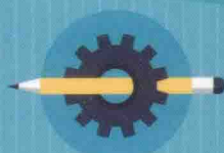


从应用到创新

手机硬件研发与设计 (第二版)



◎陈 皓 汤 堃 著



- ▶ 一线资深研发工程师的经典之作
- ▶ 基于电子、通信技术理论，用经典实例讲解手机硬件设计原理，解决疑难杂症
- ▶ 内容广泛，逐步深入，使工程师知其然更知其所以然



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

从应用到创新

手机硬件研发与设计

(第二版)

陈 皓 汤 堃 著

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是由一线资深工程师撰写的详细阐述手机硬件研发与设计的专业图书。全书由入门篇、提高篇、高级篇和案例分析篇四部分共23章组成,内容涵盖手机硬件基础知识、PCB与DFX基础知识、电源系统、时钟系统、音频处理、FM接收机、数字调制与解调、ESD防护、色度学与图像处理、信号完整性,以及各种相关的国际国内规范。

本书采取从简单到复杂、从功能到性能的顺序进行编写。入门篇以功能介绍为主,只定性不定量;提高篇基于各种测试规范,在功能介绍的基础上逐步开展性能分析;高级篇根据电磁学理论、信号处理理论对手机硬件设计进行较为严格的论证并定量计算各种参数指标;而最后的案例分析篇则综合利用前面各篇所介绍的知识,对实际案例进行分析,从而使读者可以理论联系实际,更快、更好地掌握手机硬件的设计方法,提高故障分析能力。事实上,本书虽以手机硬件为分析对象,但书中所阐述的基本原理同样适用于其他电子、通信产品的设计。

本书可作为硬件研发工程师及电子电气信息类学生的参考书或培训教材,在忽略高级篇部分理论性较强的章节后,亦可作为维修工程师、电子爱好者的参考资料。

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

从应用到创新:手机硬件研发与设计 / 陈皓, 汤堃著. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2016.10
ISBN 978-7-121-29944-5

I. ①从… II. ①陈… ②汤… III. ①移动电话机—硬件—设计 IV. ①TN929.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 225579 号

策划编辑: 李树林

责任编辑: 李树林

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

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: 37.25 字数: 954 千字

版 次: 2016 年 10 月第 1 版

印 次: 2016 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 99.00 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, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254463, lisl@phei.com.cn。

序

当今世界科技发展日新月异，全球信息化浪潮汹涌澎湃，信息产业极大地推进了经济和社会发展，已成为国民经济的重要支柱产业。作为信息技术的重要应用领域，移动通信和互联网技术给人们提供了越来越方便和快速、高质量的信息获取与交流手段，而手机作为最重要的移动信息终端，正在不断提高和改变人们的生活质量和生活习惯，成为必不可少的大众化消费产品。

手机的研发和制造涉及许多关键信息技术，如集成电路、操作系统、通信技术、互联网技术、信息处理及智能化技术等。其中既有基础科学技术作为支撑，又有大量工程化技术的实践和应用。目前，智能手机已逐步替代传统手机成为发展趋势，同时也成为重要的信息产业的增长点。

作为东南大学信号与信息处理国家重点学科的博士生导师，我指导过不少博士和硕士研究生，一些学生在毕业后也常与我有来往。他们中的大多数现在依然从事信息和通信技术方面的研发与设计工作，但有一个共同的感受，那就是尽管他们在大学学习了大量的数学、物理、电路、信号、通信、计算机、网络等方面的专业课程，尽管他们在各自特定的专业方向都很有成绩，但真正能够在实际工作中综合运用这些知识的人才并不多，更不要说达到举一反三、融会贯通的境界了。

本书作者既有扎实的理论功底，又有很高的工程化研发和应用能力，他围绕手机的研发设计，系统地提出设计步骤和方法，为广大读者提供了这本难得的非常实用的有关手机研发设计的专业指导书。纵览本书，作者将手机硬件设计放置在电路理论、信号理论和电磁理论的框架下讨论，既有技术方面的充分描述，又有科学的理论指导，理论和实践相互交融，相得益彰。尽管这只是一本讲述手机硬件设计的书，尽管其分析对象不如交换机、通信网络这般宏大，尽管这本书还可能需要不断完善，但我很欣喜地看到本书的作者（也是我曾经的学生）在这方面做出的努力与尝试。

感谢电子工业出版社李树林编辑的专业眼光与辛勤劳动，也衷心祝愿我国出版界能够多出一些快速适应工程发展所需的理论和工程实践更好结合的专业书籍，以满足不同层次读者的需要。

广州大学校长 邹采荣

第二版前言

本书第一版于 2014 年 8 月印刷出版，首次印刷后很快被销售一空，随后出版社进行了再次印刷，也很快销售一空。作为一本充斥着各种数学方程式的工程技术专业图书，既非教材，也无名人推荐与宣传，能有如此销量，大大超出了笔者的预期。要知道英国物理大师霍金曾调侃过：“科普书，每增加一个数学方程，将减少一半读者。”

由于技术的发展与进步，应出版社要求，两年后对本书进行修订，不仅修正第一版中发现的错误外，而且增加了三部分内容：一是重写了入门篇的天线部分，将前一版中 4 页纸的篇幅增加到近 20 页，对手机天线的发展历史及技术指标都做了更为详细的描述；二是邀请原摩托罗拉高级音频工程师马诚撰写了《手机声学结构设计》一文（收录在附录 C 中），文章内容详细，逻辑清晰，将手机声学结构设计的原理与规范很好地展现了出来；三是在附录 E 中收录了几篇读者反馈，他们在文章中或回忆了自己的工作经历，或分享了自己的经验感受，相信对广大读者，尤其是打算入行和入行不久的硬件工程师们，定能有所帮助。在此，笔者对马诚和这几位读者表示衷心的感谢！

在第一版出版后，作者陆续结识了不少读者，有同事或朋友介绍的，也有慕名而来的，其中一些读者一直与我保持着联系。相互熟悉后，他们常常会问一些与本书有关的问题。在此，作者挑出那些曾被反复提及的问题，进行统一答复。

问：写书挣了不少钱吧？

答：写书的稿酬收入较微薄，如你不信，可以自己写本书试试。

问：既不挣钱，写书干吗？

答：用文艺点的说法——我有情怀；用自我的说法——我喜欢。

问：书中大部分章节建构在电路、电磁、信号和数学分析的基础上，而我的理论知识基本都还给老师了，需要复习吗？

答：如果你把自己定位为 Reference Design 的搬运工，那自然无所谓。不过你打算长期工作于研发领域，最好把这些遗忘的知识捡回来。

问：是否看完这本书就能完全掌握手机硬件设计？

答：手机硬件设计包罗万象，哪里是一本书能够说的完的呢？！况且，本书只不过是一本入门级的参考书而已。

问：书中部分案例是几年前的技术，还有参考的价值吗？

答：我写的是硬件研发设计的原理，不是维修资料，重在分析方法与思维方式。

问：如何才能成为一名优秀的硬件工程师？

答：多看书 + 多思考 + 多实践，没有任何捷径。借用欧几里得的名言：There is no royal road to geometry（几何无王者之道）！

最后，笔者要感谢对第一版提出过诚恳批评与建议的读者，感谢出版社李树林编辑的耐心等待与专业校对（第二版的修订工作被笔者拖延了很长时间），感谢对笔者写作提供过真诚帮助的朋友，特别要感谢杨鑫峰、王国福、平慷、张璐瑶、霍亮、曹明君、姜舒、张一鸣、刘松、刘朝群、韩菲菲、曹慧娴、孙娜等同事，因为你们，笔者才能在工作中充满乐趣。

陈 皓

2016年8月于南京

第一版前言

有消息报导，截至 2013 年，全球手机用户突破 60 亿大关，而中国拥有大约 11.5 亿手机用户。这是一个极其庞大的数字，也是一个极其庞大的市场！随着国家对信息产业的重视，目前中国已经成为全球第一大手机设计与制造和消费国。在国内，从事手机研发、设计、制造、物流、销售、维修等产业的人员，几乎可以用“多如牛毛”来形容。

但在通信行业有句老话：“一流公司做服务，二流公司做标准，三流公司做产品，四流公司做制造。”所以，尽管我们为全球贡献了绝大多数手机，但产业链的核心却并不由我们掌握。且不说做服务的一流公司、做标准的二流公司，就连做产品的三流公司，似乎都没叫得响的中国品牌。

看看吧，从 1G 时代不可一世的摩托罗拉，到 2G 时代的北欧双雄爱立信与诺基亚，再到 3G 时代几乎滥大街的苹果和三星，它们除了打上了“Made in China”的 Logo 外，跟中国设计有啥关系？

出现如此尴尬的局面，原因肯定是多方面的。但作为一名从事手机硬件研发近十年的工程师，笔者想说的是：手机不仅仅是功能，更是性能！在业内，很多工程师都觉得做手机硬件设计，入门很容易（上海、深圳有众多的 Design House，研发人员水平参差不齐，却似乎个个都能设计手机），但要把硬件做好、做手机赚钱，却是件非常困难的事情。其中，除了品牌、市场等原因外，手机性能的不足也严重影响了产品的盈利。对于电子爱好者或维修工程师来说，能看懂原理图，知道各模块功能及大致的信号处理流程足矣。但对于手机硬件研发与设计工程师来说，如果还停留在硬件功能分析的水平上，就显得太不专业了。那么，如何将通信、电路理论融入到手机硬件设计中呢？

笔者记得自己在入行之初，一直苦于找不到一本讲述手机硬件设计的优秀教材。工作若干年后，笔者虽然也查阅了不少参考资料，但总感觉到：这些资料要么过于简单，基本上是手机电路的介绍，且更多偏向维修；要么内容过于抽象，就像大学教材的翻版，与手机硬件研发具体工作的相关性很少，不实用。于是，笔者萌发了撰写一本有关手机硬件设计方面图书的愿望。又过了若干年，市场上讲述手机软件设计的书籍越来越多，可讲述硬件设计、符合笔者内心愿想的那本书，却依然是零！于是，在笔者的心底，这个愿望更加强烈！

心动不如行动！现在，呈现在各位读者朋友面前的，就是笔者用了整整一年时间才收集、整理、撰写、绘制、校对完成的“产品”——《从应用到创新——手机硬件研发与设计》。

尽管有“王婆卖瓜，自卖自夸”的嫌疑，但笔者还是相当自信：至少在目前来看，这本书是由国内手机研发一线工程师所撰写的同类教材中的唯一一本，无论引用资料、技术背景还是故障分析，均采用研发过程中的实际案例，具有很强的理论与实践指导意义，远非一般维修类书籍所能比拟的。通过入门篇、提高篇、高级篇和案例分析篇四个部分，并结合各种国际国内规范，本书由浅入深地分析了整个手机硬件设计与调试的全过程，涉及移动通信系统分类与架构、PCB 与 DFX 基础知识、手机电源系统、时钟系统、音频信号处理、FM 接收机、RF 与天线、ESD 防护、色度学与图像处理、信号完整性，以及 TTY、HAC 等各种（新）功能。

整体上看,全书难度等级划分大致如下(以电子/电气/通信专业本科四年为参照):入门篇大约是大学二年级到三年级水平(也适合普通电子爱好者),提高篇大约是三年级到四年级水平(同时适合维修工程师),高级篇要求四年级到研究生一年级基础课水平(适合基础知识较为扎实的研发工程师)。所以,不同知识层次的读者,对手机硬件设计感兴趣的爱好者或者从业人员,都可以从本书中获益,这也是笔者写作本书的最大动力所在。

由于提高篇与高级篇部分章节内容对一些读者来说有一定难度,为了引起这部分读者的阅读兴趣,本书在文字叙述、插图配表上尽量做到直白、丰富而不失严谨,并在各章正文中记述了笔者从业多年以来所经历的各种奇闻异事,但为避免不必要的麻烦,正文中会将人名、公司等真实名称隐去,而以代号表示。在书末附录中,还收录了一篇“苦逼”IT男的那些事儿》,记录了笔者对自己这些年研发工作的一番自嘲。

另外,为了便于讲授,并与实际操作衔接,对不符合我国国家标准的图形和符号未做改动。在此,特别加以说明。

明张宗子(岱)的《夜航船》有一则故事:昔有一僧人,与一士子同宿夜航船。士子高谈阔论,僧畏慑,蜷足而寝。僧听其语有破绽,乃曰:“请问相公,澹台灭明是一个人、两个人?”士子曰:“是两个人。”僧曰:“这等,尧舜是一个人、两个人?”士子曰:“自然是一个人!”僧乃笑曰:“这等说来,且待小僧伸伸脚。”

笔者每每读书,见前言中必有“限于作者水平,书中不妥或错误之处在所难免,欢迎读者批评指正”之类的话,感觉作者好不啰唆。如今自己写书,方才感受到:前人诚不我欺焉!所谓言多必失,衷心欢迎各位读者朋友伸伸脚!

最后,笔者要特别感谢自己的太太——汤堃,是她一直在生活上关心我、照顾我,使我可以全身心地投入到工作与写作中!没有她的大力支持,就不会有本书的诞生。笔者还要感谢自己的徒弟李成龙,他提供了部分章节的参考资料,并帮助笔者校对了全部书稿。另外,笔者想对自己的同事兼朋友董行、孙涛、吴凡、王猛、曾锋、曹荣祥、石英锋、马杰、赵彦峰等说一句:“与你们共同工作的日子非常美好!”

适值本书第一版第2次印刷之际,上海读者曾兆林先生为本书编写了详尽的读书导图,浓缩了书中各章节的重点内容及知识点,非常有利于读者对本书的阅读与理解,在此向他表示感谢!但由于导图较大,不便于印刷,更适合电脑放大查看,因此放在出版社的服务器上以供下载。其下载地址为<http://yydz.phei.com.cn>的“资源下载”栏目或<http://www.phei.com.cn>的“在线资源”,有需要的读者朋友请自行下载。

陈皓

2015年1月于南京

目 录

入 门 篇

第 1 章 移动通信发展史和关键技术	2	2.2.13 G Sensor	45
1.1 无线电通信发展史	2	2.2.14 E-compass	46
1.2 移动通信网	3	2.2.15 Light Sensor 与 Proximity Sensor	47
1.2.1 交换子系统 (SSS)	4	2.2.16 Gyro Sensor	49
1.2.2 基站子系统 (BSS)	5	2.2.17 SIM 卡	50
1.2.3 操作维护子系统 (OMS)	5	2.3 手机的电源系统	50
1.2.4 移动电话机 (MS)	5	2.3.1 系统电源与外设电源	51
1.3 多址接入	6	2.3.2 电源的分类	52
1.3.1 频分多址 (FDMA)	6	2.4 手机中的常用接口	53
1.3.2 时分多址 (TDMA)	7	2.4.1 总线型接口	53
1.3.3 码分多址 (CDMA)	7	2.4.2 非总线型接口	54
1.4 编码与数字调制	11	2.5 手机中的关键信号	55
1.4.1 语音编码	11	2.5.1 Acoustic 信号	55
1.4.2 信道编码	13	2.5.2 I/Q 信号	59
1.4.3 数字调制	14	2.5.3 Clock 信号	59
1.5 我国移动通信发展史	15	2.6 天线	61
第 2 章 手机电路系统组成	19	2.6.1 手机天线的分类	61
2.1 手机的基本架构	19	2.6.2 手机天线的演化	63
2.2 手机基本组件	21	2.6.3 天线的电路参数	68
2.2.1 CPU 与 PMU	21	2.6.4 天线的辐射参数	71
2.2.2 Memory	23	2.6.5 与法规相关的指标	77
2.2.3 Transceiver	26	2.6.6 小结	78
2.2.4 RF PA	28	第 3 章 分立元件与 PCB 基础知识	79
2.2.5 天线电路	30	3.1 电阻、电容与电感	79
2.2.6 LCD	32	3.1.1 电阻	79
2.2.7 Acoustic	35	3.1.2 电容	80
2.2.8 键盘与触摸屏	37	3.1.3 电感	85
2.2.9 蓝牙	39	3.2 晶体管与场效应管	89
2.2.10 FM Radio Receiver	41	3.2.1 晶体管	89
2.2.11 Wi-Fi	42	3.2.2 场效应管	91
2.2.12 GPS	43		

3.3	PCB 基础知识	91	4.2.4	调试方案	100
3.3.1	PCB 的常规术语	92	4.3	Designs for SMT	100
3.3.2	PCB 的电气性能	94	4.3.1	防呆标志	100
3.3.3	特殊 PCB	95	4.3.2	焊盘设计	100
3.3.4	手机 PCB 的层面分布	95	4.3.3	金边粘锡	101
第 4 章	DFX 基础	98	4.3.4	AOI 与 X-Ray	103
4.1	DFX 的基本概念	98	4.4	Designs for Assembly	105
4.2	Designs for Structure	98	4.5	Designs for Repair	105
4.2.1	系统架构	99	4.6	对降成本的思考	106
4.2.2	器件选型	99	4.7	一些 DFX 案例	108
4.2.3	原理图设计	99			

提 高 篇

第 5 章	电源系统与设计	112	6.2.2	LC 振荡电路	142
5.1	线性电源与开关电源	112	6.2.3	晶体振荡电路	148
5.1.1	线性电源	112	6.3	手机电路中的振荡器	151
5.1.2	开关电源	115	6.4	时钟精度	153
5.2	LDO 与 DC-DC 的优缺点	117	6.4.1	Q 值的影响	153
5.2.1	电压大小	118	6.4.2	准确度与稳定度	157
5.2.2	电源纹波	118	6.4.3	相位噪声的影响	159
5.2.3	电源效率	121	6.5	锁相环简介	159
5.3	其他形式的电源	122	6.6	晶体校准案例一则	161
5.4	充电设计	123	6.6.1	故障现象	161
5.4.1	充电状态转移图	123	6.6.2	登网注册流程	161
5.4.2	充电电路	125	6.6.3	故障分析	162
5.4.3	充电判满	127	第 7 章	语音通话的性能指标	164
5.5	案例分析	128	7.1	国际规范	164
5.6	电源分配与布线	130	7.2	3GPP 的音频测试	165
5.7	小结	130	7.3	响度评定原理	172
第 6 章	时钟系统	131	7.4	测试系统	173
6.1	手机时钟系统简介	131	7.4.1	测试系统组成	173
6.1.1	时钟分类	131	7.4.2	人工耳与人工嘴	174
6.1.2	时钟的基本作用	132	7.5	高通平台调试	177
6.1.3	振荡原理	133	7.5.1	调试准备工作	177
6.1.4	小结	137	7.5.2	语音链路	178
6.2	常见振荡电路	138	7.5.3	TDD Noise 与 RF Power	181
6.2.1	RC 振荡电路	138	7.6	MTK 平台的语音链路	181

7.7 频响调整	182	第 9 章 通信电路与调制解调	216
7.7.1 滤波器分类	182	9.1 收信机架构	216
7.7.2 FIR 滤波器与 IIR 滤波器	183	9.1.1 超外差接收机	216
7.7.3 线性相位	183	9.1.2 零中频接收机	218
7.7.4 幅度响应	184	9.1.3 近零中频接收机	219
7.7.5 高通与 MTK 的选择	185	9.2 发信机架构	220
7.8 其他模块	186	9.2.1 发射上变频架构	220
7.9 主观测试	186	9.2.2 直接变换架构	222
7.10 手机音频中的声学设计	187	9.2.3 偏移锁相环架构	223
7.11 逸事一则	190	9.3 数字调制与解调	225
第 8 章 FM 立体声接收机	192	9.3.1 数字与模拟	225
8.1 调制与解调	192	9.3.2 GMSK 调制	226
8.1.1 调制与解调的概念	192	9.3.3 QPSK 调制	230
8.1.2 调制的必要性	193	9.3.4 恒包络与非恒包络	232
8.2 频率调制 (FM)	194	9.4 射频功放	236
8.2.1 FM 的数学表达式	194	9.4.1 GSM 功放的近似分析	236
8.2.2 FM 的特点	195	9.4.2 C 类功放的特性	239
8.2.3 我国 FM 的规定	196	9.4.3 极化调制 PA	245
8.3 立体声	197	9.4.4 WCDMA 线性 PA	248
8.3.1 立体声的原理	197	第 10 章 常规 RF 性能指标	249
8.3.2 调频立体声	199	10.1 测试规范	249
8.3.3 我国的调频立体声广播	201	10.2 RF 基础知识	249
8.3.4 预加重与去加重	201	10.2.1 频段划分	249
8.3.5 RDS 广播	202	10.2.2 常见物理单位	251
8.4 FM 立体声接收	203	10.2.3 常见指标	252
8.5 FM 立体声接收机芯片	206	10.3 GSM 手机 RF 测试	262
8.6 FM 立体声接收机的性能指标	207	10.3.1 发射机指标	263
8.6.1 信噪比 (S/N)	207	10.3.2 接收机指标	270
8.6.2 接收灵敏度 (Sensitivity)	207	10.4 其他 RF 指标	275
8.6.3 总谐波失真 (THD)	208	10.4.1 发射指标	275
8.6.4 邻道选择 (Adjacent Channel Selectivity)	208	10.4.2 接收指标	282
8.6.5 立体声分离度 (Stereo Separation)	208	第 11 章 ESD 防护	284
8.6.6 调幅抑制制度 (AM Suppression)	211	11.1 ESD 的原理	284
8.6.7 其他指标	211	11.2 ESD 的模型	284
8.7 案例分析	212	11.2.1 人体模型 (Human Body Model)	284
		11.2.2 机器模型 (Machine Model)	285

11.2.3	带电器件模型 (Charged Device Model)	285
11.3	人体模型充放电原理	285
11.3.1	人体充电	286
11.3.2	人体放电	287
11.3.3	多次放电	288
11.4	静电的影响	289
11.5	ESD 设计原则	290
11.5.1	软件防护设计	290
11.5.2	硬件防护设计	291

11.6	手机的 ESD 测试	296
11.6.1	我国标准	296
11.6.2	测试模型与环境	296
11.6.3	结果判定	298
11.7	案例一则	299
11.7.1	产品基本状况	299
11.7.2	定位静电导入点	300
11.7.3	整改方案	300
11.7.4	小结	303

高 级 篇

第 12 章	高级音频设计	306
12.1	音频信号处理滤波器	306
12.2	关于 FIR 滤波器与 IIR 滤波器	307
12.3	FIR 滤波器	308
12.3.1	FIR 滤波器的定义	308
12.3.2	FIR 滤波器窗口设计法	308
12.3.3	FIR 滤波器频率采样法	308
12.3.4	小结	309
12.4	IIR 滤波器	310
12.4.1	IIR 滤波器的定义	310
12.4.2	Yule-Walker 方程	310
12.5	量化误差与有限字长效应	312
12.5.1	量化误差	312
12.5.2	有限字长效应	313
12.5.3	零/极点波动	313
12.6	随机过程通过线性系统	315
12.6.1	Rayleigh 商	315
12.6.2	输入、输出信噪比	317
12.6.3	Wiener 滤波器	317
12.6.4	Wiener 滤波器的应用	319
12.7	自适应滤波器	320
12.7.1	最陡下降法	320
12.7.2	LMS 算法	321
12.8	噪声抑制与回声抵消	323
12.8.1	Single Microphone 降噪	323

12.8.2	回声抑制的原理	325
12.8.3	Far-end 消噪	327
12.8.4	其他模式下的 Dual Microphone 降噪	328
12.9	高级音频指标	329
12.9.1	T-MOS	329
12.9.2	G-MOS	330
12.9.3	Double Talk	331
12.9.4	Echo Attenuation vs. Time	333
12.9.5	Spectral Echo Attenuation	334
12.9.6	BGNT	334
12.10	小结	336

第 13 章	相机的高级设计	337
13.1	色度学	337
13.1.1	光学的预备知识	338
13.1.2	颜色的确切含意	338
13.1.3	颜色三要素	339
13.1.4	三原色及三补色	340
13.1.5	格拉斯曼定理与 CIE 的颜色表示系统	341
13.2	颜色模型	343
13.2.1	RGB 模型	343
13.2.2	CMY 模型	343
13.2.3	YUV 模型	344
13.2.4	HSI 模型	344
13.3	白平衡与色温	345

13.3.1	白平衡	345	13.10.2	四基色电视	375
13.3.2	色温	346	第 14 章	信号完整性	376
13.3.3	白平衡的定义	346	14.1	信号完整性概述	376
13.3.4	人眼的自动白平衡与相机 白平衡	347	14.1.1	信号完整性的意义	376
13.3.5	Gamma 校正	347	14.1.2	手机设计中的信号完整性	377
13.4	人的视觉特性	348	14.2	高频模型	380
13.4.1	人眼构造	348	14.2.1	频谱与带宽	380
13.4.2	人眼的视觉成像	348	14.2.2	阻容感模型	384
13.4.3	人眼的亮度感觉	349	14.2.3	传输线模型	387
13.4.4	人眼亮度感觉与图像 处理	351	14.2.4	手机中的传输线	395
13.5	图像处理	352	14.3	反射与端接	396
13.6	图像增强	354	14.3.1	反射的机理	396
13.6.1	灰度变换	354	14.3.2	反射图	399
13.6.2	直方图修正	355	14.3.3	容性反射与时延累加	401
13.6.3	图像平滑与锐化	356	14.3.4	走线中间的容性反射	403
13.7	图像恢复	361	14.3.5	感性反射	404
13.7.1	退化模型	361	14.3.6	端接策略	407
13.7.2	线性运动退化	362	14.4	有损传输线	408
13.7.3	图像的无约束恢复	363	14.4.1	损耗源	408
13.7.4	图像的有约束恢复	363	14.4.2	导线损耗	409
13.8	手机相机的测试	364	14.4.3	介质损耗	410
13.8.1	色彩还原性 (Color Reproduction Quality)	364	14.4.4	有损线建模	412
13.8.2	鬼影炫光 (Ghost Flare)	365	14.4.5	眼图	414
13.8.3	成像均匀性 (Shading)	365	14.5	传输线的串扰	418
13.8.4	分辨率 (Resolution)	366	14.5.1	串扰模型	418
13.8.5	成像畸变 (Distortion)	366	14.5.2	容性耦合与感性耦合	420
13.8.6	自动白平衡 (Auto White Balance)	367	14.5.3	近端串扰与远端串扰	422
13.8.7	灰阶 (Gray Scale)	367	14.5.4	差分阻抗与共模阻抗	426
13.8.8	视场角 (FOV)	368	14.5.5	奇模传输与偶模传输	428
13.8.9	曝光误差 (Exposure Error)	369	14.5.6	差分对的端接	431
13.8.10	信噪比	369	14.6	眼图案例一则	431
13.9	调制转移函数	369	14.6.1	案例背景	431
13.10	两个案例	373	14.6.2	USB 2.0 眼图简介	432
13.10.1	LCD 反色	373	14.6.3	不同容值 TVS 管对眼图的 影响	433
			14.6.4	小结	435
			第 15 章	各种新功能	436
			15.1	HAC	436

15.1.1	HAC 的概念	436
15.1.2	助听器的工作模型	436
15.1.3	两种耦合的优缺点	438
15.1.4	HAC 评级	439
15.1.5	M 评级	439
15.1.6	T 评级	441
15.1.7	HAC 认证常见问题	443
15.2	TTY/TDD	444
15.2.1	TTY/TDD 的定义	444
15.2.2	TTY 终端	445

15.2.3	TTY 呼叫系统	447
15.2.4	TTY 设备工作模式	450
15.2.5	TTY 测试	450
15.3	无线充电	450
15.3.1	无线充电的概念	450
15.3.2	无线充电的方式	450
15.3.3	无线充电的效能指标	456
15.3.4	无线充电的标准	458
15.3.5	对无线充电的疑问	460
15.3.6	小结	461

案例分析篇

第 16 章	ADC 与电池温度监测	464
16.1	ADC 的重要性	464
16.2	A/D 的基本原理	465
16.2.1	模拟与数字	465
16.2.2	A/D 的分类	466
16.2.3	逐次逼近型 A/D 的原理	466
16.2.4	逐次逼近型 A/D 的量化 误差	467
16.2.5	量化处理	468
16.2.6	Σ - Δ 型 A/D	469
16.3	电池温度监测电路	471
16.4	误差分析	473
16.4.1	NTC 电阻离散性导致的 误差	474
16.4.2	A/D 转换导致的误差	474
16.4.3	电路拓扑导致的误差	476
16.4.4	多项式插值导致的误差	477
16.5	系统总误差	478
16.6	实际测试结果	479

第 17 章	Receiver 的低频爆震	480
17.1	项目背景	480
17.2	故障现象	480
17.3	调试过程	481
17.3.1	检查 Receiver 的 SPL 与 THD	481
17.3.2	调整 Receiver 的功率	481

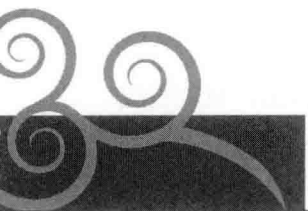
17.3.3	调整 RFR 的低频部分	482
17.3.4	Receiver 的工作高度	482
17.3.5	Receiver 厂家的测试过程	483
17.4	FFT 测试	484
17.5	小结	488
17.6	FFT 在音频设计中的应用	489
17.6.1	Audio PA Noise Analysis	489
17.6.2	Good Speaker or Bad Speaker	490

第 18 章	UXX 的 TDD Noise	493
18.1	项目背景	493
18.2	故障现象	493
18.3	实验测试	495
18.4	定位噪声引入点	496
18.5	案例反思	498

第 19 章	EN55020 案例一则	499
19.1	EN55020 测试环境	499
19.2	实测结果	500
19.3	测试结果分析	502
19.3.1	干扰信号采用 FM 方式	502
19.3.2	干扰信号采用 AM 方式	503
19.3.3	故障优化	503
19.4	充电器与充电线的影响	504

第 20 章	Acoustic 调试中值得关注的几个现象	506
20.1	磁钢与主板 TDD Noise	506

20.2	Receiver 的啸叫	506	第 22 章	开机自动进入测试模式	519
20.3	波浪状的频响曲线	507	22.1	故障状态	519
20.4	切换模式后的 Echo Loss Fail	508	22.2	故障分析	520
20.5	按压电池盖导致 RCV 响度 下降	509	22.2.1	信号测量	520
第 21 章	工厂端音频自动检测方案	511	22.2.2	原因分析	521
21.1	目前现状	511	22.3	深层思索	523
21.2	检测原理	512	第 23 章	GPS 受扰案例一则	525
21.3	方案步骤	513	23.1	故障定位	525
21.4	Loudness、Resonance/Echo 及 TDMA Noise 判定	514	23.2	故障解决	528
21.4.1	Loudness、Resonance/Echo 判定	514	23.2.1	定位干扰源	528
21.4.2	TDMA Noise 判定	514	23.2.2	解决思路	529
21.5	确定门限	515	23.2.3	原理分析	529
21.5.1	SPL_STD_Criteria 及 RES_ STD_Criteria 的门限	515	23.2.4	优化结果	533
21.5.2	测试距离	516	23.2.5	Sorting 方案	535
21.6	性能分析	517	23.3	小结	536
21.6.1	频谱分辨力	517	附录 A	几何光学成像	537
21.6.2	误判率	517	附录 B	立体声原理	541
21.6.3	鲁棒性	518	附录 C	手机声学结构设计	553
			附录 D	“苦逼”IT 男的那些事儿	569
			附录 E	读者反馈	574



入 门 篇

【摘要】本篇主要介绍移动通信的发展历史及关键技术，手机电路的组织架构与基本原理，分立元件与 PCB，可生产性等方面的知识，大部分内容仅仅做功能分析，只定性不定量，满足入门者的需要。

移动通信发展史和关键技术

随着移动通信技术的迅速发展,手机已经渗入到人们生活的方方面面。过去,我们仅仅用手机打电话,然后用手机收发短信、玩游戏、拍照片,再后来用手机导航、上网、下载视频等。如今,我们可以在诸如商场、车站、饭店等公共场所看到许许多多低头摆弄手机的年轻人,那专注的眼神,那痴迷的情感,恐怕也只有用恋人之间的深情凝望才能够形容。

既然手机有如此大的魔力,那么手机及移动通信系统到底是如何演进发展的呢?

这便是本章要探究的问题。

1.1 无线电通信发展史

1820年,丹麦物理学家奥斯特(Oersted, 1777—1851)发现了电流使小磁针偏转的现象,提出了电流的磁效应。(从小到大,笔者只知道三个丹麦人:安徒生、奥斯特、波尔。)

1820—1821年,法国物理学家安培(Ampere, 1775—1836)、阿拉果(Arago, 1786—1853)、萨伐尔(Savart, 1791—1841)通过一系列实验与理论,陆续揭示了电与磁之间的联系。(一群法国人,吃饱了撑的。)

1827年,德国物理学家欧姆(Ohm, 1787—1854)发现了著名的欧姆定律,并提出了电流与电阻这两个术语。(据说,他早先只是个中学物理教师。)

1831年,英国物理学家法拉第(Faraday, 1791—1867)首次通过实验证实了电磁感应现象,创造性地提出了“力线”的概念,陆续建立了电学与磁学的基本理论,标志着人类开始真正认识电磁现象。(工匠出身,心灵手巧的典型代表。)

1864年,英国物理学家麦克斯韦(Maxwell, 1831—1879)提出了著名的麦克斯韦电磁场方程组,通过四个积分/微分方程、三个物质本构方程、两个边界条件,概括了一切宏观电磁现象,将法拉第的“力线”概念推广到“场”概念,预言了电磁波的存在并断言光也是一种电磁波,开启了人类认识电磁现象的新纪元。(历史有时就是这样巧合!法拉第提出电磁感应原理的那一年,麦克斯韦诞生了;伽利略去世的那一年,牛顿落地了。)

1888年,德国物理学家赫兹(Heinrich Rudolf Hertz, 1857—1894)首先用实验证实了电磁波的存在,为人类认识、利用电磁波提供了可能。(可惜,比麦克斯韦还短命。)

1897年,意大利电气工程师马可尼(Guglielmo Marchese Marconi, 1874—1937)在陆地与一艘轮船之间进行了世界上首次无线电消息传输,成为移动通信的开端。到1901年,马可尼在英国与纽芬兰之间(3540 km),成功完成了跨大西洋的无线电通信,使得无线电真正进入实用阶段。(这位老兄在1909年获得诺贝尔物理学奖,后来“一战”时总管意军所有电台。)