

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: x2005222002

UDC_____

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

移动终端的 EMC 整体设计方案的研究

The Study of EMC Overall Design for Mobile

指导教师姓名: 游佰强 教授

专 业 名 称: 电子通信工程班

论文提交日期: 2010 年 04 月

论文答辩时间: 2010 年 06 月 03 日

学位授予日期:

答辩委员会主席:

评 阅 人:

2010 年 6 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。
本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：叶菁菁

声明时间：2010年06月02日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：叶菁菁

2010年06月02日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

随着移动终端系统的不断发展，其功能日益多样化，线路却越来越复杂，集成度也越来越高。由于手机工作频率较高，使用范围较广，涉及环境因素复杂，对 EMC 设计提出了较高的要求。如何让手机系统在满足自身功能的前提下，又不干扰其它电子设备，显得尤为重要。

电磁兼容（EMC, Electromagnetic Compatibility）是当今电子科技领域非常重要的一项技术。各国对手机 EMC 都提出一系列的标准。在中国，参照国际规范，目前国家无委和泰尔实验室的高昂的测试费用给测试和设计工作带来了很大的不便。为了保证能够通过国家的认证工作，有必要在认证之前对产品进行预测。

本研究工作基于笔者多年的工作经验以及多款项目的实践，总结了手机开发过程中可能遇到的实际 EMC、EMI 重点难点问题以及解决方法，并结合现代 EMC 基础理论与技术，分析和探讨了移动终端设计中遇到的 EMC 常见的问题，以及从预测的角度进行公司内部 EMC 的相关测试的可行性。

本文在前面章节首先简要介绍了电磁兼容的起源和发展，以及关于手机 EMC 测试的标准和相关内容，然后阐述了手机的射频设计。通过实际的手机设计分析每个模块对 EMC 的影响，归纳了对 EMC 设计有影响的 PCB 设计方法。在此基础上，设计搭建了公司内部的杂散测试系统，应用 ADS 仿真设计了耦合器、滤波器模块，并特别设计了一种能够改善输入回波损耗的滤波器电路，编写了相关的自动化测试程序。理论上和实际的专业 EMC 测试机构的测试结果比较表明，论文提出的新体系完全可以作为低成本的 EMC 测试调试系统，极大地降低测试费用，节约研发成本，方便工程师的日常调试工作。最后，论文用大量的实际案例详细地分析了 EMC 常见的重点问题和对应的解决方法。希望本文能够对工程师在手机的 EMC 设计、分析和测试有所帮助。

【关键词】： GSM；电磁兼容

Abstract

With the persistent development of mobile phone system, it has much more functions of various kinds, complicated circuits and higher integration. EMC design is facing challenges as the mobile should work with high frequency and wide band. So it is very important that mobile phones should not only meet the various functions but also have no interference with other electronic devices.

EMC (Electromagnetic Compatibility) is an important technology in electronic science and technology areas. Many countries have published standards on that. In China, the high expenditure in National Radio Committee brings great inconvenience to designer and testing work. In order to pass the national authentication, it is necessary to do the pre-test.

Based on the author's years of working experience and accumulations of responsible for many projects, we summarized potential problems of EMC & EMI and their solutions. Based on EMC basic theory and technology the common EMC issues in terminal design are also analyzed, as well as the possibility of EMC testing inside the company from the pre-test perspective.

Firstly, we introduced the origin and development of electronic compatibility and EMC test standards of mobile devices. Secondly, the mobile RF design and the effect of each module are described, followed by the summary of PCB design. Thirdly, the company's EMC auto test system is designed and built. Based on that, coupler and filter module is designed with ADS simulator (a type of filter circuit which can improve input return loss is made in detail), and the auto-test program is written. The test result of EMC shows that the system can be used as a low-cost EMC pre-test debug system, which will greatly reduce the test expenditure and save the cost of research & design. In the end, the common problems and solutions of EMC are analyzed with many cases. Hopefully, this article can help engineers with their EMC design, analysis and testing work.

【Key Words】: GSM; Electromagnetic Compatibility

目 录

第一章 绪论	1
1.1 电磁兼容的起源及发展	1
1.1.1 电磁干扰与电磁骚扰.....	1
1.1.2 电磁兼容.....	1
1.1.3 国内外 EMC 测试的现状	3
1.2 电磁兼容设计在移动终端设计中的重要性	4
1.2.1 手机发展历史.....	4
1.2.2 GSM 与 CDMA、WCDMA 的技术特点	5
1.2.3 电磁兼容的重要性.....	6
1.2.4 电磁兼容的新技术	7
1.3 本研究课题的主要工作	8
第二章 手机 EMC 相关概念及标准	10
2.1 电磁兼容基本概念	10
2.1.1 电磁兼容 (Electromagnetic Compatibility) 的含义 ^[2]	10
2.1.2 电磁环境的组成和控制方法	10
2.2 手机电磁兼容认证标准	12
2.2.1 国际 EMC 标准简单摘要 ^[2]	12
2.2.2 电磁兼容标准的分类 ^[2]	13
2.2.3 手机 EMC 测试的标准 ^[8]	14
2.2.4 手机 EMC 的主要测试内容介绍 ^[11]	16
2.3 总结阐述	24
第三章 手机射频电路的 EMC 设计思路	25
3.1 射频原理设计 ^[15]	25
3.1.1 手机接收机的电路结构和工作原理 ^[15]	26
3.1.2 手机发射机的电路结构和工作原理	29
3.2 Vienna 平台手机射频部分的设计	31
3.3 各个电路模块的设计	34

3.3.1 射频时钟设计	34
3.3.2 射频 PA 设计	36
3.3.3 天线设计	38
3.3.4 RF 前端模块的设计	38
3.3.5 射频收发器设计	39
3.4 小结	41
第四章 手机 EMC 的 PCB 设计	42
4.1 串扰的理论分析	42
4.1.1 串扰的产生	42
4.1.2 串扰的表示	42
4.2 手机 EMC 的 PCB 设计总结	44
4.2.1 元器件布局	44
4.2.2 PCB Layout 的设计实例分析	47
4.3 数模混合电路设计一般规范	57
4.4 小结	58
第五章 手机辐射系统的组建	59
5.1 传导型杂散辐射系统	59
5.1.1 定向耦合器的设计	60
5.1.2 滤波器的设计	76
5.1.3 单机系统连接实物图	83
5.1.4 自动测试软件的实现	83
5.2 手机辐射型杂散系统	87
5.2.1 实验说明	87
5.2.2 测试设备	87
5.2.3 测试设置	89
5.2.4 测试系统	89
5.2.5 测试过程	90
5.2.6 测试标准	90
5.3 小结	91

第六章 手机 EMC 设计容易出现的主要问题	92
6.1 手机杂散问题	92
6.1.1 案例分析一：FPC 对杂散辐射的影响	92
6.1.2 案例分析二：输入信号对杂散信号的影响	96
6.1.3 案例分析三：输出信号匹配电路对杂散信号的影响：	97
6.1.4 案例分析四：屏蔽效果对杂散辐射的影响	101
6.1.5 手机杂散问题对策与小结	103
6.2 手机无线灵敏度问题	103
6.2.1 案例分析一：背光电路对灵敏度的影响	106
6.2.2 案例分析二：屏蔽对灵敏度的影响	107
6.2.3 案例分析三：LCD 高速数据线对灵敏度的影响	109
6.2.4 案例分析四：金属对灵敏度的影响	111
6.2.5 灵敏度问题的对策及小结	111
6.3 总结	112
第七章 总结及展望	113
参考文献	115
攻读硕士学位期间所取得的研究成果	117
致 谢	118

Contents

Chapter 1 General description.....	1
1.1 EMC Origin and Development.....	1
1.1.1 Electromagnetic interference and Electromagnetic disturbance...1	
1.1.2 Electromagnetic compatibility.....1	
1.1.3 Domestic and overseas EMC current state.....3	
1.2 Importance of EMC Design for mobile terminal.....	4
1.2.1 Mobile Development.....4	
1.2.2 The Characteristic of GSM、CDMA and WCDMA.....5	
1.2.3 Importance of EMC.....6	
1.2.4 New Technology of EMC.....7	
1.3 Main work of the Paper.....	8
Chapter 2 Concept and Standard of Mobile EMC.....	10
2.1 EMC Concept.....	10
2.1.1 EMC Definition.....10	
2.1.2 EMC Environment.....10	
2.2 Standards of Mobile EMC Certification.....	12
2.2.1 International EMC Standards.....12	
2.2.2 The Classes of EMC Standards.....13	
2.2.3 EMC Test Standards of Mobile.....14	
2.2.4 Introduction of Mobile EMC Test.....16	
2.3 Summary.....	24
Chapter 3 Mobile Phone RF circuit Introduction.....	25
3.1 RF Design.....	25
3.1.1 The Circuit and Principle of Receiver.....26	
3.1.2 The Circuit and Principle of Transmitter.....29	
3.2 RF Design of Vienna Platform.....	31
3.3 Design of Each Module.....	34

3.3.1 RF Clock Design.....	34
3.3.2 RF PA Design.....	36
3.3.3 Antenna Design.....	38
3.3.4 RF FEM Module Design.....	38
3.3.5 RF Receiver and Transmitter Design.....	39
3.4 Summary.....	41
Chapter 4 PCB Design of Mobile EMC.....	42
4.1 Cross-talk Theory Analyze.....	42
4.1.1 Generation of Cross-talk.....	42
4.1.2 Expression of Cross-talk.....	42
4.2 The General disciplines of Mobile circuit Design.....	44
4.2.1 Component Placement.....	44
4.2.2 PCB layout Precautions.....	47
4.3 The General Design disciplines of Digital/Analog Multi-Circuits.....	57
4.4 Summary.....	58
Chapter 5 Setup of Mobile Radiation Test System.....	59
5.1 Conducted Radiation.....	59
5.1.1 Directional Coupler Design.....	60
5.1.2 Filter Design.....	76
5.1.3 System connection structure.....	83
5.1.4 Realization of Auto-test Software.....	83
5.2 Mobile Radiated Radiation.....	87
5.2.1 Test Description.....	87
5.2.2 Test Equipments.....	87
5.2.3 Test Settings.....	89
5.2.4 Test System.....	89
5.2.5 Test Process.....	90
5.2.6 Test Standards.....	90
5.3 Summary.....	91

Chapter 6 Main Problems of Mobile EMC Design.....	92
6.1 Mobile Radiated Radiation.....	92
6.1.1 Case 1: Effect of FPC.....	92
6.1.2 Case 2: Effect of Input Signal.....	96
6.1.3 Case 3: Effect of matching circuit.....	97
6.1.4 Case 4: Effect of shielding.....	101
6.1.5 Countermeasure and Summary.....	103
6.2 Wireless Sensitivity of Mobile.....	103
6.2.1 Case 1: Effect of Backlight Circuit.....	106
6.2.2 Case 2: Effect of shielding.....	107
6.2.3 Case 3: Effect of LCD data.....	109
6.2.4 Case 4: Effect of Metal.....	111
6.2.5 Countermeasure and Summary.....	111
6.3 Summary.....	112
Chapter 7 Summary and Expectation.....	113
Bibliography.....	115
Acknowledgement.....	118

第一章 绪论

1.1 电磁兼容的起源及发展

1.1.1 电磁干扰与电磁骚扰

电磁干扰是指电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能的下降。电磁骚扰是一种客观存在的物理现象，而电磁干扰是由电磁骚扰引起的后果。电磁骚扰包括系统内骚扰和系统间骚扰。

1881 年英国著名科学家希维赛德发表了《论干扰》的文章，这是研究骚扰最主要的早期文献。1883 年法拉第发现电磁感应定律，指出了变化的磁场在导线中将产生感应电动势。1884 年麦克斯韦指出变化的电场将产生变化的磁场。1887 年柏林电器协会成立了“全部干扰问题委员会”，成员包括著名的赫姆霍兹、西门子等人。1888 年赫兹用实验证明了电磁波的存在，从此开始了对电磁骚扰问题的实验研究。1889 年英国邮电部门研究了通信骚扰问题，同期美国的《电子世界》杂志也刊登了电磁感应方面的论文。1934 年 6 月 28 号至 30 号在巴黎举行了国际无线电干扰特别委员会（CISPR）第一次正式会议，从此开始了对电磁骚扰及其控制技术的世界性的研究。1936 年美国 bell 实验室的 schelkunoff 撰写的《A Theory of shielding》是第一篇讨论电磁屏蔽的文章。^[1]

1.1.2 电磁兼容

电磁兼容性是指电子设备在电磁环境中正常工作的能力。世界上第一个电磁兼容性规范是 1944 年德国电气工程师协会制订的 VDE0878，接着美国在 1945 年颁布了美国最早的军用规范 JAV-I-2250。美国 IEEE 学报 Transaction RFI 分册于 1964 年更名为 EMC 分册。美国学者 B.E.凯瑟撰写了系统性的论著《电磁兼容原理》。美国国防部编辑出版了各种电磁兼容性手册，应用于工程设计。1971 年麦道公司推出了 IEMACP，它是世界上第一个电磁兼容分析软件。到八十年代，美国、德国、日本、前苏联、法国等经济发达国家在电磁兼容研究和应用方面达到了较高的水平，主要研究和应用的内容包括电磁兼容标准和规范、分析设计和预测、试验测量和开发屏蔽导电材料、培训教育和管理等。他们在工程应用方面

研制出高精度的电磁干扰及电磁敏感度自动测量系统,开发了多种系统内和系统间电磁兼容性计算机分析和预测软件,形成了一套完整的设计体系,还开发研制多种抑制电磁干扰的新材料和新工艺。电磁兼容设计成为民用电子设备和军用武器装备研制中必须严格遵循的原则和步骤,在产品设计、加工、检测、试验和使用的各个阶段都要考虑电磁兼容技术和管理。电磁兼容性成为产品可靠性保证中的重要组成部分。虽然电磁干扰问题从 1881 年就被提出,但是电磁兼容这门新型的综合性学科是在近代才形成的。从四十年代提出电磁兼容性概念起,电磁干扰问题由单纯的排除干扰逐步发展成为从理论上、技术上全面保证用电设备在其电磁环境中正常工作的系统工程。电磁兼容学科在认识电磁干扰、研究电磁干扰和控制电磁干扰的过程中得到发展。它深入阐述了电磁干扰产生的原因,分清了干扰的性质,深刻研究了干扰传输及耦合的机理,系统地提出了抑制干扰的技术措施,促进了电磁兼容的系列标准和规范的制订,建立了电磁兼容试验和测量的体系,解决了电磁兼容设计、分析和预测的一系列理论和技术问题。就世界范围来说,目前电磁兼容性问题已经形成一门新的学科。我国也是 IEC / TC77 的 P 成员国,我国的 EMC 工作开展较晚,但是近年来,国家许多部门都在开展电磁兼容性的试验研究和有关技术标准的制定工作,制定了一系列标准和规范。1994 年,为全面规划和推进 EMC 标准的制订修订工作,促进国家电磁兼容技术进步和保护电磁环境,在全国无线电干扰委员会和国内 TC77 归口工作基础上,及时成立了全国电磁兼容标准化联合工作组,全面规划以中国 IEC61000 系列为主的电磁兼容标准体系和具体目标,1999 年陆续制订出一批等同或等效采用 IEC61000 的国家标准并绝大部分为强制执行,2002 年开始对部分相关产品 EMC 部分实施中国 3C 强制认证。为解决电气、电子设备制造部门和用户的急需,同时也为规范我国 EMC 认证体系提供了依据。这对保证电子设备的正常工作和人民的正常生活以及促进现代科学技术更迅速发展,都起了重要的作用。[2] [3]

当今,电磁兼容已渗透到每一个电气电子系统及设备中,市场的热点已涉及许多方面,如计算机安全、电信设备电磁兼容、无线设备、工业控制设备、自动化设备、机器人、移动通信设备、航空航天飞机、舰船、武器系统及测量设备的电磁兼容问题,超高压输电线及交流电气铁道的电磁影响、电磁场生物效应、地震电磁现象、接地系统、屏蔽系统等。近几年中国电子工业已经成为拉动国内经

经济增长的主要支柱之一，随着计算机、通信设备、消费电子和汽车工业的迅速发展，电磁兼容产业也获得了快速发展。图 1-1 所示为电磁频谱带宽变化的示意图^[2]，可以看到从 1906 到 1947 年，频谱范围就从原来的 1MHz 带宽增加到 1GHz，到目前为止，随着科技的发展频谱的范围扩展到上百 GHz。

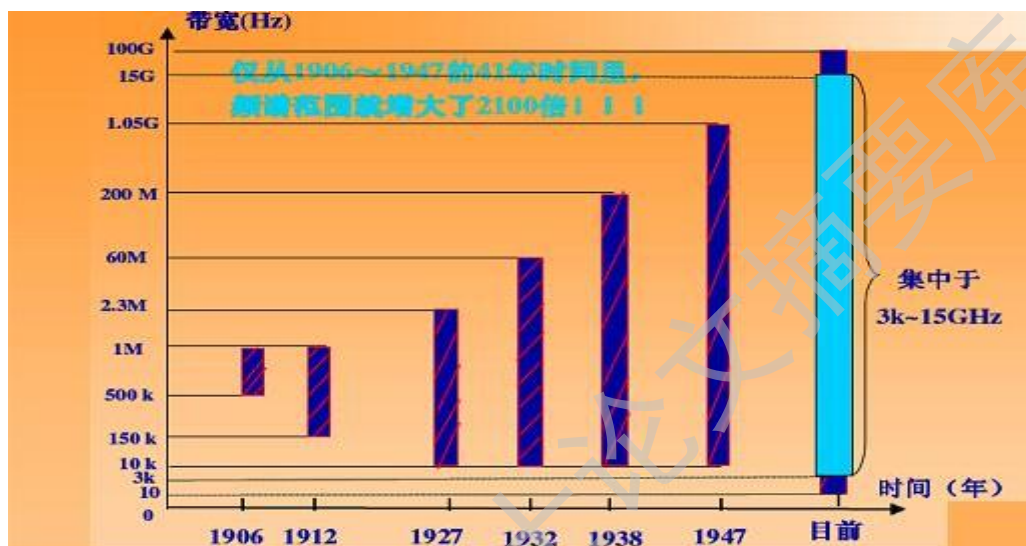


图 1-1 电磁频谱带宽变化的示意图

1.1.3 国内外 EMC 测试的现状

国外 EMC 测试仪表的先进水平首推欧盟的 R&S 公司和美国的 Agilent。与国外的广泛而成熟的应用相比，由于电波暗室在国内开始较晚，因此至少在两个方面存在着差距。第一是在电波暗室的建造方面，由于资金投入的限制，国内能够完全满足条件的范例所占比例不大，较多的情况是做一些初级的测试，这些实验室的测试认证资格有局限性。许多的产品已经不能只满足国内的标准了，出口到欧洲、美洲时需要通过相应的认证如 FCC (Federal Communication Commission 联邦通信委员会)、CE(法语 Conformité Européenne, 欧洲合格评定)、TUV(德语技术监督协会)等。如具有出具 CB 报告(我国电器企业产品进入国际市场的重要证书)资质的中国实验室有 12 家，但据国际电工委员会统计，2002 年中国有 8993 个电器产品获取了国际互认的 CB 报告，其中仅 5% 是由我国 12 个 CB 实验室出具的。^[4]

1.2 电磁兼容设计在移动终端设计中的重要性

1.2.1 手机发展历史.

(1) 2G(GSM 和 GPRS)

1973 年，库珀申请了一项名为“无线电通话系统”的专利，当时他正在电信设备制造商摩托罗拉工作。摩托罗拉公司原名加尔文制造公司（Galvin Manufacturing Corp），创立于 1928 年，由创始人之一的保罗·加尔文的名字命名。二战前，美国军方已经认识到无线电通信的重要性，开始研制便携式无线通信工具，并且自己研制出一款报话机（Walkie Talkie）SCR-194。1942 年，摩托罗拉公司再接再厉，研制出“手提式”的对讲机（Handy Talkie）SCR-536。这个超级“大哥大”重四公斤，在开阔地带通信范围一公里半，在树林中只有三百米。1982 年欧洲邮电管理委员会 European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) 提出了数字移动通信的标准 Groupe Spécial Mobile，简称 GSM。后来这个标准流行于世，欧洲又把它改称为 Global System for Mobile communications。1989 年，该标准被提交到欧洲电信标准局，第二年便成为欧洲后来乃至成为世界的第二代移动通信标准。GSM 的技术核心是时分多址技术（TDMA），1991 年，就由爱立信和一家芬兰公司架设了第一个 GSM 的移动通信网。两年后，包括中国在内的四十多个国家采用 GSM 标准。

(2) CDMA

CDMA 技术的出现源自于人类对更高质量无线通信的需求。第二次世界大战期间因战争的需要而研究开发出 CDMA 技术，其思想初衷是防止敌方对己方通讯的干扰，在战争期间广泛应用于军事抗干扰通信，后来由美国高通公司更新成为商用蜂窝电信技术。1995 年，第一个 CDMA 商用系统（被称为 IS-95）运行之后，CDMA 技术理论上的诸多优势在实践中得到了检验，从而在北美、南美和亚洲等地得到了迅速推广和应用。全球许多国家和地区，包括中国大陆、中国香港、韩国、日本、美国都已建有 CDMA 商用网络。在美国和日本，CDMA 成为国内的主要移动通信技术。在美国，10 个移动通信运营公司中有 7 家选用 CDMA。到 2006 年 4 月，韩国有 60% 的人口成为 CDMA 用户。在澳大利亚主办的第 27 届奥运会中，CDMA 技术更是发挥了重要作用。中国联通于 2002 年 1 月 8 日正式开通了 CDMA 网

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库