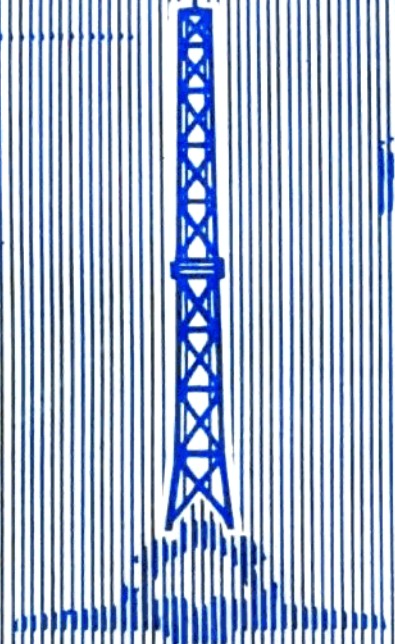
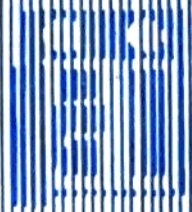
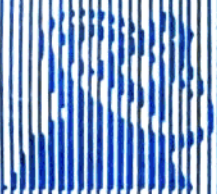
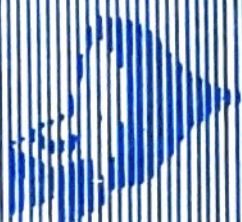
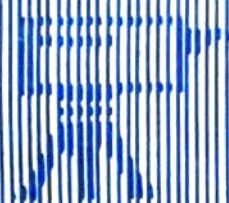


高等学校教材

电磁干扰与兼容

白同云 赵婉同 编著



国防科技大学出版社

TM15
18
2
7

高等学校教材

电磁干扰与兼容

白同云 赵姚同 编著

国防科技大学出版社



B 757183

内 容 提 要

本书着重介绍有关电磁干扰和电磁兼容的基本概念和基本理论,以及实施电磁兼容性设计的基本方法和技术。全书理论联系实际,并反映了国内外近年来在电磁兼容学的一些研究成果。

全书共分七章。主要内容有电磁干扰和兼容的基本概念、电磁干扰的性质与传输、电磁近区场与电磁危害、电磁干扰的抑制与防护、电磁干扰的预测与分析、电磁干扰的测量、电磁兼容性设计。

本书可作为电子工程类有关专业和计量测试专业本科生和研究生的教材,也可作为有关工程技术人员

的参考书。

电 磁 干 扰 与 兼 容

白同云 赵姚同 编著

责任编辑:钟 平

责任校对:谢小伟

*

国防科技大学出版社出版发行

湖南省新华书店经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 10.25 字数: 237千

1991年2月第1版第1次印刷 印数: 1000册

ISBN 7-81024-137-0

TN·13 定价: 2.15元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲议中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部教材办公室

前言

本教材系机械电子工业部制定的工科电子类专业教材1986~1990年编审出版规划,由电磁场与微波技术教材编审委员会天线与电波编审小组组织征稿、评选,并推荐出版的。

本教材是为电子类专业的研究生课程编写的,也可作为本科生高年级选修课使用。本课程的参考学时数为30~50学时,其主要内容是介绍有关电磁兼容学的理论与实践。全书共分七章。第一章绪论,主要介绍电磁干扰与兼容的基本概念与定义。第二章电磁干扰的性质与传输,简要介绍了干扰源的类型与性质、干扰的传输方式和特点以及对干扰的分析方法。第三章电磁近区场与电磁危害,介绍电磁近区场的分类及其特性、电磁干扰危害的表现形式及其后果。第四章电磁干扰的抑制与防护,着重介绍抑制电磁干扰的三种主要技术:接地、屏蔽和滤波,包括这些技术的功能与实施方法。第五章电磁干扰的预测与分析,阐述了电磁干扰的计算机预测分析的基本原理与方法,包括数学模型的建立、分级预测的步骤及其程序的结构、预测结果的获取与分析等。第六章电磁干扰的测量,主要介绍电磁干扰测量仪器的基本原理和电磁干扰的测量技术与方法。第七章电磁兼容性设计,阐明了电磁兼容性设计的目的与重要性,电磁兼容性设计准则,电磁兼容性标准与规范、频谱工程、电磁兼容性设计的内容与方法。

本教材是我国第一本正式出版的电磁兼容学自编教材,较全面和系统地介绍了电磁干扰与兼容的基本概念与理论、实施电磁兼容性设计的基本原理与技术,并反映了近年来国内外在电磁兼容学方面的一些研究成果。此外,全书的编写注重理论联系实际,在有关章节中结合一些实例来进一步阐明理论,深化了对电磁兼容学的认识与理解。为了便于教学,在每章的开始,简明介绍了本章的主要内容。在每章的最后,又小结了本章的重点,并附有习题。

电磁兼容学是一门多学科综合的新兴学科,并正迅速发展。本书限于篇幅,着重阐述有关电磁干扰和兼容的基本概念与原理、基本技术与设计。作者希望这些内容能为读者打下实际应用的专业基础,同时也希望本书对有关的工程技术人员和其它读者也能有所助益。

本书是在作者多年教学和科研的实践基础上写成的,由中国计量学院无线电教研室白同云和上海交通大学电子工程系赵姚同合作编写。天线和电波教材编审小组的谢处方、林宗琦、汪茂光、周朝栋、肖景明、王元坤、单秋山诸位教授对本书的编写提出了不少意见与建议,上海交通大学电子工程系电磁场和微波技术教研室的同事和研究生也曾对此给予了帮助,在此谨表诚挚的感谢。国防科技大学出版社责任编辑钟平同志对本书的编排和文字也作了不少润色,作者也表示深切的谢意。

由于作者水平所限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

作者

一九九〇年一月

目 录

第一章 绪 论

1.1 电磁干扰和电磁兼容性	(1)
1.1-1 电磁噪声与干扰	(1)
1.1-2 电磁环境	(2)
1.1-3 电磁兼容性	(2)
1.2 电磁干扰的起因与效应	(4)
1.3 电磁兼容性的实施	(4)
1.4 学习本课程的意义与要求	(5)

第二章 电磁干扰的性质和传播

2.1 干扰源	(7)
2.1-1 自然干扰源	(7)
2.1-2 人为干扰源	(8)
2.2 传导干扰的性质	(8)
2.3 传导干扰的耦合与传输	(9)
2.3-1 传导干扰源	(9)
2.3-2 传导干扰的耦合	(10)
2.3-3 传导干扰的传播	(13)
2.4 辐射干扰的性质	(15)
2.4-1 辐射干扰源的基本形式	(15)
2.4-2 辐射干扰的性质	(18)
2.5 辐射干扰的耦合与传输	(18)
2.5-1 辐射干扰源	(18)
2.5-2 辐射干扰的传播	(21)

第三章 电磁近区场干扰和电磁危害

3.1 感应近区场	(28)
3.1-1 感应近区场的性质与特点	(28)
3.1-2 强电磁感应干扰源	(29)
3.2 辐射近区场	(42)
3.2-1 辐射近区场的性质和特点	(43)
3.2-2 强辐射近区场干扰源	(43)
3.3 漏泄场	(47)
3.3-1 金属板上缝隙和孔隙的电磁漏泄	(47)
3.3-2 漏泄场对敏感部件的激励	(49)
3.4 综合电磁环境的性质与分析	(53)
3.5 强电磁辐射和强感应电压的危害	(56)
3.5-1 电磁辐射对人体的危害	(56)

3.5-2 电磁辐射对武器装备和燃料的危害	(57)
3.5-3 电磁辐射对电子设备的危害	(58)
3.5-4 Tempest现象	(58)
第四章 电磁干扰的抑制与防护	
4.1 接地与搭接	(61)
4.1-1 接地系统	(61)
4.1-2 搭接	(66)
4.2 屏蔽	(66)
4.2-1 屏蔽的作用与分类	(66)
4.2-2 屏蔽效能	(67)
4.2-3 实用屏蔽技术	(69)
4.3 滤波	(73)
4.3-1 电磁干扰滤波器的概念	(73)
4.3-2 滤波器的特性	(74)
4.3-3 电磁干扰滤波器的类型	(74)
4.3-4 滤波器的设计	(76)
4.4 电磁干扰的抑制和防护措施的设计	(77)
4.4-1 交流供电系统的干扰防护措施设计	(77)
4.4-2 数据采集系统的干扰抑制设计	(78)
第五章 电磁干扰的预测与分析	
5.1 数学模型	(82)
5.2 电磁干扰预测的基本方法与范围	(84)
5.3 干扰预测程序(IPP-1)	(87)
5.4 系统电磁兼容性分析程序(SEMCAP)	(90)
5.5 系统内电磁兼容性分析程序(IEMCAP)	(91)
5.6 系统间电磁干扰预测分析程序	(94)
5.7 电磁环境/干扰预测模型	(96)
5.8 天线系统配置的预测分析	(97)
5.9 系统电磁干扰预测的实例	(100)
第六章 电磁干扰的测量	
6.1 电磁干扰测量仪的基本原理	(104)
6.2 电磁干扰的其它测量设备	(109)
6.3 电磁干扰场强测试系统	(112)
6.4 环境电磁波的测量	(114)
6.5 工业无线电干扰的基本测量方法	(115)
6.6 电磁干扰的自动测试技术	(120)
第七章 电磁兼容性设计	
7.1 电磁兼容性设计的实施	(125)
7.1-1 电磁兼容性设计的内容	(125)
7.1-2 电磁兼容性设计的主要参数	(126)
7.1-3 电磁兼容性设计的程序	(127)
7.2 电磁兼容性大纲	(129)

7.3 电磁兼容性设计计划	(129)
7.3-1 电磁兼容性控制计划	(129)
7.3-2 电磁兼容性试验计划	(131)
7.4 电磁兼容性标准与规范	(131)
7.4-1 标准和规范的内容	(131)
7.4-2 标准和规范的特点	(132)
7.4-3 电磁发射和敏感度极限值的单位	(132)
7.4-4 标准和规范的发展趋向	(132)
7.5 频谱工程	(133)
7.6 电磁兼容性设计准则	(134)
7.7 电磁兼容性设计实例	(136)
7.7-1 通信系统的电磁兼容性设计	(136)
7.7-2 雷达设备的电磁兼容性设计	(138)
7.7-3 电子工程车的电磁兼容性设计	(141)
7.7-4 Tempest 技术	(143)
7.8 系统的电磁兼容性评估	(144)
附 录	
附录一 接地线的规格	(148)
附录二 可相容的金属组别	(148)
附录三 可搭接的金属组别	(148)
附录四 我国已颁布和实施的电磁兼容性标准和规范	(149)
附录五 国际无线电干扰委员会 (CISPR) 的组织机构与工作职责	(150)
附录六 美国军用电磁兼容性标准和规范	(150)
附录七 本书主要技术术语的中英文对照表	(151)

参考文献

第一章 绪 论

随着现代科技与工业的发展,电子、电气设备或系统获得了越来越广泛的应用。在一些工业发达国家,电子设备的数量每4~5年增加一倍。政府部门和军队都拥有大量电子设备,而且,无线电发射枢纽一般都配备了许多部工作在不同的频段和功率电平的发射机。例如,苏军每个摩托步兵师约有66部雷达、2040部电台;美军每个步兵师约有70部雷达、2800部电台。此外,尽管现代电子设备的工作频段已扩展到光波波段,但经常使用的频率范围集中在40GHz以下,由于频率资源有限,大量的不同类型电子设备就不得不重复使用某些频段,因而易于造成彼此间的相互干扰。其次,电子技术正向集成化、数字化、密集化和高速度化方向迅速发展,发射机功率电平和接收机灵敏度都有很大的提高。例如,近10~15年来,雷达的发射功率增大了数十倍,脉冲功率已达几十至几百兆瓦,一些军用电台的发射功率也增加了20~30倍,而接收机灵敏度也已提高到优于 10^{-12} W。这样,大功率发射机对不希望接收其信息的高灵敏度接收机无疑将构成灾难性的干扰。与此同时,电气设备所产生的干扰电平也在不断提高,这在工业发达的大城市以及行驶中的汽车、飞机和舰船附近尤为明显。由于上述种种原因,电磁干扰的危害变得越来越严重。恶劣的电磁环境往往致使电子、电气设备或系统不能正常工作,甚至受到损坏,有时还会造成对生态环境的污染。

如何确保电子、电气设备或系统在其所处电磁环境中正常工作,相互间形成一种共存的状态,这是当今迫切需要解决的问题。正是在这种背景下,产生了电磁兼容性(EMC)的概念,并形成了电子学科的一个新领域——电磁兼容学。近年来,许多国家和国际组织都积极开展了关于电磁兼容学的研究,并已把电磁兼容性列为电子、电气设备或系统设计的主要技术指标之一,这对促进现代科技和工业的发展,保障人民的正常生活,发挥了重要作用。

本章着重介绍有关电磁干扰和电磁兼容性的基本概念,电磁干扰的原因和效应,电磁兼容性的实施方法以及学习本课程的目的与意义等。

1.1 电磁干扰和电磁兼容性

1.1-1 电磁噪声与干扰

噪声和干扰,严格地说其含义并不相同。所谓电磁噪声是指不带有任何信息,即不同于任何信号的一种电磁现象,通常呈脉冲状和随机的,但也可能是周期性的。在射频频段内的电磁噪声(9kHz~3000GHz)称为无线电噪声。由机器或其它人工装置产生

的电磁噪声，称为人为噪声。来源于自然现象的电磁噪声，称为自然噪声。叠加至有用信号上的电磁噪声，称为电磁骚扰。而可能对有用信号造成损害的无用信号或电磁骚扰称为电磁干扰（EMI）。因此，电磁干扰是一种来自外部，并有益于有用信号的电磁现象，它可能引起电子设备或系统的工作性能降级，甚至失效。电磁干扰有很多形式。例如，由大气无线电噪声等引起的天电干扰；由银河系的电磁辐射等所造成的宇宙干扰；由各种电子、电气设备或系统所产生的工业干扰；由传输电路间的电或磁耦合，引入电路中的交叉干扰等。

电磁干扰产生于干扰源。电磁干扰源可按不同方式进行分类：按性质分，有自然干扰源和人为干扰源；按功能分，有功能性干扰源和非功能性干扰源；按传输方式分，有传导干扰源和辐射干扰源；按频带分，有窄带干扰源和宽带干扰源；等等。

1.1-2 电磁环境

电磁环境是指设备或系统在完成其规定任务时，在各个不同频段可能受电磁干扰的功率（或场强）电平随时间分布状态。构成电磁环境的因素可归纳为：①大气无线电噪声；②为传输信息而有目的地产生的信号；③电子、电气设备或系统工作时产生的人为噪声等。由于各种电磁干扰源的位置、功率、频率、干扰时间等参数通常是变化的，所以，电磁环境也随之不断变化、而且错综复杂，有时甚至是难以预测的。但它们都可能对电子设备及其所处理或传输的信息造成有害影响，并引起环境污染，即电磁污染，污染的程度还可能相当严重。例如，大功率发射机在有用频率范围以外的次再生辐射功率，可达几百至上千瓦，可能超过某些军用与民用电台的信号功率很多倍。而接收机在主接收通道以外的次再生接收通道，正好对发射机的次再生辐射大开绿灯。从电子对抗的角度而言，其目的是造成敌方的信号失真、作用距离和传输速度减小，这种干扰称为有意干扰。但是当己方的电子设备距离接收机较近时，其产生的无意干扰电平可能超过有意干扰，甚至当敌方尚未施放有意干扰，己方的电子设备已不能正常工作。另外，电磁污染严重到一定程度时，还会对人体健康、生态环境以及燃油、武器的电爆装置等引起不良影响及危害。因此，可以说电磁干扰已构成一种社会的新公害。若不重视电磁兼容性，则势必将受到不同程度的惩罚，甚至为此付出巨大的代价。

1.1-3 电磁兼容性

电子、电气设备或系统受电磁干扰的影响而出现性能劣化和不希望有的响应，称为设备或系统对电磁干扰的敏感。这里，不希望有的响应是指相对于标准输出的偏离值超过了该设备或系统所规定的偏差。描述设备或系统对电磁干扰的敏感程度有两个参数：电磁敏感度和敏感度门限。所谓电磁敏感度是对引起设备或系统的性能劣化或非期望响应的干扰电平的一种度量。它表示了设备或系统的性能对电磁干扰的敏感程度。电磁敏感度可分为传导敏感度和辐射敏感度两种，它们分别是使设备或系统产生性能劣化或非期望响应时，传导干扰和辐射干扰的电平。敏感度门限是指被测试品呈现出最小可辨别的性能劣化或非期望响应时的干扰电平，它表示了致使设备或系统不能正常工作的临界干扰电平。

现代电子、电气设备或系统和电磁环境犹如一对难舍难分的孪生兄弟。设备或系统

越是高技术化,它所造成的电磁环境也就越复杂;反之,复杂的电磁环境又对电子、电气设备提出了更高的要求。如何在设备、系统与电磁环境之间寻找到一种协调的关系和共存的条件,已成为现代电子技术发展道路上必须逾越的巨大障碍。因此,抑制与控制电磁干扰的技术与理论形成和发展了起来,并已越来越引起人们的关注和重视。

电磁兼容是指电子、电气设备或系统的一种工作状态,在这种工作状态下,它们不会因内部或彼此间存在的电磁干扰而影响各自的正常工作。所以,电磁兼容性已属电子、电气设备或系统的一种技术性能,即在一定的电磁环境下,按设计要求正常工作的能力;或者说,是在不损失有用信号所包含的信息的条件下,信号与干扰共存的能力。因此,电磁兼容性应包括两方面的含义:①设备或系统应具有抑制所规定的电磁干扰的能力,使其不会由于受到处于同一电磁环境中其它设备或系统的电磁干扰而产生不允许的工作性能降级。②设备或系统不能产生超过规定限度的电磁干扰,即它不会使同一电磁环境中其它设备或系统因受其干扰而导致不允许的工作性能降级。在一个给定系统内,分系统、设备和部件间的电磁兼容性称为系统内电磁兼容性。一个给定系统与其所工作的电磁环境中的其它系统间的电磁兼容性称为系统间电磁兼容性。

为了衡量设备或系统的电磁兼容性程度,定义了电磁干扰安全裕度(IM),它等于敏感度门限与出现在关键测试点或信号线上的干扰电平之比值。所以,电磁干扰安全裕度是设备或系统的敏感度门限高于其现存的电磁干扰电平的度量,若以分贝数表示,即为

$$IM = P_s - P_I \quad (1-1)$$

式中 IM ——电磁干扰安全裕度(dB);

P_s ——敏感度门限(dB);

P_I ——实际接收的干扰电平(dB)。

当 $P_s < P_I$ 时, $IM < 0$, 干扰电平大于敏感度门限,则设备或系统处于受干扰和不兼容状态。

当 $P_s > P_I$ 时, $IM > 0$, 干扰电平小于敏感度门限,则设备或系统处于兼容状态。

以图1-1为例,若设备1的传导干扰电平为 A ,设备2的传导敏感度为 B ;设备3的辐射干扰电平为 C ,设备4的辐射敏感度为 D ;当设备1与设备2、或设备3与设备4一起工作时,设备1对设备2、设备3对设备4有可能产生电磁干扰。如果 $A \geq B$ 和 $C \geq D$,则设备2或设备4的有效性能将降低,甚至难以正常工作。如果设备按电磁兼容性要求进行设计、研制、生产和使用维修,并按规定的干扰允许值和测量方法进行检验,使电磁干扰安全裕度达到一定数值,则设备1与设备2、设备3与设备4便能兼容地工作。

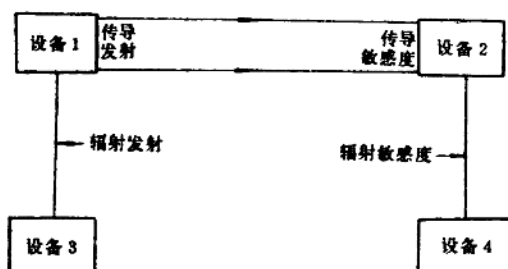


图 1-1 电磁干扰

电磁兼容性是一个新的概念,它是抗干扰概念的扩展和引伸。最初,人们设法防止

射频频段内的电磁噪声，即无线电噪声；以后，又设法防止射频频段内的电磁干扰，即无线电干扰；再往后就是设法防止和对抗各种电磁干扰了。但这些防范思想都是被动和有局限性的。只有发展到电磁兼容性阶段，才在认识上产生飞跃。人们已意识到不仅要防止电磁干扰，而更重要的是在设备或系统的设计、研制、生产和使用维修的整个过程中，都必须主动采取抑制和抵抗电磁干扰的措施，才能确保设备和系统实现电磁兼容性。

1.2 电磁干扰的起因与效应

电磁干扰的形成必须具备下列三个基本要素：①电磁干扰源，指任何产生电磁干扰的元件、器件、设备、分系统、系统或自然现象；②耦合途径，或称耦合通道、传输函数，指将电磁干扰从干扰源耦合（传输）到敏感设备，并使该设备的性能劣化的媒介；③敏感设备，指对这种电磁干扰发生响应（敏感）的设备。

所有的电磁干扰都是由上述三要素组合而成的。电磁噪声和电磁骚扰也都只有通过上述三个基本要素才能产生干扰作用。由电磁干扰源发出的电磁能，经某种耦合途径传输至敏感设备，敏感设备对此又表现出某种形式的“响应”，并产生干扰的“效果”。这一作用过程及其结果，称为电磁干扰效应。在人们周围，电磁干扰效应普遍存在。例如，继电器通、断所产生的瞬态电磁干扰脉冲使计算机工作失常；汽车驶过或飞机低空飞过住宅时，电磁干扰在电视接收中产生“鬼影”；等等。若电磁干扰效应表现为设备或系统的性能发生有限度的降级，这称为电磁易损性。假如电磁干扰效应十分严重，设备或系统出现失灵，即性能发生永久性下降，甚至引起严重故障或事故，这称为电磁兼容性故障。另外，强电磁辐射还可能引起易挥发性燃料的自燃、弹药和含电爆装置的武器的自爆，也可能对人体健康形成有害影响等。因此，电磁干扰效应按其危害程度可分为灾难性、非常危险、中等危险、严重、使人烦恼五个等级。

1.3 电磁兼容性的实施

实施电磁兼容性的目的是保证系统内和系统间的兼容性。从总体原理上讲，电子设备或系统的电磁兼容性实施，必须运用技术和组织两方面措施。所谓技术措施就是从分析干扰源、耦合途径和敏感设备着手，采取有效的技术手段，抑制干扰源，消除或减弱干扰耦合，增强敏感设备的抗干扰能力。为了验证所采用的技术措施的有效性，必须制定和遵循一套完整的电磁兼容性标准和规范。但即使遵守技术标准尚不能完全消除电磁干扰，因而还必须采取组织措施。这包括对各设备和系统进行合理的频谱分配；依据频率、工作时间与方向规定工作方式；分析电磁环境并选择布置地域；控制与管理频谱的使用等。

就技术原理而言，实施电磁兼容性有三种基本方法。第一种是问题解决法，即在完成研制后，根据已研制出的设备和系统所暴露的电磁干扰问题，运用技术措施去逐个解决。这是一种既落后又冒险的做法。因为在设备和系统已装配完毕后，再去解决电磁兼容性问题，势必要做大量返工，而且经常是十分困难的。第二种是规范法，即按电磁兼

容性标准和规范的要求进行设备和系统的设计与制造,它可在一定程度上预防电磁干扰效应,比问题解决法较为合理。但是,由于标准和规范并非是针对某一具体设备和系统制定的,因此,按标准与规范要求解决的问题不一定是该设备和系统实际存在的问题。另外,规范法是建立在电磁兼容实践经验的基础上的,并不进行电磁干扰的预测,因而在设计中往往导致过量的冗余贮备,无谓地提高了设备和系统的成本。国外曾在50~60年代广泛运用了上述两种方法。第三种是系统法,即利用计算机技术对某特定的设备和系统的电磁兼容性进行预测和分析,这种预测贯穿于设计、制造、组装和试验等全过程。若预测表明存在不兼容问题,则修改设计后再次预测,直至预测结果表明完全合理,才进行硬件生产。系统法基本上可避免出现一般的电磁干扰问题和过量的电磁兼容性设计,实现设备和系统的低费效比。这种先进方法从七十年代兴起后,在电子设备和系统设计中正获得广泛的应用。

无论采用上述哪种方法实施电磁兼容性,在分析电磁干扰的基础上,都必须进行电磁兼容性设计,合理采用抑制干扰技术(亦称电磁兼容技术,例如,接地、搭接、屏蔽、滤波、限幅等技术以及这些技术的组合),以抑制不希望有的发射或减弱、消除不希望有的响应。最后,通过电磁兼容性试验或测量,验证所设计的设备和系统能否在规定的电磁环境中兼容地工作。

1.4 学习本课程的意义与要求

电磁兼容学是一门正在迅速发展的新兴学科。学习电磁兼容的基本概念和原理,掌握电磁兼容的技术和方法,研究电磁兼容的理论,都需要有广博而扎实的理论基础。该学科是多学科理论的综合,涉及电子理论、电路理论、电磁场理论、计算机技术、电气与电子测量技术、特殊函数和概率论等专业基础知识,又涉及机械结构、自动控制、无线电通信、微波与天线、电力输送、生物医学、核物理等专业知识。另外,电磁兼容学又是一门实践性很强的学科,因为它来源于电子工程中的实际问题。经过进一步研究与整理,才发展成为一门既有技术又有理论的学科。电磁兼容性的研究还紧密依赖于测试。有关电磁干扰的任何理论预测和分析至今仍不能完全替代实际测量。因此,掌握电子类专业的专业基础课程和实验技术也是学习本课程的重要基础。

学习电磁兼容学,还应注意该学科的一些特殊的思维与分析方法。例如,在分析干扰的迭加和出现概率时,需按最不利的情况考虑,即所谓的“最不利原则”。这实际上是分析和控制干扰的保守方法,旨在提高设备和系统运行的可靠性。又如,在分析电磁干扰时,不仅应考虑设备和系统的设计性能和工作性能特性,还应考虑其非设计性能、非工作性能特性以及非指定的传输途径,甚至研究的重点是后者,这与其它课程的学习是明显不同的。

电磁兼容学涉及多门学科的基础和专业知识,因此,只具备任何一门专业知识是难以深入学习和研究电磁干扰问题的。这就要求在学习本课程的同时,不断补充与本专业有关的其它专业知识,这对学好本课程、扩大知识面和训练思维和创造能力是有益的。

提 要

不带有任何信息的一种电磁现象称为电磁噪声。叠加至有用信号上的电磁噪声称为电磁骚扰。可能对有用信号造成损害的无用信号或电磁骚扰称为电磁干扰。电磁干扰而引起设备和系统出现性能劣化、工作故障。

电磁兼容性是表征设备和系统在特定的电磁环境里，按设计要求正常工作的能力，即在不损失有用信号所包含的信息条件下，信号与干扰共存的能力。

形成电磁干扰过程的三要素为：干扰源、耦合途径和敏感设备。干扰的作用过程及其结果称为电磁干扰效应，它包含两方面含义：①敏感设备以某种形式对干扰源产生“响应”；②干扰形成危害性效果。

电磁兼容性实施一般包括：①电磁干扰的分析和预测；②电磁兼容性设计；③电磁兼容性试验。

习 题

- 1.1 什么是电磁噪声、电磁骚扰？
- 1.2 什么是电磁干扰？它是怎样产生的？
- 1.3 电磁干扰效应有哪些危害？试举例说明之。
- 1.4 什么是电磁兼容性？它和抗干扰有什么区别？
- 1.5 什么是电磁敏感度和敏感度门限？
- 1.6 什么是电磁干扰安全裕度？它是如何反映设备或系统兼容与否的？
- 1.7 实施电磁兼容性有哪些基本方法？
- 1.8 实施电磁兼容性需经过哪些步骤？

第二章 电磁干扰的性质和传播

电磁干扰按其传播形式可分为两类：传导干扰和辐射干扰，如图 2-1 所示。沿着导体传播的电磁干扰称为传导干扰，其传播形式有电耦合、磁耦合和电磁耦合。通过空间以电磁波形式传播的电磁干扰称为辐射干扰，其传播形式有近区场感应耦合和远区场辐射耦合，近区场感应耦合又分为近区感应场和近区辐射场耦合。此外，传导干扰和辐射干扰还可能同时存在而形成复合干扰。图 2-2 表示了传导干扰、辐射干扰和复合干扰的

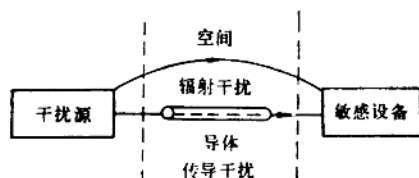


图 2-1 电磁干扰的传输途径

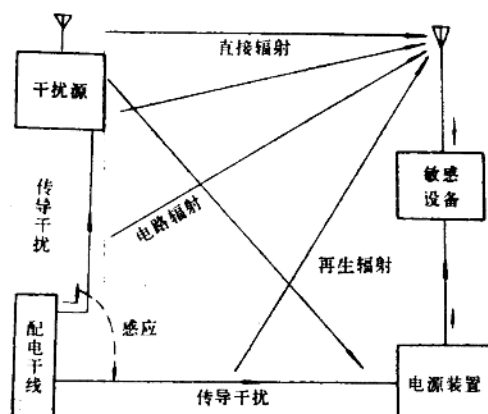


图 2-2 传导干扰、辐射干扰和复合干扰

传输途径。干扰源通过天线、导线和机壳等泄漏或直接辐射电磁干扰，这些干扰又被敏感设备的天线、机壳或电源线等所接收。当干扰源与敏感设备共用电源时，干扰还可能经配电干线传导给敏感设备，同时又通过导线辐射给敏感设备。

电磁干扰的单位可由电流、电压、场强和功率的单位来表示。本章的主要内容包
括：传导干扰和辐射干扰的性质、耦合与传输等。

2.1 干 扰 源

任何产生电磁干扰的元件、器件、装置、设备、系统或自然现象称为干扰源。干扰源按其性质可分为自然干扰源和人为干扰源。本节主要讨论各种干扰源的特性。

2.1-1 自然干扰源

自然干扰源包括由大气中发生的各种自然现象，如雷电、风雪、暴雨、冰雹、沙暴

等产生的无线电噪声；来自太阳和外层空间的宇宙噪声，如太阳噪声、星际噪声、银河噪声等；还包括电阻器和热辐射器等的热噪声、电子器件内部的热噪声、散粒噪声、分配噪声等。这些噪声的统计特性变化很大，有时呈频谱平坦的高斯噪声，有时又呈偶尔发生的脉冲噪声。

2.1-2 人为干扰源

人为干扰源的分类方法很多，上一章已经提到，按传输方式分：有传导干扰源和辐射干扰源；按频带分：有窄带干扰源和宽带干扰源；按设备分：有无意干扰源和有意干扰源；按幅度分：有冲击干扰源、热噪声干扰源、交叉干扰源或语音干扰源；按波形分：有周期性、非周期性干扰源和随机干扰源；按功能分：有功能性干扰源和非功能性干扰源。在电子系统中，某分系统正常工作的同时，又直接构成对其它分系统的干扰，则该分系统即是功能性干扰源。因此，这种干扰源所产生的电磁能量对某些方面而言是有用的，但对另一些方面而言则是无用的，甚至是有害的。雷达、通信发射机等大功率发射机是最常见和最典型的功能性干扰源，发射机除发射在工作频率上的基波（有用信号）外，还包括谐波、寄生和互调制等乱真发射和带外发射。这些有用和无用信号不仅由天线向外辐射，还能通过发射机机柜上的孔、缝泄漏形成辐射，或者沿信号线、电源线传导和辐射，构成了对其周围设备和系统的干扰。此外，功能性干扰源还有工业、科学和医疗设备以及信息技术设备等。非功能性干扰可能是天然产生的，也可能是由某些设备和系统在进行有益工作时的“副”产品。电力线、旋转机械、点火系统等都是常见的非功能性干扰源，这些干扰源的具体特性将在下面几节讨论传导干扰和辐射干扰时予以介绍。

2.2 传导干扰的性质

传导干扰的性质可以由下述参数描述：

1. 频谱宽度

电磁干扰按其频谱宽度可以分为窄带干扰和宽带干扰。干扰的基本频谱能量处于所用电磁干扰测量仪的通频带以内，则称窄带干扰；干扰具有足够宽的频谱能量分布，以致所用的电磁干扰测量仪在正负两个脉冲带宽内调谐时，其输出响应变化不大于 3dB，则称宽带干扰。所谓干扰带宽的窄和宽仅是相对于所用电磁干扰测量仪的带宽而言。因此，窄带干扰测量与测量仪本身的带宽无关，若仪器调谐正确，可以认为在其一个调谐位置的测量就包含了全部干扰，因此只需一个读数。宽带干扰测量所得的则是单位带宽内的干扰电平大小。窄带干扰的带宽一般为几十赫芝，最宽也只有几百千赫。而宽带干扰的带宽可达几十到几百兆赫，甚至更宽。这种干扰一般是由上升时间和下降时间都很短的窄脉冲所形成的，其频谱决定于脉冲特性，脉冲周期越短，脉冲上升和下降越快，则其频谱越宽。

2. 幅度或电平

电磁干扰的幅度或电平通常用各频段内的干扰功率（或场强）随时间的分布来表

示。

3. 波形

波形是决定电磁干扰所占频带宽度的一个重要因素。以脉冲波形为例,由于脉冲频谱中的低频含量主要取决于脉冲的面积,而高频含量与脉冲沿的陡度有关。因此,从减小干扰的角度考虑,脉冲沿应尽可能具有较小的陡度。

4. 出现率

按电磁干扰的出现率可分为周期性干扰、非周期性干扰和随机干扰三种。周期性干扰是在确定的时间间隔内,能重复出现的干扰;非周期性干扰是在非确定的时间间隔内重复出现,并可预测的干扰;随机干扰是以无规律的方式出现和变化的干扰,它一般能采用概率论的统计方法进行描述。周期性干扰一般是功能性的,如电源的交流声干扰等;非周期性干扰同样也是为了用于某种特定的目的,如指令脉冲产生的干扰等;而随机干扰则是系统工作时产生的无用的“副产品”,或是自然产生的,如热噪声。

2.3 传导干扰的耦合与传输

2.3-1 传导干扰源

传导干扰源通常与各种电子、电气设备密切相关。例如,各种放电干扰、电路通断时所产生的脉冲干扰,磁性元件的磁饱和引起的波形失真或整流过程中的波形变化等引起的干扰,高频或低频振荡的谐波分量以及电气设备的各种缺陷引起的干扰等。常见的传导干扰源有以下几种:

1. 工业、科学、医疗设备(ISM)

凡不是以通信为目的的工业、科学、医疗和其它类型(如家用)的无线电设备称为工业、科学、医疗设备。例如,工业加热设备、热疗设备、超声波设备、高频电弧焊机、微波炉等。由于这些设备装有带触点的开关和含有整流子的旋转电机等,在电源接线端子上会产生传导干扰电压,并同时形成辐射干扰。

带触点的开关设备断开时,在开关的两触点间距离由零过渡到断开的瞬间,将产生火花放电而形成干扰。若开关设备的触点很小,而电流很大,还将产生弧光放电。弧光放电是最危险的干扰源之一。利用火花放电进行工作的设备,例如高频电弧焊机,由电源接线端子通过电源线传输到配电线的传导干扰比辐射干扰大得多。此外,弧光放电所产生的0.15~150MHz的辐射干扰可传播至很远距离。

在各种电机中,含有整流子的旋转电机所产生的干扰最大。这是因为当电刷将相邻的整流片短接时,在与整流片相连接的电机转子绕组中有短路电流流过,紧接着电刷很快地转入断开状态,在此瞬间将产生了火花放电干扰。这过程是反复进行的,其产生的干扰具有很宽的频带。通常,在电机的接线端子上,传导干扰电压可达几十微伏至几百毫伏。对于无金属壳体的电机,在1m距离处辐射干扰引起的感应电压可达3000~5000 μ V。

2. 电动工具、家用电器等

在家用电器、便携式电动工具等电器中,装有含整流子的旋转电机、含半导体器件