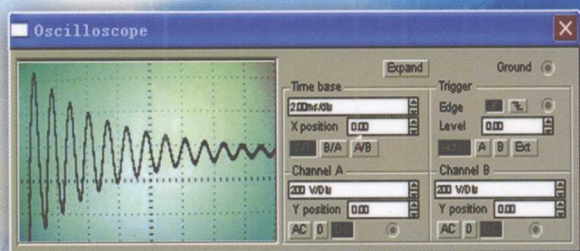


高等院校培养应用型人才电子技术类课程系列规划教材

电子测试、仿真与制作技术

主编 吴新开



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

高等院校培养应用型人才电子技术类课程系列规划教材

电子测试、仿真与制作技术

主 编 吴新开
副主编 张福阳 熊振国
参 编 伍宗富 朱承志

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子测试、仿真与制作技术/吴新开主编. —长沙:中南大学出版社,2009

(高等院校培养应用型人才电子技术类课程系列规划教材)

ISBN 978-7-81105-998-4

I. 电... II. 吴... III. ①电子产品—调试 ②电子产品—计算机仿真③电子产品—制作 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 225862 号

电子测试、仿真与制作技术

主编 吴新开

☐责任编辑 邓立荣

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市华中印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 20.75 ☐字数 511 千字

☐版 次 2009 年 12 月第 1 版 ☐2009 年 12 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-998-4

☐定 价 35.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

内 容 提 要

基于现代电子整机产品的设计、制作与调试工艺,本书系统地介绍了 MATLAB7.0、Workbench、Pspice 和 AgilentADS 通信系统设计仿真软件在电子产品设计中的应用,从 Protel99SE 的印制电路板(PCB)工艺设计入手,围绕电子电路的设计、PCB 板简易制作、手工锡焊技术和系统调试技术进行了详细的介绍,还就调试中将要应用的仪器、仪表特性与应用作了讨论,当然测试技术离不开电子测量的基本理论与基本方法。这是一本详细介绍电子整机的原理仿真技术、工艺设计技术、产品制作工艺技术和产品调试技术等内容的教材,可供大专院校从事电子产品开发与制作的本、专科学生使用,特别适用于全国大学生电子竞赛和“挑战杯”电子产品制作与调试,也可供从事电子产品开发与设计的工程技术人员、技术工人参考。

高等院校培养应用型人才 电子技术类课程系列规划教材编委会

丛书主编：吴新开

从书副主编：张一斌、郭照南

编委会人员：（排名不分先后）

吴新开(湖南科技大学)	刘安玲(长沙学院)
欧青立(湖南科技大学)	张 丹(长沙学院)
沈洪远(湖南科技大学)	刘 辉(长沙学院)
姚 屏(湖南科技大学)	张跃勤(长沙学院)
韦文祥(湖南科技大学)	张海涛(长沙学院)
曾 屹(中南大学)	周继明(邵阳学院)
张一斌(长沙理工大学)	江世明(邵阳学院)
王小华(长沙理工大学)	余建坤(邵阳学院)
刘 晖(长沙理工大学)	罗邵萍(邵阳学院)
夏向阳(长沙理工大学)	石炎生(湖南理工学院)
刘奇能(湘潭大学)	张国云(湖南理工学院)
俞子荣(南昌航空大学)	刘 翔(湖南理工学院)
张福阳(南昌大学)	陈日新(湖南文理学院)
周南润(南昌大学)	王南兰(湖南文理学院)
方安安(南昌大学)	熊振国(湖南文理学院)
郭瑞平(辽宁科技学院)	伍宗富(湖南文理学院)
吴舒辞(中南林业科技大学)	周志刚(湖南文理学院)
朱俊杰(中南林业科技大学)	王 莉(湖南商学院)
李 颖(中南林业科技大学)	何 静(湖南商学院)
任 嘉(中南林业科技大学)	蒋冬初(湖南城市学院)
曹才开(湖南工学院)	雷 蕾(湖南城市学院)
郭照南(湖南工程学院)	朱承志(湘潭职业技术学院)
孙胜麟(湖南工程学院)	祖国建(娄底职业技术学院)
贺攀峰(湖南工程学院)	刘理云(娄底职业技术学院)
余晓霏(湖南工程学院)	张玲玲(郴州职业技术学院)

总序

随着我国科学技术不断地发展、完善,以及教育体系不断地更新,社会用人单位对高校人才培养模式提出了更高更新的要求。复合型、创新型、实用型人才日益受到用人单位的青睐。这种发展趋势必将会使高校的人才培养模式面临着新的挑战,这就意味着如何提高高等学校毕业生的实际工作能力尤为重要。诚然,除了努力加强实践教学之外,还应着力加强和推进理论教学及其教材的建设与更新,显然,它是提高高等学校教学质量的一个必不可少的重要环节。根据教育部、财政部《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》的文件精神,启动“万种新教材建设项目,加强新教材和立体化教材建设”工程,积极组织好教师编写新教材。

鉴于此,中南大学出版社特邀请湖南省及外省部分高等学校从事电工电子技术教学、实验和应用研究的教授、专家和教学第一线的骨干教师、高级实验师组成了教材编委会,编写了电工电子技术等系列教材。

本系列教材的主要特点为:

1. 充分吸取了教学改革、课程设置与教材建设等方面的经验成果,在内容的选材上(如例题和习题)力求理论紧密联系实际、注重实用技术的讲解和实用技能的训练。同时也能较好地反

映出电子电气信息领域的最新研究成果,体现了电子电气应用领域的新知识、新技术、新工艺与新方法。

2. 根据专业特点,对传统教材的内容进行了精选、整合、优化,以满足理论教学与实验教学的需求。同时,注意到与相关课程内容之间的衔接,从而保证了教学的系统性,有利于理论教学。

3. 编写与电子技术类课程设计相配套的指导性教材,有利于实践性教学。

4. 该系列教材中,基本概念的阐述较清晰,层次分明,语言表述做到了通俗易懂,有利于学生自学。

目前,我国高等教育的模式还有赖于日趋完善,教材体系尚未完全建立,教材编写还处于不断探索的阶段,仍需要我国高等学校的广大教师持之以恒、不懈地努力、辛勤地耕耘,编写出更多更好的满足新形势下教学需要的实用教材。

我相信并殷切地期望该系列教材的出版,它不仅会受到广大教师的欢迎,满足教学的需要,而且还将会对我国高等学校的教材建设起到积极的促进作用。最后,预祝《高等院校培养应用型人才电子技术类课程系列规划教材》出版项目取得成功,为我国高等教育事业和信息产业的蓬勃发展与繁荣昌盛培土施肥。同时,也恳切地希望广大读者、同仁,对该系列教材的不足之处提出中肯的意见和有益的建议,以便再版时更正。



谨识

教育部中南地区高等学校电子电气基础课教学研究会理事长
武汉大学电子信息学院 教授/博士生导师

前 言

近 10 年来,电子测量技术与计算机网络信息技术、微电脑技术、微电子技术、仪器仪表技术、工业自动化技术等密切配合、互相渗透、飞速发展着。使得从事现代科学领域研究和实际技术工作的人员不仅需要对它有一个较深程度的学习了解,而且需要及时地跟踪它的发展,例如:在 20 世纪 90 年代,电子元器件已发展成为超小型、高精度、低功耗、单电源、数字化、可编程、高速度、抗干扰的多系列产品,并已广泛应用于中国工业市场。20 世纪 90 年代后期,信息的检测、转换、处理乃至计算已向着多变量、一体化的高集成度、高智能化方向发展,并且已有成熟的产品推出。远距离、超远距离的数字传输技术在国际上已被成功应用。而在国内则以采集、传输、对话、管理融为一体的形式出现,首先应用在规模大、幅员广的集中供热网络管理及环保与安全监测系统中。在测量仪器方面,数字式仪器、与 PC 机网络通信系统兼容的仪器以及基于 PC 机总线的仪器已日趋成熟。电子测量技术正与各相关学科紧密相连、互相促进、相辅相成地共同跨入 21 世纪,在新的科技、工业浪潮中继续蓬勃发展。

由于电子技术具有的高精度、高速度、易于运用计算机系统、易于实现自动化等优点,使得它能很好地与建立在随机过程及统计学观点基础上的信号、系统与模型理论紧密结合,与基于 PC 机的网络通信系统紧密结合,朝着高集成度、低功耗、大容量、可编程、超远距离采集与传输以及数字信息化的方向发展,这些都是现代电子测量技术的显著特点。

另一方面,现代电子工艺技术也得到了快速发展,传统的电子设计、制造和调试工艺由于电子元器件的快速发展逐步被淘汰,取而代之的是先进的电子设计、制造、调试与软件仿真技术,如何掌握这些先进的电子工艺技术,也是电子应用工作者迫切希望解决的问题。

因此,现代电子技术中不可缺少的电子测量与工艺技术,已经成为电子技术理论与应用工作者必不可少的研究与应用工具,在全国大学生电子竞赛中,电子测量与工艺技术已成为必须考核的内容之一。为了满足电子应用工作者学习与应用电子测量与电子工艺技术的需要,我们编写了这本《电子测试、仿真与制作技术》教材,其目的是帮助电子技术应用工作者掌握和应用电子测量技术和电子制造工艺技术。

本书的作者长期从事电子技术应用、研究与教学,对电子测试和电子工艺技术的跃迁过程,从传统电子测试与工艺过程到现代电子测试与设计、制造与调试工艺,都有较深入的研究与实践。本书第1章、第6章由湖南科技大学吴新开教授编写,第2章由南昌大学张福阳副教授编写,第3章由湖南文理学院伍宗富高级实验师编写,第4章由湖南文理学院熊振国副教授编写,第5章由湘潭职业技术学院朱承志讲师编写,全书由吴新开教授统稿,并进行了文字润色工作;书中部分插图由湖南科技大学研究生王青、郑雨芳等人完成。

由于电子测试技术与电子工艺技术的快速发展,作者不可能对这两个快速发展的技术有全面和深入的了解,加上时间较紧,不足之处在所难免,恳请各位同仁、读者给予批评指正。

编 者

2009年10月28日

目 录

第 1 章 电子测量技术基础	(1)
1.1 电子测量的特点	(1)
1.2 电子测量的内容	(2)
1.3 电子测量的方法	(3)
1.3.1 电路基本元器件参数的测量	(3)
1.3.2 电压的测量	(15)
1.3.3 电平的测量	(21)
1.3.4 噪声电压的测量	(22)
1.3.5 时间与频率的测量	(23)
1.4 测量误差分析	(29)
1.4.1 概述	(29)
1.4.2 误差的分类	(30)
1.4.3 测量误差的表示方法	(31)
1.5 测量结果的处理	(32)
1.5.1 随机误差的分布规律	(32)
1.5.2 系统误差的判断及消除方法	(33)
1.5.3 粗大误差判断准则及消除方法	(34)
1.5.4 等精度测量结果的处理步骤	(34)
1.5.5 误差合成与分配	(35)
1.5.6 实验数据处理	(36)
第 2 章 常用电子测量仪器仪表	(38)
2.1 高精度直流稳压电源	(38)
2.1.1 参数规格及面板特征	(38)
2.1.2 使用说明	(39)
2.1.3 技术参数	(39)
2.1.4 维护	(39)
2.2 信号源	(39)
2.2.1 正弦信号发生器的主要技术特性	(39)
2.2.2 低频信号发生器	(40)
2.2.3 高频信号发生器	(44)
2.3 电子示波器	(48)

2.3.1	示波器显示波形的基本原理	(48)
2.3.2	通用示波器	(49)
2.3.3	双踪示波器	(53)
2.3.4	示波器的选择和使用	(56)
2.3.5	示波器的基本测量方法	(57)
2.4	电子计数器	(62)
2.4.1	电子计数器简介	(62)
2.4.2	电子计数器的测量原理	(63)
2.4.3	电子计数器的应用	(69)
2.5	电子电压表	(71)
2.5.1	电子电压表的简介	(71)
2.5.2	模拟式交流电压表	(73)
2.5.3	数字电压表	(81)
2.6	扫频仪	(87)
2.6.1	扫频仪简介	(87)
2.6.2	扫频仪的应用	(93)
2.7	晶体管特性图示仪	(98)
2.7.1	晶体管特性图示仪简介	(98)
2.7.2	晶体管特性图示仪的应用	(106)
2.8	失真度仪	(109)
2.8.1	失真度仪简介	(109)
2.8.2	失真度仪的应用	(112)
2.9	DDS 函数信号发生器	(117)
2.9.1	DDS 函数信号发生器的性能指标和技术规格	(117)
2.9.2	DDS 函数信号发生器的基本概念和工作原理	(120)
2.9.3	DDS 函数信号发生器的基本使用方法	(121)
2.10	现代电子测量仪器	(126)
2.10.1	存储示波器	(126)
2.10.2	逻辑分析仪	(129)
2.10.3	现代电子测量仪器的应用	(135)

第3章 常用电子仿真软件的使用

(139)

3.1	MATLAB7.0 应用基础与仿真方法	(139)
3.1.1	MATLAB 初步知识	(139)
3.1.2	MATLAB 应用基础	(141)
3.1.3	MATLAB 的程序设计应用与仿真	(144)
3.1.4	MATLAB 的 simulink 应用与仿真	(158)
3.2	Workbench 应用基础与仿真方法	(165)
3.2.1	Workbench 应用基础	(165)

3.2.2	Workbench 应用仿真	(173)
3.3	Pspice 应用基础与仿真方法	(176)
3.3.1	Pspice 应用基础	(176)
3.3.2	Pspice 电路设计与仿真	(180)
3.4	AgilentADS 通信系统设计仿真软件应用基础与仿真方法	(183)
3.4.1	Agilent ADS 通信系统设计仿真软件概述	(183)
3.4.2	Agilent ADS 应用基础	(189)
3.4.3	Analog/RF 应用系统设计与仿真	(198)
3.4.4	Digital Signal Processing 应用系统设计与仿真	(205)
第 4 章	印制电路板的设计	(212)
4.1	Protel99SE 软件简介	(212)
4.1.1	Protel99/99SE 新增功能	(213)
4.1.2	ProtelDXP 简介	(214)
4.1.3	Protel99/99SE 的安装与启动	(214)
4.1.4	系统参数设置	(221)
4.2	Protel99SE 原理图(SCH)和印刷电路板(PCB)的设计	(223)
4.2.1	电路原理图的设计步骤	(223)
4.2.2	电路原理图设计工具栏	(223)
4.2.3	图纸的放大与缩小	(224)
4.2.4	图纸类型、尺寸、底色、标题栏等的选择	(225)
4.2.5	设置 SCH 的工作环境	(226)
4.2.6	电路原理图设计	(228)
4.2.7	制作元件与创建元件库	(241)
4.2.8	PCB 印刷电路板的制作	(246)
4.3	印制电路板设计工艺规则	(255)
4.3.1	印制电路板的制作工艺流程	(255)
4.3.2	元件布局及布线要求	(255)
4.4	印制电路板制作技术简介	(258)
4.4.1	印制板用基材	(258)
4.4.2	过孔	(259)
4.4.3	导线尺寸	(259)
4.4.4	焊盘尺寸(外层)	(260)
4.4.5	金属镀(涂)覆层	(260)
4.4.6	印制接触片	(261)
4.4.7	非金属涂覆层	(261)
4.4.8	永久性保护涂覆层	(262)
4.4.9	敷形涂层	(263)
4.4.10	印制电路板基板的选择	(264)

4.5	PCB 设计的一般方法	(265)
4.5.1	设计流程	(265)
4.5.2	PCB 布局	(268)
4.6	热处理设计	(270)
4.7	焊盘设计	(272)
4.8	布线	(275)
4.9	PCB 生产工艺对设计的要求	(278)
第 5 章	电子产品制作工艺	(281)
5.1	印制电路板的简易制作	(281)
5.2	焊接的基础知识	(283)
5.2.1	概述	(283)
5.2.2	锡焊的机理	(283)
5.2.3	锡焊的工艺要素	(283)
5.2.4	焊点的质量要求	(284)
5.3	焊接工具与材料	(285)
5.3.1	电烙铁	(285)
5.3.2	焊料	(287)
5.3.3	助焊剂	(289)
5.3.4	阻焊剂	(290)
5.4	手工焊接工艺	(290)
5.4.1	焊接准备	(290)
5.4.2	手工焊接的步骤	(291)
5.4.3	手工焊接的分类	(292)
5.4.4	印制电路板的手工焊接	(293)
5.4.5	焊接缺陷分析	(295)
5.4.6	拆焊技术	(297)
5.5	浸焊与波峰焊	(298)
5.5.1	浸焊	(299)
5.5.2	波峰焊	(300)
5.6	表面安装技术	(303)
5.6.1	表面安装技术	(303)
5.6.2	表面安装技术工艺流程	(303)
5.6.3	几种 SMT 工艺简介	(305)
第 6 章	调试工艺基础	(307)
6.1	调试工艺过程	(307)
6.1.1	研制阶段调试	(307)
6.1.2	调试工艺方案设计	(307)

6.1.3 生产阶段调试	(308)
6.2 静态测试与调整	(309)
6.2.1 静态测试内容	(309)
6.2.2 电路调整方法	(310)
6.3 动态测试与调整	(311)
6.3.1 测试电路动态工作电压	(311)
6.3.2 测量电路重要波形及其幅度和频率	(311)
6.4 频率特性的测试与调整	(312)
6.5 整机性能测试与调整	(313)
6.5.1 一般的整机调试	(313)
6.5.2 I ² C 总线的整机调试技术	(314)
参考文献	(316)

第1章 电子测量技术基础

什么叫测量？测量是人们为了确定被测对象的量值或确定一些量值的依从关系而进行的实验过程。

人们在对生产过程或生产设备进行控制的过程中，要构成反馈控制系统，必须从控制对象那里获取信息，然后，将其进行变换、输送，并转化为控制器所能接受和理解的信号。例如，在计算机控制系统中，研究者在计算机帮助下对信号进行处理、分析和研究，从而得出认识、结论以及对对象的本质与规律的描述。最后，按研究结果对对象进行控制或改造。

又如，在生物电子系统中，首先要检测大脑的信息，了解大脑细胞的蛋白质含量和酸碱度、脑电波频率及强度、遗传基因信息等。从而通过控制器，实现对大脑的保养、治疗或相关的基因信息调整。

这个信息的检测与物理实现是以电子技术为主要手段的电子测量技术。当然，这里不仅仅是物理学和电子技术的问题，还有大量的数学理论、方法和软件技术问题。因此，电子测量技术几乎渗透到所有现代学科领域中，成为不可缺少的得力工具，并成为衡量各学科现代化发展的标志之一。

测量的任务不仅是测试物理量，还包括对目标和事件进行定位，如确定地震震源，辨识出人造卫星的方位以及寻找鱼群，等等。近几年来发展的“可视性”测量技术，它是以测量目标的形状、大小、明暗、颜色的类别与层次来描述和衡量测量结果的。测量系统在科学研究、现场监测和自动控制中起着十分重要的作用。

为了确定被测量的量值，需要把它与标准量进行比较。因此，通过实验所获得的被测量的量值总应包括两部分，即数值（大小及符号）和用于比较的标准量的单位名称。

用来确定被测量量值的装置称为测量器具，它包括测量仪器和量具。

测量仪器将被测的量转换成示值，或与示值相等效的信息。

量具是以固定的形式复现出某一个量或几个量的已知量值，可作为标准元件使用，例如电阻器、电容器、电感器等。

1.1 电子测量的特点

从广义上讲，凡是利用电子技术进行的测量都可以说是电子测量；从狭义上讲，电子测量是指在电子学中测量有关电信号的量值。

电子测量除了具体运用电子科学的原理、方法和设备对各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量外，还可通过各种敏感器件和传感装置对非电量进行测量。这种

非电量的检测方法往往更加方便、快捷、准确，是其他测量方法所不能替代的。

因此，今天所指的电子测量，是泛指以电子技术为手段进行的测量。电子测量的内容涉及在极宽的频率范围内对所有电量、磁量以及各种非电量的测量，它广泛应用于科学研究、实验测试、生产质量控制、无线电通讯的调整、遥测、数据处理等领域。电子测量具有以下特点：

①测量频率范围宽。就狭义的电子测量来说，其低频段已进入了 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ Hz 量级，而高频段已达到了 40 GHz，甚至已进入了可见光的范围（约 88×10^{12} Hz）。

②量程范围宽。与其他测量仪器相比，电子测量仪器具有很宽的量程。如木尺最小可测 1 mm，最大可测 1 m，量程是 1:1000，即三个量级；游标尺的量程是四个量级；而普通万用表可测电流范围从 1 μ A 到 1 A，量程达到六个量级；一台晶体管电压表可测电压范围从几百微伏到上千伏，量程为七个量级；数字式频率表的量程可达十七个量级以上。

③测量准确度高。以时间测量为例，电子测量仪器的测量准确度可达 10^{-13} 量级，是目前物理量中测得最精确的一个。

④测量速度快。由于电子测量是通过电磁波的传播和电子的运动来工作的，因而可以实现测量过程的高速度。在现代科学技术、特别是国防尖端技术中，测量过程（包括对测量信息的处理过程）的高速度具有十分重要的意义。

⑤易于实现遥测。电子测量的一个突出优点是可以通过各种类型的传感器实现遥测与遥控。这对于远距离或人体难以接近的地方的信号测量，具有特殊的意义，也是电子测量在各门学科得到广泛应用的又一重要原因。

⑥易于实现测量过程的自动化和测量仪器微机化。测量过程自动化与智能测量仪器的出现，不仅打破了人们长期以来的若干传统观念，而且对整个电子技术和若干近代科学技术产生了巨大的影响。随着计算机在电子测量仪器中的应用与软件技术的发展，现在可以对若干电参数自动进行测量，并可自动进行量程的选择、数据记录、结果计算、误差修正和故障诊断与检查等，还可通过网络实现远程通信测量。

1.2 电子测量的内容

通常人们把电参数测量分为电磁测量和电子测量两类。

电磁测量主要指交直流电量的指示测量法、比较测量法和电磁量的测量方法等。

电子测量是指以电子技术理论为依据，以电子测量仪器和设备为手段，对电量 and 非电量进行的测量。

按具体的测量对象来分类，电子测量包括：

(1) 电能量的测量。它包括各种频率及波形下的电压、电流、功率、电场强度等的测量。

(2) 电路参数的测量。它包括电阻、电感、电容、阻抗、品质因数、损耗角正切和电子器件参数等的测量。

(3) 电信号特征的测量。它包括信号波形、频率、周期、时间、相位、调幅度、调频指数、失真度、噪音以及数字信号的逻辑状态等的测量。

(4) 电子设备性能的测量。它包括放大倍数、衰减量、灵敏度、频率特性、通频带、噪声系数等的测量。

(5) 特性曲线的显示。它包括幅频特性曲线、晶体管特性曲线等的显示。

上述各种待测电参数中, 频率、时间、电压、相位、阻抗等是基本电参数, 是其他参数测量的基础。

另外, 在科学研究和生产实践中, 常常需要对各种非电量进行测量与控制, 因此, 非电量的测量是一种典型的方法。

人们通过传感器将许多非电量(如位移、速度、温度、压力、流量、物面高度以及物体成分等)转换成电信号, 再利用电子测量设备进行测量。

在生产过程的自动控制系统中, 将生产过程中各有关非电量转换成电信号进行测量、分析、记录并据此对生产过程进行控制。

1.3 电子测量的方法

一个电参量的测量可以通过不同的方法来实现。测量方法的选择正确与否, 直接关系到测量结果的可信赖程度, 也关系到测量工作的经济性和可行性。

按测量手段来分, 电子测量可分为: 直接测量、间接测量和组合测量。

按被测量性质, 电子测量可分为: 时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量等。

1.3.1 电路基本元器件参数的测量

1. 电阻的测量

电阻的主要物理特性是对电流呈现阻力, 但由于构造上有线绕或刻槽而使得电阻存在有引线电感和分布电容, 其等效电路如图 1-1 所示。

当电阻工作处于低频时, 电阻分量起主要作用, 电抗部分可以忽略不计, 即忽略 L_0 和 C_0 的影响, 此时只需测出 R 值就可以了。

但当工作频率升高时, 电抗分量就不能再忽略不计。

此外, 工作于交流电路的电阻的阻值, 由于集肤效应、涡流损耗、绝缘损耗等原因, 其等效电阻随频率的不同而不同。实验证明, 当频率在 1 kHz 以下时, 电阻的交流阻值与直流阻值相差不超过 1×10^{-4} , 随着频率的升高, 其差值随之增大。

1) 固定电阻的测量

(1) 万用表测量电阻。模拟式和数字式万用表都有电阻测量挡, 都可以用来测量电阻, 测量时先选择好万用表电阻挡的倍率或量程范围。然后将两个输入端(称表笔)短路调零, 最后将万用表并接在被测电阻的两端, 读出电阻值即可。

在用万用表测量电阻时应注意以下几个问题:

①要防止把双手和电阻的两个端子及万用表的两个表笔并联捏在一起, 以避免将人体电阻并入电路进行测量, 使测量值变小。

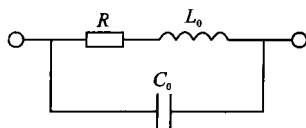


图 1-1 电阻的等效电路