



电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

电子测量实验教程

林占江 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

电子测量实验教程

林占江 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了电子测量实验的基础理论与实践教学。

上篇基础理论内容包括:常用电子元器件综述,常用电子元件的选用,常用分立器件与选用,集成电路与选用,贴片元器件,电子电路工艺基础、电子电路设计、电子测量仪器的正确使用与选型依据、电子测量仪器常用的检修方法、晶体管特性图示仪的原理与使用等。

下篇实验教学内容包括:稳压电源测试、测量误差实验、基本检波器实验、数字万用表功能检测实验、时域测量实验、信号发生器实验、运算放大器检测实验、数字电路逻辑功能检测实验、逻辑电平测试实验、相位与失真度测量实验、频率测量实验、电容、电感与阻抗测量实验、频域测量实验、非电量测量实验等。

本书在选材和结构上力求合理和创新,资料翔实,图文并茂,内容丰富,具有先进性、系统性、通用性、实践性和可读性;可作为高等院校电气信息类专业的教材、参考书或工具书,也可供从事电子技术研究、开发、设计和生产的工程技术人员阅读参考。

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

电子测量实验教程/林占江等编著. —北京:电子工业出版社, 2010. 5

电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

ISBN 978 - 7 - 121 - 10675 - 0

I. ①电… II. ①林… III. ①电子测量 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 062395 号

责任编辑:韩同平 特约编辑:李佩乾

印 刷:北京市李史山胶印厂

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:21.25 字数:544 千字

印 次:2010 年 5 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:38.00 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 zlt@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

本书是吉林大学“十一五”规划教材,也是《电子测量技术》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材,林占江编著,电子工业出版社出版)一书的配套实验教材。本书共分上、下两篇,上篇为基础理论部分,下篇为实验教学部分。全书以电子测量应用为主,注重理论联系实际,注重电子测量技术的理论性和实践性,强化对学生的技能培训和培养。

编写本书的宗旨是使学生掌握和运用现代电子测量的基本原理和方法,在科学实验中具备制定先进、合理的测量和测试方案,正确选用测量仪器,严格处理测量数据的技能。通过本书可以极大地提高学生的电路设计能力、实践动手能力、分析和解决问题的能力及独立工作能力。本书所介绍的电子电路多样新颖、典型实用,尽量做到精简理论分析,重点阐述测试方案设计和技能培训,强调实用和创新原则。在章节结构上做到循序渐进,各章节既保证相对的独立性,又能保证前后内容的连贯性。读者可通读全书内容,也可选读部分章节内容。书中内容结构严谨、层次分明、条理清晰、突出重点、叙述精练,有利于电子测量实验教学,有利于电子技术课程设计及学生毕业实习,增强学生的实践创新能力,加速培养创新型人才。

基于上述考虑,书中内容由两大部分组成:

1. 上篇——基础理论

- (1) 重点介绍常用电子元器件、集成电路和贴片元器件的种类、特性参数及选用规则。
- (2) 电子电路工艺基础,包括元器件选择和筛选、印制板制作、装配焊接、电路调试与检验等。
- (3) 电子电路设计,包括课题的提出与论证、总体方案的设计与选择、单元电路设计、元器件的选择、计算参数、绘制总体电路图。在硬件设计的基础上,又增加了软件设计。
- (4) 电子测量仪器的正确使用与选型依据,重点介绍多种典型电子测量仪器的选型依据与使用要点。
- (5) 电子测量仪器常用的检修方法和维护方法。
- (6) 电磁兼容设计,介绍电磁干扰的种类、特点、产生机理及抗干扰措施。
- (7) 晶体管特性图示仪的使用。详细介绍晶体管特性图示仪的工作原理、主要技术指标,测试二极管、三极管、场效应管的操作方法和步骤。

2. 下篇——实验教学

重点阐述稳压电源,测量误差,基本检波器,数字万用表功能检测,时域测量,信号发生器

检测,运算放大器检测,数字电路逻辑功能检测,逻辑电平测试,相位与失真度测量,频率测量,电容、电感与阻抗测量,频域测量,非电量测量等实验的工作原理、实验内容和测试方法等。

本书第8、12、15、17~20、22章由吉林大学林占江编写,第2~7章由广东工业大学林放编写,第11、13、25章由北京全路通信信号研究设计院孙超编写,第14、21章由吉林大学林占江、马海涛编写,第16、24章由吉林大学林占江和武汉工业学院石雄编写,第1、9、10章由江苏徐州隆宇电子仪器有限责任公司林鹏编写。全书由林占江统稿。

本书在编写过程中,江苏徐州隆宇电子仪器有限责任公司(原徐州电子仪器厂)提供了大量资料,并给予了大力支持和帮助;电子工业出版社韩同平编辑对本书的策划、出版付出了辛勤的劳动。在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

需要说明的是,本书下篇中,电路图用 Protel 软件绘制,与实验平台中实际电路一致,便于学生实际操作,与国家电气图形符号规范有差异。

有关本书及 LYCL—1 型电子测量实验平台,请与本书责任编辑联系:010-88254525

目 录

上篇 基础理论

第1章 概论	(1)
1.1 电子测量的意义及特点	(1)
1.2 电子测量的内容与方法	(2)
第2章 常用电子元器件综述	(5)
2.1 电子元器件的主要参数	(5)
2.1.1 特性参数	(5)
2.1.2 规格参数	(6)
2.1.3 质量参数	(8)
2.2 电子元器件的选用	(12)
2.3 电子元器件的环境试验	(13)
第3章 常用电子元件的选用	(16)
3.1 电阻器	(16)
3.1.1 电阻器的分类	(16)
3.1.2 电阻器的规格标志方法	(18)
3.1.3 电阻器的主要参数	(20)
3.1.4 电阻器的正确选用	(23)
3.1.5 电位器	(24)
3.2 电容器	(28)
3.2.1 电容器的分类	(28)
3.2.2 电容器规格的标志方法	(30)
3.2.3 电容器的主要参数	(33)
3.2.4 电容器的正确选用	(34)
3.2.5 电容器的质量判别	(37)
3.3 电感器	(38)
3.3.1 电感器的种类及型号命名	(38)
3.3.2 变压器	(41)
3.3.3 电感器的主要参数	(43)
3.3.4 电感器的正确选用及质量判别	(44)
3.4 开关与接插元件	(45)
3.4.1 开关	(45)
3.4.2 接插件	(56)

第4章 常用分立器件与选用	(57)
4.1 半导体分立器件的型号命名	(57)
4.2 晶体二极管	(58)
4.3 晶体三极管	(61)
4.4 场效应管	(66)
第5章 集成电路与选用	(70)
5.1 集成电路型号命名方法	(70)
5.2 集成电路的分类	(77)
5.3 集成电路的特点	(80)
5.4 集成电路的封装形式及引脚识别方法	(80)
5.5 集成电路的检测及其方法	(82)
5.6 集成电路代换原则与方法	(83)
第6章 贴片元器件	(85)
6.1 贴片元器件的特点与分类	(85)
6.2 贴片元件	(86)
6.3 贴片器件	(89)
第7章 电子电路工艺基础	(92)
7.1 常用材料	(92)
7.1.1 导线	(92)
7.1.2 绝缘材料	(95)
7.1.3 磁性材料	(97)
7.2 常用装配工具与焊接技术	(97)
7.3 印制电路板设计	(106)
7.4 印制电路板的制造工艺基础	(107)
7.5 接线工艺	(112)
第8章 电子电路设计	(113)
8.1 电子电路设计方法与步骤	(113)
8.2 电路调试技术	(119)
8.3 调试举例	(122)
8.4 电磁兼容设计	(129)
8.4.1 干扰的种类及其产生机理	(129)
8.4.2 电源干扰及其危害	(132)
8.5 抑制电磁干扰的具体措施	(136)
8.5.1 滤波设计	(136)
8.5.2 屏蔽设计	(138)
8.5.3 接地设计	(146)
8.5.4 常用抗干扰器件	(150)
8.5.5 软件抗干扰设计简介	(153)
第9章 电子测量仪器的正确使用与选型依据	(157)
9.1 关于仪器名称的术语	(157)

9.2	电子测量仪器的选择	(157)
9.3	典型电子测量仪器的选型依据与使用要点	(158)
9.3.1	信号发生器	(158)
9.3.2	数字电压表	(160)
9.3.3	通用计数器	(162)
9.3.4	示波器	(163)
9.3.5	逻辑分析仪	(165)
9.3.6	扫频仪	(166)
9.3.7	频谱分析仪	(167)
9.3.8	失真度仪	(168)
9.3.9	晶体管特性图示仪	(169)
9.3.10	集成电路测试仪	(170)
第10章	电子测量仪器常用的检修方法	(172)
10.1	常用检修方法	(172)
10.2	仪器校准	(176)
10.3	电子测量仪器的维护	(176)
第11章	晶体管特性图示仪原理与使用	(179)
11.1	概述	(179)
11.2	基本组成	(180)
11.3	集电极扫描信号发生器	(181)
11.4	阶梯波信号发生器	(182)
11.5	X轴、Y轴放大器	(185)
11.6	示波管及其直流供电电路	(186)
11.7	低压电源	(188)
11.8	晶体管特性图示仪的使用说明	(189)
11.9	器件测试举例	(192)
11.9.1	三极管(例如3DG6)输出特性测试	(192)
11.9.2	场效应管(例如3DJ6H)的测试	(195)
11.9.3	光电耦合器(例如GD316)的测试	(197)
11.9.4	二极管的测试	(197)
11.9.5	晶体闸流管SCR(例如3CT5B)的测试	(200)

下篇 实验教学

第12章	稳压电源测试	(203)
第13章	测量误差实验	(206)
第14章	基本检波器实验	(209)
第15章	数字万用表功能检测实验	(216)
第16章	时域测量实验	(228)
16.1	示波器测量实验	(228)
16.2	模拟双踪示波器的使用	(235)

16.3 数字存储示波器的使用	(239)
第 17 章 信号发生器实验	(252)
第 18 章 运算放大器检测实验	(258)
第 19 章 数字电路逻辑功能检测实验	(263)
第 20 章 逻辑电平测试实验	(271)
第 21 章 相位与失真度测量实验	(275)
21.1 移相电路与低频相位测量实验	(275)
21.2 失真度测量实验	(277)
第 22 章 频率测量实验	(280)
第 23 章 电容、电感与阻抗测量实验	(289)
23.1 电容测量实验	(289)
23.2 电容阻抗(容抗)测量实验	(293)
23.3 电感测量实验	(294)
23.4 电感阻抗(感抗)测量实验	(298)
第 24 章 频域测量实验	(300)
24.1 扫频仪的使用	(300)
24.2 频率特性测试实验	(305)
24.3 频谱分析仪的使用	(310)
24.4 频谱特性测试实验	(314)
第 25 章 非电量测量实验	(318)
附录 A LYCL—1 型电子测量实验平台简介	(327)
参考文献	(331)

上篇 基础理论

第1章 概 论

“电子测量实验”是实践性很强的一门应用学科,是“电子测量技术”课程的重要教学环节,是学习和实验电子测量技术的综合性训练。在做电子测量实验之前必须了解和明确什么是电子测量,只有掌握了电子测量的意义、特点、内容和方法之后,才能使电子测量实验的效果更完善,更理想。

1.1 电子测量的意义及特点

1. 电子测量的意义

测量的定义是:为确定被测对象的量值而进行的实验过程。

测量是人类对客观事物取得数量概念的认识过程,是人们认识和改造自然的一种不可缺少的手段。在自然界中对任何被研究的对象,若要定量地进行评价,则必须通过测量来实现。在电子技术领域中,科学的分析只能来源于正确的测量。

测量技术主要研究测量原理、方法和测量仪器等方面的内容。凡是利用电子技术进行的测量都可以称为电子测量。电子测量涉及宽频率范围内的所有电量、磁量,以及各种非电量的测量。电子测量广泛应用于科学研究、实验测试、工农业生产、通信、医疗及军事等领域。如今电子测量已经成为一门发展迅速、应用广泛、精确度越来越高、对现代科学技术发展起着巨大推动作用的独立学科。由于在电子技术领域中的新理论、新技术、新器件、新材料和新工艺的不断涌现,使电子测量得到了前所未有的迅速发展。并且使电子测量仪器向小型便携、集多种功能于一机和廉价可靠、操作方便等方向迈进。电子测量技术的水平,是衡量一个国家科学技术水平的重要标志之一。

2. 电子测量的特点

与其他测量相比,电子测量具有几个明显的特点:

(1) 频率范围宽

除测量直流电量外,还可以测量交流电量,其频率范围低至 10^{-4} Hz,高至数 THz ($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$,读做太[拉]赫兹)。电子测量设备能够工作在这样宽的频率范围内,使它的应用范围大为扩展。如果利用各种传感器,则几乎可以测量全部电磁频率的物理量。当然,对于不同频段测量需要采用不同的测量方法与测量仪器。

(2) 量程范围广

量程是仪器测量范围上限值与下限值之差。由于被测量的值相差很大,因而要求测量仪器

具有足够的量程。对一台电子仪器,通常情况下要求最高量程与最低量程要相差几个甚至十几个数量级。例如,一台数字电压表,要求能测出从纳伏(nV)级至千伏级的电压;用于测量频率的电子计数式频率计,其高低量程相差近 17 个数量级。量程范围广 是电子测量的突出优点。

(3) 测量准确度高

电子测量的准确度比其他测量方法的准确度要高得多。例如,长度测量的准确度最高为 10^{-8} ,而采用电子测量方法对频率和时间进行的测量,由于采用原子频标和原子秒作为基准,可以使测量准确度达到 10^{-15} 数量级,这是目前人类在测量准确度方面达到的最高指标。电子测量的准确度高,是它在现代科学技术领域内得到广泛应用的重要原因之一。由于目前频率测量的准确度最高,所以人们尽可能地把其他参数变换成频率信号再进行测量。

(4) 测量速度快

由于电子测量是通过电子技术实现的,因而测量速度极快。这也是电子测量在现代科学技术领域内得到广泛应用的一个重要原因。例如,洲际导弹的发射和运行过程中就需要快速测出它的工作参数,通过计算机运算,再对它的运行发出控制信号,以使它达到预期的目标,这个过程如果测量速度很慢,就不能进行及时调整,自动控制系统就会失去作用。

同样道理,工业自动控制系统中,在生产线上进行“在线测量”,及时对机械运转状态或物质成分的比例进行调节,对于提高生产效率和产品质量都具有重大意义。在某些场合,要求对测量结果迅速进行数据处理,再发出控制信号,即对测量速度提出了更高的要求。

在有些测量过程中,希望对同一量在相同条件下进行多次测量,再用求平均值的方法以减小误差。但是测量条件容易随时间变化,这时可以采用提高测量速度的方法,在短时间内完成多次测量,从而提高精确度。

(5) 易于实现遥测和测量过程的自动化

对于人体不便于接触和无法达到的区域,例如深海、地下、高温炉、核反应堆等,可以将传感器埋入其内部或通过电磁波、光、辐射等方式进行测量,这就是一般所说的遥测。

电子测量同电子计算机相结合,使测量仪器智能化,并在自动化系统中占据重要的地位,尤其是大规模集成电路和微处理器的广泛应用,使电子测量呈现了崭新的局面。例如,自动转换量程、自动调节、自动校准、自动记录、自动进行数据处理、自动修正等。

电子测量技术的最新水平是科学技术最新成果的反映。因此,一个国家电子测量技术的水平是这个国家科学技术水平的标志,这是电子测量技术引人注目的原因所在。

(6) 易于实现仪器小型化

随着微电子器件集成度的不断提高,可编程器件、微处理器及专用集成电路(ASIC)的采用,电子测量仪器正向小型化、数字化、宽带化、智能化、综合化和网络化的方向发展。特别是随着模块式仪器系统的采用,把多个仪器模块连同计算机装入一个机箱内组成自动测试系统,使之更为紧凑。目前,出现了智能仪器、模块仪器、卡式仪器及虚拟仪器等电子测量仪器。

1.2 电子测量的内容与方法

随着电子技术的不断发展,测量的内容越来越多。对于电参数的测量,分为电磁测量与电子测量两类,前者注重研究交、直流电量的指示测量法与比较测量法,以及电磁量的测量方法等。后者是以电子技术理论为依据,以电子测量仪器和设备为手段,以电量和非电量为测量对

象的测量过程。

1. 电子测量的内容

- (1) 电能量的测量(各种频率和波形的电压、电流、电功率等);
- (2) 电信号特性的测量(信号波形、频率、相位、噪声以及逻辑状态等);
- (3) 电路参数的测量(阻抗、品质因数、电子器件的参数等);
- (4) 导出量的测量(增益、失真度、调幅度等);
- (5) 特性曲线的显示(幅频特性、相频特性及器件特性等);
- (6) 元器件参数的测量,例如电阻、电感、电容、电子器件(晶体二极管、晶体三极管、场效应管及集成电路等)。

随着电子技术的发展,人们力图通过传感器将许多非电量转换成电信号,再利用电子技术进行测量。例如天文观测、宇宙航行、地震预报、矿物探测及生产过程检验中的温度、压力、流量、液位、速度、位移,以及物质成分分析等,都可以转换成电信号进行测量。

电子测量除了对电参量进行稳态测量以外,还可以对自动控制系统的过渡过程及频率特性等进行动态测量。例如,通过对一个轧钢的电气传动系统模拟,计算机可以自动描绘出动态曲线;对于化工系统生产过程进行自动检测与分析等。

当然,其他科学技术领域,例如微电子技术、光电技术、计算机技术、近代物理学等的发展,也对电子测量技术起着巨大的推动作用。同时由微型计算机、单片机(MCU)、数字信号处理器(DSP)等组成的自动化、智能化仪器不断涌现。各学科和领域这种相辅相成、互相促进的情况表明,掌握电子测量技术对理工科大学生及科技人员是十分重要的。

2. 电子测量的方法

为实现测量的目标,选择正确的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) 按测量方法划分

① 直接测量法

直接测量是指无须通过被测量与其他实际测得量之间的函数关系进行计算,而是直接得出被测量值的一种测量方法。

注:a. 即使需要借助图表,才能将测量仪器的标度值转换成测量值,该测得量也认为是直接测得的;

b. 即使为了进行校正,需要做一些补充测量以确定影响量的值,也仍认为是直接测量的。例如,用电压表测量晶体三极管各极的工作电压等。

② 间接测量法

间接测量是指利用直接测量的量与被测的量之间已知的函数关系,得到该被测量值的测量方法。例如,测量电阻消耗的功率 $P = UI = I^2 R = U^2 / R$, 可以通过直接测量电压、电流或测量电流、电阻等方法求出。

当被测量不便于直接测量,或者间接测量的结果比直接测量更为准确时,多采用间接测量方法。例如测量晶体三极管集电极电流,多采用直接测量集电极电阻(R_c)上的电压,再通过公式 $I_c = U_c / R_c$ 算出,而不用断开电路串入电流表的方法。测量放大器的电压放大倍数 K , 一般是先分别测量输出电压 U_o 与输入电压 U_i 后,再计算出 $K = U_o / U_i$ 。

③ 组合测量法

它是兼用直接测量与间接测量的方法。将被测量和另外几个量组成联立方程组,通过直接测量这几个量,再求解联立方程组,从而得出被测量的大小。用计算机来求解,是比较方便的。

(2) 按获取测量结果方式划分

① 直读测量法

它是直接从仪器仪表的刻度线上读出测量结果或从显示器上直接显示出来的方法。例如,一般用电压表测量电压、利用温度计测量温度等都是直读法。这种方法是根据仪器仪表的读数来判断被测量的大小的,作为计量标准的实物并不直接参与测量。这种方法具有简单方便等优点,因而被广泛应用。

② 比较测量法

在测量过程中,被测量与标准量直接进行比较而获得测量结果的方法。电桥就是典型的例子,利用标准电阻(电容,电感)对被测量进行测量。

由上述可见,直读法与直接测量法、比较法与间接测量法并不相同,二者互有交叉。例如,用电桥测电阻,是比较法,属于直接测量法;用电压、电流表测量功率,是直读法,但属于间接测量法。

测量方法还可以根据测量的方式分为自动测量和非自动测量、原位测量和远距离测量等。

根据测量精度划分,有精密测量与工程测量两类。前者多在计量室或实验室进行,其目的是深入研究测量误差问题。后者也要研究测量误差,但不是很严格,所选用的仪器仪表的准确度等级必须满足实际使用的需要。

(3) 按测量性质划分

尽管被测量的种类繁多,但它们总要在一定的电路中反映出自己的特点。大致有五种情况:

① 时域测量。例如电压、电流测量等,它们有稳态量和瞬态量。前者多用仪器仪表直接指示,后者可以通过示波器显示其波形,观察其变化规律。

② 频域测量。例如增益、相移测量等,通过分析电路的幅频特性或频谱特性等进行测量。

③ 数据域测量。这是用逻辑分析仪对数字量进行测量的方法,它具有多个输入通道,可以同时观测许多单次并行的数据。例如微处理器地址线、数据线上的信号,可以显示时序波形,也可以用“1”、“0”显示其逻辑状态。

④ 调制域测量。例如调幅波、调频波等。有时在信号的测量中,调制域比频域、时域的描述更为准确。也有专门用于调制域测量的调制域分析仪。

⑤ 随机量测量。例如各类噪声、干扰信号等,利用噪声信号源等进行动态测量是一种比较新的测量技术。

在电子测量中,经常采用各种变换技术。例如变频、分频、检波、斩波及电压-频率($U-F$)、电压-时间($U-T$)、模数(A/D)、数模(D/A)转换等,这对提高测量精度是非常有用的。

3. 选择测量方法的原则

在选择测量方法时,应首先研究被测量的特性,所需要的测量精确程度,环境条件,以及所具有的测量设备等因素,经综合考虑后,再确定采用何种测量方法和选择哪些测量仪器和设备。

正确的测量方法,可以得到精确的测量结果,否则就会出现:得出的测量数据是错误的,不可信赖的;损坏测量仪器仪表,损坏被测设备或元器件等。

第2章 常用电子元器件综述

电子电路中,常用的元器件有电阻器、电容器、电感器等分立元件和集成电路等。电子元器件是一个品种繁多、数量庞大的电子基础产品,它是组装任何一个仪器仪表、电子装置、设备和系统的基础。目前随着微电子技术和信息技术的飞速发展,新型电子元器件不断涌现,推动了仪器仪表、电子装置、设备和系统向超高速、小型化、数字化、多功能化、智能化、网络化、综合化迈进。合理地选用电子元器件关系到电子电路设计的水平,电子元器件的质量直接决定电子电工产品性能的优劣。

2.1 电子元器件的主要参数

电子元器件的主要参数有三种:特性参数、规格参数和质量参数。这些参数从不同的角度反映了电子元器件的电气性能。三个参数之间相互联系又相互制约,共同决定了电子元器件的质量优劣。

2.1.1 特性参数

电子元器件的特性参数用于描述电子元器件在电路中的电气性能,通常可用该元器件的名称来表示。例如电阻特性、二极管伏安特性或晶体三极管的输出特性等。如果用在元器件两端所施加的电压与通过其中的电流的关系来表达该元器件的特性参数,即为元器件的伏安特性。电子元器件的伏安特性大多是一条直线或曲线,不同的元器件在不同的测试条件下,其伏安特性也可以是一条折线或一簇曲线。

图2-1所示为三种常用电子元器件的伏安特性曲线。

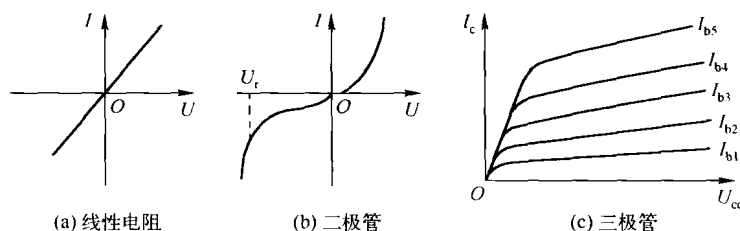


图2-1 元器件的伏安特性曲线

在图2-1中,图(a)是线性电阻的伏安特性,在一般情况下,线性电阻的阻值是一个常数,其值不随外加电压的大小而变化,符合欧姆定律 $R = U/I$,常用的电阻大多数属于这一类。图(b)是晶体二极管的伏安特性曲线,从图中可以描绘出晶体二极管的正向导电性能和它在某一特定电压值的反向击穿特性。图(c)是晶体三极管的伏安特性曲线,又称为输出特性曲线,这是一簇以基极电流 I_b 为参数的曲线簇,对应于不同的 I_b 电流值则有相对应的不同的 I_c 电流值,有一个 I_b 就有一个 I_c ,对应一条 $U_{ce} - I_c$ 曲线,多条 $U_{ce} - I_c$ 曲线构成了晶体三极管的输

出特性曲线。从这簇曲线中可以得出晶体三极管的电流放大系数为

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

不同种类电子元器件具有不同的伏安特性,伏安特性可能是线性的也可能是非线性的,如电阻为线性元件,晶体三极管为非线性器件。在实际应用中应根据具体电路的要求选择不同的电子元器件种类。

2. 1. 2 规格参数

电子元器件的规格参数用于描述电子元器件参数的数值,它包括标称值,额定值和允许偏差值等。电子元器件在整机中要占有一定的体积空间,其外形尺寸也是一种规格参数。

1. 标称值和标称值系列

电子元器件在生产过程中受材料、工艺、技术、设备和环境等条件的影响和限制,其数值不可避免地具有离散性的特点。在具体电路中对于元器件数值的要求也是多种多样的,为了使电子元器件的技术指标达到设计要求,其数值必须规定在一定的范围内有效,即规定出电子元器件一系列的数值作为产品的标准值,也称标称值。

电子元器件的标称值分为特性标称值和尺寸标称值两种,分别用于描述电子元器件的电气特性和机械结构。例如,一只电阻的特性标称值包括阻值、额定功率、允许偏差(精度)等,其尺寸标称值包括电阻体及引线的直径、长度等。又如一只晶体三极管的特性标称值包括直流参数、交流参数、开关参数和极限参数等,尺寸标称值包括直径、长度等。

一组有序排列的标称值叫做标称值系列。电阻、电容、电感等元件的标称值系列(E系列)是一样的,这里以E24为例加以说明,见表2.1,详细内容请参阅第3章相关部分。

表 2. 1 元件特性标称值系列(E24)表

系 列	标 志	允 许 偏 差	特性标称数值
E24	J(1)	±5%	1.0,1.1,1.2,1.3,1.5,1.6,1.8,2.0,2.2,2.4,2.7,3.0,3.3,3.6,3.9,4.3,4.7,5.1,5.6,6.2,6.8,7.5,8.2,9.1

元件的标称值系列大多为两位有效数字。精密元件的特性数值一般是三位或四位有效数字。标称值应该符合系列规定的数值,并用系列数值乘以倍率数10(*n*为整数)来具体表示一个元件的参数。例如,符合标称值系列的电阻有1.0 Ω、10 Ω、100 Ω、1.0 kΩ、10 kΩ、100 kΩ、1.0 MΩ、10 MΩ等,可以表示为

$$1.0 \times 10^n \Omega \quad (n=0,1,2,3,4,\cdots)$$

又如,符合标称值系列的电容量有1.5 pF、15 pF、150 pF、1500 pF(1.5 nF)、0.015 μF(15 nF)、0.15 μF(150 nF)、1.5 μF、15 μF、150 μF、1500 μF(1.5 mF)等,可以表示为

$$1.5 \times 10^n F \quad (n=-12,-11,-10,\cdots)$$

在机械设计中规定了长度尺寸标称系列,并且分为首选系列(也叫第一系列、第二系列)。同样,对电子元器件的外型尺寸也规定了标准系列。例如,元器件的封装外壳可分为圆形、扁平型、双列直插式等几个系列;元器件的引线有轴向和径向两个系列等。

又如,大多数小功率元器件的引线直径标称值为0.5 mm或0.6 mm(英制20 mil=0.02 in或24 mil=0.024 in),双列和单列直插式集成电路的引脚间距一般是2.54 mm或5.08 mm等。

因此在生产和制造电子整机产品的时候,不仅要考虑电子元器件的电气特性是否符合要求,其外型尺寸是否规范、是否符合标准也是重要的选择依据。特别是近年来迅速发展的 SMT(表面安装技术)元器件,就是根据它们的封装方式和外形尺寸进行分类的。

规定数值的标称值、标称值系列使生产企业进入了标准化的生产和管理,为电子电路设计工作带来了方便。标准化的元器件具有良好的可更换性,为电子电路、整机产品设计工作提供了优越条件,节省了时间,提高了工作效率。

2. 允许偏差和精度等级

实际生产出来的元器件,其数值不可能和标称值完全一样,总会有一定的偏差。用百分数表示的实际数值和标称数值的相对偏差,反映了元器件数值的精密程度。对于一定标称值的元器件,大量生产出来的实际数值呈现正态分布,为这些实际数值规定了一个可以接受的范围,即为相对偏差规定了允许的最大范围,叫做数值的允许偏差(简称允差)。不同的允许偏差也叫做数值的精度等级(简称精度),并为精度等级规定了标准系列,用不同的字母表示。例如,常用电阻器的允许偏差有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 三种,分别用字母 J、K、M 标志它们的精度等级(以前曾用 I、II、III 表示)。精密电阻器的允许偏差有 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$,分别用 G、F、D 标志精度。常用元件数值的允许偏差符号见表 2.2。

表 2.2 常用元件数值的允许偏差符号

允许偏差 (%)	± 0.1	± 0.25	± 0.5	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	$+20$ -10	$+30$ -20	$+50$ -20	$+80$ -20	$+100$ 0
符号	B	C	D	F	G	J	K	M			S	E	H
曾用符号						I	II	III	IV	V	VI		
分类	精密元件					一般元件					适用于部分电容器		

根据电路对元器件的参数要求,允许偏差又分为双向偏差和单向偏差两种,如图 2-2 所示。

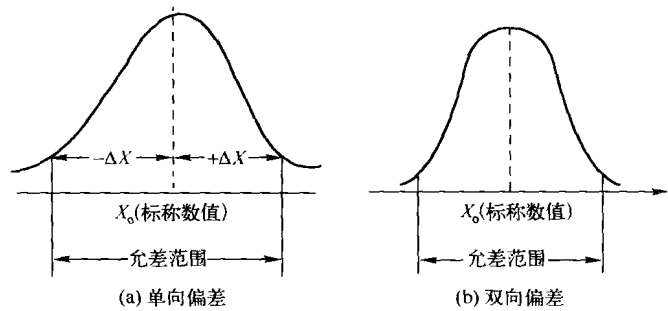


图 2-2 元器件的数值分布

一般情况下,元器件的标称值可以采用单向偏差或双向偏差,至于采用哪种形式的偏差要根据实际电路的具体要求,对电子元器件的精度等级进行合理的选用。精度等级越高,其数值允许的偏差范围越小,元器件就越精密。

3. 额定值与极限值

(1) 额定值

电子元器件在工作时,要受到电压、电流的作用,要消耗功率。电压过高,会使元器件的绝

绝缘材料被击穿;电流过大,会引起消耗功率过大而发热,导致元器件被烧毁。电子元器件所能承受的电压、电流,以及消耗的功率还要受到环境条件的影响。为了确保电子元器件在正常工作时其特性和参数保持不变,规定了电子元器件的额定值,一般包括额定工作电压、额定工作电流、额定功率消耗及额定工作温度等。电子元器件的额定值也有系列标称值,其系列数值因元器件不同而有所区别。

(2) 极限值

电子元器件的工作极限值就是最大值,分别表示元器件能够保证正常工作时的最大极限。例如,最大工作电压、最大工作电流、最高功耗和最优良的工作环境。需要说明的是,元器件的同类额定值与极限值不相等,元器件的各个额定值或极限值之间没有固定的关系,等功率消耗规律在特定条件下并不成立,当电子元器件的工作条件超过某一额定值时,其他参数指标就要相应地降低,一般情况下,要考虑降额使用元器件的参数。对于某种电子元器件,通常都是根据自身的特点及工作需要而定义几种额定值和极限值作为它的规格参数。除标称值、允许偏差值和额定值、极限值以外,各种电子元器件还有其自身特定的规格参数,例如,晶体三极管的特征频率 f_T ,截止频率 f_c ,线性集成电路的开环放大倍数 K_o ,数字集成电路的扇出系数 N_o 等。在选用电子元器件时,应根据具体电路的实际要求选用这些参数。

2.1.3 质量参数

电子元器件的质量参数包括温度系数、噪声电动势、高频特性、机械强度、可焊性及可靠性等。

1. 温度系数

电子元器件的特性及规格参数会随使用环境温度的变化而变化,温度每变化 1°C ,其数值变化的百分数叫做温度系数,单位为 $1/^{\circ}\text{C}$ 。温度系数描述了元器件的数值稳定性,温度系数越小,它的数值越稳定,反之则数值稳定性越差。温度系数还有正负之分,正温度系数表示当环境温度升高时元器件的数值增加;负温度系数表示当环境温度升高时元器件的数值减小。电子元器件的温度系数主要取决于元器件的制作材料,例如碳膜电阻器的温度系数较大,为 $1500 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,而精密线绕电阻器的温度系数却很小,仅为 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。除了制作材料外,元器件的结构及制作工艺等因素也会对温度系数产生影响。

任何电子元器件都存在温度系数,而温度系数又会影响整机工作的稳定性和可靠性,因而它对整机工作的环境温度范围形成了约束。当整机工作环境温度范围较大时,应当选用温度系数较小的元器件,只有这样才能保证整机工作的稳定性和可靠性。

在电子元器件中还有一些热敏元件,它是利用某些材料对温度特别敏感的特性而制成的,如各种类型的热敏电阻等。这些元件的温度系数比较大,且温度在很大范围内变化时温度系数是一个常数。

2. 噪声电动势和噪声系统

电子设备的内部及外部都存在着各种电磁干扰,在电子设备中希望输出端输出的信号都是有用的信号,不存在有害的干扰信号,但是,客观上输出端不但含有有用的信号,还掺杂着无用的电磁干扰信号。这种电磁干扰分为外部干扰和内部干扰,外部干扰信号由电子设备或系统以外因素产生的,如雷电、宇宙噪声等都会通过电磁波辐射经电子设备或系统接收,放大后