



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

电机实验实训 指导书

黄兰英 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

电机实验实训 指导书

主 编 黄兰英
编 写 毛 源
主 审 肖 兰



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电力技术类）。

本书从高职高专院校教学角度出发，对电机的主要实验及实训进行了详细介绍，着重于电机实验方法、实训工艺、操作技能的培养，具有实践性强、应用广泛等特点。本书共分为四章，包括按变压器部分、直流电机部分、异步电动机部分和同步电机部分。实验内容均配置有预习要点、实验仪器的选择、实验报告，实训内容均配有成绩评定表。

本书可作为高职高专院校电力技术类专业的电机学实验实训课教材，也可作为从事发电、变电检修和运行，以及工矿企业有关技术人员的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

电机实验实训指导书 / 黄兰英主编. —北京：中国电力出版社，2008

普通高等教育实验实训规划教材

ISBN 978-7-5083-7265-5

I. 电… II. 黄… III. 电机—实验—高等学校：技术学校—教学参考资料 IV. TM306

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 082095 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

2008 年 7 月第一版 2008 年 7 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 4.5 印张 104 千字
定价 7.00 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

前 言

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电力技术类）。

本书从高职高专院校电力技术类专业实验实训的教学角度出发，对变压器、电机的主要实验及实训进行了详细介绍，着重于实验方法、实训工艺、操作技能的培养，具有实践性强、应用广泛等特点。

本书包括变压器部分、直流电机部分、异步电动机部分和同步电机部分的实验及实训。为更好地培养学生的实验、实训能力，实验内容均配置有预习要点、实验仪器的选择、实验报告，实训内容配置有考核标准。

本书由黄兰英主编。编写分工为第一章、第二章由四川电力职业技术学院黄兰英老师编写，第三章、第四章由四川电力职业技术学院毛源老师编写。四川电力职业技术学院肖兰老师担任了本书主审。在本书编写过程中，得到了四川电力职业技术学院电机实验室李志祥老师的大力协助，在此表示感谢。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免存在疏漏及不足之处，恳切希望广大读者予以批评指正。

编 者

2008 年 5 月

目 录

前 言

第一章 变压器部分	1
实验 1 变压器的空载实验	1
实验 2 变压器的短路实验	4
实验 3 变压器绕组的直流电阻测试	8
实验 4 变压器的组别实验	15
实训 变压器吊芯检修	19
第二章 直流电机部分	24
实验 1 它励直流电动机的起动、调速、反转实验	24
实验 2 它励直流发电机的空载特性实验	27
实验 3 并励直流发电机的自励建压实验	30
第三章 异步电动机部分	32
实验 三相鼠笼式异步电动机的起动实验	32
实训 1 三相鼠笼式异步电动机的检修	36
实训 2 三相异步电动机的正反转控制线路安装	43
实训 3 三相异步电动机的变频调速	46
实训 4 三相异步电动机的能耗控制线路安装	51
实训 5 单相异步电动机的起动	54
第四章 同步电机部分	57
实验 1 三相同步发电机的并网实验	57
实验 2 三相同步电动机的起动实验	61
附录 制作绕线模	64
参考文献	66

第一章 变 压 器 部 分

实验1 变压器的空载实验

实验日期: _____ 组号: _____ 温度: _____

【实验目的】

- (1) 验证变压器变压的基本原理。
- (2) 测量变压器的空载电流 I_0 、空载损耗 p_0 ，计算变压器的变比和励磁参数。
- (3) 通过实验判定铁芯的质量。

【预习内容】

- (1) 如何用实验的方法测定变压器的变比、铁耗和励磁参数？
- (2) 空载实验时电源电压一般施加在变压器哪一侧？电流表应内接还是外接，为什么？
- (3) 变压器空载运行时功率因数为何较低？

【实验仪器】

- (1) 将实验用的单相变压器、自耦调压器的数量、型号记录在表 1-1 中。

表 1-1

变压器空载实验仪器

序 号	名 称	数 量	型 号
1	单相变压器		
2	自耦调压器		
3	单相功率表		
4	交流电压表		
5	交流电流表		

- (2) 根据空载实验条件，确定电压表、电流表、功率表的数量，估计空载电压、空载电流、空载损耗的数值，选择电压表、电流表、功率表型号，并将其记录在表 1-1 中。

【实验内容】

- (1) 验证变压器变压的原理，测定变比 k 。
- (2) 作空载实验，测取当 $U_1=U_{1N}$ 时的空载电流 I_0 、空载损耗 p_0 和二次侧空载电压 U_{20} 。

【实验接线及操作步骤】

- (1) 按图 1-1 所示接线图接线。一般变压器低压侧接电源，高压侧开路。
- (2) 操作步骤：
 - 1) 实验前接线经检查无误后，将自耦调压器 TA 的手柄调至零位，合上开关 QS。

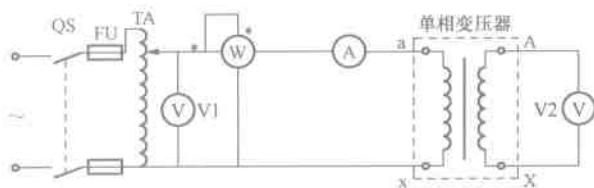


图 1-1 单相变压器空载试验接线

表的读数为低压侧额定电压 U_{1N} 时，记录功率表读数 p_0 及电流表的读数 I_0 ，并记录于表 1-3 中。

表 1-2 变压器一、二次侧电压比

序 号	U_1 (V)	U_{20} (V)	U_{20}/U_1
1			
2			
3			

表 1-3 空载实验数据

U_0 (V)	I_0 (A)	p_0 (W)

4) 调节自耦调压器 TA 手柄使输出电压逐渐减小为零，断开开关 QS。

【实验时的注意事项】

(1) QS 开关合闸前，应将自耦调压器 TA 的手柄调至零位，以避免电流表和功率表被合闸瞬间冲击电流损坏。

(2) 注意测量线路的正确布置，因空载电流值小，故电流表应内接。

(3) 由于空载运行时，变压器功率因数低，为减小实验误差，应采用低功率因数表。

(4) 选用仪表时应注意量程是否适当。

【实验报告】

(1) 计算变压器的变比 k 。计算公式为

$$k = \frac{U_{20}}{U_{1N}}$$

式中 U_{20} ——一次侧电压为额定值时二次侧的空载电压，V。

(2) 计算空载时的功率因数。计算公式为

$$\cos \varphi_0 = \frac{p_0}{U_{1N} I_0}$$

(3) 计算空载电流的百分值 $I_0\%$ 、有功分量 I_{Fe} 及无功分量 I_u 。计算公式为

$$I_0\% = \frac{I_0}{I_{IN}} \times 100\%$$

$$I_{Fe} = I_0 \cos \varphi_0$$

$$I_u = I_0 \sin \varphi_0$$

(4) 计算折算到高压侧的变压器的励磁参数值。计算公式为

$$Z_m = k^2 \times \frac{U_{IN}}{I_0}$$

$$r_m = k^2 \times \frac{P_0}{I_0^2}$$

$$x_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2}$$

(5) 为什么用空载实验可测定变压器的铁耗?

(6) 计算铁芯损耗百分值并判断铁芯的质量。计算公式为

$$p_{Fe}\% = \frac{P_0}{S_N} \times 100\%$$

【考核标准】

(1) 能动手操作, 并能在 90min 内完成测试项目, 所得成绩为该项目的 60%。

(2) 实验纪律和报告的完整性为该项目成绩的 40%。

(3) 若未经指导教师同意而擅自开动设备, 导致设备损坏者, 该项目不得分, 经济赔偿按设备管理规定执行。

实验2 变压器的短路实验

实验日期: _____ 组号: _____ 温度: _____

【实验目的】

- (1) 通过短路实验测定短路电压 U_k 、短路损耗 p_k ，计算短路参数。
- (2) 用短路实验及空载实验数据求变压器的电压变化率和效率。

【预习内容】

- (1) 如何用实验的方法测定变压器的铜耗和短路参数？
- (2) 短路实验时变压器一次侧的电流值应为多少？电流表应内接还是外接，为什么？

【实验仪器】

- (1) 将实验用的单相变压器、自耦调压器的数量、型号记录在表 1-4 中。

表 1-4 变压器短路实验仪器

序 号	名 称	数 量	型 号
1	单相变压器		
2	自耦调压器		
3	单相功率表		
4	交流电压表		
5	交流电流表		

- (2) 根据短路实验条件，确定电压表、电流表、功率表的数量，估计短路电压、短路电流、短路损耗的数值，选择电压表、电流表、功率表量程及型号，并将其记录在表 1-4 中。

【实验内容】

做短路实验，测取当 $I_k = I_{1N}$ 时的短路电压 U_k 、短路损耗 p_k 。

【实验接线及操作步骤】

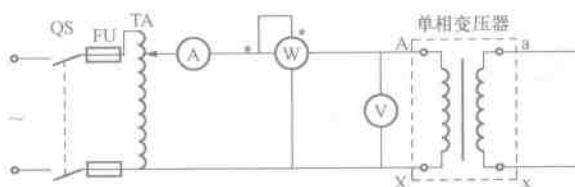


图 1-2 单相变压器短路实验接线图

(1) 按图 1-2 所示接线图接线。注意变压器高压侧接电源，低压侧直接短路，短路导线应连接可靠。

(2) 操作步骤：

1) 实验前接线经检查无误后，将自耦调压器 TA 的手柄调至零位，合上开关 QS。

2) 短路电压及短路损耗的测定。调节

自耦调压器 TA 的手柄从零位置开始缓慢转动,使电流表的读数为高压侧的额定电流 I_{1N} 时,将电压表读数 U_k 、功率表读数 p_k 记录于表 1-5 中。

3) 调节自耦调压器 TA 手柄使输出电压逐渐减小为零,断开开关 QS。

表 1-5 短路实验数据

U_k (V)	I_k (A)	p_k (W)

【实验时的注意事项】

(1) 开关 QS 合闸前,应将自耦调压器 TA 的手柄调至零位;闭合开关 QS 后,应非常缓慢的升高电压。

(2) 注意测量线路的正确布置。低压侧导线必须采用粗导线。

(3) 选用仪表时应注意量程是否适当。

【实验报告】

(1) 计算变压器高压侧的短路参数值。计算公式为

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k}$$

$$r_k = \frac{p_k}{I_k^2}$$

$$x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}$$

换算为 75°C 时的值

$$r_{k(75^\circ\text{C})} = \frac{235 + 75}{235 + \theta} r_k$$

$$Z_{k(75^\circ\text{C})} = \sqrt{r_{k(75^\circ\text{C})}^2 + x_k^2}$$

式中 θ ——实验室温度, $^\circ\text{C}$ 。

(2) 计算阻抗电压的百分值。计算公式为

$$U_k = \frac{I_{1N} Z_{k(75^\circ\text{C})}}{U_{1N}} \times 100\%$$

$$U_{kr} = \frac{I_{1N} r_{k(75^\circ\text{C})}}{U_{1N}} \times 100\%$$

$$U_{kx} = \frac{I_{1N} x_k}{U_{1N}} \times 100\%$$

(3) 计算负载损耗 p_{kN} 。计算公式为

$$p_{kN} = I_{1N}^2 r_{k(75^\circ\text{C})}$$

(4) 计算电压变化率 ΔU 及效率 η :

1) 设 $\cos\varphi_2=0.8$ (滞后), $\beta=1$ 。 ΔU 和 η 的计算公式为

$$\Delta U = \beta(r_k^* \cos\varphi_2 + x_k^* \sin\varphi_2)$$

$$\eta = \left(1 - \frac{p_0 + \beta^2 p_{kN}}{\beta S_N \cos\varphi_2 + p_0 + \beta^2 p_{kN}} \right) \times 100\%$$

2) $\cos\varphi_2=0.8$ (滞后) 时, 计算变压器最大的效率。计算公式为

$$\beta_m = \sqrt{\frac{p_0}{p_{kN}}}$$

$$\eta = \left(1 - \frac{2p_0}{\beta_m S_N \cos\varphi_2 + 2p_0} \right) \times 100\%$$

(5) 作出折算到变压器高压侧的“T”型等值电路。

(6) 为什么用短路实验能测变压器的铜耗?

【考核标准】

- (1) 能动手操作，并能在 90min 内完成测试项目，所得成绩为该项目的 60%。
- (2) 实验纪律和报告的完整性为该项目成绩的 40%。
- (3) 若未经指导教师同意而擅自开动设备，导致设备损坏者，该项目不得分，经济赔偿按设备管理规定执行。

实验3 变压器绕组的直流电阻测试

实验日期: _____ 组号: _____ 温度: _____

【实验目的】

(1) 采用直流电桥法测定变压器绕组直流电阻, 计算三相绕组直流电阻值互差并判断互差值是否符合规程规定。

(2) 判断绕组是否出现接触不良、焊接不良、匝间短路、层间短路、相间短路或接线错误等。

【预习内容】

- (1) 如何用万用表测量电阻?
- (2) 如何对直流电阻进行精确测量?

【实验仪器、用具】

(1) 准备多股软裸铜线 (4mm^2) 5m、绝缘放电杆 (50~100kV) 1 根, 绝缘电阻表 (2500V/1000V) 1 只。

(2) 将实验用三相变压器及测量用的万用表、单臂电桥、双臂电桥的数量及型号记录在表 1-6 中。

表 1-6 变压器短路实验仪器

序 号	名 称	数 量	型 号
1	三相变压器		
2	万用表		
3	单臂电桥		
4	双臂电桥		

【实验内容】

测试三相变压器高、低压绕组直流电阻。

【实验接线及操作步骤】

(1) 将变压器的分接开关打在额定分接头位置。三相变压器高、低压绕组作Y连接, 如图 1-3 所示。用万用表的欧姆挡初步估测出三相变压器高压绕组线间电阻 R_{AB} 、 R_{BC} 、 R_{CA} 及低压绕组线间电阻 R_{ab} 、 R_{bc} 、 R_{ca} 值。

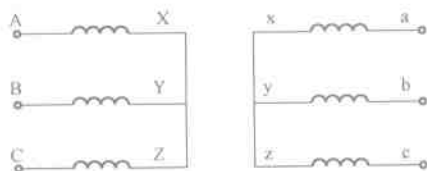


图 1-3 三相变压器高、低压绕组Y连接图

(2) 直流电阻精确测量。被试绕组线间电阻值在 1Ω 以上的一般用单臂电桥测量, 1Ω 以下的则用双臂电桥测量。

1) 单臂电桥测量直流电阻。单臂电桥主要用于测量 $1\sim 10^6\Omega$ 范围的电阻。单臂电桥测量直流电阻步骤如下:

- 将单臂电桥水平放置, 打开仪器盖。QJ23 型单臂电桥面板排列如图 1-4 所示。
- 将内外接指零仪转换开关拨向“内接”, 调节指零仪零位调整器, 使指针指向“0”位, 将内外接电源转换开关拨向“内接”。
- 将被测绕组两端接到电桥的专用接线端子 X1 和 X2 上, 被测绕组一定不能带电。
- 根据被测绕组直流电阻 R_x 的大概范围, 选择适当的比例臂率 (参考表 1-7), 原则是比较臂高位电阻一定要用上。使用电桥是否能准确测出电阻的值, 关键在于倍率的选择。

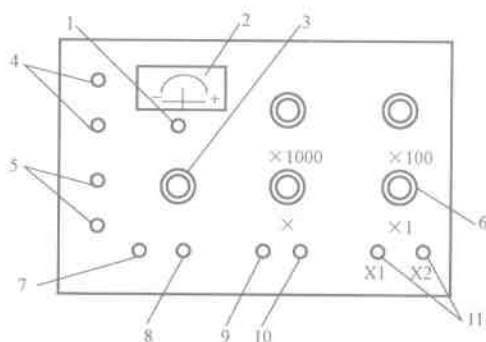


图 1-4 QJ23 型单臂电桥面板排列示意图

1—指零仪零位调整器; 2—指零仪 (检流计); 3—量程倍率变换器;

4—外接指零仪接线端子; 5—外接电源线端子; 6—测量盘;

7—内外接指零仪转换开关; 8—内外接电源转换开关;

9—指零仪按钮 G; 10—电源按钮 B;

11—电阻器接线端子 X1、X2

表 1-7 单臂电桥倍率选择

量 程 倍 率	有 效 量 程
$\times 0.001$	$1\sim 11.11\Omega$
$\times 0.01$	$10\sim 111.1\Omega$
$\times 0.1$	$100\sim 1111\Omega$
$\times 1$	$1\sim 11.11\text{k}\Omega$
$\times 10$	$10\sim 111.1\text{k}\Omega$
$\times 100$	$100\sim 111.1\text{M}\Omega$
$\times 1000$	$1\sim 11.11\text{M}\Omega$

e. 先按下电源按钮 B, 再按下指零仪按钮 G, 观察指针偏转方向。若指针向“+”方向偏转, 表示测量盘示值大于被试电阻值, 应减小测量盘示值直至电桥平衡 (检流计指针刚好指到“0”位); 若指针向“-”方向偏转, 表示测量盘示值小于被试电阻值, 应增大测量盘示值, 直至电桥平衡。

f. 电桥达到平衡后, 断开绕组任一端接线, 对被测绕组进行放电, 以防变压器绕组因自感引起的高电压对电桥产生破坏。

g. 先松开指零仪按钮 G, 再松开电源按钮 B。

h. 将内外接电源转换开关拨向“外接”, 内外接检流计转换开关拨向“外接”。

i. 测量结果的读取。按被测电阻值=测量盘读数 $\times$ 比例臂倍率计算, 并记录如下:

$$R_{AB} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, R_{BC} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, R_{CA} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$R_{ab} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, R_{bc} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, R_{ca} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

2) 双臂电桥测量直流电阻。双臂电桥主要用于测量 1Ω 以下的电阻。双臂电桥测量直流电阻步骤如下:

a. 将电桥水平放置。QJ42 型双臂电桥面板如图 1-5 所示。

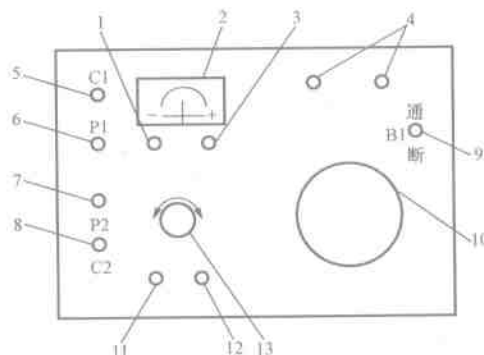


图 1-5 QJ42 型双臂电桥面板排列示意图

1—指零仪电气调零旋钮；2—指零仪（检流计）；3—指零仪灵敏度调节旋钮；
4—电桥外接工作电源接线柱；5、8—被测电阻电流端接线柱（C1、C2）；
6、7—被测电阻电位端接线柱（P1、P2）；9—集成电路指零仪工作电源
开关 B1；10—滑线读数盘；11—指零仪按钮 G；12—电源按钮 B
13—倍率选择开关

b. 按四端接法将被测电阻 R_x 两端接在电桥相应的接线柱上，AP1 和 BP2 为电位端引线，AC1 和 BC2 为电流端引线，如图 1-6 所示。

c. 将集成电路指零仪工作电源开关“B1”拨向“通”，调节指零仪电气调零旋钮使指零仪指针指向“0”位，灵敏度调适中。

d. 根据 R_x 的估计值，参考表 1-8 选择合适的倍率。“倍率选择开关”从“G 短路”移到所选倍率（如直流电阻阻值为 0.35Ω ，选择 $\times 10^{-1}$ 倍率）。

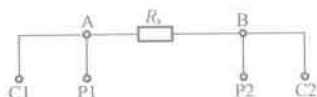


图 1-6 双臂电桥被测电阻接线方法

表 1-8 双臂电桥倍率选择

量 程 倍 率	有效量程 (Ω)
$\times 1$	1~11
$\times 10^{-1}$	0.1~1.1
$\times 10^{-2}$	0.01~0.11
$\times 10^{-3}$	0.001~0.011
$\times 10^{-4}$	0.0001~0.0011

e. 先按下电源按钮 B（锁住），再按下指零仪按钮 G，若指零仪指针偏向“+”方向，则表示读数盘示值大于被试电阻值，应减小读数盘示值直至电桥平衡（指零仪指向“0”位）；若指零仪指针偏向“-”方向，则表示读数盘示值小于被试电阻值，应增大读数盘示值直至电桥平衡。

f. 电桥平衡后，断开绕组任一端接线，对被测绕组进行放电。

g. 先松开指零仪按钮 G，再松开电源按钮 B，一定要将“倍率开关”旋回到“G 短路”位置上。

h. 将集成电路指零仪工作电源开关“B1”拨向“断”。

i. 读取被测电阻值。被测电阻阻值为 $R_x = Kx$ ，其中， K 为倍率开关的示值， x 为读数盘读数。记录数据如下：

$$R_{AB} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, R_{BC} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, R_{CA} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$R_{ab} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, R_{bc} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, R_{ca} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

(3) 同理, 测试分接开关打在其他分接头时所对应的高压绕组线电阻值。

注意: 测出的电阻值为冷态电阻值, 求热态电阻值时应进行温度换算。

【实验时的注意事项】

(1) 使用单臂电桥的注意事项:

1) 在被测电阻未接入前, 严禁按下电源按钮 B 或指零仪按钮 G, 更不能将两者同时按下。因为此时电桥处于不平衡状态, 流过指零仪的电流非常大, 指零仪极易损坏。

2) 应防止调节过程中电桥极不平衡撞坏指零仪指针, 因此要轻按电桥的电源按钮 B 和指零仪按钮 G。应绝对防止使劲按下 B 和 G 按钮, 以免松手后按钮弹不起来。

3) 正确判断电桥的真、假平衡。若测量过程中调节比较臂电阻时指零仪指针始终偏转不大, 这可能并不是电桥已平衡, 有可能是电池电压不足, 要及时进行更换。

4) 不能长时间按下按钮 B, 持续通电易使桥臂电阻升温, 影响测量精度。不能长时间按下按钮 G, 否则可能烧坏指零仪。

(2) 使用双臂电桥的注意事项:

1) 在进行双臂电桥接线时, 电桥的电位桩头要靠近被测电阻, 电流桩头要接在电位桩头的上面, 连接应牢靠。

2) 测量前, 应先估计被测绕组的电阻值, 将电桥倍率选择开关置于适当位置, 将非被测绕组短路并接地, 然后打开电源开关充电, 待充足电后按下指零仪开关, 迅速调节测量臂, 使指零仪指针向指零仪刻度中间的“0”位方向移动, 最后进行微调, 使指针平稳停在“0”位上。

3) 测量完毕, 先松开指零仪按钮, 再松开电源按钮。

(3) 由于变压器绕组存有电感, 测量时的充电电流不太稳定, 一定要在电流稳定后再计数。

(4) 尽量减少实验回路中的导线接触电阻。

【实验报告】

(1) 将测得的电阻值换算到 20℃ 时的值, 并将换算后的电阻值填入表 1-9。计算公式为

$$R_{(20^{\circ}\text{C})} = R_t K$$

$$K = (T + 20)/(T + t)$$

上两式中 $R_{(20^{\circ}\text{C})}$ —— 20℃ 时的直流电阻值, Ω;

R_t —— $t^{\circ}\text{C}$ 时的直流电阻值, Ω;

T —— 常数, 铜导线为 234.5℃, 铝导线为 225℃;

t —— 测量时的温度, ℃。

表 1-9

变压器绕组直流电阻

绕组的直流电阻 (温度 20℃)						
高压绕组	挡次	I	II	III	V	VI
	R_{AB}					
	R_{BC}					

续表

绕组的直流电阻 (温度 20℃)						
高压绕组	挡次	I	II	III	V	VI
	R_{CA}					
	$\Delta R\%$					
低压绕组	R_{ab}		R_{bc}		R_{ca}	
					$\Delta R\%$	

(2) 计算绕组电阻互差并填入表 1-9 中。

绕组电阻互差的计算公式为

$$\Delta R\% = [(R_{\max} - R_{\min}) / R_{av}] \times 100\%$$

式中 $\Delta R\%$ ——互差百分数；

$R_{\max}$ ——实测电阻中的最大值， Ω ；

$R_{\min}$ ——实测电阻中的最小值， Ω ；

R_{av} ——三相中实测电阻平均值， Ω ，高压绕组的 $R_{av} = \frac{R_{AB(20^\circ\text{C})} + R_{BC(20^\circ\text{C})} + R_{CA(20^\circ\text{C})}}{3}$ ，

低压绕组的 $R_{av} = \frac{R_{ab(20^\circ\text{C})} + R_{bc(20^\circ\text{C})} + R_{ca(20^\circ\text{C})}}{3}$ 。

(3) 判断绕组直流电阻互差是否符合规程要求？（规程规定：1600kVA 以上的变压器，各相绕组的直流电阻相互间的差别不应大于三相平均值的 2%；1600kVA 以下的变压器，各相绕组的直流电阻值相互间的差别不应大于三相平均值的 4%，线间电阻值相互间的差别不应大于三相平均值的 2%。本次测量值与上次测量值相比较，其变化也不应大于上次测量的 2%）

(4) 计算变压器每相绕组电阻值。设三相变压器线间电阻为 R_{AB} 、 R_{BC} 、 R_{CA} ，每相电阻为 R_A 、 R_B 、 R_C 。以高压绕组为例，计算相电阻值的方法如下：