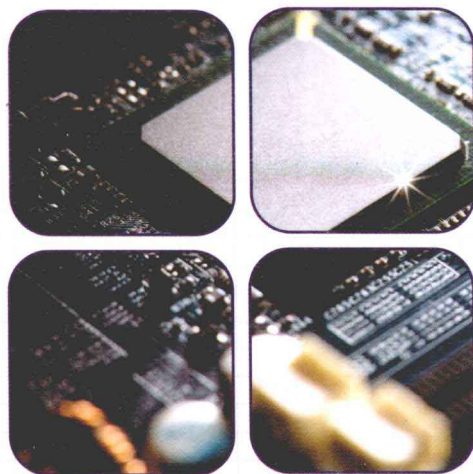
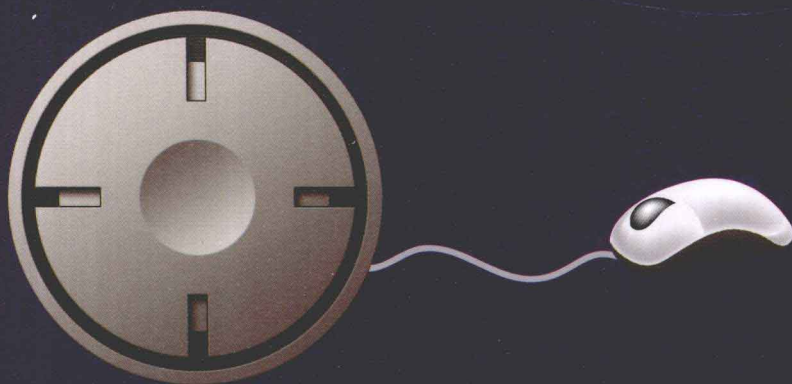


电路实验

李书杰 史 涛 王福斌 编 著




Circuit experiment



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等学校“十二五”电气自动化类规划教材

电 路 实 验

李书杰 史 涛 王福斌 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据高校电类专业“电路”课程对实验的要求编写的,旨在帮助学生用学过的理论知识实际问题,巩固基本理论知识,获得实验技能和科学研究方法。

全书共分为两篇 6 章,上篇包括第 1~3 章,主要介绍理论部分,包括实验综述、电路测量的基本知识、仪器仪表的原理和使用、电路元件介绍、数字式仪表使用等。下篇包括第 4~6 章,第 4 章介绍实际电路实验,包括直流、交流、过渡过程等基本、综合、设计性的 22 个实验。第 5 章和第 6 章分别介绍计算机辅助设计及电路仿真实验。

本书可作为高等院校电气类、控制类、电子类和其他相近专业电路课程配套使用的实验教材。

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

电路实验 / 李书杰, 史涛, 王福斌编著. —北京: 电子工业出版社, 2011.9

高等学校“十二五”电气自动化类规划教材

ISBN 978-7-121-14494-3

I. ①电… II. ①李… ②史… ③王… 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 176867 号

策划编辑: 康 霞 (kangxia@phei.com.cn)

责任编辑: 康 霞

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

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 9 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 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 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

高等学校“十二五”电气自动化类规划教材 丛书编委会

(按拼音排序, 排名不分先后)

编委会主任: 关新平

编委会副主任:

毕卫红 韩 璞 娄国焕 吴学礼 杨 鹏

专家组成员:

何 谓 高 蒙 李国洪 李建华

王培光 姚福来 赵书强

编委会委员:

常丹华 曹晓华 杜立强 顾和荣 侯培国

韩兵欣 郝 成 李书杰 李珍国 马翠红

牛培峰 孙孝峰 唐瑞尹 吴忠强 王建民

王海群 王静波 王立乔 杨友良 殷桂梁

岳树盛 张宝荣 张秀玲 张燕君 张晓晖

前 言

实验教学是高等教育的基本教学内容，是帮助学生巩固基本理论知识，获得实验技能和科学研究方法的重要环节。

本书根据电类专业“电路”课程对实验的要求，在总结了多所院校在电路实验教学方面经验的基础上，配合综合性、数字化的实验教学平台而编写的。

全书共分两篇，上篇由第 1~3 章组成，包括实验的综述、测量的基本知识、基本测量仪表原理、数字仪表及电子设备的使用。下篇是实验部分，第 4 章为 22 个典型的实际电路实验，由基本实验、综合实验、设计性实验组成。第 5、6 章为计算机辅助设计及电路仿真实验。

本书的前 4 章由李书杰编写，第 5、6 章由史涛、王福斌编写。在编写过程中参考了国内《电路》、《电工学》等教材。由于编著者学识有限，书中存在错误在所难免，希望广大读者提出宝贵意见和建议。

编著者
2011 年 8 月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

上篇 基础篇

第 1 章 实验综述	(1)
1.1 电路实验课的目的	(1)
1.2 电路实验课的要求	(1)
1.3 电路实验课的注意事项	(3)
1.3.1 人身安全	(3)
1.3.2 电对仪器设备的损坏	(3)
第 2 章 测量的基本知识	(5)
2.1 测量的基本概念	(5)
2.1.1 测量的概念	(5)
2.1.2 测量的单位	(5)
2.1.3 测量的方法	(6)
2.2 测量的误差	(7)
2.2.1 基本概念	(7)
2.2.2 误差的种类	(8)
2.2.3 误差的表示方法	(9)
第 3 章 电测量仪表及电路元件	(11)
3.1 常用的电路元件	(11)
3.1.1 电阻器	(11)
3.1.2 电容器	(13)
3.1.3 电感器	(14)
3.2 机电类仪表的概述及原理	(15)
3.2.1 仪表的组成及工作原理	(15)
3.2.2 机电类仪表的一般特性及要求	(17)
3.3 磁电式仪表	(21)
3.3.1 磁电式仪表的结构	(21)
3.3.2 磁电式仪表的工作原理	(21)
3.3.3 磁电式安培表	(23)
3.3.4 磁电式电压表	(24)
3.3.5 磁电式欧姆表	(25)
3.3.6 磁电式仪表的技术特性	(27)
3.4 整流式仪表	(27)
3.4.1 整流装置	(28)

3.4.2	整流式仪表的工作原理	(28)
3.5	电动式仪表	(30)
3.5.1	电动式仪表的结构与原理	(30)
3.5.2	电动式电流表与电压表	(32)
3.5.3	电动式瓦特表	(33)
3.6	电磁式仪表	(35)
3.7	电测量比较式仪表	(38)
3.8	数字式仪表及电子设备的使用	(42)

下篇 实 验 篇

第 4 章	电路实验	(49)
4.1	基尔霍夫定律与电位图	(49)
4.1.1	实验目的	(49)
4.1.2	实验原理	(49)
4.1.3	仪表设备	(51)
4.1.4	实验任务及步骤	(51)
4.1.5	实验结果	(52)
4.1.6	实验报告	(53)
4.2	叠加定理、替代定理	(53)
4.2.1	实验目的	(53)
4.2.2	实验原理	(53)
4.2.3	仪器设备	(53)
4.2.4	实验内容及步骤	(54)
4.2.5	实验结果	(54)
4.2.6	实验报告	(55)
4.2.7	注意事项	(55)
4.3	戴维南定理、诺顿定理	(55)
4.3.1	实验目的	(55)
4.3.2	实验原理	(55)
4.3.3	仪器设备	(56)
4.3.4	实验内容及步骤	(56)
4.3.5	实验报告	(57)
4.3.6	思考题	(58)
4.4	电路基本元件伏安特性的测定	(58)
4.4.1	实验目的	(58)
4.4.2	实验原理	(58)
4.4.3	仪表设备	(59)
4.4.4	实验内容与步骤	(59)

4.4.5	实验结果	(60)
4.4.6	实验报告	(61)
4.4.7	思考题	(61)
4.5	电压源与电流源及其等效转换	(61)
4.5.1	实验目的	(61)
4.5.2	实验原理	(61)
4.5.3	仪表设备	(62)
4.5.4	实验内容及步骤	(62)
4.5.5	实验结果	(64)
4.5.6	实验报告	(64)
4.6	受控源特性测试	(64)
4.6.1	实验目的	(64)
4.6.2	实验原理	(65)
4.6.3	仪器设备	(66)
4.6.4	实验任务及步骤	(66)
4.6.5	实验结果	(68)
4.6.6	实验报告	(69)
4.7	电路元件交流阻抗频率特性	(70)
4.7.1	实验目的	(70)
4.7.2	实验原理	(70)
4.7.3	仪器设备	(71)
4.7.4	实验内容及步骤	(71)
4.7.5	实验结果	(72)
4.7.6	实验报告	(73)
4.7.7	注意事项	(73)
4.8	交流电路元件参数的测量 (1)	(73)
4.8.1	实验目的	(73)
4.8.2	实验原理	(73)
4.8.3	仪器设备	(75)
4.8.4	实验内容及步骤	(75)
4.8.5	实验数据	(76)
4.8.6	实验报告	(76)
4.9	交流电路元件参数的测量 (2)	(77)
4.9.1	实验目的	(77)
4.9.2	实验原理	(77)
4.9.3	仪器设备	(78)
4.9.4	实验内容及步骤	(78)
4.9.5	实验数据	(78)
4.9.6	实验报告	(78)

4.9.7 思考题	(79)
4.10 互感电路	(79)
4.10.1 实验目的	(79)
4.10.2 实验原理	(79)
4.10.3 仪器设备	(81)
4.10.4 实验内容及步骤	(81)
4.10.5 实验报告	(83)
4.10.6 注意事项	(83)
4.11 荧光灯电路连接及功率因数提高实验	(83)
4.11.1 实验目的	(83)
4.11.2 实验原理	(83)
4.11.3 实验设备	(85)
4.11.4 实验内容及步骤	(85)
4.11.5 实验结果	(85)
4.11.6 实验报告	(86)
4.11.7 注意事项	(86)
4.11.8 思考题	(86)
4.12 变压器特性测试	(86)
4.12.1 实验目的	(86)
4.12.2 实验原理	(86)
4.12.3 仪器设备	(88)
4.12.4 实验任务及步骤	(88)
4.12.5 实验报告	(91)
4.12.6 注意事项	(91)
4.13 串联谐振电路实验测试	(91)
4.13.1 实验目的	(91)
4.13.2 内容说明	(91)
4.13.3 实验设备	(93)
4.13.4 实验内容及步骤	(93)
4.13.5 实验结果	(94)
4.13.6 实验报告	(95)
4.14 双口网络实验测试	(95)
4.14.1 实验目的	(95)
4.14.2 实验原理	(95)
4.14.3 仪器设备	(97)
4.14.4 实验内容及步骤	(97)
4.15 RC 网络幅频特性测试	(99)
4.15.1 实验目的	(99)
4.15.2 实验原理	(99)

4.15.3	实验设备	(101)
4.15.4	实验内容	(101)
4.15.5	实验结果	(102)
4.15.6	实验报告	(102)
4.16	一阶电路瞬态响应	(102)
4.16.1	实验目的	(102)
4.16.2	实验原理	(102)
4.16.3	实验设备	(104)
4.16.4	实验内容及步骤	(104)
4.16.5	实验结果	(105)
4.16.6	实验报告	(105)
4.17	二阶串联电路瞬态响应	(105)
4.17.1	实验目的	(105)
4.17.2	实验原理	(105)
4.17.3	实验设备	(107)
4.17.4	实验内容与步骤	(107)
4.17.5	实验报告	(108)
4.18	三相交流电路电压电流的测量	(108)
4.18.1	实验目的	(108)
4.18.2	实验原理	(108)
4.18.3	仪器设备	(110)
4.18.4	实验内容及步骤	(110)
4.18.5	实验结果	(111)
4.18.6	实验报告	(111)
4.18.7	注意事项	(111)
4.19	三相电路的功率测量	(112)
4.19.1	实验目的	(112)
4.19.2	实验原理	(112)
4.19.3	仪器设备	(113)
4.19.4	实验任务及步骤	(113)
4.20	负阻抗变换器	(114)
4.20.1	实验目的	(114)
4.20.2	实验原理	(114)
4.20.3	实验设备	(115)
4.20.4	实验内容及步骤	(116)
4.20.5	实验报告	(117)
4.20.6	注意事项	(117)
4.21	波形变换器的设计与测试	(117)
4.21.1	实验目的	(117)

4.21.2	实验原理	(117)
4.21.3	实验设备	(118)
4.21.4	实验要求及步骤	(118)
4.21.5	实验报告	(119)
4.21.6	思考题	(119)
4.22	回转器的应用	(119)
4.22.1	实验目的	(119)
4.22.2	实验原理	(119)
4.22.3	实验设备	(120)
4.22.4	实验内容及步骤	(121)
4.22.5	实验报告	(122)
4.22.6	注意事项	(122)
第 5 章	计算机仿真及辅助设计软件简介	(123)
5.1	Multisim 10.1 软件简介	(123)
5.1.1	Multisim10.1 元器件库简介	(124)
5.1.2	Multisim10.1 虚拟仪器仪表	(126)
5.1.3	Multisim10.1 基本电路分析方法	(130)
5.2	MATLAB 仿真软件	(137)
5.2.1	MATLAB 简介	(137)
5.2.2	MATLAB 的基本数学运算	(137)
5.2.3	Simulink 简介	(140)
第 6 章	典型电路实验仿真	(143)
6.1	直流电路实验仿真	(143)
6.1.1	线性电阻伏安特性实验	(143)
6.1.2	直流电路均匀性实验	(144)
6.1.3	电压源与电流源等效变换实验	(145)
6.1.4	受控源特性实验	(146)
6.2	电路定理验证性实验	(148)
6.2.1	基尔霍夫定律仿真实验	(148)
6.2.2	戴维南定理、诺顿定理仿真实验	(150)
6.2.3	叠加定理仿真实验	(152)
6.3	微分电路与积分电路实验	(153)
6.4	一阶电路动态响应实验	(155)
6.5	二阶电路动态响应实验	(157)
6.6	正弦稳态电路 MATLAB 计算	(159)
6.7	动态电路 Simulink 形式仿真	(160)

上篇 基础篇

第1章 实验综述

实验是为了认识世界或事物，为了检验某种科学理论或假定而进行的操作或活动。任何自然科学理论都离不开实践。科学实验是研究自然科学极为重要的环节，也是科学技术得以发展的重要保证。

对于电路课程来说，在系统学习了本学科理论知识的基础上，还要加强基本实验技能的训练，电路实验课即为这种技能训练的重要环节。它是工科院校教学过程的基本组成部分，也是电类专业学生的主要实验课之一。实验质量的高低将直接影响学生实际能力的高低，而实际能力则关系到学生今后的工作与发展，因此对于实验课应该给予足够的重视。

1.1 电路实验课的目的

通过实验要达到以下目的。

- (1) 通过实验，巩固、加深和丰富电路理论知识。
- (2) 学习正确使用电流表、电压表、功率表、调压器、变阻器等常用仪表和设备；掌握直流稳压电源、信号发生器、示波器等常用电子仪器的操作方法。
- (3) 掌握一些基本的电工、电子测试技术。
- (4) 提高学生选择实验方法、整理实验数据、分析误差、绘制曲线、判断实验结果、编写实验报告的能力。
- (5) 培养学生实事求是、严肃认真、细致踏实的科学作风和独立工作的能力。

1.2 电路实验课的要求

通常实验课分为课前准备、进行实验和课后完成实验报告三个阶段，各个阶段的要求如下。

1. 课前准备

- (1) 实验前仔细阅读教材有关内容，明确实验目的、任务与要求，了解完成实验的方

法和步骤；并结合实验原理复习相关的理论知识，完成必要的理论估算；设计好实验数据的记录表格，认真思考并解答预习思考题中的问题。

(2) 理解并牢记指导书中提出的注意事项，了解仪器、仪表的使用方法，防止实验过程中损坏。

(3) 完成预习报告，报告中应有实验目的、所用仪器设备、原理图及数据记录表格，课前交指导教师检查后才能进行实验。

(4) 计算机应用实验中，还应该预先完成程序的编制。

2. 进行实验

(1) 实验者应按预先安排好的顺序到相应的实验台上进行实验。先了解仪器、设备的规格、量程和性能等，检查仪器、设备是否齐全、完好，如发现问题应及时提出。

(2) 合理布局仪器、仪表的位置，使之符合安全、方便、整齐的原则。还要满足连线清晰、调节顺手、读数方便的特点。

(3) 在连接实验线路时，可以按照“先串后并”，“先主后辅”的原则接好无源部分后接电源部分。接电源前应该将电源开关置于断开状态，并将可调设备的旋钮、手柄、触头等置于最安全或者要求置放的位置。还应注意正确连接电子仪器的接地线，整个实验线路走线要整齐，线路松紧要适当，接线点不要过于集中于一点。

(4) 实验进行中要胆大心细，一丝不苟，对实验中出现的现象和所得数据应做好记录。随时分析、研究实验结果的合理性，如果发现异常现象，应及时查找原因，若遇到事故，应立即切断电源，并报告指导教师。

(5) 为了测取准确的数据，在选择测试点时应注意使其分布合理，如曲线的弯曲段应多取几个测试点。读数前要认清仪表量程值与标尺刻度值，合理选择量程；读数时要“眼、针、影”成一线；记录的数据应是依所选量程经换算后的值，应合理地读取有效数据（最末一位数为估计的存疑数）。每测试完一项任务，暂不要拆线，分析判断一下数据是否正确，若有错误可重新进行测试。要求对测量的数据，测前有预见，测后有判断。

(6) 实验内容全部完成后，原始记录经教师审查后方可拆除实验线路。拆线前应先切断电源，拆完线后将仪器设备复归原位，清理好导线经教师验收后才可离去。

3. 编写实验报告

(1) 编写实验报告是将实验结果进行归纳总结、分析与提高的阶段。实验报告应文理通顺、简明扼要、字迹端正、图表清晰、分析与论证得当。写实验报告应采用学校统一的实验报告纸，画曲线、波形应采用坐标纸。

(2) 实验报告应包括以下内容。

① 实验目的：填写实验的目的和意义。

② 实验仪器设备：填写实验实际使用的设备名称、型号和数量。

③ 实验原理图：绘制实验原理电路图及实验线路图。

④ 实验内容：填写必要的实验步骤、实验方法，列表记录实验数据，写出必要的数据处理过程。

⑤ 总结：对实验现象、数据进行分析处理，得出结论。实验中若有故障发生，应分析故障的原因，简述排除故障的方法；回答问题；谈谈本次实验的心得体会及建议。

1.3 电路实验课的注意事项

电路实验需要使用多种电气设备，因此安全用电尤为重要。安全用电是指使用各种用电设备时，为防止各种电气事故危及人的生命安全及设备的正常运行，所应采取的必要安全措施及用电的注意事项。

1.3.1 人身安全

电对人体的伤害是人体触电所造成的。触电就是指人体的不同部位同时接触到不同电位的带电体时，人体内就有电流通过而造成对人体的伤害。

1. 电流对人体的作用

电流通过人体所产生的效应经各国科学家的研究后指出：15~100Hz 交流电对人体的作用可分为 3 个范围，即感知电流、摆脱电流和室颤电流。感知电流约为 0.5mA，与用电时间无关；摆脱电流是人能够自主摆脱触电的带电体的电流，不超过 10mA；而室颤电流是指能造成人死亡或引起窒息的电流，与时间有密切关系，0.2s 以内，约 300mA，0.7s 以上，约 30mA。

2. 注意事项

电路实验室除了低压电源外，还有 220V 及 380V 高压源，属于非安全电压，可以使人触电。同时，有些设备在实验中需要运行旋转，如有不慎，也有可能发生触电。因此，在实验中要求切实遵守实验室的各项安全操作规程，严肃认真、细致踏实，确保实验的顺利完成。实验过程中应注意下列几点。

(1) 不得擅自接通电源，接通电源或启动运转类设备时，应先告知全组同学。

(2) 通电后，不允许人体触及任何带电部位。严格遵守“先接线后通电”、“先断电后拆线”的操作顺序。不得带电操作，以防发生触电事故。

(3) 实验前应检查各种设备是否放好，设备运转时，要防止人体碰到旋转部分。要当心衣角、围巾、辫子等被旋转部分绞入。不要用手或脚来制动设备，以免发生危险。

1.3.2 电对仪器设备的损坏

电气事故包括电击、电气火灾及故障引起的设备损坏。电击是由于绝缘损坏、雷电及人员操作不慎等引起的，而电气火灾往往是由于线路及设备的过电流、短路、高温而引燃引爆周围物体所引起的。因此，实验操作时应注意以下几点。

(1) 实验课时认真听指导教师讲解仪器、仪表的使用方法及注意事项,对实验台加倍爱护。这样既能保证学校实验课的正常开设,也培养了个人爱护公共财产的公共品德。

(2) 取放电工实验模块时要小心,移动仪器设备时要轻拿轻放。电气设备应按铭牌上规定的额定值使用。使用仪表时应选择适当的量程。使用电子仪器时应阅读有关说明书,熟悉使用方法,了解各旋钮的作用。

(3) 在实验过程中应关注仪器设备的运行情况,随时观察有无异常现象,例如,短路、过热、绝缘烧焦发出异味、声音不正常、电源熔丝熔断发出响声或合上电源而不工作等。出现上述情况时不要惊慌失措,应立即拉开总电源开关,防止事故扩大,保持现场,报告实验老师共同分析原因,排除故障。如果实验仪器和设备损坏,应如实填写事故报告单,以便处理。

(4) 不得脚踏或坐在设备上,不得用粉笔在仪表和实验台上写字,不得将导线和工具乱扔乱抛,也不要擅自取用其他电工实验台上的实验模块和仪器设备。

(5) 导线、工具及其他仪器设备不要靠近运动物体如电机,以免发生意外。

第2章 测量的基本知识

2.1 测量的基本概念

2.1.1 测量的概念

测量是人们借助专门设备,通过实验的方法,将被测的量与作为测量单位的已知量相比较的过程。在比较过程中,可以确定被测量的量是已知测量单位的几倍或者几分之几。通过测量,可以获取所研究对象的各种有关信息,从而总结出客观规律,得出正确的结论。测量的结果由两个部分组成:一是比较的数量;二是比较的单位。

电工测量是根据电磁现象的基本规律,用电工仪表对各种电磁量进行测量。随着工农业生产电气化、自动化程度的不断提高,为了保证生产过程的合理操作、电气设备的正常运行,必须不断地对各种电磁量进行测量,以掌握足够资料组织好生产。在科学研究方面,要求对所研究的对象提供数量上的依据,更离不开测量。所以,电工测量在生产和科研中具有十分重要的作用。

电工测量主要包括以下几个方面。

- (1) 电路基本电量的测量。电路的电压、电流、功率、电源的电势、信号波形、频率、相位等都是电路的电量。通常电量是指有源的量,具有一定的能量。
- (2) 电路参数的测量。如电阻、电容、电感、阻抗、品质因数、损耗等的测量。
- (3) 电路性能的测量。放大量、衰减量、灵敏度、频率特性等的测量。
- (4) 半导体器件的测量。二极管、三级管、场效应管、集成电路组件的测量。

2.1.2 测量的单位

关于测量单位,世界各国曾经用过不同的制式,如电磁单位制(CGSM)、静电单位制(CGSE)和实用单位制(MKSA)等。目前,我国均采用国际单位制(SI)。表 2-1 列出了电路分析中常用的国际单位制。

在实际使用中,对太大或太小单位,要在前面加上冠词,用于表示这些单位被一个以 10 为底的正次幂或负次幂相乘后所得到的辅助单位,见表 2-2。