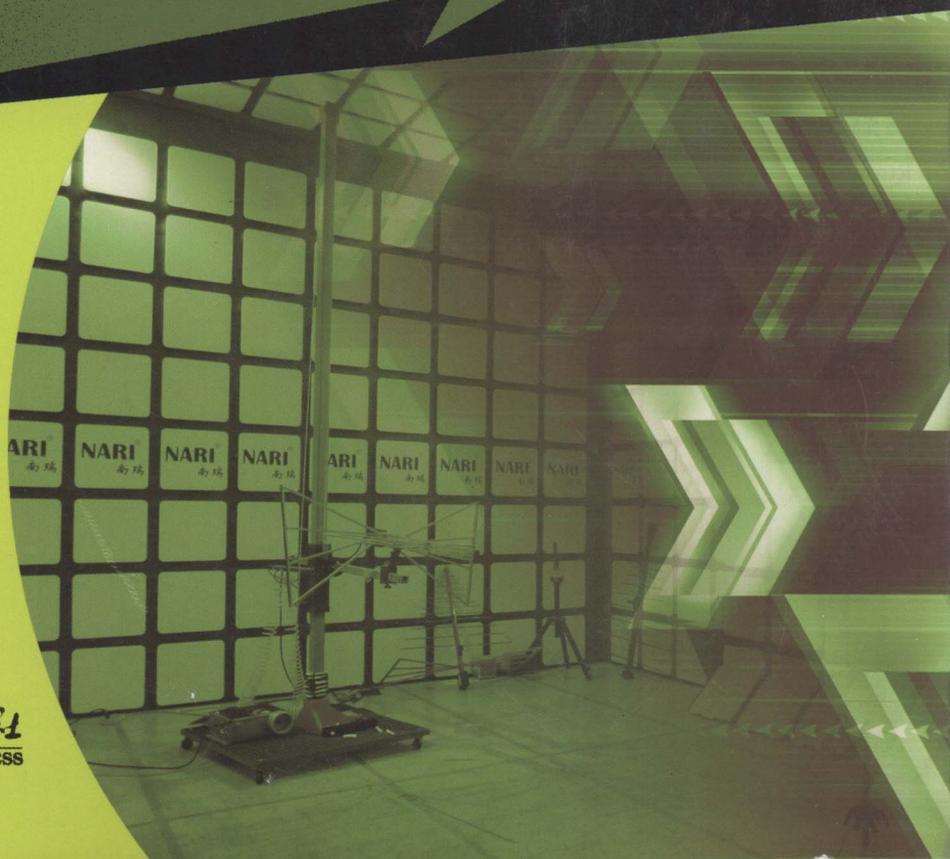


国网电力科学研究院实验验证中心 编

# 继电保护 及自动化设备检验 培训教材



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



# 继电保护及 自动化设备检验 培训教材

国网电力科学研究院实验验证中心 编



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

为帮助检验工作者出色地完成继电保护及自动化设备检验工作，特编写了本教材。

本教材内容紧密结合工作实际，详细实用，共分四篇，第一篇主要介绍检验基础知识及通用检验方法，第二篇介绍继电保护装置检验，第三篇介绍自动化设备检验，第四篇介绍其他设备检验。

本教材可作为从事电力系统继电保护及自动装置的质量认证、检验，调试、设计、制造等工程技术人员的培训用书，也可供电力系统二次回路运行部门的现场运行、调试工程技术人员，以及大专院校有关专业师阅读。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护及自动化设备检验培训教材/国网电力科学研究院  
实验验证中心编. —北京：中国电力出版社，2011. 10

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2247 - 9

I. ①继… II. ①国… III. ①继电保护—技术培训—教材  
②继电自动装置—技术培训—教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 214616 号

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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 29.75 印张 729 千字 2 彩页

印数 0001—3000 册 定价 68.00 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
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

## 编 委 会

主 编 施玉祥

副主编 韩天行 沈鼎申

编 委 汤效军 胥岱遐 付静波 黄 鑫

孙 军 周永荣 程利军 张振军

肖保明 张 梅 李 芹 严冰融

姜宁浩 沈雪梅 蒋 鹏 王 煜

王思皓 蔺 杰 马 莹 但富中

# 前言

随着国民经济的高速发展，对能源特别是电力的需求越来越高，一方面要求不断扩大规模及发展各种新的能源以适应经济的发展，另一方面要求电力系统安全、可靠、经济的运行。为了保证电力系统的安全、可靠、经济运行，要求电力系统中的各种设备包括一次设备和二次设备应具有高质量和可靠性，因此需要依据各种标准和规范对设备性能和功能进行检验。

产品检验及校准是鉴定产品质量的一个重要的环节。检验及校准的目的就是验证产品的性能是否符合相关的国家标准、行业标准、企业标准以及相关的技术规范的要求，特别是现场检验更是保证即将投入运行产品质量的重要一环。随着计算机技术、通信技术广泛应用在电力系统继电保护和自动化设备产品中，使继电保护和自动化产品向着计算机化、网络化、智能化方向发展，同时也带动了产品的检测技术的提高和检测方法的更为完善。

继电保护和自动化设备在电力系统安全稳定运行中起着重要作用，因此其性能及功能的优劣直接影响电网的安全可靠。编者根据继电保护和自动化设备和检验技术的发展，通过二十多年对继电保护及自动化设备检验的实践，在总结检验技术、方法基础上，编写了本教材。以满足从事电力系统继电保护及自动化设备的检验、质量认证、调试等人员的需要，特别是满足电力行业现场调试人员的需要；同时也为满足从事继电保护试验装置生产、调试、校准工作人员的需要。

本培训教材分为四篇共十四章，第一篇主要介绍了检验基础知识及通用检验方法，该篇由五章组成，讲述了检验的基本条件，数据处理、测量误差、测量结果的不确定度，结构及外观检查，绝缘性能检验，电磁兼容性能检验等内容。第二篇介绍了继电保护装置检验方法，该篇分为五章，讲述了继电保护装置的基本电气性能检验方法，微机型继电保护装置的通用检验方法，基础保护装置、主设备保护装置、输电线路保护装置检验方法等内容。第三篇介绍了自动化设备检验方法，该篇分为二章，讲述了主要自动化装置和自动化系统性能的检验方法等内容，第四篇主要讲述了一些通信产品、直流电源产品和其他一些产品的检验方法。

本书由国网电力科学研究院实验验证中心编写，由施玉祥、韩天行统稿，并对全书最后定稿。全教材由顾欣欣、许慕梁教授高工审核。

由于编写时间仓促，本书中有不当和错误之处在所难免，恳请各位专家、学者、从事质检工作人员以及读者批评指正。

编者

## 目 录

前言

## 第一篇 检验基础知识及通用检验方法

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第一章 检验的基本条件               | 3   |
| 复习思考题                     | 21  |
| 第二章 数据处理、测量误差、测量结果的测量不确定度 | 22  |
| 第一节 数据处理                  | 22  |
| 第二节 测量误差                  | 26  |
| 第三节 测量结果的不确定度及评定          | 30  |
| 复习思考题                     | 42  |
| 第三章 外观检查                  | 43  |
| 第一节 继电保护及自动化装置的结构及外观检查    | 43  |
| 第二节 屏、柜的结构及外观检查           | 45  |
| 复习思考题                     | 51  |
| 第四章 绝缘性能检验                | 52  |
| 第一节 电气间隙及爬电距离             | 52  |
| 第二节 绝缘电阻及介质强度检验           | 57  |
| 复习思考题                     | 59  |
| 第五章 电磁兼容性能检验              | 60  |
| 第一节 电磁兼容概况                | 60  |
| 第二节 抗扰度试验                 | 71  |
| 第三节 电磁发射试验                | 119 |
| 复习思考题                     | 126 |

## 第二篇 继电保护装置基本检验方法

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第六章 基本电气试验方法         | 129 |
| 第一节 继电保护装置的准确度及表示方法  | 129 |
| 第二节 线圈基本参数测量         | 131 |
| 第三节 动作特性检验           | 138 |
| 第四节 时间参数检验           | 144 |
| 复习思考题                | 148 |
| 第七章 微机型继电保护装置的通用检验方法 | 149 |
| 第一节 微机型保护装置的硬件性能检验   | 149 |

|            |                   |     |
|------------|-------------------|-----|
| 第二节        | 微机型保护装置的软件性能检验    | 154 |
|            | 复习思考题             | 158 |
| <b>第八章</b> | <b>基础保护检验</b>     | 159 |
| 第一节        | 电流保护              | 159 |
| 第二节        | 电压保护              | 161 |
| 第三节        | 欠频率保护             | 164 |
| 第四节        | 差动保护              | 166 |
| 第五节        | 功率方向保护            | 167 |
| 第六节        | 阻抗保护              | 173 |
|            | 复习思考题             | 176 |
| <b>第九章</b> | <b>主设备保护装置检验</b>  | 177 |
| 第一节        | 变压器成套保护装置         | 177 |
| 第二节        | 发电机成套保护装置         | 193 |
| 第三节        | 母线保护装置            | 215 |
| 第四节        | 电动机保护装置           | 222 |
| 第五节        | 电容器保护装置           | 223 |
| 第六节        | 电抗器保护装置           | 223 |
|            | 复习思考题             | 224 |
| <b>第十章</b> | <b>输电线路保护装置检验</b> | 225 |
| 第一节        | (负序、零序) 电流增量保护    | 225 |
| 第二节        | 零序电流方向保护装置        | 227 |
| 第三节        | 距离保护装置            | 228 |
| 第四节        | 相差动高频保护装置         | 231 |
| 第五节        | 继电保护专用载波收发信机      | 234 |
| 第六节        | 方向比较式纵联保护装置       | 237 |
| 第七节        | 综合重合闸             | 239 |
| 第八节        | 三相一次重合闸           | 245 |
| 第九节        | 分相操作箱             | 246 |
| 第十节        | 高压线路成套保护装置        | 250 |
| 第十一节       | 线路保护装置            | 261 |
| 第十二节       | 馈线保护装置            | 271 |
| 第十三节       | 高压柜综合保护装置         | 274 |
|            | 复习思考题             | 278 |

### 第三篇 自动化设备检验

|             |                |     |
|-------------|----------------|-----|
| <b>第十一章</b> | <b>自动化装置检验</b> | 281 |
| 第一节         | 远动终端设备         | 281 |
| 第二节         | 电能信息采集终端       | 288 |

|             |                |            |
|-------------|----------------|------------|
| 第三节         | 综合测控装置         | 319        |
| 第四节         | 自动准同期装置        | 321        |
| 第五节         | 低频减载装置         | 324        |
| 第六节         | 小电流接地系统自动选线装置  | 326        |
| 第七节         | 备用电源自动投入装置     | 330        |
| 第八节         | 电压无功自动控制装置     | 333        |
| 第九节         | 故障录波装置         | 338        |
|             | 复习思考题          | 348        |
| <b>第十二章</b> | <b>自动化系统检验</b> | <b>349</b> |
| 第一节         | 调度自动化系统        | 349        |
| 第二节         | 变电站自动化系统       | 356        |
| 第三节         | 配电自动化系统        | 367        |
| 第四节         | 电能信息采集与管理系统    | 396        |
|             | 复习思考题          | 404        |

## 第四篇 通信产品及其他设备检验

|             |               |            |
|-------------|---------------|------------|
| <b>第十三章</b> | <b>通信产品检验</b> | <b>407</b> |
| 第一节         | 电力线载波机        | 407        |
| 第二节         | 电力调度交换机       | 413        |
| 第三节         | 光端机           | 429        |
|             | 复习思考题         | 440        |
| <b>第十四章</b> | <b>其他设备检验</b> | <b>441</b> |
| 第一节         | 直流电源屏(柜)      | 441        |
| 第二节         | 通信电源          | 448        |
| 第三节         | 防止电气误操作装置     | 455        |
| 第四节         | 电能质量监测        | 458        |
| 第五节         | 电能质量监测设备      | 461        |
|             | 复习思考题         | 464        |
| <b>附录</b>   |               | <b>465</b> |

# 第一篇

## 检验基础知识及通用检验方法

继电保护及自动化设备检验培训教材





# 第一章

## 检验的基本条件

### 内容提要

本章主要介绍了继电保护及自动化产品检验的基本条件，检验使用的电源、仪器仪表（包括数字式仪表）的技术要求以及继电保护试验装置的技术要求和使用方法。

学习本章的目的是：正确掌握产品检验的基本环境条件、电源条件；了解仪器仪表的技术性能和技术参数，正确使用仪器仪表，保证检验结果的准确性。了解继电保护试验装置的技术参数，正确使用继电保护试验装置的各种功能，提高产品检验的质量。

为了准确地检验继电保护及自动化设备等产品的性能，排除各种影响量及影响因素对产品性能的影响，要求在检验继电保护及自动化设备等产品基本电气性能时，必须在一个基准试验条件或参比试验条件下进行，这些试验条件在相关的产品标准中都予以规定。对于继电保护产品的国家标准 GB/T 7261—2008《继电保护及安全自动化装置基本试验方法》中规定了继电保护及安全自动化装置试验的基准条件，基准条件包括环境条件、电源条件以及产品的安装条件等。对于自动化系统中的国家标准 GB/T 13729—2002《远动终端设备》及相关自动化系统的电力行业标准中规定了参比试验条件，参比试验条件也包括环境条件、电源条件等。

除此之外，根据被测产品性能的准确度的高低要求测试仪器、仪表应具有一定的精度。只有这样才能保证产品测试结果的准确性和可靠性。

### 一、继电保护及安全自动化装置基本性能检验的基准试验条件

国家标准 GB/T 7261—2008《继电保护及安全自动化装置基本试验方法》依照国际电工委员会 TC 195 技术委员会所颁布的 IEC 60255 系列标准中，对产品试验的试验条件作了如下的规定。

#### （一）检验的环境条件

##### 1. 有或无继电器检验的环境条件

（1）除另有规定外，检验应在正常试验大气条件下进行。正常试验大气条件为：

环境温度：15~35℃；

相对湿度：45%~75%；

大气压力：86~106kPa。

（2）对于具有准确度要求的有或无继电器应在基准条件下进行检验。基准条件为：

环境温度：20℃±2℃；

相对湿度：45%~75%；

大气压力：86~106kPa。

2. 量度继电器及保护装置检验的环境条件

除另有规定和变差检验外，检验应在基准条件下进行。试验环境的基准条件及试验允许偏差（以下简称试验允差）见表 1-1。

**表 1-1 检验环境的基准条件及试验允差**

| 环境条件    | 基准条件  | 试验允差 | 环境条件      | 基准条件   | 试验允差 |
|---------|-------|------|-----------|--------|------|
| 环境温度（℃） | 20    | ±2   | 大气压力（kPa） | 86~106 | —    |
| 相对湿度（%） | 45~75 | —    | 外磁感应（mT）  | 0      | 0.5  |

(二) 检验的电源性能

除变差检验外，所有检验应在基准试验条件下进行，检验电源的基准条件及试验允差见表 1-2。

**表 1-2 试验电源的基准条件及试验允差**

| 试 验 电 源             | 基准条件 | 试 验 允 差                    |
|---------------------|------|----------------------------|
| 交流电源频率              | 50Hz | ±5%                        |
| 交流电源波形              | 正弦波  | 波形畸变 5%（或 2%） <sup>①</sup> |
| 交流电源中直流分量           | 零    | 峰值的 2%                     |
| 直流电源中的交流分量          | 零    | 0~6%*                      |
| 三相平衡电源中相电压或线电压      | 大小相等 | 差异应不大于电压平均值的 1%            |
| 三相平衡电源中相电流          | 大小相等 | 差异应不大于电流平均值的 1%            |
| 三相平衡电源中各相电压与该相电流间夹角 | 相等   | 2°                         |

①为多输入量的量度继电保护及自动化装置试验电源的交流电源波形畸变系数。

\* 按峰—峰值波纹系数定义。交流分量峰值对脉动量的直流分量绝对值之比时，试验允许偏差为 6%。

(三) 安装位置

产品检验时，安装位置对于任一方向允许偏差为 2°。

(四) 检验用仪器、仪表

除另有规定外，检验时使用的仪器、仪表准确度应满足下面要求。

(1) 一般使用仪表准确度应根据被测量的误差等级按表 1-3 进行选择。

**表 1-3 仪表准确度等级**

| 误差（%）    | <0.5 | ≥0.5~1.5 | >1.5~5 | ≥5   |
|----------|------|----------|--------|------|
| 仪表准确度（级） | 0.1  | 0.2      | 0.5    | 1.0  |
| 数字仪表准确度  | 6 位半 | 5 位半     | 4 位半   | 4 位半 |

(2) 测量相位用仪表不低于 1.0 级。

(3) 测量温度用仪表误差不超过 ±1℃。

(4) 测量时间用仪表：当测量时间大于 1s 时，相对误差不大于 5/1000；测量时间小于等于 1s 时，测量时间仪表的分辨率应为 0.1ms。

(5) 其他测试仪表精度应满足相应标准要求，并符合有关计量认证的要求。

(6) 所有使用的仪器都要按规定的要求进行计量检定，检定合格的仪器并在检定周期内才能投入检验工作。

## 二、自动化系统基本性能检验的参比试验条件

国家标准 GB/T 13729—2002《远动终端设备》及相关自动化系统的电力行业标准对自动化系统中各类终端数据采集等功能检验时，影响量的参比条件规定如下：

环境温度：15~30℃。

被测量的频率：50Hz±5%。

被测量的波形：正弦，波形畸变不超过规定的等级、如谐波不超过5%。

工作电源：额定值±2%。

外部磁场：无，允许偏差不超过地磁场强度。

电流不平衡度：平衡。

三相电源：为三相平衡电压和三相平衡电流。

三相平衡电源中每一相电压或线电压应大小相等，差异应不大于电压平均值的1%；三相平衡电源中每一相电流应大小相等，差异应不大于电流平均值的1%；每一相电流对该相电压（相对中线）夹角与其他相电流和相电压夹角之差应不大于2°。

检验用仪器、仪表应按被测量的误差等级选择仪表精度。要应按规定的要求进行计量检定，检定合格的仪器并在检定周期内才能投入检验工作。

## 三、试验电源

试验电源性能的好坏直接影响到产品性能检验结果的准确性，因此正确选择试验电源、改进试验电源的性能对检验工作是一项极为重要的工作。

### （一）直流电源

反映直流电源性能的主要技术指标是直流电源中所含有交流分量的比例，即纹波系数。

在 IEC 标准中定义直流电源的纹波系数为直流电源中的交流分量的峰—峰值与直流电源的平均值之比。如果直流电源中所含有的交流分量越大，则直流电源的纹波系数越大，直流电源的性能越差，对产品性能检测的影响越大。

继电保护装置检验要求直流电源的纹波系数不大于6%。

现在许多检验部门已经使用了微型继电保护试验装置中的直流电源，满足了继电保护和自动化设备基本性能检验的需要。

使用直流电源时，先要测量直流电源的纹波系数，可通过图 1-1 所示的线路来进行测量。图中，直流电压表测量直流电源的直流电压的平均值。测量直流电压的交流分量，应使用数字式峰—峰值电压表。

如果没有数字式峰—峰值电压表时，也可选用真空管式电压表、电子管电压表、均方根响应的数字式电压表和峰值电压表等，测量交流分量的峰—峰值误差较大。测量值反映是交流分量的最大值，需要换算为交流分量的峰—峰值。具体换算过程如下：

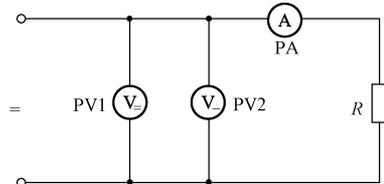


图 1-1 直流电源纹波因数测试线路  
PV1—直流电压表；PV2—交流电压表；PA—直流电流表

1. 计算交流分量峰—峰值

(1) 使用真空管电压表、电子管电压表、均方根响应的数字式电压表等测量时：

$$\text{交流分量的峰—峰值} = 2\sqrt{2} \times \text{电压表的读数}$$

(2) 使用峰值电压表测量时：

$$\text{交流分量的峰—峰值} = 2 \times \text{电压表的读数}$$

2. 计算出纹波因数  $K_f$

$$K_f = \frac{\text{交流分量的峰—峰值}}{\text{直流电压的平均值}}$$

直流电源的技术指标除了纹波系数外，还有稳压精度、稳流精度等。

(二) 交流电源

在实验室所使用的交流电源主要有单相电源和三相电源两种。

1. 单相电源

衡量单相交流电源的性能好坏的主要技术指标是波形畸变，波形畸变的大小是用波形畸变系数来衡量。

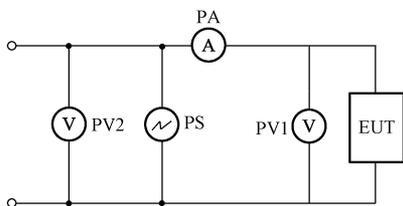


图 1-2 交流波形畸变因数测试线路

PS—示波器；PV2—失真度测试仪；

PV1—交流电压表；PA—交流电流表

使用交流电源时，首先要测量所使用的交流电源的波形畸变系数。

测量波形畸变系数应使用失真度测试仪，测试线路如图 1-2 所示。

测量波形畸变系数还可以用示波器观察，也可以用谐波分析仪来检测交流电源中所含有的谐波量的大小。

2. 三相电源

三相电源的技术指标除了对单相电源的要求外，另一个重要的技术指标是三相电源是否是三相平衡电源。

反映三相平衡电源的技术指标有：三相电源的相电压或线电压大小应相等，相电流大小应相等，各相电压与该相电流间夹角也应相等。上述技术指标的允差见表 1-2。

3. 交流电源频率

按有关标准的规定：交流电源的频率为  $50\text{Hz} \pm 0.5\text{Hz}$ ，电网的频率有时达不到此要求。在检验工作中，应注意电源频率变化引起被试产品和测试仪表的误差。

现在使用的微机型继电保护试验装置，它的三相电流、电压信号发生器是符合检验继电保护及自动化设备检验的要求，它输出的三相电流、电压符合三相平衡电源的要求。

四、仪器、仪表的要求

(一) 电气测量仪表的分类

电气测量仪表种类繁多，分类的方法也很多，常用的分类方法有如下几种：

1. 按工作原理分类

按工作原理分类：磁电式、电磁式、电动式、感应式、整流式、热电式和数字式仪表等。

2. 按用途分类

按用途分类：电流表（安培表、毫安表、微安表），电压表（伏特表、毫伏表），功率表

(瓦特表), 电阻表 (高阻表、绝缘电阻表、欧姆表、毫欧表), 相位表 (功率因数表) 频率表, 多用表 (万用表) 等。

### 3. 按测量量的电源分类

按测量量的电源分类: 交流表、直流表, 交直流两用表等。

### 4. 按测量的准确度分类

按测量的准确度分类: 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 级。

## (二) 电气测量仪表的误差

使用任何类型的测量仪表去测量被测量时, 其测量仪表的指示值与被测量的真值之间都会存在一定的差别, 这个差别就是测量仪表的误差。

误差的大小反映测量仪表的指示值与被测量量的真值的差别程度的大小。

可以用仪表的误差来反映仪表的准确度, 测量仪表的准确度越高表示测量仪表的误差越小。

根据电气测量仪表的特点, 引起仪表的误差有两类:

(1) 基本误差: 仪表在正常工作条件下进行测量时所产生的误差。基本误差是仪表本身的固有误差。仪表的基本误差是以不超过仪表的满量程的大小来规定的, 具体规定见表 1-4。

表 1-4 仪表基本误差的规定

| 仪表准确度等级  | 0.1  | 0.2  | 0.5  | 1.0  | 1.5  | 2.5  | 5.0  |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 基本误差 (%) | ±0.1 | ±0.2 | ±0.5 | ±1.0 | ±1.5 | ±2.5 | ±5.0 |

(2) 附加误差: 仪表在非正常工作条件下进行测量时, 除基本误差外, 还会出现附加的误差。

## (三) 电气测量仪表的误差表示方式

### 1. 绝对误差

绝对误差为测量值与被测量真值之间的差值。

$$\Delta = A_x - A_0$$

式中  $A_x$ ——测量值 (测量结果);

$A_0$ ——被测量真值;

$\Delta$ ——绝对误差。

### 2. 相对误差

相对误差是绝对误差  $\Delta$  与被测量真值  $A_0$  之间的比值。它通常用百分数  $\gamma$  表示, 即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

### 3. 引用误差

绝对误差  $\Delta$  与仪表误差的最大量程  $A_m$  之间的比值。它通常用百分数  $\gamma_m$  表示, 即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$$

### 4. 应用仪表准确度估计测量误差

在使用电气测量仪表进行直接测量时, 可以根据仪表的准确度等级来估计测量结果的误差。仪表在规定的正常条件下进行测量, 在测量过程中可能出现的最大绝对误差, 除了与仪

表的准确度等级成正比外，还与仪表测量的最大量程大小有关。

$$\Delta_m = \pm K\% \cdot A_m$$

式中  $\Delta_m$ ——最大绝对误差；

$\pm k\%$ ——仪表准确度；

$A_m$ ——仪表测量最大量程。

用该仪表进行测量，所得到的测量值为  $A_x$ ，其测量结果可能出现的最大相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm k\% \cdot A_m}{A_x} \times 100\%$$

### 5. 使用仪表的一般要求

为了保证测量结果的准确性，应根据被测量的特性来选择合适的仪表。对继电保护及自动化设备的检验，应要求所使用的全部仪表的准确度满足表 1-3 的要求。

除了仪表本身的基本误差和使用条件所引起的附加误差外，还有一个重要原因是由于测量方法的不当和仪表选择不合理所造成的。在选择测量仪表时，应对仪表的技术性能有比较全面的了解，使其测量结果的误差降低到最小。

### 6. 选择仪表的原则

(1) 根据被测量的性质选择仪表的类型。

1) 根据被测量是交流还是直流，选用交流仪表还是直流仪表。

2) 测量交流量时，应根据交流量是正弦波还是非正弦波来选择仪表。

(2) 测量非正弦量时，应注意波形的特征参数对测试结果的影响。

(3) 按测量线路和被试产品线圈阻抗的大小选择仪表的内阻。

测量电压时，都是将电压表并联在被测量电压的两端，如图 1-3 所示。如果使用的仪表内阻不是足够大时，电压表接入测量线路后，将改变原来测量线路的参数，使测量的电压值出现很大的误差。所以要求测量电压的仪表内阻越大越好，仪表内阻  $R_V \geq 100R$  ( $R$  为被试产品的电阻值)，仪表内阻对被试产品的影响可忽略不计。

测量电流时，电流表是串接在测量线路中，如图 1-4 所示。为了使电流表接入被试线路中不影响被试线路的工作状态，要求电流表的内阻越小越好。一般要求电流表的内阻  $R_A \leq \frac{R}{100}$  时，就可以忽略电流表内阻的影响。

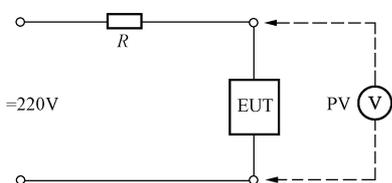


图 1-3 电压表的试验线路

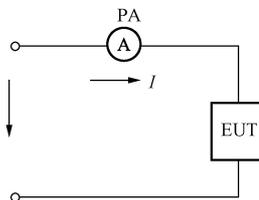


图 1-4 电流表的试验线路

(4) 根据被测量的大小选择适当量程的仪表。根据被测量的大小选择适当量程的仪表，可以得到准确度较高的测量结果。如果选择不当，就会使测量结果出现很大的误差。测量结果的准确度除了与仪表的准确度有关外，还与仪表的量程有关。一般要求被测量量的大小应在仪表测量上限的  $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$  以上。另外在选择仪表量程时，还应注意被测量的大小不能超过仪

表测量的量程，特别是高灵敏度的仪表。当被测量超过仪表的量程时，很容易损坏仪表。所以在使用仪表时要特别予以重视，防止事故，避免仪表的损坏。

(5) 应根据使用的场所及工作条件，选择仪表。

### 7. 数字式仪表

在电子技术、脉冲技术和计算机技术的迅速发展下，引起了电工测量技术的重大变化，现在数字式仪表的应用越来越广泛。在使用数字式仪表应根据测量值的精度来选择仪表的显示位数，具体要求可按表 1-3 的规定。

(1) 数字式仪表的特点。数字式仪表具有使用方便、显示值直观，越来越受到使用者的欢迎。它具备以下特点：

1) 数字式仪表显示被测量的数值是用数码形式直接显示出来，读数方便、不会产生视差。

2) 数字式仪表准确度高，可达 $\pm 0.0005\%$ ，其误差为最末位数 $\pm 1$ 个字。

3) 测量速度快，测量速度可以从每秒 50 次到每秒几万次。

4) 可以将测量结果进行远程传送，在传送过程中，不易受到外界的干扰，测量精度不受影响。

5) 具有耐冲击、耐振动的良好性能。

6) 输入阻抗高，保证最小的测量误差。

7) 质量轻，便于携带。

8) 测量交流量时，频率范围很大。

(2) 数字式仪表的准确度及其组成。

1) 数字式仪表的准确度：一般用绝对误差表示，即

$$\Delta = U_x - U_n$$

式中  $\Delta$ ——绝对误差；

$U_x$ ——工作仪表测量值；

$U_n$ ——标准仪表测量值，标准仪表准确度应比工作仪表的准确度至少高两个等级。

数字式仪表的准确度等级分为 0.0005、0.001、0.002、0.005、0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0 十一个等级；一般要求 0.0005、0.001、0.002 级数字式仪表应有  $6 \sim 6 \frac{1}{2}$  或  $7 \sim 7 \frac{1}{2}$  位显示；0.005、0.01 级数字式仪表应有  $5 \sim 5 \frac{1}{2}$  或  $6 \sim 6 \frac{1}{2}$  位显示；0.02、0.05、0.1 级数字式仪表应有  $4 \sim 4 \frac{1}{2}$  或  $5 \sim 5 \frac{1}{2}$  位显示；0.2、0.5、1.0 级数字式仪表应有  $3 \sim 3 \frac{1}{2}$  或  $4 \sim 4 \frac{1}{2}$  位显示。

2) 数字式仪表的误差限表示方式，误差限的表示方式有三种，即

$$\Delta_m = \pm a\%U_x \pm b\%U_m$$

$$\Delta_m = \pm a\%U_x \pm n \text{ 字}$$

$$\Delta_m = \pm a\%U_x \pm b\%U_m \pm n \text{ 字}$$

式中  $U_x$ ——测量值；

$U_m$ ——测量上限值；

$a$ ——与测量值有关的误差系数；