

电磁兼容概念、原理与应用

张泽刚^{1,2}, 周立权^{1,2}, 冯 飞^{1,2}

(1. 上海船舶设备研究所, 上海 200031;

2. 船舶与海洋工程特种装备和动力系统国家工程研究中心, 上海 200031)

摘 要: 电磁兼容是指在电子系统中, 不同设备或者不同部件之间的电磁干扰和电磁敏感性之间的关系。文章介绍了电磁兼容(EMC)的基本概念和原理, 探讨电磁兼容在不同领域中的应用, 总结未来电磁兼容技术的发展方向, 并为电子产品设计初期抑制电磁发射和提高抗电磁干扰能力提供帮助。

关键词: 电磁兼容; 电磁干扰; 电磁敏感性; 电磁波; 电磁辐射

中图分类号: X84 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16443/j.cnki.31-1420.2024.04.001

Electromagnetic Compatibility Concept, Principle and Application

ZHANG Zegang^{1,2}, ZHOU Liquan^{1,2}, FENG Fei^{1,2}

(1. Shanghai Marine Equipment Research Institute, Shanghai 200031, China; 2. National Engineering Research Center of Special Equipment and Power System for Ship and Marine Engineering, Shanghai 200031, China)

Abstract: Electromagnetic compatibility refers to the relationship between electromagnetic interference and electromagnetic sensitivity between different equipment or different components in the electronic system. The basic concept and principle of electromagnetic compatibility (EMC) are introduced, the application of EMC in different fields is discussed, and the development direction of EMC technology in the future is summarized, which provide assistance for suppressing electromagnetic emissions and improving the ability to resist electromagnetic interference in the early stages of electronic product design.

Key words: electromagnetic compatibility (EMC); electromagnetic interference; electromagnetic sensitivity; electromagnetic wave; electromagnetic radiation

0 引言

电磁兼容 (Electromagnetic Compatibility, EMC) 是一门研究电子设备和系统在电磁环境中的电磁兼容性和抗干扰能力的技术, 其主要目的是确保电子设备和系统在各种电磁环境下的稳定性、可靠性和安全性。电磁兼容技术是现代电子工业中必不可少的一部分, 其发展历程可以分为3个阶段。

1) 初期阶段(20世纪20年代—20世纪40年代)

电磁兼容技术最初起源于20世纪20年代, 当时主要关注雷达和通信系统的电磁兼容性问题。20世纪30年代, 美国军方开始对电磁兼容性问题进行系统研究, 并成立了一支专门的研究团队。二战期间, 电磁兼容技术得到了广泛应用, 主要是用于雷达和通信系统的抗干扰设计。20世纪40年代, 电磁兼容技术开始应用于民用领域, 主要是用于广播、电视和电气设备的电磁兼容性测试和评估。

作者简介: 张泽刚 (1977—), 男, 工程师。研究方向: 电磁兼容测试技术、无线电技术。

2) 发展阶段(20世纪50年代—20世纪70年代)

20世纪50年代, 电磁兼容技术进入了一个新的发展阶段。在这一阶段, 电子设备和系统的复杂性和性能不断提高, 电磁干扰问题变得更加严重。为了解决这些问题, 人们开始研究电磁兼容性测试和评估方法^[1], 并建立一系列电磁兼容性标准。20世纪60年代, 随着计算机技术的发展, 人们开始将计算机模拟应用于电磁兼容性分析和设计。20世纪70年代, 电磁兼容技术进一步发展, 出现了许多新的测试和评估方法, 如辐射场测试、传导干扰测试和抗干扰设计等。

3) 现代阶段(20世纪80年代至今)

20世纪80年代, 电磁兼容技术进入了一个新的现代化阶段。在这一阶段, 电子设备和系统的性能和复杂性进一步提高, 电磁干扰问题变得更加复杂和严重。为了解决这些问题, 开始研究新的电磁兼容性测试和评估方法, 并开发了一系列新的电磁兼容性标准和规范。同时, 随着无线通信、数字化和互联网技术的快速发展, 电磁兼容技术也面临新的挑战 and 机遇。

1 概述

在现代阶段, 电磁兼容技术主要发展了以下4个方面:

1) 数字化和计算机模拟技术的应用

数字化和计算机模拟技术的快速发展, 使得电磁兼容性测试和评估方法得到了大幅改进, 如基于数值模拟的电磁兼容性分析方法已经成为电磁兼容技术的重要组成部分。计算机模拟技术不仅可以提高测试的准确性和可重复性, 还可以减少测试成本和时间。

2) 抗干扰设计的研究

随着电子设备和系统的不断发展, 电磁干扰问题变得越来越复杂。为了解决这些问题, 人们开始研究新的抗干扰设计方法。抗干扰设计主要包括电磁兼容性设计、电磁兼容性测试和电磁兼容性评估等^[2-3]方面。在抗干扰设计方面, 开始研究新的电磁兼容性设计方法, 如电磁屏蔽设计、

电磁隔离设计和电磁抑制设计等。

3) 电磁兼容性标准和规范的制定和更新

随着电子设备和系统的不断发展, 电磁干扰问题变得越来越严重。为了保证电子设备和系统在各种电磁环境下的稳定性和可靠性, 人们制定了一系列电磁兼容性标准和规范。这些标准和规范包括辐射发射标准、传导干扰标准、电磁兼容性测试标准和电磁兼容性评估标准等。

4) 电磁兼容性技术的应用

随着无线通信、数字化和互联网技术的不断发展, 电磁兼容技术的应用范围越来越广泛, 如无线通信系统、数字化电视和广播、家用电器和医疗设备等都需要进行电磁兼容性测试和评估。此外, 电磁兼容技术也在交通运输、国防安全和能源等领域得到广泛应用, 如飞机、船舶、高速铁路、汽车和电力系统等。

总的来说, 电磁兼容技术在现代社会中扮演着越来越重要的角色。它不仅保障了电子设备和系统在各种电磁环境下的稳定性和可靠性^[4], 还对推动社会经济发展和科技进步起到积极的作用。

1.1 电磁兼容的定义

电磁兼容(EMC)指的是电子系统中的不同设备或部件之间的电磁干扰和电磁敏感性之间的关系。电磁干扰包括电磁辐射、传导干扰和敏感性, 而电磁敏感性包括电磁辐射敏感性、传导敏感性和静电敏感性。

1.2 电磁波的基本概念

电磁波是由电场和磁场组成的一种传播形式, 其传播速度为真空中的光速。电磁波的频率和波长决定了其在介质中的传播性能, 频率越高, 波长越短, 传播损耗就越大。

1.3 电磁兼容的意义

电磁兼容是保证电子设备或者系统互相协调、正常运作的基础, 具有非常重要的意义。在现代社会中, 电子设备广泛应用于各个领域, 如通信、军事、航空、铁路、汽车、医疗和家电等, 其电磁兼容性的优良程度直接影响着设备和系统的性能和可靠性。生产生活中常见电磁干扰现象见图1。

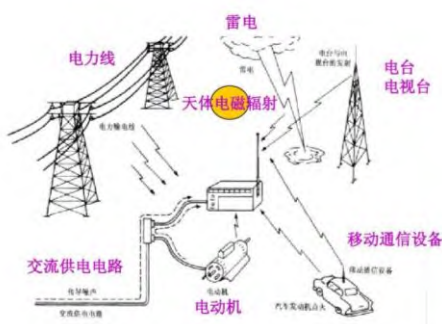


图1 常见电磁干扰现象

2 原理

2.1 电磁干扰的分类

电磁干扰可以分为3种类型：辐射干扰、传导干扰和耦合干扰。辐射干扰指的是电磁波通过辐射的方式从电子设备发射出去，对周围设备产生的干扰；传导干扰指的是电磁波通过电缆导线传播出去，进入其他设备，对其电子设备产生的干扰；耦合干扰是指不同设备之间的相互作用所导致的干扰。

2.2 电磁敏感性的分类

电磁敏感性也可以分为3种类型：辐射敏感性、传导敏感性和静电敏感性。辐射敏感性是指设备或系统受到辐射干扰时的反应；传导敏感性是指设备或系统受到传导干扰时的反应；静电敏感性是指设备或系统受到静电场干扰时的反应。电磁兼容现象的分类情况见图2。

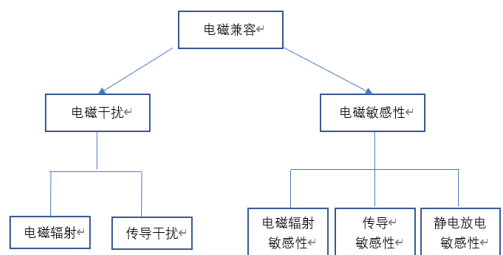


图2 电磁兼容现象的分类

2.3 电磁兼容的原则

电磁兼容的原则包括以下3个方面：

1) 设备或系统应该具有足够的抗干扰能力，即具有较好的抗辐射、传导和耦合干扰能力，以保证在电磁环境的不良影响下，设备或系统能够正常工作。

2) 设备或系统应该具有足够的抗干扰能力，即具有较好的辐射、传导和静电敏感性，以避免设备或系统对周围环境产生不良影响。

3) 设备或系统应该具有合适的屏蔽和隔离措施，以保证不同设备或系统之间的电磁干扰不会相互影响。

2.4 电磁兼容的测试方法

电磁兼容的测试方法包括传导干扰测试、辐射干扰测试、传导敏感性测试和辐射敏感性测试等。其中，传导干扰测试是指在模拟传导路径上引入干扰信号，以评估设备或系统对传导干扰的抵抗能力；辐射干扰测试是指在模拟辐射环境中引入干扰信号，以评估设备或系统对辐射干扰的抵抗能力；传导敏感性测试是指在模拟传导路径上引入干扰信号，以评估设备或系统的传导敏感性；辐射敏感性测试是指在模拟辐射环境中引入干扰信号，以评估设备或系统的辐射敏感性。

3 应用

3.1 电磁兼容在通信领域中的应用

在通信领域中，电磁兼容是保证通信设备互相协调、正常运作的基础。通信设备的电磁兼容性对通信质量和通信网络的稳定性都有着至关重要的影响。如在无线通信领域，由于频率资源的有限性，不同的通信系统必须在相同的频段中共存^[5]。因此，通信设备必须具备足够的抗干扰能力，以避免互相干扰。在此方面，电磁兼容测试成为通信设备开发的必要步骤。通过电磁兼容测试，可以评估设备的抗干扰能力和敏感性，指导通信设备的设计和生产，并提高设备可靠性和稳定性。

3.2 电磁兼容在航空航天领域中的应用

在航空航天领域，电磁兼容测试是确保飞行器电子系统能够正常运行、安全飞行的关键步骤。飞行器的电子系统包括导航、通信、雷达和武器控制等多个子系统，这些子系统间须相互协调，而且必须保证对于外界电磁场的抵抗能力^[6]。因此，飞行器的电磁兼容测试必须严格执行，并且必须符合相关的标准和规范。

3.3 电磁兼容在医疗器械领域中的应用

在医疗器械领域，电磁兼容是保证医疗器械安全可靠的基础。医疗器械的电磁兼容性对医疗诊断和治疗质量有着重要的影响。如在磁共振成像（Magnetic Resonance Imaging, MRI）领域，强大的磁场和高频电磁场会对患者和医疗设备产生不良影响。因此，MRI设备必须符合相关的电磁兼容标准，并且在使用过程中必须采取相应的安全措施，以保障患者的健康和安全。电磁兼容现象经常出现的行业领域见图3。



图3 电磁兼容应用领域

4 未来展望

未来，随着电子设备和系统的不断更新和迭代，电磁兼容将面临新的挑战。如随着新一代移动通信技术的不断发展，通信频段的不断拓展，通信设备的电磁兼容性将面临更加复杂和严峻的考验^[7]。另外，随着人工智能、物联网和5G等新兴技术的发展，电子设备和系统的互联和智能化程度将进一步提高，这将对电磁兼容测试和评估提出更高的要求。因此，未来的电磁兼容测试和评估必须具备更高的精度和灵敏度^[8-9]，并且需要更加细致地考虑不同环境下的干扰和噪声因素。

另外，未来的电磁兼容技术还将涉及到新的领域和应用。如新能源领域，电磁兼容将对电动汽车的设计和制造产生重要影响。在智能交通领域，电磁兼容将对智能交通系统的稳定性和可靠性产生重要影响。因此，未来的电磁兼容技术必须面向新领域和新应用不断创新和发展。

总之，电磁兼容作为一项重要的技术领域，在保障电子设备和系统的安全和可靠性方面发挥着至关重要的作用。未来，电磁兼容将面临新的挑战 and 机遇，需要不断创新和发展，以应对不断变化的技术和市场需求。

5 结论

电磁兼容技术作为一门关于电子设备和系统在电磁环境下的稳定性和可靠性的学科，经历了军事需求驱动时期、工业需求驱动时期和市场需求驱动时期的发展历程，已经逐渐成为现代科技发展的重要组成部分。随着无线通信、数字化和互联网技术的快速发展，电磁兼容技术也面临新的挑战 and 机遇，数字化和计算机模拟技术的应用、抗干扰设计的研究、电磁兼容性标准和规范的制定和更新、电磁兼容性技术的应用等方面都得到重要的发展。

通过对电磁兼容技术的分析，可以发现电磁兼容技术在现代社会中扮演着越来越重要的角色。其不仅保障了电子设备和系统在各种电磁环境下的稳定性和可靠性，还对推动社会经济发展和科技进步起到了积极的作用。在未来发展中，电磁兼容技术将继续面临着新的挑战 and 机遇，需要持续不断地进行研究和创新，不断提高技术水平和服务质量，为现代社会的发展和进步做出更大的贡献。

参考文献：

- [1] 陈伟艺. 电梯噪音产生及其解决方法研究[J]. 中国设备工程, 2020(23): 44-46.
- [2] 李英杰. 基于 ANSYS Workbench 电梯轿底的强度分析及优化设计[J]. 机电工程技术, 2021, 50(7): 227-230.
- [3] 袁俊波. 带能量回馈功能的电梯掉电保护研究[J]. 机电工程技术, 2020, 49(增刊 1): 18-20.
- [4] 黄健. 电梯检验技术发展探讨[J]. 科协论坛(下半月), 2013(2): 26-27.
- [5] 段光宇. 电梯制动失效原因分析及检验对策[J]. 居舍, 2020(1): 168.
- [6] 白坤举. 曳引式电梯机械系统竖直振动的原因分析与抑制[J]. 海峡科技与产业, 2019(10): 75-77.
- [7] 孟琳, 王萧扬, 郭庆亮. 电梯故障检测相关技术问题研究[J]. 工程技术研究, 2020, 5(7): 62-63.
- [8] 彭著海, 李佳, 刘浩. 电梯检验中限速器检验的常见问题及解决对策探究[J]. 西部特种设备, 2020, 3(1): 66-68.
- [9] 王若蒙. 关于电梯发生故障原因浅析[J]. 黑龙江科技信息, 2017(4): 29.