

实用电子电路设计丛书

Mc
Graw
Hill
Education

实例分析 · 电路构建 · 版图测试 · 故障排除

精通电子学

电路剖析、设计与创新

ELECTRONICS
FROM THE GROUND UP

Learn by Hacking, Designing, and Inventing

Mc
Graw
Hill
Education

[美] 罗纳德·泉 (Ronald Quan) 著
张东辉 孙德冲 潘如政 徐伟东 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



实用电子电路设计丛书

精通电子学

——电路剖析、设计与创新

[美] 罗纳德·泉 (Ronald Quan) 著
张东辉 孙德冲 潘如政 徐伟东 译



机械工业出版社

Ronald Quan

Electronics from the Ground Up: Learn by Hacking, Designing, and Inventing
978-0-07-183728-6

Copyright © 2015 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 and China Machine Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Translation Copyright © 2018 by McGraw-Hill Education and China Machine Press.

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）教育出版公司和机械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© 2018 由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司与机械工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签，无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2017-4414。

图书在版编目（CIP）数据

精通电子学：电路剖析、设计与创新/（美）罗纳德·泉（Ronald Quan）著；张东辉等译。—北京：机械工业出版社，2018.4

（实用电子电路设计丛书）

书名原文：Electronics from the Ground Up: Learn by Hacking, Designing, and Inventing
ISBN 978-7-111-59286-0

I. ①精… II. ①罗… ②张… III. ①电子电路—电路设计 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 039296 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：江婧婧 责任编辑：翟天睿

责任校对：郑 婕 封面设计：鞠 杨

责任印制：李 飞

北京铭成印刷有限公司印刷

2018 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·25 印张·470 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-59286-0

定价：125.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

本书首先讲解电路和信号，包括光发射器和接收器、收音机、振荡器和视频，以及模拟图像处理；然后陆续讲解曲线或多项式方程与电子电路或电路系统的关系。

本书分为3部分：

第1部分为初级电子学（第1~6章），适合初学者，主要讲解元器件和简单电路，包括电池、发光二极管（LED）、手电筒和电源，同时介绍焊接技术。

第2部分为中级电子学（第7~9章），适合中级爱好者，主要内容包括音频前置放大器电路和不同类型的振荡器。

第3部分为高级电子学（第10~18章），适合高级爱好者，主要讲解AM（调幅）和FM（调频）无线电技术、电视电路和电路系统，另外介绍电路分析、电路创新和故障排除技术。

本书涉及大量电路实例，方便读者从头开始一步步学习电子学。本书内容不仅适用于电子爱好者，对于相关专业学生，以及工程师等同样适用，同时本书也可用于电子实验课程指导。



译者序

当需要进行电路设计时，往往首先应查找相关电路图样，然后对电路进行剖析，在完全理解电路的基础上，再根据实际设计指标对电路进行改进、创新，以满足最终设计要求。

本书不仅可以满足以上电路工程设计的基本要求，而且对电阻、电容、二极管和晶体管等元器件基础知识进行详细讲解，并且对不同类型电路的组装技术进行系统分析，以供读者学习。

另外本书对光发射与接收电路、整流电路、放大与反馈电路、音频电路、振荡器电路、调幅与调频电路和视频电路等类型电路进行工作原理分析、数学计算、实际电路搭建及测试。

最后本书对电路故障排除进行系统讲解，故障排除的同时也对电路进行设计改进。

纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行。本书内容源于实际，用于实际，使得电路工程师能够系统地分析电路、设计电路、顺利排除电路故障，以便最终设计出完美的产品。

如果读者希望对书中电路进行仿真分析，可以加入 PSpice 仿真群 (336965207) 进行讨论学习。

PSpice 仿真群 (336965207) 的如下仿友：李少兵、黄维笑、刘亚辉、张远征、张东东、杜建兴、陈明、曹珂杰、刘礼刚、于刚等对本书的文字翻译校对工作付出了辛勤的汗水，在此表示最衷心的感谢。

张东辉

2018 年 1 月 11 日



原 书 序

学习电子学首先需要掌握电阻、电容、二极管和晶体管等元器件的基础知识。本书不仅对以上知识进行详细讲解，而且对不同类型的电池和组装技术进行系统分析，以供读者学习。

本书主要分为3部分——初级、中级和高级，以适合不同阶层的电子爱好者。每一部分均附带具体实例供读者实践，以加强实践经验，增强电子产品基本理论。

正如标题所言，“精通电子学”，本书不仅为电子爱好者介绍电子电路基本知识，而且引导其到达更高级别——学习和构建更加复杂的电子电路。另外本书还讨论了高等数学中谐波失真分析等高级主题。

本书不仅适用于电子爱好者，对于相关专业学生，以及工程师等同样适用，同时本书也可用于电子实验课程指导。

致 谢

我非常感谢 McGraw-Hill 的 Roger Stewart 先生，是他鼓励我写第二本书。没有他的支持就不会有本书的面世。同时感谢 Amy Stonebraker 对本书文稿和图片的编辑工作。

我非常感谢项目经理 Patricia Wallenburg 和她的团队，包括编审 James Madru 和校对员 Claire Splan。他们的努力工作使得文稿和图片变成一本精彩的书。

写书通常需要一个“传声筒”进行反馈，而 Andrew Mellows 不仅对整本书稿进行校对，而且给了我非常有用的技术性的建议。非常感谢 Andrew Mellows 的建议和意见。

本书中入门级和初级电子学的一些素材来自于斯坦福大学的 Robert W. Dutton 教授。我非常感谢 Bob Dutton 邀请我进入电气工程系作为导师，并在写这本书时不断鼓励我。在机电一体化和射频实验室，我很荣幸能和高级助理 Kevin Dade 一起工作，以及非常聪明的本科学生，包括 Kiran Rana Magar, Tyler Conklin, Luis Aguilar, Kevin Hsu, Jamie Nakamura, Rea Rostosky, Chet Gengy, Laza Upatising, Si Tan, Charles Guan, Jack Tsai 以及其他所有参与人士。我非常感谢他们。

此外，我非常感谢斯坦福大学的 Thomas H. Lee 教授，是他引荐我首次与 Bob Dutton 会面，并且多年来一直鼓励我在电子产品领域学习和研究。当然，我也要最衷心地感谢斯坦福大学。

成书期间很多人都鼓励我。首先非常感谢 Jeri Ellsworth，他的视频影像和私人沟通为本书提供了大量素材，例如文氏振荡器。《自创晶体管收音机》为本人写作的第一本书，当时我正在做关于 SDR（软件无线电）的工作，本书和第一本书都受到 Jeri 的启发和鼓励。

激励我的另一个人是加州大学伯克利分校的 Robert G. Meyer 教授。本书部分内容涉及晶体管大信号分析，Robert G. Meyer 教授的课堂笔记、书籍和授课对于后续章节的撰写起着重要作用，所以非常感谢 Robert G. Meyer！

本书还涉及音频电路，感谢 John Curl 在该领域的见解，包括低噪声和低失真放大器设计。Larry Topping 搭建并测试第 8 章许多音频电路，非常感谢他。Robert K. LeBeck, Jr. 提供了很多急需的音频电路资料，在此表示感谢。感谢 Chris Gammel 在网站上发布的建议增加音频电路设计的请求。此外，感谢 Dave Jones 提供数字存储示波器的最新重要信息。

非常感谢本行业的两位导师 John O. Ryan 和 Barrett E. Guisinger。他们在模拟和视频电路设计领域给了我一流的指导。John 导师教会我反馈钳位电路，Barrett 教会我电阻电容图像增强电路。

在成书的整个过程中，非常感谢以下朋友鼓励和支持我，他们是 Alexis DiFirenzi Swale, Germano Belli, Edison Fong, George Almeida 和 Jo Acierto Spehar。

Paul Rako 引导我进入人生的第二职业——作家。他让我和 Roger Stewart 相识，而 Roger Stewart 引导我开始写作。谢谢你，Paul。此外，还要感谢伽利略科技学院的两位教师 Eugene Wing 和 Doug Page 的支持。William K. Schwarze 是我在伽利略科技学院学习时最好的老师，非常感谢他把先进的数学概念以非常清晰的方式教授于我。

James D. Lee 是我的朋友，更是我灵感的来源，感谢他对本书某些章节的审稿。

最后，感谢我的家庭成员 William, George, Thomas 和 Frances 对我的支持。

当然，把第二本书献给我的父母 Nee 和 Lai。

作者简介

Ronald Quan 拥有加州大学伯克利分校的电子工程学士学位，是 SMPTE，IEEE 和 AES 的会员。他曾担任 FM 和 AM 广播电台的广播工程师，同时还持有业余无线电许可证。

他是《自创晶体管收音机》（McGraw - Hill/TAB Electronics, 2012）的作者，该书不仅涵盖无线电、电路和信号理论与实践，还包括大量全新设计的无线电电路。

30 多年来，他一直在视频和音频设备相关公司（Ampex, Sony, Macrovision, Monster Cable 和 Portal Player）工作。在 Ampex 公司，他设计出 CRT（阴极射线管）电视监视器、音频和视频电路的低噪声前置放大器。其他设计包括 Sony（索尼）公司的 HDTV 录音机宽带 FM 检测器；Macrovision 公司的 2 倍彩色载波频率（7.16MHz）差分相位测量系统，并曾担任该公司的首席工程师。另外，在 Macrovision 公司他还设计出多种锁相环电路，利用该电路为 CD 播放机的原始 EFM（8 - 14 调制）数据流提供再生时钟信号。

在惠普光电领域工作期间，他开发出一系列低功率条形读码器，该读码器所消耗功率仅为传统光笔阅读器功率的一小部分。

目前，他拥有至少 400 项全球专利（其中包括超过 80 项美国专利），这些专利主要涉及模拟视频处理领域、视频信号降噪、低噪声放大器设计、低失真电压控制放大器、宽带晶体电压控制振荡器、视频监视器、音视频 IQ 调制、带内载波音频单边带调制解调、音频和视频干扰、条形码阅读器和音频测试设备。

2005 年，他曾是斯坦福大学电机工程系研究生论坛特邀发言人，主讲低噪声和失真压控放大器。他曾担任斯坦福大学三门不同电气实验课程的导师。在 2010 年 11 月和 2012 年 10 月，他将音频放大器失真的相关论文提交给旧金山音响工程学会会议 Moscone 中心。

目 录

译者序
原书序
致谢
作者简介

第1部分 初级电子学

第1章 引言	3
本书目标	3
第2章 元器件和原理图	5
2.1 导线	5
2.2 导线工具	6
2.3 电池	7
2.3.1 电池“首次解密”	9
2.3.2 串联电路和电池座	10
2.3.3 “第二次解密”：提高 LED 钥匙扣灯电池寿命	12
2.3.4 “第三次解密”：将 AA 电池装进笔形电筒	13
2.3.5 手电筒制作	13
2.4 电压、电流、电阻和功率	15
2.5 电阻	17
2.6 电容	20
2.7 电感和线圈	22
2.8 半导体	25
2.8.1 二极管和整流器	25
2.8.2 放大器	26
2.8.3 双极型晶体管	27
2.8.4 真空管	29
2.9 放大器和逻辑门集成电路	31
2.10 电路图	32
参考文献	35
第3章 组装工艺和简单测试设备	36
3.1 无焊电路组装工艺	36

3.1.1 利用双绞线组装电路	36
3.1.2 自制实验板	38
3.2 面包板	39
3.3 焊接工具	41
3.4 电线或连接器预镀锡	43
3.5 各种接头焊接实例	44
3.6 面包板焊接	44
3.7 矢量和穿孔板	46
3.8 矢量板焊接——LM386 音频放大器	47
3.9 简单测试设备——电池测试仪	49
3.10 万用表用作电池测试仪	51
3.11 元件清单	53
参考文献	54
第4章 光发射器和接收器	55
4.1 白炽灯	55
4.2 #222 手电筒灯泡实验	56
4.3 LED	58
4.4 LED 驱动	60
4.5 LED 输出参数	61
4.6 LED 与白炽灯对比	62
4.7 LED 实验测试	62
4.7.1 LED 实验 1	62
4.7.2 LED 实验 2	63
4.8 光接收器	64
4.9 光敏二极管实验	66
4.10 遥控信号接收实验	68
参考文献	70
第5章 二极管、整流器及相关电路	71
5.1 二极管和整流器工作特性	71
5.2 电源交流-直流转换电路	73
5.3 直流分压电路和电压乘法器	77
5.4 二极管开关和增益控制	81
5.5 测量电池组直流电阻实验	82
5.6 二极管增益控制电路	83
5.7 二极管混合射频电路	85
5.8 二极管逻辑电路	86
5.9 变容二极管	87
5.10 电压调节齐纳二极管	87

参考文献	89
第6章 晶体管、场效应晶体管和真空管	90
6.1 电流源和电压控制电流源器件	90
6.2 利用 JFET 构建恒流“二极管”	91
6.3 利用双极型晶体管构建电流源	93
6.4 输入信号变化时集电极电流和电压增益变化值测量	95
6.5 利用 LED 建立基准电压	97
6.6 利用恒流源提供低纹波输出电源	99
6.7 利用 JFET、MOSFET 和真空管建立电流源	102
6.8 利用晶体管放大器和 LED 构建低功耗夜明灯	107
6.9 运算放大器快速浏览	109
6.10 利用 JFET 和双极型晶体管建立电压控制电阻	114
参考文献	114

第2部分 中级电子学

第7章 放大器和反馈	117
7.1 什么是负反馈系统	117
7.2 同相增益运算放大器	119
7.3 反相增益配置	121
7.4 实验：光敏二极管传感器和自动电平控制放大器	123
7.4.1 光传感器	123
7.4.2 音频信号电平控制	125
7.5 电压控制放大电路	127
7.6 电压控制共发射极放大器	128
7.7 利用负反馈稳定和调节自偏置集电极电流	129
7.8 功率输出级和 VBE 乘法器电路	132
7.9 正反馈缺点	134
7.10 运算放大器选型	136
参考文献	137
第8章 音频信号和电路	138
8.1 传声器、留声机、线路输入和扬声器信号电平	138
8.2 用于广播和录音室的平衡或差分模式音频信号	140
8.3 传声器前置放大器电路	143
8.4 利用附加晶体管增加增益带宽积和实现低噪声	148
8.5 利用移动磁体磁性建立高输出唱机盒前置放大器	149
8.6 用于录制和播放记录的频率响应和相位	150
8.7 RIAA 均衡前置放大器实验	151
8.7.1 RIAA 唱机前置放大器实验 I	151

8.7.2 RIAA 唱机前置放大器实验 2	153
8.7.3 RIAA 唱机前置放大器实验 3: 少即是多?	156
8.7.4 低电压真空管放大器制作	158
8.8 前置放大器电路供电电源	160
8.9 音响设备标准失真测试	162
参考文献	166
第 9 章 振荡器	167
9.1 振荡器系统简要概述	167
9.2 张弛振荡器工作原理	169
9.3 相移振荡器	170
9.4 自动增益控制无削波正弦波文氏桥振荡器	173
9.5 通用文氏桥振荡器	175
9.6 张弛振荡器设计实例	176
9.7 利用双路比较器、场效应晶体管和触发器建立 555 定时器	179
9.8 利用单片 74HC14 或 74AC14 建立张弛振荡器	181
9.9 射频振荡器	182
参考文献	186

第 3 部分 高级电子学

第 10 章 调幅信号和电路	189
10.1 AM 信号定义	189
10.2 AM 信号类型	192
10.3 载波抑制调幅信号	194
10.4 I 通道和 Q 通道	197
10.5 基本收音机电路	199
10.6 收听无线电广播实验	202
10.6.1 TRF 收音机	204
10.6.2 固态再生收音机	206
10.6.3 再生收音机和 TRF 收音机对比	207
10.6.4 信号混合	207
10.6.5 双联可变电容器	208
10.6.6 振荡线圈	209
10.6.7 中频变压器	209
10.7 利用 MK484/TA7642 芯片的超外差收音机	213
10.8 共射放大器测试	215
参考文献	215
第 11 章 调频信号和电路	216
11.1 调频信号定义	216

11.2 实验1:采用压控变容二极管建立调频振荡器实验	218
11.2.1 利用预加重和去加重发射与接收均衡曲线	220
11.2.2 观察预加重和去加重影响	222
11.2.3 调频和预加重网络	223
11.2.4 调频收音机	225
11.3 利用陶瓷滤波器和谐振器建立 FM 调谐器	231
11.4 Silicon Labs 公司调频收音机实验	235
11.5 调频探测器	238
参考文献	245
第12章 视频基础知识——包括视频信号	246
12.1 通过对比度、亮度、分辨率和锐度检查静物照片	246
12.2 电视画面分辨率和品质	250
12.3 宽高比	253
12.4 Kell 系数	255
12.5 宽高比、Kell 系数、帧速率和带宽决定扫描行数	256
12.6 锐度和频率响应	259
12.7 蝙蝠侠耳朵式图像增强恢复	259
12.8 彩电基础知识	262
参考文献	264
第13章 视频电路与系统	265
13.1 视频电路亮度和对比度	265
13.2 锐度电路	269
13.3 亮度、对比度和锐度视频处理器	271
参考文献	282
第14章 高等电子数学	283
14.1 线性方程	283
14.2 偏置电压	285
14.3 线性方程在 FM 立体声系统中的应用	288
14.4 线性方程在颜色编码中的应用	289
14.5 多项式	291
14.6 一阶多项式负反馈系统	296
14.7 多项式在放大器负反馈失真效果计算中的应用	298
14.8 本章总结	303
参考文献	303
第15章 基本电路分析技术	304
15.1 基尔霍夫定律在环路和节点电路方程分析中的局限性	304
15.2 环路方程	305
15.2.1 输入零电压源	305

15.2.2 定义电流和电压方向	306
15.2.3 使用正电荷电流推导电压分压器公式	306
15.2.4 使用节点方程求解并联电阻	307
15.3 戴维南等效电路	309
15.3.1 通过戴维南等效电路分析实际电路	311
15.4 交流电路分析	313
15.5 RC 低通和高通滤波器简单瞬态或脉冲响应	319
参考文献	322
第 16 章 回顾与分析	323
16.1 文氏桥振荡器 RC 反馈网络	323
16.2 唱机前置放大器	327
16.3 射极跟随电路	330
16.4 利用发射极输出阻抗决定共射放大器特性	335
16.5 反相增益视频放大器分析	338
16.6 以前项目的改进或变化	340
16.7 利用 60W 灯泡实现文氏桥振荡器	342
16.8 谐波失真分析初探	344
16.9 利用差分增益求解谐波失真	346
参考文献	348
第 17 章 半导体开关器件	349
17.1 电路破解	349
17.2 发明和专利	354
17.2.1 应用于宽频移相陶瓷滤波振荡器	355
17.2.2 非变容式电子可调电容器	359
17.2.3 伺服控制静态偏置 AB 放大器	364
17.3 其他设计实例	368
17.3.1 振荡器电源频率调制	368
17.3.2 LC 射频匹配网络	369
参考文献	371
第 18 章 故障排除与思考	372
18.1 电路组装	372
18.2 电路完成与测试	372
18.3 直流偏置条件	373
18.4 正确选择运算放大器	374
18.5 高速和大电流逻辑门电路	374
18.6 去耦电容	374
18.7 如何消除放大器振荡	375
18.8 低频振荡	375

18.9 在电源端注入噪声实现电源去耦	378
18.10 振荡器失振	379
18.11 减少外部噪声	380
18.12 实例分析	381
18.13 利用 AM / FM 收音机测试振荡器是否工作	381
18.14 低压差稳压器	382
18.15 测试设备回顾	382
18.16 疑难解答总结	383
18.17 本书思考	383

第 1 部分

初级电子学