



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

信息与通信工程

P rinciple and Technology of Electromagnetic
Compatibility

电磁兼容

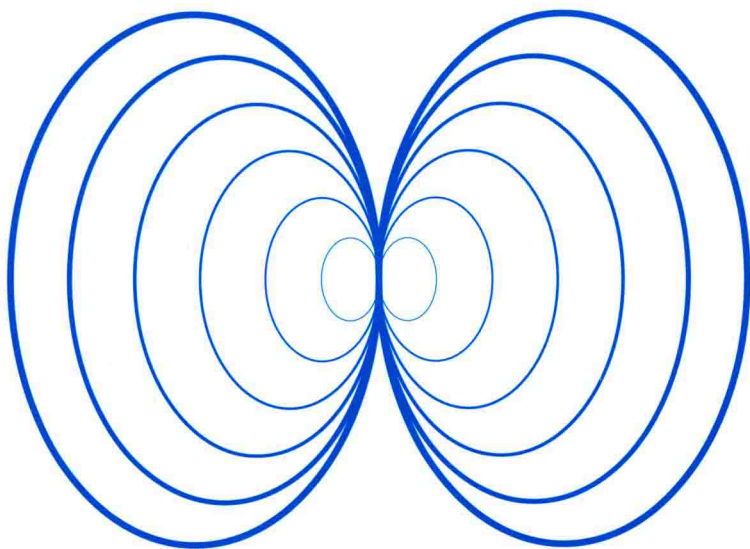
原理与技术

何宏 主编 杜明星 张志宏 副主编

He Hong

Du Mingxing

Zhang Zhihong



清华大学出版社



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Principle and Technology of Electromagnetic Compatibility

电磁兼容 原理与技术

何宏 主编 杜明星 张志宏 副主编

He Hong

Du Mingxing

Zhang Zhihong

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

在电子、电气、计算机、通信、铁路交通、航空航天、军事以及人们生活的各个方面,都会涉及电磁兼容(ElectroMagnetic Compatibility, EMC)问题,本教材深入浅出地介绍电磁兼容原理与技术。全书共分9章:第1章为电磁兼容技术概述;第2章为电磁兼容理论基础;第3章为干扰耦合机理;第4章为滤波技术;第5章为接地技术;第6章为屏蔽技术;第7章为印制电路板PCB的电磁兼容设计;第8章为计算机系统中的电磁兼容性;第9章为电磁兼容的预测与建模技术。

本教材适合于电子信息、电气工程、自动控制与机电一体化、计算机技术、仪器仪表、检测技术、生物医学工程等专业的本科生和研究生,还可作为从事电磁兼容测试、分析、设计,以及电气和电子产品研发、设计、制造、质量管理、检测与维修工程技术人员的参考书或相关专业的培训教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电磁兼容原理与技术/何宏主编. —北京:清华大学出版社,2017

(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-44695-8

I. ①电… II. ①何… III. ①电磁兼容性—高等学校—教材 IV. ①TN03

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第184637号

责任编辑:刘向威 梅栾芳

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市中晟雅豪印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15 字 数:362千字

版 次:2017年1月第1版 印 次:2017年1月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00元

产品编号:069849-01

高等学校电子信息类专业系列教材

一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

一 编审委员会

主任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委员	王志华	清华大学	宋梅	北京邮电大学
	韩焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	谢凯年	赛灵思公司
	刘铁根	天津大学	张伟刚	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	宋峰	南开大学
	苑立波	哈尔滨工程大学	靳伟	香港理工大学
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

在电子、电气、计算机、通信、铁路交通、航空航天、军事以及人们生活的各个方面,都会涉及电磁兼容(ElectroMagnetic Compatibility, EMC)问题。随着科学技术的进步,电磁环境日趋复杂,电磁干扰及电磁防护问题日益突出。世界各发达国家均对此给予了高度重视,我国的相关部门与机构也积极开展电磁兼容性的理论和应用研究。国家 3C(China Compulsory Certification, 中国强制性产品认证)认证制度的实施,有力地促进了电磁兼容性技术的进步。

本书深入浅出地阐述了电磁兼容原理与技术。全书共分 9 章:第 1 章给出电磁兼容的基本概念和含义,对电磁干扰三要素和电磁骚扰源进行分析,介绍电磁兼容技术的发展及电磁认证;第 2 章用周期性函数的傅里叶变换和非周期性干扰信号的频谱分析对电磁干扰(骚扰)进行数学描述,讲述电路、磁路、分贝的概念与应用;第 3 章对传导耦合、高频耦合和辐射耦合等干扰耦合机理进行详细的分析;第 4~6 章详细地介绍电磁兼容的滤波技术、接地技术和屏蔽技术;第 7 章讨论印制电路板 PCB 的电磁兼容设计;第 8 章针对计算机电磁兼容性问题的特殊性,重点介绍计算机系统抗干扰技术电磁兼容性;第 9 章是电磁兼容的预测与建模技术,在明确 EMC 预测与建模的目的后选择所属电磁场的计算方法,包括有限差分法、有限元法、矩量法及几何绕射理论等,介绍电磁兼容预测常用软件的功能。

本教材图文并茂,内容丰富、翔实,适合于电子信息、电气工程、自动控制与机电一体化、计算机技术、仪器仪表、检测技术、生物医学工程等专业的本科生和研究生,还可作为从事电磁兼容测试、分析、设计,以及电气和电子产品研发、设计、制造、质量管理、检测与维修工程技术人员的参考书或相关专业的培训教材。

本书是在作者多年教学和科研积累之上完成的,由何宏教授任主编,杜明星、张志宏任副主编,参加本书编写工作的人员还有宋雅琦、李宇、徐晓骏、毛程倩等,全书由何宏教授统稿,赵磊、高艳因、陈文浩、彭飞祥等人为本书的绘图做了大量的工作,在此一并向他们表示衷心感谢。

由于电磁兼容的内容涉及的技术领域和服务对象范围非常广,相关的理论和技术发展迅速,加上作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请各位读者和专家批评指正。

作者

于天津理工大学

2016 年 8 月

目录

CONTENTS

第 1 章 电磁兼容技术概述	1
1.1 电磁兼容概述	1
1.1.1 引言	1
1.1.2 电磁干扰的危害	2
1.1.3 电磁兼容的含义	5
1.1.4 电磁干扰的三要素	6
1.1.5 电磁干扰(骚扰)源的分类	7
1.1.6 电磁干扰(骚扰)源的时、空、频谱特性	9
1.1.7 电磁兼容性分析与设计方法	10
1.1.8 电磁兼容性研究的基本内容	11
1.2 电磁兼容技术的发展及电磁认证	12
1.2.1 电磁兼容技术的发展	12
1.2.2 电磁兼容技术的认证	15
习题	19
第 2 章 电磁兼容理论基础	20
2.1 电磁干扰(骚扰)的数学描述方法	20
2.1.1 周期性函数的傅里叶变换	20
2.1.2 非周期性干扰信号的频谱分析	20
2.1.3 脉冲信号的傅里叶积分	22
2.1.4 脉冲信号的快速时频域转换	24
2.2 电路与磁路	26
2.2.1 电路	26
2.2.2 磁路	28
2.3 分贝的概念与应用	33
2.3.1 分贝的定义	33
2.3.2 分贝的应用	35
习题	36
第 3 章 干扰耦合机理	37
3.1 传导耦合	37
3.1.1 电容性耦合	38
3.1.2 电感性耦合	43

3.1.3	电容性耦合与电感性耦合的综合考虑	48
3.2	高频耦合	51
3.2.1	分布参数电路的基本理论	51
3.2.2	高频线间的耦合	54
3.2.3	低频情况的耦合	56
3.3	辐射耦合	57
3.3.1	电磁辐射	57
3.3.2	近场区与远场区的特性	60
3.3.3	电磁波的极化	64
3.3.4	辐射耦合	64
	习题	65
第4章	滤波技术	66
4.1	电磁干扰滤波器	66
4.1.1	电磁干扰滤波器的工作原理	66
4.1.2	电磁干扰滤波器的特殊性	66
4.1.3	滤波器的插入损耗	67
4.2	滤波器的分类及特性	67
4.2.1	反射式滤波器	67
4.2.2	吸收式滤波器	72
4.2.3	电源线滤波器设计示例	75
4.3	常用滤波器元件	76
4.3.1	电容器	76
4.3.2	电感	83
4.3.3	铁氧体 EMI 抑制元件	87
4.3.4	滤波器的安装	90
	习题	91
第5章	接地技术	92
5.1	电子设备接地的目的	92
5.2	接地系统	92
5.2.1	悬浮地	93
5.2.2	单点接地	93
5.2.3	多点接地	94
5.2.4	混合接地	95
5.2.5	大系统接地	95
5.3	安全地线	98
5.3.1	设置安全地线的意义	98
5.3.2	设置安全接地的方法	99
5.3.3	接地装置	100
5.4	地线中的干扰	100
5.4.1	地阻抗干扰	100
5.4.2	地环路干扰	101

5.4.3	地线中的等效干扰电动势	102
5.5	低阻抗地线的设计	102
5.5.1	导体的射频电阻	102
5.5.2	导体的电感	103
5.5.3	实心接地平面的阻抗	104
5.5.4	低阻抗电源馈线	104
5.6	阻隔地环路干扰的措施	105
5.6.1	变压器耦合	105
5.6.2	纵向扼流圈(中和变压器)传输信号	106
5.6.3	电路单元间用同轴电缆传输信号	107
5.6.4	光耦合器	107
5.6.5	光缆传输信号	108
5.6.6	用差分放大器减小由地电位差引起的干扰	108
5.7	屏蔽电缆的接地	109
5.7.1	屏蔽层接地产生的电场屏蔽	109
5.7.2	屏蔽层接地产生的磁场屏蔽	109
5.7.3	地环路对屏蔽的影响	110
5.8	附加实例	110
	习题	111
第 6 章	屏蔽技术	112
6.1	电磁屏蔽原理	112
6.2	屏蔽效能	112
6.3	电磁屏蔽的类型	113
6.3.1	电场屏蔽	114
6.3.2	磁场屏蔽	116
6.3.3	电磁屏蔽	119
6.4	屏蔽效能的计算	120
6.4.1	金属平板屏蔽效能的计算	120
6.4.2	非实心型的屏蔽体屏蔽效能的计算	124
6.4.3	多层屏蔽体屏蔽效能的计算	126
6.4.4	导体球壳屏蔽效能的计算	127
6.4.5	圆柱形壳体低频磁屏蔽效能的近似计算	128
6.5	屏蔽材料	128
6.5.1	导磁材料	128
6.5.2	导电材料	129
6.5.3	薄膜材料与薄膜屏蔽	129
6.5.4	导电胶与导磁胶	130
6.6	屏蔽完整性	131
	习题	135
第 7 章	印制电路板 PCB 的电磁兼容设计	136
7.1	有源器件敏感度特性和发射特性	136

7.1.1	电磁敏感度特性	136
7.1.2	电磁骚扰发射特性	137
7.1.3	ΔI 噪声电流和瞬态负载电流	139
7.2	线路板上的电磁骚扰辐射	142
7.2.1	差模辐射与共模辐射	142
7.2.2	差模辐射	142
7.2.3	共模辐射	144
7.3	印制电路板(PCB)的电磁兼容设计	146
7.3.1	单面印制电路板(PCB)的设计	147
7.3.2	双面印制电路板(PCB)的设计	151
7.3.3	单面板和双面板几种地线的分析	151
7.3.4	多层印制电路板(PCB)的设计	156
7.4	表面安装技术	163
7.4.1	表面安装技术的特点	164
7.4.2	SMT 设备的发展	165
7.4.3	SMT 封装元器件及工艺材料的发展	166
	习题	167
第 8 章	计算机系统电磁兼容性	168
8.1	计算机电磁兼容性问题的特殊性	168
8.1.1	数字计算机中的干扰	168
8.1.2	特殊环境中的计算机电磁兼容问题	170
8.1.3	计算机病毒	171
8.1.4	计算机的电磁泄漏	171
8.1.5	计算机电磁兼容性问题的新动向	171
8.2	计算机元部件抗干扰措施	172
8.2.1	一般数字集成电路的抗干扰措施	172
8.2.2	动态 RAM 的抗干扰分析	173
8.2.3	A/D 转换器的抗干扰措施	173
8.2.4	计算机接口电路的抗干扰措施	175
8.2.5	微型计算机总线的抗干扰措施	176
8.3	工控环境中计算机的抗干扰技术	177
8.3.1	工控计算机硬件的抗干扰设计	177
8.3.2	工控计算机软件的抗干扰设计	178
8.3.3	工控计算机抗干扰用到的软件技术	181
8.4	计算机电磁信息泄漏与防护	185
8.4.1	计算机电磁信息辐射泄漏的途径	185
8.4.2	计算机电磁信息辐射的特点	185
8.4.3	计算机电磁信息辐射泄漏的防护技术	186
	习题	188
第 9 章	电磁兼容的预测与建模技术	189
9.1	明确 EMC 预测与建模的目的	189

9.2 判断 EMC 问题所属的电磁场性质	190
9.2.1 场的分类及特性	190
9.2.2 确定 EMC 问题所属的电磁场性质	193
9.3 电磁兼容预测与建模计算方法的选择	194
9.3.1 场的方法	194
9.3.2 路的方法	203
9.3.3 场路结合	203
9.4 电磁兼容预测常用软件功能	203
9.4.1 Zeland 软件	204
9.4.2 Apsim 仿真软件	205
习题	209
附录 A 电磁兼容国家标准目录(2016)	210
附录 B 电磁兼容技术术语	218
参考文献	224

1.1 电磁兼容概述

1.1.1 引言

随着科学技术的发展,人们在生产和生活中使用的电气及电子设备的数量越来越多,这些设备在工作的同时往往要产生一些有用或无用的电磁能量,这些能量将影响其他设备的工作,从而形成了电磁干扰。例如,继电器通、断所产生的瞬态电磁脉冲会使计算机工作失常;汽车驶过或飞机低空飞过住宅时,会干扰电视机的正常工作,使电视机出现杂乱的画面。严格地说,只要把两个以上的元件置于同一环境中,工作时就会产生电磁干扰。在两个系统之间会出现系统间的干扰,例如,飞机航行系统、船上电子系统、雷达系统、通信系统、电视和广播系统等,相互之间出现的干扰如图 1-1 所示。

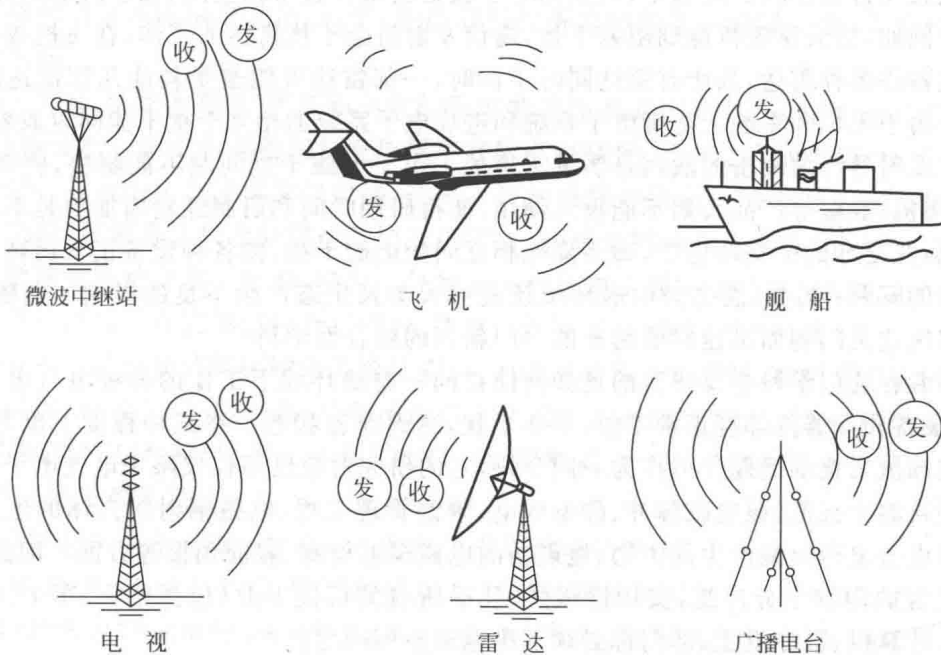


图 1-1 系统间的电磁干扰

在系统内部各设备之间也会出现设备间的干扰,称为系统内的干扰。例如,汽车内自动点火系统对车内收音机的干扰、雷达发射机对雷达接收机的干扰等。

同一电子设备中的各部分电路间会存在干扰,即一个电路可能受其他电路的干扰,也可能干扰周围其他电路。例如,数字电路对共用同一电源的低电平模拟电路的干扰,计算机中磁带驱动器的磁场对低电平数字电路的干扰,以及无线电接收机各级电路间的干扰(如图 1-2 所示),等等。

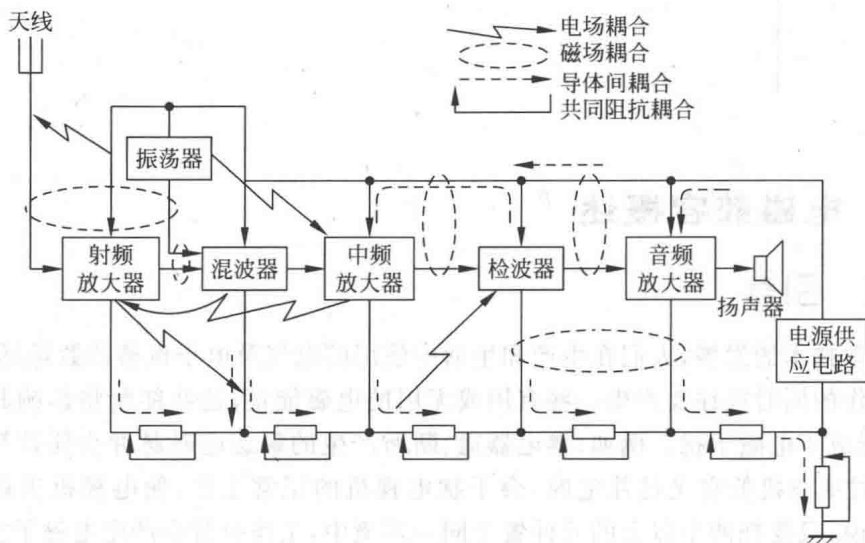


图 1-2 无线电接收机内各级电路间的干扰

在航天飞行器、飞机、舰艇中,大量的电子设备密集在狭小的空间,相互间的电磁干扰非常严重。例如,短波接收机遭到阻塞干扰,通信发射机会干扰雷达的工作,在飞机或舰艇上,一般要装备许多种雷达,当所有雷达同时工作时,一部雷达可能遭受其他几部雷达的干扰,在战斗中由于飞机和军舰上防御电子系统和进攻电子系统的相互干扰不能同时兼容工作而遭到对方发射导弹的攻击的战例是屡见不鲜的。由于电磁干扰问题不能解决,使新型航天飞行器、飞机、舰艇等产品长期不能投入使用,使得研制时间和研制经费增加更是不乏其例。

因此,在复杂的电磁环境中,如何降低相互间的电磁干扰,使各种设备正常运转,是一个亟待解决的问题;另外,恶劣的电磁环境还会对人类及生态产生不良的影响。电磁兼容学正是为解决这类问题而迅速发展起来的一门新兴的综合性学科。

电磁兼容这门学科主要研究的是如何使在同一电磁环境下工作的各种电气电子系统、分系统、设备和元器件都能正常工作,互不干扰,达到兼容状态。在某种程度上也可以说是研究干扰和抗干扰的问题。但作为一门学科,它的研究对象已不仅仅限于电气电子设备,而是拓宽到自然干扰源、核电磁脉冲、静电放电、频谱管理工程、电磁辐射对人体的生态效应、信息处理设备电磁泄漏产生的失密、地震前的电磁辐射检测、震前预报等方面。因此电磁兼容学科包含的内容十分广泛,实用性很强,几乎所有的现代工业(包括航天、军工、电力、通信、交通、计算机、医疗卫生)部门都必须解决电磁兼容问题。

1.1.2 电磁干扰的危害

在人们的生活中,电磁兼容效应普遍存在,形式各异。如果电磁兼容效应严重,将导致

严重的故障或事故,同时对人体健康也会产生影响。

1. 电磁干扰对设备的危害

随着科学技术的发展,人们在生产和生活中使用的电气及电子设备的数量越来越多,这些设备在运转的同时,往往要产生一些有用或无用的电磁能量,这些能量会影响其他设备或系统的工作,这就是电磁干扰。有人将电磁干扰的危害程度分为灾难性的、非常危险的、中等危险的、严重的和使人烦恼的五个等级。

1) 电磁干扰会破坏或降低电子设备的工作性能

电磁干扰会对电子设备或系统产生影响,特别是对包含半导体器件的设备或系统产生严重的影响。强电磁发射能量将使电子设备中的元器件性能降低或失效,最终导致设备或系统损坏。例如,强电磁场照射可使半导体器件的结温升高,造成PN结击穿,使器件性能降低或失效;强电磁脉冲在高阻抗、非屏蔽线上感应的电压或电流可使高灵敏度部件受到损坏等。

据不完全统计,全世界电子电气设备由于电磁干扰而发生故障,每年都造成数亿美元的经济损失。例如,移动电话信号干扰可使仪表显示错误,甚至可能造成核电站运转失灵。

美国航空无线电委员会(Radio Technical Commission for Aeronautics, RTCA)曾在一份文件中提到,由于没有采取对电磁骚扰的防护措施,一位旅客在飞机上使用调频收音机,使导航系统的指示偏离 10° 以上。因此,在国际上,对舰载、机载、星载及地面武器、弹药的电磁环境都有严格要求。1993年美国西北航空公司曾发表公告,限制乘客使用移动电话和调频收音机等,以免骚扰导航系统。

2) 电磁干扰造成的灾难性后果

电磁信息泄密使企业科技和商业机密被竞争对手轻易获取,严重影响企业的生存和发展;电磁波的辐射造成国家政治、经济、国防和科技等方面的重要情报泄密,关系到国家的保密安全问题。

1976—1989年我国南京、茂名和秦皇岛等地的油库及武汉石化厂,均因遭受雷击引爆原油罐,造成惨剧。雷击引起的浪涌电压属于高能电磁骚扰,具有很大的破坏力。1992年6月22日傍晚,雷电击中北京国家气象局,造成一定的破坏和损失。因为雷击有直接雷击和感应雷击两种,而避雷针只能局部地防护直接雷击,对感应雷击则无能为力,故对感应雷击应采用电磁兼容防护措施。据悉,绝大部分的雷灾事故中受损的是电视、电话、监测系统和电脑等高科技产品。受灾单位中有寻呼台、信息计算机中心、医院和银行等。

灾情有的造成整个计算机网络系统瘫痪,有的造成通信系统不畅,有的还造成辖区大面积停电。据悉,2000年1~8月份,广州市因雷击造成的死伤多达67人,其中死亡人数多达20人。雷击已经成为酿成广州电气火灾的第二大罪魁祸首。房屋和电器等损毁也较1999年严重,经济损失逾亿元。

下面介绍几个由于电磁干扰造成国外航天系统故障的例子。

1969年11月14日上午,土星V-阿波罗12火箭一载人飞船发射后,飞行正常。起飞后36.5s、飞行高度为1920m时,火箭遭到雷击。起飞后52s、飞行高度为4300m时,火箭又遭到第二次雷击。这便是轰动一时的大型运载火箭一载人飞船在飞行中诱发雷击的事件。故障分析及试验研究的结果表明,此次事故是由于火箭及火箭发动机火焰所形成的导体(火箭与飞船共长100m,火焰折合导电长度约200m)在飞行中使云层至地面之间及云层至云层之

间人为地诱发了雷电所造成的。1961年秋,一系列的雷电使部署在意大利的美国丘比特导弹武器系统多次遭到严重损坏,甚至原以为系统中隔离较好而与外界环境无关的元件也受到了严重的影响。

1962年开始进行的民兵I导弹战斗弹状态的飞行试验,前两发均遭到失败。这两发导弹的故障现象相似,都是制导计算机受到脉冲干扰而失灵。经过分析,故障是由于导弹飞行到一定高度时,在相互绝缘的弹头结构与弹体结构之间出现了静电放电,它产生的骚扰脉冲破坏了计算机的正常工作而造成的。

1964年在肯尼迪角发射场,德尔它运载火箭的Ⅲ级X-248发动机发生意外的点火事故,造成3人死亡。在塔尔萨城对德尔它火箭进行测试时,也发生过一起Ⅲ级X-248发动机意外点火事故。分析结果表明,肯尼迪角发射场的事故是由于罩在第三级轨道观测卫星上的聚乙烯罩衣,造成静电荷的重新分布,结果使漏电流经过发动机的一个零件到达点火电爆管的壳体而引起误爆。在塔尔萨城发生的事故是由于一位技术员戴着皮手套偶然摩擦发动机吸管的塑料隔板,使发动机点火电爆管引线上感应静电荷而引起的。

1967年大力神IIIC运载火箭的C-10火箭在起飞后95s、飞行高度26km时,制导计算机发生故障。C-14火箭起飞后76s,飞行高度为17km时,制导计算机也发生了故障。经过分析,制导计算机中采用的金属网套没有接地的部分与火箭之间产生电压,当火箭飞行高度增加,气压下降到一定值时,此电压产生的火花放电使计算机发生了故障。

1982年,英国与阿根廷马岛(马尔维纳斯群岛)之战,英国的一艘导弹驱逐舰由于要进行远程通信而将雷达系统关闭,因此未能及时发现进攻之敌,被阿根廷发射的飞鱼导弹击沉。这是未解决好舰上的雷达系统与通信系统间的电磁兼容问题而造成灾难的事例。

综上所述,可以看到,电磁干扰有可能使设备或系统的工作性能偏离预期的指标或使工作性能出现不希望的偏差,即工作性能“降级”。甚至还可能使设备或系统失灵,或导致寿命缩短,或使系统效能发生不允许的永久性下降。严重时,还可能摧毁设备或系统。

2. 电磁场对人体的危害

在现代社会,随着电子产品的日益增多,电磁分布也日益复杂,只要有人的地方,无处不存在着电磁场。长期受到电磁辐射将会影响人体健康并造成电磁污染。高频辐射大于一定限值时,会使人产生失眠、嗜睡等植物神经功能紊乱以及脱发、白细胞下降、视力模糊、晶状体混浊、心电图改变等症状。由于电磁骚扰的频谱很宽,可以覆盖0~40GHz频率范围,因此电磁波辐射继水源、大气和噪声之后成为第四大环境污染源,正在引起人们极大的关注。

电磁污染源很广泛,它就在我们生活的周围,几乎包括所有的家电,只是污染程度有强弱之分罢了。计算机首当其冲,这是因为人们必须与它面对面地操作,而且长时间接触,不像电视机能远距离接触。据德国慕尼黑大学医学研究所自1994年以来对近万名长期操作计算机的职业女性进行的跟踪调查表明,长时间操作计算机的妇女患乳腺癌的危险性,比其他职业妇女的概率高出43%。研究人员用雌性白鼠在电磁场中进行模拟实验,不久后发现白鼠的乳腺出现肿瘤,其成长速度与磁场强度有关。

微机等荧光屏可产生相当强的电磁辐射,对人体健康不利,对孕妇的影响更明显,对1~3个月的胎儿危害更大。据美国的一项报告,德伯特公司有12名孕妇在荧光屏前工作,一年间竟有7名孕妇流产,1名孕妇早产;国防兵役局有15名孕妇在荧光屏前工作,有7人流产,3人产下畸形婴儿。像这样的例子数不胜数。据来自美国的一项研究发现,每周操作

计算机达 20 小时的孕妇,在妊娠 3 个月内流产的可能性是通常情况下的两倍。

当今世界移动通信发展迅速。我国手机用户已经超过美国与日本,成为世界上手机用户最多的国家。手机持有者希望在任何地方都能获得通信服务,这就势必要求移动通信基站无处不在。

手机对人体的危害及其防治措施是人们日常生活中最关注,同时也是国际上最热点的问题,因为它们用天线直接对着人的脑部辐射电磁波。更为严重的是,人们都习惯于将手机紧紧贴着耳朵讲话,20%以上的辐射功率都被脑部吸收了。关于手机辐射对人体的影响,世界各国都在研究。

移动通信器材运行时接收来自基站的无线电信号,对波及范围的人影响不大,但当发话时,其顶部的发射天线附近会产生较强的高频电磁波,5~10cm 范围处可达 $100\sim 300\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (我国规定卫生标准为 $50\mu\text{W}/\text{cm}^2$)。当手机收发信号时,头部受到电磁辐射的辐照,头部解剖组织复杂,其分层结构及形状使电磁场偏向不均匀分布,组织的比吸收率(SAR)要增大,时间一长对大脑势必造成危害,严重者可形成癌瘤以致危及生命。一位意大利企业家使用手机后工作效率大增,可 3 年后他的头部发现癌瘤,从 CT 确诊癌瘤部位恰好位于手机天线顶端习惯放置的部位。1994 年一位美国商人使用移动电话 4 年后,同样也发现了头部癌肿,经治疗无效死亡。

据《纽约时报》报道,美国研究人员赖·亨利博士在布鲁塞尔召开的国际移动电话安全会议上报告说,移动电话发射的微波可导致实验室中的老鼠暂时丧失某些能力。他在一项实验中对老鼠进行了大约 45min 低能量辐射——大体上相当于一部移动电话发射的能量,结果发现,老鼠在接受辐射后短时间内产生了头脑混乱。他认为,移动电话很可能对哺乳动物的脑细胞造成不良影响,因为这种辐射改变了细胞组织,因此也改变了脑细胞执行任务的方法。欧洲的几位科学家同意此观点。英国政府主管放射研究的国家放射线保护委员会的科学家说,他们接受“移动电话可能改变人类细胞功能”的说法。另外,澳大利亚的研究人员最近也发现,经常使用移动电话可能会导致淋巴瘤。

利用电磁场对人体的影响,目前产生了新式的杀伤性武器。科学家发现,当电子束以光速或接近光速的速度通过等离子体时,会产生出定向微波能量,这种微波能量比大功率雷达用的微波功率要高几个量级。如果将这种波束能量加以会聚,就可能研制出直接杀伤对方战斗成员的电磁武器。据报道,美国已研制成功强微波发生器和高增益定向天线,可以发射出高强度的微波射束。报道称,人员直接遭到这种波束的“闪击”,可能造成神经细胞的功能混乱,出现神经错乱、晕头转向等现象;造成心房纤颤或心力衰竭,引起心脏病,甚至使心脏和呼吸功能停止,从而引起人员猝死。

1.1.3 电磁兼容的含义

电磁兼容(ElectroMagnetic Compatibility, EMC)一般指电气及电子设备在共同的电磁环境中能执行各自功能的共存状态,即要求在同一电磁环境中的上述各种设备都能正常工作又互不干扰,达到“兼容”状态。换句话说,电磁兼容是指电子线路、设备、系统相互不影响,从电磁角度具有相容性的状态。相容性包括设备内电路模块之间的相容性、设备之间的相容性和系统之间的相容性。

我国国家军用标准 GJB72—1985《电磁干扰和电磁兼容性名词术语》中给出电磁兼容性