

DL

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1153 — 2012

## 继电保护测试仪校准规范

Calibration specification of relay protection testers

2012-08-23 发布

2012-12-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 计量特性 ..... 1

5 校准条件 ..... 4

6 校准项目和校准方法 ..... 5

7 校准结果表达 ..... 13

8 复校时间间隔 ..... 13

附录 A（资料性附录） 继电保护测试仪校准原始记录 ..... 14

附录 B（资料性附录） 继电保护测试仪校准不确定度分析 ..... 19

## 前 言

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由全国高电压试验技术标准化分技术委员会归口。

本标准起草单位：四川电力科学研究院、国网电力科学研究院、华东电力试验研究院有限公司、四川省电力公司、江西八达电子有限公司。

本标准主要起草人：朱晓丽、雷民、卢有龙、李旻、吴克丁、李力华。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

—— $I_N=5\text{A}$  的测试仪，每相电流输出的幅值  $I_{\max}$  不小于  $30\text{A}$ 。

4.1.1.2 交流电流幅值输出的最小可调步长如下：

- $0\sim 0.5\text{A}$  范围内， $0.001\text{A}$ ；
- $0.5\text{A}\sim 20\text{A}$  范围内， $0.002\text{A}$ ；
- $20\text{A}\sim I_{\max}$  范围内， $0.01\text{A}$ 。

4.1.2 输出交流电流频率的可调范围

在  $0\sim 1000\text{Hz}$  范围内，交流电流频率输出的最小可调步长为  $0.001\text{Hz}$ 。

4.1.3 输出交流电流幅值的基本误差

在基准工作条件下，输出电流的幅值为  $0\sim I_{\max}$ 、频率为  $50\text{Hz}$  时，其基本误差应满足：

- $I\leq 0.1I_N$  时，基本误差不超过  $\pm 1\text{mA}$ ；
- $0.1I_N<I\leq I_{\max}$  时，基本误差不超过  $\pm 0.2\%$ 。

当输出电流幅值在  $0\sim I_{\max}$  范围内，输出频率变化时，其输出电流幅值基本误差应满足表 1 的要求。

表 1 误差范围

| 电流源输出频率范围<br>Hz | 允许偏差<br>Hz  | 输出电流幅值基本误差<br>% |
|-----------------|-------------|-----------------|
| 0~65            | $\pm 0.001$ | $\leq 0.5$      |
| 65~450          | $\pm 0.01$  | $\leq 0.5$      |
| 450~1000        | $\pm 0.01$  | $\leq 1$        |

4.1.4 输出交流电流总谐波畸变率

在负载  $0.5\Omega$  的条件下，输出交流电流  $1\text{A}$ 、 $5\text{A}$  时，输出交流电流总谐波畸变率应不大于  $0.2\%$ 。

4.2 测试仪的输出交流电压

4.2.1 每相交流电压输出的幅值可调范围

每相交流电压输出的幅值为  $0\sim 120\text{V}$ ，其中：

- 在  $0\sim 2\text{V}$  范围内，交流电压幅值输出最小可调步长为  $5\text{mV}$ ；
- 在  $2\text{V}\sim 120\text{V}$  范围内，交流电压幅值输出最小可调步长为  $10\text{mV}$ 。

4.2.2 输出交流电压的基本误差

基准工作条件下，输出电压的幅值为  $0\sim 120\text{V}$ 、频率为  $50\text{Hz}$  时，其基本误差应满足：

- $U\leq 2\text{V}$  时，不超过  $\pm 4\text{mV}$ ；
- $2\text{V}<U\leq 120\text{V}$ ，不超过  $\pm 0.2\%$ 。

当输出电压幅值在  $0\sim 120\text{V}$  范围内，输出频率变化时，电压幅值在  $2\text{V}\sim 120\text{V}$  范围内的基本误差应满足表 2 的要求。

表 2 误差范围

| 电压源输出频率范围<br>Hz | 允许偏差<br>Hz  | 输出电压幅值基本误差<br>% |
|-----------------|-------------|-----------------|
| 10~65           | $\pm 0.001$ | 不超过 $\pm 0.5$   |
| 65~450          | $\pm 0.01$  | 不超过 $\pm 0.5$   |
| 450~1000        | $\pm 0.01$  | 不超过 $\pm 1$     |

4.2.3 输出交流电压的总谐波畸变率

输出交流电压的总谐波畸变率应不大于  $0.2\%$ 。



### 4.3 交流电流源与交流电压源的同步性

交流电流源与交流电压源的输出应具备良好的同步性，在模拟短路故障时，电流与电压输出的不同步时间应不大于  $10\mu\text{s}$ 。

### 4.4 测试仪的直流输出

#### 4.4.1 输出直流电压幅值的可调范围

输出电压的幅值为  $0\sim 300\text{V}$  时，输出直流电压幅值的变化最小步长应为  $10\text{mV}$ 。

#### 4.4.2 输出电压幅值的基本误差

在基准工作条件下，输出电压幅值的基本误差应满足以下条件：

- 在  $0\sim 5\text{V}$  范围内，基本误差应不超过  $\pm 25\text{mV}$ ；
- 在  $5\text{V}\sim 300\text{V}$  范围内，基本误差应不低于  $\pm 0.5\%$ 。

#### 4.4.3 输出直流电压的纹波

输出直流电压为  $0\sim 300\text{V}$  时，直流电压中的交流分量的峰—峰值应不大于输出设定值的  $1\%$ 。

#### 4.4.4 直流电压输出的响应时间

测试仪接通及断开直流电压时的响应时间应小于  $1\text{ms}$ 。

注：响应时间为电压值由  $10\%$  电压值上升至  $90\%$  电压值或由  $90\%$  电压值下降至  $10\%$  电压值的时间。

#### 4.4.5 输出直流电流幅值的可调范围

直流电流输出幅值的可调范围为  $0\sim 20\text{A}$ ，其中：

- 输出电流的幅值为  $I \leq 10\text{A}$  时，其变化的最小步长为  $2\text{mA}$ ；
- 输出电流的幅值为  $10\text{A} < I \leq 20\text{A}$  时，其变化的最小步长为  $10\text{mA}$ 。

#### 4.4.6 输出直流电流的纹波

输出直流电流为  $0\sim 20\text{A}$  时，直流电流中的交流分量的峰—峰值应不大于输出设定值的  $1\%$ 。

#### 4.4.7 直流电流输出的响应时间

测试仪接通及断开直流电流时的响应时间应小于  $1\text{ms}$ 。

注：响应时间为电流值由  $10\%$  电流值上升至  $90\%$  电流值或由  $90\%$  电流值下降至  $10\%$  电流值的时间。

### 4.5 交流电流源与交流电压源的相位控制

#### 4.5.1 一般规定

电流源各相之间、电压源各相之间、电流源与电压源各相之间的相位控制范围及准确度应满足本标准相关要求，移相范围为  $0^\circ \sim 360^\circ$ ，最小可调步长为  $0.1^\circ$ ，分辨力为  $0.1^\circ$ 。基准工作条件下，允许偏差不大于  $\pm 0.2^\circ$ 。

#### 4.5.2 三相电源的对称性

测试仪应能输出三相平衡电源，且满足以下要求：

- a) 三相电源中各相电压或线电压应大小相等，其相电压间或线电压间的差异应不大于其电压平均值的  $0.5\%$ ；
- b) 三相平衡电源中相电流应大小相等，其相电流间或线电流间的差异应不大于其电流平均值的  $0.5\%$ ；
- c) 三相平衡电源中相电压与该相电流间夹角应大小相等，其间的差值应不超过  $0.5^\circ$ 。

#### 4.5.3 交流电流源、电压源负载稳定性

交流电流源、电压源的负载稳定性应满足以下要求：

- a) 交流电流源输出频率为  $50\text{Hz}$ ，负载变化时，输出电流幅值的改变量应小于  $\pm 0.1\%$ ，见表 3。
- b) 交流电压源输出电压为  $100\text{V}$ ，频率为  $50\text{Hz}$ ，功率因数分别为  $1$ 、 $0.4$ 、 $-0.4$  时，负载由  $0\sim 50\text{VA}$  变化时，输出电压幅值的改变量应小于  $\pm 0.1\%$ ，见表 5。
- c) 交流电流源和交流电压源在 a) 和 b) 规定的情况下，其相位误差应符合表 3 的要求。

表 3 交流电流源、交流电压源负载稳定性

| 输 出 量               | 负载变化范围<br>$\Omega$ | 幅值准确度<br>% | 输出幅值的改变量<br>% | 相位误差<br>( $^{\circ}$ ) |
|---------------------|--------------------|------------|---------------|------------------------|
| $I_N=1A$ 测试仪: 输出 1A | 0~0.5              | $\pm 0.1$  | $\pm 0.1$     | $\pm 0.2$              |
| $I_N=5A$ 测试仪: 输出 5A | 0~0.2              | $\pm 0.1$  | $\pm 0.1$     | $\pm 0.2$              |
| 100V                | 0~50VA             | $\pm 0.1$  | $\pm 0.1$     | $\pm 0.2$              |

4.5.4 交流电流源、电压源时间的稳定性

交流电流源、电压源时间的稳定性应满足以下要求:

- a) 交流电流源输出电流为 5A、负载为  $0.5\Omega$ , 连续输出时间为 4h, 输出电流幅值的准确度应不大于 0.1%, 输出电流幅值改变量应不大于  $\pm 0.1\%$ , 电流频率的准确度应不大于  $\pm 0.002\text{Hz}$ , 相位的误差应不大于  $\pm 0.2^{\circ}$ , 直流漂移量应不超过  $\pm 2\text{mA}$ 。
- b) 交流电压源输出电压为 100V, 输出功率为 50VA, 连续输出时间为 4h, 输出电压幅值的准确度应不大于  $\pm 0.1\%$ , 输出电压幅值改变量应不大于  $\pm 0.1\%$ ; 电压频率的准确度应不大于  $\pm 0.002\text{Hz}$ ; 相位的误差应不大于  $\pm 0.2^{\circ}$ ; 直流漂移量应不大于  $\pm 2\text{mV}$ 。

4.6 时间测量

4.6.1 测量时间范围

测试仪的测量时间范围为  $1\text{ms}\sim 9999.999\text{s}$ 。

4.6.2 测量时间误差

测量装置的测量时间误差应满足以下要求:

- 测量时间为  $1\text{ms}<t\leq 1\text{s}$  时, 误差不超过  $\pm 1\text{ms}$ ;
- 测量时间为  $1\text{s}<t\leq 9999.999\text{s}$  时, 误差不超过  $\pm 0.1\%$ 。

5 校准条件

5.1 测试仪校准的工作条件

测试仪应在基准工作条件下校准, 基准工作条件见表 4。

表 4 测试仪基准工作条件

| 影 响 量       | 参比值或范围                           | 允 许 偏 差             |
|-------------|----------------------------------|---------------------|
| 环境温度        | $20^{\circ}\text{C}$             | $2^{\circ}\text{C}$ |
| 环境湿度        | 相对湿度: $45\%\sim 75\%$            | —                   |
| 大气压力        | $86\text{kPa}\sim 106\text{kPa}$ | —                   |
| 交流供电电压      | 额定值                              | $-10\%\sim +10\%$   |
| 交流供电频率      | $50\text{Hz}$                    | $-1\%\sim +1\%$     |
| 交流供电波形      | 正弦波                              | 失真度 $\leq 5\%$      |
| 直流供电电压      | 额定值                              | $-2\%\sim +2\%$     |
| 直流供电电压的纹波系数 | —                                | $\leq 2\%$          |
| 外磁场干扰       | 应避免                              | 大地磁场                |
| 阳光照射        | 避免照射                             | —                   |
| 工作位置        | 按照制造厂规定                          | —                   |



5.2 校准标准装置要求

测试仪的校准标准装置可采用专用的整体标准装置或组合式标准装置。

校准标准装置的扩展不确定度应为被校继电保护测试仪各输出功能和测量功能所允许误差的 1/3～1/5。校准标准装置的显示位数应至少与被校继电保护装置各功能的误差要求相适应。

标准装置各功能的技术指标要求见表 5。

表 5 标准装置技术指标要求

| 标准装置功能            | 技术指标要求                                                                                                                                 |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 交流电流、电压标准         | 误差：±0.05%（ $10\text{Hz} \leq f < 65\text{Hz}$ ）                                                                                        |
| 直流电流、电压标准         | 误差：±0.05%                                                                                                                              |
| 频率测量标准            | 误差：±0.001Hz                                                                                                                            |
| 相位测量标准            | 误差：±0.05°                                                                                                                              |
| 相应时间测量            | 误差：0.1ms                                                                                                                               |
| 谐波畸变率测量标准         | 误差：±0.5%（频率范围：2Hz～200kHz；测量范围：0.1%～100%）                                                                                               |
| 相应时间测量标准（数字存储示波器） | 带宽不低于 100MHz，垂直分辨率灵敏度：2mV/div～5V/div；准确度：±2.5%，采样率不低于 1.0GS/S，时基为 5ns/div～50s/div，时基精度不低于 $5 \times 10^{-5}\text{s}$ ，记录长度不低于 2500 个时基 |

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前的准备

为了使被校继电保护测试仪能够安全可靠及正常工作，在正式校准前应对继电保护测试仪进行外观和通电检查。

外观和通电检查应至少包含以下内容：

- 测试仪的外观应无磨损，接触式按键正常，显示正常，制造厂家、型号、编号等均应有明确标记；
- 附件、连接电缆应齐全，接口类型、供电电源电压、频率标志等应准确无误；
- 测试仪若采用外接计算机的控制，控制软件应能正常与仪器通信，能控制仪器工作；
- 测试仪应配备专用的接地端子。

6.2 校准项目

使用中的测试仪校准可只进行各输出量的示值误差校准，校准项目（见表 6）可根据需要进行选择。测试仪的功能检查可参照 DL/T 624 的相关条款进行。

表 6 继电保护测试仪校准项目

| 序号 | 内 容     |              |
|----|---------|--------------|
| 1  | 外观及通电检查 |              |
| 2  | 交流电流校准  | 交流电流输出幅值误差   |
|    |         | 输出交流电流幅频特性   |
|    |         | 输出交流电流响应速度   |
|    |         | 输出交流电流总谐波畸变率 |

表 6（续）

| 序号 | 内 容             |              |
|----|-----------------|--------------|
| 3  | 交流电压校准          | 交流电压输出幅值误差   |
|    |                 | 输出交流电压幅频特性   |
|    |                 | 输出交流电压响应速度   |
|    |                 | 输出交流电压总谐波畸变率 |
| 4  | 直流电流校准          | 直流电流输出幅值误差   |
|    |                 | 直流电流源纹波系数    |
|    |                 | 直流电流的响应速度    |
| 5  | 直流电压校准          | 直流电压输出幅值误差   |
|    |                 | 直流电压源纹波系数    |
|    |                 | 直流电压的响应速度    |
| 6  | 三相电源的对称性        |              |
| 7  | 移相相位校准          |              |
| 8  | 合闸角控制准确度        |              |
| 9  | 时间校准            |              |
| 10 | 交流电流源与交流电压源的同步性 |              |

6.3 交流电流校准

6.3.1 交流电流输出幅值误差

交流电流输出幅值误差的校准接线示意图如图 1 所示。

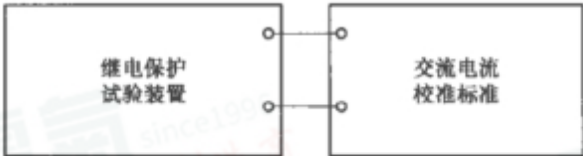


图 1 交流电流输出幅值误差的校准接线示意图

分别设置测试仪 50Hz 频率下的各相输出交流电流（交流电流的输出校准点至少应包括 0.2A、0.5A、0.8A、1A、3A、5A 的校准点，其他校准点的选取应考虑最大量程点以及与上下量程的衔接点和中间点），用校准标准（或交流电流表）分别测出各相的电流输出数据并记录。

设校准标准的显示数据为  $I_N$ ，继电保护测试仪交流电流输出值为  $I_X$ 。

交流电流输出值的绝对误差和相对误差的计算见式（1）和式（2）

绝对误差表示为

$$\Delta = I_X - I_N \tag{1}$$

相对误差表示为

$$\gamma = \frac{I_X - I_N}{I_X} \times 100\% \tag{2}$$

式中：

$\Delta$ ——被校继电保护测试仪输出值绝对误差；



$\gamma$ ——被校继电保护测试仪输出值相对误差；

$I_X$ ——被校继电保护测试仪设定输出值，A；

$I_N$ ——校准标准显示值，A。

### 6.3.2 输出交流电流的频率误差和幅频特性

在图 1 中交流输出回路接入负载电阻（装置额定输出功率）。设置恒定的测试仪输出交流电流为 5A，同时带上阻性负载，改变输出频率，使其在（0~1000）Hz 范围变化（测试的频率点可选 45Hz、50Hz、65Hz、100Hz、450Hz、800Hz、1000Hz），用频率表分别测出实际的频率值并计算出相应误差，并根据在设置的不同频率下所显示出的电流值进行幅频特性测试。

### 6.3.3 输出交流电流响应速度

如图 2 所示，在纯电阻负载条件下，用数字存储示波器记录测试仪接通电流过程中输出的交流电流幅值为  $I_{\max}$  的波形图，在波形图上测量电流幅值由 10% 上升至 90% 的时间；用数字存储示波器记录在断开电流的过程中输出的交流电流幅值为  $I_{\max}$  的波形图，在波形图上测量电流幅值由 90% 下降至 10% 的时间。

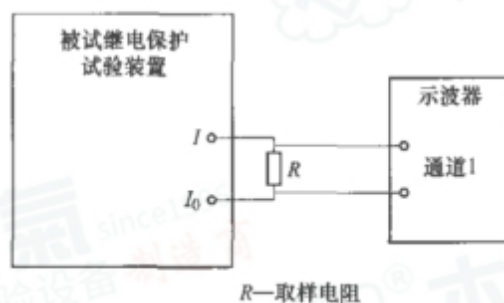


图 2 交流电流响应速度测量接线图

### 6.3.4 输出交流电流总谐波畸变率

如图 3 所示，在负载为  $0.5\Omega$  的条件下，设置测试仪输出交流 1A（或 5A），用失真度仪测量总谐波畸变率。

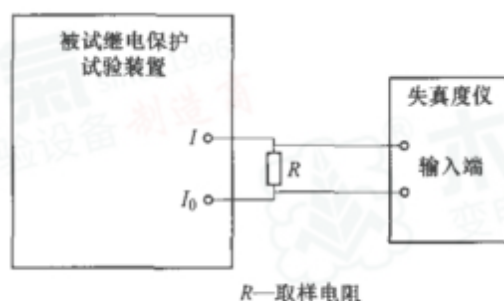


图 3 交流电流总谐波畸变率测量接线图

## 6.4 交流电压校准

### 6.4.1 交流电压的幅值误差

交流电压的幅值误差校准接线示意图如图 4 所示。

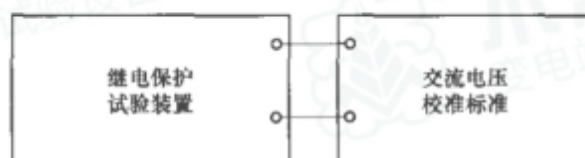


图 4 交流电压的幅值误差校准接线示意图

分别设置继电保护测试仪 50Hz 频率下的输出交流电压（交流电压的输出校准点可选择为 2V、10V、30V、50V、100V、120V），用校准标准分别测出电压输出并记录。

设校准标准的显示数据为  $U_N$ ，继电保护测试仪交流电压输出值为  $U_X$ 。

交流电压输出值的绝对误差和相对误差的计算见式（3）和式（4）

绝对误差表示为

$$\Delta = U_X - U_N \quad (3)$$

相对误差表示为

$$\gamma = \frac{U_X - U_N}{U_X} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$\Delta$  ——被校继电保护测试仪输出值绝对误差；

$\gamma$  ——被校继电保护测试仪输出值相对误差；

$U_X$  ——被校继电保护测试仪输出值，V；

$U_N$  ——校准标准显示值，V。

#### 6.4.2 输出交流电压的频率误差和幅频特性

在图 2 中接入额定功率的负载电阻。设置恒定的测试仪输出交流电压，同时带上阻性负载，改变输出频率，使其在（0~1000）Hz 范围变化（测试的频率点可选择为 45Hz、50Hz、65Hz、100Hz、450Hz、800Hz、1000Hz），用校准标准分别测出实际的频率值并计算出相应误差，并根据在设置的不同频率下所显示出的电压值进行幅频特性测试。

#### 6.4.3 输出交流电压响应速度

在纯电阻负载条件下，用数字存储示波器记录测试仪接通电压过程中输出的交流电压幅值为  $U_{\max}$  的波形图（如图 5 所示），在波形图上测量电压幅值由 10% 上升至 90% 的时间；用数字存储示波器记录在断开电压的过程中输出的交流电压幅值为  $U_{\max}$  的波形图，在波形图上测量电压幅值由 90% 下降至 10% 的时间。



图 5 交流电压响应速度测量接线图

#### 6.4.4 输出交流电压总谐波畸变率

在额定负载下，交流电压源的输出电压 120V 时，用失真度仪测量其总谐波畸变率（如图 6 所示）。

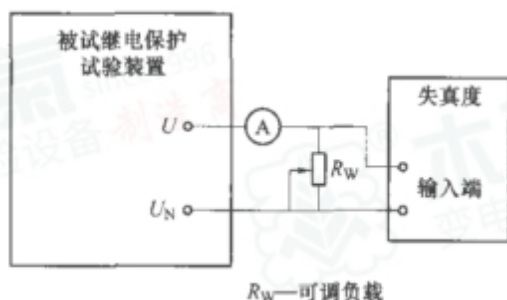


图 6 交流电压总谐波畸变率测量接线图

## 6.5 直流电流校准

### 6.5.1 输出直流电流幅值误差

直流电流的校准接线示意图如图 7 所示。

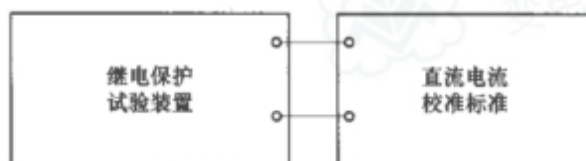


图 7 直流电流校准接线示意图

分别设置测试仪输出直流电流（直流电流的输出校准点可选 0.2A、0.5A、1A、5A、10A、15A），用校准标准分别测试直流电流输出值误差。

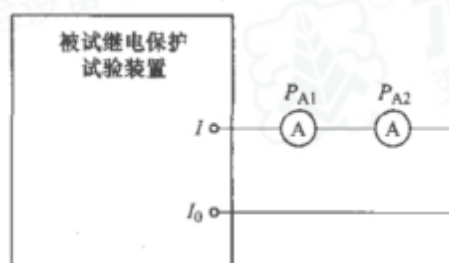
### 6.5.2 输出直流电流的纹波系数

设置测试仪输出直流电流，用直流电流表测量直流电流值  $I_1$  和用峰—峰值电流表测量交流分量的峰—峰值  $I_2$ （如图 8 所示），计算直流电压的纹波系数  $K_1$

$$K_1 = \frac{I_2}{I_1} \times 100\% \quad (5)$$

当使用有效值电压表测量交流分量  $I_2$  时，直流电压的纹波系数  $K_1$  应为

$$K_1 = \frac{I_2}{I_1} \times 100\% \quad (6)$$



$P_{A1}$ —直流电流表； $P_{A2}$ —峰—峰值电流表

图 8 直流电流的纹波系数测量接线图

### 6.5.3 输出直流电流的响应速度

设置测试仪三种试验状态为：

- 第一种状态：输出直流电流为 0；
- 第二种状态：输出直流电流为测试仪所能输出的最小电流值  $I_{\min}$  或最大电流值  $I_{\max}$ ；
- 第三种状态：输出直流电流为 0。

试验时，测试仪的试验状态由第一种状态进入第二种状态，再由第二种状态进入第三种状态。试验过程中，测试仪输出的直流电流由 0 突升至设定值，再由设定值突降至 0。用数字存储示波器记录试验过程测试仪输出直流电流的波形，在波形图上测量直流电流由 10% 上升到 90% 电流值或由 90% 下降到 10% 电流值的时间。

## 6.6 直流电压校准

### 6.6.1 输出直流电压幅值误差

直流电压的校准接线示意图如图 9 所示。

分别设置继电保护测试仪输出的直流电压（直流电压的输出校准点为 5V、30V、90V、150V、200V、250V），用校准标准分别测出电压输出并记录。



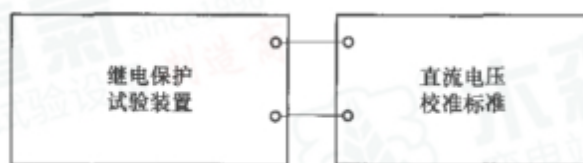


图9 直流电压校准接线示意图

### 6.6.2 输出直压电压的纹波系数

设置测试仪输出直流电压，用直流电压表测量直流电压值  $U_1$  和用峰—峰值电压表测量交流分量的峰—峰值  $U_2$ （如图 10 所示），计算直流电压的纹波系数  $K_U$

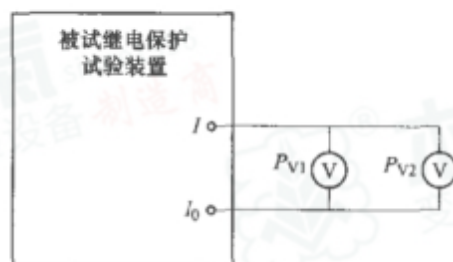
$$K_U = \frac{U_2}{U_1} \times 100\% \quad (7)$$

当使用有效值电压表测量交流分量  $U_2$  时，直流电压的纹波系数  $K_U$  应为

$$K_U = \frac{2\sqrt{2}U'_2}{U_1} \times 100\% \quad (8)$$

式中：

$U'_2$ ——交流分量的有效值。



$P_{V1}$ —直流电压表； $P_{V2}$ —峰—峰值电压表

图10 直压电压的纹波系数测量接线图

### 6.6.3 输出直流电压的响应速度

设置测试仪三种试验状态为：

- 第一种状态：输出直流电压为 0；
- 第二种状态：输出直流电压为测试仪所能输出的最小电压值  $U_{\min}$  或最大电压值  $U_{\max}$ ；
- 第三种状态：输出直流电压为 0。

试验时，测试仪的试验状态由第一种状态进入第二种状态，再由第二种状态进入第三种状态。试验过程中，测试仪输出的直流电压由 0 突升至设定值，再由设定值突降至 0。用数字存储示波器记录试验过程测试仪输出直流电压的波形，在波形图上测量直流电压由 10% 上升到 90% 电压值或由 90% 下降到 10% 电压值的时间。

### 6.7 三相电源的对称性

设定测试仪输出的量为对称三相交流电压和三相交流电流，设定三相电压和电流间的相位角为固定的相角差，输出的电压和电流的频率为 50Hz。

用交流电压表测量三相电压的电压值  $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$ ，用交流电流表测量三相电流的电流值  $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$ ，用相位表测量 A 相电压与 A 相电流间的相位角  $\varphi_A$ ，B 相电压与 B 相电流间的相位角  $\varphi_B$ 、C 相电压与 C 相电流间的相位角  $\varphi_C$ 。

计算三相电压的电压平均值  $[\bar{U} = (U_A + U_B + U_C)/3]$  和三相电流的电流平均值

$[\bar{I} = (I_A + I_B + I_C)/3]$ ，确定每一相电压与三相电压的电压平均值的差异  $\left( \Delta U_A = \frac{U_A - \bar{U}}{\bar{U}}, \Delta U_B = \frac{U_B - \bar{U}}{\bar{U}}, \Delta U_C = \frac{U_C - \bar{U}}{\bar{U}} \right)$  和每一相电流与三相电流的平均值的差异  $\left( \Delta I_A = \frac{I_A - \bar{I}}{\bar{I}}, \Delta I_B = \frac{I_B - \bar{I}}{\bar{I}}, \Delta I_C = \frac{I_C - \bar{I}}{\bar{I}} \right)$  以及各相电压电流间相位的差异。

### 6.8 移相相位校准

继电保护测试仪输出相电压之间、输出相电压和相电流相位的校准接线示意图如图 11 所示。

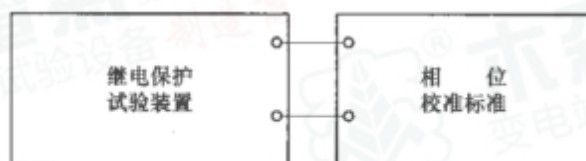


图 11 相位校准接线示意图

输出电压之间的相位以 A 相电压为基准，改变其他相电压的相位。

输出相电压和相电流相位的测量，设定 A 相电压为 100V，A 相电流为 5A，改变输出相位，用相位表测量输出相位。相位校准点可选取以下几点：0°、30°、60°、90°、180°、270°。

按要求连接相位校准标准，设定上述校准点进行移相相位误差的测量。

绝对误差表示为

$$\Delta = \varphi_X - \varphi_N \quad (9)$$

式中：

$\Delta$  ——被校继电保护测试仪输出值绝对误差；

$\varphi_X$  ——被校继电保护测试仪相位输出值；

$\varphi_N$  ——校准标准显示值。

### 6.9 合闸相位角校准

合闸相位角试验接线如图 12 所示。测试仪设置如下：在整组试验中，设置合闸相位角为  $\varphi$ ，整定阻抗为 5Ω，阻抗角为 0，故障类型为 A 相接地，短路电流为 1A（或 5A），合闸时，开出 1 闭合。

示波器设置：直流耦合、外触发方式、单次上升沿触发。开始试验，用示波器记录电压、电流波形（如图 13 所示），根据波形计算出合闸相位角  $\varphi$

$$\varphi = (20 - x) / 20 \times 360^\circ \quad (10)$$

式中：

$x$  ——示波器记录第一个波形的时间，ms。

合闸相位角的绝对误差表示为

$$\Delta = \varphi_X - \varphi_N \quad (11)$$

式中：

$\Delta$  ——合闸相位角的绝对误差，(°)；

$\varphi_X$  ——合闸相位角测量计算值，(°)；

$\varphi_N$  ——合闸相位角设定值，(°)。

合闸相位分别设置为 0°、30°、60°、90°、180°、270° 时，测量实际合闸相位，并至少测量 3 次观察合闸相位控制的稳定性。

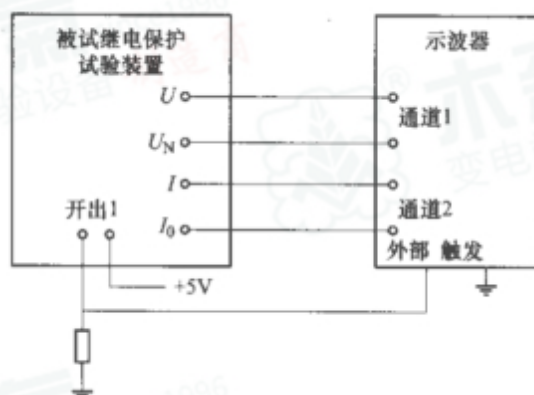
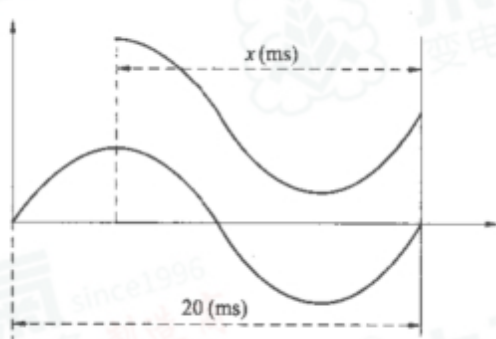


图 12 合闸相位角试验接线图



注：50Hz电压和电流一个周波的时间为20ms。

图 13 合闸时电流、电压波形

6.10 时间测量误差校准

使用标准时间间隔法测量检验的试验线路如图 14 所示。

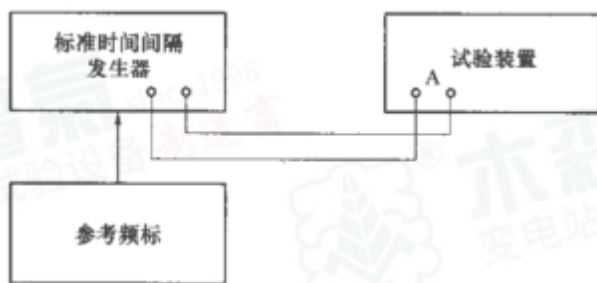


图 14 时间测量检验试验线路图

6.10.1 检验参数设置

选择能进行测量动作时间的功能。测量时间时设置的变量应能发生突变，即设置的变量从 0 或额定值突变到测量动作时间规定的激励量。设置测试仪测量时间的启动和停止的条件。

设置测试仪的试验参数，测试仪设定三种试验状态：

- a) 第一种状态：输出直流电压为 0，交流电压、电流均为零，触发条件选择触发方式为“最大输出时间触发”，最大输出状态时间为 1s；
- b) 第二种状态：输出直流电压为 0，交流电压、电流均为零，选择触发方式为“开入量翻转触发”，开入量输入只选择“A”；
- c) 第三种状态：输出直流电压为 0，交流电压、电流均为零，选择触发方式为“开入量翻转触



发”，开入量输入只选择“A”。

设定标准时间间隔发生器输出为单个脉冲宽度。

#### 6.10.2 检验方法

在每一个时间设定值下，测量时间。开入量“A”所计的时间为所测的标准时间间隔发生器输出单个脉冲宽度的时间。测量5次，计算平均值。

绝对误差表示为

$$\Delta = T_x - T_N \quad (12)$$

式中：

$\Delta$ ——被校继电保护测试仪输出值绝对误差；

$T_x$ ——被校继电保护测试仪输出值，即开入量“A”所计的时间，s或ms；

$T_N$ ——校准标准显示值，即标准时间间隔发生器输出单个脉冲宽度，s或ms。

#### 6.11 交流电流源与交流电压源的同步性测量

在模拟短路故障中，设定测试仪短路电流为5A，相位为 $270^\circ$ ，故障前电压为57.74V，相位为 $90^\circ$ ，故障后电压为0，用数字示波器、录波仪或专用设备测量故障电压下降50%，电流上升50%之间的时间差。电流与电压输出的不同步时间应不大于 $10\mu\text{s}$ 。

### 7 校准结果表达

7.1 校准结果的内容应包括被校量的测量数据和测量不确定度。

7.2 测量结果中的不确定度是描述所对应示值误差的不确定度，一般用扩展不确定度 $U(k=2)$ 来表示，当用户要求用 $U_p$ 来表示，可按JJF1059的规定来评定。测量不确定度的有效位数为1~2位。

7.3 测量结果的误差可用绝对误差或相对误差表示，应修约到与不确定度一致，根据需要可以比不确定度的位数多一位。

7.4 当用户有要求时，校准报告中可以给出示值误差是否符合规范某条款的说明。

7.5 继电保护测试仪校准原始记录格式和内容参见附录A，不确定度分析格式和内容参见附录B。

### 8 复校时间间隔

使用中的继电保护测试仪应进行定期校准，校准的时间间隔宜为2年。

附录 A  
(资料性附录)

继电保护测试仪校准原始记录

A.1 继电保护测试仪校准原始记录格式

|                     |      |                   |        |
|---------------------|------|-------------------|--------|
| 送校单位                |      |                   |        |
| 设备名称                |      | 型 号               |        |
| 制造厂名                |      | 出厂编号              |        |
| 校准时使用的标准器:          |      |                   |        |
| 名称/型号               | 出厂编号 | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 | 有效期至   |
|                     |      |                   |        |
| 本次校准所依据的技术规范(代号、名称) |      |                   |        |
| 校准时环境条件:            | 温 度  | ℃                 | 相对湿度 % |

一、外观及通电检查  
外观及通电检查见表 1。

表 1 外观及通电检查表

|            |  |
|------------|--|
| 外观         |  |
| 交流电流源相数    |  |
| 交流电压源相数    |  |
| 是否有完好的接地端子 |  |

二、校准类型  
1. 交流电流校准

(1) 输出交流电流误差见表 2。

表 2 输出交流电流误差

| 电 流   | 误 差  |  |      |  |           |  |
|-------|------|--|------|--|-----------|--|
|       | 0.2A |  | 0.5A |  | 1A        |  |
| $I_a$ |      |  |      |  |           |  |
| $I_b$ |      |  |      |  |           |  |
| $I_c$ |      |  |      |  |           |  |
| $I_n$ |      |  |      |  |           |  |
|       | 3A   |  | 5A   |  | $I_{max}$ |  |
| $I_a$ |      |  |      |  |           |  |
| $I_b$ |      |  |      |  |           |  |
| $I_c$ |      |  |      |  |           |  |
| $I_n$ |      |  |      |  |           |  |

(2) 频率误差见表 3。

表 3 频 率 误 差

| 标称频率 (Hz) | 实测频率 (Hz) | 误差 (Hz) |
|-----------|-----------|---------|
| 50        |           |         |
| 100       |           |         |
| 450       |           |         |
| 800       |           |         |
| 1000      |           |         |

(3) 频率特性见表 4。

表 4 幅 频 特 性

| $I=5A$ | 50Hz/误差 |  | 450Hz/误差 |  | 1000Hz/误差 |  |
|--------|---------|--|----------|--|-----------|--|
| $I_a$  |         |  |          |  |           |  |
| $I_b$  |         |  |          |  |           |  |
| $I_c$  |         |  |          |  |           |  |
| $I_n$  |         |  |          |  |           |  |

(4) 交流电流源的响应速度:

电流上升时间为\_\_\_\_\_μs;

电流下降时间为\_\_\_\_\_μs。

(5) 输出电流总畸变率:

电流输出 5A (或 1A) 时, 总畸变率  $THD =$  \_\_\_\_\_。

## 2. 交流电压校准

(1) 输出电压误差见表 5。

表 5 输 出 交 流 电 压 误 差

| 电 压   | 误 差 |  |      |  |           |  |
|-------|-----|--|------|--|-----------|--|
|       | 2V  |  | 10V  |  | 30V       |  |
| $U_a$ |     |  |      |  |           |  |
| $U_b$ |     |  |      |  |           |  |
| $U_c$ |     |  |      |  |           |  |
| $U_x$ |     |  |      |  |           |  |
|       | 50V |  | 100V |  | $U_{max}$ |  |
| $U_a$ |     |  |      |  |           |  |
| $U_b$ |     |  |      |  |           |  |
| $U_c$ |     |  |      |  |           |  |
| $U_x$ |     |  |      |  |           |  |

(2) 频率误差见表 6。



表6 频 率 误 差

| 标称频率 (Hz) | 实测频率 (Hz) | 误差 (Hz) |
|-----------|-----------|---------|
| 50        |           |         |
| 100       |           |         |
| 450       |           |         |
| 800       |           |         |
| 1000      |           |         |

(3) 幅频特性校准误差见表 7。

表7 幅 频 特 性

| $U=100V$ | 50Hz/误差 |  | 450Hz/误差 |  | 1000Hz/误差 |  |
|----------|---------|--|----------|--|-----------|--|
| $U_a$    |         |  |          |  |           |  |
| $U_b$    |         |  |          |  |           |  |
| $U_c$    |         |  |          |  |           |  |
| $U_x$    |         |  |          |  |           |  |

(4) 交流电压源的响应速度:

电压上升时间为\_\_\_\_\_μs;

电压下降时间为\_\_\_\_\_μs。

(5) 输出交流电压总畸变率:

电压输出 120V 时, 总畸变率  $THD =$  \_\_\_\_\_。

3. 直流电流校准

(1) 直流电流校准误差见表 8。

表8 直 流 电 流 校 准

| 电流 \ 误差 | 0.2A |  | 0.5A |  | 1A        |  |
|---------|------|--|------|--|-----------|--|
|         |      |  |      |  |           |  |
| $I$     |      |  |      |  |           |  |
|         | 5A   |  | 10A  |  | $I_{max}$ |  |
| $I$     |      |  |      |  |           |  |

(2) 直流电流纹波系数:

设定直流电流为 5A, 实测交流纹波电流为\_\_\_\_\_A, 纹波系数=\_\_\_\_\_。

(3) 直流电流响应速度:

电流上升时间为\_\_\_\_\_μs;

电流下降时间为\_\_\_\_\_μs。

4. 直流电压校准

(1) 输出电压幅值, 输出电压幅值见表 9。

表9 输出电压幅值

| 电压 \ 误差 | 5V   |  | 30V  |  | 90V       |  |
|---------|------|--|------|--|-----------|--|
| $U$     |      |  |      |  |           |  |
|         | 150V |  | 200V |  | $U_{max}$ |  |
| $U$     |      |  |      |  |           |  |

(2) 输出电压纹波系数:

设定直流电压为 100V, 实测交流纹波电压为 \_\_\_\_\_ V, 纹波系数= \_\_\_\_\_。

(3) 直流电压响应速度:

电压上升时间为 \_\_\_\_\_  $\mu$ s;电流下降时间为 \_\_\_\_\_  $\mu$ s。

5. 三相电源的对称性

三相交流电压为 100V, 电流为 5A, 输出频率为 50Hz 时:

| 电源参数              | 平均值 | A 相偏差值 | B 相偏差值 | C 相偏差值 |
|-------------------|-----|--------|--------|--------|
| 电流 (A)            |     |        |        |        |
| 电压 (V)            |     |        |        |        |
| 相位 ( $^{\circ}$ ) |     |        |        |        |

6. 相位校准

(1) 电压与电流间相位校准, 电压与电流间相位校准见表 10。

表 10 电压与电流间相位校准

| 输入电压 (V) | 输入电流 (A) | 相位角 ( $^{\circ}$ ) | 绝对误差 ( $^{\circ}$ ) |
|----------|----------|--------------------|---------------------|
| $U_a$    | $I_a$    | $U_a, I_a$         | 单相相位 $U_a, I_a$     |
| 100V     | 5A       | 0                  |                     |
|          |          | 30                 |                     |
|          |          | 60                 |                     |
|          |          | 90                 |                     |
|          |          | 120                |                     |
|          |          | 180                |                     |
|          |          | 270                |                     |

平均偏差为: 合闸相位校准 (输入电压 100V, 输入电流 5A)。

(2) 合闸相位校准见表 11。

表 11 合闸相位校准

| $U_a$ 合闸角 ( $^{\circ}$ ) | 绝对误差 ( $^{\circ}$ ) | $I_a$ 合闸角 ( $^{\circ}$ ) | 绝对误差 ( $^{\circ}$ ) |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| 0                        |                     | 0                        |                     |
| 30                       |                     | 30                       |                     |
| 60                       |                     | 60                       |                     |

表 11（续）

| $U_a$ 合闸角（°） | 绝对误差（°） | $I_a$ 合闸角（°） | 绝对误差（°） |
|--------------|---------|--------------|---------|
| 90           |         | 90           |         |
| 180          |         | 180          |         |
| 270          |         | 270          |         |

7. 时间校准

| 时间测量范围       | 标称值 | 1 次 | 2 次 | 3 次 | 4 次 | 5 次 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1.0ms~99.9ms |     |     |     |     |     |     |
| 100ms~999ms  |     |     |     |     |     |     |
| 1s~9.99s     |     |     |     |     |     |     |
| 10.0s~99.9s  |     |     |     |     |     |     |

| 时间测量范围       | 标称值 | 平均值 | 引用误差（%） |
|--------------|-----|-----|---------|
| 1.0ms~99.9ms |     |     |         |
| 100ms~999ms  |     |     |         |
| 1s~9.99s     |     |     |         |
| 10.0s~99.9s  |     |     |         |

8. 交流电流源与交流电压源的同步性  
交流电流源与交流电压源的同步性：

μs

校准不确定度：\_\_\_\_\_

校准日期 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日      校准员 \_\_\_\_\_      核验员 \_\_\_\_\_



## 附录 B

(资料性附录)

## 继电保护测试仪校准不确定度分析

## B.1 概述

B.1.1 测量依据：DL/T 1153—2012《继电保护测试仪校准规范》。

B.1.2 测量环境：温度：(××~××)℃；相对湿度：(××~××)%。

B.1.3 测量标准：标准器名称、型号、测量范围、测量不确定度/准确度等级/最大允许示值误差。

B.1.4 被检对象：被校继电保护测试仪名称、型号、被检量程。

## B.2 建立数学模型

继电保护测试仪的校准采用的都是直接测量法，即采用标准装置直接对被校测试仪进行校准，因此各功能的校准数学模型都一样。

$$\Delta = U_X - U_N \quad (\text{B.1})$$

式中：

$\Delta$  ——被校继电保护测试仪输出值绝对误差；

$U_X$  ——被校继电保护测试仪输出值；

$U_N$  ——校准标准显示值。

## B.3 输入量的标准不确定度评定

根据数学模型，被校继电保护测试仪的测量不确定度取决于输入量  $U_X$ 、 $U_N$  的不确定度。

B.3.1 标准不确定度  $u(U_X)$  的评定

输入量  $U_X$  的标准不确定度主要是由被检表的分辨力、环境干扰等因素使电压示值测量不重复引起的，可用 A 类不确定度评定。

被校继电保护测试仪选择被检量程的满量程 75%~95% 处一个点，在相同条件下用同一台标准器在重复性条件下连续独立测量  $n$  次（一般  $n$  取 10 次）从而获得一组被检表示值测量值  $U_{Xi}$  ( $i=1, 2, 3, 4, \dots, n$ )（如  $i=10$ ，则有  $U_{X1}, U_{X2}, U_{X3}, \dots, U_{X10}$  共 10 个测量值），然后求出  $u(U_X)$ ，其过程如下：

a) 取平均值

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{Xi} \quad (\text{B.2})$$

b) 用贝塞尔公式求出实验标准差  $S(U_X)$

$$S(U_X) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (U_{Xi} - \bar{U})^2} \quad (\text{B.3})$$

c) 以实验标准偏差  $S(U_X)$  表示标准不确定度  $u(U_X)$ ，取  $u(U_X) = S(U_X)$ 。

B.3.2 标准不确定度  $u(U_N)$  的评定

输入量  $U_N$  的标准不确定度  $u(U_N)$  主要是标准器的示值误差引起的测量不确定度，可用 B 类不确定度评定，最常用的 B 类不确定度评定方法有以下两种：

a) 标准器经过校准，可从校准报告（或校准证书）中获得标准不确定度  $u(U_N)$ ，一般校准报告的结果给出的是扩展不确定度  $U(U_p)$  及包含因子  $k(k_p)$ ，此时 B 类不确定度的评定方法是

$$u(U_N) = \frac{U}{k} \quad \left[ \text{或} u(U_N) = \frac{U_p}{k_p} \right] \quad (\text{B.4})$$

b) 标准器经过上一级量值传递合格, 由生产商的技术说明书给出的量程准确度等级或最大允许误差, 从而可得出  $U_N$  分布区间的半宽度  $a$ , 一般可以认为在区间  $[-a, a]$  服从均匀分布, 此时的不确定度评定方法是

$$u(U_N) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (\text{B.5})$$

其他的 B 类不确定度评定方法可参照 JJF1059 有关条款。

B.4 合成标准不确定度的评定

B.4.1 灵敏系数

数学模型  $\Delta = U_x - U_N$  (B.6)

灵敏系数  $C_x = \partial \Delta / \partial U_x = 1$  (B.7)

$C_N = \partial \Delta / \partial U_N = -1$  (B.8)

B.4.2 标准不确定度汇总表 (见表 B.1)

表 B.1 标准不确定度汇总表

| 输入量   | 不确定度来源           | 标准不确定度   | 灵敏系数 |
|-------|------------------|----------|------|
| $U_x$ | 被校继电保护测试仪示值测量重复性 | $u(U_x)$ | 1    |
| $U_N$ | 标准器示值误差          | $u(U_N)$ | -1   |

B.4.3 合成标准不确定度的估算

输入量  $U_x$  和  $U_N$  相互独立, 因此合成标准不确定度可按式 (B.9) 得到

$$u_c(\Delta) = \sqrt{[C_x u(U_x)]^2 + [C_N u(U_N)]^2} \quad (\text{B.9})$$

B.5 扩展不确定度的评定

通常取包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度  $U$  的表达式见式 (B.10)

$$U = k \cdot u_c(\Delta) \quad (k=2) \quad (\text{B.10})$$

B.6 测量不确定度的报告与表示

被校继电保护测试仪的被校各功能的示值误差测量结果的不确定度用扩展不确定度  $U$  表示, 其有效位数取 1~2 位。

$$U = k \cdot u_c(\Delta) \quad (k=2) \quad (\text{B.11})$$

中 华 人 民 共 和 国  
电 力 行 业 标 准  
继电保护测试仪校准规范  
DL/T 1153—2012

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

2012年12月第一版 2012年12月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 16开本 1.5印张 41千字

印数 0001—3000册

统一书号 155123·1229 定价 13.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究