



北京市高等教育精品教材立项项目

普通高等教育“十二五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

现代电路实验综合教程

张常年 张萌萌 吴小林 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”规划教材·电子电气基础课程规划教材
北京市高等教育精品教材立项项目

现代电路实验综合教程

张常年 张萌萌 吴小林 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是与“电路理论”课程相配套的实验教材。本书共分5章。第1章介绍了电路实验所需要的重要工具——电工测量仪表,并在读者了解了电工测量仪表的基本结构及原理的基础上,介绍了测量误差及测量不确定度的概念。第2章介绍了仪表的选用及实验数据的处理技术。第3章介绍了电路基本实验。第4章主要以课题的形式给出了一些综合设计型实验。第5章重点介绍了常用电路仿真软件 PSpice 及其应用。此外,附录中介绍了传统电测量指示仪表、电桥和模拟示波器。

本书可作为高等工科大学电子、电气信息类专业学生的教学用书,也可供相关技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代电路实验综合教程/张常年等编著. —北京:电子工业出版社, 2011.8

普通高等教育“十二五”规划教材·电子电气基础课程规划教材

ISBN 978-7-121-14188-1

I. ①现… II. ①张… III. ①电路—实验—高等学校—教材 IV. ①TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 148682 号

策划编辑:谭海平

责任编辑:许菊芳

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 11 字数: 281 千字

印 次: 2011 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

“电路理论”课程是普通高等学校电子与电气信息类专业的重要基础课，是后续专业课程学习的重要基础。“电路理论”课程的内容是实际电工工程的抽象，它具有理论严密、逻辑性强的特点。因此重视和加强实践教学，树立理论联系实际的工程理念，就成了“电路理论”课程改革的重点。

为此，多年来北方工业大学电路课程组一直坚持在电路课程的实践教学环节进行教学改革和探索，进而形成了一整套的教学方案和方法，并形成了教学成果。本书是该教学成果中的一部分。

本书第1章介绍了电路实验所需要的重要工具——电工测量仪表，并在读者了解了电工测量仪表的基本结构及原理的基础上，介绍了测量误差及测量不确定度的概念。第2章介绍了仪表的选用及实验数据的处理技术。第3章介绍了电路基本实验。第4章主要以课题的形式给出了一些综合设计型实验。考虑到学生在电路课程学习阶段的实际水平，对于一些有一定难度的综合设计型实验，给出了解题思路或启发。由于计算机应用的普及以及计算机仿真技术的发展，使用计算机软件对电路进行仿真实验已成为电路实践教学的一个重要手段，它为学生课外通过实验方法学习电路理论提供了条件，因此本书的第5章重点介绍了一个常用的电路仿真软件——OrCAD 中的 PSpice 的使用。

参加本书编写工作的有张常年、张萌萌、吴小林。此外，刘文楷、关小菡、王恩成、田青老师也为此书作出了不少贡献，在此对他们的辛勤工作表示感谢。

限于编者水平，本书一定存在错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者
2011年6月

目 录

第1章 电工测量基础知识1	2.4 常用电工测量技术 35
1.1 基本概念1	2.4.1 电流表的内接法和外接法 35
1.1.1 测量基本方程与测量单位1	2.4.2 供电电路中滑动变阻器的限流 接法和分压接法 36
1.1.2 测量方法分类1	2.4.3 仪器及量程的选择 37
1.2 电工测量设备与仪表2	2.4.4 实物图连接的一般步骤 37
1.2.1 电工测量设备分类2	2.4.5 综合分析 38
1.2.2 电工测量仪表分类3	2.5 测量数据的读取和处理 39
1.2.3 电工测量指示仪表的分类5	2.5.1 测量数据的读取 39
1.2.4 数字万用表简介5	2.5.2 测量数据的表示方法 41
1.2.5 虚拟仪器系统简介8	2.6 有效数字的计算规则和方法 43
1.3 测量误差10	2.6.1 有效数字的概念 43
1.3.1 常用术语10	2.6.2 有效数字的有效位数确定 43
1.3.2 测量误差中的三个误差 分量11	2.6.3 有效数字的正确表示方法 44
1.3.3 测量误差的工程表示13	2.6.4 有效数字的修约规则 44
1.3.4 引用误差和仪表准确度等级14	2.6.5 有效数字的运算规则 45
1.4 最大测量误差的估计16	第3章 电路基本实验 47
1.4.1 直接测量方式的最大误差16	3.1 电阻元件伏安特性的测绘 47
1.4.2 间接测量方式的最大误差17	3.1.1 实验目的 47
1.5 测量不确定度简介19	3.1.2 原理说明 47
1.5.1 不确定度的概念19	3.1.3 实验设备 47
1.5.2 标准不确定度20	3.1.4 实验内容 48
1.5.3 标准合成不确定度和扩展 不确定度22	3.1.5 实验注意事项 49
1.5.4 A类和B类标准不确定度 及其评定23	3.1.6 预习与思考题 49
1.5.5 间接测量结果不确定度 的估算25	3.1.7 实验报告要求 49
第2章 测量仪表选用和实验数据处理30	3.2 受控源研究 49
2.1 电测量指示仪表的主要 技术指标30	3.2.1 实验目的 49
2.2 电测量指示仪表的表面标记31	3.2.2 原理说明 49
2.3 仪表的选择和使用33	3.2.3 实验设备 52
2.3.1 仪表的选择33	3.2.4 实验任务 52
2.3.2 保证仪表的正常工作条件35	3.2.5 实验注意事项 55
	3.2.6 预习与思考题 55
	3.2.7 实验报告要求 55
	3.3 线性电路叠加性和齐次性 的研究 55

3.3.1	实验目的	55	3.8	提高功率因数的研究	66
3.3.2	原理说明	55	3.8.1	实验目的	66
3.3.3	实验设备	56	3.8.2	原理说明	67
3.3.4	实验内容	56	3.8.3	实验设备	67
3.3.5	实验注意事项	57	3.8.4	实验内容	67
3.3.6	预习与思考题	57	3.8.5	预习要求	67
3.3.7	实验报告要求	57	3.8.6	实验注意事项	67
3.4	戴维南定理——线性有源二端网络等效参数的测定	58	3.8.7	实验报告要求	68
3.4.1	实验目的	58	3.9	RLC 串联谐振电路的研究	68
3.4.2	原理说明	58	3.9.1	实验目的	68
3.4.3	实验设备	59	3.9.2	原理说明	68
3.4.4	实验内容	59	3.9.3	实验设备	69
3.4.5	实验注意事项	60	3.9.4	实验内容	69
3.4.6	预习与思考题	60	3.9.5	实验注意事项	69
3.4.7	实验报告要求	60	3.9.6	预习与思考题	69
3.5	一阶 RC 电路过渡过程的测试	61	3.9.7	实验报告要求	70
3.5.1	实验目的	61	3.10	互感电路	70
3.5.2	原理说明	61	3.10.1	实验目的	70
3.5.3	实验设备	62	3.10.2	原理说明	70
3.5.4	实验内容	62	3.10.3	实验设备	71
3.5.5	实验注意事项	62	3.10.4	实验内容	71
3.5.6	预习与思考题	62	3.10.5	实验注意事项	72
3.5.7	实验报告要求	62	3.10.6	预习与思考题	72
3.6	二阶电路暂态过程的研究	62	3.10.7	实验报告要求	72
3.6.1	实验目的	62	3.11	三相电路电压、电流及功率的测量	72
3.6.2	原理说明	63	3.11.1	实验目的	72
3.6.3	实验设备	63	3.11.2	原理说明	73
3.6.4	实验内容	64	3.11.3	实验设备	74
3.6.5	预习内容	64	3.11.4	实验内容	74
3.6.6	实验报告要求	64	3.11.5	实验注意事项	75
3.6.7	二阶电路参数	65	3.11.6	预习与思考题	75
3.7	交流电路的研究	65	3.11.7	实验报告要求	75
3.7.1	实验目的	65	3.12	直流双口网络的研究	75
3.7.2	原理说明	65	3.12.1	实验目的	75
3.7.3	实验设备	66	3.12.2	原理说明	75
3.7.4	实验内容	66	3.12.3	实验设备	77
3.7.5	实验注意事项	66	3.12.4	实验内容	77
3.7.6	预习要求	66	3.12.5	实验注意事项	78
3.7.7	实验报告要求	66	3.12.6	预习与思考题	78

3.12.7	实验报告要求	78	4.6.5	实验报告要求	89
3.13	回转器特性测试	78	4.7	简易梯形波发生器	90
3.13.1	实验目的	78	4.7.1	题目	90
3.13.2	原理说明	78	4.7.2	实验目的	90
3.13.3	实验设备	80	4.7.3	实验报告要求	90
3.13.4	实验内容	80	4.8	交流白炽灯简易调光	
3.13.5	实验注意事项	81	电路设计	90	
3.13.6	预习与思考题	81	4.8.1	题目	90
3.13.7	实验报告要求	81	4.8.2	实验目的	91
第4章	综合设计型实验	82	4.8.3	设计思路	91
4.1	电阻测量电路的设计	82	4.8.4	实验报告要求	91
4.1.1	题目	82	4.9	备用电源自动切换	
4.1.2	实验目的	82	电路的设计	91	
4.1.3	实验报告要求	82	4.9.1	题目	91
4.2	直流分压电路的设计	82	4.9.2	实验目的	92
4.2.1	题目	82	4.9.3	设计思路	92
4.2.2	实验目的	82	4.9.4	实验报告要求	92
4.2.3	实验报告要求	82	4.10	带通滤波器的设计	92
4.3	万用表设计与组装	83	4.10.1	题目	92
4.3.1	题目	83	4.10.2	实验目的	93
4.3.2	实验目的	83	4.10.3	原理	93
4.3.3	原理说明	83	4.10.4	实验报告要求	94
4.3.4	设计任务	86	第5章	电路的计算机仿真	
4.3.5	实验报告要求	87	实验——PSpice 简介	95	
4.4	直流电动机主回路电阻测量		5.1	计算机仿真与 OrCAD	95
电路的设计	87	5.2	电路仿真工具 OrCAD/PSpice		
4.4.1	题目	87	简介	96	
4.4.2	实验目的	87	5.2.1	初识 OrCAD/PSpice	96
4.4.3	实验报告要求	87	5.2.2	PSpice 中的数字、单位和	
4.5	正弦波相位移动电路的设计	87	运算式	103	
4.5.1	题目	87	5.3	电路输入模块 Capture 简介	105
4.5.2	实验目的	88	5.3.1	创建工程	105
4.5.3	原理	88	5.3.2	OrCAD 对电路的描述	107
4.5.4	实验报告要求	88	5.3.3	元器件库	110
4.6	电阻温度变送器的设计	88	5.4	使用 Capture 输入电路	111
4.6.1	题目	88	5.4.1	普通元器件的放	
4.6.2	实验目的	89	置 (Place part)	111	
4.6.3	相关知识	89	5.4.2	元器件属性编辑	113
4.6.4	设计任务	89	5.4.3	电源的放置	114

5.4.4	模拟电路接地点的放置	115
5.4.5	元器件的连接	116
5.4.6	电路原理图的查错	119
5.4.7	电路原理图的搜索	120
5.5	使用 OrCAD/PSpice 进行电路仿真分析	120
5.5.1	Bias Point 仿真分析	121
5.5.2	DC Sweep 仿真分析	125
5.5.3	Time Domain 动态分析	134
5.5.4	AC Sweep/Noise 仿真分析	138
附录 A	传统电测量指示仪表	149
A.1	传统指示仪表的结构	149
A.2	磁电式指示仪表	150
A.2.1	结构和工作原理	151
A.2.2	技术特性及应用	151
A.3	电磁式仪表	152

A.3.1	结构与工作原理	152
A.3.2	电磁式仪表的技术特性	153
A.4	电动式仪表	153
A.4.1	电动式仪表的测量机构与工作原理	153
A.4.2	技术特性及应用	156
附录 B	电桥	158
B.1	直流电桥	158
B.2	交流电桥	159
附录 C	模拟示波器	161
C.1	模拟示波器的组成	161
C.2	模拟示波器的工作原理	162
C.3	模拟示波器的使用	163
参考文献		166

第1章 电工测量基础知识

1.1 基本概念

1.1.1 测量基本方程与测量单位

测量是取得客观事物的数量的一种认识过程，该过程实质上是一个把被测量与标准量进行比较并以其结果作为被测量数量的过程。如果用 X 表示被测量，用 k_0 表示标准量，那么一个被测量与标准量比较的结果为

$$x = X / k_0 \quad (1-1)$$

其中， x 为比较结果，即通过测量所得到的测量值。

为了实现上述比较过程，人们常常需要使用一些测量设备，而测量结果 x 通常也就由这些设备上的显示装置来显示，所以被测量的测量值也称为示值。

如果将式 (1-1) 改写成

$$X = x k_0 \quad (1-2)$$

则式 (1-2) 称为测量基本方程，式中的 k_0 为测量单位。例如，如果测得流经某元件的电流 I 为 2.5A，那么测量值的数值部分为 2.5，单位部分为 A（安）。其表示方式为

$$I = 2.5 \text{ A}$$

单位 k_0 不仅反映被测量的性质，而且对同一个被测量来说，因所选用的计量单位不同，被测量的表达也不同。例如，如果以 mA（毫安）为单位来表示上述电流，那么该电流的大小就为 2500 mA，即

$$I = 2500 \text{ mA}$$

显然，为了使测量结果便于理解并具有通用性和实际工程意义，有必要为各种物理量建立一套统一的标准测量单位。为此，人们建立了单位制。单位制的种类很多，目前普遍采用的是国际单位制，代号为 SI。

国际单位制也是我国法定的计量单位制。国际单位制包括七个基本单位、两个辅助单位和其他导出单位。七个基本单位分别为 m（米）、kg（千克）、s（秒）、A（安培）、K（开[尔文]）、mol（摩尔）、cd（坎德拉）。两个辅助单位分别为 rad（弧度）和 sr（球面度）。所有其他物理量单位均由上述七个基本单位导出。电路分析常用的电磁量单位就是由前四个基本单位导出的，例如常用的 N（牛[顿]）、J（焦[耳]）、W（瓦[特]）、C（库[仑]）、V（伏[特]）、F（法[拉]）、 Ω （欧[姆]）、S（西[门子]）、Wb（韦[伯]）、H（亨[利]）、T（特[斯拉]）等。

1.1.2 测量方法分类

1. 直接测量、间接测量与组合测量

根据是否可直接获得测量结果，测量分为直接测量和间接测量。

可由仪器仪表直接读出测量值的测量称为直接测量，如使用电压表测电压、使用电流表

测电流等；反之，如果被测量是几个直接测量值的函数，需要根据几个直接测量值运算后才能确定被测量，那么这种测量称为间接测量，例如，通过直接测量被测元件的电压 U 和电流 I 来算出该元件的电阻值 $R = U/I$ 。

如果测量值既需要直接测量也需要间接测量的测量值才能算出，那么这种测量就称为组合测量。

2. 比较法和直读法

根据标准量（度量器）是否直接参与测量过程，测量方法分为直读测量法和比较测量法。

在测量过程中标准量（度量器）直接参与测量过程，通过将被测量（未知量）与标准量（已知量）直接进行比较而获得测量结果的方法称为比较测量法。例如，用电桥测量电阻的方法。

比较测量法具有测量准确、灵敏度高的优点，适合精密测量。但其缺点是测量操作过程较为麻烦，所用仪器设备的价格较高。

如果度量器（标准量）不直接参与测量过程，而只是使用其对仪表的显示进行标记，从而可以使人们从测量仪表的显示器上直接读取被测量数值的测量方法，称为直读测量法，这种测量仪表也称为直读式仪表。直读式仪表可以是模拟指示式仪表，也可以是数字式仪表，例如常用的电压表、电流表、功率表等。由于度量器不直接参与测量过程，故其具有设备简单、响应迅速、操作简便等优点，所以直读法在实际测量工作中应用较多。当然，也正由于度量器不直接参与测量过程，所以其缺点就是测量的准确度不高。

3. 等精度测量与非等精度测量

在多次测量中，有等精度测量和非等精度测量的区别。对于同一物理量所进行的多次测量，如果是由同一个操作者用同样的方法和同样的仪器在相同的条件下完成的，那么这种测量就称为等精度测量。反之，不满足上述测量条件的多次测量称为非等精度测量。

等精度测量在测量技术中占有重要的地位，以后，如无特别说明，只要说到对一个量的多次测量，都是指等精度测量。

1.2 电工测量设备与仪表

由测量方程可知，所谓电工测量，就是将被测电量或磁量与作为测量单位的同类电量或磁量进行比较，从而来确定被测电量或磁量的大小。用来实现这一过程的各种技术工具称为电工测量设备。

1.2.1 电工测量设备分类

电工测量设备有度量器和测量仪器两种基本类型。

1. 度量器

在电工测量中，代表了被测量基本单位的同类量称为度量器，它是一种体现测量单位的实物或其复制体。人们用度量器复制、传递和保存测量单位。

根据度量器的准确程度，度量器分为基准器、标准器和工作度量器三类。其中，基准器

的准确程度最高。在电磁学计量中,主要的基准器有电压基准器、电阻基准器和电容基准器等几种。标准器的准确度低于基准器,供计量部门对工作度量器进行检定或标定时使用。工作度量器是专供日常测量中使用的度量器。在电工实验中,常用的度量器有标准电池、标准电阻、标准电容及标准电感等,如图1-1所示。



图 1-1 电工测量度量器

2. 测量仪表、仪器与虚拟仪器

在实际工作中,为了方便,人们并不直接使用度量器,而使用一些经度量器标定的测量装置来进行测量。

与直读法和比较法两种测量方式相对应,测量装置分为测量指示仪表和比较测量仪器两类。可直接由仪表指示机构的指示值来读取测量结果的测量装置,称为测量指示仪表,如常见的电压表、电流表等。测量过程中必须与度量器进行比较才能获得测量结果的测量装置,称为比较测量仪器,如电桥、电位差计等。

由于电子科学技术的迅猛发展,现代测量装置通常都是由电子元器件、部件为核心所组成的电子装置,例如电子示波器、信号发生器、图示仪、频谱仪及数字电压表等,这些测量装置统称为电子测量仪器。常见的测量仪表的外观如图1-2所示。

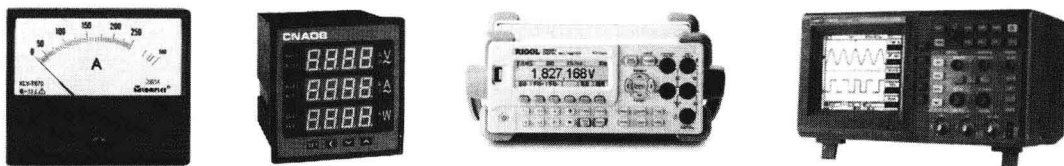


图 1-2 测量仪表

近年来,随着微型计算机技术的引入、开发和应用,以计算机为数据处理核心的虚拟仪器得到了长足的发展,使得测量装置不断地朝着向自动化、系统化、数字化、高性能、智能、快速、小型和低价方向蓬勃发展。

1.2.2 电工测量仪表分类

按照仪表的测量方法、结构、用途等方面的特性,电工测量仪表通常被分为以下几类。

1. 指示仪表

以指针、光标为指示器直接表示出被测量大小的仪表称为指示仪表,也称为直读式仪表。这种仪表除了具有固定部分之外,还具有一个可动部分,当有被测量输入时,被测量会使仪表可动部分产生一个机械偏转角,装置在可动部分上的指示器便可指向固定表盘上的某个刻度,这个刻度便表示了被测量的大小。传统的指针式指示仪表如图1-3所示。

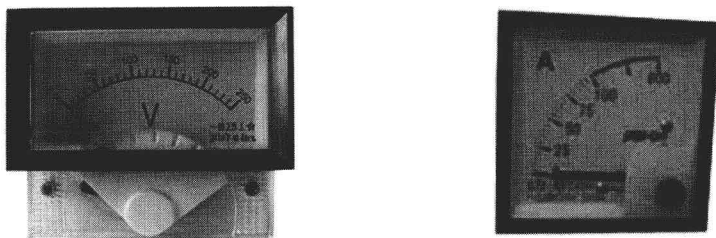


图 1-3 指针式指示仪表

目前, 由于数字电路的广泛应用, 以数码形式直接显示测量值的数字式仪表也得到了长足的发展。数字式仪表的外观如图 1-4 所示。

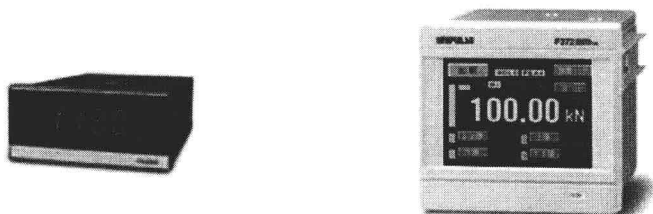


图 1-4 数字式仪表

2. 比较仪表

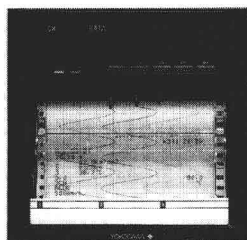
通过被测量与标准量的比较而得出被测量量值的测量方法称为比较法, 基于比较法的测量仪表称为比较式仪表。

在电测量仪表中, 主要有直流比较仪表和交流比较仪表。属于直流比较式仪表的有直流电桥、电位差计、标准电阻器和标准电池等; 属于交流比较式仪表的有交流电桥、标准电感器和标准电容器等。

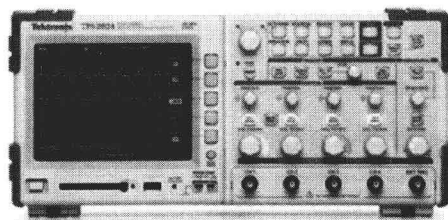
3. 记录仪表和示波器

可以记录和保存被测量历史变化情况的仪表, 称为记录仪表。例如发电厂中常用的自动记录电压表和频率表以及自动记录功率表等。

当被测量变化很快而来不及笔录时, 常用示波器来观测。图 1-5 示出了记录仪与示波器的外观图。



(a) 记录仪



(b) 示波器

图 1-5 记录仪与示波器

4. 扩大量程装置和变换器

能扩大仪表量程的装置称为扩大量程装置, 如分流器、附加电阻器、电流互感器、电压

互感器等。用来实现不同电量之间的变换或将非电量转换为电量的装置，称为变换器。

1.2.3 电工测量指示仪表的分类

经过多年的发展，电工测量指示仪表不仅种类繁多，而且其分类方法也很多，在此仅做一般性介绍。

根据指示仪表测量机构的工作原理来分类，指示仪表分为磁电式仪表、电磁式仪表、电动式仪表、静电式仪表、感应式仪表和整流式仪表等几大类（详见本书附录）。

根据被测对象来分类，指示仪表分为电流表、电压表、功率表、电能表、相位表、频率计、欧姆表、磁通表以及具有多种功能的万用表等。

根据仪表所测的电流种类分类，指示仪表分为直流仪表、交流仪表和交直流两用表。

按照使用方法及安装方法分类，指示仪表分为柜式仪表和便携式仪表。柜式仪表通常固定安装于开关柜或配电盘中，适用于工业测量和发电厂、变电所的运行监视等。便携式仪表是可以携带和移动的仪表，广泛用于电气试验、精密测量及仪表检测。

按照仪表的准确度等级分类，指示仪表具有不同的准确度。例如机电式直读仪表的准确度分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七个等级。

此外，电测量指示仪表还可以按仪表对外电磁场的防御能力分为 I、II、III、IV 四级。I 级电表的防御能力最强，在外界电磁场作用下所引起的附加误差最小。

按仪表的使用场合条件分为 A、B、C 三组。A 组仪表的工作温度为 $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，B 组仪表的工作温度为 $-20^{\circ}\text{C}\sim +50^{\circ}\text{C}$ ，C 组仪表的工作温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim +60^{\circ}\text{C}$ 。

电测量指示仪表的产品型号是按规定的标准编写的，安装式和便携式指示仪表的型号的编制规则不同。

安装式仪表符号的基本组成形式如图 1-6 所示。其中前两位为数字，表示仪表的面板、外壳形状尺寸，称为形状代号；中间的两为系列代号，表示仪表的工作原理，磁电系仪表的代号为 C、电磁系仪表的代号为 T、电动系仪表的代号为 D、感应仪表的代号为 G、整流系仪表的代号为 L、静电系仪表的代号为 Q 等。

对于便携式仪表，则不用形状代号。第一位为组别号，即表示仪表的工作原理系列，其余部分的组成形式和安装式仪表相同。

除了指示类仪表外，其他各类仪表的型号还应在组别号前再加一个类别号，也用汉语拼音字母表示，例如，电度表用 D 表示、电桥用 Q 表示、数字电表用 P 表示等。

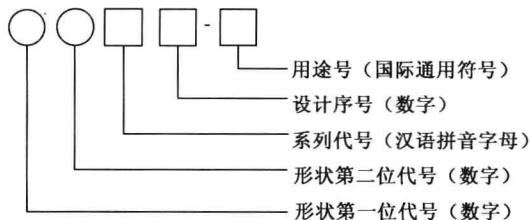


图 1-6 指示仪表编号格式

1.2.4 数字万用表简介

在种类繁多的指示仪表中，万用表具有足够的代表性，是电路实验和其他电工电子应用中最常使用的测量仪表之一。因为它可以测量直流电压、直流电流、交流电压、交流电流、直流电阻等多种电工量，所以它被称为万用表。

现代万用表已全部数字化，称为数字万用表（Digital MultiMeter, DMM）。在这种设备中，被测量信号由 A/D 转换器转换成数字量并由数字装置处理后，由数字显示屏直接显示测量值，避免了读数时由视差所带来的偏差。



M890D

VC9802A+

图 1-7 数字万用表外观

两种数字万用表的外观如图 1-7 所示。

1. 数字万用表的基本测量原理

数字万用表的核心为直流数字电压表 DVM(基本表)。它主要由外围电路(电源、量程转换电路等)、双积分 A/D 转换器及显示器组成,如图 1-8 所示。

数字万用表直流电压测量的电路原理图如图 1-8 所示,其中的核心部件是一种高性能、低功耗的三位半 A/D 转换集成电路芯片,它含有七段译码器、显示驱动器、参考电源和时钟电路,适用于液晶显示(LCD)。ICL7106 可将自 IN+和 IN-输入的模拟电压转换为数字量并在 LCD 显示器上输出。

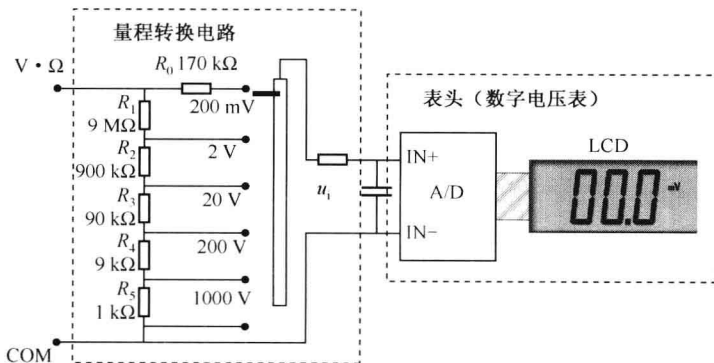


图 1-8 数字万用表的表头及直流电压测量电路原理图

由图 1-8 可知,被测电压被电阻网络分压后输入集成电路,而这个分压电路便形成了仪表测量电压的不同挡位。

图 1-9 是数字万用表直流电流测量电路原理图,由图可知, $R_2 \sim R_5$ 、 R_{cu} 分别为各挡电流的取样电阻,它们组成了一个电流-电压转换器 (I/U),当测量时,被测电流在取样电阻上产生电压,该电压输入至 IN+、IN- 两端,然后再由 ICL7106 转换为数字量在 LCD 上输出。

直流电流测量电路输入电路中的两个二极管为过压保护电路。

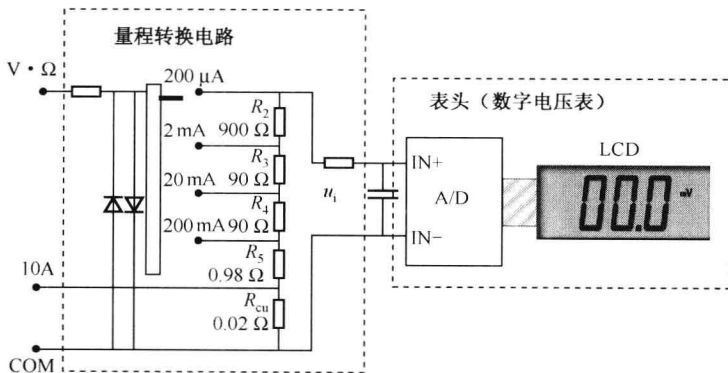


图 1-9 数字万用表直流电流测量电路原理图

图 1-10 所示为数字万用表交流电压测量电路原理图。它主要由输入通道、降压电阻、量程选择开关、耦合电路、放大整流电路、滤波电路及数字电压表和 LCD 显示器组成。

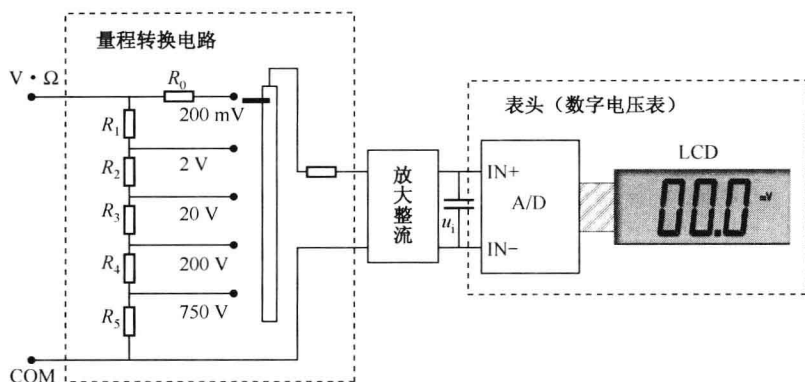


图 1-10 数字万用表交流电压测量电路原理图

交流电流测量电路与图 1-10 所示的交流电压测量电路基本相同，只不过将图中的分压器改成了与图 1-9 电路相同的分流器，即其分流电阻与直流电流挡公用。

数字万用表直流电阻测量原理图如图 1-11 所示。图中标准电阻 R_0 与待测电阻 R_x 串联后接在基本表的 V+ 和 COM 之间。

V+ 和 V_{REF+} 、 V_{REF-} 对应于 IN+、IN- 和 COM 两两连接，使用基本表的基准电压 V+ 向 R_0 和 R_x 供电。其中 U_{R0} 为基准电压， U_{Rx} 为输入电压。只要固定若干标准电阻 R_0 ，就可实现多量程电阻测量。

数字万用表的真实电路原理图见附录。

2. 数字万用表的使用

数字万用表是一种需要使用电源供电的电工测量仪表，当电源开关置于 ON 位置时，电源接通，置于 OFF 位置时，电源断开。

万用表在 LCD 屏上显示数字、小数点、“-”及“←”符号。在数字显示的仪表中，人们常常使用仪表显示器可以显示数字的位数来表达仪表的量程。通常，人们把显示器上凡是能显示十进制数 0~9 所有数字的位称为整位，而因某种原因不能显示 0~9 所有数字的位称为非整位。

非整位通常为显示器上的最高位。例如某数字万用表最大显示值为 19 999，那么该仪表显示器就有四个整位和一个非整位。

非整位用分数来表示，该分数的分子为最大显示值中最高位的数字，分母为满量程时最高位的数字。例如，对于上面所说的最大显示值为 19 999 的仪表，因其最大显示值为 19 999，满量程计数值为 20 000，所以用来表示非整位的那个分数的分子为 1，分母为 2，即这个非整位用分数 $1/2$ 来表示。于是这个仪表就是一种 $4\frac{1}{2}$ 位仪表，俗称“4 位半”仪表。

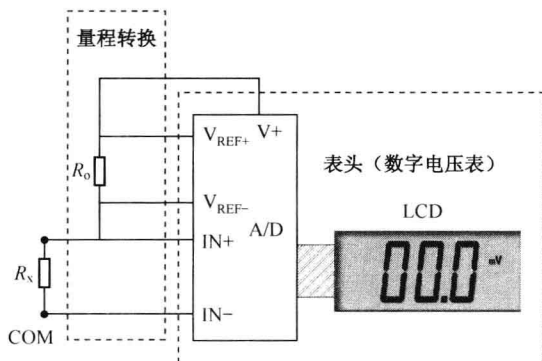


图 1-11 数字万用表直流电阻测量原理图

在对电量进行测量之前,用户需使用万用表盘面中心的那个旋转开关来确定所需要的测量选项及量程。

在测量时,需根据测量范围选定测试表笔插入的插孔,其中黑表笔始终插入 COM 孔。当测量直流电压、交流电压、电阻(Ω)、二极管和连续检验时,红表笔插入 $V \cdot \Omega$ 孔。当被测的交、直流电流小于 200 mA 时,红表笔插入 mA 孔;当被测的交、直流电流大于 200 mA 时,则红表笔应插入 10 A 孔。

1.2.5 虚拟仪器系统简介

虚拟仪器(Virtual Instrument, VI)是美国国家仪器公司(NI)在 1986 年提出的一个概念。虚拟仪器是一种基于计算机技术,软、硬件结合,集通信技术和测量技术于一体的模块化仪器。虚拟仪器借助计算机强大的数据处理能力,使之一出现便在世界范围得到了广泛的认同和应用,目前已形成了仪器仪表技术发展的一种趋势。

从外观上来看,虚拟仪器就是一台个人计算机,只不过其屏幕上显示的是仪器面板形式的画面,如同一台真正的仪器那样向用户提供测量信息。一种虚拟仪器的外观如图 1-12 所示。

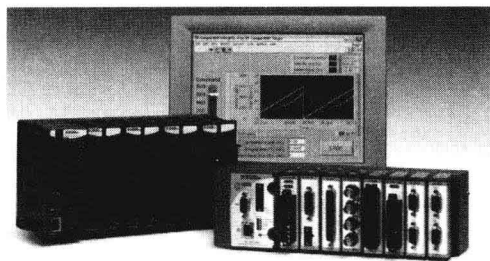


图 1-12 虚拟仪器的外观

从图 1-12 中可见,除了个人计算机之外,虚拟仪器还配有专门的用来接收被测量的接口电路。

从图 1-12 中可见,除了个人计算机之外,虚拟仪器还配有专门的用来接收被测量的接口电路。也就是说,虚拟仪器由通用计算机、模块化功能硬件和控制专用软件组成。这里的“虚拟”一词主要有两方面的含义:一是指虚拟仪器的面板是虚拟的,二是指虚拟仪器的测量功能是由软件编程来实现的。

在虚拟仪器系统中,硬件仅仅是解决信号的输入和输出问题的方法和软件赖以生存、运行的物理环境,软件才是整个仪器的核心,使用者只要通过调整或修改仪器的软件,便可方便地改变或增减仪器系统的功能与规模,甚至仪器的性质。虚拟仪器的这种特点,完全打破了以前传统仪器由厂家定义而用户无法改变的模式,给用户一个充分发挥自己才能和想象力的空间。

1. 虚拟仪器的结构

从功能上划分,任何一台仪器,按其基本形式都可分解为以下三个主要模块:

- 输入模块。进行信号调整并将输入模拟信号转换成数字形式以便处理。
- 输出模块。将量化的数据转换成模拟信号并进行必要的信号调理。
- 数据处理模块。通常一个微处理器或一台数字信号处理器(DSP)可使仪器按要求完成一定的功能。

将具有一种或多种功能的通用模块组建起来,就能构成任何一种仪器。虚拟仪器就是用通用的仪器硬件平台,调出不同的测试软件构成不同功能的仪器。例如,一台频谱分析仪包括一个输入部分和一个数据处理部分;一台任意波形发生器包括输出部分和一个数据处理部分,如图 1-13 所示。

具体来说,目前常用的虚拟仪器系统(例如 LABVIEW)包括计算机、虚拟仪器软件、硬件接口或测试仪器。硬件接口包括数据采集卡、IEEE488 接口(GPIB)卡、串/并口、插卡仪器、VXI 控制器及其他接口卡。

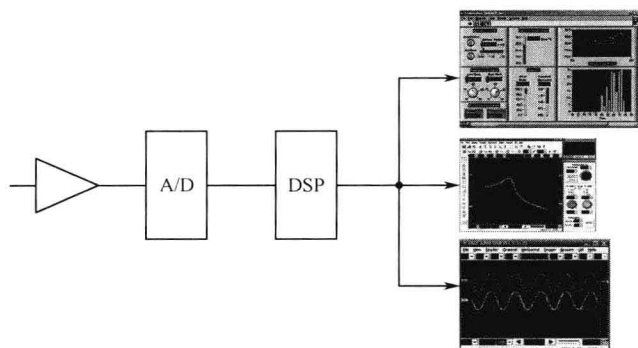


图 1-13 虚拟仪器的实例

2. 虚拟仪器的特点

虚拟仪器与传统仪器相比较，有表 1-1 中所列的特点。

表 1-1 虚拟仪器与传统仪器比较

传 统 仪 器	虚 拟 仪 器
功能由仪器厂商定义	功能由用户自己定义
与其他仪器设备的连接十分有限	面向应用的系统结构，可方便地与网络、外设及其他应用连接
图形界面小，人工读数，信息量小	展开全汉化图形界面，计算机读数及分析处理
数据无法编辑	数据可编辑、存储、打印
硬件是关键部分	软件是关键部分
价格昂贵	价格低廉（是传统仪器的五分之一至十分之一）
系统封闭、功能固定、扩展性低	基于计算机技术开放的功能块可构成多种仪器
技术更新缓慢（周期 5~10 年）	技术更新快（周期 1~2 年）

总体上来看，相对于传统仪器来说，虚拟仪器具有如下优点。

- 测量精度高、重复性好。嵌入式数据处理器的出现允许建立一些功能的数学模型，如 FFT 和数字滤波器，因此就不再需要可能随时间漂移、需要定期校准的分立式模拟硬件。
- 测量速度高。测量输入信号的几个特性（如电平、频率和上升时间）只需一个量化的数据块，要测量的信号特性就能被数据处理器计算出来，这种将多种测试结合在一起的办​​法缩短了测量的时间，而在传统仪器系统中，必须把信号连接到某一台仪器上去测量各个参数，这就受电缆长度、阻抗、仪器校准和修正因子的差异影响。
- 开关、电缆减少。由于所有信号具有一个公用的量化通道，故允许各种测量使用同一校准和修正因子。这样，复杂的开关矩阵和信号电缆就能减少，信号不必切换到多个仪器上。
- 系统组建时间缩短。所有通用模块支持相同的公用硬件平台。当测试系统要增加一个新的功能时，只需增加软件来执行新的功能或增加一个通用模块来扩展系统的测量范围。
- 测量功能易于扩展。