误差	测量不确定度

B.2 泄漏电流校准

通道	量程	被校仪器显示值	实际值	示值误差	测量不确定度

附录 C

电势诱导衰减测试仪输出电压测量结果不确定度评定示例

C.1 引言

本附录对电势诱导衰减测试仪的输出电压测量结果进行不确定度评定。采用直接测量法校准，得到被校仪器的示值误差。

本示例采用的是输出电压量程为 2kV，最大允许误差为±2%的电势诱导衰减测试仪。

C.2 数学模型

$$\delta = V_s - V_n$$

其中： V_s ——输出电压的测量结果，V；

V_n ——输出电压的实际值，V；

δ ——输出电压的示值误差，V。

C.3 各输入量的标准不确定度的分析与评定

不确定度主要来源：测量重复性引入的不确定度分量 u_1 ；标准器引入的不确定度分量 u_2 ；标准器读数分辨力引入的不确定度分量 u_3 。

C.3.1 测量重复性引入的不确定度 u_1

设置电势诱导衰减测试仪输出电压为 2kV，测量条件固定，用校准装置对测试仪独立重复测量输出电压 10 次，测量数据见表 C1：

表 C1 10 次测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标准器显示值 (kV)	2.013	2.015	2.016	2.014	2.016	2.016	2.014	2.015	2.013	2.014

十次测量平均值： $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} x_i = 2.0146$ kV

单次实验标准差：

$$S(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{10-1}} = 1.17 \times 10^{-3} \text{ kV}$$

则由测量重复性引入的不确定度分量 u_1 为：

$$u_1 = S(x_i) = 1.17 \times 10^{-3} \text{ kV}$$

C.3.2 标准器引入的不确定度分量 u_2

根据校准装置说明书,直流电压的最大允许误差为 $\pm 0.2\%$;即区间半宽度值为 $a_2=0.2\% \times 2\text{kV}=4 \times 10^{-3}\text{kV}$,认为服从均匀分布,取包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。则标准器引入的标准不确定度为:

$$u_2 = a_2 / k = 2.31 \times 10^{-3} \text{ kV}$$

C.3.3 标准器读数分辨力引入的不确定度分量 u_3

标准器读数分辨力为 0.001kV ,即区间半宽度值为 $a_3=5 \times 10^{-4}\text{kV}$,认为服从均匀分布,取包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。则标准器引入的标准不确定度为:

$$u_3 = a_3 / k = 2.89 \times 10^{-4} \text{ kV}$$

C.4 合成标准不确定度的评定

主要标准不确定度汇总表如表 C2 所示

表 C2 标准不确定度一览表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	$ c_i $	$ c_i u(x_i)$
u_1	测量重复性	$1.17 \times 10^{-3} \text{ kV}$	1	$1.17 \times 10^{-3} \text{ kV}$
u_2	标准器	$2.31 \times 10^{-3} \text{ kV}$	1	$2.31 \times 10^{-3} \text{ kV}$
u_3	标准器读数分辨力	$2.89 \times 10^{-4} \text{ kV}$	1	$2.89 \times 10^{-4} \text{ kV}$

考虑到被测电势诱导衰减测试仪的测量重复性和读数分辨力存在重复,在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去。各不确定度分量独立不相关,则合成标准不确定度 u_c 为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 2.59 \times 10^{-3} \text{ kV}$$

C.5 扩展不确定度的评定

对应 p 约为 95% 包含概率,取 $k=2$,则扩展不确定度为:

$$U = k u_c = 2 \times 2.59 \times 10^{-3} \text{ kV} = 5.18 \times 10^{-3} \text{ kV} \approx 0.005 \text{ kV}$$

换算至相对扩展不确定度为: $U_{\text{rel}}=0.3\%$, $k=2$ 。

附录 D

电势诱导衰减测试仪泄漏电流测量结果不确定度评定示例

D.1 引言

本附录对电势诱导衰减测试仪的泄漏电流测量结果进行不确定度评定。采用直接测量法校准，得到被校仪器的示值误差。

本示例采用的是泄漏电流量程为 10mA，最大允许误差为±2%的电势诱导衰减测试仪。

D.2 数学模型

$$\delta = I_x - I_n$$

其中： I_x ——电流的测量结果，mA；

I_n ——电流的实际值，mA；

δ ——电流的示值误差，mA。

D.3 各输入量的标准不确定度的分析与评定

不确定度主要来源：测量重复性引入的不确定度分量 u_1 ；标准器引入的不确定度分量 u_2 ；标准器读数分辨力引入的不确定度分量 u_3 。

D.3.1 测量重复性引入的不确定度 u_1

调节电阻或输出电压，使电流为 200 μ A，测量条件固定，用校准装置对测试仪独立重复测量电流 10 次，测量数据见表 D1：

表 D1 10 次测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标准器显示值 (mA)	0.199	0.199	0.200	0.199	0.199	0.200	0.200	0.199	0.199	0.200

十次测量平均值： $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} x_i = 0.1994$ mA

单次实验标准差：

$$S(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{10-1}} = 5.16 \times 10^{-4} \text{ mA}$$

则由测量重复性引入的不确定度分量 u_1 为：

$$u_1 = S(x_i) = 5.16 \times 10^{-4} \text{ mA}$$

D.3.2 标准器引入的不确定度分量 u_2

根据校准装置说明书,直流电流的最大允许误差为 $\pm 0.2\%$;即区间半宽度值为 $a_2=0.2\% \times 0.2\text{mA}=4 \times 10^{-4}\text{mA}$,认为服从均匀分布,取包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。则标准器引入的标准不确定度为:

$$u_2 = a_2/k = 2.31 \times 10^{-4} \text{ mA}$$

D.3.3 标准器读数分辨力引入的不确定度分量 u_3

标准器读数分辨力为 0.001mA ,即区间半宽度值为 $a_3=5 \times 10^{-4}\text{mA}$,认为服从均匀分布,取包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。则标准器引入的标准不确定度为:

$$u_3 = a_3/k = 2.89 \times 10^{-4} \text{ mA}$$

D.4 合成标准不确定度的评定

主要标准不确定度汇总表如表 D2 所示

表 D2 标准不确定度一览表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	$ c_i $	$ c_i u(x_i)$
u_1	测量重复性	$5.16 \times 10^{-4} \text{ mA}$	1	$5.16 \times 10^{-4} \text{ mA}$
u_2	标准器	$2.31 \times 10^{-4} \text{ mA}$	1	$2.31 \times 10^{-4} \text{ mA}$
u_3	标准器读数分辨力	$2.89 \times 10^{-4} \text{ mA}$	1	$2.89 \times 10^{-4} \text{ mA}$

考虑到被测电势诱导衰减测试仪的测量重复性和读数分辨力存在重复,在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去。各不确定度分量独立不相关,则合成标准不确定度 u_c 为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 5.65 \times 10^{-4} \text{ mA}$$

D.5 扩展不确定度的评定

对应 p 约为 95% 包含概率,取 $k=2$,则扩展不确定度为:

$$U = k u_c = 2 \times 5.65 \times 10^{-4} \text{ mA} = 11.30 \times 10^{-4} \text{ mA} \approx 0.001 \text{ mA}$$

换算至相对扩展不确定度为: $U_{\text{rel}} = 0.5\%$, $k=2$ 。

