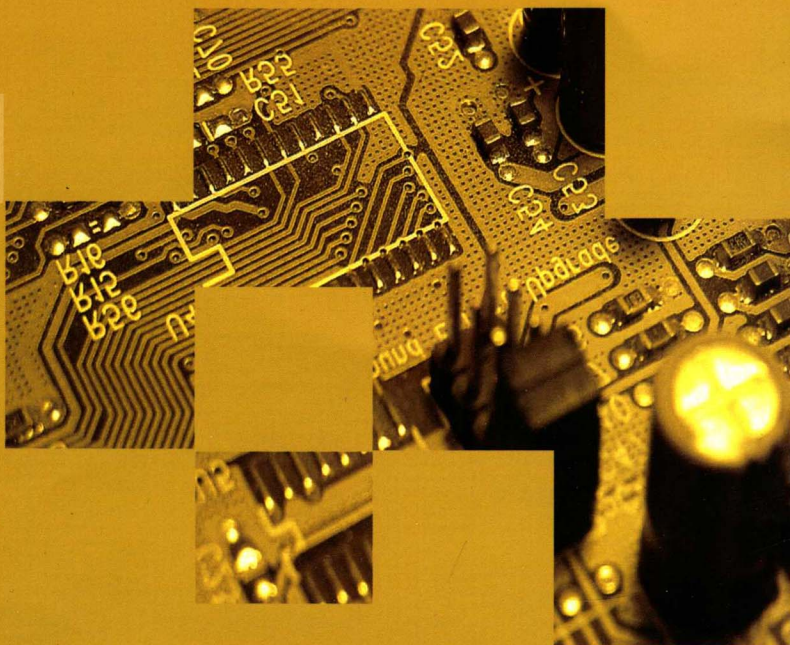


电子电路 测量与设计实验

主 编◎陈凌霄 张晓磊



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

电子电路测量与设计实验

陈凌霄 张晓磊 主 编



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

全书共分7章,内容包括电子测量的基本知识、常用电子元器件、相关仪器仪表原理、电路仿真软件介绍以及实验教学内容。其中第五、六章为实验教学内容,包括实验相关知识介绍和实验项目。

第五章有10个基础类实验项目,其中5个给出实验操作步骤、实验数据表格和操作注意事项,其余则要求学生实验前自主设计实验方案和操作步骤。第六章共有4个设计类实验项目,均要求学生根据给出的条件进行电路的类型选择、原理图设计、仿真以及实际调测与实现。第五、六章所有实验项目均有详细预习要求,并根据实验内容配有一定数量的预习思考题和课后思考题,对实验数据的处理和实验报告的撰写也提出了有针对性要求。

本书可适用于高等学校电子类、通信类和自动化类专业的电子测量和模拟电子电路实验教学,也可供电子工程技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路测量与设计实验 / 陈凌霄, 张晓磊主编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2015.8

ISBN 978-7-5635-4428-8

I. ①电… II. ①陈…②张… III. ①电子电路—测量②电子电路—电路设计—实验 IV. ①TN710
②TN702-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第168724号

书 名: 电子电路测量与设计实验

著作责任者: 陈凌霄 张晓磊 主编

责任编辑: 满志文

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京睿和名扬印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 14.5

字 数: 358千字

版 次: 2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-4428-8

定 价: 30.00元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

本书是一本电子电路实验课教材。电子电路实验课的目的是培养学生电子技术的工程实践能力,包括基本测量技能和电路设计与调测能力。因此教材内容的选择特别是实验内容的选择必须根据学生的认知规律,引导学生从简单到复杂、循序渐进地掌握电子电路的实践技能,为学生在相关领域的进一步学习和发展打下坚实基础。

本教材各部分内容具有以下特点:

1. 元器件介绍图文并茂

在介绍相关元器件时从学生的实际需要出发,重点介绍其性能特点、命名规则、选用原则和检测方法,并配以大量图片,使学生直观认识相关元器件。

2. 仪器仪表选取重点类型介绍基本工作原理

近些年来,数字式仪表以其功能多样、测量精确等优点逐渐成为实验室的主角。因此本教材有选择性地介绍了数字式万用表和指针式万用表、数字示波器和模拟示波器四种仪表的工作原理和使用原则。在信息传输手段高度发达的今天,各种仪表都会附有详细的用户使用手册等电子资料。仪表厂家甚至为使用者提供使用技术培训,因此本书不再涉及具体型号仪表的使用方法,学生仪器仪表的使用训练可根据实验室仪表的具体型号,有针对性地进行。

3. 基本测量方法集中介绍,电路参数的测量方法与具体实验项目结合

本教材第四章集中介绍了各种基本电参数的测量方法,而各种电路参数和性能指标的测量方法则与相关实验内容和任务紧密结合,使学生能够在实践中有效掌握相关知识和技能。

4. 基本电路的测量注重从示范引导到独立自主的过渡

电子电路实验课程的目的是培养学生独立工作能力,因此本教材第五章中,有些实验项目示范引导性地给出了实验操作步骤、实验数据表格和操作注意事项,其余实验项目要求学生根据示范,自主拟定实验操作步骤并列出注意事项,培养学生面对任务和问题时的独立自主意识,并锻炼其独立工作能力。

(注:书中带有*的章节为引导和示范章节,含有相关实验操作步骤、实验数据表格和操作注意事项。学生在进行实验预习时,可以参考这些章节自主进行相关实验操作过程的拟定)

5. 典型电路的设计从电路实际应用出发

第六章电路设计与调测部分的一些实验项目,从实际应用的角度提出电路设计任务,引导学生以一个电路设计者的思维进行思考,这样不仅能培养锻炼学生的实际工作能力,还可以更好地激发学生的学习兴趣 and 热情。

6. 引导学生有效利用 EDA 工具软件进行电子电路的设计

EDA 软件是当今电路设计的必备工具。本教材选择了目前较为流行的 Multisim 软件进行介绍,并在实验项目中对 EDA 工具的使用做了明确要求,促使学生掌握现代化的电子电路设计手段。

本教材的撰写是以北京邮电大学电路实验中心几十年的电子电路实验教学实践为基础的,是电路实验中心一代代实验教学工作辛勤劳动和智慧的积淀,撰写的过程也得到中心领导和老师们的大力支持,在此一并表示敬意和感谢!

鉴于作者水平所限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2015 年 6 月

目 录

第 1 章 基础知识	1
1.1 电子电路实验课程的特点和学习方法	1
1.1.1 电子电路实验课程的目的	1
1.1.2 电子电路实验的特点	1
1.1.3 电子电路实验的基本流程及学习要求	2
1.2 电子测量的基本知识	4
1.2.1 什么是电子测量	4
1.2.2 电子测量的仪器	4
1.2.3 电子测量的方法	5
1.2.4 正确选择测量方法和测量仪器	6
1.3 电子电路中的抗干扰技术	9
1.3.1 噪声的特点	9
1.3.2 抑制噪声的方法	10
1.3.3 接地技术	12
1.4 误差的基本知识	17
1.4.1 电子测量中产生误差的原因	17
1.4.2 误差的分类	17
1.4.3 误差的表示方法	18
1.5 测量数据的读取和处理	19
1.5.1 有效数字与测量数据的读取	19
1.5.2 直接测量数据的处理	20
1.5.3 图解法分析数据	20
1.6 电子电路的安装与调测	22
1.6.1 电子电路的安装	22
1.6.2 电子电路的调测	24
1.6.3 电子电路的故障分析与排查	26
第 2 章 常用电子元器件	28
2.1 电阻器	28
2.1.1 固定电阻器	28

2.1.2	电位器	37
2.1.3	敏感电阻器	41
2.1.4	几种特殊类型电阻器	44
2.2	电容器	47
2.2.1	电容器的分类及命名方法	47
2.2.2	固定电容器的技术指标与标识	49
2.2.3	电容器的选用与测量	51
2.3	电感器	53
2.3.1	电感器的分类及技术指标	53
2.3.2	电感器的标识与检测	54
2.4	常用半导体分立器件	57
2.4.1	常用半导体分立器件	57
2.4.2	半导体分立器件的型号命名方法	58
2.4.3	半导体分立器件的主要参数	61
2.4.4	二极管、晶体管的选用	62
2.4.5	二极管、晶体管的检测	63
2.5	集成电路	67
2.5.1	集成电路分类	67
2.5.2	集成电路的型号命名	68
2.5.3	集成电路使用注意事项	70
第3章	常用电子测量仪表简介	72
3.1	数字式万用表	72
3.1.1	数字式万用表基本原理	72
3.1.2	数字式万用表使用注意事项	75
3.2	指针式万用表	76
3.2.1	指针式万用表基本原理	76
3.2.2	指针式万用表的使用注意事项	78
3.3	通用模拟示波器	79
3.3.1	通用模拟示波器工作原理	79
3.3.2	通用模拟示波器的正确使用	86
3.4	数字存储示波器	88
3.4.1	数字存储示波器原理	88
3.4.2	数字存储示波器的使用	92
第4章	基本电参数的测量	94
4.1	电压的测量	94
4.1.1	直流电压的测量	94
4.1.2	交流电压的测量	97

4.1.3 噪声电压的测量	100
4.2 电流的测量	102
4.2.1 直流电流的测量	102
4.2.2 交流电流的测量	104
4.3 与时间相关的参数的测量	105
4.3.1 周期的测量	105
4.3.2 时间间隔的测量	106
4.3.3 频率的测量	108
4.3.4 相位差的测量	110
第5章 基本电路调测技术与实验	113
* 5.1 指针式万用表测元件的伏安特性	113
5.1.1 元件伏安特性及测量的相关知识	113
5.1.2 实验项目:指针式万用表测元件的伏安特性	114
* 5.2 有源二端网络等效参数测量及戴维南定理的验证	117
5.2.1 有源二端网络及测量的相关知识	117
5.2.2 实验项目:有源二端网络等效参数测量及戴维南定理的验证	119
5.3 受控源的实验研究	123
5.3.1 受控源的相关知识	123
5.3.2 实验项目:受控源的实验研究	125
5.4 常用电子测量仪器仪表使用练习	127
5.4.1 常用电子测量仪表使用的知识	127
5.4.2 实验项目:常用电子测量仪器仪表练习	131
5.5 一阶 RC 电路的实验研究	133
5.5.1 一阶 RC 电路的相关知识	133
5.5.2 实验项目:一阶 RC 电路的实验研究	136
* 5.6 单级晶体管放大电路的静态调测与动态测试	139
5.6.1 相关知识	139
5.6.2 实验项目 1:晶体管放大电路静态调测与增益测试	145
5.6.3 实验项目 2:晶体放大电路静态调测与输入/输出电阻测试	148
5.6.4 实验项目 3:射极跟随器的调测与研究	152
5.7 集成运放组成的负反馈放大器研究	156
5.7.1 集成运放参数对放大器的影响及点频法测幅频特性	156
5.7.2 实验项目:负反馈放大器的研究	159
5.8 OTL 功率放大器的研究	161
5.8.1 功率放大器的相关知识	161
5.8.2 实验项目:OTL 功率放大器的应用与研究	162
第6章 电子电路的设计调测与实验	165
6.1 单级共射晶体管放大电路的设计与调测	165

6.1.1	单级共射晶体管放大电路的设计	165
6.1.2	实验项目:单级共射晶体管放大电路的设计与调测.....	173
6.2	差分放大电路设计与调测	176
6.2.1	差分放大电路相关知识	176
6.2.2	实验项目:差分放大电路的设计与调测.....	182
6.3	集成运算放大器的线性应用	184
6.3.1	集成运算放大器的相关知识	184
6.3.2	实验项目:集成运算放大器的线性应用.....	191
6.4	电压比较器的设计与调测	193
6.4.1	电压比较器的相关知识	193
6.4.2	实验项目:电压比较器的设计与调测.....	198
第7章	Multisim 仿真软件的使用	201
7.1	Multisim 软件的概述	201
7.2	Multisim 软件的基本情况	203
7.2.1	Multisim 软件的技术特点	203
7.2.2	Multisim 元器件库介绍	203
7.3	Multisim 软件的基本使用方法	206
7.3.1	建立和保存电路文件	207
7.3.2	放置元器件和仪表	207
7.3.3	元器件编辑、连线以及进一步的调整.....	209
7.3.4	观察仿真结果	213
7.3.5	仿真结果分析	214
附录	实验报告格式.....	221

第1章 基础知识

1.1 电子电路实验课程的特点和学习方法

1.1.1 电子电路实验课程的目的

电子电路相关理论是电子信息类专业重要专业基础知识,学习电子电路理论的目的是能够在理论知识的指导下,很好地进行电子技术的相关实践,为成为合格的专业技术人员打下基础。而电子电路实验课程的作用一方面要验证相关理论、帮助学生理解掌握理论知识,更重要的一方面是通过实验课程使学生掌握技术技能、建立工程概念、培养动手能力和独立工作能力,能够运用相关知识开展实际工作。因此电子电路实验重要意义在于将学生从抽象的理论世界引入到实践应用的广阔天地,使学生能够学以致用,具备基本的专业能力和素质,同时培养严谨客观的工作作风。

通过电子电路实验的学习,学生应该达到如下要求:

- (1) 能够正确识别、选择、检测和使用各种常用电子元器件;
- (2) 了解常用仪器仪表的基本原理并掌握其使用方法;
- (3) 掌握基本电子电路的设计、安装和调测技术;
- (4) 了解电子电路计算机辅助设计技术并能够利用相关 EDA 工具进行电子电路的分析和设计;
- (5) 能够撰写结构合理规范、内容翔实客观、表达清晰严谨的实验报告。

1.1.2 电子电路实验的特点

电子电路实验作为一门专业基础课程,与电子信息类专业的其他课程相比有明显不同的特点。

1. 电子电路实验与理论课不同

从教学内容上看,理论课内容的知识点之间有内在的关联,前后连贯、一致性好、难度大;而电子电路实验的知识点分散、系统性不强、内容庞杂,但难度低。从教学方式看,理论课程的教学活动是以教师课堂讲授为主,学生通过听讲、作业、答疑等环节,最终使学生掌握所学知识;而电子电路实验则是以实验室操作为主,学生通过实际动手,在一定的时间内完成一定的实验任务,因此具有即时性、时效性的特点。

2. 电子电路实验与验证性实验课不同

从教学目的上看,验证性实验课是通过实际操作或实物展示,使学生加深对相关理论知识的理解和掌握;而电子电路实验的目的不止于此,还要通过实验使学生掌握电子电路相关实践技能,培养实际工作能力。从课程设置上看,验证性实验附属于相关理论课程,作为理论课程的一部分;而电子电路实验一般独立设课,有更多课时、独立的教学大纲和完整的教学环节。

1.1.3 电子电路实验的基本流程及学习要求

由于电子电路实验有着与其他课程不同的特点,学生在学习时应采用适当的方法,使实验达到预期的目的,取得良好的学习效果。

1. 进行实验前充分预习和准备

虽然任何课程的学习都提倡提前预习,但电子电路实验课的预习是必须的环节,缺少这一环节,实验无法顺利进行。理论课程的学习如果缺少预习环节,则学习过程可以从踏进课堂听老师讲课开始,对老师所讲授的内容甚至可以暂时不能全部领会,课后还可以通过作业、答疑、复习等环节逐步理解掌握所学知识;而实验课程的相关要求及完成任务的方案和步骤必须在踏进实验室之前了解掌握,这样在实验操作过程中才能做到有的放矢,减少出错的几率,最大限度利用实验室的资源进行实际动手操作,提高学习效率和实验室的利用率。具体说来,实验前应做好以下几项准备工作:

- (1) 认真阅读实验教材,深入了解实验目的,理解实验任务;
- (2) 查阅相关器件资料了解所用元器件特性;
- (3) 理解实验电路的工作原理或设计好实验电路;
- (4) 制定实验测试步骤,掌握相关测试原理和具体测量方法;
- (5) 设计实验测试用数据表格;
- (6) 了解实验中的注意事项。

2. 实验过程中认真操作

在实验室中的动手操作是进行实验课程学习的核心环节,实验课程学习的意义不仅在于得到正确的实验结果,更在于实验操作时分析问题、解决问题的过程,所以实验课程的学习本质上是一种过程的学习,学生在实验操作的过程中通过对随时出现的各种问题和状况进行分析、判断和处理,使知识得到积累、工作能力得到锻炼、工程素质得到提高。另外、实验过程中规范操作、严谨思考、勤于总结,可以帮助学生养成良好的工作习惯和作风,使综合素质得到提高。具体地说,在实验室中进行操作,应该做到以下几点:

- (1) 严格按照科学的方法使用元器件及仪表;
- (2) 严格按照规范进行操作,注意实验安全;
- (3) 仔细观察、勤于思考,善于从各种实验现象中发现问题、获得知识;
- (4) 保持良好的心态和冷静的头脑,任何问题和故障都有客观的原因,都可以运用相关知识进行解释并通过一定的方法解决,分析问题解决问题的过程就是学习和提高的过程;
- (5) 注意培养独立工作能力,灵活运用所学知识冷静分析操作中的现象和问题,必要时请求老师的指导并注意从老师的指导中学习分析问题解决问题的方法;

(6) 实事求是的科学态度是工程技术人员的基本素质,在实验中应严谨认真规范地记录测量的原始数据,测量值出现异常应及时查找原因并排除;

(7) 实验时保持实验台和实验室整洁,实验后整理实验仪表和器材,培养良好的工作习惯和作风。

3. 操作结束后认真总结、撰写实验报告

将已经完成的工作进行归纳、分析和总结,形成一份专业性的书面报告,是工程技术人员的基本素质之一。因此在实验操作完成后认真总结撰写完整的实验报告,是实验课程学习的重要环节。撰写实验报告时应注意:

(1) 报告的内容要完整,应包括从实验题目到任务、原理、完整的实验电路或电路设计过程、所用仪器仪表的名称和型号编号、元器件及其规格型号、实验步骤、实验结果、对实验结果的分析总结以及对实验各方面的改进或修改建议和想法等等;

(2) 报告中对实验结果的分析总结要有深度,要正确运用相应的理论知识深入分析现象背后的本质,这样才能达到通过实践促进对理论知识的理解和掌握的目的;

(3) 对实验操作过程中遇到的问题,也要仔细进行总结和分析,特别是问题的解决方法和思路要及时总结记录,这样可以有效积累经验、培养独立工作能力;

(4) 作为专业性的技术报告,要用词准确、文理通顺,体现出报告人的专业素质;报告还应该书写工整,页面整洁,这也是报告人个人素养和工作作风的体现。

总之,实验课程的各个环节都是做好一个实验的关键,只有认真对待实验课程学习的每一步,才能使之在培养素质、锻炼能力方面充分发挥作用。

1.2 电子测量的基本知识

1.2.1 什么是电子测量

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。电子测量是测量学的一个重要分支。从广义上讲,凡是利用电子技术进行的测量都可以被称为电子测量;从狭义上讲,电子测量是指在电子学中测量有关电的量值。狭义的电子测量所包括的内容主要有:

- (1) 能量的测量:即对电流、电压、功率、电场强度等参量的测量;
- (2) 元器件参数的测量:对电阻、电感、电容、阻抗、品质因数、损耗率等参量的测量;
- (3) 信号特性的测量:对频率、周期、时间、相位、调制系数、失真度信噪比等参量的测量;
- (4) 电子设备性能的测量:对通频带、选择性、放大倍数、输入/输出阻抗、衰减量、灵敏度等参量的测量;
- (5) 特性曲线的测量:对幅频特性、相频特性、器件特性等特性曲线的测量。

上述各种参量中,频率、时间、电压、相位、阻抗等是基本参量,其他的为派生参量,基本参量的测量是派生参量测量的基础。

1.2.2 电子测量的仪器

用于检测或测量一个量或为测量目的供给一个量的器具称为测量仪器。利用电子技术测量电或非电量的测量仪器称为电子测量仪器。电子测量仪器种类繁多,一般可分为专用电子测量仪器和通用电子测量仪器两大类。近年来随着计算机技术的发展,又发展出来一种计算机技术为基础的新型仪器——虚拟仪器。

1. 专用电子测量仪器

专用电子测量仪器是指为某一个或几个专门目的而设计的电子测量仪器,只适用于特定对象的测量。如电冰箱性能测试仪器专门用于测试电冰箱的工作性能;通信测试仪器专用于测试通信线路及通信过程中的参数等。

2. 通用电子测量仪器

通用电子测量仪器是指为测量某一个或几个电参数而设计的电子测量仪器,它们能用于多种电子测量,如万用表、电子示波器、信号发生器等。通用按其功能可分为以下几类:

- (1) 信号发生器,用于产生各种测试信号,如音频、高频、脉冲、函数、扫频等信号发生器;
- (2) 电压表及万用表,用于测量电压及派生量,如模拟电压表、数字电压表、各种万用表、交流毫伏表等;
- (3) 信号分析仪器,用于观测、分析、记录各种信号,如示波器、波形分析仪、逻辑分析仪等;
- (4) 频率、时间和相位测量仪器,如频率计、相位计等;

(5) 电路特性测试仪,如扫频仪、阻抗测量仪、网络分析仪、失真度测试仪等;

(6) 元器件测试仪,如RLC测试仪、晶体管测试仪、Q表、晶体管图示仪、集成电路测试仪等;

(7) 其他用于和上述仪器配合使用的辅助仪器,如各种放大器、衰减器、滤波器等。

通用电子测量仪器按显示特性可分为以下三类:

(1) 模拟式仪表

将被测试的电参数通过一定措施转换为机械位移,通过指针、标尺刻度指示出测量数值。理论上模拟式指示是连续的,但由于标尺刻度有限,实际分辨力不高。如各种指针式电压表、电流表等。

(2) 数字式仪表

将被测试的连续变化的模拟量通过A/D变换,转换成离散的数字量,通过数显装置直接显示测量结果。数字显示具有读数方便、分辨率高、精确度高的特点,已成为现代测试仪器的主流。如各种数字电压表、频率计等。

(3) 屏幕显示仪表

通过示波管、显示器等将电参数的某种变化,以波形或曲线的形式直观显示出来,如各种示波器、图示仪、扫频仪等。

3. 虚拟仪器

虚拟仪器(Virtual Instrument, VI)是将计算机技术应用到电子测试领域,利用计算机对数据存储和快速处理能力,将计算机采集到的被测信号进行处理分析,然后借助于计算机的输出终端如显示器、喇叭将测量结果以图形或声音等形式输出。虚拟仪器实现普通仪器难以达到的功能。

虚拟仪器不具有传统仪器的电源、机壳、面板,而是借助于计算机外设如显示器、键盘、鼠标实现操作及显示功能。对被测信号的输入采集及调理转换功能是由专门的插卡实现。计算机上相关虚拟仪器软件系统由用户自行定义,可以反馈信号到被测单元进行实验状态控制,也可以根据需要对采集的信号进行处理和分析,再以不同形式输出,例如函数计算值、拟合处理结果、图表表达形式等,并且支持网络传输,实现用户的异地实时控制实验仪器、获取实验数据等。

使用虚拟仪器,用户可以通过软件技术构造和更改自己的虚拟仪器系统,当实验要求变化时,可以方便地通过增减硬软件模块或重新配置现有系统满足实验要求。可将互联网与虚拟仪器结合起来,通过网络来传输数据和控制仪器,从而实现异地实时操作,使得实验项目的进行具备了时间和空间的扩展性。

基于计算机软硬件发展水平、基于软件自定义来实现和扩展仪器功能等虚拟仪器的开放式特点,使得虚拟仪器和传统意义上的仪器存在很大差别。

1.2.3 电子测量的方法

为实现测量目的,正确选择测量方法是极其重要的,它直接关系到测量工作能否正常进行和测量结果的有效性。测量方法的分类大致有以下几种。

(1) 按测量性质分类:①时域测量,测量与时间有函数关系的量;②频域测量,测量与频率有函数关系的量;③数字域测量,对数字逻辑量进行测量;④随机测量,主要是指对各种噪

声、干扰信号等随机量的测量。

(2) 按测量手段分类：①直接测量，用预先按已知标准计量定度好的测量仪器，对某一未知量直接进行测量，从而得到被测量值的测量方法；②间接测量，对一个与被测量有确切函数关系的物理量进行直接测量，然后通过代表该函数关系的公式、曲线或表格，求出被测量值的方法；③组合测量，在某些测量中，被测量与多个未知量有关，测量一次无法得出完整的结果，则可改变测量条件进行多次测量，然后按照被测量与未知量之间的函数关系，组成联立方程，最后求解，得出各未知量。

(3) 按测量方式分类：有替代法、零示法、差值法等。

(4) 按与被测量的距离分类：有原位测量和远距离测量。

可见，测量方法是多种多样的，测量者应根据测量任务的要求进行认真分析，确定切实可行的测量方法，选择合适的测量仪器组成测量系统进行实际测量。

1.2.4 正确选择测量方法和测量仪器

进行测量之前，应根据被测量的特点、所需的测量准确度、环境条件以及具有的测量设备等进行综合考虑，确定采用哪种测量方法及选择哪些测量设备。只有这样才能保证不损坏被测对象和所用仪器，减小测量误差。

1. 如果测量方法或测量仪器选择不当，可能引起各种问题

(1) 测量数据误差大，测得结果不可信

如图 1.2.1 所示，用电压表 V 直接测量内阻为 $50\text{k}\Omega$ 等效电动势为 6V 的有源二端网络的开路电压，电压表 V 的内阻为 $R_V=100\text{k}\Omega$ ，分析可知测量结果为 4V ，而该开路电压应为等效电动势 $E_o=6\text{V}$ ，测量结果的误差很大，相对误差达 33% 。引起这种情况的原因是所用电压表的内阻值与被测网络内阻值相比不够大，测量时被测网络内阻分压明显，使测量结果误差很大。此时应改用内阻高的电压表测量。如果无高内阻电压表，使用内阻不高的普通电压表可采用零示法或其他方法进行测量，而不能用直接测量法。

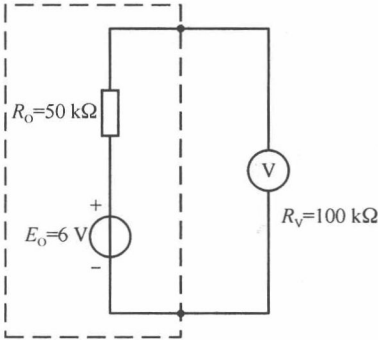


图 1.2.1 直接测量法测量二端网络开路电压

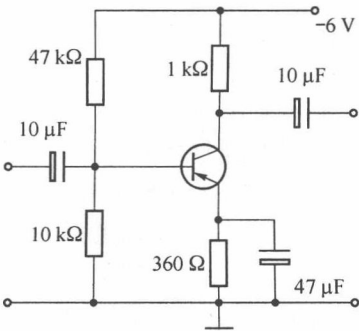


图 1.2.2 单级放大器电路

又如，用直流电压灵敏度为 $10\text{k}\Omega/\text{V}$ 的万用表 2.5V 挡去测量如图 1.2.2 所示放大器中晶体管发射结电压 U_{BE} ，用直接测量法测得 U_{BE} 为 -0.32V 。而用间接测量法即分别测得 U_B 、 U_E 的值，然后用 $U_{BE}=U_B-U_E$ 计算 U_{BE} 得 0.04V 。根据电路特点， U_{BE} 为 -0.32V 则放大器工作于放大状态，而 U_{BE} 为 0.04V 放大器必然处于截止状态。可见，不同的测量方法得

到了相反的结论,原因是万用表 2.5V 挡的内阻为 $10\text{k}\Omega/\text{V} \times 2.5\text{V} = 25\text{k}\Omega$,采用间接测量法测 U_B 时,万用表接在基极与地之间,与 $10\text{k}\Omega$ 的下偏置电阻相并联,相比较之下万用表的 $25\text{k}\Omega$ 内阻不够大,因此两者并联减小了基极对地的电阻,测出的 U_B 值就比实际值小得多。而测 U_E 时,万用表与发射极电阻 360Ω 相并联,内阻 $25\text{k}\Omega$ 内阻与之相比足够大,所以内阻的影响小,使测量值误差小而接近实际值。因此用 $U_{BE} = U_B - U_E$ 计算 U_{BE} 时,得到的 U_{BE} 比实际值相差很多。所以正确的测量方法应是直接测量基极与发射极之间的电压 U_{BE} 。

通过这个例子也说明了测量电路两端之间的电压时,电压表的内阻是否足够大是相对的,要看表内阻与被测电路两端之间电阻的大小关系。一般来说,电压表的内阻应超过与之并联的被测电路电阻的 10 倍以上,测量数据的误差才相对较小。

(2) 损坏测量仪器

若被测量的量大小超出测量仪器的量程,就容易损坏测量仪器。例如,测量有源二端网络的等效电阻可以用开路电压短路电流法,即直接用电压表测其开路电压,直接用电流表测其短路电流。但如果有源二端网的内阻很小就不宜采用此方法,如图 1.2.3 所示。用内阻 $R_A = 1.5\Omega$ 的电流表测内阻为 1Ω 的有源二端网络的短路电流,分析可知应有 $I = 4\text{A}$ 的电流流过电流表,但一般电流表的量程都是毫安级的,4A 的电流将大大超过其量程而使电流表损坏。

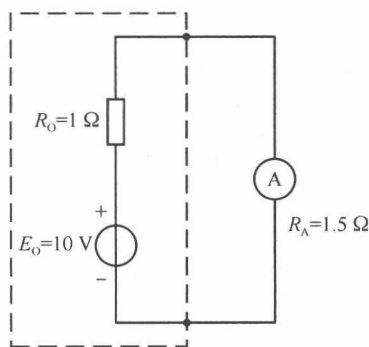


图 1.2.3 测量有源二端网络的短路电流

另外,比较常见的是万用表使用时选错挡位导致被损坏,例如电流挡测电压、欧姆挡测电压或电流等。

(3) 损坏被测对象

在测量电路参数时,若不考虑测量仪器接入电路后的影响,就可能因过大的电流或电压,损坏被测对象。例如,微安表头所允许流过的电流很小,一般都在微安级,如果用万用表的欧姆挡直接测量微安表的内阻,则流过被测表头的电流就可能超过其所能承受的最大电流,从而损坏被测表头。又例如在检测发光二极管时不采取限流保护措施,贸然将较高的直流电压直接接在发光二极管两端,也会使发光二极管烧毁。

因而,合理选择测量方法和测量仪器是电子测量的基本问题。

2. 选择电子测量仪器的一般原则

(1) 测量仪器的工作误差应远小于被测参数要求的误差。一般要求仪器误差小于被测参数要求的十分之一;

(2) 仪器的测量范围和灵敏度应覆盖被测量的数值范围。例如测量频率为 $10\text{Hz} \sim 1\text{MHz}$ 的信号波形,应选用带宽 5MHz 以上的示波器;

(3) 仪器输入/输出阻抗要符合被测电路的要求。例如测量电路中某两点之间的电压,电压表的输入阻抗应为被测电路两个测试点之间等效电阻值的 10 倍以上;

(4) 仪器输出功率应大于被测电路的最大功率,一般应大一倍以上。

以上几条是基本原则,实际中可根据现有资源和产品要求灵活应用。

3. 电子测量仪器使用的注意事项

(1) 正确选择仪器功能

例如使用万用表时注意先选择正确的功能挡位;使用示波器观测脉冲波形时,根据情况选择示波器探头 1 : 1 或 10 : 1 两种衰减挡位。

(2) 正确合理接线

例如非平衡式仪表信号线和接地线不能混淆;万用表不同的测量功能对应不同的接线方式。

(3) 保证精度

保证测量精度最简单有效的方法是对有自校装置的仪器,每次使用开始时都进行一次自校。对没有自校装置的仪器,可以利用精度足够高的标准仪器,校准精度较低的仪器。而最根本的方法是要按产品要求定期到国家标准计量部门进行校准。

(4) 谨防干扰

检测仪器使用不当会引入干扰,轻则使测试结果不理想,重则使测试结果与实际相比面目全非或无法进行测量。因此在进行电子测量时,应采取防止干扰的措施,最基本的如可靠接地、信号输入/输出分离、电源(尤其是 220V 交流电源)远离信号线等。