



国家电网  
STATE GRID

国网技术学院培训系列教材

# 变压器试验与分析

滕国军 牛林 主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网  
STATE GRID

国网技术学院培训系列教材

# 变压器试验与分析

---

滕国军 牛林 主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

为提高培训质量,国网技术学院依据国家电网公司制定的培训方案,结合自身实训设施和培训特点,编写完成了《国网技术学院培训系列教材》。

本书为《国网技术学院培训系列教材 变压器试验与分析》分册,共分为三个项目,主要内容包括:变压器特性试验,变压器绝缘试验,变压器相关部件试验。

本书可作为电气试验专业的培训教学用书,也可作为各电力培训中心及电力职业院校的电气试验专业教学参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

变压器试验与分析 / 滕国军, 牛林主编. —北京: 中国电力出版社, 2012.5

国网技术学院培训系列教材

ISBN 978-7-5123-3091-7

I. ①变… II. ①滕… ②牛… III. ①变压器—试验—职业培训—教材 IV. ①TM406

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 107945 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>)

北京雁林吉兆印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 12.5 印张 163 千字

印数 0001—3000 册 定价 38.00 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

# 《国网技术学院培训系列教材》

## 编 委 会

主	任	赵建国	钱 平		
副	主	任	费耀山	程 剑	马放瑞 李勤道
委	员	康梦君	张效胜	范永忠	石 椿
		孙明晔	肖成芳	黄保海	马敬卫
		王立志	陈威斋	冯 靖	张进久
		马 骐	王立新	王云飞	于洲春
		杨 健	高建国	陈祖坤	商自申
		王付生	刘汝水	赵桂廷	刘广艳
编	写	组	组	长	费耀山
副	组	长	黄保海	杨 健	
成	员	滕国军	牛 林	高楠楠	谭立成
		姚力夫	谢 峰	王可勇	王爱霞
		韩克存			



国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA

## 前 言

为贯彻落实国家电网公司“人才强企”战略，积极服务公司“三集五大”体系建设和智能电网发展对技能人才的需求，打造高素质的技术、技能人才队伍，提升企业素质、队伍素质，增强培训的针对性和时效性，创新国内一流、国际先进的示范性培训专业和标杆性培训项目，国网技术学院组织院内专职培训师、兼职培训师及国家电网公司系统内专业领军人才、生产技术和技能专家，结合国网技术学院实训设施和高技术、高技能员工培训特点，坚持面向现场主流技术、技能发展趋势的原则，编写了《国网技术学院培训系列教材》。

《国网技术学院培训系列教材》以培养职业能力为出发点，注重从工作领域向学习领域的转换，注重情境教学模式，把“教、学、做”融为一体，适应成年人学习特点，以达到拓展思路、传授方法和固定习惯的目的。

《国网技术学院培训系列教材》开发坚持系统、精炼、实用、配套的原则，整体规划，统一协调，分步实施。教材编写针对岗位特点，分析岗位知识、技术、技能需求，强化技术培训、结合技能实训、体现情景教学、覆盖业务范围、适当延伸视野，向受训学员提供全面的岗位成长所需要的素质、技术、技能和管理知识。编写过程中，广泛调研和比较分析现有教材，充分吸取其他培训单位在探索培养高素质的技术技能人才和教材建设方面取得的成功经验，依托行业优势，校企合作，与行业企业共同开发完成。

《国网技术学院培训系列教材》在经过审稿和试用后，已具备出版条件，将陆续由中国电力出版社出版。

本书为《国网技术学院培训系列教材 变压器试验与分析》分册。全书分为三个项目：项目一由山东电力集团公司滕国军、国网技术学院牛林、河南电力公司姚力夫编写；项目二由山东电力集团公司滕国军、国网技术学院牛林、高楠楠编写；项目三由山东电力集团公司滕国军、韩克存、国网技术学院牛林、谭立成、河南电力公司姚力夫编写。全书由山东电力集团公司滕国军、国网技术学院牛林担任主编，国网技术学院杨健担任主审，山东大学李可军、国核设计院邹振宇和山东电力集团公司朱振华、冯新岩、李彬等参审。

由于编者自身认识水平和编写时间的局限性，本系列教材难免存在疏漏之处，恳请各位专家及读者不吝赐教，帮助我们不断提高培训水平。

**编 者**

2012年11月



国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA

# 目 录

## 前言

项目一 变压器特性试验 .....	1
任务一 测量变压器绕组连同套管的直流电阻 .....	1
任务二 测量变压器电压比、极性和联结组别 .....	16
任务三 变压器绕组变形试验 .....	26
任务四 变压器空载电流和空载损耗测量 .....	45
任务五 变压器负载损耗测量 .....	70
项目二 变压器绝缘试验 .....	98
任务一 测量变压器绕组连同套管的绝缘电阻 .....	99
任务二 测量变压器铁心及夹件的绝缘电阻 .....	109
任务三 测量变压器绕组连同套管的 $\tan\delta$ .....	117
任务四 测量变压器绕组连同套管的直流泄漏电流 .....	127
任务五 变压器绕组连同套管的交流耐压试验 .....	136
项目三 变压器相关部件试验 .....	155
任务一 油浸式电力变压器电容式套管末屏绝缘电阻试验 .....	155
任务二 油浸式电力变压器电容式套管的 $\tan\delta$ 和电容量试验 .....	160

任务三 变压器有载分接开关检查 .....	169
附录 变压器试验报告格式 .....	186
参考文献 .....	192



## 变压器特性试验

### 【项目描述】

本项目要求学员掌握变压器特性试验的相关理论知识和操作技能，其中包括测量变压器绕组连同套管的直流电阻，测量变压器电压比、极性和联结组别，变压器绕组变形试验，变压器空载电流和空载损耗测量，变压器负载损耗测量。

### 【教学目标】

掌握变压器设备结构知识，掌握本项目各项变压器特性试验的相关理论知识，明确各项试验的目的、器材、危险点及防范措施，掌握各项试验的标准试验接线、方法和步骤，能够在专人监护和配合下完成各项试验过程，并依据相关试验标准，对试验结果作出正确的判断和比较全面的分析。

### 【教学环境】

相关设施完备且安全的电气试验专用实训场地，被试变压器，合格、安全、完备的试验仪器和安全工器具，设备结构教学模型，白板等完备的教学用品。

### 任务一 测量变压器绕组连同套管的直流电阻

#### 【教学目标】

掌握测量变压器绕组连同套管的直流电阻试验的理论知识和相关设备



结构知识,明确试验目的、器材、危险点及防范措施,掌握标准的试验接线、方法和步骤,能够在专人监护和配合下完成整个试验过程,并依据相关试验标准,对试验结果做出正确的判断和比较全面的分析。

## 【任务描述】

### 一、工作目标

变压器绕组连同套管的直流电阻测试是变压器试验中既简单又重要的一个试验项目。测试变压器绕组连同套管的直流电阻,主要目的是:检查绕组内部导线接头的焊接、压接质量,引线与绕组接头的焊接质量,调压分接开关各分接位置及引线与套管的接触是否良好及分接开关实际位置与指示位置是否相符,并联支路连接是否正确,变压器载流部分有无部分断路、接触不良以及绕组有无匝间、层间短路现象,多股导线并绕的绕组是否有断股等情况。

### 二、工作对象

测量变压器绕组的直流电阻,是电气试验工作的一个重要项目。在进行交接试验、例行试验、诊断性试验、预防性试验或改变分接开关分接头位置后,变压器直流电阻都是必做的测试项目之一。

## 【任务准备】

### 一、知识准备

测量变压器绕组直流电阻的方法有压降法和电桥法。具体方法是在被测绕组中通入一直流电流,待直流电流稳定后,测量通入该绕组的电流和该电流在绕组上产生的电压降,根据欧姆定律,计算出绕组的直流电阻。

变压器绕组可视为被测绕组的电感 $L$ 与其电阻 $R$ 串联的等值电路。当直流电压加于被测绕组时,由于电感中电流不能突变,因此,从被测绕组接通直流电源的瞬间到电路达到稳态存在一个过渡过程。该过渡过程时间

的长短，取决于该绕组电感  $L$  与该绕组电阻  $R$  的比值，即  $\tau=L/R$ 。 $\tau$  称为该电路的时间常数。

## 二、工作器材准备

(1) 直流电阻测试仪：BZC3391A，3395HG，仪表的准确度应不低于 0.5 级。

(2) 放电棒和接地线：放电棒应有放电电阻，放电棒的接地线长度应合适。

(3) 工作电源线盘。

(4) 万用表。

## 三、工作危险点分析及防范措施

(1) 试验前为防止变压器剩余电荷或感应电荷伤人、损坏试验仪器，应在试验前后将变压器进行充分放电。

(2) 试验仪器的金属外壳可能会带电而导致试验人员触电，因此仪器使用前应先接地，接地要牢固、可靠。

(3) 试验仪器在接通、断开充电电源时，均会在变压器绕组上产生很高电压，因此，测试中严禁任何人员靠近、触碰变压器的所有套管出线端。

(4) 试验结束后，应先将变压器的测量部位放电、接地，再进行更换接线、拆线工作。

## 【任务实施】

### 一、工作接线图（举例）

变压器低压、高压绕组连同套管的直流电阻测量接线分别如图 1-1 和图 1-2 所示。

在含有中性点引出线的变压器上测量绕组电阻时，必须使用测量相电阻的方式进行。

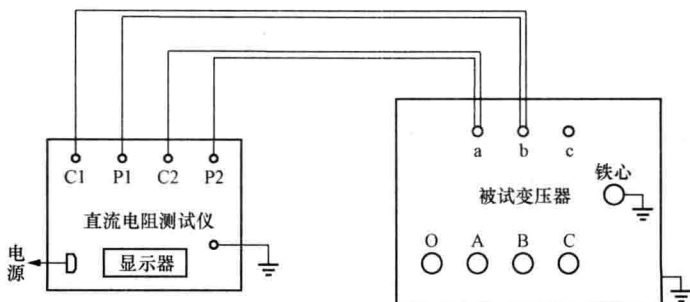


图 1-1 变压器低压绕组连同套管的直流电阻测量接线图

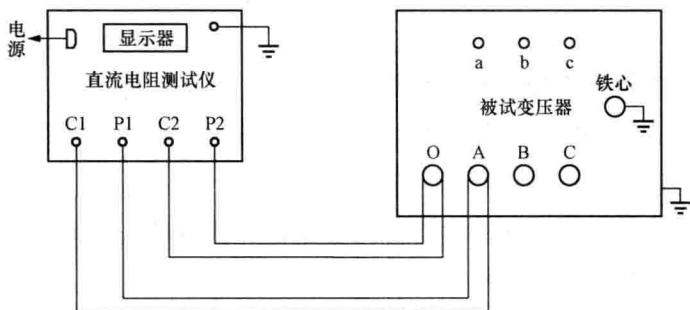


图 1-2 变压器高压绕组连同套管的直流电阻测量接线图

## 二、工作步骤

- (1) 将被试变压器放电，接地。
- (2) 选择合适的试验地点置放试验仪器，将仪器的金属外壳可靠接地。
- (3) 将 3395 测试仪可靠接地，打开电源开关，仪器显示“自检”和测试电流，说明仪器正常，关闭仪器开关。
- (4) 按仪器说明书及试验要求进行接线，先接试验仪器一侧接线，再将试验仪器与被试变压器绕组出线端子进行连接。试验接线接触必须良好、可靠，并有防止脱落措施。

变压器直流电阻测试仪的基本接线方法是四端法，即两个电流端子和

两个电压端子，分别用+I、-I、+V、-V 标明接线柱。由于变压器直阻通常比较小，所以电压测试端子应在电流测试端子内侧。变压器直流电阻测试仪基本接线方法如图 1-3 所示。

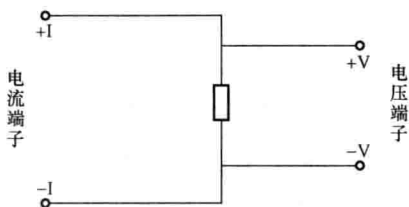


图 1-3 变压器直流电阻测试仪基本接线方法

试验现场中，试验测试线的电流端和电压端与变压器有多种连接方式，图 1-4 为几种与被试变压器的接线方法图例，C 为电流端，P 为电位端。其中 (a)、(b)、(c) 为正确接法，(d)、(e) 为不正确接法，不正确的接线方法是因为电位端包括过渡连接电阻。

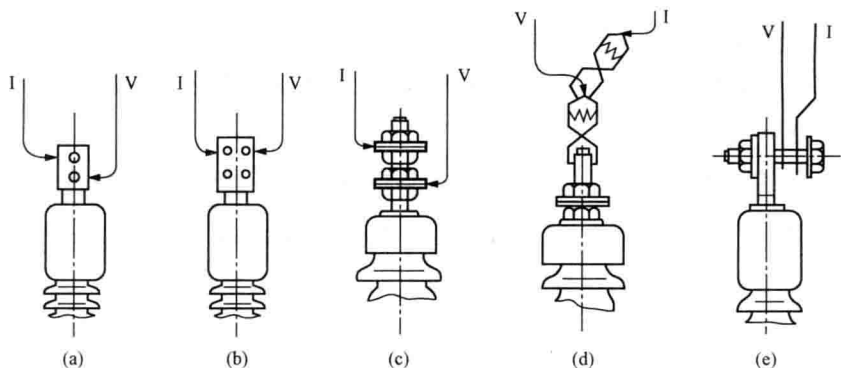


图 1-4 几种与被试变压器的接线方法图例

(a) ~ (c) 正确；(d)、(e) 错误

3395 变压器直流电阻测试仪的面板上标有+I、+V、-I、-V 接线柱，配有专用测试线。测试线分为红、黑两种颜色，分别接在+I、+V 和 -I、-V。



使用时不必区分接线与极性的关系，但是每种颜色的测试线必须接同极性接线柱。与被试变压器相接的是仪器自带的专用线夹，只要与被试变压器套管接线板（导电杆）接触良好即可。

(5) 变压器各绕组的电阻应分别在各绕组的接线端上测定。三相变压器绕组为星形连接且无中性点引出时，应测量其线电阻，如  $R_{AB}$ 、 $R_{BC}$ 、 $R_{CA}$ ；如有中性点引出时，应测量其相电阻，如  $R_{AO}$ 、 $R_{BO}$ 、 $R_{CO}$ 。但对中性点引线电阻所占比例较大的  $yn$  连接，且低压为 400V 的配电变压器，应测量其线电阻 ( $R_{ab}$ 、 $R_{bc}$ 、 $R_{ca}$ ) 及中性点对一个线端的电阻，如  $R_{ao}$ 。绕组为三角形连接时，首末端均引出的应测量其相电阻；封闭三角形的变压器应测定其线电阻。

(6) 检查试验接线均正确无误后，通知所有人员离开被试变压器现场。经试验负责人同意后启动测试电源开关，准备测试变压器直流电阻。操作人员应站在绝缘垫上，在测试变压器的直流电阻过程中做好监护和互唱工作。

(7) 根据变压器的出厂试验报告和历次试验数据，正确选择测试仪器的测试电流挡位，启动按钮开始测试。试验人员应把手放在电源开关附近，随时警戒异常情况发生。

3395 变压器直流电阻测试仪设有复位键，按下复位键，显示器循环显示稳流电流。充电电流有四个挡位，即 1mA、20mA、1A 和 5A。3395 变压器直流电阻测试仪的量程见表 1-1。

表 1-1 3395 变压器直流电阻测试仪量程

充电电流挡位	测量范围	充电电流挡位	测量范围
1mA	200Ω~20kΩ	1A	100mΩ~20Ω
20mA	2Ω~1kΩ	5A	1mΩ~4Ω

对于未知电阻的变压器，测试时应从最小电流量程选起。

试验仪器启动后，操作者应集中精力注意观察测试设备的状态。测试过程中严禁不经复位直接切断电源。

(8) 待测试的数据稳定后，记录测量的相别和数值。按动变压器直流电阻测试仪的复位按钮，通过测试仪内放电回路对变压器绕组进行放电，释放绕组所储存的能量。放电完毕（蜂鸣器停止鸣响），断开仪器电源。

(9) 变更试验接线，测量变压器另一个绕组的直流电阻。经复查无误后，再按上述程序进行测量。

(10) 变压器绕组连同套管的直流电阻全部测试完毕，在对绕组进行放电并接地后，首先拆除仪器的供电电源线，其次将接在变压器绕组上的测试线夹拆掉，再拆除连接在直流电阻测试仪上的测试导线，最后拆掉测试仪的接地线。

(11) 记录变压器的铭牌数据，观察和记录变压器的上层油温和变压器绕组温度、测试现场的环境温度和湿度、试验性质、试验人员姓名、试验地点等内容。

(12) 再次检查试验现场有无遗留物、是否恢复被测变压器的原始状态等，均正确无误后，撤掉变压器上的自接接地线。向试验负责人汇报测试工作结束和测试结果、结论等。整个试验过程结束。

## 【相关知识】

### 一、工作标准

#### 1. GB 50150—2006《电气装置安装工程 电气设备交接试验标准》

测量绕组连同套管的直流电阻，应符合下列规定：

(1) 测量应在各分接头的所有位置上进行。

(2) 1600kVA 及以下电压等级三相变压器，各相测得值的相互差值应小于平均值的 4%，线间测得值的相互差值应小于平均值的 2%；1600kVA 以上的三相变压器，各相测得值的相互差值应小于平均值的 2%，线间测



得值的相互差值应小于平均值的 1%。

(3) 变压器的直流电阻与同温下产品出厂实测数值比较, 变化不应大于 2%。不同温度下电阻值按照式 (1-1) 换算, 即

$$R_2 = R_1 \left( \frac{T+t_2}{T+t_1} \right) \quad (1-1)$$

式中  $R_1$ 、 $R_2$  ——分别为温度在  $t_1$ 、 $t_2$  时的电阻值;

$T$  ——计算用常数, 铜导线取 235, 铝导线取 225。

(4) 由于变压器结构等原因, 差值超过上述 (2) 条中规定时, 可只按 (3) 条进行比较。但应说明原因。

## 2. DL/T 393—2010《输变电设备状态检修试验规程》

DL/T 393—2010 中有关绕组直流电阻的规定见表 1-2。

表 1-2 DL/T 393—2010 中有关绕组直流电阻的规定

例行试验和检查项目	基准周期	要 求
绕组电阻	3 年	(1) 相间互差不大于 2% (警示值) (2) 同相初值差不超过 ±2% (警示值)

绕组电阻有中性点引出线时, 应测量各相绕组的电阻; 若无中性点引出线, 可测量各线间电阻, 然后换算到相绕组, 换算方法见 DL/T 393—2010 附录 B。测量时铁心的磁化极性应保持一致。要求在扣除原始差异之后, 同一温度下各相绕组电阻的相互差值应在 2% 之内。此外, 还要求同一温度下, 各相电阻的初值差不超过 ±2%。电阻温度修正按式 (1-1) 进行。

无励磁调压变压器改变分接位置后、有载调压变压器分接开关检修后及更换套管后, 也应测量一次直流电阻。

## 3. DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》

DL/T 596—1996 中有关绕组直流电阻的规定见表 1-3。



表 1-3 DL/T 596—1996 中有关绕组直流电阻的规定

项目	周 期	要 求	说 明
绕组 直流电阻	(1) 1~3 年 或自行规定 (2) 无励磁调 压变压器变换 分接位置后 (3) 有载调压 变压器的分接 开关检修后(在 所有分接测量) (4) 大修后 (5) 必要时	(1) 1.6MVA 以上变压器, 各相绕 组电阻相互间的差值不应大于三相 平均值的 2%, 无中性点引出的绕组, 线间差别不应大于三相平均值的 1% (2) 1.6MVA 及以下的变压器, 相 间差值一般不大于三相平均值的 4%, 线间差值一般不大于三相平均 值的 2% (3) 与以前相同部位测得值比较, 其变化不应大于 2% (4) 电抗器参照执行	(1) 如电阻相间差值在出 厂时超过规定, 制造厂已说 明了这种偏差的原因, 按要 求中 (3) 执行 (2) 不同温度下的电阻值 按式 1-1 换算 (3) 无励磁调压变压器应 在使用的分接锁定后测量

## 二、综合分析方法及注意事项

(1) 在选择试验仪器上, 变压器绕组直流电阻试验仪的精度应为 0.5 级以上。根据变压器容量大小及电阻大小, 选用试验设备的充电电流应能满足测量绕组的直流电阻要求。测试导线应满足测试电流的要求, 最好使用测试仪专配测试线, 否则会造成测试过程无法正常进行或测量误差较大等结果。

(2) 测量变压器绕组连同套管的直流电阻, 由于被测试的阻值一般都比较小, 用数字式测量仪测量小电阻值时 (一般小于  $1\Omega$ ), 电压线端 (P1、P2) 和电流线端 (C1、C2) 应分开, 测试导线应尽量短, 最好使用测试仪的专用测试线。电压线端 P 接在靠近绕组内侧, 电流线端 C 接在靠近绕组的外侧。3395 变压器直流电阻试验仪配有专用测试线夹, 可避免这种错误接线。

(3) 测试导线与变压器直流电阻测试仪、变压器套管出线要进行良好连接。测试导线的线夹应尽可能接到变压器出线套管的导电杆上, 无法直接接在导电杆上的, 测试线夹应接在套管接线板的相同位置上, 便于测量数值比较。接线夹接好后, 应进行小幅度的转动以消除导电杆、接线板的氧化层, 使接触良好, 避免造成误差影响测量结果。

为了尽可能减少测量误差, 应做到: