

JJF (电子)

中华人民共和国信息产业部电子计量校准规范

JJF(电子) 30101 - 2007

直流电子负载

DC Electronic Load



2008-03-27 发布

2008-06-01 实施

中华人民共和国信息产业部 发布

直流电子负载校准规范

JJF (电子) 30101-2007

Calibration Specification of DC Electronic Load

本校规范经中华人民共和国信息产业部于 2008 年 03 月 27 日批准, 并自 2008 年 06 月 01 日起施行。

归口单位: 信息产业部电子计量管理办公室

主要起草单位: 信息产业部电子工业标准化研究所

(信息产业部电子计量中心)

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人:

陈连启 (信息产业部电子计量中心)

参加起草人:

于利红 (信息产业部电子计量中心)

刘 冲 (信息产业部电子计量中心)



目 录

1 范围.....	22
2 引用文献.....	22
3 术语和计量单位.....	22
4 概述.....	23
5 计量特性.....	23
6 校准条件.....	25
7 校准项目和校准方法.....	26
8 校准结果.....	35
9 复校时间间隔.....	35
附录 A 校准记录格式.....	36



仪器服务网
YIQIFUWU.COM

直流电子负载校准规范

1 范围

本校准规范适用于新制造、使用中及修理后的直流电子负载的首次校准、后续校准和使用中检验。

2 引用文献

JJG 315-1983 直流数字电压表检定规程

JJG 598-1989 直流数字电流表检定规程

使用本校准规范时, 应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和计量单位

3.1 直流电子负载 (DC Electronic load)

利用功率电子器件作为控制器从直流稳定电源吸取电流并将其消耗的负载, 具有可编程的电压及电流测量功能、可以仿真定电流、定电阻、定电压、定功率、动态及短路的负载模式。

3.2 定电流(CC)模式(Constant Current Mode)

在此模式下, 无论输入电压是否改变, 直流电子负载都将根据电流设定值消耗一个恒定的电流。

3.3 定电流(CC)模式调整率(CC Mode Regulation)

当输入电压在规定的范围变化时, 直流电子负载保持设定电流在输出极限内的恒流能力。

3.4 定电阻 (CR) 模式(Constant Resistance Mode)

在此模式下, 直流电子负载被等效为一个恒定的电阻, 会随着输入电压的改变来线性的改变电流。

3.5 定电压(CV)模式(Constant Voltage Mode)

在此模式下, 直流电子负载将消耗足够的电流来使输入电压维持在设定的电压值上。

3.6 定电压(CV)模式调整率(CV Mode Regulation)

当输入电流在规定的范围变化时, 直流电子负载保持设定电压在输出极限内的恒压能力。

3.7 定功率(CP)模式(Constant Power Mode)

在此模式下, 直流电子负载将消耗一个恒定的功率, 如果输入电压增加, 则输入电流将减少, 功率将维持在设定的功率上。

3.8 动态(电流)负载模式 (Transient Load Mode)

在此模式下, 直流电子负载测试操作能够使负载按规定的周期在两种负载电流间

进行反复切换。动态(电流)负载模式特性如图 1。

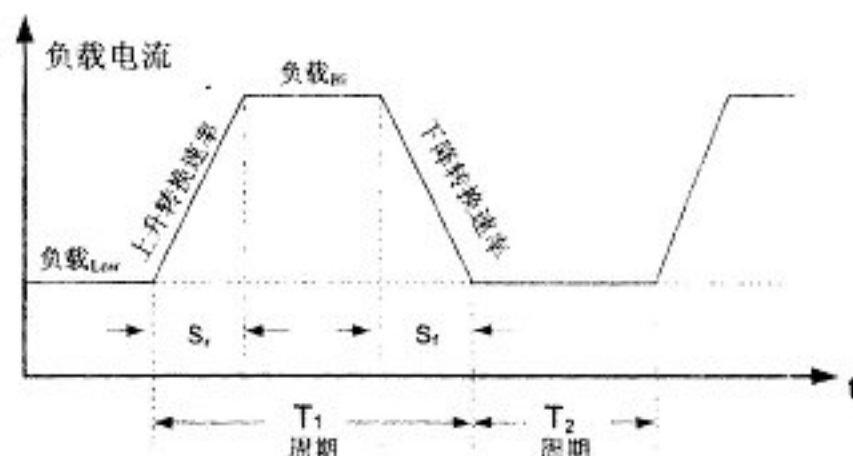


图1 动态(电流)负载模式特性示意图

4 概述

直流电子负载是利用功率半导体器件吸取电源的电流并将其消耗的一种负载。其原理是通过控制内部功率器件 MOS 场效应晶体管、绝缘栅双极型晶体管或双极型晶体管的导通量, 依靠功率管耗散功率进行消耗电能起到负载的作用。由于采用了功率半导体器件替代电阻作为电能消耗的载体, 使得负载的调节和控制易于实现, 能达到很高的调节精度和稳定性。同时通过灵活多样的调节和控制方法, 不仅可以模拟实际的负载情况, 还可以模拟一些特殊的负载波形曲线, 用于测试电源设备的动态(瞬态)特性。

5 计量特性

5.1 电压测量

测量范围: (0.1~500) V

最大允许误差: $\pm (0.05\% \text{ 读数} + 0.05\% \text{ 量程})$;

5.2 电流测量

测量范围: (0.1~200) A

最大允许误差: $\pm (0.1\% \text{ 读数} + 0.1\% \text{ 量程})$;

5.3 定电流(CC)模式

5.3.1 测量范围: (0.1~6) A 分辨率: 1.5mA;

最大允许误差: $\pm (0.1\% \text{ 设定值} + 0.1\% \text{ 满量程值})$;

5.3.2 测量范围: (0.1~60) A 分辨率: 15mA;

最大允许误差: $\pm (0.1\% \text{ 设定值} + 0.2\% \text{ 满量程值})$

5.3.3 测量范围: $(0.1 \sim 200) \text{ A}$ 分辨率: 45 mA ;

最大允许误差: $\pm (0.1\% \text{ 设定值} + 0.2\% \text{ 满量程值})$;

5.3.4 调整率: $(5 \sim 10) \text{ mA}$

5.4 定电阻 (CR) 模式

5.4.1 测量范围: $(0.1 \sim 10) \Omega$ 分辨率: 12 bits ;

最大允许误差: $\pm (1\% \text{ 设定值} + 0.3\% \text{ 满量程值})$;

5.4.2 测量范围: $(10 \sim 100) \Omega$ 分辨率: 12 bits ;

最大允许误差: $\pm (0.5\% \text{ 设定值} + 0.2\% \text{ 满量程值})$;

5.4.3 测量范围: $(100 \sim 1000) \Omega$ 分辨率: 12 bits ;

最大允许误差: $\pm (1\% \text{ 设定值} + 0.1\% \text{ 满量程值})$;

5.4.4 测量范围: $(1 \sim 10) \text{ k}\Omega$ 分辨率: 12 bits ;

最大允许误差: $\pm (2\% \text{ 设定值} + 1\% \text{ 满量程值})$;

5.5 定电压 (CV) 模式

5.5.1 测量范围: $(1 \sim 80) \text{ V}$ 分辨率: 10 mV ;

最大允许误差: $\pm (0.5\% \text{ 设定值} + 0.1\% \text{ 满量程值})$;

5.5.2 测量范围: $(1 \sim 500) \text{ V}$ 分辨率: 100 mV ;

最大允许误差: $\pm (0.5\% \text{ 设定值} + 0.2\% \text{ 满量程值})$;

5.5.3 调整率: $(5 \sim 50) \text{ mV}$

5.6 定功率 (CP) 模式

测量范围: $(100 \sim 5000) \text{ W}$ 分辨率: 0.1 W

最大允许误差: $\pm (1\% \text{ 设定值} + 0.1\% \text{ 满量程值})$;

5.7 动态(电流)负载 测试模式

5.7.1 周期 (T_1 、 T_2) 范围: $50 \mu\text{s} \sim 10 \text{ ms}$ 分辨率: $1 \mu\text{s}$;

$1 \text{ ms} \sim 10 \text{ s}$ 分辨率: 1 ms ;

最大允许误差: $\pm 2\% \text{ 设定值}$;

5.7.2 动态电流负载上升速率与下降速率: $1 \text{ mA}/\mu\text{s} \sim 10 \text{ A}/\mu\text{s}$

最大允许误差: $\pm 10\%$ 设定值;

5.8 过电压 (OVP)、过电流 (OCP)、过功率 (OPP) 保护功能

5.8.1 过电压 (OVP) 保护: 大于量程额定电压上限值;

5.8.2 过电流 (OCP) 保护: 大于量程额定电流上限值;

5.8.3 过功率 (OPP) 保护: 大于量程额定功率上限值;

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$

6.1.2 相对湿度: $(40 \sim 75) \%$

6.1.3 电网电源:

a) 电压 $(220 \pm 11) \text{V}$;

b) 频率 $(50 \pm 1) \text{Hz}$;

6.1.4 周围无影响正常校准工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 (测量) 标准及其它设备

6.2.1 数字多用表

a) 直流电压测量范围: $(0.1 \sim 500) \text{V}$;

最大允许误差: $\pm (0.0025\% \text{读数} + 0.0006\% \text{量程}) / 0.2 \text{V}$ 量程;

$\pm (0.0018\% \text{读数} + 0.0002\% \text{量程}) / 2 \text{V}$ 量程;

$\pm (0.0018\% \text{读数} + 0.0004\% \text{量程}) / 20 \text{V}$ 量程;

$\pm (0.0027\% \text{读数} + 0.0003\% \text{量程}) / 200 \text{V}$ 量程;

$\pm (0.0031\% \text{读数} + 0.0006\% \text{量程}) / 1000 \text{V}$ 量程;

b) 直流电流测量范围: $(0.001 \sim 2) \text{A}$;

最大允许误差: $\pm (0.03\% \text{读数} + 0.002\% \text{量程}) / (2 \sim 200) \text{mA}$ 量程;

$\pm (0.06\% \text{读数} + 0.002\% \text{量程}) / 2 \text{A}$ 量程;

6.2.2 精密 (电流) 取样电阻器 R

a) 标称电阻: $(0.001 \sim 1) \Omega$;

最大允许误差: $\pm (0.05 \sim 0.1) \%$;

b) 额定工作电流: $(2 \sim 200) \text{A}$;

6.2.3 数字示波器

a) 带宽: $\text{DC} \sim 100 \text{MHz}$ (-3dB);

b) 扫描时基: $0.1 \mu\text{s}/\text{div} \sim 1 \text{s}/\text{div}$;

最大允许误差: $\pm 0.01\%$;

c) 垂直偏转因数范围: $1 \text{mV}/\text{div} \sim 2 \text{V}/\text{div}$;

最大允许误差: $\pm 2\%$;

d) 上升时间: 3.5ns

6.2.4 数字示波器电流探头

- a) 带宽: DC~50MHz;
- b) 上升时间: 7ns;
- c) 电流灵敏度: 0.1V/A;
- d) 最大峰值电流: 50A;

6.2.5 数字示波器电压探头

- a) 带宽: DC~100MHz;
- b) 上升时间: 3.5ns;
- c) 输入电压及衰减: $\geq 10\text{V}$ (有效值) 1:1 或 10:1;

6.2.6 直流稳定电源

- a) 输出电压范围: (1~10)V/100V/500V 分辨率: 1mV/10mV/100mV;
短期稳定度 (8 小时内): $\pm 0.02\%$ (典型值);
- b) 输出电流范围: (0.1~200)A 分辨率: (0.5~100)mA;
短期稳定度 (8 小时内): $\pm 0.05\%$ (典型值);
- c) 输出功率: 5000W;
- d) 纹波和噪声: 优于 5mV (峰峰值) 或 5mA (峰峰值);

注: 直流稳定电源的具体输出电压、电流及稳定度范围和要求依据被校直流电子负载技术指标选取。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观及工作正常性检查

7.1.1 被校直流电子负载应带有附件、使用说明书。后续校准时带有前次校准证书。

7.1.2 外观检查

被校直流电子负载应无影响正常工作及正确读数的机械损伤, 标识应清晰完整, 按键切换到位, 接触可靠, 连接端子无损坏。

7.1.3 工作正常性检查

在进行校准前, 接通电源, 被校直流电子负载应能正常工作, 开机预热半个小时。

7.2 电压测量校准

7.2.1 校准连接如图 2 所示。

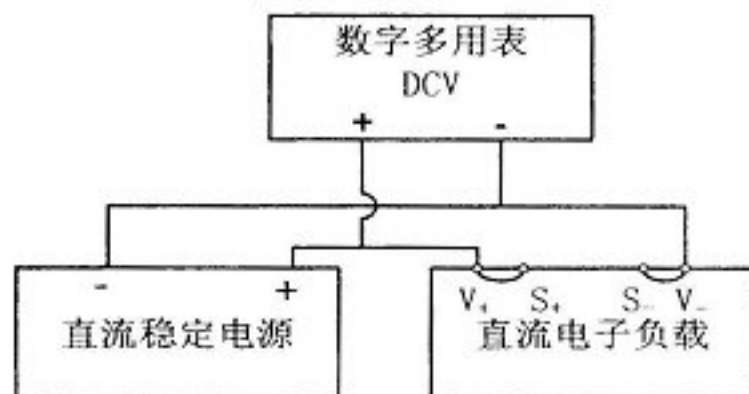


图2 电压测量校准连接示意图

7.2.2 直流电子负载的正负输入端分别与直流稳定电源的输出和数字多用表的正负输入端相连接,“Local (本地)/ Remote (远控)”功能设置到“Local (本地)”。

7.2.3 直流电子负载的功能到“CC”模式,选择并设定到合适的电流量限,输入控制开关置“关闭”,将数字多用表设置到“DCV”功能,量程置“自动”,将直流稳定电源功能设置为“CV”模式,电压设定在零伏,输出控制开关置“关闭”。

7.2.4 依序打开直流电子负载的输入和直流稳定电源的输出控制开关,调整直流稳定电源输出使直流电子负载的电压指示到要校准的电压测量值。电压测量值的选点由量程的低到高按每个量程不少于3个点均匀选取。

7.2.5 记录此时在数字多用表上的电压读数(测量)值和直流电子负载上的电压测量指示值,然后按公式(1)计算电压测量值的偏差 δ_1 ,给出测量结果不确定度,并将校准结果填入附录A表1中。

$$\delta_1 = V_{M2} - V_{M1} \quad (1)$$

式中: V_{M1} — 数字多用表上的电压读数(测量)值;

V_{M2} — 直流电子负载上的电压测量指示值。

7.2.6 电压测量其它量程的校准重复第7.2.4、7.2.5项。

7.3 电流测量校准

7.3.1 校准连接如图3所示。

7.3.2 直流电子负载的输入正端与精密(电流)取样电阻器R串联后接到直流稳定电源的输出正端,并用测试线将它们的负端直接连接一起;将数字多用表的输入正、负端分别连接到精密(电流)取样电阻器R的取样电压端。

7.3.3 将直流电子负载功能设置为“CC”模式,选择并设定电流量程及校准电流值,输入控制开关置“关闭”;将数字多用表设置到“DCV”功能,量程置“自动”;将直流稳定电源功能设置为“CV”模式,电压设定在零伏,输出控制开关置“关闭”。

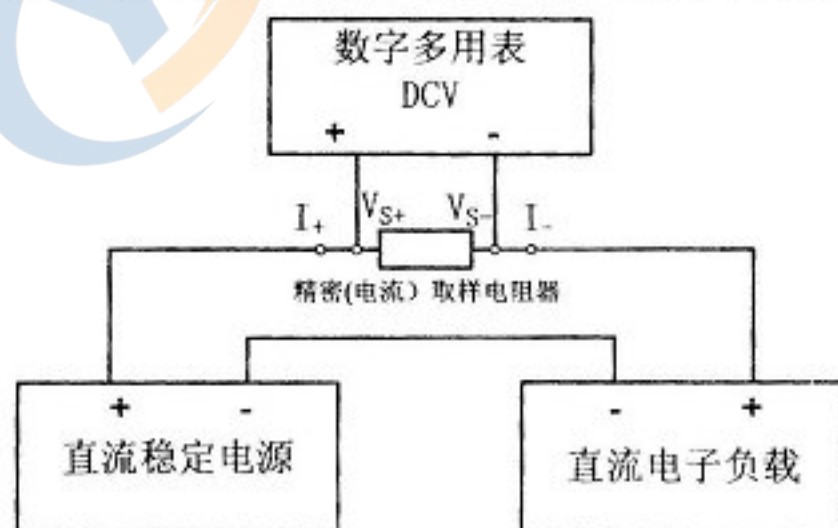


图3 电流测量校准连接示意图

7.3.4 依序打开直流电子负载的输入和直流稳定电源的输出控制开关,调整直流稳定电源输出使直流电子负载的电流指示到要校准的电流测量值,校准电流测量值的选点由量程的低到高按每个量程不少于3个点均匀选取。

7.3.5 记录此时数字多用表在精密（电流）取样电阻上测得的电压读数（测量）值和直流电子负载的电流测量指示值，由公式（2）计算得出电流测量值，然后由公式（3）计算电流测量值的偏差 δ_2 ，给出测量结果不确定度，并将校准结果填入附录 A 表 2 中。

$$I_{M21} = \frac{V_{M21}}{R} \quad (2)$$

式中： V_{M21} — 数字多用表上在精密（电流）取样电阻上测得的取样电压读数（测量值）；

R — 精密（电流）取样电阻器 R 的电阻实际值。

$$\delta_2 = I_{M22} - I_{M21} \quad (3)$$

式中： I_{M21} — 计算的电流读数（测量）值；

I_{M22} — 直流电子负载上的电流测量指示值。

7.3.6 电流测量其它量程的校准重复第 7.3.4、7.3.5 项。

7.4 定电流（CC）模式电流校准

7.4.1 校准连接如图 3 所示。

7.4.2 按 7.3.2 项步骤操作。

7.4.3 依序打开直流电子负载的输入和直流稳定电源的输出控制开关，调整直流稳定电源输出使直流电子负载的电流指示到设定的电流值，设定的电流值校准选点分别在每个量程的上限（满量程）和下限（1/10 上限）点上选取。

7.4.4 按 7.3.3 项步骤操作。

7.4.5 记录此时数字多用表测得的电压读数（测量值），由公式（4）计算标准电流读数（测量值），记录此时直流电子负载的 CC 设定值指示读数，由公式（5）计算电流设定值的偏差 δ_3 ，然后将校准结果填入附录 A 表 3 中。

$$I_{M31} = \frac{V_{M31}}{R} \quad (4)$$

式中： V_{M31} — 数字多用表上在精密（电流）取样电阻上测得的取样电压读数（测量值）；

R — 精密（电流）取样电阻器 R 的电阻实际值。

$$\delta_3 = I_{set} - I_{M31} \quad (5)$$

式中： I_{M31} — 计算的电流读数（测量值）；

I_{set} — 直流电子负载上的电流设定值。

7.4.6 定电流（CC）模式其它量程电流设定值校准重复第 7.4.2～7.4.5 项。

7.5 定电流（CC）模式调整率校准

7.5.1 校准连接如图 3 所示。

7.5.2 按 7.4.2～7.4.3 项步骤操作。

7.5.3 按直流电子负载允许的功率量限，在输入电压可变化范围内选择一个定电流；

并将直流稳定电源的电流输出设置到相应值；将数字多用表量程设置为“自动”。

7.5.4 依序打开直流电子负载输入和直流稳定电源输出控制开关，调整直流稳定电源的输出使直流电子负载到设定的定电流，在直流电子负载允许的输入电压范围内，由小到大调整直流稳定电源的电压输出，监视并记录数字多用表上测量得到的精密（电流）取样电阻器 R 两端取样电压最大值和最小值，然后通过公式（6）计算电流的最大值和最小值。

$$I_{\max} = \frac{V_{\max}}{R}; I_{\min} = \frac{V_{\min}}{R} \quad (6)$$

式中：R—精密（电流）取样电阻器 R 的电阻实际值；

$V_{\max}$ 、 $V_{\min}$ —数字多用表上测得取样电压变化的最大值、最小值。

7.5.5 按公式（7）计算电流调整率，并将结果填入附录 A 表 3 中。

$$\Delta_I = I_{\max} - I_{\min} \quad (7)$$

式中： Δ_I —电流调整率；

$I_{\max}$ 、 $I_{\min}$ —在量程允许的输入电压变化范围内，测得的电流的最大值、最小值。

7.6 定电阻（CR）模式电阻校准

7.6.1 校准连接如图 4 所示。

7.6.2 直流电子负载的输入正端经一个精密（电流）取样电阻器 R 连接到直流稳定电源的输出正端；数字多用表（I 检测表）的输入分别连接到精密（电流）取样电阻器 R 的电压取样端（正负端）；数字多用表（V 检测表）输入的正负端分别接到直流电子负载的相应的输入端。

7.6.3 直流电子负载功能设置为“CR”模式，选择电阻量程、设定校准电阻的阻值，校准电阻设定值分别在每个量程的上限值（满量程）和下限值（1/10 量程）附近选取。

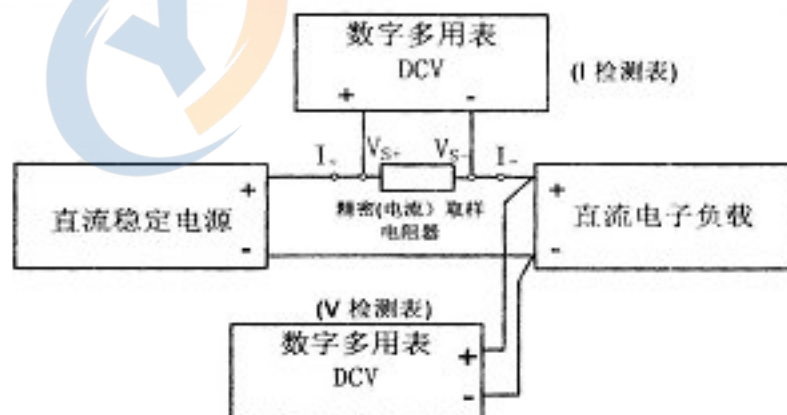


图4 定电阻（CR）、定功率（CP）模式校准连接示意图

7.6.4 按校准值阻值大小，将直流稳定电源的输出电压和电流设置到适合的量限，将数字多用表设置为“自动”量程。

7.6.5 依序打开直流电子负载输入和直流稳定电源输出控制开关，调整直流稳定电源的电压和电流输出到最佳值（计算电阻值的电压、电流分辨率最高）。

7.6.6 分别记录下数字多用表(I 检测表)读数及数字多用表(V 检测表)读数,并由公式(8)计算被校点的定电阻测量值。

$$R_x = \frac{V_{41}}{\frac{V_{42}}{R}} \quad (8)$$

式中: R — 定电阻测量值;

R — 精密(电流)取样电阻器的电阻实际值;

V_{41} — 数字多用表(V 检测表)读数;

V_{42} — 数字多用表(I 检测表)读数。

7.6.7 记录直流电子负载上定电阻设定值读数,然后由公式(9)计算其测量偏差 δ_1 ,将结果填入附录 A 表 4 中。

$$\delta_1 = R_{set} - R_{x1} \quad (9)$$

式中: R_{x1} — 定电阻设定值读数。

7.6.8 定电阻(CR)模式其它量程设定值校准重复第 7.6.2~7.6.7 项。

7.7 定电压(CV)模式电压校准

7.7.1 校准连接如图 2 所示。

7.7.2 按 7.2.2 项步骤操作。

7.7.3 直流电子负载的功能到“CV”模式,选择并设定到合适的电流量限,输入控制开关置“关闭”;将数字多用表设置到“DCV”功能,量程置“自动”;将直流稳定电源功能设置为“CC”模式,输出设定为零伏,输出控制开关置“关闭”。

7.7.4 依序打开直流电子负载的输入和直流稳定电源的输出控制开关,调整直流稳定电源输出使直流电子负载的电压指示到要校准的电压值,被校准电压设定值的选点分别在每个量程的上限(满量程)和下限(1/10 上限)点上选取。

7.7.5 记录此时在数字多用表上的电压读数(测量)值和直流电子负载的电压设定值读数,按公式(10)计算电压测量设定值的偏差 δ_2 ,并将校准结果填入附录 A 表 5 中。

$$\delta_2 = V_{set} - V_{51} \quad (10)$$

式中: V_{set} — 直流电子负载的电压设定值读数;

V_{51} — 数字多用表读数(测量)值。

7.7.6 定电压(CV)模式其它量程设定值校准重复第 7.6.3、7.6.4 项。

7.8 定电压(CV)模式的调整率校准

7.8.1 校准连接如图 2 所示。

7.8.2 依第 7.7.2、7.7.3 项步骤操作。

7.8.3 按直流电子负载允许的功率量限,在输入电流可变化范围内选择一个定电压;并将直流稳定电源的电流输出设置到相应值;将数字多用表量程设置为“自动”。

7.8.4 依序打开直流电子负载输入和直流稳定电源输出控制开关,调整直流稳定电源

的输出使直流电子负载到设定的定电压, 在直流电子负载允许的输入电流范围内, 由小到大调整直流稳定电源的电流输出, 监视并记录数字多用表上测量得到的电压最大值和最小值, 然后通过公式 (11) 计算电压调整率, 并将结果填入附录 A 表 5 中。

$$\Delta_V = V_{\max} - V_{\min} \quad (11)$$

式中: Δ_V — 电压调整率;

$V_{\max}$ 、 $V_{\min}$ — 在量程允许的输入电压变化范围内, 测得的电压最大值、最小值。

7.9 定功率 (CP) 模式功率校准

7.9.1 校准连接如图 4 所示。

7.9.2 直流电子负载的输入正端经一个精密 (电流) 取样电阻器 R 连接到直流稳定电源的输出正端; 数字多用表 (I 检测表) 的输入分别连接到精密 (电流) 取样电阻器 R 的电压取样正负端; 数字多用表 (V 检测表) 的输入分别接到直流电子负载的正负输入端。

7.9.3 直流电子负载功能设置为 “CP” 模式, 选择功率量程、设定校准功率电平, 校准功率设定值分别在每个量程的上限值 (满量程) 和下限值 (1/10 量程) 附近选取。

7.9.4 按被校准功率设定值的功率大小, 将直流稳定电源的输出电压和电流设置到合适的量限, 数字多用表设置为 “自动” 量程。

7.9.5 依序打开直流电子负载输入和直流稳定电源输出控制开关, 调整直流稳定电源的电压和电流输出到最佳值 (计算功率值的电压、电流分辨率最高)。

7.9.6 分别记录下数字多用表 (I 检测表) 电压读数及数字多用表 (V 检测表) 电压读数, 并由公式 (12) 计算被校点的定功率测量值。

$$P_m = V_{61} \times \frac{V_{62}}{R} \quad (12)$$

式中: P_m — 定功率测量值;

R — 精密 (电流) 取样电阻器 R 的电阻实际值;

V_{61} — 数字多用表 (I 检测表) 电压读数;

V_{62} — 数字多用表 (V 检测表) 电压读数。

7.9.7 记录直流电子负载上定功率设定值读数 P_{set} , 然后由公式 (13) 计算其测量偏差 δ_6 , 将结果填入附录 A 表 6 中。

$$\delta_6 = P_{set} - P_m \quad (13)$$

式中: P_{set} — 定功率设定值读数。

7.9.8 定功率 (CP) 模式其它量程设定值校准重复第 7.9.2~7.9.7 项。

7.10 动态 (电流) 负载模式参数校准

7.10.1 方法一: 数字示波器加电流探头测量法

a) 校准连接如图 5 所示。

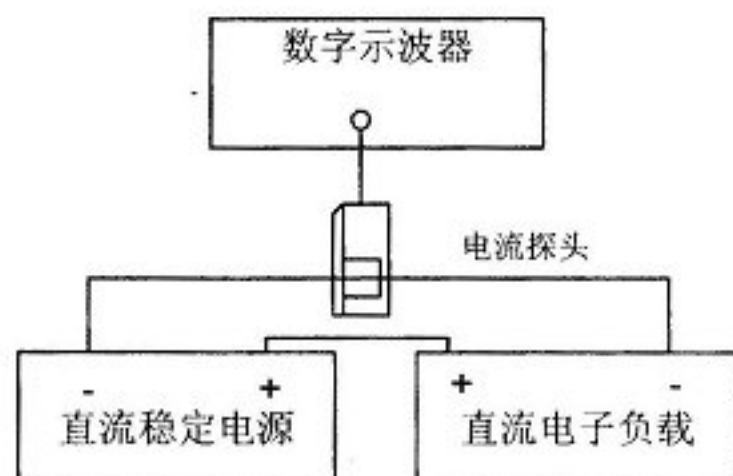


图5 动态（电流）负载模式校准连接示意图（电流探头）

- b) 直流稳定电源的正负输出经测试连线分别接到直流电子负载的相应的输入端，将数字示波器的电流探头钳到测试连线的负端测试回路上。
- c) 根据动态（电流）负载测试模式的测试周期、负载电流幅度正确选择数字示波器及相应的电流探头。
- d) 动态（电流）负载模式周期宽度 T_1 、 T_2 校准：
 - 1) 将直流电子负载功能设置为动态（电流）测试参数，设定负载电流 I_{low} 、 I_{high} 及周期宽度 T_1 、 T_2 ，周期宽度 T_1 、 T_2 校准在每个量程选定一点。
 - 2) 按校准的负载电流要求，将直流稳定电源的输出设置到相应的电流值，数字示波器设置到合适的扫描时间，并对电流探头进行零点校正。
 - 3) 依序打开直流电子负载输入和直流稳定电源输出控制开关，调整数字示波器的扫描时间及触发电平使其能稳定地观测负载电流波形参数 T_1 、 T_2 ，分别读取周期 T_1 、 T_2 测量值。将测量结果填入附录 A 表 7。
 - 4) 分别记录直流电子负载上周期 T_1 、 T_2 的设定值数，由公式 (14) 计算其测量偏差 δ ，并将结果分别填入到附录 A 表 7 中。

$$\delta = T_{set} - T_m \quad (14)$$

式中： T_m — 数字数字示波器测量的周期读数；

T_{set} — 直流电子负载设定值。

- e) 动态（电流）测试模式上升转换速率、下降转换速率校准
 - 1) 按被校直流电子负载动态（电流）测试模式的操作方法，设置功能为动态模式，输入负载电流及设定上升速率或负载电流下降速率，负载上升速率或负载下降速率的校准在 $A/\mu s$ 量程和 A/ms 量程各选定一点进行校准。
 - 2) 按校准点负载电流要求，将直流稳定电源的输出电流设置到相应电流值，数字示波器设置到合适的扫描时间，并对电流探头进行零点校正。
 - 3) 依序打开直流电子负载输入和直流稳定电源输出控制开关，调整数字示波器的扫描时间、触发电平、延时扫描功能使其能稳定地观测动态（电流）模式的上升速率或下降速率波形，在数字示波器上读取负载电流波形由低电平转换到高电平时的电流幅度变化与对应的时间变化之比得到其上升

速转换速率测量值 S_r ，或在负载电流波形由电流的高电平转换到低电平的电流幅度变化与对应的时间变化之比得到其下降转换速率测量值 S_f ，然后将结果分别填入到附录 A 表 7 中。

- 4) 分别记录直流电子负载上的上升转换速率或下降转换速率设定值，由公式 (15) 分别计算上升速率测量偏差 δ_r 或下降速率测量偏差 δ_f ，并将结果分别填入到附录 A 表 7 中。

$$\delta_r = S_{r(\text{ref})} - S_r \quad \text{或} \quad \delta_f = S_{f(\text{ref})} - S_f \quad (15)$$

式中： $S_{r(\text{ref})}$ 、 $S_{f(\text{ref})}$ ——直流电子负载动态（电流）模式上升转换速率或下降转换速率设定值。

7.10.2 方法二：数字示波器加电压探头测量法

- 校准连接如图 6 所示。
- 将直流稳定电源输出的正端经精密（电流）取样电阻器 R 连接到的直流电子负载的正端，数字示波器的电压探头的输入分别连接到精密（电流）取样电阻器 R 的电压取样端“ V_{S+} ”与“ V_{S-} ”上。
- 直流电子负载功能设置为“CC”动态模式，根据直流电子负载的动态测试参数技术范围要求，选择相应的数字示波器及电压探头，进行正确的校准连接及测试功能设置。

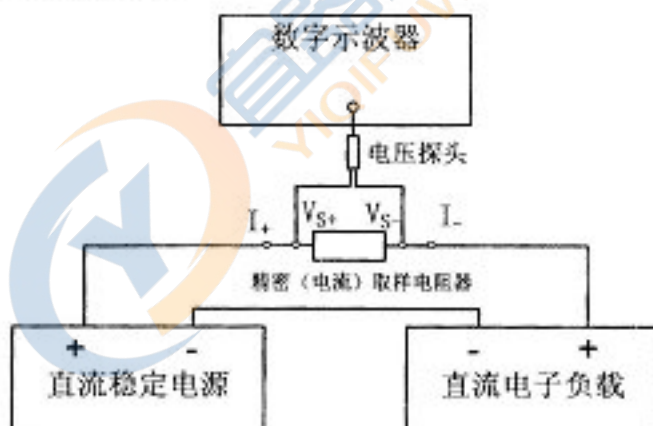


图6 动态(电流)负载模式校准连接示意图 (电压探头)

- 其它的校准步骤参照校准方法一的相关条款进行。

7.11 过电压 (OVP)、过电流 (OCP)、过功率 (OPP) 保护功能

7.11.1 过电压 (OVP) 保护功能

- 校准连接如图 2 所示。
- 将直流电子负载的正负输入端分别与直流稳定电源的输出和数字多用表的正负输入端相连接，“本地 Local/远控 Remote”功能设置到“本地 Local”。
- 将直流电子负载的功能到“CV”模式，设置电压量程，输入控制开关置“关”。

闭”;数字多用表设置到“DCV”功能,量程置“自动”;直流稳定电源功能设置为“CV”模式,输出设定为零伏,输出控制开关置“关闭”。

- d) 依序打开直流电子负载的输入和直流稳定电源的输出控制开关,缓慢地调整直流稳定电源输出电压直到直流电子负载呈现过电压保护并报警,记录此时数字多用表测电压测量值,然后将结果填入附录 A 表 8 中。

7.11.2 过电流 (OCP) 保护功能

- a) 校准连接如图 3 所示。
- b) 直流电子负载的输入正端经精密 (电流) 取样电阻器 R 连接到直流稳定电源的输出正端,并用测试线将它们的负端直接连接一起;将数字多用表的输入正、负端分别连接到精密 (电流) 取样电阻器 R 的取样电压端。
- c) 将直流电子负载功能设置为“CC”模式,设置电流量程,输入控制开关置“关闭”;将数字多用表设置到“DCV”功能,量程置“自动”;将直流稳定电源功能设置为“CV”模式,输出设定为“0V”,输出控制开关置“关闭”。
- d) 依序打开直流电子负载的输入和直流稳定电源的输出控制开关,缓慢地调整直流稳定电源输出直到直流电子负载呈现过电流保护并报警,记录此时在数字多用表测得的相应电流测量值,然后将结果填入附录 A 表 8 中。

7.11.3 过功率 (OPP) 保护功能

- a) 校准连接如图 4 所示。
- b) 直流电子负载的输入正端经一个精密 (电流) 取样电阻器 R 连接到直流稳定电源的输出正端;数字多用表 (I 检测表) 的输入分别连接到精密 (电流) 取样电阻器 R 的电压取样正负端;数字多用表 (V 检测表) 的输入分别接到直流电子负载的正负输入端。
- c) 将直流电子负载功能设置为“CP”模式,设置功率量程,输入控制开关置“关闭”;将数字多用表设置为“自动”量程;按校准功率将直流稳定电源的输出电压和电流设置到合适的量限,功能设置为“CC”模式,输出控制开关置“关闭”。
- d) 依序打开直流电子负载输入和直流稳定电源输出控制开关,缓慢地调整直流稳定电源的电压和电流输出直到直流电子负载呈现过功率保护并报警,分别记录此时在数字多用表 (I 检测表) 测量的取样电压值及数字多用表 (V 检测表) 测量的电压值,并通过公式 (16) 计算得到过功率保护下功率值,然后将结果填入附录 A 表 8 中。

$$P_{opp} = V_{im} \times \frac{V_m}{R} \quad (16)$$

式中: P_{opp} — 过功率保护下功率计算值;

V_{im} — 数字多用表 (I 检测表) 在精密 (电流) 取样电阻上测得的取样电压读数;

V_m — 数字多用表 (V 检测表) 在直流电子负载上测得的电压读数。

8 校准结果

8.1 校准记录

校准时应有详细的校准记录, 校准记录格式参见附录 A。

8.2 校准结果的处理

校准完成后, 应出具校准证书。校准证书由封面和校准数据组成。封面由校准实验室确定统一格式, 校准数据按附录 A 所列数据表格, 并根据被校准仪器的情况进行填写。校准证书上的信息应满足以下信息要求。

- a) 标题, 如“校准证书”或“校准报告”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 证书或报告的唯一性标识 (如编号), 每页及总页数的标识;
- d) 送校单位的名称和地址;
- e) 被校对象的描述和明确标识 (如型号、产品编号等);
- f) 进行校准日期, 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;
- g) 对校准所依据的技术规范的标识, 包括名称和代号;
- h) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- i) 校准环境的描述;
- j) 进行校准的地点 (如果不在校准实验室内进行校准);
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- l) 校准人员和核验人员的签名;
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名及签发日期;
- n) 未经实验室书面批准, 不得部分复印证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

校准时间间隔原则上由用户根据使用情况自行确定, 但推荐为 1 年, 首次使用前和修理后应进行校准。

附录 A:

校准记录格式

一、外观及工作正常性检查

符合要求 ☐ 部分不符合要求 ☐

不符合及说明 _____

二、电压测量

表 1

量程	指示值	测量值	偏差	允许误差限		测量不确定度
				下限值	上限值	

三、电流测量

表 2

量程	指示值	测量值	偏差	允许误差限		测量不确定度
				下限值	上限值	

四、定电流 (CC) 模式及调整率

表 3

量程	设定值	测量值	偏差	允许误差限	
				下限值	上限值

A 调整率: (输入电压由 _____ V 变化到 _____ V) _____ mA

五、定电阻 (CR) 模式

表 4

量程	电阻 设定值	电压 测量值	电流 测量值	电阻 计算值	偏差	允许误差限	
						下限值	上限值

六、定电压 (CV) 模式及调整率

表 5

量程	设定值	测量值	偏差	允许误差限	
				下限值	上限值

___ V 调整率: (输入电流由 ___ A 变化到 ___ A); mV

七、定功率 (CP) 模式

表 6

量程	功率 设定值	电压 测量值	电流 测量值	功率 计算值	偏差	允许误差限	
						下限值	上限值

八、动态 (电流) 测试模式

表 7

校准项目	设定值	测量值
周期 T_1		
周期 T_2		
上升转换速率		
下降转换速率		

九、过电压 (OVP)、过电流 (OCP)、过功率 (OPP) 保护功能

表 8

校准项目	量程	测量值
过压 (OVP) 保护		
过压 (OCP) 保护		
过压 (OPP) 保护		

