



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 361—2003

脉 冲 电 压 表

Pulse Voltmeter

2003 - 11 - 24 发布

2004 - 05 - 24 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

脉冲电压表检定规程

Verification Regulation

of Pulse Voltmeter

JJG 361—2003

代替 JJG 361—1984

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2003 年 11 月 24 日批准，并自 2004 年 05 月 24 日起施行。

归口单位： 全国无线电计量技术委员会

起草单位： 信息产业部电子计量中心

本规程委托全国无线电计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

胡菊萍 （信息产业部电子计量中心）

贾致杰 （信息产业部电子计量中心）

参加起草人：

张 玲 （信息产业部电子计量中心）

张继平 （信息产业部电子计量中心）

目 录

1 范围	(1)
2 概述	(1)
3 计量性能要求	(1)
3.1 脉冲幅度测量范围	(1)
3.2 脉冲幅度测量误差	(1)
3.3 直流电压稳定度	(1)
3.4 可测量的最小脉冲宽度	(1)
3.5 输入阻抗	(1)
3.6 输入短路电压	(1)
4 通用技术要求	(1)
5 计量器具控制	(1)
5.1 检定条件	(1)
5.2 检定项目及检定方法	(2)
5.3 检定结果的处理	(10)
5.4 检定周期	(10)
附录 A 检定记录格式	(11)
附录 B 脉冲电压表检定结果的不确定度评定实例	(12)

脉冲电压表检定规程

1 范围

本规程适用于脉冲电压表的首次检定、后续检定和使用中的检验。

2 概述

脉冲幅度是重要的脉冲参数。准确测量脉冲幅度是测量其它脉冲参数的基础。

脉冲电压表用于测量脉冲幅度。其基本工作原理是采用机械斩波器、电子开关进行交直流切换的斩波原理比较法或采用二极管直流电压补偿法，将被测脉冲与一个可调直流电压进行比较，借助于高灵敏度示波器和高分辨力的直流数字电压表，测量脉冲幅度。

3 计量性能要求

3.1 脉冲幅度测量范围： $\pm (10\text{mV} \sim 200\text{V})$

3.2 脉冲幅度测量误差： $\pm (0.05\% + 10\mu\text{V}/U_x)$

3.3 直流电压稳定度： $0.03\%/10\text{min}$

3.4 可测量的最小脉冲宽度

电子斩波原理比较法：“同宽”测量时 $15\mu\text{s}$ ；“选测”测量时 $8\mu\text{s}$ 。

二极管直流电压补偿原理： $1\mu\text{s}$

3.5 输入阻抗

电子斩波原理比较法： $50\text{M}\Omega$

二极管直流电压补偿原理： $1\text{M}\Omega$

3.6 输入短路电压： $100\mu\text{V}$

4 通用技术要求

脉冲电压表上应具有制造厂名、仪器型号、出厂序号、 标志及编号；控制旋钮、按键开关和输入输出端口应有明确的标志；送检时应带有使用说明书，后续检定应备有上次检定证书。

5 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中的检验。

5.1 检定条件

5.1.1 环境条件

5.1.1.1 环境温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$

5.1.1.2 环境相对湿度： $\leq 80\%$

5.1.1.3 交流电源电压： $(220 \pm 11)\text{V}$ ， $(50 \pm 1)\text{Hz}$

5.1.2 检定用设备

5.1.2.1 标准脉冲幅度发生器

方波幅度范围： $\pm (10\text{mV} \sim 200\text{V})$ 允许误差： $\pm 0.01\%$

5.1.2.2 直流数字电压表

测量范围： $\pm (1\text{mV} \sim 300\text{V})$ 分辨力： $1\mu\text{V}$ 允许误差： $\pm 0.01\%$

5.1.2.3 高灵敏度示波器

带宽： $\text{DC} \sim 1\text{MHz}$

差分双端输入

垂直偏转因数： $\leq 200\mu\text{V}/\text{div}$ 共模抑制比： $> 10000:1$

5.2 检定项目及检定方法

5.2.1 检定项目一览表

脉冲电压表的检定项目如表 1 所示。

表 1

项目名称	首次检定	后续检定	使用中的检验
外观与工作正常性检查	+	+	+
直流电压	+	+	+
输入短路电压	+	-	-
输入电阻	+	-	-
脉冲幅度测量	+	+	+
最小可测脉冲宽度	+	+	+
选测功能	+	+	+

注：“+”为应检项目，“-”为可不检项目。

检定时以被检仪器说明书中的技术指标项目为准。

5.2.2 外观及工作正常性检查

5.2.2.1 脉冲电压表不应有影响正常工作的机械损伤，控制旋钮及按键应能正常动作，插座牢固。各种标志应清晰完整。

5.2.2.2 仪器通电后显示正常。调节有关旋钮和按键，各对应输出端口应有相应输出。

5.2.2.3 完成上述检查后，按仪器技术要求进行预热。

5.2.3 直流电压的检定

5.2.3.1 直流电压量程检查

a) 将脉冲电压表的直流电压输出端连接到直流数字电压表的输入端，直流数字电

压表的量程置“自动”。

b) 依次设置脉冲电压表直流电压量程, 在各量程上调节直流电压, 通过直流数字电压表的示值, 检查各量程上的直流电压输出范围是否符合仪器的技术要求。

5.2.3.2 直流电压稳定度检定

a) 重复 5.2.3.1 的检定步骤 a)。

b) 设置脉冲电压表直流电压量程, 在该量程上调节直流电压, 使直流数字电压表的示值约为该量程的中间值。然后利用直流数字电压表的最大值、最小值监视功能, 得到 10min 内直流数字电压表的最大示值 $U_{\max}$ 和最小示值 $U_{\min}$ 。按公式 (1) 计算对应的直流电压稳定度 S 。将 $U_{\max}$ 、 $U_{\min}$ 及 S 记录于附录 A 中。

$$S = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max}} \times 100\% \quad (1)$$

c) 在脉冲电压表直流电压各量程上重复本条款的检定步骤 b)。

5.2.4 输入短路电压的检定

该项检定仅对采用电子斩波原理比较法的脉冲电压表有要求。

5.2.4.1 仪器连接如图 1 所示。

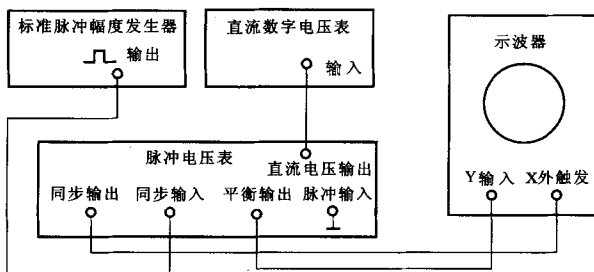


图 1 输入短路电压检定连接图

5.2.4.2 直流数字电压表的量程置“自动”。示波器的触发方式置“外”；输入耦合方式置“AC”；扫描时间因数置 5ms/div ~ 1ms/div 之间合适挡；垂直偏转因数置 1mV/div。将脉冲电压表的脉冲输入端短路。脉冲电压表设置为外同步和同宽测幅方式；其直流电压选择正脉冲顶值和合适挡。

5.2.4.3 置标准脉冲幅度发生器的输出约为 1V。调节脉冲电压表的直流电压, 使直流数字电压表示值约为 10mV。此时示波器屏幕上显示如图 2 所示的未平衡波形。然后再仔细调节直流电压输出, 并将示波器的垂直偏转因数设置为 1mV/div ~ 200μV/div 之间合适挡, 示波器屏幕上应能显示如图 3 所示的平衡波形。读取直流数字电压表的示值 U_0 , 将 U_0 记录于附录 A 中。

5.2.5 输入电阻的检定

该项检定仅对采用电子斩波原理比较法和二极管直流电压补偿原理的脉冲电压表有



图2 输入短路电压检定时波形图（未平衡时）

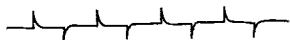


图3 输入短路电压检定时波形图（平衡时）

要求。下面分别描述。

5.2.5.1 采用电子斩波原理比较法的脉冲电压表

a) 仪器连接如图4所示。

b) 如果脉冲电压表有“同步输出”端，将其馈入示波器“外触发”输入端，示波器触发方式置“外”。否则，仅将示波器触发方式置“内”。

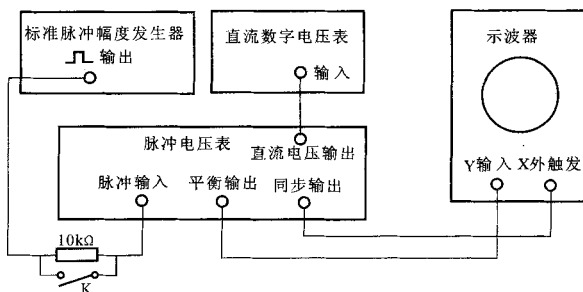


图4 输入电阻检定连接图 A

c) 脉冲电压表设置为内同步和同宽测幅方式。

d) 直流数字电压表的量程置“自动”。示波器的输入耦合方式置“AC”；扫描时间因数置 $5\text{ms/div} \sim 1\text{ms/div}$ 之间合适挡；垂直偏转因数置 5mV/div 或合适挡。

e) 脉冲电压表直流电压选择正脉冲顶值和合适挡。置标准脉冲幅度发生器的输出约为 1V 。

f) 开关 K 置“通”。调节脉冲电压表的直流电压，使示波器屏幕上出现如图3所示平衡波形。读取直流数字电压表示值 U_1 。

g) 开关 K 置“断”。调节脉冲电压表的直流电压，使示波器屏幕上出现如图3所示平衡波形。读取直流数字电压表示值 U_2 。

h) 按公式 (2) 计算输入电阻。将计算结果记录于附录 A 中。

$$R_i = \frac{U_2}{U_1 - U_2} \times 10k\Omega \quad (2)$$

5.2.5.2 采用二极管直流电压补偿原理的脉冲电压表

a) 仪器连接如图 5 所示。

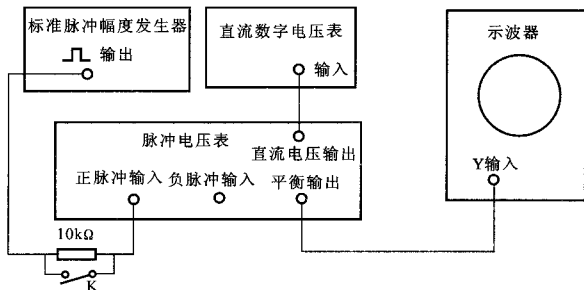


图 5 输入电阻检定连接图 B

b) 重复 5.2.5.1 的检定步骤 d)。示波器触发方式置“内”。

c) 开关 K 置“通”。

d) 根据待测标准脉冲为 20V 设置脉冲电压表的有关按键及直流电压量程，然后置标准脉冲幅度发生器的输出约为 20V。

e) 置脉冲电压表为直流电压测量位置。调节脉冲电压表的直流电压，使其比标准脉冲幅度发生器的输出幅度低 0.5V 左右。再不断调节脉冲电压表的直流电压，同时提高示波器垂直偏转灵敏度，直到示波器上显示的脉冲幅度为 1mV 为止。读取直流数字电压表的示值 E_{n1} 。

f) 置脉冲电压表为二极管管压降测量位置。读取直流数字电压表的示值 V_{d1} 。

g) 按公式 (3) 计算脉冲电压表的测量结果 U_1 。

$$U_1 = E_{n1} + |V_{d1}| \quad (3)$$

h) 开关 K 置“断”。重复本条款检定步骤 e) ~ g)，得到开关 K 断开情况下，对应的直流数字电压表的示值 E_{n2} 、 V_{d2} 以及脉冲电压表测量结果 U_2 。

i) 按公式 (2) 计算输入电阻。将计算结果记录于附录 A 中。

5.2.6 脉冲幅度测量的检定

该项检定随着被检脉冲电压表测幅原理的不同而有所不同，下面分别描述。

受检脉冲幅度点见表 2。

5.2.6.1 采用电子斩波原理比较法的脉冲电压表

a) 仪器连接如图 6 所示。重复 5.2.5.1 的检定步骤 b) ~ d)。

b) 根据脉冲电压表的测幅范围和表 2 选择受检幅度点。

表 2

脉冲幅度范围	受检幅度点
$\pm 10\text{mV} \sim \pm 10\text{V}$	$\pm 10\text{mV}, \pm 20\text{mV}, \pm 50\text{mV}, \pm 100\text{mV}, \pm 200\text{mV}, \pm 500\text{mV},$ $\pm 1\text{V}, \pm 2\text{V}, \pm 3\text{V}, \pm 4\text{V}, \pm 5\text{V}, \pm 6\text{V}, \pm 7\text{V}, \pm 8\text{V}, \pm 9\text{V}, \pm 10\text{V}$
$\pm 10\text{V} \sim \pm 200\text{V}$	$\pm 10\text{V}, \pm 20\text{V}, \pm 50\text{V}, \pm 100\text{V}, \pm 150\text{V}, \pm 200\text{V}$

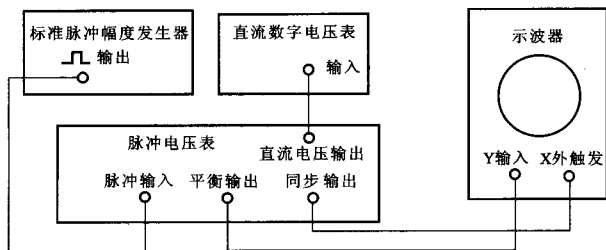


图 6 脉冲幅度测量检定连接图 A

c) 根据受检脉冲幅度顶值的大小和极性，设置脉冲电压表的有关按键及直流电压挡级。将标准脉冲幅度发生器输出设置为受检幅度。再进一步调节脉冲电压表直流电压，提高示波器垂直偏转灵敏度，示波器屏幕上出现如图 3 所示的平衡波形。读取此时直流数字电压表的示值 U_{mh} 。

d) 参考本条款的检定步骤 c)，得到受检脉冲电压表测量标准脉冲幅度底值 U_{ml} 。

e) 按公式 (4) 计算脉冲电压表的测量结果。将计算结果记录于附录 A 中。

$$U_m = U_{mh} - U_{ml} \quad (4)$$

f) 按公式 (5) 计算脉冲电压表的测量误差。将计算结果记录于附录 A 中。

$$\Delta = \frac{U_m - U_s}{U_s} \times 100\% \quad (5)$$

式中： U_m ——被检脉冲电压表的测量值；

U_s ——标准脉冲幅度值；

Δ ——测量误差。

g) 重复本条款的检定步骤 b) ~ f)，对各幅度点进行检定。

5.2.6.2 采用机械斩波原理比较法的脉冲电压表

a) 仪器连接如图 7 所示。

b) 直流数字电压表的量程置“自动”。示波器的输入耦合方式置“DC”；扫描时间因数置 $5\text{ms}/\text{div} \sim 1\text{ms}/\text{div}$ 之间合适挡；带宽限制设置在 $\text{DC} \sim 10\text{kHz}$ 范围内；触发为自激状态；垂直偏转因数置合适挡。

c) 根据脉冲电压表的测幅范围和表 2 选择受检幅度点。

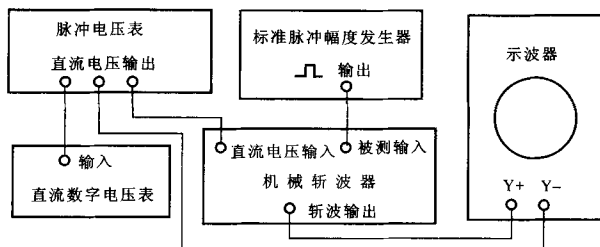


图7 脉冲幅度测量检定连接图 B

d) 将标准脉冲幅度发生器输出设置为受检幅度。

e) 根据受检幅度顶值设置脉冲电压表有关按键和直流电压量程。

f) 按动机械斩波器上的启动按钮，斩波器工作。在示波器的屏幕上可以看到标准脉冲幅度的波形和脉冲电压表输出的直流电平线。调节脉冲电压表的直流电压，提高示波器垂直偏转灵敏度，使直流电平线与标准脉冲顶部重合。读取直流数字电压表的示值 U_{mh} 。

g) 参照本条款的检定步骤 e) ~ f)，得到受检脉冲电压表测量标准脉冲幅度底值 U_{ml} 。

h) 按公式 (4) 和公式 (5) 计算脉冲电压表的测量结果及其误差。将计算结果记录于附录 A 中。

i) 重复本条款的检定步骤 c) ~ h)，对各幅度点进行检定。

5.2.6.3 采用二极管直流电压补偿法原理的脉冲电压表

a) 重复 5.2.5.1 的检定步骤 d)。示波器触发方式置“内”。

b) 根据脉冲电压表的测幅范围和表 2 选择受检幅度点。

c) 仪器连接如图 8 所示。根据受检脉冲幅度的极性的正负，将标准脉冲幅度发生器输出连接到脉冲电压表的“ $\square$ 输入”或“ $\sqcap$ 输入”。

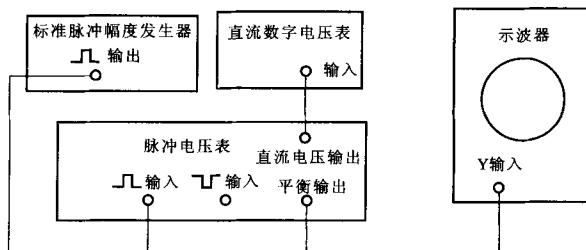


图8 脉冲幅度测量检定连接图 C

d) 根据受检脉冲幅度设置脉冲电压表的有关按键及直流电压量程。然后将标准脉冲幅度发生器输出设置为受检幅度。

e) 参照 5.2.5.2 的检定步骤 e) ~ f), 得到对应的直流数字电压表的示值 E_n 、 V_d 。

f) 当受检脉冲幅度为正脉冲时, 按公式 (6) 计算脉冲电压表的测量结果 U_m ; 当受检脉冲幅度为负脉冲时, 按公式 (7) 计算脉冲电压表的测量结果 U_m 。将测量结果 U_m 记录于附录 A 中。

$$U_m = E_n + |V_d| \quad (6)$$

$$U_m = E_n - |V_d| \quad (7)$$

g) 按公式 (5) 计算脉冲电压表的测量误差。将计算结果记录于附录 A 中。

h) 重复本条款的检定步骤 b) ~ g), 对各幅度点进行检定。

5.2.7 “选测”功能的检查

该项检定仅适合于采用电子斩波原理比较法的脉冲电压表。

5.2.7.1 仪器连接如图 9 所示。重复 5.2.5.1 的检定步骤 b)。

5.2.7.2 脉冲电压表设置为内同步和“选测”测幅方式, 其直流电压选择正脉冲顶值和合适挡。

5.2.7.3 示波器各开关设置: 扫描时间因数置 $2\text{ms/div} \sim 0.5\text{ms/div}$ 之间合适挡, Y1 偏转因数置 $200\mu\text{V/div} \sim 1\text{mV/div}$ 之间合适挡, Y2 偏转因数置 0.5V/div , 垂直耦合方式置“AC”, 垂直工作方式置“交替”或“断续”。

5.2.7.4 将标准脉冲幅度发生器的输出调至约 1V 。调节脉冲电压表的直流电压, 使直流数字电压表示值为 1V 左右。适当调节脉冲电压表的“起始选测时间”和“终止选测时间”, 经示波器 Y2 通道显示标准脉冲波形, 如图 10A 所示。Y1 通道显示未平衡波形, 如图 10B 所示。然后再仔细调节脉冲电压表的直流电压, 使示波器屏幕上出现如图 10C 所示的平衡波形 (Y1 通道显示)。

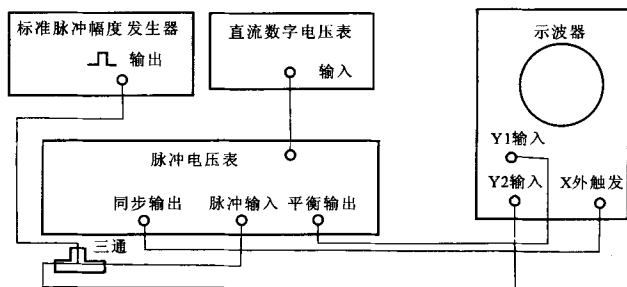


图9 “选测”功能检查连接图

5.2.7.5 调节脉冲电压表的“起始选测时间”旋钮, 在示波器屏幕上应能看到图 10B 对图 10A 有相应的延时, 当调节脉冲电压表的“终止选测时间”旋钮时, 图 10B 的脉冲

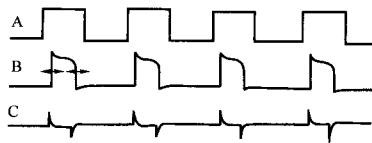


图 10

A 为 Y_2 通道显示的标准脉冲发生器信号

B 为 Y_1 通道显示的未平衡波形

C 为 Y_1 通道显示的平衡波形

宽度应作相应变化。

5.2.8 最小可测脉冲宽度的检定

此项检定一般对采用电子斩波原理比较法和二极管直流电压补偿原理的脉冲电压表有要求。

5.2.8.1 采用电子斩波原理比较法的脉冲电压表

a) 仪器连接如图 6 所示。重复 5.2.5.1 的检定步骤 b)。

b) 示波器各开关设置：扫描时间因数置 $5\mu\text{s}/\text{div} \sim 20\mu\text{s}/\text{div}$ 之间合适挡，垂直偏转因数置 $500\mu\text{V}/\text{div} \sim 2\text{mV}/\text{div}$ 之间合适挡，垂直耦合方式置“AC”。

c) 脉冲电压表设置为内同步和“同宽”测幅方式。其直流电压选择正脉冲顶值和合适挡。

d) 将标准脉冲幅度发生器的输出幅度调至 1V 左右，脉冲宽度调至 $20\mu\text{s}$ 左右。

e) 调节脉冲电压表的直流电压，使直流数字电压表示值为 1V 左右。此时示波器屏幕应能出现如图 11A 或图 11B 所示的未平衡波形。然后再仔细调节脉冲电压表的直流电压，使示波器屏幕上出现如图 11C 所示的平衡波形。

f) 保持脉冲幅度发生器输出幅度不变，改变其脉冲宽度至脉冲电压表“同宽”方式的最小可测脉宽指标，检查示波器屏幕上是否仍能显示如图 11C 所示的平衡波形。

g) 脉冲电压表设置为“选测”测幅方式，仔细调节脉冲电压表的“起始选测时间”和“终止选测时间”，使示波器屏幕上出现如图 11C 所示的平衡波形。

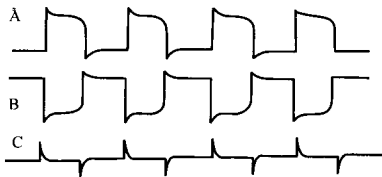


图 11 最小可测脉冲宽度检查波形

h) 参照本条款的检定步骤 f)，检查脉冲电压表“选测”方式的最小可测脉宽是否满足技术要求。

5.2.8.2 采用二极管直流电压补偿原理的脉冲电压表

a) 仪器连接如图 8 所示。

b) 重复 5.2.5.1 中的检定步骤 d)。再将示波器的触发方式置“内”，扫描时间因数置 $0.5\mu\text{s}/\text{div} \sim 5\mu\text{s}/\text{div}$ 之间合适挡。

c) 重复 5.2.5.2 中的检定步骤 d)，将标准脉冲宽度调至 $5\mu\text{s}$ 左右。

d) 重复 5.2.5.2 中的检定步骤 e)，使示波器上显示的脉冲幅度为 1mV 。

e) 保持标准脉冲幅度发生器的输出幅度不变，改变其输出脉冲宽度至脉冲电压表的最小可测脉宽指标，检查示波器上显示脉冲幅度是否仍为 1mV 。

5.3 检定结果的处理

按本规程要求检定合格的脉冲电压表，出具检定证书；否则，出具检定结果通知书并注明不合格项目。

5.4 检定周期

脉冲电压表的检定周期一般不超过 1 年，必要时可随时送检。

附录 B

脉冲电压表检定结果的不确定度评定实例

B.1 测量方法：将 FLUKE 5800A 示波器校准仪的标准脉冲输出接到被检脉冲电压表的输入端。标准脉冲幅度为 U_i ，被检脉冲电压表的测量值为 U_m ，被检测量值与标准脉冲幅度的误差为 δ ，获得数学模型。

B.2 被测对象：PAC-11 型精密脉冲幅度比较仪

B.3 数学模型： $\delta = U_m - U_i$

B.4 输入量的标准不确定度评定

B.4.1 输入量 U_m 引入的标准不确定度 $u(U_m)$ 的评定

输入量 U_m 的不确定度来源主要由以下三个分项合成：

B.4.1.1 由示波器扫线有限聚焦能力带来的不确定度 $u(U_{m1})$

示波器扫线的有限聚焦能力与所使用的示波器有关，实测美国 TEK 公司 7904 示波器的 7A22 高灵敏度插件垂直输入端短路时的扫线宽度为约为 $3\mu\text{V}$ ，接入比较器后约为 $4\mu\text{V}$ ，引入误差为 $\pm 2\mu\text{V}$ ，测量 1V 的脉冲幅度。设为均匀分布，则

$$u(U_{m1}) = 2\mu\text{V}/1\text{V} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 1.15 \times 10^{-6}$$

$u(U_{m1})$ 估算值认为很可靠，故对应自由度： $\nu(U_{m1}) \rightarrow \infty$

B.4.1.2 由人眼的有限分辨力带来的不确定度 $u(U_{m2})$

使用示波器的 $1\text{mV}/\text{div}$ 的垂直灵敏度测量 1V 的脉冲幅度，人眼有 0.2mm 的分辨力，相当于分辨电压为 $20\mu\text{V}$ 。设为均匀分布，则

$$u(U_{m2}) = 20\mu\text{V}/1\text{V} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 1.15 \times 10^{-5}$$

$u(U_{m2})$ 估算值认为很可靠，故对应自由度： $\nu(U_{m2}) \rightarrow \infty$

B.4.1.3 由数字电压表引入的不确定度 $u(U_{m3})$

在额定工作条件下，数字表的工作误差为 0.01% ，设为均匀分布，则

$$u(U_{m3}) = 0.01\% \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-5}$$

估计 $\left| \frac{\Delta u(U_{m3})}{u(U_{m3})} \right|$ 为 0.10，则自由度 $\nu(U_{m3}) = 50$

输入量 U_m 的各分项 U_{m1} 、 U_{m2} 、 U_{m3} 彼此独立不相关，因此输入量 U_m 的标准不确定度 $u(U_m)$ 为

$$\begin{aligned} u(U_m) &= \sqrt{u^2(U_{m1}) + u^2(U_{m2}) + u^2(U_{m3})} \\ &= \sqrt{(1.15 \times 10^{-6})^2 + (1.15 \times 10^{-5})^2 + (5.77 \times 10^{-5})^2} \approx 5.88 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

输入量 U_m 的合成自由度 $\nu(U_m)$ 为

$$\nu(U_m) = \frac{u^4(U_m)}{\left[\frac{u^4(U_{m1})}{\nu(U_{m1})} + \frac{u^4(U_{m2})}{\nu(U_{m2})} + \frac{u^4(U_{m3})}{\nu(U_{m3})} \right]} \approx 54$$

B.4.2 输入量 U_i 的标准不确定度 $u(U_i)$ 的评定

输入量 U_i 的不确定度主要来源于标准脉冲幅度不准带来的不确定度。

利用 HP3458A 数字多用表的 DC function 功能对 FLUKE 的 5800A 示波器校准仪或 9500A 示波器校准仪的脉冲幅度进行标定, 经过标定的脉冲幅度 ($\pm (10\text{mV} \sim 200\text{V})$) 的误差小于 0.01%, 设为均匀分布, 则

$$u(U_i) = 0.01\% \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-5}$$

估计 $\left| \frac{\Delta u(U_i)}{u(U_i)} \right|$ 为 0.10, 则自由度 $\nu(U_i) = 50$

B.5 合成标准不确定度的评定

B.5.1 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于表 B.1。

表 B.1

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	不确定度值 u_i	自由度 ν_i
$u(U_m)$	测量过程中示波器扫线、人眼分辨力、直流数字电压表	5.88×10^{-5}	54
$u(U_{m1})$	示波器扫线有限聚焦力	1.15×10^{-6}	∞
$u(U_{m2})$	人眼的有限分辨力	1.15×10^{-5}	∞
$u(U_{m3})$	直流数字电压表读数	5.77×10^{-5}	50
$u(U_i)$	标准脉冲幅度不准	5.77×10^{-5}	50
$u_c = 8.24 \times 10^{-5} \quad \nu_{\text{eff}} = 104$			

B.5.2 合成标准不确定度的计算

输入量 U_m 和 U_i 彼此独立, 互不相关, 所以合成标准不确定度可按下式得到:

$$u_c = \sqrt{u^2(U_m) + u^2(U_i)} = \sqrt{(5.88 \times 10^{-5})^2 + (5.77 \times 10^{-5})^2} \approx 8.24 \times 10^{-5}$$

合成不确定度的有效自由度 ν_{eff} 为

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\left[\frac{u^4(U_m)}{\nu(U_m)} + \frac{u^4(U_i)}{\nu(U_i)} \right]} \approx 104$$

B.6 扩展不确定度的评定

取置信概率 $p = 95\%$, 按有效自由度 $\nu_{\text{eff}} = 104$, 查 t 分布表得到 $k_p = 1.96$, 则扩展不确定度为: $U = k_p \times u_c = 1.96 \times 8.24 \times 10^{-5} \approx 1.6 \times 10^{-4}$

B.7 测量不确定度的报告与表示

脉冲电压表检定结果的扩展不确定度为:

$$U = 1.6 \times 10^{-4}, \quad k_p = 1.96, \quad \nu_{\text{eff}} = 104$$