

中国电力教育协会审定



全国电力高职高专“十二五”规划教材
电力技术类（电力工程）专业系列教材

继电保护测试

全国电力职业教育教材编审委员会 组编

王显平 王 艳 主编



配套课件



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

中国电力教育协会审定



全国电力高职高专“十二五”规划教材

电力技术类（电力工程）专业系列教材

继电保护测试

全国电力职业教育教材编审委员会 组 编

王显平 王 艳 主 编

侯 娟 陈 亚 王微波 副主编

王 玲 编 写

李晋民 主 审



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为全国电力高职高专“十二五”规划教材。

本书为行动导向式教材。全书共分八个学习项目，主要包括继电保护通用测试，电流互感器测试，35kV线路保护装置测试，110kV线路保护装置测试，超高压线路保护装置测试，同步发电机保护装置测试，变压器保护装置测试，母线保护装置测试。

本书可作为高等职业院校电力工程、继电保护相关专业教材，也可作为发电企业电力职工技能培训教材和有关技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护测试/王显平，王艳主编；全国电力职业教育教材编审委员会组编. —北京：中国电力出版社，2014.9

全国电力高职高专“十二五”规划教材，电力技术类（电力工程）专业系列教材

ISBN 978-7-5123-6164-5

I. ①继… II. ①王…②王…③全… III. ①电力系统—继电保护—高等职业教育—教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 173923 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 9 月第一版 2014 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 525 千字

定价 39.00 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

全国电力职业教育教材编审委员会

主 任 薛 静

副 主 任 张薛鸿 赵建国 刘广峰 马晓民 杨金桃 王玉清
文海荣 王宏伟 朱 飙 何新洲 李启煌 王宏伟(女)
陶 明 杜中庆 杨建华 周一平

秘 书 长 鞠宇平 潘劲松

副秘书长 李建强 谭绍琼 武 群 黄定明 樊新军

委 员 (按姓氏笔画顺序排序)

丁 力	马敬卫	方舒燕	毛文学	王火平	王玉彬	王亚娟
王 宇	王俊伟	兰向春	冯 涛	任 剑	刘家玲	刘晓春
汤晓青	阮予明	齐 强	余建华	佟 鹏	吴金龙	吴斌兵
宋云希	张小兰	张进平	张惠忠	李建兴	李高明	李道霖
李勤道	陈延枫	屈卫东	罗红星	罗建华	郑亚光	郑晓峰
胡起宙	胡 斌	饶金华	倪志良	郭连英	盛国林	章志刚
黄红荔	黄益华	黄蔚雯	龚在礼	曾旭华	董传敏	解建宝
廖 虎	潘汪杰	操高城	戴启昌			

参 编 院 校

山东电力高等专科学校

山西电力职业技术学院

四川电力职业技术学院

三峡电力职业学院

武汉电力职业技术学院

江西电力职业技术学院

重庆电力高等专科学校

西安电力高等专科学校

保定电力职业技术学院

哈尔滨电力职业技术学院

安徽电气工程职业技术学院

福建电力职业技术学院

郑州电力高等专科学校

长沙电力职业技术学院

电力工程专家组

组 长 解建宝

副 组 长 李启煌 陶 明 王宏伟 杨金桃 周一平

成 员 (按姓氏笔画排序)

王玉彬 王 宇 王俊伟 刘晓春 余建华 吴斌兵

张惠忠 李建兴 李道霖 陈延枫 罗建华 胡 斌

章志刚 黄红荔 黄益华 谭绍琼

出版说明

为深入贯彻《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020)》精神,落实鼓励企业参与职业教育的要求,总结、推广电力类高职高专院校人才培养模式的创新成果,进一步深化“工学结合”的专业建设,推进“行动导向”教学模式改革,不断提高人才培养质量,满足电力发展对高素质技能型人才的需求,促进电力发展方式的转变,在中国电力企业联合会和国家电网公司的倡导下,由中国电力教育协会和中国电力出版社组织全国14所电力高职高专院校,通过统筹规划、分类指导、专题研讨、合作开发的方式,经过两年时间的艰苦工作,编写完成全国电力高职高专“十二五”规划教材。

本套教材分为电力工程、动力工程、实习实训、公共基础课、工科专业基础课、学生素质教育六大系列。其中,电力工程和工科专业基础课系列教材40余种,主要针对发电厂及电力系统、供用电技术、继电保护及自动化、输配电线路施工与维护等专业,涵盖了电力系统建设、运行、检修、营销以及智能电网等方面内容。教材采用行动导向方式编写,以电力职业教育工学结合和理实一体化教学模式为基础,既体现了高等职业教育的教学规律,又融入电力行业特色,是难得的行动导向式精品教材。

本套教材的设计思路及特点主要体现在以下几方面:

(1) 按照“行动导向、任务驱动、理实一体、突出特色”的原则,以岗位分析为基础,以课程标准为依据,充分体现高等职业教育教学规律,在内容设计上突出能力培养为核心的教学理念,引入国家标准、行业标准和职业规范,科学合理设计任务或项目。

(2) 在内容编排上充分考虑学生认知规律,充分体现“理实一体”的特征,有利于调动学生学习积极性。是实现“教、学、做”一体化教学的适应性教材。

(3) 在编写方式上主要采用任务驱动、行动导向等方式,包括学习情境描述、教学目标、学习任务描述、任务准备、相关知识等环节,目标任务明确,有利于提高学生学习的专业针对性和实用性。

(4) 在编写人员组成上,融合了各电力高职高专院校骨干教师和企业技术人员,充分体现院校合作优势互补,校企合作共同育人的特征,为打造中国电力职业教育精品教材奠定了基础。

本套教材的出版是贯彻落实国家人才队伍建设总体战略,实现高端技能型人才培养的重要举措,是加快高职高专教育教学改革、全面提高高等职业教育教学质量的具体实践,必将对课程教学模式的改革与创新起到积极的推动作用。

本套教材的编写是一项创新性的、探索性的工作,由于编者的时间和经验有限,书中难免有疏漏和不当之处,恳切希望专家、学者和广大读者不吝赐教。

前 言

为贯彻落实《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,全国电力职业教育教材编审委员会以《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》为指南,组编了全国电力高职高专“十二五”规划教材。本系列教材采用行动导向编写方式,为电力职业教育工学结合和实现理实一体教学模式起到了支撑和载体作用,创新了中国电力职业教育教材体系。

本书内容突出以能力培养为核心的教学理念,遵循国家标准、行业标准和职业规范,合理地设置学习项目和任务,充分考虑学生的认知规律,充分体现任务驱动的特征,调动学生学习的积极性,努力体现项目导向、任务驱动、理实一体的课程特色。

本书为《继电保护测试》,针对继电保护测试工作的特点,介绍了常用继电保护装置的原理、测试方法及案例。全书包括继电保护通用测试,电流互感器测试,35kV 线路保护装置测试,110kV 线路保护装置测试,超高压线路保护装置测试,同步发电机保护装置测试,变压器保护装置测试,母线保护装置测试 8 个学习项目,每个项目下设若干测试任务;每个任务由学习目标、任务描述、任务准备、任务实施、相关知识等部分组成,既保证了部分的独立性,又体现了整体的系统性。

本书项目一和项目六由王显平编写,项目二、项目三及附录由王微波编写,项目四由侯娟编写,项目五由王艳编写,项目七由王玲编写,项目八由陈亚编写。全书由王显平、王艳主编,侯娟、陈亚、王微波任副主编,全书由李晋民副教授主审。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2014 年 6 月

继电保护测试

目 录

出版说明

前言

学习项目一	继电保护通用测试	1
任务一	电磁式继电器测试	1
任务二	微机型继电保护装置通用测试	16
学习项目二	电流互感器测试	23
任务一	电磁式电流互感器测试	23
学习项目三	35kV 线路保护装置测试	31
任务一	微机型电流元件、电压元件、方向元件、时间元件特性测试	31
任务二	35kV 输电线路微机型继电保护装置整组测试	38
学习项目四	110kV 线路保护装置测试	45
任务一	微机型零序电流元件、零序方向元件特性测试	45
任务二	微机型阻抗元件特性测试	58
任务三	110kV 输电线路继电保护装置整组测试	77
学习项目五	超高压线路保护装置测试	93
任务一	纵联方向保护单端测试	93
任务二	纵联距离保护单端测试	110
任务三	纵联电流差动保护单端测试	123
任务四	光纤纵联保护通道测试	137
任务五	光纤纵联保护通道联调	143
学习项目六	同步发电机保护装置测试	151
任务一	同步发电机纵联动差动保护测试	151
任务二	同步发电机匝间短路保护测试	162
任务三	同步发电机定子接地保护测试	173
任务四	同步发电机失磁保护测试	180
任务五	同步发电机失步保护测试	190
学习项目七	变压器保护装置测试	195
任务一	变压器比率制动差动保护特性测试	195
任务二	变压器复合电压闭锁过电流保护测试	213

任务三 变压器其他保护的功能试验·····	222
学习项目八 母线保护装置测试·····	238
任务一 母线比率制动差动保护特性及复合电压闭锁测试·····	238
任务二 母联保护及断路器失灵保护测试·····	260
任务三 母线保护装置整组测试·····	269
 附录 A 继电保护检验工作流程·····	 282
附录 B 继电保护二次回路安全措施工作流程·····	284
附录 C 继电保护检验试验报告·····	286
附录 D 电气二次相关标准及规范·····	332
 参考文献·····	 333

学习项目一

继电保护通用测试

【学习项目描述】

通过该项目的学习,能对电磁式继电器和继电保护装置通用项目进行测试。

【学习目标】

通过学习和实践,能够利用继电保护测试仪及继电保护原理等相关知识对电磁式继电器和继电保护装置通用项目进行测试;能做测试数据记录、测试数据分析处理。

【学习环境】

继电保护测试实训室应配置电磁式电流继电器、电磁式中间继电器以及微机保护装置 15 套、继电保护测试仪 10 套、平口小号螺丝刀 50 个、投影仪 1 台、计算机 1 台。

注:每班学生按 40~50 人计算,学生按 4~5 人一组。学生可以交叉互换完成学习任务。

任务一 电磁式继电器测试

【学习目标】

通过学习和实践,能够利用继电保护测试仪及继电保护测试技术等相关知识对电磁式电流继电器、电磁式中间继电器进行测试;能做测试数据记录、测试数据分析处理。

【任务描述】

以小组为单位,做好工作前的准备,制订电磁式电流继电器、电磁式中间继电器的测试方案,绘制试验接线图,完成电磁式电流继电器、电磁式中间继电器的特性测试,并填写试验报告,整理归档。

【任务准备】

1. 任务分工

工作负责人: _____

调试人: _____

仪器操作人: _____

记录人: _____

2. 试验用工器具及相关材料（见表 1-1）

表 1-1 试验用工器具及相关材料

类别	序号	名 称	型号	数量	确认 (√)
仪器仪表	1	继电保护测试仪		1 套	
	2	万用表		1 块	
	3	组合工具		1 块	
消耗材料	1	绝缘胶布		1 卷	
	2	打印纸等		1 包	
图纸资料	1	继电器说明书、调试大纲、记录本		1 套	
	2	最新定值通知单等		1 套	

【任务实施】

测试任务见表 1-2。

表 1-2 电磁式继电器测试

一、制订测试方案	二、按照测试方案进行试验
1. 熟悉继电器说明书	1. 测试接线（接线完成后需指导教师检查）
2. 学习本任务相关知识，本小组成员制订出各自的测试方案（包括测试步骤、试验接线图及注意事项等，应尽量采用手动测试）	2. 在本小组工作负责人主持下按分工进行本项目测试并做好记录，交换分工角色，轮流本项目测试并记录（在测试过程中，小组成员应发扬吃苦耐劳、顾全大局和团队协作精神，遵守职业道德）
3. 在本小组工作负责人主持下进行测试方案交流，评选出本任务执行的测试方案	3. 在本小组工作负责人主持下，分析测试结果的正确性，对本任务测试工作进行交流总结，各自完成试验报告的填写
4. 将评选出本任务执行的测试方案报请指导老师审批	4. 指导老师及学生代表点评及小答辩，评出完成本测试任务的本小组成员的成绩

本学习任务思考题

1. 继电保护测试直流电源的主要技术指标是什么？
2. 继电保护测试交流电源的主要技术指标是什么？
3. 如何选择继电保护测试的仪器仪表？
4. 继电器及装置准确度的主要表示方法是什么？其含义是什么？
5. 继电器动作值、返回值的基本试验方法有哪些？其含义是什么？如何选用基本试验方法？
6. 什么是继电保护装置的整组功能试验？
7. 微机型继电保护测试仪一般有哪些测试功能？
8. 如何选择微机型继电保护测试仪模拟量的步长？
9. 如何测试电磁式中间继电器的自保持电流或自保持电压？

【相关知识】

一、继电保护测试的基本要求

1. 试验电源要求

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。

（1）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大

小,即纹波因数。

在国际电工委员会(IEC)标准中定义直流电源的纹波因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。直流电源中所含有的交流分量越大,则直流电源的纹波因数越大,直流电源的性能越差,对保护装置性能检测的影响越大。因此要采取措施减小纹波因数。其方法是在整流电源中增加滤波回路,以此来减小直流电源的脉动。

纹波因数可以通过两表法进行测试,用直流电压表测量直流电源直流电压的平均值,测量直流电压的交流分量,应使用数字式峰—峰值电压表。没有数字式峰—峰值电压表时,可选用真空管式电压表、电子管电压表、方均根响应的数字式电压表和峰值电压表等。这些仪表测量交流分量的峰—峰值时,误差较大,测量值反映的是交流分量的有效值,需要按如下方法换算为交流分量的峰—峰值。

1) 真空管电压表、电子管电压表、方均根响应的数字式电压表,测量值乘以 $2\sqrt{2}$ 即为交流分量的峰—峰值。

2) 峰值电压表,测量值乘以 2,即为交流分量的峰—峰值。

计算出纹波因数 K_f

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

除了用两表法测量纹波因数的方法外,还可以用示波器来观察直流电源的波形。有的示波器直接显示电源波形的峰—峰值的大小,可以用图示法计算出纹波因数的大小, $K_f > 6\%$ 时不能作为试验电源使用。

对于有条件的实验室,可以使用直流发电机和蓄电池等直流电源,它们输出直流电源的纹波因数很小甚至接近于零,是最理想的直流电源。

直流电源的技术指标除了纹波因数外,还有稳压精度、稳流精度等。要求稳压精度、稳流精度高,并且这两个参数不能因负载的变化而变化。一般要求这两个参数不超过 2%。

(2) 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。单相交流电源的主要技术指标是波形畸变,波形畸变的大小用波形畸变因数来衡量。

一般讲,交流电源是指正弦波交流电源,但实际上许多实验室和企业的质检部门是用低压供电网络的交流电源作为试验电源。低压供电网络的交流电不是完全的正弦波交流电源,而是含有一定谐波的非正弦波电源,这些电源的波形存在一定的畸变。同时在低压供电网络中还要使用大量电气设备,如非线性电阻、变压器、变流器、移相器、电抗器、互感器和稳压器等,使用这些设备会增大电源波形的畸变。非正弦波的电压和电流施加于继电保护及自动化装置时,会引起继电保护及自动化装置动作特性的变化,影响试验结果的正确性。

为了使试验结果准确,首先要测量所使用的交流电源的波形畸变因数,波形畸变因数指的是非正弦周期量中减去基波分量所得的谐波分量有效值与非正弦量有效值的比值,通常用百分比表示。测量波形畸变因数应使用失真度试验仪测试,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谐波量的大小。

测量的波形畸变因数超过 5% 的交流电源不能作为试验电源使用。

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

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。

目前许多实验室所用的三相电源一般是低压供电网络中的交流电源。这些电源由于负载等原因，很难达到三相平衡电源的要求。因此，用这样的电源无法去检测继电保护及自动化装置的性能，特别是对检验带有相位的两个激励量的功率和阻抗继电器及保护装置等产品，以及检验按对称分量原理构成的正序电压和负序电压继电器及保护装置等产品，影响很大。

交流电源频率的变化不仅影响继电保护及自动化装置各类线圈、变换器的阻抗值，对继电器和装置的动作值等许多基本技术参数都有不同程度的影响；同样对有相位的两个激励量产品的影响更严重。频率变化对试验仪也有影响，有关标准规定：交流电源的频率为 (50 ± 0.5) 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试验仪表的误差。上述技术指标的允差见表 1-3。

表 1-3 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	$\pm 5\%$
交流电源波形	正弦波	波形畸变 5% (或 2%)*
交流电源中直流分量	0	峰值的 2%
直流电源中的交流分量	0	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°

* 为多输入量的量度继电器及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。交流分量峰谷值对脉动量的直流分量绝对值之比时，试验允差为 6%。

2. 仪器、仪表的要求

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。

(1) 仪表准确度要求。对继电保护及自动化装置的试验，所使用的全部仪表的准确度应满足表 1-4 的要求。在试验过程中，测量结果与被测量之间会存在误差。产生误差的原因，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测量方法不当和仪表选择不合理。因此，应全面地了解仪表的技术性能、合理地选择仪表、正确地使用仪表，以使测量结果的误差降到最小。

表 1-4 仪表准确度等级选择

误差	$<0.5\%$	$\geq 0.5\% \sim 1.5\%$	$\geq 1.5\% \sim 5\%$	$\geq 5\%$
仪表准确度	0.1 级	0.2 级	0.5 级	1.0 级
数字仪表准确度	6 位半	5 位半	4 位半	4 位半

(2) 选择仪表的原则。

- 1) 根据被测量的性质选择仪表的类型。
 - a) 根据被测量是交流还是直流，选用交流仪表还是直流仪表。
 - b) 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。

对于交流正弦电流（或电压），只需测量其有效值，可选择任何一种交流电流（电压）表来测量。对于非正弦波，由于非正弦波的波形因数和波顶因数与正弦波的波形因数和波顶

因数相差较大,因此会影响测量的准确度。

2) 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,将电压表并联在被测量电压的两端,如果使用的仪表内阻不是足够大,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。测量电流时,电流表串接在测量线路中,为了使电流表接入被测线路中不影响被测线路的工作状态,要求电流表的内阻越小越好。

3) 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,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。一般要求被测量的大小应在仪表测量上限的 $1/2 \sim 2/3$ 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。当被测量大小超过仪表的量程时,很容易损坏仪表。所以在使用仪表时要特别加以重视,防止发生事故,避免损坏仪表。

4) 应根据使用的场所及工作条件选择仪表。

5) 选用数字仪表的原则:目前数字式仪表一般提供的技术指标没有准确度等级,只有允许误差和显示位数。因此,在选用仪表时,应注意以下事项:

a) 数字式仪表的量程选择应从大于被测量的量程中,选择最小值,并应保证有足够的分辨率。

b) 在测量含有谐波分量的交流电压和电流时,应选用有效值的数字式仪表。

c) 在使用多功能数字仪表时,测量不同类别的量值和使用不同的量程时,有不同的准确度。一般测量直流电压和使用基本量程时,准确度最高。

二、继电器及装置的准确度及表示方法

在 IEC 标准中,反映继电器及装置的准确度有以下几个参数:误差、离散值和变差。

1. 误差

按照计量学的定义,误差即是测量值与真值之差。在《继电器及装置基本试验方法》中,将误差规定为继电器及装置的测量值与整定值之差。表示误差的几种方式有:

(1) 绝对误差,即某特性量(如电流、电压、频率、相位角、时间等)的实际测量值与整定值的代数差,表示为

$$\text{绝对误差} = \text{测量值} - \text{整定值}$$

(2) 相对误差,即绝对误差与整定值之比,表示为

$$\text{相对误差}(\%) = \frac{\text{测量值} - \text{整定值}}{\text{整定值}} \times 100\%$$

(3) 平均误差,即在相同规定的条件下,同一台产品所进行规定次数的测量中,每次测量所得到的误差值(绝对误差、相对误差)的代数值的平均值。

平均误差也就是在规定测量次数测量值的平均值与整定值之差,它可以用绝对值的形式也可以用相对值的形式来表达。

一般产品测量次数为 10 次,静态产品测量次数为 5 次。

2. 离散值

离散值就是在相同规定的条件下,同一台产品在规定的测量次数中,测量的与平均值相

差最大的数值与平均值之差的百分数,表示为

$$\text{离散值}(\%) = \frac{\text{与平均值相差最大的数值} - \text{平均值}}{\text{平均值}} \times 100\%$$

一般产品测量次数为 10 次,静态产品测量次数为 5 次。

3. 变差

变差可用下式表示

$$\text{变差}(\%) = \frac{5 \text{ 次试验中的最大值} - 5 \text{ 次试验中的最小值}}{5 \text{ 次试验中的平均值}} \times 100\%$$

三、继电保护及自动化装置动作特性测试方法

动作特性和时间特性是继电保护及自动化装置的最重要基本性能。动作特性对于有或无继电器,主要是检验产品的动作值、返回值、保持值等;对于量度继电器及装置,主要是检验产品动作值的整定范围、整定值的准确度及返回系数等。时间特性对于有或无继电器,主要是检验产品的动作时间、返回时间等;对于量度继电器及装置,除了检验产品的动作时间、返回时间外,有的产品还应检验定时限特性和反时限特性等。

1. 基本试验分类

继电器动作值、返回值的基本试验方法有稳态试验、动态试验和动态超越试验 3 种。

(1) 稳态试验。稳态试验是指缓慢改变继电器输入激励量,或改变的阶梯很小不至于引起暂态过程,以测得保护的运行特性和继电器的动作参数的试验。稳态试验习惯上又称为静态试验,所测得的特性称为继电器的稳态特性或静特性。

(2) 动态试验。动态试验是指突然改变继电器的输入激励量,来测定继电器动作参数的试验。动态试验又称突然施加激励法,所测得的特性称为继电器的动态特性。

(3) 动态超越试验。动态超越试验是指使继电器激励量中具有最大非周期分量,以测定继电器动态动作值的试验。所测得的动态动作值与稳态动作值之差的相对百分值,称为动作值的动态超越,习惯上又称暂态超越,记为

$$D = \frac{A_{\text{op.d}} - A_{\text{op.s}}}{A_{\text{op.s}}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 D ——动作值的动态超越;

$A_{\text{op.d}}$ ——继电器的动态动作值;

$A_{\text{op.s}}$ ——继电器的稳态动作值。

动态超越是继电器动态特性的一项重要指标,它愈小愈好,一般要求不大于 5%。

2. 试验方法的选择原则

试验方法选择的原理是,应尽可能保证试验与实际情况相符合。因此,对于不同性质的继电器,试验方法是不一样的。

(1) 有或无继电器。有或无继电器是指中间继电器、信号继电器、时间继电器和出口继电器等具有单一逻辑功能的继电器。在实际运行中,它们都由前一级继电器的触点控制,突然接通或断开继电器线圈回路。继电器线圈具有一定的电感,突然接通或断开电源时,在继电器线圈回路中会出现过渡过程(继电器中电流不能突变)。为保证试验与实际工作情况相符合,测试有或无继电器动作值、返回值等特性量及时间量时,应采用对其线圈突然施加激励量的动态试验法,试验程序如图 1-1 所示。测试前先调整输入量,使其等于规定的动作值,然后突然施加于继电器线圈,再升至额定值,最后由额定值突然降到规定的返回值。

(2) 量度继电器。量度继电器是指电流继电器、电压继电器、阻抗继电器等测量元件,输入的都是交流量。系统短路时,交流测量元件输入的激励量中除了有基波分量外,还有暂态分量,且具有一定的突变性。为保证试验与实际情况相符合,按理应采用动态试验,但实际上不合适。因为交流电路的回路总电流由接通瞬间的合闸初相角决定,其最大值在 $(0 \sim 2) I_m$ 之间,在不同初相角时接通试验回路会呈现出不同的动作值,测量结果明显离散,无法用一个确定的值来衡量继电器的动作特性。故量度继电器一般只做稳态试验,测量稳态动作值。对快速保护来说,稳态试验与量度继电器的实际工作情况差异较大,可增加动态超越试验。

过量继电器稳态试验按图 1-2 所示程序进行,用于激励的特性量从零开始逐渐增大到动作值,然后逐渐减小至返回值,再由返回值下降到零,重复 n 次。欠量继电器稳态试验按图 1-3 所示程序进行,先使继电器线圈所施加的特性量从零开始增大到额定值(欠量继电器处于初始状态),此阶段不测量继电器特性量的准确度,然后从额定值开始下降到动作值(欠量继电器处于终止状态—释放状态),再逐渐增大到返回值,继而由返回值增大到额定值,重复 n 次。

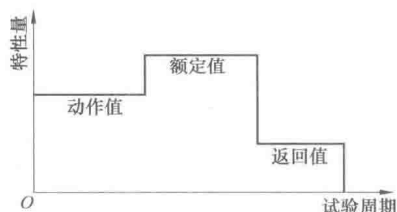


图 1-1 有或无继电器动作、返回值试验程序

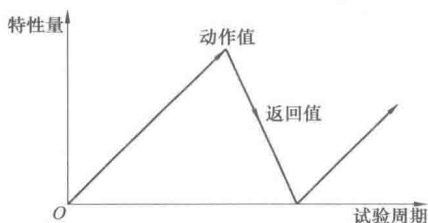


图 1-2 过量继电器动作、返回值试验程序

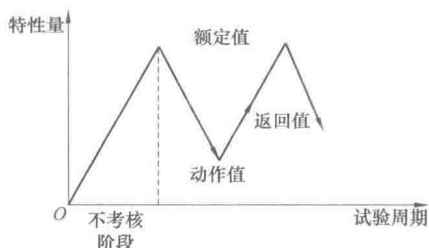


图 1-3 欠量继电器动作、返回值试验程序

四、继电保护自动装置整组功能试验

尽管动态试验、稳态试验和动态超越试验能测得继电器的一些重要特性,但却不能全面检查继电保护的動作行为。因为上述试验往往只对单个继电器施加缓慢变化的激励量或按简单规律变化的暂态激励量,而不能提供电力系统故障时施加于保护装置的变化复杂的激励量。这对于检验简单的慢速保护装置的性能来说,可能是足够的,而对于超高压电网的快速保护装置来说,真正需要检验的是故障初瞬间暂态过程中的动作性能,上述试验是不充分的。此外,上述试验不能同时对整套保护的所有继电器进行试验,更不能用于区内外故障、振荡、故障转换,线路充电、重合闸时对继电保护的考核。

为确保快速继电保护装置可靠工作并及时发现其存在的缺陷,还必须对其进行更符合实际的严格试验。可在实际电力系统上进行人工短路试验,然而人工短路试验在很多情况下是不允许的,若要进行,则必须做大量准备工作,采取多种保安措施,费时、费钱、费工,还要冒导致电网事故的风险,且只能做少数几个试验,故障种类也受到限制,不可能对保护装置进行全面的考核。

较为切实可行而又能保证试验符合实际情况的方法是进行模拟整组功能试验,装置整组功能试验是通过采用各种试验手段,模拟电力系统的运行情况,试验产品的性能能否满足运行的要求。它是在比较短的时间内,将电力系统运行中可能出现的问题运用模拟试验的方法反映出来,试验产品性能的好坏,正确评估被试产品能否适应电力系统运行的实际要求。通过试验,除了能及时暴露产品所存在的问题外,还能协助产品的研发人员分析产品质量问题的原因和消除存在问题的措施。对于正在电力系统运行中的产品,当在某些特殊的情况下,产品发生不正确的动作时,可以根据电力系统的故障现场及有关故障录波图,采用模拟或仿真的试验方法,进行故障再现。通过故障再现,可以分析事故的原因。如果事故是由于产品性能引起的,能查明产品不正确动作的原因,寻求解决的措施。如果是电力系统运行所造成的,可以从电力系统的运行方式上去查找原因。这是一项最具有实际意义和价值的工作,通过这些试验可以积累经验,提高产品的质量水平和电力系统的运行水平,防止类似事故的重演,从而保证电力系统的安全可靠运行。

五、微机型继电保护测试仪

随着继电保护的发展,继电保护测试装置(也称试验装置)及测试技术也在不断发展进步。最早的继电保护测试手段是采用由调压器、升流器、移相器、滑线电阻等传统的试验设备及电气仪表构成的“地摊”式接线,20世纪70~80年代我国出现了各种模拟设备、仪表连接而成模拟式测试台,以测试各种继电保护和自动装置。同时,还需要较精密的电压表、电流表、相位表、频率计和毫秒计等仪器对试验中要读取的物理量进行测量才能完成整个测试过程。采用这种测试手段,不仅设备搬运困难、占用现场面积大,而且在测试中需要反复调节各种参量,依靠人工读取、记录试验数据。这种方法不但测试手段落后、功能少、不能进行复杂试验,还容易接错线,劳动强度大、测试时间长。近年来,随着我国电力工业的迅速发展,新型继电保护装置特别是微机型继电保护得到广泛推广使用,对测试装置及测试技术提出了更高的要求。DL/T 624《继电保护微机型试验装置技术条件》,对继电保护试验装置(即继电保护测试装置)的各项技术性能和指标提出明确的要求,该标准适用于检验220kV及以上电压等级的线路保护、元件保护以及容量在200MW及以上的发电机一变压器组保护和自动装置的试验装置。该标准对试验装置使用条件、技术要求(包括整机性能特性、电气、机械性能试验及试验后技术要求、试验装置接口、试验装置的交流电流源、试验装置的交流电压源、交流电流源与交流电压源的同步性、直流输出、交流电流源与交流电压源的相位控制、时间测量、测试功能等)、检验规则、标志与数据等方面都给出了明确的规定。目前,国内外所生产的微机型继电保护测试仪都要通过国家相关部门的检测,才能投入市场。

1. 微机型继电保护测试仪的结构原理

目前,国内使用的微机型继电保护测试仪的种类繁多,但大多数的测试仪是由主机、计算机及辅助设备组成。其中主机部分将标准的电流、电压信号通过电流放大器及电压放大器进行放大,增大电流、电压信号的输出功率及最大输出电流、电压幅值以满足继电保护及自动化装置对试验电源的需求。同时根据各种产品性能试验程序的要求,通过计算机的软件进行编程,完成对某种产品的某项性能试验。测试仪的试验方式分手动和自动试验两种。对于手动试验,有的测试仪是通过主机上的手动控制开关,使变量(如电流、电压、相位、频率等)按设置的步长进行增减,完成对产品性能的试验;有的测试仪是通过计算机上的鼠标和键盘来完成变量的递增或递减。自动试验方式是通过计算机的软件,将试验项目在全部试验