

# 应用操作步骤设计

应用操作主要分为直流的阻性器件测试、非阻性器件测试、系统校正三类。测试需要的辅助设备仅为四位半的数字电压表一台、数字温度计一台。

## 1 ) 阻性器件测试

- 1 - 1 暖机三小时，使上电老化过程充分完成。
- 1 - 2 电流档设置到需要的位置，桥接开关打到桥接位置，电位差计的细调旋钮设置到中点位置。
- 1 - 3 根据当前的环境气温和电压表的温度系数，和被测阻性器件的阻值，计算出电位差计应该设置的电压值。
- 1 - 4 电压表正表笔接恒流源输出红端，负表笔接电压测试红端，档位打到 **20V** 档。
- 1 - 5 调整电位差计粗调旋钮，尽可能调节至 1 - 3 计算出的电压值的  $\pm 10\text{mV}$  内，锁定。
- 1 - 6 调整电位差计细调旋钮，至 1 - 3 计算出的电压值上，锁定。
- 1 - 7 电压表的表笔取下，重新插入电压测试端，档位打到 **200mV** 档。
- 1 - 8 恒流输出端接上测试线，保持接触良好。
- 1 - 9 测试线接上被测阻性器件，保持接触良好。
- 1 - 10 观察电压表的显示，若为正，则在计算的电压上加上显示值，否则减去显示值，此时即为获得的初始值。
- 1 - 11 按以下公式修正读数：

修正缓冲失调（用于所有档）：

$$V_r = V_o - (20 - V_o) \times (-3E-5) \quad (1)$$

其中：  $V_r$  为经修正的实际值，  $V_o$  为原始测量读数。  $V_o$  的有效值域为

$$V_o = [4V, 20V]$$

修正-4V 电源回流线和零线总压降：

10mA 档的修正公式:

$$V_{r10} = V_r + (4E10^{-5}) \times V_o / 20 \quad (2)$$

100mA 档的修正公式:

$$V_{r100} = V_r + (2E10^{-4}) \times V_o / 20 \quad (3)$$

修正外接输出线内阻压降:

$$V = V_r - I_d \times R_l \quad (4)$$

其中:  $I_d$ =档位电流,  $R_l$ =测试线内阻。

## 2 ) 非阻性器件测试

2 - 1 暖机三小时，使上电老化过程充分完成，这一步骤与阻性测试完全一样。

2 - 2 电压表接在电压测试端，设置在 **20V** 档。

2 - 3 电流档设置在需要的档位，桥接开关的位置为不桥接。

2 - 4 恒流输出端接上测试线，并接上非阻性被测器件。

2 - 5 读取非阻性器件上的电压降读数。

2 - 6 桥接开关打到桥接位置。

2 - 7 调节电位差计的粗调到 $\pm 10\text{mV}$  内。

2 - 8 电压表打到 **200mV** 档，调节电位差计的细调；如果

2 - 5 的读数是稳定的，调节到 **0+50** 个字左右；

2 - 5 的读数尾数在相邻的两个数之间跳动，调节到 **0 $\pm$ 1** 个字；

2 - 5 的读数尾数跳动时，一个数与另一个数在显示时间上有一比几的差别，则调节到显示时间较长的那个数 $\pm 10\sim 20$  个字。例如跳动的数是 **4、5**，**5** 显示的时间较长，那么可调节为 **0x5.15**；若 **4** 显示的时间较长，则可调节为 **0x4.85**。

本步骤依据的概念是，非阻性器件的读数与外部环境条件关系密切，尾数的精度不是重要的。

2 - 9 根据测试档位的不同，分别按(1)、(2)、(3)、(4)式计算读数修正值。

### 3 ) 系统校正

系统校正的目的,是为了使阻性测试与非阻性测试都有一个可参照的起点,这个起点是名义值 **20V**。系统校正使用阻性测试的方法来进行。

3 - 1 电流档位设置到 **1mA**, 倍率开关设置到 **1.0**, 执行 1 - 1 到 1 - 9 的步骤。

3 - 2 取已知值的 **20KΩ** 标准电阻器接到恒流输出端, 细调设置在中点。

3 - 3 按下式调节 **P101**, 使显示值为:

$$V_m = I(R + R_l) + (20 - IR)(-3E - 5) - 20 \quad (5)$$

其中

$V_m$	电压表 <b>200mV</b> 档的修正值
$I$	电流档设置值
$R$	标准电阻器的标定值
$R_l$	测试线内阻

由于调节 **P101** 需要开盖, 因此本步骤应计算好需要的值, 调节要迅速, 尽可能减少内部电路暴露于外部环境的时间。

显示值的设置不确定度, 控制在  $\pm 2$  个字内。平时的使用校准, 可仅通过细调完成。

附注: 用于测试的标准电阻器中流过 **1mA** 的电流, 因此功耗达到了 **20mW**, 这要求标准电阻器的耗散功率要等于大于 **2W**, 以尽量减小自热产生的阻值随温度的漂移。一种方法是, 标准电阻器可由多个精密电阻器组成, 总的温度漂移是全部器件的平均值, 总功耗是全部器件的功耗累加值。

3 - 4 确定总的不确定度。

总的不确定度是设置不确定度和温度漂移不确定度的均方根值。假定设置不确定度为  $E_s$ , 温度漂移不确定度为  $E_t$ , 总不确定度为  $E$ 。

设置不确定度  $E_s$ , 如 3 - 3 节所述可控制在  $\pm 2$  个字之内, 此时的不确定度为

$$E_s = |2| * 1E-5/20 \quad (6)$$

温度漂移不确定度  $E_t$  是随时间和环境温度的梯度差变化的。在合适的环境中与不太长的时间内,  $E_t$  值的变化在  $\pm 1$  个字左右。如果设备放置的位置温度变化缓慢 ( $\leq 0.1^\circ\text{C}/\text{Hour}$ ), 且一个测试循环不超过 **20min**, 此时的桥接显示平衡值的变化在  $\pm 2$  个字内, 则这时的不确定度为

$$E_t = |2| * 1E-5/IR \quad (7)$$

总不确定度为

$$E = \sqrt{E_s^2 + E_t^2} = \sqrt{(|2|E-5/20)^2 + (|2|E-5/IR)^2} \quad (8)$$

$$= \sqrt{(|2|E-5/IR)^2 + |1|E-12}$$

若 IR 为标准的 20V 名义值，则校正后产生的不确定度为

$$E = \sqrt{(|2|E-5/20)^2 + |1|E-12}$$

$$= \sqrt{(|2|E-12)}$$

$$\approx \sqrt{2|E-6} \quad (9)$$

如果测试的时间长达 1 小时，那么根据实测的数据，有±5 个字的随时间的漂移，此时为

$$E_t^2 = (|5|*1E-5/20)^2$$

$$= 2.5E-12$$

代入上式得

$$E = \sqrt{(|2|E-5/20)^2 + |2.5|E-12|}$$

$$= \sqrt{(|3.5|E-12|)}$$

$$= \sqrt{3.5|E-6} \quad (10)$$

对于一次实际的测试，测试期间的随时间漂移是可以判定的，因此随时间漂移的不确定值仍然能够控制在±2 个字之内。

测试精度在

- ±0.01%时，随时间和温度的漂移允许达到±50 个字；
- ±0.001%时，随时间和温度的漂移允许达到±5 个字；
- ±0.0005%时，随时间和温度的漂移允许±1 个字。

或者说，测试精度在

- ±0.01%时，允许的一次测试循环为 1 小时；
- ±0.001%时，允许的一次测试循环为 30 分钟；
- ±0.0005%时，允许的一次测试循环为 15 分钟。

### 3 - 5 校正周期

进行阻性器件的测量时，开机三小时和六小时的时间点上，均应检查设置的电位差计电压是否正确，有偏移必须细调矫正。例如三小时的时间点上的值设置为 19.992V，六小时时间点上的值显示为 19.991V，则可调节细调至 19.992V。

每个月的平均温度总是不同的，因此室温也是在变化的，因此对于要求的测量精度在±0.0005%时，每次测量前都要进行标准电阻的比对，不确定度使用(9)式。

当测量精度为±0.001%时，允许一周比对一次标准电阻，不确定度使用(10)式。

在测量精度为 $\pm 0.01\%$ 时，允许每月一次的标准电阻比对，可以不使用不确定度表述。

一般地，每季度应进行一次系统校正，同时记录偏移值。测试时间分别为 1 月、4 月、7 月、10 月的 10~20 号，且都是晴朗干爽的日子。

### 3 - 6 使用电子表格

电子表格是进行辅助计算的好工具。例如测试阻性器件的温度系数，可以这样做：

第一栏存放器件的原值，原值这样读取：

$$\text{原值} = \text{设定值} \times (1 + \text{表温度系数} \times \text{温度差}) + \text{桥接表显示值}$$

然后将原值填入。

第二栏根据校正公式自动计算转换值。

第三栏填入要测试的温度差。

第四栏填写升温后的读数，按与原值同样的方法读取。

第五栏根据校正公式自动计算第四栏的转换值。

第六栏根据第二、第三、第五栏计算温度系数 TC。

上述步骤可以插入若干栏来记录多个温度点的变化，进而能够使用图形工具产生所需要的曲线图。根据多个器件的测试值，还可以得出器件的值的分布、标准差、平均值等等。

实际上，当各个变量根据已知的参数变更时，可以即时看到结果的各种变化，这在进行设计和备件时尤其有用。

版本注释:

2012.03.07 初稿。