



普通高等教育“十一五”规划教材
电工电子实验课程系列教材

电路实验教程

齐凤艳 主编



免费
电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”规划教材
电工电子实验课程系列教材

电 路 实 验 教 程

主 编 齐凤艳

参 编 刘东梅 王晓媛 史庚苏



机 械 工 业 出 版 社

本书以开放实验教学为模式,由多年从事实践教学一线的教师编写。注重实验理论与实验操作的结合,内容详细具体。旨在培养学生动手能力及自主学习精神。

本书主要内容包括实验基本知识、电路基本元器件特性及使用方法、电路定理的实践性学习、交流及三相电路的测量、频域与时域的研究、正弦稳态电路分布参数的测量等基础实验,以及综合性实验。

本书可作为高等院校电类学生的电路实验课程教材,也可供相关专业的技术人员参考。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师登录
www.cmpedu.com 下载或发邮件到 Edmondyan@sina.com 索取。
Edmondyan@hotmail.com

图书在版编目(CIP)数据

电路实验教程/齐凤艳主编. —北京:机械工业出版社, 2009.8
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-111-27541-1

I. 电… II. 齐… III. 电路—实验—高等学校—教材 IV. TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 114419 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:贡克勤 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣
封面设计:姚毅 责任印制:邓博
北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)
2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·9.5 印张·228 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-27541-1
定价:19.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379725
封面无防伪标均为盗版

前 言

随着教育改革的深入发展,实验教学越来越受到普遍重视,这也是科学与技术发展以及市场经济对人才需求发生变化的必然结果。电路实验是电类专业学生第一门专业基础实验,它不但是专业技术能力的基础,也是学生日后走向社会,从事生产、科研等工作入门的基础。为此编者总结了多年电路实验教学经验,借鉴了其他相关教材,结合教育改革发展新形式的需要,编写了本教程。本书的编写目的是指导学生完成电路实验教学大纲要求的实验内容,实现电路实验开放教学,提高学生实践经验与动手能力,给学生更多的独立思考空间,培养其创新精神。

根据以往的教学经验,学生在做实验的过程中,因对定理的内容理解得不够深入透彻,对定理的验证也就无从谈起了。以往电路实验对电路定理的验证不能使学生有较大的收获,因为实验过程不仅是学生实际操作的训练过程,同时也是对电路定理的再次学习过程。本教程围绕实验目的,结合相关定理详细介绍了实验的基本原理,设计了具体的操作步骤以及掌握实验的测量方法,培养学生的操作技能并逐步积累实践经验。

本书第1、2章为实验教学及操作的基本要求与基本知识;第3~10章为基本实验;第11章为综合性实验;计划48学时。书中各章实验内容可根据开放教学的模式由学生自行选择,或根据学时需要加以取舍。

本书由齐凤艳任主编,并负责全书的统稿。齐凤艳编写第1、2、4、8、9章及第11章中11.3~11.6节与附录B;刘东梅编写第5、7、10章及第6章中6.3节与附录D、F、G、H;王晓媛编写第3章中3.1节、第6章中6.1、6.2节以及第11章中11.1节与附录A、C、E;史庚苏编写第3章中3.2节与第11章中11.2节。

哈尔滨工业大学电工基础教研室及电工电子实验教学中心的教师对本书的编写给予了多方面的指导并提出了宝贵的建设性意见,在此一并表示诚挚的谢意。

由于作者水平所限,加之编写时间仓促,书中错误、疏漏以及不妥之处在所难免,敬请读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 电路实验课的目的与意义	1
1.2 电路实验课的特点	1
1.3 电路实验课与电路理论课的区别	2
1.4 电路实验课的学习态度	2
1.5 电路实验课的要求	3
1.5.1 课前预习	3
1.5.2 课上操作	4
1.5.3 课后总结与提高	6
第 2 章 实验的基本知识	7
2.1 动力电源与用电安全措施	7
2.1.1 实验室的动力电源	7
2.1.2 保护地的作用与漏电保护器	8
2.1.3 电子仪器的接口与供电	9
2.1.4 安全用电	10
2.2 电路的测量	11
2.2.1 测量的意义	11
2.2.2 测量的范围	11
2.2.3 测量误差与数据处理	11
2.3 电路实验中的常见故障及一般排除方法	14
第 3 章 电路元件的端口测量	17
3.1 伏安特性的测量	17
3.2 受控源的研究	24
第 4 章 直流电路定理的实践性学习	30
4.1 线性电路的比例性及叠加性实验	30
4.2 基尔霍夫定律与特勒根定理实验	34
4.3 等效电源定理实验	37
第 5 章 信号的观察与测量	41
5.1 电信号幅度的测量	41
5.2 时间、频率和相位的测量	46
第 6 章 交流电路的测试	49
6.1 交流阻抗参数的测量	49
6.2 耦合电感的研究	54
6.3 感性负载功率因数的提高	57

第 7 章 三相电路的测量	60
7.1 三相电路的电压、电流及相序的测量	60
7.2 三相电路功率的测量	64
第 8 章 网络的频率特性与谐振现象	66
8.1 一阶 RC 网络频率特性的测试	66
8.2 二阶 RC 网络频率特性的测试	69
8.3 RLC 谐振电路特性的测试	72
第 9 章 动态电路暂态过程的测量	78
9.1 暂态过程及其测量方法简介	78
9.2 一阶 RC 电路暂态过程	79
9.3 二阶 RLC 串联电路暂态过程	83
第 10 章 均匀传输线的正弦稳态分析与测量	90
第 11 章 电路综合实验	97
11.1 整流滤波电路的测试实验	97
11.2 电阻温度计的制作	101
11.3 烟雾报警器电路的制作与调试	102
11.4 RC 桥式正弦波振荡器	104
11.5 楼宇门电控锁控制电路的设计与调试	105
11.6 负阻抗变换器的原理及其简单应用	107
附录	113
附录 A 常用电路元器件	113
A.1 电阻器	113
A.2 电容器	115
A.3 二极管	116
附录 B 电流插头插座装置	119
附录 C 电工仪表	120
C.1 C65 型直流毫安表	120
C.2 L7/4 型交流毫安表	121
C.3 功率表	122
附录 D 数字万用表	125
附录 E 直流电源	127
E.1 HY1770 直流恒流电源	127

E.2	DF1731 型可调式直流稳压电源	128	H.1	SS-7802A 型示波器	135
附录 F	交流电压表	130	H.2	DS-5062CA 型示波器	140
附录 G	信号发生器	132	参考文献		143
附录 H	示波器	134			

第1章 绪 论

1.1 电路实验课的目的与意义

一个工科专业的学生，大学4年中有很大大一部分时间是进行实践性学习，如做实验、课程设计及毕业设计等，而电路实验课是工科电类专业第一门技术基础实验课。该课程学习的好坏，包括电路理论的巩固与扩展、实验仪器的使用、实验方法的掌握、实验操作习惯的培养等，将会影响到后续实践性课程的学习，因此对电路实验课程应给予足够的重视。通过该课程的学习，使操作者掌握基本的实践技能，并将所学理论应用到实际中，提高发现问题、分析问题和解决问题的能力；培养严谨、严肃、严格的科学态度以及踏实、认真的工作作风；树立灵活运用所学知识进行创新的主观意识。

电路实验是将理论知识应用到实践中去的入门课程，通过本课程的学习，操作者应掌握以下几个方面的知识和技能：

- 1) 实验的基本常识。
- 2) 常用电子仪器与电工仪表的正确使用及电路测量方法。
- 3) 电路基本元器件的性能。
- 4) 电路理论的实践性学习及综合应用。
- 5) 实验报告的撰写。

1.2 电路实验课的特点

电路实验属于工科范畴，除要求操作者具有严谨的科学态度外，还应注重实用性，多从工程角度考虑问题，而这一点正是初学者头脑中所缺乏的。如用指针式仪表测量由小到大变化的电压或电流时，要不断改变仪表的量程，这时记录的多组数据，其有效数字不统一，这在电路实验中是允许的。再如对测量数据的精度要求，物理学实验中，为了得到准确的结果，大多采用多次测量求平均值的方法来排除随机误差，以提高测量的准确度；而电路实验是从工程实际考虑的，只需满足使用要求即可，处理的多为一次性测量误差，有时甚至不需要给出具体值，只观察其现象或变化规律就可以了。

电路实验是技术基础性实验，研究的对象是由阻容元件或与电感等元件组成的、反映单一功能的、最基本的电路，也是初学者最应该掌握的课程。电路实验是走入工程实际的入门课程，在实验室这个模拟工程现场的场所内，操作者应学会连接电路，学会仪器与仪表的使用，学会排除简单的电路故障，充实自己在电路应用方面的空白，为以后的学习与工作奠定基础。

1.3 电路实验课与电路理论课的区别

电路实验课与电路理论课有着密切的联系，电路理论课是电路实验的理论根据，是电路实验的先修课程。尽管两者都是研究电路问题的，但在思维方式、研究对象、处理手段上却有很大的不同。

电路理论课的宗旨是建立电路的数学模型，是将实际电路中最主要的电特性抽象出来进行单一的研究。其研究方法多是将复杂问题抽象化、理想化和简单化，忽略次要问题，突出主要问题，用数学手段逐步进行分析，最后得出结论。而电路实验课则是电路理论的“逆向思维”，它是研究如何将一个成熟的理论或电路设计方案付诸实施，在实施的过程中，实现理论的应用或实现所设计电路的功能。

电路实验面对的是客观具体的各种现象并存的实际电路，而实际电路中各种问题是无法回避的，如电路理论中的电感，其电特性仅由电磁感应定律来约束，但实际电路中的电感器，其端电压与通过的电流不仅受电磁感应定律的约束，还要受欧姆定律的约束，这是由于制作电感线圈材料的电阻率不为零的原因，而线圈的电阻在实际电路中一般是不能忽略的。再如电路理论中的电阻，其阻值都是唯一的真值，但实际电阻器的真值是无法确定的。因为制作阻值误差为零的电阻，在物理上是不可实现的，因此实际电阻器的阻值是由标称值与精度两部分组成的。实验中被测电阻的阻值若满足其精度要求，则认为标称值就是此电阻器的阻值。

1.4 电路实验课的学习态度

电路实验课是一门以实际操作为主的课程，其主要目的是使操作者学会如何动手干活。围绕着某一具体实验项目，操作者应了解从哪里开始，完成哪些任务，如何进行总结提高等。应当认识到无论是简单性实验还是综合性实验，所做的工作都与科学研究相类似。如科学研究过程中的立项、论证、设计、制作、调试、运行，最后取得科研成果，在每个实验中都有类似的工作相对应，如表 1.1 所示。

表 1.1 科研课题与实验项目类比

科研课题	实验项目
科研任务的提出——科研课题	实验项目命题——实验标题
完成任务的目标	实验目的
可行性研究报告	实验的理论依据——实验原理
设计方案、研究内容	实验设计、实验内容
制作、调试、运行	实验操作
完成任务的能力保障	实验仪器、装置及教师指导
任务完成后所得结论、鉴定	撰写实验报告、教师批改

通过对比，可以清楚地看到，每个实验都是一个科研任务的预演。但实验课毕竟不是科研任务，科研任务注重的是研究结果，而实验课注重的是实验过程。实验课的目的是培养操

作者掌握一定的本领，为将来能胜任科研及技术工作奠定良好的基础。

用对待科研任务的态度来对待实验项目，用投入科研任务的精力来做实验，实验者的操作技能、实践经验等本领一定能够迅速提高。

1.5 电路实验课的要求

科研人员完成一个科研课题，往往要做很多准备工作，如查阅相关资料，了解国内外发展动态、方案的设计及可行性论证等，从接受任务到完成任务，要付出大量心血，进行艰苦的工作，克服许多意想不到的困难，直至最后给出研究结论——发表科研论文或聘请专家进行鉴定。同样，对于学习电路实验课的操作者来说，为了顺利完成实验任务，在实验课上取得更多收获，也要做好类似的工作。由于电路实验课是以自学为主，教师指导为辅，根据本课程的特点，可将实验课分为课前预习、课上操作和课后总结与提高（撰写实验报告）3个阶段来提出要求。

1.5.1 课前预习

任何一个电路实验都有其特定的目的，并以此目的提出实验任务。操作者在预习时要掌握一定的实验知识，准确地应用基本理论，叙述清楚实验原理，综合考虑实验环境及实验条件，分析实验方案，了解实验方法及具体步骤，预测实验结果，写出预习实验报告。

1. 明确实验题目与实验目的

实验题目是对实验内容的高度概括，统领实验全过程。实验目的是依据不同的实验内容，对操作者提出所要达到的目标。通过实验题目和目的，操作者应时刻明确自己在进行的是什么实验，要达到什么目的，并以此为中心开展一系列实验工作。

2. 掌握实验原理清楚实验内容

根据实验目的与实验内容，复习相关的基础理论知识，掌握本次实验中所用的仪器设备的工作原理及使用方法等。根据实验内容要求，设计实验方案、实验步骤与记录表格等。必要时对预期的实验结果进行理论分析与计算，或进行计算机仿真，做到心中有数，以便在实验中及时发现与纠正错误，为顺利进行实验做好准备。

3. 留意实验中的提示与注意事项

实验中的提示可能是对实验难点的解释，或是对实验方法的补充说明，也可能是对实验技能的扩展。操作者理解了提示的意义会增加实验课的收获；而注意事项是电路实验中特别强调的操作规程，一定要引起操作者的高度重视并必须严格遵守。否则会造成实验失败甚至会发生实验事故，严重的会威胁人身安全。

4. 弄清实验思考题

思考题一般是对实验过程中应注意的操作重点、出现的实验现象及相关知识的扩展所提出的问题。在课前预习时应仔细阅读这些题目，对操作重点应引起足够的重视，对所叙述的实验现象及扩展的问题寻找理论依据与答案。

5. 预习报告的撰写

实验能否顺利进行并取得预期的效果，在很大程度上取决于课前预习准备的是否充分。而撰写预习报告的过程，既是检查预习结果的过程，也是实验前的准备过程。因此预习报告

要写得具体、完整,要为本次实验制定出合理的可行的实验方案与具体、详细的实施步骤。实际操作时可按照预习报告中设计的方案及操作步骤有条不紊地进行。

总之,做到充分的预习,对实验能够起到事半功倍的作用。

1.5.2 课上操作

课上操作是将预定的方案付诸实施的过程。在详细的实验预习报告的指导下,有计划有步骤地进行各种实际操作,以便取得预期的结果。在这一过程中,主要的目的是锻炼操作者的动手能力,培养操作者良好的操作习惯,使操作者通过不断的积累以获得丰富的实践经验。

1. 实验元器件

电路实验操作中首先遇到的是实验元器件。电路实验涉及到的元器件有:电阻器(其中二极管作为非线性电阻器来研究)、电感器(包括自感电感器和互感电感器)、电容器及运算放大器等。如前所述,实际器件不同于理想元器件,对它的描述除了标称值外,还有精度、额定功率、材质等,这些都需要在实验中了解与掌握。如对于色环电阻器,应了解其阻值与精度的表示方法;更进一步,还要了解制作该器件的材质,进而清楚该器件的温度系数。对于实际电感器,除其具有电感、内阻与精度外,还有额定功率的表示方法(电感器的额定功率是用电感线圈的额定电流来表示的)。而电容器的参数,除了电容量与精度外,同样有额定功率与材质问题。制作的材质不同,其特性(如温度系数)与用途也完全不同。实验中应多注意了解和掌握这些常识

2. 电子仪器与电工仪表

电路实验常用的电子仪器有直流稳压电源、直流稳流电源、信号发生器、示波器、交流电压表(俗称交流毫伏表或晶体管毫伏表)、频率计等。

直流稳压电源、直流稳流电源与信号发生器等,属于电路中的“源”,它们为电路提供正常工作的能量或激励信号。为了更好地完成这种功能,“源”的输出阻抗一般都很小(直流稳流电源是个例外,其输出端内阻很大)。示波器、交流毫伏表及频率计等测量仪器,属于电路中的“负载”。在对电路进行测量的同时,这些“负载”会从电路中吸收一定的能量。为了减小对被测电路的影响,通常测量设备的输入阻抗都很大。

电工仪表有交/直流电流表、交/直流电压表、功率表及电度表等。电工仪表一般用来测量频率在0~50Hz范围内的电流、电压、功率及电能等物理量。

了解电子仪器与电工仪表的区别后,实验中就不会用错或损坏仪器设备;当自行设计实验时,也能够根据实验内容与特点正确地选择仪器与仪表。

3. 连接实验电路

正确连接实验电路是实验顺利进行并取得成功的第一步,也是初学者遇到的第一个困难。连接电路时需要注意以下3方面的问题:

(1) 实验设备的摆放

实验用电源、负载、测量仪器等设备应摆放合理。遵循的原则为实验设备摆放后使得电路布局合理、连接简单(连接线短且用量少),便于调整和读取数据等操作,设备的位置与各设备间的距离及跨接线长短应对实验结果的影响尽量小;对于信号频率较高的实验内容还应注意干扰与屏蔽等问题。

(2) 连线顺序

连线的顺序视电路的复杂程度和个人技术熟练程度而定。一般来说,应按电路图一一对应接线。对于复杂电路,应先连接最外面的串联回路,然后连接并联支路(先串联后并联)。对含有集成器件的电路,应以集成器件为中心,按节点连线。同时要考虑元器件及仪器仪表的极性,考虑参考方向及公共参考点等与电路图的对应位置。

为确保电路各部分接触良好,每个连接点不要多于两根导线。导线与接线柱的连接松紧要适度;避免因用力过度而损坏接线柱螺纹,使其无法拆卸;连接过松又会因牵动一线而引起端钮松动、接触不良或导线脱落等现象的发生。

(3) 连线检查

对照电路图,由左至右或由电路图上有明显标志处(如电源的“+”端)开始,以每一节点上的连线数量为依据,检查实验电路对应的导线数,不能漏掉图中哪怕很小很短的一根连线。图物对照,以图校物。对初学者来说,电路连接检查是比较困难的一项工作,它既是电路连接的再次实践,又是建立电路原理图与实物之间内在联系的训练与转化过程。对连接好的电路做细致检查,是保证实验顺利进行及防止事故发生的重要措施;同时要通过电路的检查工作来进一步锻炼自己,学会电路原理图这种“语言”的应用,提高对实际电路的认知能力。

4. 安全操作

电路实验中的安全操作应做到以下两点:

“源”输出幅度的调整。在接通电源前,要保证“源”特别是带有功率输出信号源的输出幅度为零。接通电源后,逐渐增大电压或电流的幅度;同时注意观察各仪表的显示是否正常、量程是否合适,负载工作状况是否正常,电路有无异常现象,如响声、冒烟、异味等。若有异常情况应立即切断电源并保护现场,仔细检查事故发生的原因。

严禁带电操作。实验操作中需拆除或改接电路时,必须首先切断电源,再进行拆、改工作,坚决杜绝带电操作。

5. 数据的读取与记录

电路实验的特点是要在实验中获得并记录一些实验数据。首先应根据实验要求做预测性的工作。接通电源后进行一次“粗测”,观察实验数据的变化与分布规律及结果是否合理。依据具体情况做必要的调整后,再进行正式的实验操作和数据的记录工作。在测量数据时,要做到读数姿势正确,思想集中,防止误读,指针式仪表应看清楚指示的刻度,使针、影重叠成一条线;将数据记录在事先准备好的表格中,并记录所用仪表的量程、内阻等测量条件,以备数据处理或核对时使用。记录数据的多少可根据其变化的快慢而定,变化较快或剧烈处可多取一些数据,以保证数据能够全面记录实验对象的变化规律。有效数字的取舍应根据实验数据的数量级与仪表的量程、表盘的刻度等实际情况综合考虑。

测试完毕后,应认真检查实验数据有无遗漏或不合理的情况,在保证所记录的数据合理、可信或经教师检查签字后,方可拆除电路并整理好实验台,将实验装置及仪器设备等摆放整齐,以养成良好的工作习惯。

6. 实验课笔记

一项科研工作,要有大量的科研记录。实验课也是如此,不仅应对实验数据进行记录,同时对本次实验中的一些问题也应如实记录,以便于课后总结与提高。如实验中对原定

方案的修改、操作中出现的新现象、采用的新方法与心得体会,所犯的错误、发生的事故及失败的原因等应逐一记录。在实验中要做到脑勤、手勤,善于发现问题、捕捉实验中的“蛛丝马迹”,这对于自身实践能力的提高是很有好处的。

1.5.3 课后总结与提高

实验后要写出实验报告,这是一项很重要且很有意义的工作,是对实验课学习过程的全面总结。

实验报告的内容一般应包括:实验目的、实验原理(包括实验电路图)、实验内容、所使用仪器设备的规格型号、操作过程、原始数据的处理、误差分析、注意事项、实验课笔记的整理并总结经验体会、回答思考题、对本次实验的意见和建议等。

对实验数据处理要充分发挥曲线和图表的作用,并根据原始数据实事求是地填写。误差计算与分析要细致并切合实际,不能简单地用“仪表误差”、“视觉误差”、“接触电阻”等笼统语言来分析误差原因。若确实因“仪表”及“视觉”等误差影响了实验结果的精度,也应根据仪表的等级、刻度盘的分格等计算出误差值,用详实的数据来佐证结论的正确性。实验课的收获与心得体会要实事求是撰写,不要写成空洞无物,也不要写些宏观的或敷衍了事的结论。有些思考题是电路理论或实验内容的扩展或延伸,有一定的难度,可以查阅有关的参考书或找指导教师答疑。

总之,一份好的实验报告应该是内容完整、层次分明、条理清晰、字迹工整、实验结果明确以及归纳总结正确、可信度高的科技论文的雏形。

思 考 题

1. 电路实验课与电路理论课的联系与区别是什么?
2. 在电路实验课中要掌握哪些内容和本领?
3. 在过去所学的知识中,你有过实践应用的经历吗?谈谈心得体会。

第2章 实验的基本知识

电路实验课主要是使用电路基本元器件，连接完成某种任务的实验电路，并利用电子仪器仪表等工具进行测量，取得预期结果、达到实验目的。根据实验课特点，本章介绍3方面内容：实验室的供电电源、测量误差以及实验中常见故障等，这些都是实验课始终要接触或遇到的问题，作为实验基本知识是每个操作者应掌握的常识。

2.1 动力电源与用电安全措施

电路实验大都在实验室内进行。实验室为用电设备等提供的动力电源，都是来自市电——交流 380V/50Hz 或 220V/50Hz，因此在进入实验室进行操作实验之前，应对实验室的配电情况有所了解，做到正确操作、安全用电。

2.1.1 实验室的动力电源

实验室的动力电直接由配电室供给。供电系统如图 2.1 所示。交流三相动力电源的始端 A、B、C 称为端线或“相线”，分别用红、黄、绿颜色的导线由配电室引入实验室。三相电源的末端 X、Y、Z 连接在一起，形成一个公共点 N 称为中性点，在变电所被埋入大地，并在配电室再次与大地相连接，因其对地电位为 0，故也称为“零线”。

交流三相电源 A、B、C 间的电压是 380V，称为线电压，电源 A、B、C 与中性点 N 之间的电压是 220V，称为相电压。为了消除三相负载不平衡而造成中性点的位移，通常采用三相四线制的星形（有时也称“Y”形）联结方式。

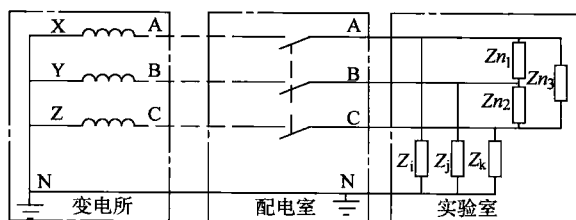


图 2.1 实验室供电系统

除了三相电动机如 Z_n 等电气设备使用 380V/50Hz 供电外，实验室的电子设备一般都是采用交流 220V/50Hz 单相供电，即在一相相线与零线之间，接入用电器 Z_i （或 Z_j 、 Z_k ），其中 i （或 j 、 k ）= 1, 2, 3, ...。为了保证用电安全，避免操作者在操作过程中意外触电，通常要求用电设备的金属外壳与大地相连接，因此在实验室引入一条与大地连接良好的地线。这样从实验室的配电盘（柜）到实验台应有 5 条供电导线，如图 2.2 所示。

由图 2.2 可看出，为使三相负载尽可能达到平衡，实验台的各电源插座被引到了不同的相线（A、B、C）上。

按照电工操作规程，两孔插座与动力电的连接要求是左孔接零线（N），右

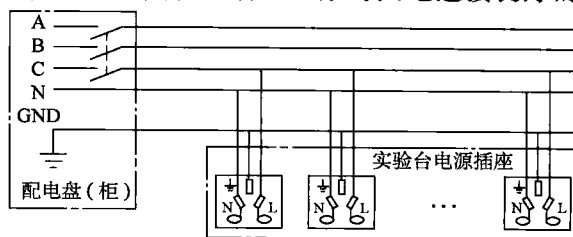


图 2.2 实验台电源配线

孔接相线 (L)。3 孔插座除了按左“零”右“相”连接之外,中间孔接地线 (GND),即“左零右相中间地”。因此实验室的供电系统是三相四线一地制,也称为“三相五线制”。

2.1.2 保护地的作用与漏电保护器

1. 零线与地线的区别

由图 2.1 和图 2.2 可知,零线与地线都是与大地相连接,但是二者的功能有着本质的区别。零线是电路的一部分,与相线以及用电器构成闭合回路,零线电流是三相相线电流的相量和,一般情况不为 0;地线不与任何供电部分构成回路,只与用电设备的外壳相连接,提供一个与大地相同的电位,正常情况下电压电流均为 0。

值得注意的是零线电压虽然为 0,但不能作为电路的参考点;而地线则是交流电路系统的零电位参考点。在同一电路图中,两者不能用相同的电路符号。实际操作过程中,严禁将两者连接在一起,否则会造成安全事故。

2. 地线的作用

地线在实验室供电系统中有着重要的作用:①为操作者提供零电位测量参考点;②为电路系统抗高频干扰提供屏蔽作用;③供电线路发生漏电时,通过漏电保护器自动切断电源,保证安全,避免意外发生。因此地线也称为保护地线。

3. 漏电保护器工作原理及组成

在三相五线制中,接入实验室的零线作为电源线之一,同相线一样对地绝缘,并通过漏电保护器接至用电设备,如图 2.3 所示。用电设备金属外壳通过 3 孔插座的接地孔与保护地线相连接。若相线与机壳短路等漏电情况发生后,则在短路处相线与保护地线构成电流闭合回路,见图 2.3。这时回路阻抗很小,短路电流很大,为

$$I_k = \frac{U}{Z_d}$$

式中 I_k ——相线与机壳短路电流 (A);

U ——相电压 (V);

Z_d ——零线阻抗与接地电阻之和 (Ω)。

I_k 可使漏电保护器的保护开关跳闸,切断电源回路,达到安全保护的目的。

漏电保护器主要由零序电流互感器、信号放大器、漏电脱扣线圈、脱扣机构、主控开关及测试按钮等部分组成,如图 2.4 所示。漏电保护器是根据基尔霍夫电流定律:任一时刻流入任一闭合曲面电流的代数和等于 0 的原理而设计的。负载的相线与零线均穿入零序电流互感器中。正常工作时,相线与零线电流的代数和等于 0,在互感器铁心中感应的磁通量之和也为 0。零序电流互感器的二次侧绕组

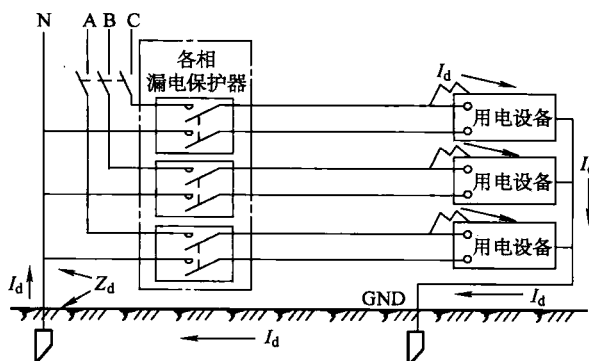


图 2.3 发生漏电后电流闭合回路示意图

(脱扣线圈) 无信号输出,主控开关处于闭合状态,电源向用电设备供电。一旦设备发生接

地故障，如设备绝缘损坏造成漏电，或相线碰到机壳，或未与大地处于绝缘状态的人触及到相线，这时将有一部分电流（即 I_L ）从保护地线中流过。此时回路中电流的代数和不再为 0，通过相线的电流大于通过零线的电流，两者之差在零序电流互感器的铁心中产生磁通，使二次侧绕组产生感应电压，迫使脱扣线圈励磁，强令主开关跳闸，切断供电回路，达到了保护设备或人身安全的目的。

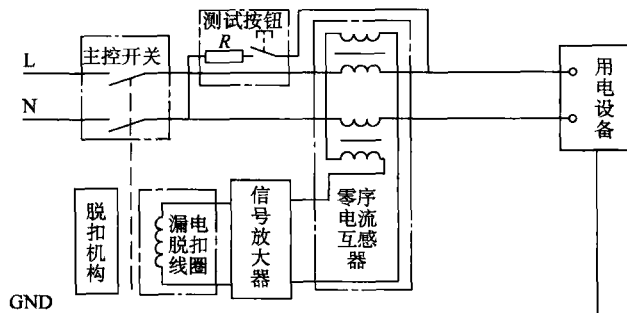


图 2.4 漏电保护器的组成示意图

2.1.3 电子仪器的接口与供电

电子仪器中的电子元件只有在稳定的直流电压下才能正常工作。直流电压通常是将交流 220V/50Hz 经变压器降压后，再通过整流、滤波及稳压而得到。交流 220V/50Hz 一般由 3 孔电源线引入电子仪器，如图 2.5 所示。3 孔电源插头的中间插针与仪器的金属外壳连接在一起，其他两针分别与变压器一次侧绕组的两端相连。这样当电源插头接到实验台的 3 孔插座上后，仪器的外壳就与大地连接在一起，变压器一次侧绕组也连接到了相线和零线上。

电子仪器供电后，就可正常工作了。根据其功能不同，有向外输出电能的，如电源和信号源等；有吸收电能的，如示波器、交流电压表等。无论是输入还是输出电能，其对外接口大多采用接线柱或连接器（普通仪器多用 BNC 插座）形式。

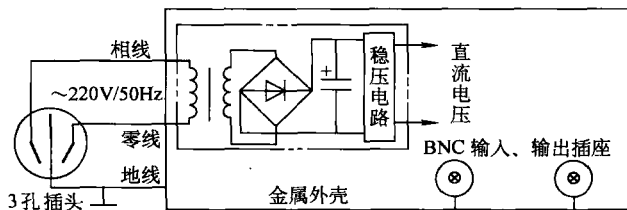


图 2.5 电子仪器电源引入及保护地接金属外壳示意图

直流稳压电源一般用 3 种不同颜色（红、黑、蓝等）的接线柱输出，通常红色为电源正极，黑色为电源负极，蓝色或绿色（或棕色）为保护地线。在这些接线柱附近分别标有“+”、“-”及接地符号“⊥”。交流信号源通常用红、黑两接线柱输出，红色为信号输出端，标有“+”，黑色与仪器外壳直接连接，标有“⊥”。而用连接器对外接口时，通常将插座的外导体（外层金属部分）直接固定在仪器的金属外壳上，作为信号的参考电位端；插座的内导体（中心线）接信号的另一端——信号的输出或输入端，并与外导体绝缘。

实验室使用的连接器的导线多为同轴电缆线。电缆线的内导体一端接 BNC 插头的中心端，另一端接一红色线夹；电缆线的外导体（网状屏蔽线）一端接 BNC 插头的金属外壳，另一端接一黑色线夹。将 BNC 插头与插座连接后，红色线夹与插座中心线连接，黑色线夹与仪器外壳连接，也即与大地相连接。由此可见，实验室的测量系统是以大地为参考点的测量系统。如果不以大地为参考点，则须将仪器改为两孔电源插头，或者将 3 孔电源线的接地

线断开，否则就要采用隔离技术。

当测量仪器的金属外壳均与信号源的金属外壳相连接时，称为“共地”——电路系统拥有一个共同的地。共地系统有两种组合方式：一种是将所有仪器的金属外壳均与大地相连；另一种是所有仪器的金属外壳连接在一起，但与大地断开。例如将所用仪器均接入多功能排插座上，但多功能排插座的电源插头为两孔，这样各仪器的外壳通过多功能排插座的中间孔连接起来，即实现了脱离大地的局部“共地”。这时各仪器外壳是连接在一起的，但与大地是断开的。

当测量仪器或信号源使用两孔电源线时，不能组成共地系统，这种情况称为悬浮地，简称浮地。当电压测量仪器处于悬浮地状态时，可以测量任意支路的电压；而在共地情况下，只能测量各点相对于地的电位，通过计算两点的电位差来得到支路电压。

值得注意的是，对于同一台仪器，如果没有浮地功能，其所有 BNC 插座的金属外壳都是连接在一起的，如双踪示波器的两输入端口。因此所有黑色线夹只能接在同一参考点，或者一个接在参考点上，其余处于悬空状态。测量高频信号时建议采用前者，悬空的线夹容易引入干扰。

2.1.4 安全用电

安全用电是实验课中始终要注意的一个重要问题。实验中一定要确保人身安全和仪器设备的安全。

实验室的供电电压已经超出了 36V 的安全电压范围。当人体直接接触动力电的相线时，就会遭到电击或被电灼伤，严重时危及生命。识别相线和零线，最简单的办法是用试电笔来测试。试电笔是由金属探头、氖灯泡、电阻（其阻值大于 $1\text{M}\Omega$ ）、尾部金属等组成。使用时只要将手指与试电笔的尾部金属接触，将金属探头放到电源插孔里即可。这时电源从金属探头、氖灯泡、电阻、尾部金属及人体到大地构成回路。若是相线，氖灯泡发光；若是零线，氖管不发光。

电路实验课中，应留意所用仪器电源线有无破损；使用电烙铁进行焊接时，应将电烙铁远离所有电源线等物体，避免烧破绝缘皮层造成漏电伤人以及引起火灾等事故的发生；但也不能胆却的对如合闸等为仪器供电的操作都不敢做，应当相信有绝缘措施的用电装置是安全的。

实验操作时，严格按照用电安全规则操作。接线与改线或拆线都必须切断电源。这不仅是对使用动力电时的要求，对于 36V 以下的弱电实验也应如此。因为虽然此时对人身无危险，但带电操作会使实验中的元器件损坏。应养成“先接线后通电，先断电后拆线”的良好习惯。

强电实验中，严禁通电情况下人体接触裸露的金属部分及仪器的外壳。虽然仪器的外壳已经接地，但也不要随意用手接触。因为一旦身体其他部位意外触及相线，通过手与机壳的接触构成回路，也能造成触电事故。

每台仪器只有在额定电压下才能正常工作。当电压过高或过低时都会影响仪器的正常工作，甚至烧毁仪器。我国生产并在国内销售的电子仪器多采用交流 220V/50Hz 供电，在一些进口或外销的电子产品中，有一个“220V/110V”的电源选择开关，通电前一定要将此开关置于与供电电压相符的位置（我国低压电网是交流 220V，而日本、美国、加拿大等欧美

国家采用交流 110V 供电)。另外还应注意仪器的用电性质,是交流电还是直流电,不能用错。若用直流供电,除电压幅度要满足要求外,还要注意电源的正、负极性。

2.2 电路的测量

2.2.1 测量的意义

测量的目的是要对客观事物获得定量的信息,无论在日常生活中还是科学研究过程中都要进行各种测量。所谓测量,就是将待测量与另一个同类的已知量进行比较,并把后者作为计量单位,从而确定被测量是该单位的多少倍。测量是从事社会活动及科学实验的必备技能。测量方法得当,测量结果正确,可以帮助人们判断预期的结论,或达到预定的目标;倘若在测量时出现问题,则会给人们带来这样或那样的不良后果,可能将科学研究引向歧途,不仅造成时间上、经济上、精力上的严重浪费或重大损失,甚至得出一个与事实不符的结论。电路实验课也同样离不开对各种电量的测量,如电路工作是否正常、实验结果的取得、系统能否满足设计要求、故障的检查等都是通过测量手段来实现的。因此,掌握正确的测量方法及手段,是从事科学技术研究工作最基本的实践能力。

2.2.2 测量的范围

测量分为直接测量和间接测量两种。凡是使用测量仪器能直接得出结果的测量都是直接测量,如电路实验中用电流表或电压表来测量电路的电流或电压,用示波器测量电路波形的瞬时值等;而间接测量是要先直接测量另外一些相关的量,然后通过这些量之间的内在关系经过数学运算来得到结果,如交流阻抗参数的测量,可通过测量电路的电流、电压、电功率后,经过计算而得到。显然,直接测量是间接测量的基础。直接测量是电路实验中的基本测量。

电路实验的测量大致包括以下几个方面:

- 1) 元器件参数的测量,如电阻器的电阻值、电容器的电容值、电感器的电感值等,这些参数可以通过直接测量获取,也可以通过间接测量来得到结果,例如“三表法”与“谐振法”都是对电阻器的电阻值 R 、电感器的电感量 L 、电容器的电容量 C 进行间接测量的方法。
- 2) 电路参数的测量,如电流、电压、功率、频率、相位等的测量。
- 3) 系统参数的测量,如网络的输入阻抗、输出阻抗、网络函数等。这些只能用间接测量来获得。

2.2.3 测量误差与数据处理

1. 测量误差

用仪器测量一个物理量而得到的测量值与被测物理量的真值之间总是存在一定差别的,称之为测量误差。测量误差是不可避免的,只能通过仪器性能的改善、测量技术的提高等手段来减小。判断一个有效测量结果的优劣,可用测量误差来衡量。

设被测物理量的真实值为 A_0 , 测量仪器给出的测量值为 x , 则绝对误差 Δx 定义为