

实用电子与电气基础



Electronics Principles and
Applications, Eighth Edition

实用电子学原理 与故障诊断 (第8版)

【美】 Charles A. Schuler 著

周玉坤 冼立勤 李秀滢 李雪梅 译

Electronics Principles
and Applications
Eighth Edition



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

经典译丛·实用电子与电气基础

实用电子学原理与故障诊断

(第8版)

Electronics Principles and Applications, Eighth Edition

[美] Charles A. Schuler 著

周玉坤 冼立勤 李秀滢 李雪梅 译

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍了模拟器件、电路和系统,给出了模拟电子学领域的许多通用数字技术。内容涉及基础知识、半导体、二极管、电源、晶体管、小信号放大器、大信号放大器、运算放大器、振荡器、数字通信、集成电路、电子控制设备与电路、稳压电源、数字信号处理等。书中实物图片丰富、题型多样,且不要求读者具有高深的数学知识。

本书的主要目的是为电子和电气领域从业者提供入门性的知识与技巧,帮助技术人员做好有效诊断、维修、校验、安装和更新电子电路与系统的准备,也为进一步深入学习模拟电子概念、器件理论和现在数字设计奠定坚实的基础。

Charles A. Schuler, Electronics Principles and Applications, Eighth Edition.

ISBN: 978-0-07-337379-9, Copyright © 2013 by McGraw-Hill Education.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and Publishing House of Electronics Industry. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2014 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of McGraw-Hill Education (Singapore) Pte. Ltd. and Publishing House of Electronics Industry.

版权所有。未经出版人事先书面许可,对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播,包括但不限于复印、录制、录音,或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和电子工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾)销售。

版权©2014 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与电子工业出版社所有。本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2013-5736

图书在版编目(CIP)数据

实用电子学原理与故障诊断:第8版/(美)舒勒(Schuler C. A.)著 周玉坤等译. —北京:电子工业出版社,2014.2
(经典译丛·实用电子与电气基础)

书名原文:Electronics Principles and Applications, Eighth Edition

ISBN 978-7-121-21963-4

I. ①实… II. ①舒… ②周… III. ①电子学 IV. ①TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 279362 号

策划编辑:谭海平

责任编辑:谭海平 特约编辑:王 崧

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:三河市皇庄路通装订厂

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:29.5 字数:793 千字

印 次:2014 年 2 月第 1 次印刷

定 价:75.00 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。

译者序

本书是一本优秀的电学入门教材，目标是使读者掌握电子学的基本概念、基本原理、基本计算和典型电路的基本分析方法，强调理论、实践、应用和经验，为后续课程的学习提供必要的基础知识和实用技能，为进一步学习和深造打好基础。

本书作者于 1966 年获得美国得克萨斯农工大学教育学博士学位，出版了 7 本关于电路和电子学的教材、实验手册，在宾州加利福尼亚大学讲授电子学技术和机电工程技术达 30 年，具有深厚的理论功底和丰富的实践经验。

全书共 16 章，内容涉及固态理论、晶体管、增益的概念、放大器、振荡器、电子通信和数据传输、集成电路、控制电路、稳压电源和数字信号处理，作为本书实用性的实例，每章都有关于电路和系统的故障排除。该书可供我国大专院校电气、电子、计算机与自动化专业选做教材或教学参考书，也可供相关学科的科技人员自学或参考。

通过对本书的翻译，译者总结本书有以下几个特点，即语言方面有亲和性、学习过程有成就感、学习内容具有实用性、教学方法有启发性。

(1) 逻辑清晰、语言表达准确、内容详细、例题丰富，对于任何不易理解的知识点都有详细的解释说明和例题演示，语言朴实，如老师在身边辅导，循循善诱、娓娓道来，很有亲和力。

(2) 作者对内容进行了合理组织安排，从最基本的常识讲起，内容逐渐加深，难度适中，容易理解，没有跳跃式的难度变化，全书读下来感觉有如攀爬一个连续而又缓慢的上坡，不知不觉中已经上升了一定高度，令人有成就感，信心倍增。

(3) 本书是作者几十年理论研究和实践经验的总结，书中所讨论内容，包括所有理论、例题和习题均紧密结合实际，具有很强的实用性，尤其是对每种电路都有故障诊断一节，这是本书的一个突出亮点，使读者在阅读过程中会产生动手实践的强烈冲动，能充分激励读者学习和研究的兴趣。

(4) 本书在内容讲解方面注意引导读者怎样思考，每章还列出了重要思考题，这些思考题并没有给出确定的答案，能引导和启发学生的思维方式。

总之，本书叙述由浅入深、由简到繁、内容丰富、联系实际、论证严谨、系统性强，强调理论、实践、应用和经验紧密结合，是一本完全不同于国内同类教材风格的优秀教材和专业图书。

本书由北京电子科技学院电子信息工程系的教师周玉坤(前言、第 15 章、第 16 章、附录)、李雪梅(第 1~5 章)、李秀滢(第 6~9 章)、冼立勤(第 10~14 章)翻译，全书由周玉坤审校和统稿。由于译者水平有限，译文中难免有不妥之处，欢迎读者批评指正。

译者

2013 年 10 月

于北京电子科技学院

序 言

本书介绍了模拟器件、电路和系统，也介绍了当前普遍应用于曾被认为是模拟电子学中的独立学科领域的各种数字技术。本书面向那些基本掌握了欧姆定律、基尔霍夫定律、能量、电路原理图，掌握了电阻、电容和电感等元件的基本概念的读者。数字资料都是自成体系的，不会向那些还未了解数字电子学方面内容的读者提出问题，唯一的数学基础就是掌握基本的代数学。

本书的主要目标是为广泛的电路和电子从业者提供入门知识和技能，帮助教育和储备工程技术人员，使他们能有效地诊断、维修、检验、安装和升级电子电路与系统，也为那些想要或需要进一步深造的人在模拟电子概念、器件原理和现代数字解决方案方面提供牢固和实用的基础。

和前几版一样，这一版以更加有逻辑性和顺畅的方式将理论和应用进行了结合。读者第一次接触电子器件和电路时，应该建立在理论和实践相结合的基础上，这很重要，这种方法有助于读者理解器件的工作原理，如二极管和三极管是如何工作的，实践中是如何使用的。理解后就能用来解决实际问题，例如性能分析和排除故障等。

这是一本非常具有实用性的书，器件、电路和应用是电子学各个阶段都要使用的重要知识，无论什么时候，只要有必要就要参考常用的帮助手段，如元件分类、元件识别系统、替代手册以及实际使用的排除故障技术等。信息、理论和提出的计算方法与实际工程技术人员使用的都是相同的，提出的公式立刻应用到实例中，这些实例都是与技术工人进行的实际计算相关的、有意义的例子。

全书共 16 章，首先介绍广泛的电子学领域，然后介绍固态理论、晶体管、增益的概念、放大器、振荡器、电子通信和数据传输、集成电路、控制电路、稳压电源和数字信号处理。作为本书实用性的实例，每章都有关于电路和系统的故障排除。现在，电子工业已经并将继续朝着使用更多的数字和混合信号的方向发展，模拟和数字的界限越来越模糊，而本书就是介绍这一主题的书。

本版各章的变化

- 第1章 更新了关于最新技术和应用的内容。
- 第2章 增加了一节关于半导体带隙的内容。
- 第3章 修订了有关二极管前向压降、二极管特性曲线概念的内容；新添加了关于雪崩二极管的资料；增加了关于光电二极管的章节。
- 第4章 修订了关于半导体器件注册系统的信息。
- 第5章 增加了能简洁定义和说明晶体管的种类与特性的图形，以及有关模拟开关的资料。
- 第6章 增加了更多关于声压级别的 OSHA 信息；增加了关于 Spice 电路模型重要性的资料。
- 第7章 新写了一节关于电子电路中的正反馈和滞后效应的内容。
- 第8章 更新了开关模式(D 类)放大器的内容。
- 第9章 增加了关于运算放大差分器的新内容。
- 第10章 增加了一节关于排除故障的理论和实践的更多新内容。
- 第11章 增加了运放振荡器电路。
- 第12章 更新了 WiFi 和蓝牙技术；增加了 RFID 应用的新内容。
- 第13章 扩展了 IC 芯片制造方法的内容。

第14章 增加了两部分新资料，一部分是关于光电能源中使用的最大功率点控制器，另一部分是关于最近出现的有可能替代白炽灯的白光 LED 中使用的 LED 控制器。

第15章 增加了关于 IC 开关模式调节器及其应用的新资料。

第16章 解释并展示了作为 DSP 最新应用的软件定义无线电。

在线学习中心

在线学习中心(OLC)包含丰富的内容，包括附加复习题、工业网址链接、章学习复习、任务分配、教师手册和 Multisim 入门，所有这些都是为读者准备的。以下是在 OLC 上能看到的内容列表。

在线学习中心的学生版面

- 学生的 PPT 演示文件
- 焊接的 PPT 演示文件和 PDF 文件
- 电路断续器的 PPT(GFCI 和 AFCI)文档
- 面包板的 PPT 文件
- 数据手册(PDF 格式)
- 数字信号处理仿真(4 个程序)
- 语音实例的 PPT 演示
- HP 测量仪器仿真
- 测量仪器的 PPT 文档
- 电路仿真文件(EWB5 和 Multisim 6、7、8 和 11)
- Multisim 入门，为软件的初学者提供指导训练

在线学习中心的指导教师版面

教师手册

- 课堂用 PPT 资料
- 每章的电子测验题库
- 元件和设备清单
- 学习内容预览
- 习题答案：章复习题、重要思考题
- 任务分配和实验的答案与数据

项目

- HP 测量仪器仿真
- 测量仪器的 PPT 文档(实验 1~4)
- PDF 格式的测量仪器实验
- 面包板焊接的 PPT 说明(PDF 文件)
- 电路断续器(GFCI 和 AFCI)的 PPT 说明
- 电路仿真文件(EWB5 和 Multisim 6、7、8 和 11)
- 数字信号处理仿真(4 个程序)
- 第 16 章“语音实例”的 PPT 演示
- 用 EWB 和 Multisim 电路文件计算的 PPT 展示文件

- PDF 格式的数据手册
- 统计的 PDF 文件
- Pro Electron 类型编号 PDF 文件

在线学习中心网址: www.mhhe.com/schuler8e

实验手册

相关的实验手册可通过出版社 Create 获取,手册中提供了大量的实际操作实验、习题和电路仿真, Multisim 文件以仿真和实操两种方式提供。^①

作者简介

Charles A. Schuler, 1966 年于美国得州农工大学获得教育学博士,在美国宾州加利福尼亚大学教授电子学技术和机电工程技术达 30 年。发表论文多篇,出版有 7 本关于电路和电子学的教材,以及 7 本实验手册及关于 ISO 9000 的书籍。美国国防教育学会会员。现在是全职作家,始终致力于将难点用容易理解的语言表达。

① 原书配有光盘 1 张,内容包含教材和实验手册中几乎所有电路的 Multisim 仿真文件,按章编排,易于参考,光盘中也包含了半导体数据手册的 PDF 文件。为节省成本,光盘内容请读者到华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)上下载。——编者注

预 览

写作本书目的是简明且实用地介绍电子学。由于本书具有易读、插图多及数学问题简单等特点，因此对于那些想要学习一些必要的现代电子学知识，并将这些知识应用到与实际工作相关的场合的读者来说，是一本理想的教材。

学习内容

每章都从“学习要点”开始，介绍了本章的学习内容。目前该内容已明确地和各章的小节进行了链接。

例题

书中每章都含有大量的例题，展示了公式的使用和电子电路分析方法。

电子学历史、回顾和电子学知识

增加了主题的历史，并突出了新的、令人感兴趣的技术与事实。

章总结和复习

所有的重要事实和原理都在每章末尾部分给出了总结和复习。

相关公式和每章复习题

每章末尾有一个相关公式模块，在该模块中总结并列出了所有重要的相关公式。在有些章末也提供有具有挑战性的章复习题。

自测题答案

每章最后以重要思考题和自测题答案结束。

致 谢

本书源自何处？本书是随着一个工程项目的启动而开始的系列教材的一部分，许多人都付出了巨大的努力，既有在教育领域工作的人，也有在工业领域工作的人，他们的贡献和勤勉促成了本系列书籍的成功。很多指导教师和学生多年来给出了很多明智的、有建设性意义的建议。感谢出版社的那些才华横溢、勤勉工作的人员，感谢家人对我的鼓励和帮助。

感谢本书第 8 版草稿的审阅者，他们是：

George E. Carmichael, *Herzing University*

Mohammad Dabbas, *Broward College*

James R. Davis, *Zane State College*

Robert C. Edens, *ECPI College of Technology*

Eric J. Erickson, *Erie Institute of Technology*

Richard Fornes, *Johnson College*

James E. Globig, *University of Dayton*

Rebecca Graves, *South Plains College*

Bill Hessmiller (技术编辑)

James W. Kronberg, *Aiken Technical College*

Dan Lookadoo, *New River Community College*

John Martini, *University of Arkansas—Fort Smith*

Chrys Panayiotou, *Indian River State College*

Shensheng Tang, *Missouri Western State University*

Joel Therrien, *University of Massachusetts—Lowell*

安全事项

电气和电子电路有可能是危险的，为防止电击、火灾、爆炸、机械损伤和使用工具误操作导致的伤害，有必要进行安全防护实习。

可能最大的危险就是触电，流过人体的电流超过 10 mA 就会导致受害者瘫痪，无法自己脱离带电导体或元件。10 mA 是非常小的电流，仅是 1 A 的 1%，而普通手电筒提供的电流都是它的 40 倍。

手电筒的电池对手来说是安全的，因为人类皮肤的电阻很大，使得流过的电流很小。例如，触摸 1.5 V 普通电池产生的电流是微安级（1 μ A 是 1 A 的百万分之一），这个量级的电流太小，不值得关注。

但是高电压能产生足够大的电流穿过皮肤而发生触电。如果电流达到或超过 100 mA，电击就可能是致命的。因此，电击的危害程度随电压增加而增加，那些和高电压打交道的人必须要进行适当的训练，且防护装备得当。

当皮肤潮湿或被割破时，对电流的阻碍作用会显著降低。这样，即使是中等的电压也会引起强烈的电击，有经验的电工知道这一点，也知道所谓的低压设备也可能含有高压段。换句话说，就是在工作过程中他们不会采用两种工作方案分别对待高压电路和低压电路，他们会时刻按照安全操作规程进行操作，不会假设防护设备处于工作状态，即使开关处在 OFF 位置，也不会认为电路是断开的，因为知道开关不可能是完美的。

如汽车电子系统，尽管是低电压、高电流系统，但也可能是十分危险的，用戒指或金属表带将这种系统短路也能引起强烈的燃烧，尤其是当戒指或表带粘连到短路点的时候。

随着知识积累和经历的增加，会学到很多处理电气和电子电路的具体安全规程，同时要做到：

1. 永远遵守推荐的安全规程。
2. 尽可能经常使用服务手册，其中通常含有具体的安全信息，阅读并按照数据手册提供的所有安全资料进行操作。
3. 实施之前仔细研究。
4. 如果有疑问，首先要询问指导教师或管理人员，清楚后再实施。

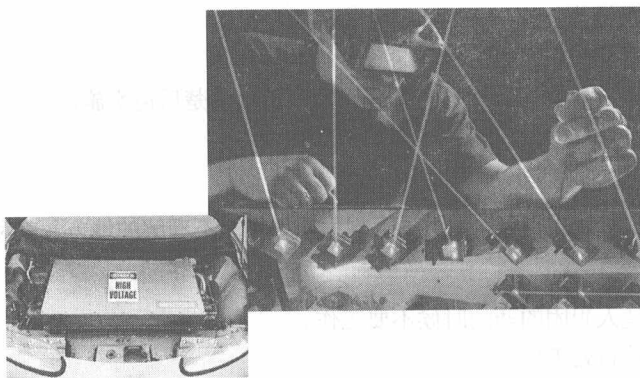
电气电子通用安全规程

安全训练能保护你和你的同事。学习一下规程，如果有不理解的地方，就和其他人讨论、询问指导教师。

1. 疲倦或吃了使人犯困的药的时候不要工作。
2. 不要在灯光昏暗处工作。
3. 不要穿湿的鞋子、湿的衣服和在潮湿环境下工作。
4. 使用经过认证的工具、装备和有防护的设备。
5. 在裸露的电子电路环境中工作时，避免戴戒指、手镯和小的金属物件。
6. 永远不要指望电路是断开的，要用可靠的、工作正常的仪器仔细检查。
7. 永远按照停工/挂牌的步骤，也就是锁定电源为 OFF 并挂牌，如果没办法这么做，那么就用两人同行制的办法保证在技术人员工作的时候电源不能合闸。

8. 永远不能毁坏或忽略联锁装置(当门打开或控制面板被拆掉时,能自动切断电源的一种开关)等安防设备。
9. 保证工具和测试仪器干净整洁并处于良好的工作状态,一旦发现有磨损征兆就更换绝缘探针和铅封。
10. 一些设备如电容器能存储致命电荷,这些电荷可能存储了很长时间,在其附近工作时,必须确保这些设备已经放电。
11. 不要拆掉接地,不使用没有良好接地的改装设备。
12. 只使用有审批手续的电子电气设备灭火器。水能导电并可能严重损坏设备,优先选择二氧化碳灭火器和卤代烷灭火器,某些场合也需要泡沫灭火器。根据对不同类型火灾的灭火效果的不同,商用灭火器分为不同的等级。只使用那些等级与工作环境相适应的灭火器。
13. 在使用溶剂和其他化学试剂时,一定要按照指导书操作,它们也许是有毒的或可燃的,或者能损坏塑料等材料。时刻记住要认真阅读并按照对应材料的数据手册进行操作。
14. 一些电子设备中使用的材料是有毒的,如钽电容和铍氧化物晶体管等,不要研磨或粉碎这些设备,即使是必须处理这些设备,也应该在处理彻底洗手。其他一些材料(如热缩套管)在过热的情况下会产生烟雾,时刻记住要认真阅读并按照对应材料的数据手册进行操作。
15. 一些电路元件会影响装备和系统的安全性能,只使用严格挑选的和有资质的替代元件。
16. 在处理大体积的设备(如电视机显像管和阴极射线管)时,要穿戴好防护服和安全镜。
17. 在不知道正确的操作流程和潜在的安全威胁时,不要在设备上工作。MSDS(重要安全数据手册)是随许多产品附带的文档,通常提供了与产品相关的危险警告。
18. 由于匆忙和疏忽导致事故发生时,要争取必要的时间以便保护自己和他人,实验室和商场严格禁止奔跑、打闹和恶作剧。
19. 不要直视发光二极管或光缆。有些光源虽然看不见,但会严重伤害眼睛。

电路和设备必须得到重视,学会其工作原理和操作方式,始终践行安全规则,这是健康和生命的保障。



电工具备专门的安全知识

目 录

第 1 章 概述.....1	第 5 章 晶体管.....85
1.1 电子学简史.....1	5.1 放大.....85
1.2 数字和模拟.....3	5.2 晶体管.....87
1.3 模拟电路的功能.....6	5.3 特性曲线.....91
1.4 直流成分与交流成分并存的电路.....8	5.4 晶体管数据.....95
1.5 电子器件的发展趋势.....12	5.5 晶体管测试.....97
第 1 章总结和复习.....15	5.6 其他类型晶体管.....101
第 2 章 半导体.....17	5.7 晶体管开关.....107
2.1 导体与绝缘体.....17	第 5 章总结和复习.....111
2.2 半导体.....19	
2.3 N 型半导体.....21	第 6 章 小信号放大器概述.....115
2.4 P 型半导体.....21	6.1 增益测量.....115
2.5 多数载流子和少数载流子.....23	6.2 共射极放大器.....122
2.6 其他材料.....24	6.3 放大器的稳定性.....128
2.7 带隙.....24	6.4 其他电路组态.....133
第 2 章总结和复习.....25	6.5 仿真与建模.....137
第 3 章 二极管.....28	第 6 章总结和复习.....140
3.1 PN 结.....28	
3.2 二极管的特性曲线.....31	第 7 章 续谈小信号放大器.....144
3.3 二极管引出端.....33	7.1 放大器耦合.....144
3.4 二极管的类型与应用.....36	7.2 耦合级的电压增益.....149
3.5 光电能源.....46	7.3 场效应管放大器.....156
第 3 章总结和复习.....49	7.4 负反馈.....161
第 4 章 电源.....53	7.5 频率响应.....167
4.1 电源系统.....53	7.6 正反馈.....170
4.2 整流.....54	第 7 章总结和复习.....172
4.3 全波整流.....55	
4.4 均方根值到均值的转换.....58	第 8 章 大信号放大器.....176
4.5 滤波器.....61	8.1 放大器的类别.....176
4.6 倍压器.....65	8.2 A 类功率放大器.....179
4.7 波纹和稳压.....69	8.3 B 类放大器.....183
4.8 齐纳电压调节器.....71	8.4 AB 类放大器.....187
4.9 故障诊断.....73	8.5 C 类功率放大器.....191
4.10 更换元件.....76	8.6 开关模式放大器.....195
第 4 章总结和复习.....81	第 8 章总结和复习.....198
	第 9 章 运算放大器.....203
	9.1 差分放大器.....203

9.2 差分放大分析	206	13.2 制造	328
9.3 运算放大器	210	13.3 555 定时器	334
9.4 设置运算放大器的增益	214	13.4 模拟 IC	338
9.5 放大器的频率效应	219	13.5 混合信号 IC	340
9.6 运算放大器的应用	222	13.6 故障排除	349
9.7 比较器	237	第 13 章总结和复习	352
第 9 章总结和复习	238	第 14 章 电子控制器件与电路	356
第 10 章 故障诊断	243	14.1 简介	356
10.1 初步检查	243	14.2 可控硅	358
10.2 无输出	249	14.3 全波器件	363
10.3 输出减小	253	14.4 反馈控制电路	368
10.4 失真和噪声	257	14.5 能源管理	372
10.5 间歇性故障	259	14.6 电子控制电路故障排除	375
10.6 运算放大器	261	第 14 章总结和复习	377
10.7 自动化测试	263	第 15 章 可调电源	381
第 10 章总结和复习	266	15.1 开环电压调节	381
第 11 章 振荡器	270	15.2 闭环电压调节	385
11.1 振荡器的特性	270	15.3 电流和电压限制	390
11.2 RC 电路	272	15.4 开关模式调节器	396
11.3 LC 电路	277	15.5 稳压电源的故障诊断维修	402
11.4 晶振电路	280	第 15 章总结和复习	408
11.5 张弛振荡器	282	第 16 章 数字信号处理	412
11.6 不希望的振荡	287	16.1 DSP 系统概述	412
11.7 振荡器故障排除	289	16.2 滑动平均滤波器	415
11.8 直接数字合成器	291	16.3 傅里叶理论	418
11.9 DDS 故障排除	292	16.4 数字滤波器设计	422
第 11 章总结和复习	294	16.5 DSP 的其他应用	431
第 12 章 通信	299	16.6 DSP 的局限	438
12.1 调制和解调	299	16.7 DSP 故障诊断	440
12.2 简单接收机	304	第 16 章总结和回顾	445
12.3 超外差接收机	305	附录 A 软钎焊及焊接工艺	451
12.4 频率调制和信号边带	308	附录 B 热电子器件	456
12.5 无线数据	313	附录 C 能源再生及其技术	458
12.6 故障排除	318		
第 12 章总结和复习	322		
第 13 章 集成电路	326		
13.1 简介	326		

第1章 概 述

学习要点

- 1.1 了解电子学发展历史上的一些重大事件。(1.1 节)
- 1.2 电路的工作方式分为数字和模拟。(1.2 节)
- 1.3 了解模拟电路的主要功能。(1.3 节)
- 1.4 建立故障诊断的系统观念。(1.3 节)
- 1.5 用直流电和交流电分析电路。(1.4 节)
- 1.6 了解目前电子器件的发展趋势。(1.5 节)

电子学是一门新技术,经历了快速发展的时期。它应用广泛,并且涉及日常生活的方方面面。本章将介绍电子学的发展历史,以及目前有哪些专业领域。还将介绍电子电路和系统的一些基本功能,并建立关于电路和元器件的基本概念。

1.1 电子学简史

电子学起源的准确日期已经很模糊了,大概是 1899 年。在这一年里,英国剑桥大学的汤普森(J. J. Thomson)发现了电子。在 20 世纪初,有两个重要的发展成果使人们对电子学很感兴趣。第一个是在 1901 年,那时马可尼(Marconi)用无线电报发送了第一条跨越大西洋的信息,如今称之为无线通信广播。第二个发展成果出现在 1906 年,那年德福雷斯特(De Forest)发明了真空三极管。三极管这个术语第一次使用时用来表示声音(音频)更大。不久后,无线电发明家就使用真空管来提高设备性能了。

1906 年出现的另一个发展成果也值得一提。当时,皮卡德(Pickard)使用了第一个晶体检波器。这个重大的进步促使无线电和电子学技术更加普及。同时,也表明半导体(晶体)材料在将来必定用于无线电和电子学崭新的领域中。

1920 年,第一个商业电台诞生于宾夕法尼亚匹兹堡的 KDKA 实验站。这一进步标志着电子学领域一个新纪元的开始,电子设备也逐渐出现在普通家庭中。到 1937 年,一半以上的美国家庭都拥有无线电。商业电视大约出现于 1946 年。1947 年,生产和销售的民用收音机达几十万台。电视机和电子设备的制作越来越复杂,因此,技术人员希望有更好的器件能取代真空管。

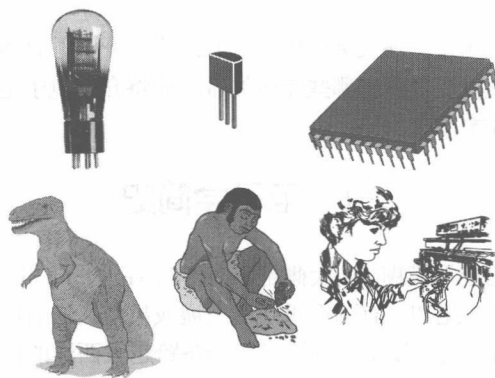
第一个真空管计算机项目由美国政府设立,并于 1943 年开始研究。3 年后,1946 年 2 月 15 日,ENIAC(埃尼阿克计算机)在宾夕法尼亚大学摩尔电气工程学院正式使用,它是世界上第一台电子数字计算机,其参数如下:

- | | |
|-------------------|--------------------------------|
| ● 尺寸: 30 英尺×50 英尺 | ● 开关: 6000 个 |
| ● 重量: 30 吨 | ● 电源: 150000 W |
| ● 真空管: 17468 个 | ● 成本: 486000 美元(约为现在的 500 万美元) |
| ● 电阻: 70000 个 | ● 可靠性: 7 分钟 MTBF(平均故障间隔时间) |
| ● 电容: 10000 个 | |
| ● 继电器: 1500 个 | |

摩尔学院的一个学生团队开发出 CMOS(互补金属氧化物半导体)芯片,并参加了 ENIAC 的 50 周年庆典。芯片参数如下:

- 尺寸: 7.44 mm×5.29 mm
- 封装: 132 个引脚的 PGA(引脚网格阵列)
- 晶体管: 174569 个
- 成本: 几美元(投入生产时的每个单元的估计价格)
- 电源: 约 1 W
- 可靠性: 50 年(估计数)

很长时间以来,科学家都知道半导体晶体可以更高效完成真空管所做的许多工作,但是他们提取晶体的纯度不够高,所以很难实现这些功能。这个问题在 1947 年有了新的突破,在贝尔实验室工作的三名科学家制作了第一个可以工作的晶体管,这是一个对科技非常重大的贡献,这三人——巴丁格(Bardeen)、布里廷(Brittain)和肖克利(Shockley)也因此获得了诺贝尔奖。



真空管,晶体管,然后是集成电路。电子技术的发展可以与生命的进化相类比

大约在同期(1948 年),同样工作在贝尔实验室的克劳德·香农(Claude Shannon)发表了一篇关于二进制编码通信的论文。他的研究成果为数字通信的发展奠定了基础,如蜂窝电话到互联网的发展。1940 年,香农第一次将布尔代数应用于电话交换网络,当时,他在麻省理工学院工作。如今我们所享有的通信和计算机的科技成果,大多是以香农的研究成果为基础的。

晶体管的发展相当迅速,现在它们几乎完全取代了真空管。“固态电路”已经成为一个家喻户晓的名词。很多人认为晶体管是有史以来最伟大的发明之一。

固态电路小巧、高效,并且更为可靠,但是科学家和工程师们仍然不满意。1958 年,在德州仪器工作的杰克·基尔比(Jack Kilby)的研究促进了集成电路技术的发展,而工作在飞兆半导体的罗伯特·诺伊斯(Robert Noyce)也开发了一个类似的项目。这两个人因为发明了集成电路而共享了诺贝尔物理学奖。

集成电路是将很多元件进行复杂的组合,这些元件放置在一个称为衬底的公共底座上,或一个很小的硅片上。与分立元件相比,集成电路价格低,性能好,效率高,尺寸小,而且更可靠。如此复杂的集成电路可以在一个仅 0.64 cm^2 的硅芯片上放置大量的元件。芯片上不但有上千个晶体管,还有二极管、电阻和电容。

1971 年,加利福尼亚的英特尔公司发布了一个最复杂的集成电路——微处理器。微处理器将计算机的大部分电路减少为仅一个集成电路。微处理器包含了相当于几百万个晶体管的电路,为电子工业带来数十亿美元的增长值,并打开了全新的应用领域。

1977 年,移动电话系统进入测试阶段,之后,该技术飞速发展。移动电话系统的巨大成功培育了新技术的发展,如数字通信以及用于通信的线性集成电路。

1982 年,德州仪器推出了一款单片数字信号处理器(DSP),实现了将 DSP 用于新产品的设计中。此后,DSP 技术持续发展,现在已成为半导体工业发展最迅速的技术之一。

集成电路带来了电子技术领域的爆炸式发展。以前,无线电几乎是唯一的应用,而现在,电子技术应用比以往任何时候都更加广泛,渗透到了社会 and 人类研究的各个领域,并且以人们可能没有意识到的方式影响着我们。可以说,我们生活在电子时代。

自测题

1. 电子学开始于 20 世纪,是一门新技术。判断对错。
2. 早期的无线电和电子学是紧密相联的。判断对错。
3. 晶体管的发明在真空管之前。判断对错。
4. 现代集成电路包含数千个晶体管。判断对错。
5. 微处理器是一个代替收音机的小型电路。判断对错。

1.2 数字和模拟

电子学领域越来越大,有必要划分为一些更小的子领域,如医疗电子学、仪表电子学、汽车电子学、航空电子学、消费电子学、工业电子学等。另一种划分方式是将电子学分为数字技术和模拟技术。

数字电子设备或电路能够识别或产生仅有几个有限状态的输出信号。例如,大多数数字电路仅对两种输入状态产生响应:低电平或高电平。由于数字系统中只有两个数字,即 0 和 1,因此也称为二值电路。

模拟电路能够响应或产生无限个状态的输出信号。如果模拟输入或输出在 $0\sim 10\text{ V}$ 之间变化,实际值可能是 1.5 V 、 2.8 V 或 7.653 V ,理论上电压可能会是一个无穷数。而典型的数字电路将 $0\sim 0.4\text{ V}$ 的输入设置为低电平(二进制 0), $2\sim 5\text{ V}$ 的输入为设置为高电平(二进制 1)。对于 2 V 和 4 V 的输入,这两个电压都在高电平范围内,数字电路给出的响应相同。数字系统不允许输入电压在 $0.4\sim 2\text{ V}$ 之间,因为它们会产生不确定的输出。

很长时间以来,差不多所有的电子元件和电路都以模拟方式工作,似乎这样是最直观的方式,毕竟在自然界中测量的信号大多是模拟量,如身高、体重、车速等。声音的幅度和频率是无穷数,也是模拟量。因此,如果要用一个电路来放大声音,首先想到的就是模拟电路。

电话交换机和计算机电路的发展迫使工程师们去开发数字电子器件,这些电路和元件能够根据某种输入条件做出逻辑判断,并且具有很高的可靠性。限制电路工作的条件和状态个数,可以提高电路的可靠性。而模拟电路的状态个数是无穷数,所以不满足需要。

图 1.1 所示为对比数字工作方式和模拟工作方式的电路,信号从电路左边输入,从电路右边输出。现在以某个电量为例来说明,比如随时间变化的电压。图中电路 A 是数字电路,数字波形是矩形的,因此,输出信号为矩形波,而输入信号却不是严格意义上的矩形波。矩形波只有两种电平,在数字器件中非常普遍。

图 1.1 中的电路 B 是模拟电路,输入和输出都是正弦波。输出大于输入,并且移动到横轴之上。可以看到输出信号是无数个电压的组合,这是模拟电路最重要的特征。在线性电路中,输出信号是对输入信号精确的复制。尽管电路 B 是线性的,但不是所有模拟电路都是线性的。例如,某一音频放大器的声音会产生失真。这个放大器仍然属于模拟电路,但却是非线性的。

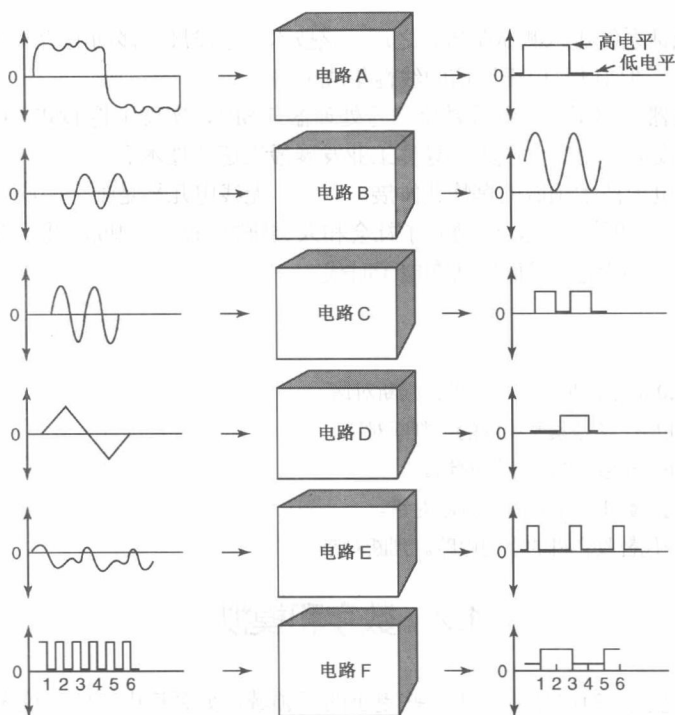


图 1.1 数字电路和模拟电路的比较

电路 C 到电路 F 都是数字电路，可以看到它们的输出都是矩形波(有两个电平)。电路 F 值得特别关注一下。电路的输入是一个矩形波(这也可能是模拟电路对只有两个电平信号产生的响应，除非信号有变化，但其他例子从未出现过这种情况)。输出频率与输入频率不同，这样的数字电路称为计数器或分频器。

数字信号可以存储在计算机内存、磁盘、光盘或磁带上，现在将模拟信号转变为数字信号很常见。数字存储器有其优点，例如，数字磁盘播放的音乐一般没有噪声，数字录音机不会像模拟录音机那样因使用而容易损坏。

模拟信号转换成数字信号后，再使用计算机增强信号，这是模数转换的另一个优点。计算机是数字式的，是功能强大的高速数字计算器。计算机可以对信号进行各种处理，如消除噪声和失真，校正频率和相位误差，以及信号的模式识别。这个电子学领域被称为数字信号处理(DSP)。DSP 在医疗电子学中用来增强人体扫描图像，在音频电子学中用来消除老式录音机中的噪声，还有很多其他应用。关于 DSP 的内容，将在第 16 章介绍。

图 1.2 所示为一个信号转换系统，该系统将模拟信号转换为数字信号，然后再转换为模拟信号。图中，模数转换器(A/D)能够产生二进制输出(只有 0 和 1)，内存中存储的数字是二进制的，时钟(时序电路)信号驱动 A/D 转换器对模拟信号重复采样。图 1.3 给出了非常详细的模拟信号波形。A/D 转换器每 $20\ \mu\text{s}$ 对波形进行一次采样，在 $0.8\ \text{ms}$ 的时间周期内，采样 40 个点。任何模拟信号所需的采样频率都是该信号频率的函数，信号的频率越高，采样频率也越高。

再看一下图 1.2，将内存的二进制信息发送给数模转换器(D/A)能够重建模拟信号，内存中的二进制信息按照与原始信号的采样频率一致的频率输出。图 1.4 所示为 D/A 转换器的输出信号。从图中可以看到，输出波形与原始波形并不完全一样。这是由一系列离散阶梯构成的，如果使用更多阶梯，就可以得到与原始波形更接近的波形。阶梯大小取决于所使用的二进制数的位数，阶梯的个数是以 2 为底、以比特(bit)数为幂进行计算的。如 5 bit 的系统阶梯个数为

$$2^5 = 32$$