



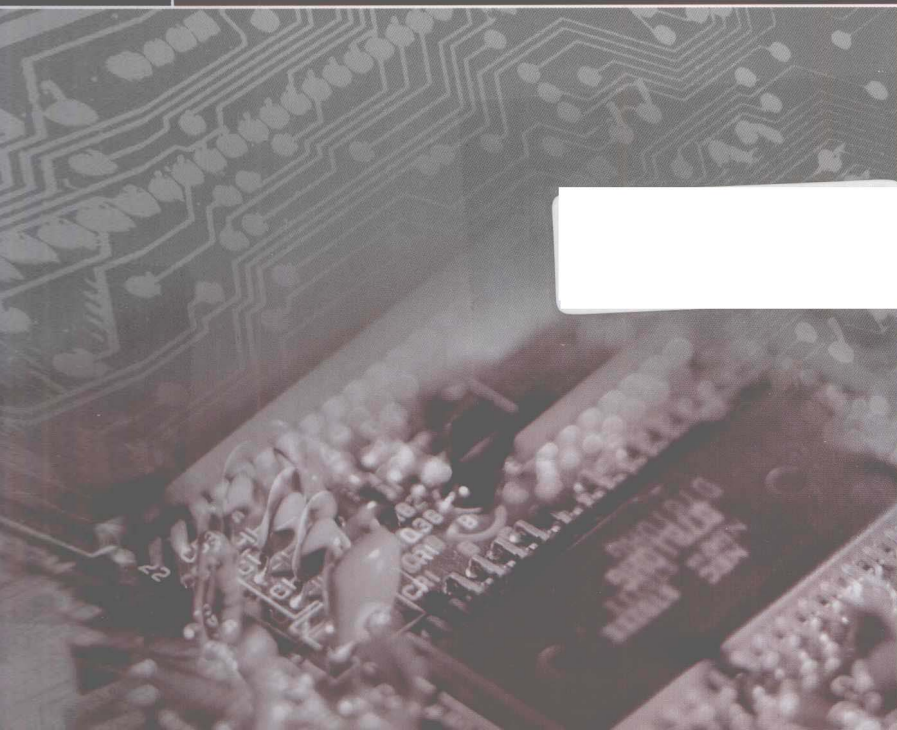
HZ BOOKS
华章教育

21
世纪

高等院校电子信息类本科规划教材

电路基础实验

王淑仙 劳五一 金传榆 编著



机械工业出版社
China Machine Press

21
世纪

高等院校电子信息类本科规划教材

电路基础实验

王淑仙 劳五一 金传榆 编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

电路基础实验/王淑仙, 劳五一, 金传榆编著. —北京: 机械工业出版社, 2013.2
(21 世纪高等院校电子信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-111-41373-8

I. 电… II. ①王… ②劳… ③金… 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 (2013) 第 020812 号

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书是高等院校电类专业的电路课程配套的实验教材, 全书共 4 章, 介绍了实验的基础知识、常用仪器仪表的使用、NI Multisim 仿真和电路基础实验。本书结构合理, 内容丰富, 软硬件结合, 注重实用, 宜教宜学。

本书可作为高等院校电类专业本、专科生的电路实验教材, 也可作为相关教学研究人员和工程技术人员的电路实验参考书。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 余洁

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2013 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

185mm × 260mm · 7.5 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-41373-8

定 价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzsj@hzbook.com

前 言

电路实验是电类专业学生所做的与专业有关的第一门实验，也是电类专业的基础实验。一般来说，电路实验是与“电路分析”理论课相配套的实验，且实验器材、内容等都是偏“强电”的，这往往与一些偏“弱电”的电类专业基础实验不能很好地衔接，导致专业基础实验的起步和提升受到一定的影响。

本书采用电路实验“弱电”化的教学思路，首先要求学生在掌握实验基础知识的前提下，采用模电和数电实验所用的仪器仪表和实验箱，来掌握仪器仪表的使用以及元器件的识别和测量；其次，熟悉一种仿真软件；最后以仿真和面包板实做相结合的形式，完成规定的基础实验，为今后专业实验打下基础。

本书共4章，根据本课程的学习要求合理安排各章节的顺序，依次是基础知识、常用仪器仪表的使用、NI Multisim 仿真和电路基础实验，前章节是后章节的基础，这样有助于学生把握一门课的整体思路。

第1章介绍电路实验的基础知识，包括电子测量的特点和方法、测量误差的表示方法和分类以及测量数据处理，使学生形成对电子测量的初步认识，第2章介绍了模电和数电实验常用的仪器仪表，同时，通过实验箱学会元器件的识别和测量，为后续的电路实验实做打下基础。第3章简单介绍了NI Multisim 仿真软件，并通过实例练习掌握该软件的基本使用方法。第4章针对电阻电路和动态电路两个方面，采用软件仿真和实际操作两种形式，介绍了验证性实验和设计性实验共计12个。通过实验可使学生掌握电路的测试原理和方法，熟练掌握仪器仪表的使用方法和电路的仿真，进一步加深对电路原理的理解，提高学生的动手能力。

本书的特点是仪器使用与基本训练相结合，仿真实验与实际操作相结合，验证性实验与设计性实验相结合。

本书为华东师范大学专业核心课程建设项目，感谢华东师范大学教务处、信息学院和通信工程系的领导和有关老师对本书出版提供的支持。同时感谢机械工业出版社的大力支持和帮助。

电路仿真软件中的元器件符号、电路图、单位与国家标准不一致，特此说明。

由于作者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，敬请读者批评指正。

编者

2012年10月于上海

教学建议

本书所涉及的电路基础实验，既可以是与“电路分析”理论课配套的实验课，也可以是独立于该理论课之外的一门实验课，旨在通过本基础实验，使学生掌握基本的实验原理、实验方法和实验技巧，为后续的专业实验打下基础。

本书章节的顺序基本上就是实验安排的顺序，书中没有把仪器仪表和仿真设为附录，主要目的是告诉学生本书各章节的内容对做好每一个实验都是至关重要的。建议实验安排15次，每次两小时，分别是：

1. 绪论课

“走进电路实验室之前”是绪论课的主要内容。通过绪论课使学生了解电路基础实验的重要性，熟悉本学期实验的基本情况，明确实验的基本操作规范和注意事项，了解实验所采用的实验板结构和使用方法，掌握实验报告的编写，了解实验的“三个基本过程”。

另外，第1章是安排自学的，使学生了解电子测量的特点和方法，掌握测量误差的表示方法和分类以及测量数据的处理。

2. 元器件的认识与测量

第2章的2.1~2.6节是第2次课的主要内容。

首先，使学生掌握电路实验中两种源（直流源和交流源）的主要技术指标和使用方法，然后掌握两种基本测量仪表，即万用表和交流毫伏表，在此基础上，学生就可以进行一些简单的测量，每一节后面安排有相应的练习。

其次，是对电路实验中常用的基本元器件的识别和测量。实验中的元器件可选用模拟电路实验中常用的电阻、电容、电感和二极管等元件，或者通过模拟电路实验箱直接让学生认识，并进行元器件的测量，这样更有助于后续模拟电路实验的提升。

2.6节是安排自学的内容。因为电压测量法既是电路实验中常用的方法之一，也是一种重要的测量手段，在此安排学生学习这种方法有助于后续的各个实验。

3. 示波器的使用

第2章的2.7节和2.8节是第3次课的主要内容。

本次实验主要是了解示波器的面板及其旋钮的功能和使用方法，并通过测量实例，熟练掌握示波器的操作以及测量方法。

示波器是电路实验中非常重要也是学生不易快速掌握的仪器，如果一次课时间不够，可考虑安排两次课。

4. NI Multisim 仿真软件的使用

在学生了解了一些硬件仪器仪表和元器件的基础上，通过第3章NI Multisim仿真，使学生了解软件仿真中的仪器仪表和元器件，并予以对照。该软件的使用实验只安排一次，

主要介绍该软件的特点、窗口界面，如何创建一个电路，以及软件中的各种元器件库、仪器仪表库和分析方法，更多的软件使用需要学生课后在实验室或个人计算机上进行练习，本章小节中附有相应的练习。

5. 电路基础实验

前面的实验大致有 4 ~ 5 次，学生对实验的硬件和软件有了初步的认识和基本的操作，为完成电路的基础实验打下了软硬件基础。

第 4 章安排了 12 个实验，包括直流电路、动态电路和稳态电路，以及验证性实验和设计性实验，可根据实际情况有所选择，以保证总实验次数。

本章的每一节即为一个实验，均按照实验目的、实验原理、实验器材、实验内容、注意事项、实验报告要求等内容予以介绍，这里就不一一罗列了。每个实验均有硬件和软件方面的要求，硬件主要是在实验室完成，软件是学生在课前或课后在计算机上完成的。

目 录

前言

教学建议

走进电路实验室之前	1
第1章 基础知识	5
1.1 电子测量	5
1.1.1 电子测量的特点	5
1.1.2 电子测量的方法	6
1.2 测量误差	7
1.2.1 几个概念	7
1.2.2 测量误差的表示方法	8
1.2.3 测量误差的分类	10
1.3 测量数据处理	12
1.3.1 有效数字的处理	12
1.3.2 实验数据的图解处理	13
第2章 常用仪器仪表的使用	15
2.1 DF1731 直流电源	15
2.2 低频信号发生器	18
2.2.1 AS1033 低频信号发生器	18
2.2.2 DF1027A 低频信号发生器	21
2.3 万用表	24
2.3.1 500 型万用表	24
2.3.2 SB2238B 数字万用表	27
2.4 AS2295A 双输入交流毫伏表	28
2.5 元器件的识别和测量	30
2.5.1 电阻器	31
2.5.2 电容器	35
2.5.3 电感器	38
2.5.4 半导体二极管	40
2.6 电压测量法	42
2.7 XJ4323 双踪示波器	43

2.8 测量实例	49
2.8.1 电压的测量	49
2.8.2 时间的测量	49
2.8.3 相位的测量	50
第3章 NI Multisim 仿真	51
3.1 NI Multisim 简介	51
3.1.1 NI Multisim 的特点	51
3.1.2 NI Multisim 的基本界面	53
3.2 NI Multisim 创建电路实例	56
3.3 NI Multisim 元器件库	60
3.3.1 电源库	60
3.3.2 基本元件库	61
3.3.3 二极管库	61
3.3.4 晶体管库	61
3.3.5 模拟器件库	61
3.3.6 TTL 器件库	61
3.4 NI Multisim 仪器仪表	62
3.4.1 数字万用表	63
3.4.2 示波器	64
3.4.3 函数信号发生器	67
3.4.4 瓦特表	68
3.4.5 波特图仪	69
3.4.6 测量探针	70
3.5 NI Multisim 分析方法	71
3.5.1 直流工作点分析	71
3.5.2 瞬态分析	72
3.5.3 交流分析	74
3.5.4 直流扫描分析	74
3.5.5 参数扫描分析	75
3.5.6 其他分析方法	76
第4章 电路基础实验	78
4.1 电阻元件伏安特性的测量	78
4.2 受控源研究	81
4.3 线性电路叠加性和齐次性的研究	87
4.4 戴维南定理——含源二端网络等效参数的测定	89
4.5 一阶 RC 电路的设计	93
4.6 二阶电路暂态过程的研究	96

4.7 交流串联电路的研究	98
4.8 提高功率因数的研究	100
4.9 RLC 串联谐振电路的研究	101
4.10 带通滤波器的设计	103
4.11 互感线圈电路的研究	104
4.12 双口网络的研究	107
参考文献	111

走进电路实验室之前

同学们，这就是电路实验室。

电路实验是电类专业实验的基础实验，是将所学电路理论与实际相结合的重要手段，也是培养我们实践技能不可或缺的环节。通过实验，可以培养我们实事求是的治学作风和严谨认真的治学态度，以及分析问题和解决问题的能力。因此，电路实验室是我们学习的重要场所。

下面让我们对电路实验做一个初步的了解吧。

电路实验主要是针对元器件及其所构成电路的参数的测量，所以，我们应首先掌握电子测量的特点和方法，具有正确处理实验数据、分析实验误差的能力，为写出有理论依据、符合实际的实验报告做准备。这将在第1章予以介绍。

其次，电子测量离不开各种仪器仪表，掌握仪器仪表的基本工作原理和正确使用方法是至关重要的。第2章详细介绍了直流稳压电源、低频信号发生器、万用表、交流毫伏表和示波器的技术参数、使用方法等，并且，通过对元器件参数和电路基本参数的测量，我们将初步学会仪器仪表的选择和使用方法。

重要的是，在今后的实验过程中，我们应当学会查阅电子元器件手册，读懂电路原理图，分析和设计电路，掌握基本的测试技术，培养分析查找和排除电路故障的能力。

再次，应用计算机仿真软件，可以提高我们对所做实验进行仿真分析设计的能力。在本书的第3章介绍了NI Multisim 仿真软件。

计算机仿真可以说是一个“电路虚拟实验室”，我们可以在软件中连接电路、分析电路和设计电路。在这个“实验室”的“元器件库”里，可以认识各种电子元器件；在“仪器库”里，可以了解各种仪器仪表以及它们的使用方法；还有对电路参数的多种分析方法。在这个“实验室”的界面上，不管是连接简单电路还是复杂电路，先要选择需要的元器件和仪器仪表，并放置合适位置，而它们之间的连接就只需单击鼠标了，之后电路还可以“保存”呢！以便再次测试、分析与设计，直至你满意为止。你不想试一试吗？兴趣是最好的老师，多操作即可熟能生巧。在这样一个实验平台上，可以帮你发挥想象力，真正“玩一把”电路。

说到这里，我们该做实验了。第4章介绍了12个基础实验，实验采用软件仿真和实际操作相结合的方式，这样通过实验可以提高我们的“软硬件”能力。

实际操作中，电路的搭接是在“实验板”（又称面包板）上进行的，它是电路实验中常用的实验电路板，由窄条和宽条组成，其外形如图1所示。窄条和宽条上有很多孔，孔间最小距离为2.54 mm，孔里面有导电金属条，宽条的内外结构如图2所示。实验板内部导电金属条结构如图3所示。

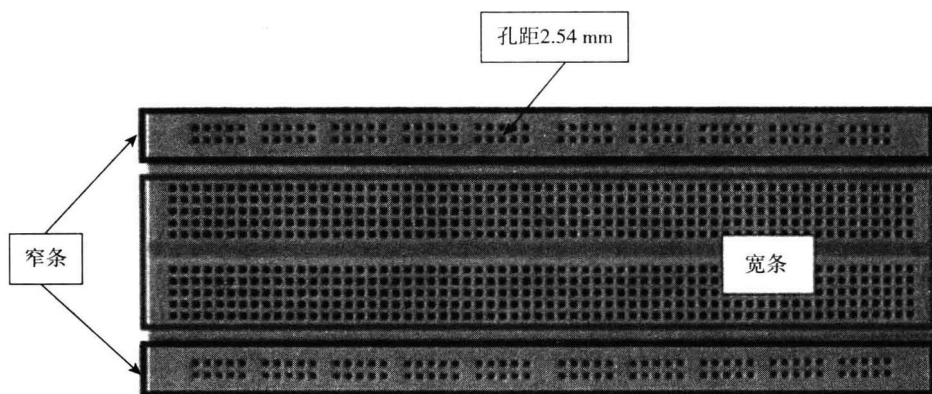


图1 实验板外形

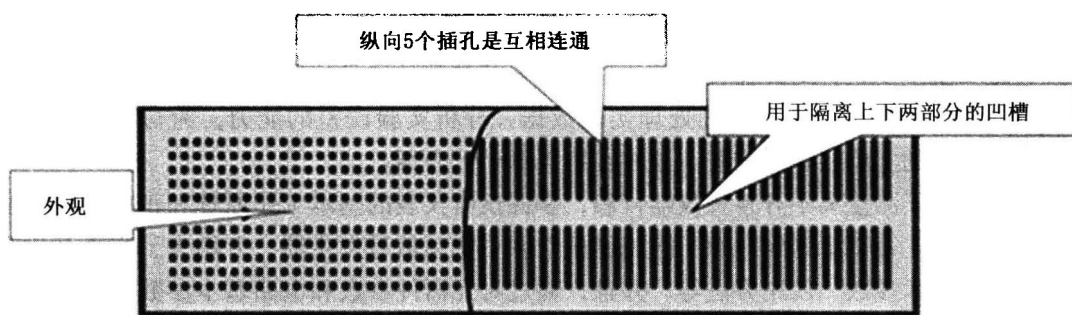


图2 宽条的内外结构图

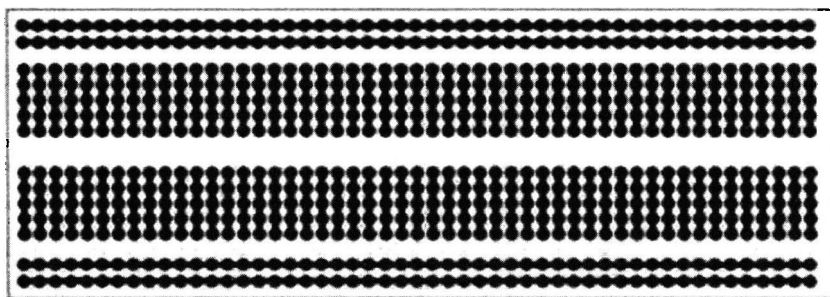


图3 实验板内部导电金属条结构图

利用实验板可以方便地对元器件进行连接和更换，图4和图5给出了实验板内部连线图与电路图的对应关系。图6是采用集成电路和分立元件搭接的电路实例——流动的彩灯。

最后提几点要求，也就是电路实验的三个基本过程。

1. 实验预习

首先，应认真阅读本次实验及其相关内容，对实验目的和要求、实验原理和步骤、电路元器件的型号和参数，以及仪器仪表的使用方法和注意事项等有初步了解，预计实验中可能出现的现象，了解应记录的数据以及实验时应注意的问题等。其次，根据预习情况写出预习报告，其中包括：实验名称、实验目的和要求、实验原理和内容、实验设备和元器

件、实验数据记录表格、有关参数的计算和回答思考题等。

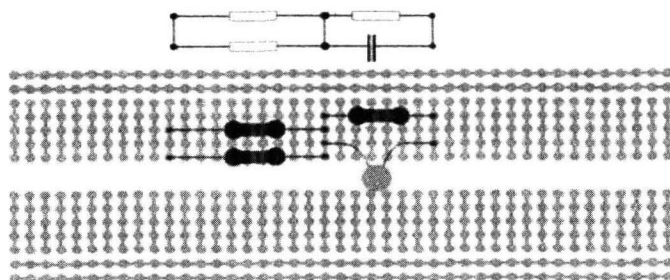


图4 实验板内部连线图与电路图的对应关系（正确连接）

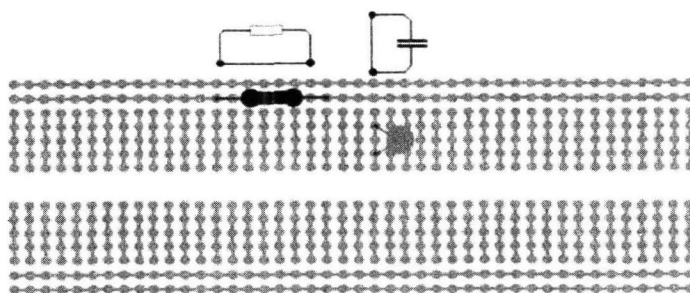


图5 实验板内部连线图与电路图的对应关系（不正确连接）

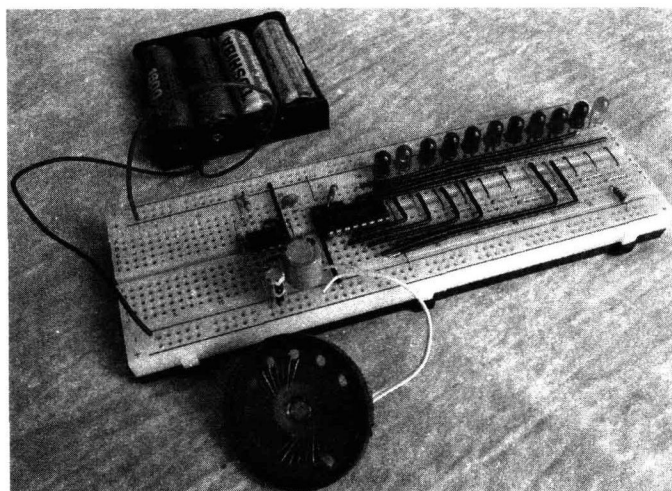


图6 电路实例——流动的彩灯

2. 实验操作

- 1) 按照电路图合理布局、认真接线，互相检查，确定无误后才能接通电源。
- 2) 注意观察，发现异常现象（如元件冒烟、发烫或有异味）应立即断开电源，保持现场，报告实验教师。找出原因、排除故障，经指导教师同意后再继续实验。
- 3) 如需改接线或更换元器件，应断开电源后才能拆、接线。

4) 仔细观察实验现象, 认真记录实验结果 (数据、波形、现象)。

5) 所记录的实验结果经指导教师审阅签字后再拆除实验线路。

3. 实验结束

1) 实验结束后, 必须断开电源, 并将仪器、设备、工具、导线等按规定整理。

2) 实验后每个同学必须按要求独立完成实验报告。包括实验预习、实验步骤、实验结果分析处理和实验心得体会。

好吧, 到了你大显身手的时候了, 你准备好了吗?

第1章 基础知识

电路实验是电类专业的基础实验，也是我们教学活动中的一个重要环节。通过实验，不仅可以验证理论以及对理论教学给予补充，更重要的是能够培养我们的动手能力、独立思考能力和创造能力。作为电路实验的基础知识，本章将简单介绍电子测量、测量误差和测量数据处理等方面的知识。

1.1 电子测量

测量是通过实验方法对客观事物取得定量信息的过程。人们通过对客观事物大量的观察和测量，总结出普遍规律，归纳、建立起各种定理定律，之后再通过测量来验证这些定理定律是否符合实际情况，经过如此反复实践，逐步认识事物的客观规律。因此，测量是人类用以认识和改造世界的重要手段之一。俄国科学家门捷列夫在论述测量的意义时曾说过：“没有测量，就没有科学”，“测量是认识自然界的主要工具”。英国科学家库克也认为：“测量是技术生命的神经系统”。可见，正确、科学的测量是非常重要的。

1.1.1 电子测量的特点

广义的电子测量是指以电子技术为基本手段的一种测量技术。它不仅可以测量各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数，还能通过各种传感器将非电量转换为电信号进行测量，电子测量方便、快捷、准确，是其他测量方法所不能替代的。随着计算机技术和微电子技术的迅速发展，特别是微型计算机与电子测量仪器相结合，各种“智能仪器”和“自动测试系统”应运而生，它们不仅改变了传统意义上的测量概念，而且在整个电子技术甚至其他领域都发挥着重要作用。

狭义的电子测量是指电子学中对各种电量的测量，通常可分为以下几个方面：

- 1) 电学量的测量：比如电压、电流、电功率等的测量。
- 2) 电信号特性的测量：比如波形及其失真度、频率、相位、调制度、信号频谱、信噪比、脉冲参数等的测量。
- 3) 元器件和电路参数的测量：比如电阻、电感、电容、电子器件的参数测量，以及频率响应、品质因数、相位移、衰减、增益等电路参数的测量。

与其他测量方法相比，电子测量具有以下特点：

- 1) 测量频率范围广：被测对象的频率覆盖范围极广，低端可至 10^{-6} Hz 以下，高端可至 10^{12} Hz 以上。通常根据不同的工作频段，采用不同的测量原理和使用不同的测量仪器。

2) 测量量程宽: 被测对象的量值相差悬殊, 要求测量仪器的量程很宽, 比如高灵敏的数字电压表, 可测低至 10^{-8} V 量级、高达 10^3 V 量级的电压。

3) 测量准确度高: 电子仪器的准确度是很高的, 如对频率和时间的测量准确度, 可以达到 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 的量级, 这是目前在测量准确度方面达到的最高标准。

4) 测量速度快: 由于电子测量是基于电子运动和电磁波的传播来实现的, 使得电子测量无论在测量速度, 还是在测量结果的处理和传输上, 都以极高的速度进行, 这是其他测量方法无法比拟的。

5) 可以实现遥测和长期不间断的测量, 且显示方式清晰、直观。比如将现场待测量转换成易于传输的电信号, 通过有线或无线的方式传送到测试中心, 从而实现遥测和遥控。

6) 易于实现测试智能化和测试自动化: 随着功耗低、体积小、处理速度快、可靠性高的微型计算机的出现, 给电子测量理论和技术带来了变革, 使仪器设备具有高性能、多功能等特点, 其性能发生很大的飞跃。

1.1.2 电子测量的方法

我们知道, 测量是为确定被测量的量值而进行的实验过程。在这个过程中, 实质上是将被测量与标准量在测量设备上直接或间接进行比较。就测量方法来说, 视被测量、实验条件和所要求准确度的不同, 可有不同的方法。

1. 按照测量过程的特点

(1) 直读测量

直读测量是指被测量可用直读式仪表直接读出的方法, 在测量过程中虽没有标准量参加, 但所用仪表已先用标准量进行刻度, 相当于标准量间接参加了与被测量的比较。比如, 用电流表测量电流。

(2) 比较测量

比较测量是指测量过程中被测量与标准量通过比较设备直接进行比较, 从而得到测量结果的方法。比如, 用电桥测量电阻。

一般来说, 对测量准确度的要求不同, 采用的测量法也不同, 当测量准确度要求较低时, 可采用直读测量法; 当测量准确度要求较高时, 可采用比较测量法。

2. 按照测量结果的获得

(1) 直接测量

直接测量是指直接从测量仪表的读数获取被测量量值的方法。直接测量所用的方法既可以是直读测量法, 也可以是比较测量法, 其特点是不需要对被测量与其他实测的量进行函数关系的辅助运算, 因此测量过程简单迅速, 是工程测量中广泛应用的测量方法。比如用电压表测量电阻的端电压、用万用表测量电阻阻值等。

(2) 间接测量

间接测量是利用直接测量的量与被测量之间的函数关系, 间接得到被测量量值的测量方法。例如测量导线的电阻率, 需测量出导线的长度、截面积和电阻, 然后根据这些量之

间的函数关系，经过计算，“间接”获得电阻率。

间接测量常在直接测量不方便，或间接测量的结果较直接测量更为准确，或缺少直接测量仪器等情况下使用。

总之，测量方法的选择要综合考虑以下几个方面：

- 被测量本身的特性；
- 所要求的测量准确度；
- 实验条件包括测量环境和现有测量设备等。

据此，选择合适的测量仪器仪表和正确的测量方法。欲获得正确可靠的测量结果，靠的是测量方法和测量仪器仪表的正确选择、正确操作和测量数据的正确处理。

3. 按照被测量的性质

根据电子测量中被测量的性质，下面介绍常见的几种测量：

(1) 时域测量

时域测量又称瞬态测量，主要测量被测量随时间的变化规律。在第2章中介绍的示波器就是时域测量的最典型仪器，如用示波器可以检测电路中某处信号的波形等。

(2) 频域测量

频域测量也称稳态测量，主要目的是获取被测量与频率之间的关系。比如在电子电路实验中使用的频谱分析仪，即为典型的信号频域测量仪器，主要用来分析信号的频谱等。

(3) 数据域测量

数据域测量又称逻辑量测量，其典型产品是逻辑分析仪，它主要是对数字量或电路的逻辑状态进行测量，在荧光屏上可以同时显示多路数据通道上的逻辑状态，以及各路信号之间的逻辑关系等。

(4) 随机测量

随机测量又称统计测量，主要是对各类噪声信号进行动态测量和统计分析，在通信领域有着广泛的应用。

1.2 测量误差

以上我们对电子测量的特点和方法做了简单的了解，但在实际测量中，由于人们对客观规律认识的局限性、测量仪器仪表的不准确、测量方法的不完善和测量条件的变化等原因，都会使测量结果不等于被测量的真值，这个差别即为测量误差。

1.2.1 几个概念

1. 真值 A_0

一个物理量在一定条件下所呈现的客观大小或真实数值称为真值。但是要确切地得到真值，必须利用理想的标准器或测量仪器进行无误差的测量。可见，物理量的真值实际上是无法测得的。

2. 指定值 A_s

由于真值是不可知的，所以一般由国家设立各种尽可能维持不变的实物标准（或称为

基准), 以法令的形式指定其所体现的量值作为计量单位的指定值。一般用指定值又称约定真值, 来代替真值。

3. 实际值 A

在实际测量中, 不可能都直接与国家基准相比对, 所以国家通过一系列的各级实物计量标准构成量值传递网, 把国家基准所体现的计量单位逐级比较传递到日常工作仪器或标准器上去。在每一级的比较中, 都以上一级标准所体现的值当作准确无误的值, 通常称为实际值, 也叫作相对真值。

4. 标称值

测量器具上标定的数值称为标称值。由于制造和测量精度不够以及环境等因素的影响, 标称值并不一定等于它的真值或实际值。所以, 在标出测量器具的标称值时, 通常还要标出它的误差范围或准确度等级。

5. 示值

由测量器具指示的被测量量值称为测量器具的示值, 也称为测量器具的测得值或测量值, 它包括数值和单位。一般地说, 示值与测量仪表的读数有区别, 读数是仪器刻度盘上直接读到的数字。对于数字显示仪表, 通常示值和读数是统一的。

6. 单次测量和多次测量

单次测量是用测量仪器对被测量进行一次测量的过程。在测量精度要求不高的场合, 可以只进行单次测量。单次测量不能反映测量结果的精密度, 一般只能给出一个量的大致概念和规律。

多次测量是用测量仪器对同一被测量进行多次重复测量的过程。依靠多次测量可以观察测量结果一致性的好坏即精密度。通常要求较高的精密测量都须进行多次测量。

7. 等精度测量和非等精度测量

在保持测量条件不变的情况下, 对同一被测量进行的多次测量过程称为等精度测量。这里的测量条件包括所有对测量结果产生影响的客观和主观因素。等精度测量的测量结果具有同样的可靠性。如果在对同一被测量的多次重复测量中, 不是所有测量条件都维持不变, 这样的测量称为非等精度测量。等精度测量和非等精度测量在测量实践中都存在, 相比较而言, 等精度测量意义更普遍些, 有时为了验证某些结果或结论、研究新的测量方法、鉴定不同的测量仪器时也要进行非等精度测量。

1.2.2 测量误差的表示方法

测量误差是测量结果与被测量真值之间的差值, 通常分为绝对误差和相对误差两种表示方法。

1. 绝对误差

绝对误差定义为测量值与被测量真值的差, 即

$$\Delta x = x - A_0$$

式中 Δx 为绝对误差, x 为测量值, A_0 为被测量真值。由于真值 A_0 一般无法得到, 所以用实际值 A 代替 A_0 , 这样绝对误差更实际的定义为