

# 电力系统仿真仪不确定度评定方法

李亚萍<sup>1</sup>, 林东昭<sup>1</sup>, 姬凤林<sup>2</sup>, 周拥华<sup>1</sup>

(1. 许昌继电器研究所, 河南 许昌 461000; 2. 许继电器公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 从继电保护的角度出发, 以电力系统仿真仪为例, 提出几种确定误差分量不确定度的方法, 根据合成的标准差按正态分布计算总的确定度。

**关键词:** 继电保护; 不确定度; 重复性; 合成不确定度

**中图分类号:** TM931/938, TB9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-4897(2000)10-0028-03

## 1 引言

继电保护及自动装置是保证电力系统安全运行和提高电能质量的重要设备。它的基本性能及可靠工作的能力对电力系统的正常运行及用户的安全生产有着很大的影响<sup>[1]</sup>。因此, 继电保护及装置在入网之前都必须要做严格的试验, 取得合格证书才能向用户交付使用。

试验的目的就是按照一定的标准和技术条件检验装置的各种基本性能及可靠工作的能力。由于电力系统是国家命脉的重要领域, 对相关产品的检验结果必须具有很高的可信度, 也就是说, 检验结果的不确定度要足够小。

不确定度是用来说明基准标准、检定测试水平、作为量值传递的依据, 表明仪器的质量<sup>[2,3]</sup>, 是让用户放心的一个参数。

造成测量结果不确定的因素很多, 一般来源于测量装置, 测量方法, 测量环境, 测量人员, 测量对象变化等因素的波动和差异<sup>[2]</sup>。其中, 测量装置的不确定度是影响测量结果的主要因素。

## 2 测量装置的不确定度评定方法

目前, 继电保护检验普遍使用的 F2250 电力系统仿真仪, 涵盖了继电保护检测中的大多数常规性能检验项目。它是由一组精密的测试仪器集成的。其中最主要的功能是有电压源, 电流源, 计时器及移相器, 用以对继电保护产品进行常规性能检验。如对电流三段保护的整定值进行检验, 对动作时间检测等。

### 2.1 计数器的不确定度

F2250 电力系统仿真仪电子计数器的主要技术指标:

误差:  $\pm 0.0005\%$ (读数)

分辨力:  $10\mu\text{s}$

时间常数:  $50\mu\text{s}$

其主要不确定度来源有以下几项:

#### 2.1.1 时基引起的不确定度

根据 Doble 公司的计数器技术说明, 其相对不确定度为  $\pm 0.0005\%$ , 因此, 当被测时间间隔(整定时间)为  $T_X$  时(可以平均值代替), 则时基引起的不确定度<sup>[3]</sup>:

$$U_1 = 5 \times 10^{-6} \times T_X$$

例如: 整定时间为  $0.3\text{s}$ , 则  $U_1 = 1.5 \times 10^{-6}\text{s}$

取均匀分布<sup>[2,3]</sup>(考虑误差偏大)

$$u_1 = U_1/\sqrt{3} = 0.87 \times 10^{-6}(\text{s})$$

#### 2.1.2 分辨力造成的不确定度

设分辨力为  $R$ ,  $R = 10\mu\text{s}$

分辨力影响变化半宽范围<sup>[2,3]</sup>,  $a = R/2$

取均匀分布, 其标准差为<sup>[2,3]</sup>:

$$u_2 = \frac{R}{2\sqrt{3}} = \frac{10^{-5}}{\sqrt{12}} = 2.89 \times 10^{-6}(\text{s})$$

#### 2.1.3 常数不确定度

由 Doble 公司计数器的技术指标, 可得常数不确定度为<sup>[3]</sup>:

$$U_3 = 5 \times 10^{-5}\text{s}$$

取均匀分布

$$u_3 = U_3/\sqrt{3} = 5 \times 10^{-5}/\sqrt{3} = 2.89 \times 10^{-5}(\text{s})$$

#### 2.1.4 测量装置的重复性

测量仪器的重复性是指, 在相同条件下, 重复使用相同的被测量, 测量仪器提供相同示值的能力<sup>[2,4]</sup>, 重复性常以示值的分散性标准差  $s$  来表示。

为了求得这个量, 需要选择稳定性好的被测量来评价计量装置的重复性。

我们选用 STG 标准时间间隔发生器(9801), 外加频标 EE1600 高频石英晶振, 作为时间源, 对某一时间值(50ms)测量五次, 求出 Doble 公司的计数器

## 重复性(用贝塞尔公式)

次数	1	2	3	4	5
测量值(ms)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00

算术平均值<sup>[2,3,4]</sup>:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

$$\bar{x} = 50\text{ms}$$

实验标准差<sup>[2,3,4]</sup>:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$$s = 0$$

不确定度列表:

序号	不确定度来源	符号	数值( $10^{-6}\text{s}$ )
1	时基	$u_1$	0.87
2	分辨力	$u_2$	2.89
3	时间常数	$u_3$	28.9
4	重复性	$s_1$	0

合成不确定度:

以上各不确定度分量无关,则<sup>[2,3]</sup>:

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + s_1^2}$$

$$u = 29.06 \times 10^{-6}\text{s}$$

总不确定度:

由于继电保护产品是关系到电力系统可靠运行的重要产品,对继电保护产品的各项性能检验结果要求具有可信用度高的评价。为此,需要将合成不确定度乘以包含因子  $K$ ,以获得展伸不确定度,即总不确定度,它具有比较高的置信概率<sup>[2,3,4]</sup>。

取  $K=2$ , 对应置信概率为 95 %

取  $K=3$ , 对应置信概率为 99 %

当取  $K=3$  时,总不确定度为:

$$U = 3u$$

$$U = 3 \times 29.06\mu\text{s} = 87.18\mu\text{s}$$

取两位有效位:则  $U = 88\mu\text{s}$

## 2.2. F2250 电压源的不确定度

## 2.2.1 精度带来的不确定度

根据 F2250 仿真仪对交流电源的技术说明,包括电源的稳定度,温度,负载在内的所有误差为  $\pm 0.5\%$ (读数),则由于精度带来的不确定度为:

取读数为典型值 100V

$$U_1 = 5 \times 10^{-3} \times 100 = 0.5\text{V}$$

由于此项误差随机性较强,取正态分布,则

$$u_1 = U_1/3 = 0.167\text{V}$$

## 2.2.2 分辨力造成的不确定度

设分辨力为  $R$ ,不同的量程具有不同的分辨力,对 100V 的测量值,它对应的量程所具有的分辨力为 0.01V,取均匀分布,则

$$u_2 = 0.01/2\sqrt{3} = 0.003\text{V}$$

## 2.2.3 仪器的重复性

我们选用 8840 数字多用表,精度 0.4%,对 100V 进行多次检测,求 Doble 公司的电压源的重复性。

次数	1	2	3	4	5
测量值(V)	100.448	100.449	100.448	100.446	100.447
次数	6	7	8	9	10
测量值(V)	100.445	100.445	100.446	100.444	100.445

算术平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

$$\bar{x} = 100.446\text{V}$$

实验标准差:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$$s = 1.64 \times 10^{-3}\text{V}$$

不确定度列表:

序号	不确定度来源	符号	数值(mv)
1	精度	$u_1$	167
2	分辨力	$u_2$	3
3	重复性	$s_1$	1.64

由上表可知,由分辨力及重复性带来的不确定度非常小,可以忽略。

合成不确定度:

$$u = 167\text{mv}$$

总不确定度:

$$U = 3u = 167 \times 3 = 501\text{mv} = 0.50\text{V}$$

## 2.3 F2250 电流源的不确定度

## 2.3.1 精度带来的不确定度

根据 F2250 仿真仪对交流电流源的技术说明,包括电源的稳定度,温度,负载在内的所有误差为  $\pm 0.5\%$ (读数),则由于精度带来的不确定度为:

取读数为典型值 5A

$$U_1 = 5 \times 10^{-3} \times 5 = 0.025\text{A}$$

由于此项误差随机性较强,取正态分布,则

$$u_1 = U_1/3 = 0.0083\text{A}$$

## 2.3.2 分辨力造成的不确定度

设分辨力  $R$ ,不同的量程具有不同的分辨力,对

5A的测量值,它对应的量程所具有的分辨力为0.001A,取均匀分布,则

$$u_2 = 0.001/2\sqrt{3} = 0.0003A$$

### 2.3.3 仪器的重复性

我们选用 TPE303 三相精密测试仪,精度0.01%,对5A进行多次检测,求Doble公司的电流源的重复性。

次数	1	2	3	4	5
测量值(V)	5.0093	5.0092	5.0092	5.0092	5.0091
次数	6	7	8	9	10
测量值(V)	5.0091	5.0091	5.0090	5.0091	5.0090

算术平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

$$\bar{x} = 5.0091A$$

实验标准差:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$$s = 9.49 \times 10^{-5} A$$

不确定度列表:

序号	不确定度来源	符号	数值(mA)
1	精度	$u_1$	8.3
2	分辨力	$u_2$	0.3
3	重复性	$s_1$	0.095

由上表可知,由分辨力及重复性带来的不确定度非常小,可以忽略。

合成不确定度:

$$u = 8.3mA$$

总不确定度:

$$U = 3u = 8.3 \times 3 = 24.9mA$$

取两位有效位:  $U = 25mA$

## 2.4 移相器的不确定度

### 2.4.1 精度带来的不确定度

根据 F2250 电力系统仿真仪的说明,误差为

$\pm 0.25^\circ$ ,则由其带来的不确定度为:

$$U_1 = 0.25^\circ$$

取正态分布,则:

$$u_1 = 0.25^\circ / 3 = 0.08^\circ$$

### 2.4.2 分辨力造成的不确定度

设分辨力为  $R$ ,  $R = 0.1^\circ$ ,取均匀分布,则

$$u_2 = 0.1^\circ / 2\sqrt{3} = 0.03^\circ$$

不确定度列表:

序号	不确定度来源	符号	数值( $^\circ$ )
1	精度	$u_1$	0.08 $^\circ$
2	分辨力	$u_2$	0.03 $^\circ$

合成不确定度:

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.09^\circ$$

总不确定度:

$$U = 3u = 3 \times 0.09^\circ = 0.27^\circ$$

## 3 结论

本文提出的电力系统仿真仪不确定度评定方法,可以做为实验室开展对其它测试仪器不确定度评定的基础,利用计算机 GUI 技术,可以建立实验室评定测量结果不确定度的计算机辅助计算系统。

### 参考文献:

- [1] 陶然,熊为群. 继电保护、自动装置及二次回路. 中国电力出版社. 1998,9.
- [2] 刘智敏,陈昆尧,翁怀真等. 测量不确定度手册. 中国计量出版社. 1997,3.
- [3] 刘智敏,刘凤. 现代不确定度方法与应用. 中国计量出版社. 1997,12.
- [4] 国家质量技术监督局. 计量检定规程工作文件选编. 内部资料. 1999,3.

收稿日期: 2000-05-09

作者简介: 李亚萍(1965-),女,博士,研究方向为机电一体化; 林东昭(1968-),男,助工,从事继电保护检测工作; 姬凤林(1942-),男,高工,研究方向为电力系统自动化。

## Evaluation method of uncertainty for power system simulator

LI Ya-ping<sup>1</sup>, LIN Dong-zhao<sup>1</sup>, JI Feng-lin<sup>2</sup>

(1. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China; 2. XI Electrical Appliances Company, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** This paper presents the evaluation methods of uncertainty of error components for power system simulator. According to the combined standard uncertainty, the expanded uncertainty based on Gauss Distribution is calculated.

**Keywords:** power system protection; uncertainty; repeatability; combined uncertainty