

新编电工实验指导书

华北电力大学(北京) 宇秀贞 主编



中国电力出版社

199118

TM-33
Y828

新编电工实验指导书

华北电力大学(北京) 宇秀贞 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是由主本《新编电工实验指导书》、附本《新编电工实验指导书附本·实验测试记录表》、实验报告(校内印刷)三部分组成的成套教材。

《新编电工实验指导书》包含四部分内容。第一部分强调如何进行和怎样才能做好电工理论课实验;第二部分是符合大纲要求的适合各专业选用的20个基本实验内容;第三部分是实验装置和常用仪器仪表的性能及使用方法介绍;第四部分是附录。

附本是对应主本每个实验项目的《实验测试记录表》册,可根据实验内容需要拆页使用。

实验报告给出编写总结报告的统一格式,可与附本中的记录表格页合订使用。

本套实验教材可作为高校工科电工类各专业《电路》、《电路分析基础》、《电工学》、《电工测量技术》等课程的实验课教材,也可作为相关专业同类课程的实验教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新编电工实验指导书/华北电力大学(北京)宇秀贞主编. -北京:中国电力出版社, 1999

ISBN 7-5083-0052-1

I. 新… F. 宇… III. 电工-实验-高等学校-教学参考资料 IV. TM-3

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第15028号

中国电力出版社出版、发行

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

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999年8月第一版 1999年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 13.75印张 307千字

印数 0001—4500册 定价(含附本) 22.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

本套教材是为适应我国电力高校电工类课程实验教学改革的需要而编写的一套实验教学用书,可作为高校工科电工类各专业《电路》、《电路分析基础》、《电工学》、《电工测量技术》等课程的实验课教材,也可作为相关专业同类课程的实验教学参考书。

本套教材是在华北电力大学(北京)实验教学改革进程中,伴随新型电工实验装置的开发研制与新型电工实验室建设而产生的一部内容充实、形式新颖,注重学生综合实践能力培养,并取得成效的教材。初稿于1995年12月在校内印刷,获1997年度华北电力大学优秀教材一等奖。1996年列入校理论电工重点学科教材出版计划。此次正式出版的书稿是1998年校内第二版的修定稿。

本套教材的编写特别注重学生基本知识、基本概念、基本方法、基本操作技能的迅速理解和掌握,教书育人环节的规范和把握,以及实验教学全过程的组织实施和管理的规范化。新教材的使用有利于学生严肃认真的科学态度和良好作风习惯的培养。

本套教材是实验教材,又是实验基本技能的培训教材,对培养学生理解和掌握最基本的、最关键的、最需要的基本知识、基本概念、基本操作技能和工程应用技能等方面,从实验各个环节的组织及实验方法上都进行了许多新的探索。

XC-1型电工实验装置各实验单元面板,均为早期制作的产品,其电气设备的图形符号和文字符号,个别地方与近期颁布的国家标准有些出入,为不影响数学实验使用,保障实验时的人身安全及设备安全,故本书未作更正。电阻、电感、电容等文字符号,作为电气设备,用正体表示,其数字序号为平身,如 R_1 ;作为物理量,用斜体表示,其数字序号为下角,如 R_1 ,相互间为对应关系,在此一并说明。

本套教材是作者积三十余年的实验教学、实验室建设与管理、实验装置的开发研制(作者所开发研制的新型电工实验装置,获1996年电力部优秀教学成果二等奖)和多项科研工作的实践经验,并在充分总结校内外实验教学经验的基础上,与教研室部分同行合作编写的,其中王炳革高工编写了“一阶动态电路”“受控源”两个实验内容和第三部分中DGF-2型方波仪使用说明;王泽忠教授、徐臻华教授、赵积善教授分别对不同实验项目内容进行了审校工作。参加审校并对教材提出许多宝贵意见的还有俞有瑛教授等。在教材整个编写过程中承蒙校领导和本专业邵汉光教授、博士生导师崔翔教授等的鼎力支持与帮助,邵汉光教授和徐绳均教授还对全套教材进行了全面的审校和指正。对以上各位老师的关心、支持和帮助,谨表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,漏误之处恳请读者批评指正。

编 者

1998年9月于北京

目 录

前 言

1 实验规则、技能与安全

1.1 实验室规则	1
1.2 实验程序	1
1.3 实验中要养成良好的作风和习惯	3
1.4 电路与常用仪表的正确连接	4
1.5 电工仪表的误差及准确度	9
1.6 测量误差与测量结果的误差分析估算	10
1.7 实验数据的处理	12
1.8 实验安全事项	13
1.9 实验故障及一般排除方法	16

2 实 验 内 容

2.1 实验一 电阻元件伏安特性的测量	19
2.2 实验二 电路中电位的研究	24
2.3 实验三 戴维南定理和诺顿定理	29
2.4 实验四 叠加定理和互易定理	35
2.5 实验五 电表内阻对测量结果影响的研究	41
2.6 实验六 基尔霍夫定律	48
2.7 实验七 受控源特性的研究	51
2.8 实验八 电容器储能与充放电研究	54
2.9 实验九 一阶电路动态过程的研究	61
2.10 实验十 二阶电路动态过程的研究	65
2.11 实验十一 交流电路参数的测定	69
2.12 实验十二 R、L、C 元件在交直流电路中伏安特性的研究	74
2.13 实验十三 串、并联谐振	79
2.14 实验十四 功率因数的提高	85
2.15 实验十五 三相电路的研究	90
2.16 实验十六 三相电路有功功率的测量	96

2.17	实验十七 无源二端口网络参数的测定	101
2.18	实验十八 非正弦周期电流电路	106
2.19	实验十九 耦合电感元件的研究	111
2.20	实验二十 整流、滤波、稳压电路研究	118

3 实验装置与常用仪器仪表

3.1	XC-1 型电工实验装置	124
3.2	多用实验台	125
3.3	实验室电源与电源盘	125
3.4	单相、三相调压器	127
3.5	DH1718 型双路跟踪稳流稳压电源	129
3.6	DGF-2 型方波仪	130
3.7	XD22B 型低频信号发生器	131
3.8	XD7 型低频信号发生器	133
3.9	C77 型 0.5 级磁电系可携式安培表	137
3.10	T77 型毫安表和 T51 型、T77 型安培表、伏特表	138
3.11	D51、D77 型电动系瓦特表	140
3.12	D34-W 型低功率因数瓦特表	143
3.13	MF47 型万用电表	144
3.14	数字式万用表	149
3.15	DT9101 型、DT9907 型数字万用表	150
3.16	LC-6043 型数字式电感电容表	156
3.17	单臂电桥	158
3.18	QJ42 型直流双臂电桥	161
3.19	兆欧表的选择与使用	164
3.20	电子管电压表和晶体管电压表	166
3.21	DA-16B 型晶体管毫伏表	168
3.22	GB-9B 型真空管毫伏表	170
3.23	DA-22 型超高频毫伏表	172
3.24	电子示波器	174
3.25	SBD-6 型超低频双线示波器	175
3.26	TD4652 型超低频双踪示波器	178
3.27	验电笔	185
3.28	ZG-1 型伏特、毫安双用表	186
3.29	石英液晶电子秒表	187
3.30	电流插孔与电流插头	189

3.31 空心电感线圈.....	190
3.32 双刀双投开关.....	190

4 附 录

4.1 十进倍数和分数单位的词头	192
4.2 电阻、电容符号和单位	192
4.3 电测量指示仪表和附件的符号	193
4.4 仪表的工作环境级别	196
4.5 数字万用表的符号	196
4.6 电阻、电感与电容的电路	199
4.7 R 、 L 、 C 电路谐振	201
4.8 有关功率的技术名词的定义	202
4.9 日光灯简介	202
4.10 XC-1 型电工实验装置实验单元面板	203
参考文献	212

1 实验规则、技能与安全

1.1 实验室规则

实验室是教学、实验和科学研究的场所。为培养学生严肃认真、实事求是、理论联系实际的科学作风和良好的实验习惯，为确保人身和设备安全，确实做到安全第一，进室人员必须遵守下列规则：

(1) 实验课必须按时到达，不得迟到或无故离开；因上述原因出现实验事故，责任自负。

(2) 操作前必须充分做好预习，明确实验目的、内容、方法、步骤和应注意的问题。

(3) 爱护仪表、仪器、设备，未搞清使用方法之前，不得随意动用。使用时应轻拿轻放，摆放合理，以确保操作安全，便于操作、观察和测量。

(4) 严禁带电进行拆改接线等操作。接好线后，必须经老师和有关人员检查并允许，才能合闸。

(5) 实验过程要养成手始终不触及任何带电金属部分而只摸拿绝缘部分的习惯，以防意外触电。也不要随便动用与本次实验无关的仪器、仪表、设备等。

(6) 实验中要随时注意异常现象的观察。如果发生故障，必须立即断开电源，保留现场，并报告有关人员进行检查处理。

(7) 要始终保持实验室安静和整洁，不得在室内吸烟、吃零食、扒桌子、串座位、喧哗、打闹或随意走动，未经允许室内物品不得带出。

(8) 对违反操作规定以及损坏仪器、仪表、设备、工具和元器件者应检查原因。对情节严重者，除对其批评教育，停止实验外，还要按学校有关规定进行赔偿。

(9) 实验结束后，应先断开各仪器电源开关，再断开实验台上电源开关。把实验所用仪器、仪表、设备、导线、座凳等归位，整理就绪，清扫后经允许才能离开。

1.2 实验程序

实验程序一般分为实验课前预习、进行实验、编写实验报告三个阶段。

一、实验课前预习阶段

实验能否顺利进行和达到预期效果，取决于认真预习和充分准备，尤其是思想准备。实验是培养科技人才能力、素质的必经之路，一定要认真对待。从第一个实验开始就要严格要求自己，不仅能认真按要求去做，而且从学会测量方法及仪器、仪表、设备的正确使用做起，能真正学会解决实验中的问题，逐渐培养自己学以致用能力。因此课前预习一定

要做到：

(1) 必须认真阅读实验指导书和复习有关理论，查阅有关资料，明确实验目的、任务，彻底弄清实验原理、具体内容和要解决的问题，需观察什么现象，测量哪些数据，明确采取的方法和正确的操作步骤等。

(2) 尽可能熟悉仪器、仪表、设备的工作原理和技术性能、额定指标和主要特性，以及正确使用的方法和条件，牢记使用当中应注意的问题。

(3) 准备好实验待测数据的记录表格、记录与计算工具，并预先计算出待测量的数值范围。这些数值范围既可作为仪表量程、仪器参数选择的依据，又可作为实验中随时与测量值进行比较和分析的依据。

(4) 实验小组要预先讨论、商量并进行合理分工。每个成员都要牢记实验中应注意和要解决的问题，以及可能出现的现象，自己应负的责任等，做到心中有数，实验中才可能密切配合，达到事半功倍的效果。

二、进行实验阶段

实验是对每位同学综合能力的培养和考验。聪明人能利用每一个可能利用的条件来充实、锻炼、提高自己，而糊涂人则把来之不易的条件白白扔掉。聪明人宁可重做三遍，也不去抄取别人的数据和结论，而糊涂人以轻取别人的数据和结论为“便宜”，浪费自己的时间，走过场。聪明人每次都踏踏实实的去做、去测，收获永远是自己的，糊涂人毫不吝惜地扔掉了不该扔掉的，造成自己的损失。

希望每位同学从第一个实验开始就养成只要干一件事，就尽量把它彻底干好，不仅会测了、会用了、会算了，更要知道为什么要这样测、这么用、这么算。多问几个为什么（问自己、问老师、问书本），遇到问题多想一些办法，多出一些主意，处处体现出分析问题和解决问题的水平和能力，使每次实验都确有收获。

实验阶段具体步骤：

(1) 实验操作前要认真听老师讲的具体要求，即实验中要看的、用的、测的、算的，要干的都是什么？又怎样去看、去用、去测、去算？实际操作步骤、方法、条件是什么？理论根据又是什么？怎样解决实验中的问题？怎样能保证安全？注意事项是什么？这些都清楚了，再进行具体操作。对于没听清听懂的事项要及时发问，千万不要不懂就操作，造成不应该发生的意外和损失。

(2) 实验操作和测量过程中应做到以下几点：

1) 做好测量前的各种准备工作。首先一一核对实验台上的仪器、仪表和设备，核对实验单元等的名称、规格、型号，以及检查它们的外表有否损坏。然后按正确使用要求，合理摆放整齐，使之既便于操作又便于观察、测量和读数，而又不相互影响。选择各表量程，调好机械零位。各种电源保证从0起调。各仪器旋钮放在合适的起始位置后，再接通示波器、电子管毫伏表等有源器件的工作电源，进行预热。

2) 按实验内容要求进行电路参数选择、核对和电路的正确连接，接好线后要先经自查无误，再请教师复查，经同意后才能接通电源。

3) 接通电路电源的同时一定要注意观察各表计和设备等的指示规律是否正常, 有否反转、过量程, 有否冒烟、发热, 有无产生焦味、异常声响。如有异常立刻断电检查, 待异常排除后再重新合电源。

4) 测量读数时要看准各表计指针所指格数, 表计满量程时的示值到底是多少, 表显示值的数量和单位一定要搞清、记清, 并按要求逐项进行测量和记录, 尤其是关键数、特殊点、拐点的数值一定要测准记清。

(3) 实验课收尾工作。完成全部规定的实验项目后, 首先断开各带电部分电源(各仪器、有源器件的工作电源可先不断开), 再认真检查实验记录的项目、数量、单位是否正确, 与预算值是否相符, 有无漏测, 需画曲线的点是否选择合理, 关键点、拐点是否测准, 是否都符合规律。经自查计算、分析认为正确无误, 再请老师复查和在原始记录上签字通过后, 先关掉各工作电源和实验台上的总电源, 方可进行拆线, 记录各实验仪器、仪表、设备的名称型号、量程、编号, 把桌面和座位等整理归位, 经老师验收后方可离开。对于没有客观原因的错误测量和数据记录, 应该重测。

三、编写实验报告阶段

实验报告是实验工作的全面总结, 是分析和提高的重要阶段。用确切简明的形式, 将实验结果完整、真实地表达出来, 对实验工作总结、经验交流、科研成果推广、学术评议起着至关重要的作用。科技工作者、教师、工程技术人员、大专学生能否写好实验报告, 也是体现其基本功和科研能力的一个重要方面, 为此要注意下列要点:

(1) 实验报告的编写。要求文理通顺、简明扼要、字迹端正、图表清晰、分析合理(包括数据整理、结果分析、误差估计等)、结论正确。书写格式要规范化, 需使用统一的实验报告用纸。编写实验报告时, 对于统一要求以外的部分, 应按每个实验的“实验报告要求”进行补充。

(2) 实验报告中的曲线。图要画在预定位置或坐标纸上, 选取比例要适当, 坐标轴要注明单位, 绘图时关键点、拐点和特征点一定要绘出, 还要尽量使绘出的曲线光滑均匀。

(3) 实验中的故障记录。实验中如果发生故障, 应在报告中写明故障现象, 分析产生故障的原因, 以及排除故障采取的措施和方法等。

(4) 实验报告格式。参见本书的附本“实验报告”。

1.3 实验中要养成良好的作风和习惯

作风和习惯的好坏是事情成功与否的前提和关键, 进行试验也是如此。所以要想真正做好试验并确有提高和收获, 必须养成以下的良好作风和习惯:

(1) 拉合电源要与合作者打招呼。养成对个人和他人安全绝对负责的习惯。试验时要养成手不乱摸乱碰和始终只摸拿绝缘部分的习惯。

(2) 连接线路要做到心中有图。要养成背图接线的习惯, 电路图记不清, 背不下来, 先不进行连接。根除未看懂、对不上号就盲目胡乱接线的不良作风和习惯。

(3) 接线后要及时清理现场。养成接线后随时拿开多余导线、导体，及时清理现场和认真进行自查、互查，不放过任何可疑点的作风和习惯。

(4) 做到事事心中有数。养成认真预习、预算及测量每个数据，每进行一步都做到心中有数的好习惯。克服对其结果不知是否正确合理，是否符合规律，盲目从事操作与测量的不良习惯。

(5) 每次用表前都要仔细查看。每次使用仪器、仪表前都要仔细看看是否拿错、用错，检查仪表起始位置、量程范围是否选择正确合理，测量接线是否连接准确无误。克服不管不顾，拿起来就用就测的不良习惯。

(6) 要进行预通电。预通电是指在各项检查无误后，先试通电（如果电源电压可调，应从 0V 或低电压开始逐渐加到测试电压）。通电瞬间，一定要聚精会神，眼观六路，耳听八方，听、看、闻全方位观察和判断各种现象正常与否，各表计指示是否符合规律。养成经观察全部现象正常无误后，再按要求逐项进行测试的习惯。

(7) 认真读取和记录数据。实验中数据记录很关键，要养成数量级、量纲、单位、条件一起记，边记边核算并与预算值进行比较，弄清是否符合规律、是否合理的根据和理由。克服总想看别人的数据，总想问老师对不对，而自己心中无数的毛病。养成宁可重做三遍，也决不轻取别人数据的好习惯。

(8) 要真正投入、善始善终。无论做什么实验，都要养成有头有尾，亲自动手做好每个实验内容的作风和习惯。克服自己糊弄自己，把自己当成局外人，既讲不清道理，又不上心，什么都干不好，也不想干的懒人习气。克服凑数、跟着看、抄结果的不良作风和习惯。

(9) 事故的判断处理。养成遇到事故、异常现象时头脑冷静、判断准确、处理果断的习惯。不仅能迅速断电保护现场，积极主动进行回忆、分析、查找原因，提出排除故障方法，还能吸取教训，增强自信。

(10) 注意能力、素质的提高。整个试验过程都要有意识的注重自身科研素质和能力的提高，培养自己既思路敏捷，又动作娴熟准确；既有充实的理论基础，又有分析问题和解决实际问题的能力。养成既能讲清道理，又能出高招，想出更好、更科学方法的习惯。

(11) 做好实验后的就序工作。实验结束要养成及时清理归位，并对实验中所发生的事情有个交待的习惯。发现了什么问题，是如何解决的，或者提出合理建议、办法，尽量做到给下一拨同学留下提示或宝贵意见，为他们创造更方便有利的条件。克服出了问题不明说，弄坏了东西不吭声，有意无意给下一拨同学添麻烦出难题或根本不负责的坏习惯。

1.4 电路与常用仪表的正确连接

电路和各种表计测试接线连接的准确无误，是做好实验的前提与保证，是实验人员基本功的具体体现，也是每个实验都必须做、最容易做，但最不容易做好、引发事故最多的一项工作。比如短路事故，烧毁仪器、仪表、设备、器件，多数由于接线错误所致。如何保证电路连接和各种测试接线连接正确，关键是思想上重视和方法得当，并且还要做到以

下几点。

一、电路的正确连接

(1) 连接前的准备工作。电路连接和接线前，一定要做好准备工作，首先在实验台上摆好实验所用的电源、仪器、表计、实验单元（负载）等。摆放时或从左到右，或从右到左，摆放成一行或两排，要有个规律和合理顺序。还要注意把随时需要读取数据和观看规律现象的仪器、仪表放在易读易看处，把需要随时调节的仪器、仪表放在顺手处，把易发热和危险端钮（如 220V/380V 端钮、调压器的进出接线端子排、易损器件）放在不易碰着的位置或转个合理的角度，使之离手较远。实验台上物品摆放是否合理，以既能保证连线不相互交叉干扰，又便于表计数据的读取和操作调试的安全为准。

(2) 电路正确连接顺序。电路正确连接顺序一般为先接主回路，再接辅助回路。主回路就是电源与电流表、负载串联的回路，或者说通过同一电流的回路。对于主回路，连接时可按路径（电流流动方向）进出依次连接，连接后按图检查无误，再接并联的回路即辅助回路，最后再接电源两端和电压表。

(3) 连接要准确牢固。各连接线两端的连接处一定要拧紧、插紧，对于插接件一定要看清结构后再对正插到位，开关通断、转换开关旋钮等都要准确到位，而且旋转、插拔时都不能用力过猛，以免造成连接处损坏、脱扣、串位、转轴等。在同一个接线端子上接线不宜多于三根。

(4) 电路连接要井然有序。电路连接要达到清楚易看、易查和易操作的效果，建议如下：

1) 连线的颜色选择与搭配要合理。凡是与电源正端、火线端相连接的线一般为红色、深色或按所连接的相序配色，如与 A 相连接用黄色，B 相连接用绿色，C 相连接用红色等，而与电源“-”端或中性线端相连接的线一般为白色、黑色或浅兰色。如果同时用两路直流电源，两路负端可用相同颜色，但正端要用两种不同颜色的线以示区别。对于三相电路或复杂接线，要注意同一相选用同一颜色，使复杂接线合理、规范化。既便于查线，又便于观察和准确无误的选择测试点。

2) 连线长短要适宜。连接时能用短线尽量用短线，避免导线过长又互相交叉。如果必须交叉时，两根交叉线最好选用不同颜色，以示区别。

3) 连线的粗细（指线径）要合适。根据电流大小选择线径，电流越大，线径应选择得越粗。

4) 连线种类选择要有针对性。与接线柱、接线端子相连时要选叉头线；与香蕉插座孔相连时要选香蕉头线；各种万用表等要用专用线；与电压表相连的线选用一头带叉、一头带测试表笔的线，表笔端便于进行电压测量；与电流表相连的线要选一头带叉、一头带香蕉头的线，或专用插头线。注意电流表连线最好不用带测试表笔的线，以免误用来测电压而把表烧坏。最好从第一次实验就开始注意和明确连接导线的选择使用，以后实验就会习惯。

(5) 不要带电拆改接线和任意甩线。实验中不要带电拆改接线，也不要随便把接在电

源端子上的或电路中任何接线端子上的导线的另一端空甩在一边，无论高压或低压，否则容易发生电人事故。电源端也不能有多余连线以免引发短路事故。

(6) 及时清理多余导线。实验中要及时把用剩的导线、导电物品、改锥、镊子和钢笔帽等，拿开收好或放回抽屉里，以防引起短路或间接触电事故。

(7) 线路连接后要先自查、互查。线路全部连接好后要先按图自查、同组人互查后，再请老师检查，经老师允许后方可通电。

二、常用仪表、仪器的正确连接

(一) 电流表连接方法

(1) 要串联。各种类型毫安表、安培表和万用表电流档，使用时都要串在被测电路或支路中。为了防止用错，强调电流表要与负载串联，见图 1.4-1。

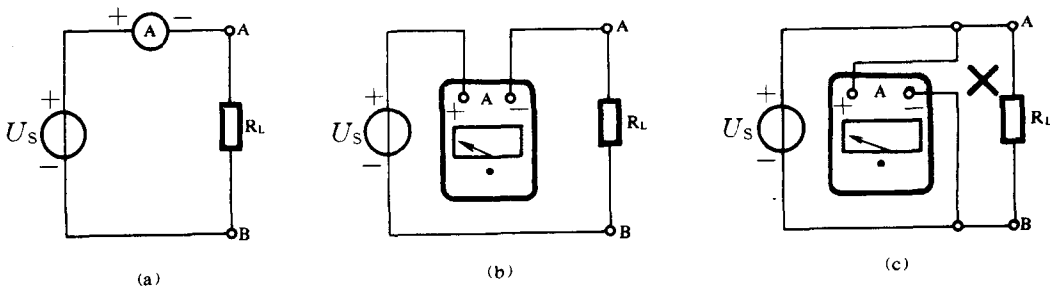


图 1.4-1 电流表与电路的连接

(a) 正确连接电路示意图；(b) 正确接线示意图；(c) 错误、危险接线

(2) 直流电流表接线要注意极性。用直流电流表测直流电路的电流时，连线应保证电路电流流进表的“+”端，而从表的“-”端流出，如图 1.4-1 (b) 所示。

(3) 电流表不能直接与不带负载的电源连在一起，如图 1.4-2 所示。这种连接实际上是把电流表与电源并联。由于实际流过电流表的电流 $I = U_s / R_A$ ，式中 R_A 为电流表内阻，很小。这样接线的结果会因流过电流表的电流过大而把表烧坏。

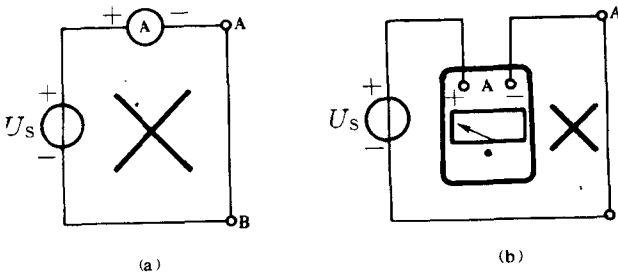


图 1.4-2 电流表错误、危险接线

(a) 错误接线电路示意图；(b) 错误接线示意图

(二) 电压表连接方法

各种类型毫伏表、伏特表和万用表电压档，测量电压时都要跨接在（并联在）被测电

源或负载两端（A、B端），如图 1.4-3（a）、（b），图（c）为错误接线图。

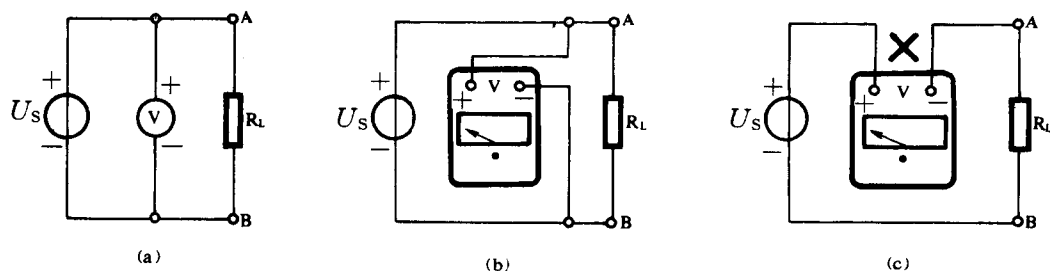


图 1.4-3 电压表与电路的连接

（a）电路示意图；（b）正确接线图；（c）错误接线图

（三）欧姆表连接方法

（1）并联。各种类型欧姆表和万用表欧姆档，在测量电阻时都跨接在（并在）不带电的被测电阻或负载两端，见图 1.4-4。

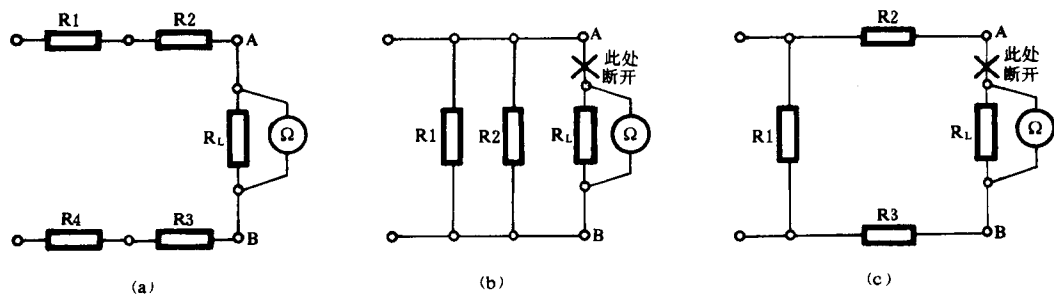


图 1.4-4 欧姆表测量电阻的正确连接示意图

（a）方法一；（b）方法二；（c）方法三

（2）测量某一元件电阻时，注意不能有其他并联支路，如果象图 1.4-5（b）的方法进行连接，欧姆表测量的结果是电阻 R_L 与电阻 R_1 、 R_2 共同并联的值，而不是 R_L 本身的值。如果只测电阻 R_L 的值，需把电阻 R_L 从电路中断开一头，见图 1.4-4（b）。图 1.4-5（a）、（c）的错误亦同，正确测法见图 1.4-4（a）、（c）。

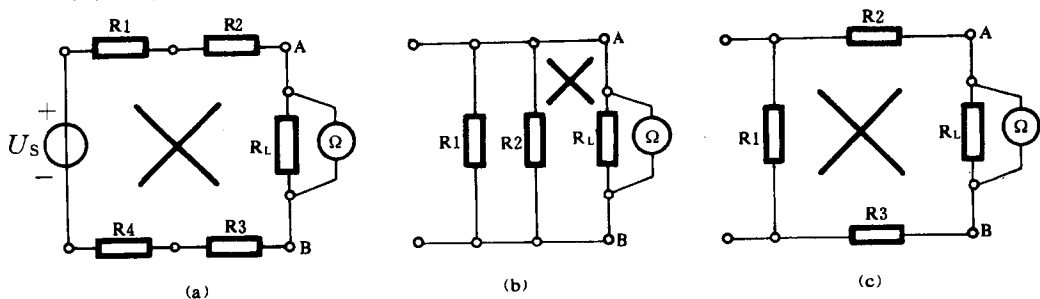


图 1.4-5 欧姆表测量电阻的错误连接示意图

（a）错误接线一；（b）错误接线二；（c）错误接线三

(3) 注意测试结果的分析。复杂电路中的电阻测量要注意测量方法与测量结果是否正确的分析。如图 1.4-5 (c) 所示电路, 无论把欧姆表并在哪个电阻两端, 测的都不是那个电阻本身的值, 而是其中一个电阻与另外三个电阻串联后相并的值。正确的方法是, 将被测电阻与其他电阻分开一个头后再进行测量, 如图 1.4-4 (c) 电路。

(四) 单相功率表的接线方法

功率表接线好像很复杂, 很多人总觉得拿不准, 怕接错。尤其是不了解功率表内部电路结构时, 更觉得功率表接线很头痛。实际上只要会电压表、电流表接线, 功率表的接线也就一定不成问题, 即将其电流端子串联、电压端子并联。大多数功率表有两对接线端子, 一对标 I 的接线端子是电流接线端子, 同电流表接法 (串联); 另一对标 U 的接线端子是电压接线端子, 同电压表接法 (并联); 但接线时一定要把电压与电流的带 “*” 端子 (同名端) 接在一起, 而且与电流同名端连在一起的电压端子上不能再有其他接线。另外老式功率表, 还有带连接片的用于量程变换的端子, 使用时按要求进行连接即可。功率表的正确接线如图 1.4-6。还有几种接线方法可参见第三章中关于功率表的使用介绍。

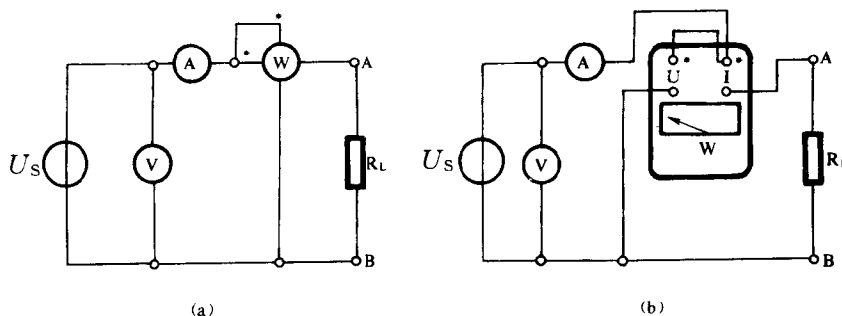


图 1.4-6 功率表的正确接线
(a) 电路示意图; (b) 实际接线示意图

(五) 功率因数表和相位表 (测相位差角 φ) 的接线

同功率表, 不再介绍。

(六) 频率表接法

同电压表。除了正确连接外, 同样要考虑电压、电流允许的量程等。

(七) 示波器接法

它测量的输入信号是电压信号, 所以示波器测量时取信号等于测电压, 测量连接方法同电压表。如果观测电流波形, 需在电路中串一个定值电阻, 通过观察这个电阻两端的电压信号的方法来实现。

(八) 感应系电能表接线

方法与功率表相似, 分为接电源电压与接负载两部分, 电能表使用都由专人接线, 有专用接线图, 使用时按图接线即可。

(九) 兆欧表的测量接线

兆欧表又称摇表, 它测量 $10^6\Omega$ 以上电阻, 主要是用于检查和测量电气设备、家用电器或供电线路的绝缘电阻。测量连接方法类似电压表。不同的是兆欧表有三个接线柱, 即 L

(线)、E (地) 和 G (屏), 在进行一般测量时, 只要把被测绝缘电阻接在 L 与 E 之间, 但在测量表面不干净或潮湿的对象时, 为了准确测量其内部的绝缘电阻, 就必须使用 G, 详见兆欧表介绍。

1.5 电工仪表的误差及准确度

一、仪表的误差

仪表的误差是指仪表的指示值与被测量的实际值之间的差异。根据误差的来源, 仪表的误差分两种。

(1) 基本误差: 仪表在规定的正常工作条件下 (见后) 由于仪表本身结构和工艺上的不完善所引起的误差, 如刻度不准、摩擦误差等。

(2) 附加误差: 仪表偏离正常工作条件所引起的额外误差, 如环境温度、放置方式、使用频率和波形等不合要求, 有外磁场或外电场存在等。

二、仪表准确度等级的确定

仪表的准确度是指仪表在正常工作条件下, 其指示值与被测量实际值的接近程度。仪表的准确度等级由基本误差决定, 常用最大引用误差表示。即

$$\pm K(\%) = \frac{\Delta X_m}{A_m} \times 100\%$$

式中 K 表示仪表的准确度等级, ΔX_m 为仪表量限范围内的最大绝对误差, A_m 是仪表的量程 (满偏) 值。从上式可看出仪表的级别是仪表量限范围内的最大绝对误差与仪表满量程值之比, 再乘以百分数。按照国家标准 GB776—76 规定, 我国电工测量指示仪表分为 7 个等级。现在又出现了 0.05 级的指示仪表。各级别仪表在正常工作条件下使用时, 其基本误差不应超过表 1.5-1 中的规定。

表 1.5-1 仪表等级及其误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差 (%)	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

仪表的基本误差越小, 表示准确度等级越高。但准确度等级越高的仪表, 价格也越贵, 不仅使用条件苛刻, 维护也困难。所以, 在选用仪表时不能只盲目追求准确度高, 而应根据实际需要进行选用。通常 0.1、0.2 级仪表用作标准表或精密测量, 0.5~1.0 级表用于实验室一般测量, 1.5~5 级表为一般工程用表。

三、仪表正常工作条件

(1) 仪表指针测量前都要调整到零点 (又叫机械零位, 指的是表盘的刻度 0 点), 对于欧姆表还要调到欧姆零位 (即平常所说的测电阻前要把表笔短接调零), 而且每次换量程后

还要再调零点。

(2) 仪表应按表盘符号上规定的工作位置放置(水平放置符号为 $\square$ 、 $\rightarrow$, 垂直放置符号为 $\perp$ 、 $\uparrow$, 倾斜一个角度放置的符号为 $\angle 60^\circ$ 等)。

(3) 仪表在规定的温度、湿度下工作。其工作环境级别见附录表 4.4-1。

(4) 除地磁场外, 没有外来电磁场。

(5) 对于交流仪表, 电路电流的波形是正弦波, 使用频率要根据仪表所标出的频率范围, 一般仪表的工作频率为 50Hz。

1.6 测量误差与测量结果的误差分析估算

一、测量误差

测量就是比较过程, 是把被测量(未知量)与已知的标准量进行比较, 以求得被测量数值大小的过程。但事实上, 可以说不论采用什么测量方法, 也不论怎样进行测量, 测量的结果与被测量的实际数值总存在差别, 这种差别叫作测量误差。根据误差来源一般可分为系统误差、偶然误差、疏失误差等。

二、测量结果的误差分析估算

由于试验离不开各种直接的、间接的测量, 测量误差又不可能完全消除, 因此在进行测量之后, 对于测量结果一定要进行准确程度的估算和分析。也就是说, 一个完整的测量结果, 除了有测量值(包括数量、单位)外, 还应包括测量结果的误差情况估算。同时对于误差估算, 也要抓主要方面, 主要考虑来自仪器、仪表的准确度、仪表量程、仪表内阻与电路参数配合等方面引起的系统误差。为了简化篇幅我们只对直接测量结果的误差进行估算。对于疏失误差和偶然误差, 由于可避免, 一般可不进行估算。

直接测量是将被测量与仪表指示直接进行比较, 是最简单、最常用的方法, 但是否可以说这种测量误差就仅仅是由仪表的准确度决定的呢? 下面进行分析:

(1) 由测量仪表准确度引起的基本误差。如果仪表使用条件符合要求, 测量结果就应根据仪表的准确度进行估算, 但是同时也应当注意仪表的准确度并不等于测量结果的准确度。因同一块表对应于不同的测量条件和被测量值, 其测量结果的相对误差是不一样的。如一块满量程为 100V、0.5 级的电压表, 测出的结果如果正好 100V 时, 那么这个测量结果的相对误差为 0.5%, 而最大绝对误差 $\Delta X_m = 100 \times 0.5\% = 0.5V$, 可以看出这个测量结果的误差正好等于仪表的准确度级别, 也是最理想的情况。

(2) 由量程引起的测量结果的相对误差的估算。如果上述被测量的值不是 100V, 而是 20V 时, 也就是说表的最大绝对误差 0.5V 不变, 而被测值不是 100V, 而是 20V, 那么测量结果的相对误差就是 $0.5/20 = 2.5\%$, 属于 2.5 级表, $2.5\% \gg 0.5\%$ 。这个结果的产生是由于量程选择不合适, 也就是说用量程 100V、0.5 级的表测 20V, 结果相对误差增大到 2.5%。所以在实际应用中, 为了减少这类测量误差, 应尽可能使仪表工作在大于 1/2 量程