

高级电工培训教材

维修电工技能训练

劳动部培训司组织编写

中国劳动出版社

前 言

随着科技进步与经济发展,电气设备使用广泛,特别是自动控制技术的应用推广,一些新型复杂的机电设备日益增多。对这些设备的安装、调试与维修任务越来越大,需要合格的高级电工越来越多。为使培训高级电工的工作逐步规范化,我们会同有关部门和地方组织编写了这套高级电工培训教材。

这套教材的编写是从企业生产实际出发,主要依据《工人技术等级标准》,既考虑到工人的实际技术状况,又适当兼顾今后生产发展的需要,使其不仅满足目前各行业培训高级电工的需要,又为培训对象进一步掌握新知识、新技能奠定基础。本套教材具有工人培训教材的讲求实际、实用、实效的特点。在内容上,努力做到理论与实践紧密结合,操作技能方面以培养工人掌握复杂操作的技能技巧和增强分析、判断、排除各种复杂故障的能力为重点;理论知识方面力求突出针对性、实用性,与技能训练紧密配合。文字叙述尽量做到深入浅出、通俗易懂,可供培训高级电工使用,也可供工人自学使用。

此套教材计有:《电气管理知识》、《微机原理与应用》、《电工基础》、《电子技术》、《电气测量》、《电机原理与维修》、《工厂电气控制技术》、《液压传动》、《工厂变配电技术》、《电气安装技术》、《高级维修电工技能训练》、《高级电工技能训练》等共 12 种。

教材的编写得到了航空航天部、建设部、轻工部、天津市机械局、上海、江苏、湖南、辽宁、河南、山东省(市)劳动厅(局)的支持。

由于高级工人培训教材的编写,目前尚无成熟经验可循,教学思想、教学内容、教学方法的改革都在研究探讨之中,书中存在一些缺点和不足在所难免。恳切希望广大读者提出宝贵意见,以便在适当的时候进行修订,使之更加完善。

劳动部培训司

目 录

绪 论	1
-----	---

课题一 测量技术

项目 1-1 电工测量及仪器选用	4
实习 1-1-1 小电阻测量	4
实习 1-1-2 交流参数的测量	7
实习 1-1-3 功率因数及其提高	12
项目 1-2 电子测量及仪器选用	15
实习 1-2-1 频率、相位的测量	15
实习 1-2-2 电压、电流波形的测量	19
实习 1-2-3 晶体管参数的测量	21
项目 1-3 非电量电测法	28
实习 1-3-1 热电偶校验	28
实习 1-3-2 热敏电阻校验	30
实习 1-3-3 温度变送器调校	32
实习 1-3-4 变形与力的测量	36
实习 1-3-5 位移测量	39

课题二 电机维修

项目 2-1 电机绕组的维修	42
实习 2-1-1 交流电动机绕组的维修	42
实习 2-1-2 直流电动机绕组的维修	57
项目 2-2 电机性能测试	62
实习 2-2-1 转子校平衡	62
实习 2-2-2 电刷压力的测定	64
实习 2-2-3 异步电动机性能测试	64
实习 2-2-4 直流电动机性能测试	71
项目 2-3 调速电动机的调试	73
实习 2-3-1 整流子电动机的调试	73
实习 2-3-2 交流电磁调速电动机的性能调试	77
项目 2-4 控制电机的使用与维护	79
实习 2-4-1 测速发电机的使用与维护	79
实习 2-4-2 伺服电机的使用与维护	82
实习 2-4-3 步进电动机的使用与维护	90
实习 2-4-4 电机放大机的使用与维护	95
项目 2-5 三相变压器组接与测试	101

实习 2-5-1	三相变压器钟点组接与极性测试	101
实习 2-5-2	三相变压器参数的测试	112
课题三 电子技术		
项目 3-1	模拟电子技术及应用	115
实习 3-1-1	电子放大器的测试与调整	115
实习 3-1-2	差动放大器的测试与调整	118
实习 3-1-3	负反馈放大器的性能测试	122
项目 3-2	运算放大器的应用	125
实习 3-2-1	运放器的基本运算	126
实习 3-2-2	运放器的应用——PI、PD 调节器	132
实习 3-2-3	文氏电桥振荡器	134
项目 3-3	数字电子技术及应用	138
实习 3-3-1	组合逻辑电路	138
实习 3-3-2	计数、译码显示器	140
实习 3-3-3	A/D、D/A 转换器	144
实习 3-3-4	数字电路的应用实例之一——数字秒表	146
实习 3-3-5	数字电路的应用实例之二——汽车尾灯控制器	147
实习 3-3-6	数字电路的应用实例之三——步进电动机的转速控制	151
课题四 变流技术		
项目 4-1	三相可控整流电路的安装、调试及维修	155
实习 4-1-1	三相半波可控整流主电路与正弦波触发电路	155
实习 4-1-2	三相全控桥式整流主电路与锯齿波同步触发电路	167
实习 4-1-3	三相半控桥整流电路	177
实习 4-1-4	双反星形可控整流电路与晶闸管电镀电源	186
项目 4-2	双闭环直流调速系统——连接、调试及维修	191
实习 4-2-1	晶闸管直流调速系统开环调试	191
实习 4-2-2	晶闸管直流调速系统闭环调试	199
实习 4-2-3	晶闸管变流装置的故障分析与维修	204
项目 4-3	变频系统的调试及维修	214
实习 4-3-1	三相半波(零式)有源逆变电路	214
实习 4-3-2	晶闸管中频装置	216
实习 4-3-3	变频器常见故障分析与维修	222
课题五 电气控制		
项目 5-1	龙门刨床电气控制系统——分析、安装、调试与维修	223
实习 5-1-1	工艺要求与电气设备	223
实习 5-1-2	主拖动控制系统	232
实习 5-1-3	熟悉电气控制电路(读图)	239
实习 5-1-4	电气设备的安装与调试	247
实习 5-1-5	电气故障分析与维修	254

项目 5-2 继电控制电路简化与逻辑设计	260
实习 5-2-1 继电逻辑线路的简化	260
实习 5-2-2 继电控制线路逻辑设计	265
项目 5-3 电气设备维修管理与大修工艺编制	274
实习 5-3-1 电气设备维修管理	274
实习 5-3-2 电气设备复杂系数的计算	276
实习 5-3-3 电气设备大修工艺编制	283

课题六 微机应用

项目 6-1 微机(单板机或单片机)应用	290
实习 6-1-1 TP—801 单板机的操作技能	290
实习 6-1-2 单板机在控制中的应用实例	310
实习 6-1-3 单片机在控制中的应用实例	315
项目 6-2 可编程序控制器(PC)的应用	323
实习 6-2-1 PC 机的编程方法	323
实习 6-2-2 PC 机编程器的操作技能	335
实习 6-2-3 PC 机在控制中应用实例	346

绪 论

一、本书的基本性质与任务

《高级维修电工技能训练》是一门理论与实践紧密结合、涉及面非常广泛的技术课程。本书的主要任务是提高学员综合分析能力,掌握解决生产中复杂的电工操作技术问题的方法和测试维修技能;培养学员良好的职业道德和严谨的工作作风。

二、本书的主要内容与要求

主要内容与要求分为六个课题,具体如下:

1. 测量技术(课题一) 要求掌握常用电工、电子及非电量电测仪器的正确选用技能;
2. 电机维修(课题二) 要求掌握交直流电机,特种、控制等类电机及三相变压器的使用、维修及测试技能;重点放在控制电机及三相变压器的使用上;
3. 电子技术(课题三) 要求掌握模拟电路和数字电路的安装、调试及测试维修技能;
4. 变流技术(课题四) 要求掌握晶闸管变流(整流与逆变)电路及直流调速系统的接线、调试及维修技能;
5. 电气控制(课题五) 要求掌握复杂电气控制设备的分析、安装、调试及维修技能,继电控制线路的简化与设计方法,电气设备维修管理及大修工艺编制方法;
6. 微机应用(课题六) 要求掌握单板机、单片机的应用操作技能及 PC 机(可编程控制器)的编程和应用操作技能。

上述内容是近代电工技术发展的需要,也是高级维修电工技术等级标准(技能应会)的要求,所以学员必须全面掌握。

书中每个课题,实际上就是一个学科,相当于一篇。每个课题选择若干典型的培训项目,每个项目相当于一章,并配上若干个实习,这样,一共是六个课题,十九个项目,六十一个实习。每个实习,其目的和要求明确,既有原理的讲解与复习,又有实习操作的内容、方法与步骤,既是理论课的概括和总结,又是实际操作实习的“指南”。

三、上好实习课

1. 注意实习操作安全

在实习过程中,应随时注意人身与设备的安全,防止发生事故。

- (1)千万不可用手触及带电的裸露部分,各种试验均应站在绝缘垫上进行(或穿电工鞋)。
- (2)接线、改接及拆线都必须在切断电源后进行,即使在电压较低时,也要这样做,以便养成良好的习惯。此外,接线时应最后接电源线,拆线时应先拆电源线,以确保安全。
- (3)线路接错往往是造成设备损坏的主要原因,所以应严格按照实习线路以及仪器设备有关规定进行接线。
- (4)接线后,应由同组学员互相校对复查,再经实习指导老师检查,确认无误后方可通电。检查的重点之一是接线是否正确,其二是调节设备是否放在规定的位置。
- (5)接线前应先校核实习所用仪器设备是否齐全,其型号规格是否合适。通电后应随时注意各仪器的指针量值范围是否超过量程。

(6)当实习中遇有旋转设备时,应注意防止衣服、发辫等卷入而造成工伤事故。在工作台往复运动处,在行车、吊车下要提高警惕,防止撞伤。

(7)使用与焊接集成电路时,电烙铁应 $\leq 40\text{W}$,接地良好,多余的“与”门输入端要接高电平,多余的“或”门和触发器的所有输入端要接低电平,不得遗漏。

(8)在用示波器测试晶闸管电路、电源相序及波形时,尽量采用隔离变压器给示波器供电。否则,应将示波器接地悬空,并进行绝缘保护,且实行单手操作,以防止发生设备及人身事故。

(9)实习现场,要保持安静、文明生产和整洁卫生,不要擅自离开自己的实习岗位;不要随便拨弄与自己实习无关的仪器设备;严禁吸烟和随地吐痰;要爱护公物,养成良好的职业道德。

(10)当发现潜在的事故苗头及仪器设备的不正常现象时,应相互提醒加以纠正。万一发生事故,则必须立即切断电源,然后再检查处理。

2. 实习前要预习

在实习前学员要进行预习,以便做到胸有成竹,心中有数。

(1)每次实习前应仔细阅读本教材的有关实习部分,明确实习目的和要求,熟悉实习内容,了解实习的原理、方法和步骤。

(2)写好预习报告,其内容大致为:

- ①实习名称、任务;
- ②实习内容、原理、方法与步骤;
- ③实习线路、仪器设备;
- ④记录数据的表格;
- ⑤实习注意事项等。

(3)进行实习前,应先将预习报告交给实习指导人员审阅,待签字批准后,才能开始实习。

3. 实习操作要按顺序进行

(1)仪器设备的配备与检查 通常在实习前,老师已将每组实习所需仪器设备配齐,为培养学员的独立工作能力,所以在实习开始时,学员仍应核对一遍,并将仪器设备的型号、规格记在报告纸上,如发现遗漏或配置不当时,则加以纠正。对有些仪器还应进行检查调整。

(2)按实习电路进行接线 仪器设备应放置整齐,一般程序是:电源 $\rightarrow$ 调节设备 $\rightarrow$ 测量仪表 $\rightarrow$ 负载等,从左 $\rightarrow$ 右排列。尽量做到层次分明,一目了然,既便于实习、观察、读数,又便于检查。

接线顺序:一般先接串联电路,后接并联电路。对复杂的,可将其分成若干单元电路,先将各单元电路接好,再将各单元电路连接起来。

(3)按实习要求测试观察和记录 通电后,不要急于记录数据,应先将电路的电压、电流从零调到所要求的数值,观察仪器设备工作是否正常,如属正常,则按规定步骤正式进行实习。

当同时要观察几个参数时,应尽量同意时读数,对模拟表读数时,目光要垂直对着指针,取四位有效数字。

记录要有条理,记在事先准备好的预习表格中。杂乱无章的记录,常常是造成错误,导致失败的原因。要随时核对数据的合理性,偏离过大时,应重新测量。

(4)实习结束前应请指导老师检查验收 实习线路,应在实习任务完成,测试记录数据齐全并经导师检查后才能拆除,以便在必要时补遗及修正。

(5)实习结束后,拆掉实习线路,所用仪器设备均应复归原位,导线整理成束,清理实习台

面及场地,必要时清扫之,做到认真、负责、科学、文明。

4. 写好实习报告

实习完了,应进行总结,写出实习报告,通过思考、分析、归纳、整理,不但能巩固所学的知识,而且能提高学员的工作能力。

课题一 测量技术

测量技术是电工,尤其是高级电工必须掌握的基础技术。因为近代电工技术必须依靠现代化的检测手段,因此要求高级维修电工必须熟练掌握常用的电工、电子测量方法,并能正确选用测试仪器和设备。由于维修电工需要维修自动化设备,所以对于非电量的电测手段也要有所了解。本课题分为三个项目进行培训。

项目 1-1 电工测量及仪器选用

本项目的主要内容是小电阻测量、交流参数测量及功率因数的提高,分成三个实验来进行。

实习 1-1-1 小电阻测量

一、实习目的

1. 了解双臂电桥的结构原理
2. 掌握测量小电阻的方法

二、实习原理

1. 什么是小电阻 1Ω 以下的电阻,如短导线的电阻、匝数很少线圈的电阻、开关的接触电阻等都是小电阻。测量小电阻时,由于待测电阻值很小,而连接导线的电阻和测量仪表连接处的接触电阻与待测电阻有同样的数量级,有时甚至大于被测电阻,这将使测量结果产生很大误差。双臂电桥能够克服接线电阻和接触电阻给测量带来的误差,因此,测量小电阻时要用双臂电桥。

2. 为什么双臂电桥在测量小电阻时能够克服接线电阻和接触电阻所带来的误差 我们以 QJ44 双臂电桥的工作原理为例来加以说明。

图 1-1 为直流双臂电桥的电路。 R_n 为标准电阻,作为电桥的比较臂; R_x 为被测电阻,它与电桥的连接方法见图 1-1 所示。

标准电阻 R_n 和被测电阻 R_x 各备有一对电流接头,如 R_n 上的 C_{n1} 和 C_{n2} , R_x 上的 C_{x1} 和 C_{x2} ; 还各备有一对电位接头,如 R_n 上的 P_{n1} 和 P_{n2} , R_x 上的 P_{x1} 和 P_{x2} , 如图 1-2 所示。

接线时要特别注意,一定要使电位引出线之间只包含被测电阻 R_x , 否则就达不到排除和减小接线电阻和接触电阻影响测量结果的目的。所以“电流接头”要接在“电位接头”的外侧。电阻 R_n 和 R_x 用一根粗导线 $C_{n2}C_{x2}$ 连接起来,并和电源组成一个闭合回路,在它们的“电位接头”上,分别与桥臂电阻 R_1 和 R_2 、 R_3 、 R_4 相连接,桥臂电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 的电阻值应不低于 10Ω , 当电桥达到平衡时,通过检流计 P 中的电流 $I_0=0$, c 、 d 两点的电位相等。设连接在 R_n 和 R_x 的粗导线的电阻值为 R (含接触电阻), 根据基尔霍夫第二定律, 可以得出下列方程组。

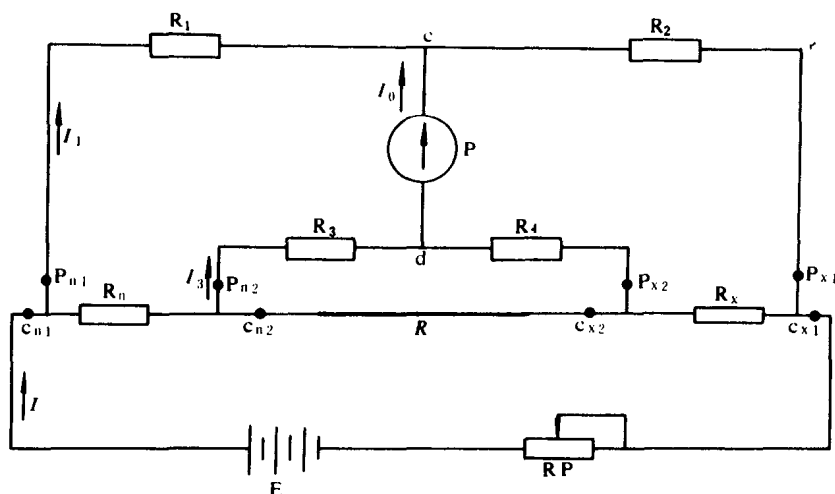


图 1-1 双臂电桥的电路

P——检流计 E——直流电源 R_1, R_2, R_3, R_4 ——桥臂电阻 R_n ——标准电阻
 R_x ——被测电阻 R_P ——调节电阻 C——电流接头 ($C_{x1}, C_{x2}, C_{n1}, C_{n2}$)
 p——电位接头 ($P_{x1}, P_{x2}, P_{n1}, P_{n2}$)

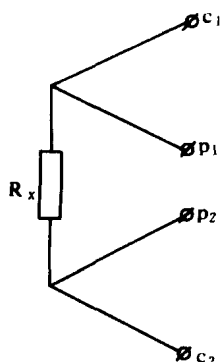


图 1-2 被测电阻 R_x 的四线制接法

$$I_1 R_1 = I_n R_n + I_3 R_3 \quad (1-1)$$

$$I_1 R_2 = I_n R_x + I_3 R_4 \quad (1-2)$$

$$(I_n - I_3) R = I_3 (R_3 + R_4) \quad (1-3)$$

解方程组可以得出：

$$R_x = \frac{R_2 R_n}{R_1} + \frac{R R_2}{R + R_3 + R_4} \left(\frac{R_3}{R_1} - \frac{R_4}{R_2} \right) \quad (1-4)$$

在制造电桥时，使得电桥在调节平衡的过程中总是保持：

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2}$$

那么，式 (1-4) 右边包含有电阻 R 的部分总是等于零。被测电阻 R_x 就由式 (1-4) 右边的第一项决定，即：

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_n \quad (1-5)$$

由图 1-1 所示电路可以看出，被测电阻 R_x 和标准电阻 R_n 之间的接线电阻，以及接头 C_{n2} 和 C_{x2} 的接触电阻都包括在含有电阻 R 的支路内（可以视为 R 的一部分），从式 (1-4) 可以看出，只要保证 $\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2}$ ，那么，不管 R 的数值多少，等式右边的第二部分总是等于零，被测电阻总是按式 (1-5) 进行计算，这样就减小了这部分接线电阻和接触电阻对测量结果的影响。

R_x 和 R_n 与电源连接的接线电阻，以及 C_{x1} 和 C_{n1} 两接头的接触电阻，只对总的工作电流 I 有影响，对电桥的平衡无影响，所以这部分接线电阻和接触电阻对测量结果的影响就排除了。

电位接头 P_{n1} 、 P_{n2} 、 P_{x1} 、 P_{x2} 的接触电阻以及接线电阻都分别包括在相应的桥臂支路里，由于桥臂电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 都选择在 10Ω 以上，接触电阻和接线电阻同这个数值比较起来是微不足道的，所以，对测量结果的影响也极微小，这样就减少了这部分接触电阻和接线电阻

对测量结果的影响。

三、实习内容

给定试样小电阻三只，编号为1#、2#和3#，试用QJ44型双臂电桥进行测量。QJ44型双臂电桥面板布置如图1-3所示。

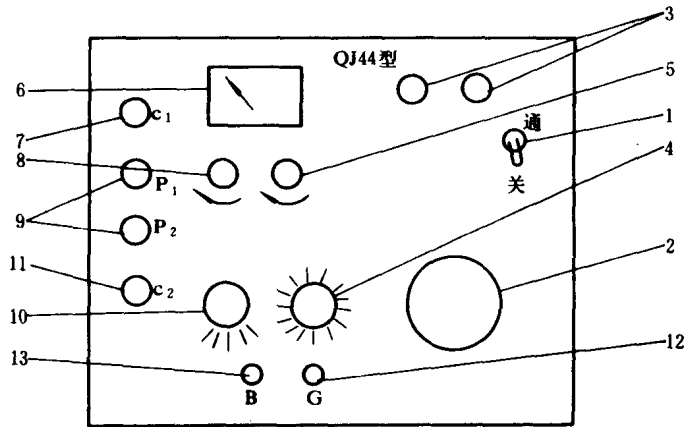


图 1-3 QJ44 型双臂电桥面板布置图

- 1—晶体管检流计工作电源开关 2—滑线读数盘 3—电桥外接工作电源接线柱 4—步进读数开关
5—检流计灵敏度调节旋钮 6—检流计 7、11—被测电阻的电流端接线柱 8—检流计电气调零旋钮
9—被测电阻的电位端接线柱 10—倍率读数开关 12—检流计按钮开关 13—电桥工作电源按钮开关

四、测量方法与步骤

1. 将工作电源开关扳到“通”的位置，预热 5 分钟，调节晶体管检流计指针零位。
2. 被测电阻按四端连接法接在测量端，如图 1-2 所示。
3. 估计被测电阻值，选择适当的倍率位置。倍率与测量范围的选择见表 1-1 所示。

表 1-1 倍率与测量范围的选择

倍 率	被测电阻范围 (Ω)
$\times 100$	1.1~11
$\times 10$	0.11~1.1
$\times 1$	0.011~0.11
$\times 0.1$	0.0011~0.011
$\times 0.01$	0.00011~0.0011

4. 将检流计灵敏度调节旋钮先放在灵敏度最低位置，然后先按“G”，再瞬时按“B”，注意检流计指针的偏转，如向正方向偏转，则需要适当减小电阻读数。反之，则增加电阻读数。最后调节步进读数和滑线读数，使检流计指针指零。

5. 再适当选择检流计灵敏度位置，调灵敏度旋钮，使滑线盘读数刻度变化四小格时，

检流计指针偏离零位一小格以上。再次调节滑线读数，使检流计指针指零。

6. 计算被测电阻 R_x ： $R_x = \text{倍率} \times (\text{步进读数} + \text{滑线读数})$
7. 测量完毕后，将电源开关扳向“关”的位置。
8. 若被测电阻 R_x 不知约值，则置倍率 $C=1$ 步进放置 0.01，注意检流计指针偏转。
 - (1) 若指针向“+”那边偏转，则表示 $R_x < 0.01\Omega$ ，再置倍率 $C=0.1$
 - (2) 若指针向“-”那边偏转，则表示 $R_x > 0.01\Omega$ ，再置倍率 $C=10$以此类推，先选定倍率 C ，再按 4~7 项步骤进行测量。

9. 将测量结果填入表 1-2 内。

表 1-2

试样电阻测试数据

试样编号	倍率	步进读数	滑线读数	R_x
1				
2				
3				

五、注意事项

双臂电桥 1. 5V 电源由 4~6 节 1 号电池并联组成, 所以在测量时“B”应瞬时触按其按钮, 以防止电源很快用完和打坏检流计指针。

六、实习报告

1. 整理测试数据 (按表 1-2 列表)。

2. 回答思考题: 用双臂电桥测量小电阻时, 如何连接, 方能忽略接线电阻及接触电阻? 为什么?

实习 1-1-2 交流参数的测量

一、实习目的

1. 掌握 AWV 测量 L 、 C 的方法
2. 学会 WQJ-1 型万用电桥使用方法

二、实习原理

交流电路的等效参数为电阻、电感和电容, 而实际电路元件的特性不是单一参数, 但在给定条件下, 实际电路的每一元件可用一定的等效参数来表示。

1. 实验中常用的变阻器和一般电阻器, 在低频时可以略去其电感及分布电容, 而看成是纯电阻。

2. 一般电容器都存在漏电阻及介质损耗, 实际上, 一个电容器是相当于电阻和电容并联的电路, 但在低频时, 介质损耗所产生的功率损耗可以略去, 因而可以看成是纯电容 C 。在正弦交流电的情况下, 电容两端电压 U 与其中电流 I 的相量关系式为

$$\dot{U} = -jX_C \dot{I} = -j \frac{1}{\omega C} \dot{I} = \frac{I}{\omega C} \angle -90^\circ \quad (1-6)$$

$$U_C = I X_C = I \frac{1}{\omega C} \quad (1-7)$$

电压落后电流 90° , 电容吸收的平均功率为零。

对于上述两种具有单一参数的元件, 我们只需要测出元件两端的电压有效值和电流有效值, 便可以计算出它们的参数。

3. 电感线圈在低频应用时, 通常可以略去其线圈的匝间分布电容, 但线圈的电阻一般不能忽略, 所以在低频情况下, 电感线圈可以由电阻和电感这两个参数来表示。在正弦交流电的情况下, 电感线圈的复阻抗:

$$Z = R_L + jX_L = R_L + j\omega L = \sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2} \quad \varphi = Z \quad \varphi \quad (1-8)$$

线圈两端电压 U 与其中电流 I 的关系为:

$$\dot{U} = (R_L + jX_L) \dot{I} = Z \angle \varphi I \quad (1-9)$$

电压超前电流 φ 角, 电感线圈吸收的平均功率:

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R_L \quad (1-10)$$

由上可见: 只要测出 U 、 I 、 P , 就能算出线圈的等效参数:

$$Z = \frac{U_L}{I}, R_L = \frac{P}{I^2}, X_L = \sqrt{Z^2 - R_L^2}, L = \frac{X_L}{\omega}$$

三、实习内容

1. 电感线圈的测量 (试样 1#、2#)
2. 变阻器和电感线圈的测量 (试样 3#、4#)
3. 电容器的测量 (试样 5#、6#)
4. 电阻、电容串联的测量

四、实习方法

1. AWW 测量法

(1) 电感线圈的测量

①AV 法 在只有伏特计和安培计而没有瓦特计的情况下, 电感线圈等效参数的测定可通过串联适当附加电阻器的办法解决, 如图 1-4 所示。

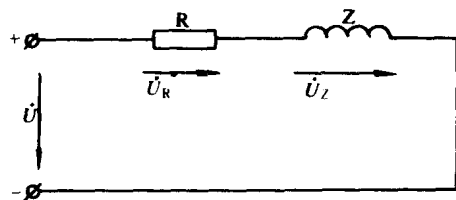


图 1-4 电感线圈的测量

因为 $\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_Z$, 所以 $\dot{U}$ 、 $\dot{U}_R$ 、 $\dot{U}_Z$ 三者构成一封闭三角形, 如图 1-5 所示:

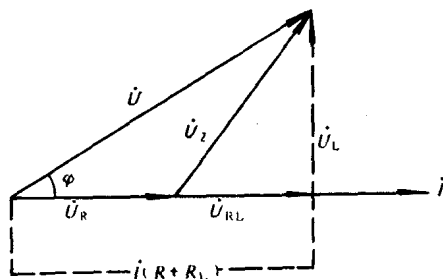


图 1-5 $\dot{U}$ 、 $\dot{U}_R$ 、 $\dot{U}_Z$ 相量三角形

根据三角形公式, 可求得图中的 φ 角。因为

$$\cos \varphi = \frac{U^2 + U_R^2 - U_Z^2}{2UU_R} \quad (1-11)$$

而 $Z = \frac{U}{I}$, 其中 $Z = \sqrt{(R + R_L)^2 + X_L^2}$

$$R + R_L = Z \cos \varphi \quad (1-12)$$

$$R_L = Z \cos \varphi - R$$

$$Z\cos\varphi = X_L, \quad L = \frac{Z\sin\varphi}{\omega} \quad (1-13)$$

②AVW 法 测量电感线圈的等值参数。连接线路如图 1-6 所示，将调压器输出电压调节至某一定值时读出伏特计、安培计和瓦特计的读数 U 、 I 和 P ，再按前述公式计算出 Z 、 R_L 、 X_L 及 L 。

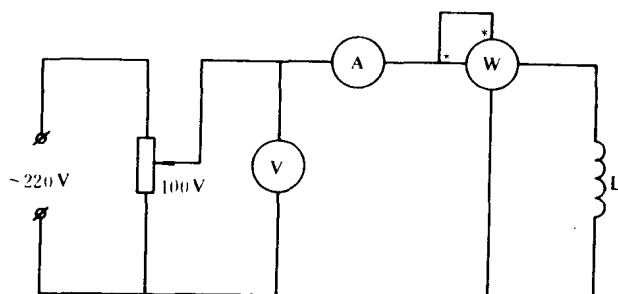


图 1-6 电感线圈等效参数测量接线法

(2)变阻器和电感线圈的测量 测定变阻器和电感线圈的等效参数时可按图 1-7 所示进行接线，调节调压器输出电压为某一定值时，记下安培表的读数 I ，并用带有测棒的伏特计分别测出 U_R 、 U_Z 和 U ，并记录。

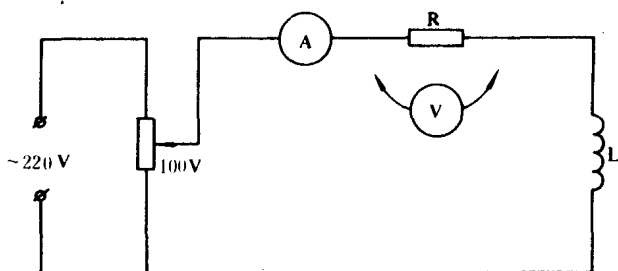


图 1-7 变阻器和电感线圈测量接线法

(3)电容器的测量 测量电容器的等效参数，按图 1-8 所示进行接线，逐渐升高调压器输出电压至某一值后，分别测出 I 、 U 和 P 的数值，并记录。

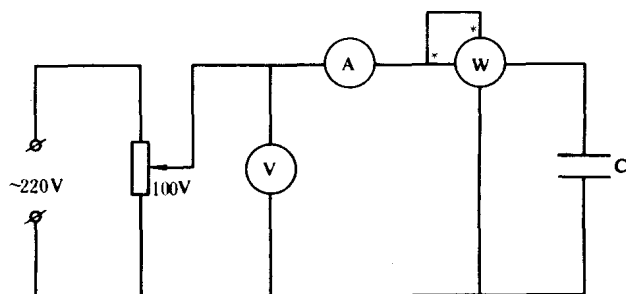


图 1-8 电容器测量接线法

(4)电阻、电容串联 R-C 串联电路，按图 1-9 所示进行接线，测出 U 、 U_R 、 U_C 和 I 、 P ，并记录。

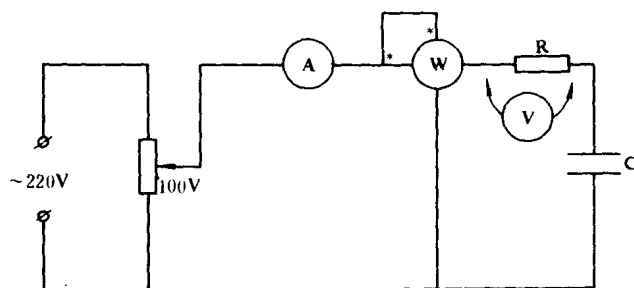


图 1-9 R-C 串联电路测量接线法

根据测得的数据，利用前述原理计算被测电感、电容的等效参数 R_L 、 L 和 C 的值。

2. 万用电桥测量法

交流电桥又称阻抗电桥，用于测量 R 、 L 、 C 交流参数，还可测电感的品质因数 Q 值及电容的损耗因数 D 值。

这里简单介绍 WQJ-1 型精密万用电桥的结构及使用方法。

(1) 测量 R 、 L 、 C 参数

①用“LCR 选择”开关转换桥臂配置（有电阻电桥、电感电桥和电容电桥）和测试电源的种类。测试电源分内部和外部两种供电方式，内部电源有脉冲直流（测电阻用）、1kHz 和 10kHz 的正弦交流（测 L 、 C 用）三种。通常接通内部电源，当外部电源插入面板相应插座后，内部电源就自动断开。

②用“量程开关”转换 1~7 档测量范围，见表 1-3 所示，分“粗调”和“细调”二个同轴旋钮，粗调在外层，是跳步的，每跳一步，计数表变一个数字（00~10G），细调在内层，是连续的（0~105）。

表 1-3

WQJ-1 电桥的测量范围

种 类 范 围 次	电 阻	电 容	电 感
	0.005Ω~110MΩ	0.1PF~110μF	0.1μH~110H
1	0.005~11Ω	10~100μF	0.1~110μH
2	10~100Ω	1~11μF	100μH~1.1mH
3	0.1~1.1KΩ	0.1~1.1μF	1.0~11mH
4	1.0~11KΩ	10~110nF	10~110mH
5	10~110KΩ	1~11nF	0.1~1.1H
6	0.1~1.1MΩ	0.1~1.1nF	1.0~11H
7	1.0~11MΩ 10~110MΩ	0.1~110PF	10~110H
D 值		0.001~0.031 (1kHz) 0.1~0.31 (10kHz)	
Q 值			0.1~31 (1kHz) 1~310 (10kHz)

③电桥平衡指示：用测量时的不平衡电压经过三级放大与检波，一方面通过电磁式电表

作平衡指示，另一方面作为自动增益控制电压，这样无需设置“灵敏度”调节，使用方便。

(2) 测量方法

①调整电表指针机械零位，将被测元件接在仪器面板上的“X”、“X₂”接线柱上，接通电源，单位、小数点指示灯亮后，预热 10 分钟，进行测量。

②调节旋钮位置

1) 将“LCR 选择”开关置于与被测元件性质相应的位置。

2) 将“D-Q”开关置于适当位置。测 R_x 时 D-Q 不起作用，测一般 L_x 时， $Q=0\sim30$ 时用 1kHz 电源；测一般 C_x 时，置 $Q>30$ ，用 1kHz 电源；测电解电容时，置 $Q=0\sim30$ ，用 1kHz 电源。当取低 Q 值 ($0\sim3$) 时，应用 10kHz 电源，此时，读数 Q 应乘 10。

③量程开关位置选择：若已知被测参数的量级数时，则将量程开关置于该量程的 10% 以上，若不知被测参数的量级数时，则应先将量程置于最高档上（电阻、电感为第 7 档，电容为第 1 档），并将计量表读数调到 1050，然后逆时针旋粗调旋钮，如果表针下降，向零处偏转，则说明量程选得太高，可将量程开关退一档，重复上述步骤，直至表针回升，表示量程选择适当。如果量程开关已退至最低档后，表针仍然下降，则表示 $R<1\Omega$ ， $L<10\mu\text{H}$ ， $C<10\text{pF}$ 。

④平衡调节

1) “粗调”旋钮调节：选好量程后，顺时针旋转“粗调旋钮”，使表针指示达到最小值。

2) “细调”旋钮调节：使表针指示尽可能接近零位。

3) 损耗平衡调节

在测量电抗元件时，由于存在损耗等效电阻，在上述调节的基础上，还必须进行“损耗平衡调节”，使电表平衡指示尽可能接近于零，这时计数表读数即为被测元件的测量值。

⑤损耗平衡盘的读数及换算

该盘上有两条刻度，可根据 D-Q 开关的位置及被测元件的性质来读数与换算。设“Q”（电容损耗因数）、“D”（电感品质因数）为 Q-D 刻度盘上的读数，当电源为 1kHz 时，可按表 1-4 进行换算。

表 1-4

“D”、“Q” 读数与换算方法

Q 的取值	读数方法	换算方法	
		测量 L_x 时	测量 C_x 时
$Q>30$	从“D”上读数	$Q=\frac{1}{D^n}$	$D=\text{“D”}$
$Q=0\sim30$	从“Q”上读数	$Q=\text{“Q”}$	$D=\frac{1}{Q^n}$
$Q=0\sim3$	从“Q”上读数	$Q=\frac{\text{“Q”}}{10}$	$D=\frac{10}{Q^n}$

(3) 测量和记录

对被测量试样 L_x (1[#]、2[#])， C_x (5[#]、6[#])， R_x (7[#]、8[#]) 的数据测量结果填入表 1-5。

表 1-5

WQJ-1 型万用电桥测量元件参数

试样编号	量程选择	参 数 数 据				
		R_X	L_X	φ	C_X	D
1#						
2#						
3#						
4#						
5#						
6#						
7#						
8#						

五、实习报告

1. 整理试样 1#~6# 测试数据。
2. 小结 AWV (三表法) 测试方法。
3. 小结万用电桥测试方法。

实习 1-1-3 功率因数及其提高

一、实习目的

1. 增强对功率因素的认识，特别是感性认识。
2. 掌握提高功率因数的方法。

二、实习原理

输入任何无源一端口网络 (见图 1-10) 的瞬时功率 p 等于端口的瞬时电压和瞬时电流的乘积, 即

$$p = ui$$

在正弦稳态的情况下, 只要将电压、电流的正弦表达式代入上式, 就可以得到正弦交流电路的瞬时功率表达式。若正弦电压为

$$u = \sqrt{2} U \sin \omega t \quad (\text{V})$$

正弦电流为

$$i = \sqrt{2} I \sin (\omega t - \varphi) \quad (\text{A}) \quad (1-14)$$

式中 φ 是无源一端口网络的等效复阻抗角, 则在某一瞬时输入该电路的功率为

$$\begin{aligned} p &= ui \\ &= UI [\cos \varphi - \sin (2\omega t - \varphi)] \end{aligned} \quad (1-15)$$

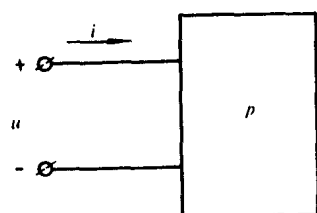


图 1-10 无源一端口网络
示意图

可见, 瞬时功率有恒定分量 $UI \cos \varphi$ 和正弦分量两部分。