

全国高职高专电气类精品规划教材

继电保护调试技术

主 编 高汝斌 毛幸远



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是继电保护调试的基本教程,重点讲述了继电器和继电保护装置在安装、运行和检验中所用测试技术的基本概念、原理及测试方法,对继电保护试验设备和常用仪器也作了适当的介绍。主要内容有检验通则、继电保护测试方法、常用保护继电器的检验、继电保护装置整组调试、综合自动化试验台、常用仪器仪表的使用等。

本书可作为高等职业技术学院电力系统继电保护、电力系统与自动化、发电厂及电力系统等专业教材,亦可供电气工程有关专业师生及从事继电保护工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护调试技术/高汝武,毛幸远主编. —北京:
中国水利水电出版社, 2005
全国高职高专电气类精品规划教材
ISBN 7-5084-2758-0

I. 继 ... II. ①高 ... ②毛 ... III. 继电保护装置—
调试—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM774

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 022279 号

书 名	全国高职高专电气类精品规划教材 继电保护调试技术
作 者	主编 高汝武 毛幸远
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×960mm 16 开本 14 印张 274 千字
版 次	2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	23.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

教育部在《2003-2007年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线 and 全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。因此，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，2003年12月，在福建厦门，中国水利水电出版社组织全国14家高职高专学校共同研讨高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专电气类精品规划教材》。

《全国高职高专电气类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用为主线的技能型特别是高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地反映了当前电气技术的先进水平和最新岗位要求，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了

满足这一发展需要的内容编写要求，可以说，这套教材既能适应三年制高职高专教育的要求，也适应两年制高职高专教育的要求。

《全国高职高专电气类精品规划教材》的出版，是对高职高专教材建设的一次有益探讨，因为时间仓促，教材可能存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

《全国高职高专电气类精品规划教材》编委会

2004年8月

前

言

近年来，继电保护技术有了飞速的发展，继电保护调试仪器和调试技术也发生了很大变化。为了适应实际工作和继电保护调试教学的要求，特编写了此书。

本书是《全国高职高专电气类精品规划教材》中的一本，是根据国家继电保护调试检验的有关规程和继电保护调试仪器的实际，并结合教学而编写的。全书介绍了保护与继电器的检修通则，继电保护调试方法，常用保护继电器的检验，继电保护装置整组试验，综合自动化实验台和常用仪器仪表的使用等内容。书中系统地介绍了继电保护装置与继电器的调试方法，以及微机继电保护的调试原理与方法。

全书共分6章，其中第1、2、5章由高汝武编写，第3、6章及符号说明由毛幸运编写，第4章由朱文强编写。本书在编写过程中得到华中科技大学华工大电力自动技术研究所游志城，福建水利电力职业技术学院张国良、许郁煌、杨武盖、郑志萍等老师的大力支持。山东大学电气工程学院潘贞存教授审阅了全书并提出宝贵的修改意见，在此表示衷心地感谢。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2005.3

符号说明

文字符号说明

发电机	G	时间继电器	KT
避雷器	FA	电压继电器	KV
熔断器	FU	绝缘监察继电器	KVI
信号灯	HL	负序电压继电器	KVN
(红灯、绿灯、白灯)	(HR、HG、HW)	过电压继电器	KVO
继电器	K	电源监视继电器	KVS
电流继电器	KA	欠电压继电器	KVN
负序电流继电器	KAN	同步监察继电器	KSJ
过电流继电器	KAO	电动机	M
欠电流继电器	KAU	电流表	PA
合闸位置继电器	KCC	频率表	PF
防跳继电器	KCF	有功电能表	PPJ
出口中间继电器	KCO	无功电能表	PRJ
重合闸后加速继电器	KCP	有功功率表	PPA
跳闸位置继电器	KCT	无功功率表	PPR
差动继电器	KD	时钟、操作时间表	PT
中间继电器	KM	电压表	PV
断线监视继电器	KMD	接触器, 灭磁开关	Q
极化继电器	KP	断路器	QF
信号继电器	KS	刀开关	QK
隔离开关	QS	自耦变压器	TT
电阻器、变阻器	R	电压变换器	UV
电位器	R _p	电抗变换器	UZ
开关	S	晶体管、二极管、三极管	V

控制开关	SA、SAC	连接片	XB
按钮	SB	变换器	U
同期开关	SAS	电流变换器	UA
变压器、调压器	T	操作线圈	L
电流互感器	TA	合闸线圈	YC
电压互感器	TV	合闸接触器	YQ
双绕变压器, 电力变压器	TM	跳闸线圈	YT

常用下标符号说明

L1、L2、L3	交流三相电源	err	误差
U、V、W	一次三相相量	f (feedback)	反馈
u、v、w	二次三相相量	hw	谐波
av	平均	int	内部的
a	辅助、有功	k	短路
ac	交流	m	测量
act	实际、实用	L	线路
am	助磁	max	最大
b	分支	min	最小
brk	制动	N	额定
c (cal)	计算	ol	过负荷
op	动作	ph	相
d	基准、差动	par	平行、水平
dc	直流	pre	超前
e	励磁	r	继电器、无功、反向
en	允许	rat	比率
ext	外部的	sen	灵敏
re	返回	set	整定
rel	可靠	ss	自启动
res	残压	sui	配合
s	系统	swi	振荡
sta	稳态	sa	饱和
st	起动、同型	unb	不平衡

目 录

序

前言

符号说明

第 1 章 检验通则	1
1.1 一般性检查	1
1.2 一般性电气性能检查	3
1.3 绝缘性能的检验	4
1.4 试验电源和使用仪器仪表的一般要求	5
1.5 误差与一致性的计算	6
第 2 章 继电保护测试方法	7
2.1 交流电流与电压的调节方法	7
2.2 时间参数的测量	10
2.3 相位差的测量	13
2.4 工频移相法	18
2.5 继电器动作性能的试验	21
2.6 模拟试验的概念与模拟接线	24
2.7 线路工频参数的测量	33
2.8 线路高频参数的测量	38
第 3 章 常用保护继电器的检验	43
3.1 电流继电器	43
3.2 电压继电器	47
3.3 中间继电器	53
3.4 时间继电器	58
3.5 负序电压继电器	61
3.6 同步检查继电器	65
3.7 冲击继电器	68
3.8 功率方向继电器	73

3.9 阻抗继电器	82
3.10 重合闸继电器	91
3.11 差动继电器	96
3.12 转子一点接地继电器	106
3.13 过电流继电器	109
第4章 继电保护装置整组调试	115
4.1 继电保护整组试验方法	115
4.2 线路相间短路电流电压保护装置	117
4.3 电力变压器保护装置	122
4.4 发电机保护装置	129
4.5 微机继电保护装置调试	133
4.6 差动保护的六角图检验	142
第5章 综合自动化试验台	147
5.1 WLZB—II 微机综合试验台	147
5.2 WDT—III 电力系统综合自动化试验台	170
第6章 常用仪器仪表的使用	201
6.1 DYT1040 数字移相器	201
6.2 时间测量仪器	202
6.3 $D_3-\varphi$ 型单相相位表	206
6.4 DSF—3 型便携式继电保护测试仿真装置	209
参考文献	213

检 验 通 则

1.1 一般性检查

本通则介绍了继电器在新安装和定期检验时的通用检验规则及要求。

1.1.1 一般性检查的内容

(1) 外壳透明罩应完整，嵌接良好，有可靠的防尘密封设施，内部应清洁无尘埃和油污。

(2) 外部带电的导电部分与地（金属外壳或外露非带电金属零件）之间及两带电导电部分之间的电气间隙和爬电距离。

(3) 感应型继电器转动部分应灵活，无异常现象，检查圆盘与电磁铁、永久磁铁间应清洁无异物，检查圆盘是否平整和上、下轴承的间隙是否合适。

(4) 检查机电型继电器可动部分的动作灵活性，转轴的横向和纵向活动范围是否适当，轴和轴承除有特殊要求外，禁止注入任何润滑油。

(5) 静态型继电器（包括晶体管型、集成电路型和微机型）的印制电路板表面及焊接质量。

(6) 检查各零部件的安装与装配质量。

(7) 检查整定机构、接插件、弹簧（游丝）、按钮、开关和指示器等质量。

(8) 检查触点质量。

1.1.2 一般性检查的要求

(1) 继电器外部（即壳体外部）的电气间隙和爬电距离的最小值应满足表 1-1 规定，如有特殊要求，应在产品技术文件中规定。

(2) 所有焊接处不应出现虚焊、假焊现象，印制电路板线条应无锈蚀。



(3) 机电型的弹簧(游丝)应无变形,当由起始位置转至最大刻度位置时,层间距离要均匀,整个平面与转轴要垂直。

表 1-1 电气间隙与爬电距离

回路额定绝缘电压 (V)	最小电气间隙 (mm)		最小爬电距离 (mm)
	L-L	L-M	
$U_n \leq 60$	2.0	3.0	3.0
$60 \leq U_n \leq 380$	4.0	6.0	6.0

注 L-L表示两带电部分间的电气间隙; L-M表示带电部分和暴露的金属零件之间的电气间隙。

(4) 接插件应接触可靠,插拔方便。整定机构应可靠地固定在整定位置,整定插头插针与整定孔的接触应良好。

(5) 各零部件的安装应完好,螺栓(钉)应拧紧。焊接头应牢固可靠。

(6) 按钮、开关等电气元件操作应灵活,经手动操作5次不应出现卡涩现象。

(7) 插拔机构及活动盖板等应灵活,不应磕碰其他部位。

(8) 对继电器触点的检查有以下方面:

1) 触点铆接要牢固,无挫伤和烧损现象,动合触点闭合后应有足够压力。触点压力可用测力计、砝码和灯光信号、万用表(欧姆表)配合测试。测试时,测力计(或砝码)作用力的方向应沿触点接触面的法线方向,并将灯光信号(或万用表)接入触点回路中,当灯光信号熄灭(或万用表没有指示)时,测力计的读数(或砝码的质量)即为被测触点压力。

2) 触点间隙用塞尺检查,应以塞尺刚好通过并不使触点片产生位移时的间隙为触点间隙。

3) 触点超行程检查可以用塞尺直接测量触点位移的方法,也可以用间接测量并换算的方法,即对于动合触点,缓慢移动衔铁,计算从触点开始接触起,到衔铁完全与磁轭接触闭合为止衔铁运动的直线距离,然后根据图样的标称尺寸换算为动合触点闭合的超行程。对于动断触点,先使衔铁闭合,然后缓慢释放,计算从动断触点开始接触到衔铁完全释放为止,衔铁运动的直线距离,然后根据图样的标称尺寸换算为动断触点闭合时的超行程。

4) 两组或以上触点接触时差的检查。对于没有接触时差要求时,可以采用目测,其方法是缓慢移动衔铁,利用灯光信号或万用表指示进行检查。对于有接触时差要求时,可分别测量各触点组的动作时间或返回时间,然后进行比较(以某一组触点为基准)。

5) 禁止使用砂纸、锉刀及锐利的工具擦拭和修理触点,触点烧伤处可用细油石



修理并用鹿皮或绸布抹净，触点表面不得附有金属粉末和尘埃。

6) 一般性检查应在无损继电器的试验下及正常照明和视觉条件下进行。

1.2 一般性电气性能检查

(1) 对内部安装的元器件如电容器、电阻、电子元器件、小型继电器等，只有在发现电气特性不能满足要求而又需要对上述元器件进行检查时，才核对其标注的标称值或者通电实测。

(2) 当输入规定的激励量时，各种信号指示器，如信号灯、光字牌以及音响信号等，应正确显示。

(3) 当输入一定激励量时，各种指示仪表应正确指示。

(4) 当输入的激励量为动作值时，应仔细观察触点的动作状况，除发现有抖动、接触不良等现象应及时处理外，还应结合整组试验，使触点接入规定的负荷，再一次观察触点应无抖动、粘住或出现持续电弧等异常现象。

(5) 继电器（包括其插件）单独检验调整完毕后，应仔细检查拆动过的部件和端子等是否都恢复正常，所有的临时衬垫等物件应清除，整定端子及整定机构的位置应与整定值相符，盖上外罩后，应结合整组试验检查动作情况，信号显示器的动作和复归应正确灵活。

(6) 测试性能时必须将壳罩装上。

(7) 整定点动作值的测试应重复 10 次（静态型继电器为 5 次），误差、一致性或变差应符合规定的要求。

(8) 在或电流或电压冲击试验时，冲击电流用继电保护设备安装处通过的最大短路电流（不超过 250A），冲击电压用 1.1 倍额定电压，时间 1s，若用负序电流或负序电压进行冲击试验时，只需将正相序倒换成负相序即可。若对电流或电压冲击值有特殊要求，应作出明确规定。

(9) 当试验电源的影响量（如电源频率、畸变因数、纹波系数、交流电源值波动等）变化影响电气性能较大时，应在记录试验数据的同时，注明试验时的试验电源影响量值。

(10) 检测有或无继电器功能应在无自热状态下，采用突然施加激励量的方法进行，动作或返回前后电压变化不允许超过 5%，当电压有变化时，应取动作前的电压为继电器的动作电压，返回前的电压为继电器的返回电压。为保证电压变化不超过 5%，直流电压采用电阻分压时的分压电阻值，应小于线圈电阻的 1/4.75。



1.3 绝缘性能的检验

1. 绝缘物条件

绝缘物应在干燥和没有自热的条件下检验绝缘性能。

2. 大气环境条件

检验绝缘性能时周围大气条件应为规定的大气环境条件：

- (1) 环境温度：15~35℃。
- (2) 相对湿度：45%~75%。
- (3) 大气压力：86~106kPa。

3. 绝缘电阻的检验

(1) 检验部位。如无其他规定，一般对下列部位进行检验：

- 1) 各带电的导电电路对地（即外壳或外露的非带电金属零件）之间。
- 2) 无电气联系的各带电电路之间（如独立的输入电路之间，交流电路与直流电路之间等）。

(2) 绝缘电阻检验方法及要求。

1) 绝缘电阻值的检验，应在施加如表 1-2 中规定的测试仪器直流电压之后，至少经 5s 达到稳定值时确定。

2) 检验用的接线，应保证其导线的绝缘电阻不小于 500MΩ，试验用导线不得绞接。

3) 绝缘电阻值应符合规定要求。

4. 介质强度的检验

(1) 检验部位。检验部位如无其他规定，一般同绝缘电阻检验部位。

(2) 确定介质强度试验电压的原则。如无其他规定，介质强度试验电压值按以下原则确定：

1) 一般介质强度试验电压值按表 1-3 选择确定。

表 1-2 绝缘电阻测试仪器电压等级

额定绝缘电压 (V)	测试仪器电压等级 (V)
≤60	250
≤250	500
≤500	1000

表 1-3 介质强度试验电压

额定绝缘电压 (V)	试验电压 (V)
≤60	1.0
≤120	1.5
≤250	2.0
≤500	25





2) 对于由仪用互感器直接激励的电路, 试验电压不应低于 2kV。

3) 接到用于外部接线的端子上的同一组触点(断开的动、静触点)之间, 试验电压一般为 1kV, 或按产品技术要求规定。

4) 同一线圈中各绕组之间的试验电压值一般为 1kV, 或按产品技术要求规定。

5) 当在两个总是处于相同电位(如直接连在同一相)的两电路之间进行试验时, 试验电压应为两倍额定绝缘电压值, 但不低于 500V, 或为两电路中较高的一个额定绝缘电压值的 2 倍。

6) 新安装检验时, 应按上述要求确定试验电压值, 对于维修检验, 对继电器进行介电强度检验时, 试验电压值应为 75% 规定值。

(3) 介电强度检验方法。将试验设备的开路电压初调至不高于规定电压值的 50% 后施加到被试继电器, 在不出现明显瞬变现象的条件下, 将试验电压从初调值升高至规定值, 并保持 1min。然后, 尽可能快地将试验电压平稳降低至零。

(4) 介电强度试验电压源的要求。

1) 当施加一半的规定试验电压值于继电器时, 试验电压源的电压降应保证小于 10%。

2) 电源电压的准确度应保证不低于 5%。

3) 试验电压基本上应为正弦波, 频率在 45~55Hz 之间。

1.4 试验电源和使用仪器仪表的一般要求

1. 试验电源

检验用的试验电源应符合以下要求:

(1) 电源频率。电源频率不超过 $50 \pm 0.5\text{Hz}$, 当电源频率变化对某些继电器的电气性能影响较大、要求高准确度时, 必须采用允许误差较小的电源频率。如果继电器的电气性能与频率无关, 允许电源频率的误差可以大些。

(2) 交流电源波形。交流电源波形为正弦波, 波形畸变因数不大于 5%。

(3) 交流电源中直流分量。交流电源中直流分量允许偏差为峰值的 2%。

(4) 直流电源中交流分量(纹波)。直流电源中的交流分量(纹波)为最大瞬时电压与最小瞬时电压之差同直流分量的比值, 用百分数表示, 应不大于 6%。

(5) 直流电源的变化范围。额定电压为 110V、220V 直流电源的变化范围为 80%~110% 额定值, 额定电压为 48V 及以下直流电源的变化范围为 90%~110% 额定值。

(6) 交流电源系统的不平衡度应不大于 5%。



- (7) 各相电流大小相等，允许偏差不大于各电流平均值的1%。
 (8) 各相电流与该相电压间的夹角应大小相等，允许偏差不大于2°。

2. 试验用仪器仪表的要求

除另有规定外，试验中所使用的仪器仪表精度应满足下列要求：

- (1) 一般使用的仪器仪表精度应不低于0.5级，电子仪器应不低于2.5级。
 (2) 测量相位用仪器仪表精度不低于1.0级。
 (3) 测量延时用仪器仪表，当测量时间大于1s时，相对误差不大于0.5%，测量时间小于1s时，相对误差不大于0.1%。

1.5 误差与一致性的计算

在继电保护调试中，常采用相对误差与一致性来衡量测试数据的精确度。在继电保护调试中相对误差也简称误差，指的是在 n 次（10次或5次）测量中的平均值与整定值之差再与整定值之比值的百分数。即：

$$\text{误差}(\%) = \frac{10 \text{次(或5次)测量平均值} - \text{整定值}}{\text{整定值}} \times 100\%$$

一致性是指 n 次（10次或5次）试验中的最大值与 n 次（10次或5次）试验中最小值的差值，也可用相对值来表示，则：

$$\text{一致性}(\%) = \frac{10 \text{次(或5次)测量的最大值} - 10 \text{次(或5次)测量的最小值}}{10 \text{次(或5次)测量的平均值}} \times 100\%$$



继电保护测试方法

2.1 交流电流与电压的调节方法

2.1.1 交流电流的调节方法

常用交流电流的调节方法有如图 2-1 所示的几种。图 2-1 (a) ~ 图 2-1 (c) 所示的调节电流方法简单方便, 不会引起试验电流的附加失真。图 2-1 (a)、2-1 (c) 所示的电路中, 电流降不到零, 若用水电阻调节电流则能降低到零, 有利于磁路退磁, 但电流大时调节不易稳定, 读数不够准确。采用图 2-1 (d) 所示方法可减轻电源负载, 但大电流发生器 TA 易饱和, 使通入继电器的电流畸变。选用哪种调节电流方法, 应根据被测继电器的工作原理、所测参数和电源容量综合确定, 不同试验对象的调节方法如下。

1. 电磁型继电器

电磁型电流继电器的动作力矩与通入电流总有效值平方成正比, 与频率无关, 其动作刻度值是反映总有效值的, 当采用电磁型电流表来进行测量时, 其示值也是反映试验电流总有效值的。因而, 试验电流有谐波分量时测得用总有效值表示的动作电流的大小, 与试验电流无谐波分量时测得用总有效值表示的动作电流的大小相等。此时, 试验电源谐波分量不影响电磁型电流继电器的定值试验。均匀调节电流来检验稳态动作电流时, 用图 2-1 的任何一种方法都可以。

2. 感应型继电器

对感应型继电器来说, 其动作力矩与频率有关, 要求试验电流为 50Hz 的正弦波, 原则上必须用电阻, 而不能用大电流发生器调节电流, 且电源电压必须使用相间电压而不能使用相电压, 以防波形畸变而影响稳态动作值。试验表明, 试验电流波形的畸变还来自于被试继电器铁芯的饱和, 为克服由此而引起的电流畸变, 可将整个试



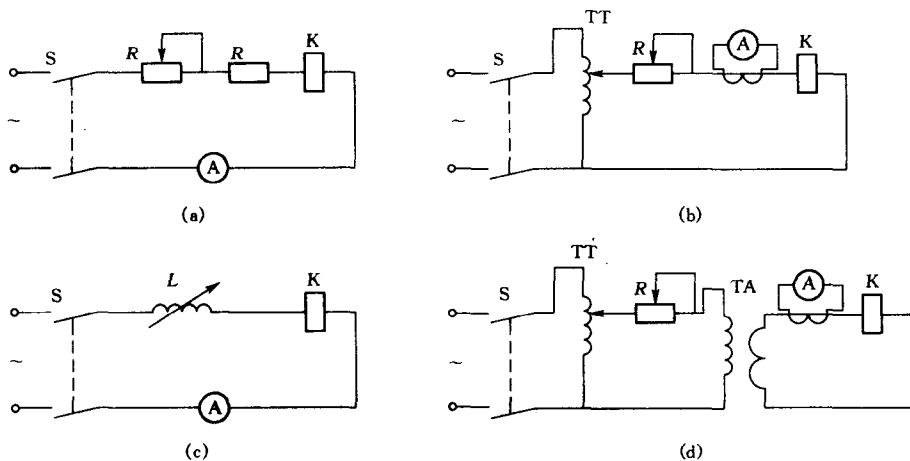


图 2-1 交流电流的调节方法

(a) 用电阻调节电流；(b) 用调压器调节电流；(c) 用电感调节电流；(d) 用大电流发生器调节电流

验回路的阻抗加大到远大于被试继电器阻抗，使被试继电器铁芯饱和对整个试验回路的影响变小，从而使试验电流基本上为正弦波。

3. 静态量度继电器

对于静态量度继电器若其输入量经滤波后再整流比较时，因其滤波回路将电源的高次谐波滤除，所以继电器的实际动作值不受高次谐波的影响。当试验电源有高次谐波时，若采用反映总有效值的电流表进行测量时，测得的数值与继电器的实际动作值之间就有差异。这种情况下试验电源就应尽量采用不会产生波形畸变的回路，如尽量用电阻调节，试验时采用相间电压等。

4. 电磁型差动继电器

对于电磁型差动继电器（如 BCH、DCD 型差动继电器）来说，它的速饱和变流器是一个非线性互感元件，当输入非正弦电流（有谐波分量）时速饱和变流器二次电流的大小和波形与输入正弦电流（无谐波分量）时相比都会发生明显变化，将导致稳态动作特性有较大误差。因此差动继电器试验时，禁止使用大电流发生器调节电流，而应采用图 2-1(a)~图 2-1(c)所示方法，以保证所加电流为正弦波。用 220V 电源时，应检查电源三次谐波分量，其值应很小。

当进行突然短路试验时，如冲击电流初相角为 0° ，实际系统中没有自由分量（非周期分量）电流，则上述几种调节电流的方法所得结果一样。但如果冲击电流初相角为 90° 、 270° ，则实际系统出现非周期分量电流，这时用回路阻抗角与实际系统阻抗