

电磁兼容性原理及应用

湖北省电磁兼容学会 编

国防工业出版社



73.117
63

电磁兼容性原理及应用

湖北省电磁兼容学会 编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

2035/09

电磁兼容性原理及应用/湖北省电磁兼容学会编. —北京:国防工业出版社,1996.4
ISBN 7-118-01514-8

I. 电… II. 湖… III. 电磁兼容性-基本知识 IV. TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 13758 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 24 541 千字

1996 年 4 月第 1 版 1996 年 4 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:29.80 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

7090180

序

随着科学技术的发展,军事技术、工业、民用设备和系统的自动化、电子化水平不断提高,电磁干扰(EMI)和电磁兼容性(EMC)问题日益突出。例如英阿马岛之战,英国谢菲尔德号导弹驱逐舰由于雷达与通信网络相互干扰,不能同时工作;当谢菲尔德号与英本土通信时,恰遇阿根廷的飞鱼导弹来袭,导致舰毁人亡的惨剧;某轧钢企业的计算机网络由于雷击脉冲干扰导致计算机毁坏;城市里高频热合机和汽车点火系统对无线电通信业务和电视的干扰;核电磁脉冲导致电力系统和电子系统烧毁和失效。凡此等等,不胜枚举。这些使人们认识到 EMC 应该成为设备、分系统、系统的基本特性之一,因为任何设备、分系统、系统在其预期工作的电磁环境中不能满意的工作是令人遗憾的。

EMC 是一门新的综合性边缘学科,它以电气、无线电技术的基本理论为基础,涉及电子技术、微波技术、微电子技术、计算机技术、信息网络技术、隐身技术、静电、雷电以及核电磁脉冲等各学科和领域。伴随着这些学科的发展,未来 EMC 学科必然更令人瞩目。

进入 60 年代,发达国家都投入大量人力物力研究 EMC,形成 EMC 热。我国从 70 年代开始,各部门、军兵种有计划地组织、开展 EMC 研究工作。目前,在组织机构、科研成果等方面取得很大进展,并且在学术活动和机构上与国际接轨。

由湖北省 EMC 学会发起并组织一批从事 EMC 工作多年的专家、学者编著的本书,既有理论又有大量数据和经验体会,不乏具有新意的看法和建议,是近年来不多见的有价值的参考资料。

因此本人乐于为之荐。是为序。

高攸纲

前 言

随着科学技术的发展,电磁兼容性这门综合性应用学科的重要性日益突出,并已深入到国防、工业、商业甚至家庭中,由此引起了国内各行业研究和学习电磁兼容性的热潮。同时,极感缺少由国内学者编写的比较系统的专著。因此,湖北省电磁兼容学会组织学会的部分专家、学者并邀请国内著名专家、学者共同编著了本书。

中国电子学会电磁兼容委员会主任委员高攸纲教授为本书写序。

本书第一章由北方交大沙斐、船舶工业总公司 701 所于华昌编写;第二章由华中理工大学刘圣民编写;第三、五章由船舶工业总公司 701 所张坤元编写;第四章由船舶工业总公司 701 所曲长云编写;第六章由船舶工业总公司 701 所张招生编写;第七章由电子部第十设计院叶宗林编写;第八章由航空工业总公司 615 所柳光福编写;第九、十章由中科院物理所王先林编写;第十一章由北方交大张林昌编写;第十二章由武汉交通科技大学卢凌编写;第十三章由深圳技术监督局张达元、船舶工业总公司 701 所刘世木、徐晓明、曲长云编写;第十四章由武汉大学徐鹏根编写;第十五章由上海交大赵姚同编写;第十六章由电子部 22 所吴钧英编写;第十七章由叶宗林、于华昌编写;第十八章由曲长云、于华昌编写;第十九章由电子部 54 所刘云江编写;第二十章由铁道部第四设计院陈建成编写。全书由徐鹏根、于华昌、曲长云统稿。

本书涉及电磁兼容性学科的各分支,从原理到实践进行了比较系统的论述。由于编者都是各行业多年从事电磁兼容性研究的专家,书中结合编者多年来的研究成果和实践经验进行论述,使本书具有较强的实用性和较高的学术价值。

可以预见,本书的出版将为从事电磁兼容性工作的科技人员提供有益帮助。

由于时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

《电磁兼容性原理及应用》编委会

主 编

徐 鹏 根

副主编

于华昌 曲长云 卢 凌 陈建成

编 委

(以姓氏笔划为序)

王先林	叶宗林	刘云江	刘世木	孙震宇
沙 斐	杨书剑	吴钧英	张达元	张林昌
张坤元	张招生	柳光福	赵姚同	徐晓明
董天临	鲁 述			

内 容 简 介

本书吸收了国内外电磁兼容方面的研究成果,对电磁兼容性涉及的问题进行了较全面的介绍,既有理论又有应用实例。其内容包括:电磁干扰源,印刷电路板带状线、电线、电缆间的串音和耦合,电磁敏感性、危害性,屏蔽、滤波、接地技术,电气化铁道干扰,家用电器电磁干扰,电磁干扰和危害场强测量,计算机电磁兼容性,核电磁脉冲和雷电,近场数模计算,电磁兼容性数模预测,电磁波与生物体的相互作用,电力线对电信线电磁影响的简算以及频谱工程等。

本书适合从事电磁兼容性研究、设计人员阅读,还可供大专院校有关专业师生参考,或作为电磁兼容性学习班教材。

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 概述	(1)
§ 1.2 电磁兼容性研究的发展及其重要性	(2)
§ 1.3 电磁兼容性学科研究的内容	(3)
第二章 电磁场近场特性	(7)
§ 2.1 电磁场近场概念与场域划分	(7)
§ 2.2 感应近场特性	(10)
§ 2.3 辐射近场特性	(12)
§ 2.4 泄漏近场特性	(13)
§ 2.5 电磁近区场强标准	(14)
一、单极天线法	(14)
二、开口波导与角锥喇叭法	(15)
§ 2.6 近场测量的新技术	(16)
参考文献	(17)
第三章 电磁干扰源	(18)
§ 3.1 电磁干扰的条件	(18)
§ 3.2 电磁干扰源的分类	(19)
一、干扰源的分类法	(19)
二、自然电磁干扰源	(19)
三、人为电磁干扰源	(21)
四、电源线传导干扰源	(25)
§ 3.3 瞬变干扰源	(28)
一、开关	(28)
二、继电器	(29)
三、电动机与发电机	(30)
四、点火	(30)
五、高压输电线	(31)
六、高频瞬变	(31)
七、间断工作	(31)
参考文献	(32)
第四章 印刷电路板(PCB)带状线、电线、电缆间的串音和耦合	(33)
§ 4.1 串音和电磁耦合	(33)
§ 4.2 电线、电缆间串音和电场耦合	(34)
§ 4.3 电线、电缆间电感串音和磁场耦合	(38)

§ 4.4 电感和电容串音的组合	(43)
一、PCB 带状线和地平面上导线的特性阻抗	(43)
二、具有较长延时的传输线的串音	(45)
三、串音预测计算机程序	(46)
§ 4.5 电磁耦合	(47)
参考文献	(49)
第五章 电磁敏感性	(50)
§ 5.1 电磁敏感性的有关标准和规范	(50)
§ 5.2 系统和设备的敏感性现象	(51)
§ 5.3 接收机的敏感性	(53)
一、线性干扰响应	(53)
二、非线性干扰响应	(53)
§ 5.4 电磁敏感性评定标准	(55)
一、话音通信系统	(55)
二、图象通信系统	(56)
三、雷达系统	(58)
四、可接受比	(58)
五、同步误差	(58)
参考文献	(60)
第六章 接地	(61)
§ 6.1 接地平面	(61)
一、基本概念	(61)
二、接地平面的要求	(61)
§ 6.2 接地方式	(61)
一、浮地	(61)
二、单点接地	(61)
三、多点接地	(62)
四、混合接地	(63)
§ 6.3 电路接地	(64)
一、电路接地的考虑	(64)
二、单级电路的接地	(64)
三、多级电路的接地	(65)
§ 6.4 电源接地	(66)
一、电源接地的考虑	(66)
二、电源回线	(66)
§ 6.5 安全接地	(67)
§ 6.6 信号接地	(67)
§ 6.7 其他接地	(68)
一、信号电路屏蔽罩的接地	(68)
二、屏蔽电缆屏蔽层的接地	(68)
§ 6.8 接地的电磁兼容性要求	(69)

一、电路接地	(69)
二、搭接	(69)
参考文献	(70)
第七章 屏蔽技术	(71)
§ 7.1 屏蔽的机理和分类	(71)
一、屏蔽的机理	(71)
二、屏蔽的分类	(71)
§ 7.2 电磁屏蔽理论	(72)
一、谢昆诺夫(Schelkunoff)公式	(72)
二、莫泽(Moser)与班尼斯特(Bannister)公式	(74)
三、分析与讨论	(76)
四、涡流效应控制	(77)
§ 7.3 屏蔽效能计算	(78)
一、金属板屏蔽效能	(78)
二、金属网屏蔽效能	(79)
三、ELF/VLF 金属板屏蔽效能	(81)
四、准直流磁场屏蔽效能	(82)
五、门的屏蔽效能	(82)
§ 7.4 屏蔽效能的评定	(84)
§ 7.5 屏蔽材料选择	(85)
一、屏蔽效能	(85)
二、材料选择	(87)
§ 7.6 屏蔽室结构和主要屏蔽部件	(88)
一、屏蔽室结构	(88)
二、主要屏蔽部件	(89)
§ 7.7 屏蔽室谐振时的屏蔽效能	(93)
一、屏蔽室谐振频率	(93)
二、屏蔽室谐振时的屏蔽效能	(93)
§ 7.8 屏蔽室的时效	(95)
一、老化影响	(95)
二、潮湿环境影响	(96)
三、周期性维护	(97)
参考文献	(97)
第八章 滤波与电源滤波器	(98)
§ 8.1 滤波与滤波器	(98)
一、概述	(98)
二、滤波器的应用	(98)
§ 8.2 滤波器的特性	(100)
一、振幅特性	(100)
二、时延特性	(101)
三、反射系数	(102)

§ 8.3 电源 EMI 滤波器	(103)
一、电磁环境	(103)
二、共模和差模干扰信号	(103)
三、电源 EMI 滤波器网络结构	(103)
四、 C_x 和 C_y 电容器	(104)
五、其他性能	(105)
六、电源 EMI 滤波器的安装	(109)
七、公共接地回线	(111)
§ 8.4 开关电源 EMI 滤波器	(112)
§ 8.5 反射 EMI 滤波器	(113)
§ 8.6 损耗线 EMI 滤波器	(114)
§ 8.7 有源滤波器	(115)
参考文献	(116)
第九章 雷电及其防护	(117)
§ 9.1 概述	(117)
§ 9.2 雷电放电主要参数	(118)
一、雷电流	(118)
二、雷电场	(120)
三、雷电频数	(121)
§ 9.3 雷电的危害和防护	(122)
一、雷电的危害	(122)
二、雷电的防护	(124)
§ 9.4 防雷技术措施	(127)
一、接地网和防雷接地技术	(127)
二、接地体与接地电阻	(127)
三、机房内环形接地母线	(128)
四、电源设施	(128)
五、同轴馈线	(128)
六、其他措施	(128)
参考文献	(129)
第十章 核电磁脉冲	(130)
§ 10.1 概述	(130)
§ 10.2 核电磁脉冲的产生机理	(131)
§ 10.3 核电磁脉冲的基本特性	(133)
一、源区	(133)
二、近区	(135)
三、中、远区	(136)
§ 10.4 雷电与核电磁脉冲若干问题比较	(137)
§ 10.5 核电磁脉冲对电子、电气设备的干扰和损伤	(138)
一、核电磁脉冲对系统的干扰	(139)
二、核电磁脉冲对元器件的损伤	(139)

§ 10.6 屏蔽与防护装置	(143)
一、电场穿透	(144)
二、磁场穿透	(146)
三、滤波器、变量器、扼流圈和电涌放电器	(148)
四、接地与电缆布线	(152)
参考文献	(153)
第十一章 电气化铁道的无线电干扰	(154)
§ 11.1 概述	(154)
§ 11.2 电气化铁道的干扰源参数	(155)
一、线路阻抗与纵向衰减	(158)
二、横向传播特性	(159)
三、频率特性	(164)
四、统计参量特性	(166)
§ 11.3 对通信设备影响的估价	(168)
一、距离换算	(169)
二、天线系统	(170)
三、带宽与检波器类型换算	(170)
参考文献	(172)
第十二章 计算机的电磁兼容性	(173)
§ 12.1 计算机电磁兼容性综述	(173)
一、研究计算机电磁兼容性的重要性	(173)
二、计算机电磁兼容性问题的特殊性	(173)
三、计算机电磁兼容性问题的新动向	(177)
四、计算机电磁兼容性设计研究的内容	(180)
§ 12.2 计算机元、部件抗干扰措施	(180)
一、一般数字集成电路的抗干扰措施	(180)
二、磁盘信号读出电路抗干扰措施	(181)
三、动态 RAM 抗干扰分析	(181)
四、A/D 转换器抗干扰措施	(183)
五、计算机接口电路抗干扰措施	(185)
六、微型计算机总线抗干扰措施	(187)
§ 12.3 计算机电源系统的电磁兼容性问题	(189)
一、研究计算机电源系统电磁兼容性问题的的重要性	(189)
二、供电系统的干扰来源	(189)
三、计算机供电系统的抗干扰措施	(189)
§ 12.4 计算机传输通道的电磁兼容性问题	(191)
一、计算机传输通道的特殊问题	(191)
二、计算机使用的传输线及其抗干扰技术	(192)
三、计算机接地系统抗干扰问题	(193)
四、计算机印刷电路板抗干扰措施	(194)
§ 12.5 计算机空间电磁干扰的抑制技术	(195)

一、计算机系统外部电磁辐射干扰源	(196)
二、静电对计算机的危害及防护	(196)
三、雷电干扰与防护	(197)
四、计算机对空间电磁干扰的屏蔽	(197)
§ 12.6 计算机的电磁泄漏及防护措施	(198)
一、计算机电磁泄漏的概念	(198)
二、计算机电磁泄漏的主要途径	(198)
三、计算机电磁泄漏的危害	(199)
四、计算机电磁泄漏的防护措施	(199)
§ 12.7 计算机机房设计	(200)
一、计算机机房设计的内容	(200)
二、计算机机房的选址原则	(200)
三、计算机机房屏蔽体的结构设计	(201)
四、计算机机房内的静电	(202)
五、计算机机房内的电磁防护	(202)
六、计算机机房内的噪声控制	(203)
七、场地环境的安全保护	(203)
八、计算机室内主要设备位置安排实例	(203)
§ 12.8 计算机软件抗干扰	(204)
一、软件抗干扰的特点	(204)
二、计算机抗干扰用到的软件技术	(205)
三、计算机软件抗干扰实例	(205)
§ 12.9 计算机系统的电磁兼容性问题及设计举例	(209)
一、系统总体设计中的电磁兼容性问题	(209)
二、计算机电磁兼容性设计举例	(209)
参考文献	(213)
第十三章 电磁辐射危害及其防护	(214)
§ 13.1 电磁辐射对人员的危害及其防护	(214)
一、电磁辐射对人员的危害性	(214)
二、电磁辐射对人员危害的防护	(218)
§ 13.2 电磁辐射对燃油的危害及防护	(219)
一、电磁辐射对燃油的危害性	(219)
二、电磁辐射对燃油危害的防护	(219)
三、射频辐射对燃油危害防护设计准则	(220)
§ 13.3 强电磁辐射对电引爆军械的危害	(220)
一、问题的提出	(220)
二、电爆管的类型及起爆机理	(221)
三、危害电爆装置的潜在干扰源	(224)
四、安全距离	(224)
五、安全系数	(225)
六、电磁辐射对军械危害的有关标准	(226)
§ 13.4 家用电器的电磁污染及防护	(227)

一、概述	(227)
二、家用电器电磁干扰的分类	(228)
三、家用电器电磁干扰的危害	(229)
四、家用电器电磁干扰的产生原理与防治	(229)
第十四章 任意形状导体表面近场的数学模型预测	(233)
§ 14.1 概述	(233)
§ 14.2 电场积分方程(EFIE)	(233)
§ 14.3 Rao 电流模型	(234)
一、共棱三角形对面元	(234)
二、电流基函数	(235)
三、矩量法解积分方程	(237)
§ 14.4 节点单元电流模型	(239)
一、模拟面上表面电流的完备性展开	(239)
二、正交矢量场	(241)
三、节点单元电流模型	(243)
四、数值计算方法	(245)
五、典型导体面上电流分布	(247)
参考文献	(247)
第十五章 电磁兼容性预测与分析	(248)
§ 15.1 干扰预测方程	(248)
§ 15.2 数学模型	(249)
一、干扰源模型	(249)
二、传输函数模型	(249)
三、敏感设备模型	(250)
§ 15.3 电磁干扰预测的基本方法与范围	(251)
一、幅度筛选	(251)
二、频率筛选	(253)
三、详细分析	(253)
四、性能分析	(253)
§ 15.4 干扰预测程序(IPP-1)	(254)
§ 15.5 系统电磁兼容性分析程序(SEMCAP)	(257)
§ 15.6 系统内电磁兼容性分析程序(IEMCAP)	(258)
§ 15.7 系统间电磁干扰预测分析程序	(263)
§ 15.8 电磁环境/干扰预测模型	(264)
§ 15.9 天线系统配置的预测分析	(265)
§ 15.10 系统电磁干扰预测的实例	(268)
第十六章 电磁波与生物体的相互作用及其数学模型预测	(271)
§ 16.1 概述	(271)
§ 16.2 电磁波与生物体相互作用的基本方程	(271)
一、研究电磁波对生物体作用的基本电磁波参数	(271)
二、进入生物组织的微波的相位变化和衰减	(272)

三、受微波辐射的生物体吸收的能量	(272)
四、热平衡方程式	(273)
§ 16.3 生物体的介质特性	(274)
一、表征生物体电特性的参数	(274)
二、影响生物体电特性的因素	(274)
§ 16.4 射频电磁辐射生物体作用的机制	(276)
一、划分标准	(276)
二、热作用机制	(276)
三、非热效应机制	(277)
§ 16.5 电磁波与生物体相互作用的实例	(278)
一、微波辐射对人和动物眼睛的伤害	(278)
二、微波辐射引起动物行为的变化	(279)
§ 16.6 生物体内吸收感应场和能量分布的数学模型预测	(279)
一、概述	(279)
二、平板形、球形、椭球形组织模型	(280)
三、研究生物体与电磁场相互作用的数值方法	(284)
参考文献	(285)
第十七章 电磁兼容性试验设施	(286)
§ 17.1 概述	(286)
§ 17.2 屏蔽室	(286)
一、屏蔽室的用途	(286)
二、屏蔽室的谐振	(287)
三、屏蔽室的反射	(287)
四、屏蔽室的尺寸	(287)
§ 17.3 屏蔽半暗室	(288)
一、屏蔽半暗室	(288)
二、场地衰减	(288)
三、屏蔽半暗室尺寸的确定	(289)
§ 17.4 横电磁波传输装置及吉赫横电磁波传输装置	(292)
一、概述	(292)
二、TEM(GTEM)装置工作原理	(292)
三、TEM(GTEM)室的工程设计	(294)
§ 17.5 电磁缩尺模型实验场	(297)
一、概述	(297)
二、电磁缩尺模型理论	(298)
三、电磁缩尺模型实验场设计	(300)
§ 17.6 宽带电磁场强计	(301)
一、概述	(301)
二、电磁场探头	(303)
三、检测器	(306)
四、传输线	(307)
参考文献	(309)

第十八章 设备和分系统电磁发射和敏感度测量	(310)
§ 18.1 EMC 测量基础知识	(310)
一、电磁环境电平	(310)
二、射频吸收材料	(311)
三、测量容差	(311)
四、测量带宽和测量时间	(312)
五、敏感性测试扫描速率	(312)
六、测试数据显示	(313)
七、线路阻抗稳定网络(LISN)代替 10 μ F 穿心电容	(314)
八、宽、窄带电磁发射的鉴别	(315)
§ 18.2 传导发射测量方法	(315)
一、电流法	(315)
二、电压法	(317)
三、电压法与电流法极限值和测试结果转换	(319)
四、辐射发射测量方法	(320)
五、设备和分系统的电磁敏感度测量	(321)
六、辐射敏感度测量方法存在的问题	(324)
§ 18.3 电磁发射和敏感度自动测试技术	(324)
一、EMI 计算机辅助自动测试系统	(325)
二、EMS 计算机辅助自动测试系统	(329)
§ 18.4 危害电磁场强测量方法	(337)
一、测量仪表动态范围	(337)
二、特性要求	(337)
三、了解场源和传输特性	(338)
四、待测场的估算	(338)
五、微波电磁场测量	(339)
六、射频及低频电磁场测量	(339)
七、综合电磁场测量	(339)
参考文献	(340)
第十九章 频谱工程	(341)
§ 19.1 电磁频谱	(341)
一、无线电信号的频谱特性	(341)
二、无线电频率的波段划分	(343)
§ 19.2 无线电信号的传播特性	(343)
一、传播方式	(343)
二、场强或路径损耗的计算	(344)
§ 19.3 频谱管理	(346)
一、频谱管理机构	(346)
二、频谱管理方法	(347)
三、民用无线电频谱管理实例	(349)
四、民用超短波 LMS 频段划分	(350)
§ 19.4 频谱的有效利用及其与电磁兼容性的关系	(351)

一、短波预测与实时选频技术	(351)
二、频率自适应与功率自适应技术	(351)
三、频率共用与频率再用技术	(352)
四、信道复用技术	(352)
五、码分多址与上频下时	(353)
参考文献	(353)
第二十章 电力线对电信线电磁影响的简算	(354)
§ 20.1 磁感应影响的简算	(354)
一、量板制作原理	(354)
二、量板的制作与使用	(355)
三、量板的主要特点	(358)
§ 20.2 地电流影响的简算	(359)
一、概述	(359)
二、简化计算图的制作方法	(359)
三、简化计算图的使用方法	(360)
§ 20.3 大地电导率测量深度的确定及简算	(362)
一、概述	(362)
二、测量深度的确定依据	(362)
三、最大装置极距的选择	(363)
四、实际应用	(364)
参考文献	(365)