

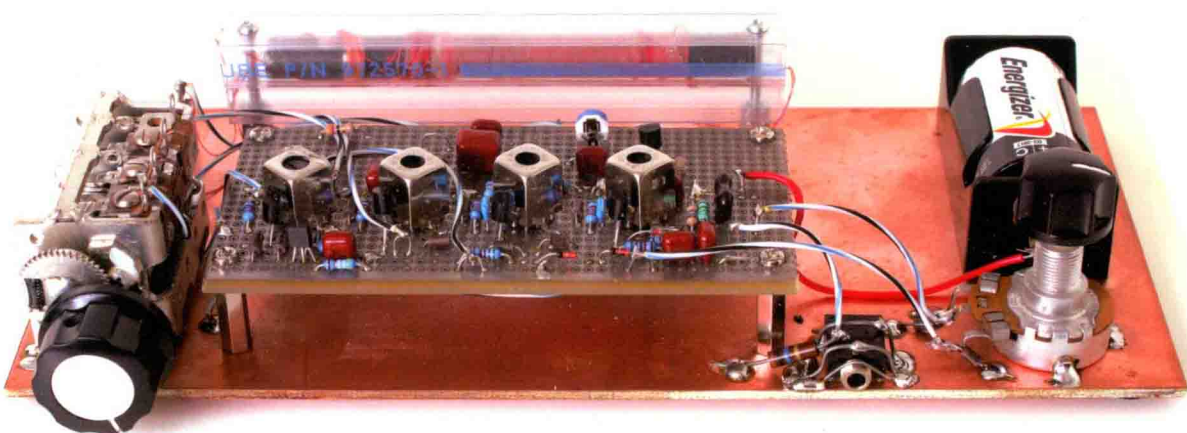
Build Your Own

Transistor Radios:

A Hobbyist's Guide to High-Performance and Low-Powered Radio Circuits

晶体管收音机 设计与制作

[美] Ronald Quan 著 沈雅琴 宋畅 译



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

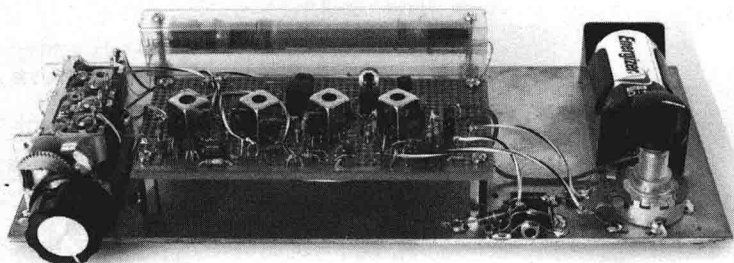
**Build
Your Own**

Transistor Radios:

A Hobbyist's Guide to High-Performance and Low-Powered Radio Circuits

晶体管收音机 设计与制作

[美] Ronald Quan 著 沈雅琴 宋畅 译



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

晶体管收音机设计与制作 / (美) 全 (Quan, R.) 著 ;
沈雅琴, 宋畅译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2015. 7
ISBN 978-7-115-35798-4

I. ①晶… II. ①全… ②沈… ③宋… III. ①晶体管
收音机—电路设计 IV. ①TN854

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第125563号

版权声明

Ronald Quan
Build Your Own Transistor Radios: A Hobbyist's Guide to High-Performance and Low-Powered Radio Circuits
978-0071799706
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 and POSTS & TELECOM PRESS. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.
Copyright © 2015 by McGraw-Hill Education and POSTS & TELECOM 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-希尔教育出版公司和人民邮电出版社合作出版。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© 2015 由麦格劳-希尔教育出版公司与人民邮电出版社所有。
本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签, 无标签者不得销售。
北京市版权局著作权合同登记号: 01-2013-7919

内 容 提 要

本书介绍如何搭建低功耗而高效的晶体管收音机电路。详细介绍了完整的电路实例, 给出详细的电路原理图, 并给出这些电路设计的思路。本书教会你如何选择元器件、搭建各种类型的收音机电路, 并且教会你如何对你所搭建的电路进行故障查找。特别适合自己动手制作收音机设备的电子爱好者。

-
- ◆ 著 [美] Ronald Quan
译 沈雅琴 宋 畅
责任编辑 紫 镜
· 执行编辑 魏勇俊
责任印制 周昇亮
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
- ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 29 2015年7月第1版
字数: 634千字 2015年7月河北第1次印刷
- 著作权合同登记号 图字: 01-2013-7919号
-

定价: 109.00元

读者服务热线: (010) 81055339 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021号

致 谢

在此衷心感谢Roger Stewart在我的第一本书的出版过程中对我的指导。Roger从最初确定本书的提纲开始就对我给予很大的支持和帮助。此外，我要衷心感谢Molly Wyand以及McGraw-Hill的其他员工。另外，我要衷心感谢编辑Patricia Wallenburg，感谢他在本书成书过程中的辛勤工作。

此外，我还要感谢Paul Rako，他将我的两个收音机设计在《EDN》期刊（*EDN Magazine*）上刊登。Paul以及《EDN》期刊读者的正反馈激励着我去写这本书。如果不是Paul将我推荐给McGraw-Hill的Roger Stewart，这本书就不会被写出来。

这个项目的工作非常紧张，我的同事Andrew Mellows 对我提供了很大帮助，为我校对所有材料，包括手稿和图，并且提供很多对我很有帮助的建议。Edison Fong博士也审阅了几章技术性更强的章节，并提供很多有帮助的建议。

我还要感谢我的导师：Robert G. Meyer、John Curl、John Ryan 和 Barrett Guisinger，他们为我提供了国际一流的电子学领域的教育。对于本书中所有那些疯狂的数学公式，我要感谢我的高中数学老师William K. Schwarze。

我还要感谢以下各位对我提供的支持与鼓励：Germano Belli、Alexis DiFirenzi Swale、Jo Acierto Spehar 和 Jeri Ellsworth。

最后，我要感谢我的亲密家庭中的所有成员：Bill、George、Tom 和 Frances。在这些年里，他们都教会了我很多东西。

最特别地，本书献给我的父母：Nee和Lai。

关于作者

Ronald Quan, 现居于加州Cupertino, 具有加州大学伯克利分校的BSEE (电子工程学士) 学位。他是SMPTE (The Society of Motion Picture and Television Engineers, 电影和电视工程师学会)、IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 电气和电子工程师学会) 和AES (Advanced Encryption Standard, 高级加密标准) 会员。他曾经在调频与调幅无线电台从事广播工程工作, 他在视频与音频设备公司 (Ampex、Sony Corporation、Monster Cable和Macrovision) 工作了30多年。Quan先生曾经在索尼公司为一台高清电视磁带录音机设计了宽带调频检波器, 在Macrovision公司设计了一台双色副载频 (7.16 MHz) 差分相位测量系统。此外, 在惠普公司, Quan先生开发了低功率条形码阅读器系列, 这一产品系列的功耗仅为传统的光笔阅读器功耗的一小部分。

Quan先生持有至少70个美国专利, 范围涉及模拟视频处理、低噪声放大器设计、低失真压控放大器、视频显示器、音频与视频IQ调制、带内载频音频单边带调制与解调、音频与视频扰码、条形码阅读器产品以及音频测试设备等领域。在2005年, 他被邀请作为斯坦福大学电子工程师系毕业研讨会的演讲嘉宾, 演讲内容为低噪声与低失真压控放大器拓扑学。在2010年11月, 他在旧金山莫斯考尼中心 (Moscone Center) 召开的音频工程师学会会议上宣读了一篇有关放大器失真的论文。

引言

自从20世纪初调幅（AM）收音机发明以来，无线电爱好者群体一直对搭建各种类型的接收机有独特的兴趣，这些接收机包括20世纪初期的矿石收音机到21世纪的软件定义收音机（SDR）。在矿石收音机与软件定义收音机（SDR）之间是射频调谐式、再生式、来复式以及传统的超外差式接收机。本书将在第5章到第11章讨论这些类型的收音机。第12章将举例说明用于软件定义收音机（SDR）的两种类型的前端电路，这两种电路采用模拟与采样方法生成I、Q信号。

本书实际上具有两个特点。前12章主要作为DIY（自己动手制作）手册。由第4章开始，读者可以开始搭建调幅测试信号发生器用于调节与校准调幅收音机。由第5章开始，介绍低功率射频调谐式（TRF）或者调谐式收音机。在第11章，介绍无线超外差式收音机的设计。

由第4章到第12章，都介绍了电路描述以及一些电路理论。具有一些电子理论知识的读者可能会发现这些收音机电路的技术描述是很有用的。工程类学生或者工程师应该根据他们的课程或工作特点更加关注第4章到第11章。

本书的第13章到第23章的第二部分几乎完全介绍了与信号和电路有关内容。这些信号与电路都是以非常直观的方式以高中数学的程度来讲解的。因此，如果读者仍然记得一些基本的代数学与三角学知识，应该能够理解这些章节内列出的方程式。此外，第13章到第23章所涉及的数学知识是按照逐步的方式来出现的，就好像是某个讲座中在白板或者黑板上所列出的方程式或者公式。因此，这本书尽最大努力在讲解中不要跳过任何步骤。

有关射频（RF）混频器与振荡器工作原理的描述，包括大信号特性分析，通常都

是在工程专业的研究生课程中讲授的。然而，即使本书中提到了变型贝塞尔函数，对于变型贝塞尔函数的讲解也是通过表格和图形以一种直观的方式来给出的。

对于已经学习过晶体管放大器分析的工程师来讲，本书将覆盖小信号特性与大信号特性，这些特性中还包括谐波与交调失真。

因此，本书可以被用作电路课与实验室课程教科书的补充参考书。当编写本书时，确定的目标是设计尽可能多的新型电路或者非传统电路，同时还提供一些传统电路的实例。这些电路中的任一种都可以在大学里被用于电子类实验课程的教材，在某种程度上，甚至也可以用于高中教学。例如，第23章给出了如何将一个电路集成到一个索引卡上而无需焊接任何零部件。

Ronald Quan

章节一览

第1章 概述	1
第2章 用于测试的校准工具及信号发生器	13
第3章 收音机电路的器件与调谐/调节部件	19
第4章 搭建简单的测试振荡器与调制器	35
第5章 低功率射频调谐电路	49
第6章 晶体管来复式收音机	65
第7章 低功率再生式收音机	75
第8章 超外差式收音机	89
第9章 低功率超外差式收音机	109
第10章 各种各样“异乎寻常”的超外差式收音机	121
第11章 无电感电路	131
第12章 软件定义收音机概述	145
第13章 振荡器电路	173
第14章 混频器电路与谐波混频器	191
第15章 采样理论与采样混频器	213
第16章 同相与正交 (IQ) 信号	247

第17章 中频电路265

第18章 检波器/自动音量控制电路.....285

第19章 放大器电路305

第20章 谐振电路333

第21章 镜像抑制355

第22章 噪声381

第23章 边做边学405

附录1 零部件供应商441

附录2 振荡线圈与中频（IF）变压器的电感值445

附录3 超外差式收音机的简要调节步骤449

目 录

引言.....	XV
第1章 概述	1
射频调谐式收音机.....	1
TRF收音机电路原理图.....	2
TRF收音机电路描述.....	2
再生式收音机	3
再生式收音机电路原理图	3
再生式收音机电路描述	4
来复式收音机	5
来复式收音机电路原理图	5
来复式收音机电路描述	6
超外差式收音机.....	7
超外差式收音机原理图	7
超外差式收音机电路描述	9
软件定义收音机前端电路.....	9
软件定义收音机前端电路原理图	10
软件定义收音机系统前端电路描述	11
收音机类型比较.....	12
第2章 用于测试的校准工具及信号发生器.....	13
调节工具.....	13
测试信号发生器.....	14
电感表.....	14
电容表.....	15

示波器.....	16
射频频谱分析仪.....	17
到哪里去购买工具与测试设备.....	17
第3章 收音机电路的器件与调谐/调节部件	19
天线线圈.....	19
可变电容器.....	21
晶体管.....	24
耳机.....	25
扬声器.....	26
无源器件.....	26
原型试验板与穿孔板.....	31
硬件.....	31
零部件供应商.....	33
第4章 搭建简单的测试振荡器与调制器	35
连续波信号.....	35
幅度调制信号.....	37
第一个项目——连续波射频测试振荡器.....	37
连续波发生器的调制器电路.....	41
零部件清单.....	44
替代电路.....	45
零部件清单.....	47
第5章 低功率射频调谐电路	49
TRF 收音机的设计思路.....	49
通过天线线圈或电路来提高灵敏度和选择性.....	51
TRF收音机的第一个设计.....	52
零部件清单.....	52
电路描述.....	54
各种设计（TRF收音机的其他设计）.....	55
零部件清单.....	56
作者早期的TRF设计.....	58
第6章 晶体管来复式收音机	65
同时放大射频信号与音频信号背后的动机.....	65

单晶体管TRF来复式收音机.....	68
零部件清单.....	68
多晶体管TRF来复式收音机电路.....	70
零部件清单.....	70
第7章 低功率再生式收音机.....	75
通过再生来提高灵敏度.....	75
通过再生获得的Q乘法效应来提高选择性.....	77
再生式收音机的设计思路.....	78
零部件清单.....	80
零部件清单.....	83
零部件清单.....	85
第8章 超外差式收音机.....	89
商用的采用晶体管的超外差式收音机.....	91
一个四晶体管收音机电路原理图.....	94
零部件清单.....	94
一个八晶体管收音机电路原理.....	98
零部件清单.....	99
其他振荡器与天线线圈电路.....	103
需要注意的问题.....	107
第9章 低功率超外差式收音机.....	109
低功率的设计目标.....	109
低功率振荡器、混频器与中频电路.....	109
低功率检波器与音频电路.....	110
低功率超外差式收音机的“第一个”设计.....	111
零部件清单.....	112
低功率超外差式收音机的其他设计.....	115
零部件清单.....	115
低功率调幅超外差式收音机的照片.....	118
第10章 各种各样“异乎寻常”的超外差式收音机.....	121
一个单晶体管超外差式收音机.....	121
一个单晶体管超外差式收音机电路的设计思路.....	122
零部件清单.....	123

一个双晶体管超外差式收音机	126
零部件清单	127
第11章 无电感电路.....	131
陶瓷滤波器	131
零部件清单	133
回转器（也称为模拟电感或者有源电感）	135
无电感（也称为无线圈）超外差式收音机	137
零部件清单	139
第12章 软件定义收音机概述	145
SDR前端电路、滤波器与混频器	150
I信号与Q信号的0度与90度定相电路输出	153
生成0度与90度相位的乘法器	158
软件定义收音机电路实例	160
零部件清单	161
用于40m业余无线电频段的第二个SDR前端电路	166
零部件清单	167
第13章 振荡器电路.....	173
单晶体管振荡器	176
差分对振荡器	184
参考文献	189
第14章 混频器电路与谐波混频器	191
加法电路与混频电路	192
失真可能是好事（对于混频来讲）	195
单个双极晶体管失真	195
简单的晶体管混频器及其变频跨导	201
差分对混频器	203
谐波混频电路	207
混频振荡电路	209
变频增益	211
参考文献	212
第15章 采样理论与采样混频器.....	213
乘法或混频中的采样信号	213

有限脉冲宽度信号	218
混叠是一种混频效应	221
乘法器电路作为平衡混频器	231
混频器性能的折中考虑	241
参考文献	244
第16章 同相与正交 (IQ) 信号	247
抑制载波调幅概述	249
正交信号 (I与Q) 是如何产生的	253
解调正交 (I与Q) 信号	258
用于软件定义收音机的正交 (I与Q) 信号	261
参考文献	263
第17章 中频电路	265
中频放大器	265
增益控制中频放大器	277
中频放大器失真效应的考虑	278
参考文献	283
第18章 检波器/自动音量控制电路	285
平均包络检波器	287
功率检波器	291
同步检波器	295
用于调幅广播信号的正交信号 (IQ) 检波器	297
测量一个平均载波或者提供自动音量控制	301
参考文献	303
第19章 放大器电路	305
运算放大器概述	305
放大器特性	313
连接多个放大器形成放大器系统	318
采用放大器的实用思路	322
参考文献	331
第20章 谐振电路	333
简单的并联与串联谐振电路	333
振荡器中的谐振电路	341

带通与带阻滤波器实例	348
参考文献	353
第21章 镜像抑制	355
镜像信号是什么	355
减少镜像信号幅度的方法	359
分析一个采用正交 (IQ) 信号的镜像抑制混频器	360
分析镜像抑制混频器	364
一个不完善的90度移相器对于减少镜像信号的影响	375
参考文献	377
第22章 噪声	381
随机电子噪声源以及一些基本噪声理论	382
并联晶体管以减少噪声	391
差分对放大器噪声	394
共射共基放大器噪声	400
选择运算放大器	401
参考文献	403
第23章 边做边学	405
单晶体管超外差式收音机的最新进展	405
关于SDR 40米前端电路	410
采用Spectran频谱分析仪程序对混频器进行的试验	410
对运算放大器与放大器进行的试验	419
对谐振电路进行的试验	428
戴维宁等效电路	431
分析一个桥型电路	433
本书的一些最终想法	436
参考文献	438
附录1 零部件供应商	441
附录2 振荡线圈与中频 (IF) 变压器的电感值	445
附录3 超外差式收音机的简要调节步骤	449

第1章

概述

本书将为无线电爱好者和工程师如何设计收音机电路提供指导。本书由简单的设计开始，包括矿石收音机的衍生类型，射频调谐式（TRF）收音机，再到超外差式高频头以及更加复杂的收音机设计。每一章都不仅仅给出电路，还提供电路设计思路，包括性能、功耗、获得零部件的难易程度以及零部件的数量等方面的折中考虑。

在设计领域，经常出现的情况是，解决一个难题时找不到一个最佳的设计。因此，在有些章节，可能会给出其他设计。

第4章到第12章将会引领无线电爱好者了解各种收音机项目。对于那些在实际经验或者学术水平上具有工程背景的读者，第13章到第23章将会对各种电路理论进行介绍，包括在各种项目如滤波器电路、放大器、振荡器和混频器等电路中的应用。

下面将会给出各种收音机的综述。

射频调谐式收音机

最简单的收音机就是射频调谐式（TRF）收音机，常被称为TRF收音机。它主要包括一个可调谐滤波器、一个放大器和一个检波器。

一个可调谐滤波器仅意味着滤波器的频率可以被改变。它非常像一根小提琴的琴弦，通过用手指改变琴弦的长度，可以被调谐到某个特定频率，可调谐滤波器可以通过改变滤波器器件的数值来改变其频率。

通常，可调谐滤波器包括两个器件：一个电容器和一个电感器。在一个小提琴中，琴弦越长，所产生的频率越低。同样地，在可调谐滤波器中，用于形成电感的导线越长，与电容器所产生的调谐频率越低。

在射频调谐式（TRF）收音机中，通常有两种方式来改变可调谐滤波器的频率。一种方式是通过采用可变电容器来改变电容值。这种方式是最常用的方式。实际上，所有消费类的调幅（FM）收音机都采用可变电容器，这些可变电容器可以是机械型的，例如空气型或者聚乙烯绝缘型可变电容器，调节一个转轴就可以改变电容，或者是一

2 晶体管收音机设计与制作

个电子可变电容器，这种电容器也被称为变容二极管，改变通过变容二极管的电压将会改变其电容值。本书将介绍机械型的可变电容器。

改变可调谐滤波器频率的第二种方法是通过一个调谐铁芯来改变电感器或者线圈的电感值。由于成本太高，这种方法不常用于消费类收音机中。然而，对于超高性能的收音机，将采用可变电感器在收音机频带中进行调谐，在本书中，将使用可调谐或可变电感器，但是，这些电感器仅用于收音机校准中的调谐，主要的调谐功能将由可变电容器来完成。图1-1 给出了一台射频调谐式（TRF）收音机的电路原理图。

TRF 收音机电路原理图

一个射频调谐式（TRF）收音机带有一个射频（RF）滤波器，此滤波器通常是可调的，还带有一个射频放大器，用于放大来自无线电广播电台的信号，以及一个检波器（见图1-1）。检波器将射频信号转换为音频信号。

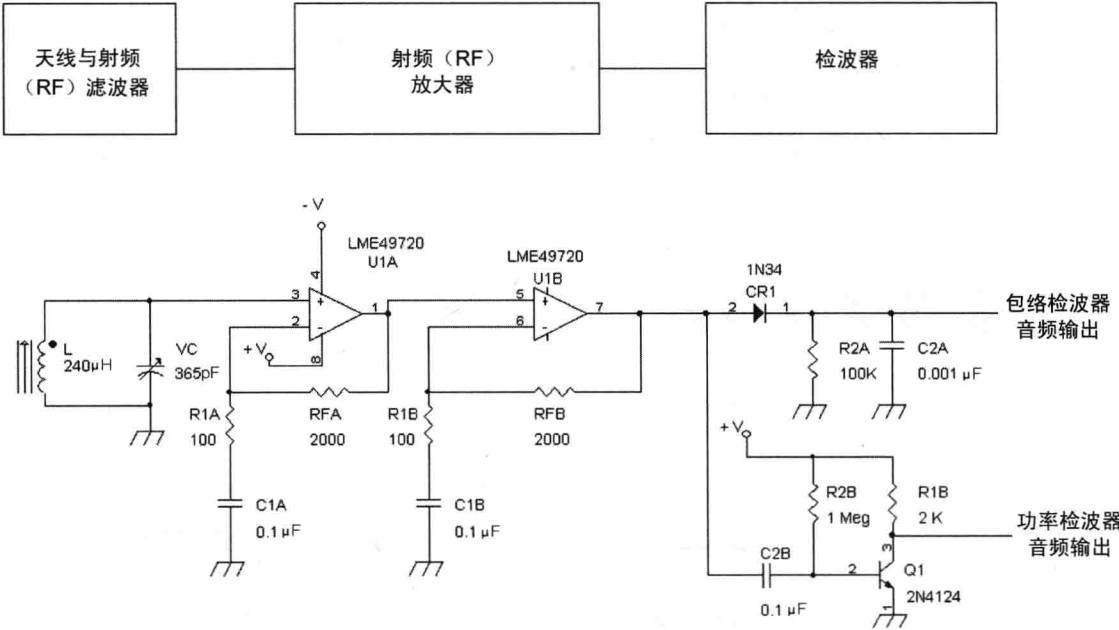


图 1-1 射频调谐式收音机的框图与电路原理图

TRF 收音机电路描述

对于调幅收音机，射频（RF）滤波器被调谐或者调节到接收某个特定无线电台。通常，有一个天线连接到射频（RF）滤波器上。但是，更常见的情况是，采用一个线