

Improvement strategies for anti-interference capability of electronic devices based on EMC standards

Xu Shu

AVIC CHINA AERO-POLYTECHNOLOGY ESTABLISHMENT, Beijing, 100028, China

Abstract

This paper explores improvement strategies for electronic devices based on EMC standards, analyzing the current challenges of electromagnetic interference and the limitations of existing solutions. It provides a detailed discussion on the current status, challenges, and shortcomings under EMC standards, and proposes specific design optimization methods. Validation of interference resistance in practical applications shows that systematic testing and evaluation can effectively enhance device performance. In response to new requirements for EMC standards due to technological advancements, the importance of updating and improving the existing standard system is emphasized, aiming to provide guidance and support for future technological innovation.

Keywords

EMC standard, interference resistance, electronic equipment, optimization design, electromagnetic compatibility

基于 EMC 标准的电子设备抗干扰能力改进策略

舒旭

中国航空综合技术研究所, 中国·北京 100028

摘要

探讨基于EMC标准的电子设备抗干扰改进策略, 分析了当前面临的电磁干扰挑战及其解决方案的局限性。详细讨论了EMC标准下的现状、挑战与不足, 并提出了具体的设计优化方法。实际应用中的抗干扰效果验证显示, 通过系统化测试与评估, 可以有效提升设备性能。针对技术进步对EMC标准的新要求, 强调了更新和完善现有标准体系的重要性, 旨在为未来技术创新提供指导和支持。

关键词

EMC标准、抗干扰、电子设备、优化设计、电磁兼容性

1 引言

在现代科技背景下, 电磁干扰问题严重影响了电子设备的正常运行和可靠性。遵循 EMC 标准成为解决这一难题的关键路径。然而, 如何高效利用 EMC 标准提升电子设备抗干扰能力仍需深入研究。面对复杂多变的电磁环境, 尤其是高频段应用和物联网设备的普及, 传统设计方法逐渐显现出局限性。探索新的 EMC 优化策略, 对于保障电子设备稳定性和促进相关技术发展具有重要意义。此部分聚焦于 EMC 标准的应用与优化, 揭示其在增强电子设备抗干扰方面的潜力。

2 EMC 标准下的电子设备抗干扰现状

随着电子技术的发展和应用领域的不断扩展, 各种类型的电子设备面临着越来越复杂的电磁环境挑战。这些挑战

不仅来自于外部环境中的自然或人为电磁干扰源, 也包括设备内部不同组件之间的相互影响。对于大多数商业及消费级电子产品而言, 符合国际或地区性的 EMC 标准是进入市场的基本要求。这促使制造商必须采取一系列措施来保证其产品的电磁兼容性。一方面, 通过优化电路设计、选择合适的材料以及采用有效的屏蔽和接地技术等手段来降低电磁干扰的影响; 另一方面, 利用先进的仿真工具进行预评估, 以便在产品开发早期识别并解决潜在的 EMC 问题。

严格的测试流程也是确保最终产品能够满足相关 EMC 标准的重要环节之一。然而, 在实际操作中, 尽管有明确的标准指导, 许多电子设备仍可能遭遇不同程度的电磁兼容性挑战。这主要是因为当前的技术水平和设计理念尚未完全克服所有类型的电磁干扰。例如, 高频段的应用日益增多, 使得传统基于低频假设的设计方法逐渐显示出局限性。随着物联网 (IoT) 设备数量的急剧增长, 如何确保大量小型化且紧密相连的设备间互不干扰成为新的难题。另一个值得关注的现象是, 虽然市场上存在多种针对特定应用场景的 EMC 解

【作者简介】舒旭 (1998-), 男, 中国河北保定人, 本科, 从事电磁环境效应研究。

决方案，但这些方案往往难以直接应用于其他领域。

每个行业都有自己独特的需求和技术背景，这意味着通用型的 EMC 策略很难满足所有情况下的需求。针对特定行业的定制化 EMC 设计变得尤为重要。进一步地，随着电子设备功能的不断增强及其复杂度的提升，对 EMC 性能的要求也在不断提高。高性能计算、5G 通信等新兴技术的发展尤其如此，它们不仅需要更高的数据传输速率，同时也要求更低的误码率和更强的抗干扰能力。这就迫使工程师们不断创新，寻找更加有效的方法来应对日益严峻的电磁环境挑战。

3 电磁兼容性面临的挑战与不足

电磁兼容性 (EMC) 在电子设备的设计、制造及应用过程中扮演着至关重要的角色。尽管已有相对成熟的 EMC 标准和方法，但在实际操作中仍面临诸多挑战与不足之处。随着技术的发展和应用场景的多样化，这些问题变得更加复杂且难以解决。在高频段应用日益普及的背景下，传统设计思路和技术手段开始显现出其局限性。对于高速信号传输系统而言，信号完整性和抗干扰能力之间的平衡变得尤为关键。这要求设计师不仅要考虑如何减少外部电磁干扰对设备的影响，还需关注内部电路间的相互干扰问题。由于高频信号容易产生辐射，导致邻近线路间发生耦合现象，增加了设计难度。

随着物联网 (IoT) 技术的迅速发展，大量小型化、智能化设备被广泛部署于日常生活和工业生产中。这些设备通常工作在同一频段内，彼此之间极易产生干扰。虽然通过频率规划和滤波器等措施可以在一定程度上缓解这一问题，但实现完全无干扰通信依然困难重重。尤其是在城市密集区域或特定工业环境中，复杂的电磁环境使得 EMC 设计更加棘手。另一个不容忽视的问题是，现有 EMC 标准可能无法全面覆盖新兴技术和新型应用场景的需求。在新能源汽车领域，电动机逆变器产生的强大电磁场对车载电子系统的正常运行构成严重威胁。而当前的标准体系对此类特殊情况下的具体指导较为有限，导致制造商在产品的设计阶段缺乏明确的方向。类似地，5G 网络的推广也带来了新的 EMC 挑战，如毫米波频段的应用对射频前端组件提出了更高要求，现有的测试方法和防护措施需相应升级以适应新技术特点。

在硬件层面，材料选择同样影响到设备的 EMC 性能。为了满足轻量化、小型化的设计趋势，许多新型材料被应用于电子产品中，然而这些材料往往不具备良好的屏蔽效果或导电性能，从而削弱了设备整体的抗干扰能力。随着集成电路工艺的进步，芯片尺寸不断缩小，集成度大幅提高，这也给 EMC 设计带来了新难题，如电源噪声管理、信号完整性维护等方面的要求更为严格。

4 基于 EMC 标准的设计优化方法

在电子设备设计过程中，遵循电磁兼容性 (EMC) 标

准是确保产品稳定性和可靠性的重要步骤。通过一系列精心设计的方法和策略，可以显著提升设备的抗干扰能力。这些优化方法涵盖了从初步设计到最终测试的各个阶段，旨在为复杂电磁环境中的应用提供强有力的支持。在电路布局方面，合理的元件排列和走线设计至关重要。对于高频信号线路，保持短而直接的路径有助于减少辐射和耦合的机会。敏感信号应当远离电源线和其他潜在干扰源，以避免不必要的噪声引入。采用差分信号技术能够有效降低共模干扰的影响，提高信号传输的质量与稳定性。

屏蔽技术是另一种有效的 EMC 优化手段。通过对关键组件或整个设备进行物理屏蔽，可以大大减弱外界电磁场对内部电路的干扰。屏蔽材料的选择需根据具体的应用场景和频率范围来决定，如金属外壳、导电涂层等均能提供良好的防护效果。值得注意的是，屏蔽并非万能，必须与其他措施相结合才能达到最佳效果。接地设计同样是不可忽视的一环。一个良好规划的接地系统不仅能迅速将静电荷引导至地面，还能作为低阻抗回路，帮助抑制电磁干扰。多层 PCB 板中设置专门的地层，可以增强整体电路的抗干扰能力，并且有助于维持信号完整性。在大型系统中，还需特别关注地平面之间的连接方式，确保各部分之间形成连续且可靠的电气连接。滤波器的应用也极为重要。合适的滤波器能够有效去除电源线上的高频噪声，保证供电质量。除了传统的 LC 滤波器外，还可以考虑使用更高级别的滤波方案，如铁氧体磁珠、共模扼流圈等，它们在特定频段内表现出优异的衰减特性。

针对不同干扰源选择合适的滤波器类型及参数配置，显著提升系统 EMC 性能。利用先进的电磁场仿真软件，在设计初期预测并解决潜在电磁干扰问题，有效缩短开发周期，降低后期成本。模拟多种工作条件下的电磁行为，使设计师能精准定位问题，提前采取预防措施。设计完成后，通过严格的标准化测试，如辐射发射、传导发射和抗扰度测试，全面评估设备是否符合 EMC 规范。一旦发现偏差，立即进行针对性改进直至达标。持续的监测与反馈机制在整个过程中发挥关键作用，确保及时识别并解决新出现的问题，保障最终产品的高质量和高可靠性。

5 实际应用中的抗干扰效果验证

在实际环境中验证电子设备的抗干扰效果，对于确保其可靠性和性能至关重要。通过一系列系统化的测试与评估流程，可以全面了解设备在复杂电磁环境下的表现，并据此进行必要的优化调整。在实验室条件下，模拟真实的电磁干扰环境是验证抗干扰效果的基础步骤。采用专业的 EMC 测试设备和设施，如屏蔽室、天线、信号发生器等，能够精确控制实验条件，以检测设备对不同频率和强度电磁干扰的响应。通过对辐射发射、传导发射及抗扰度等多个方面的细致测量，获取详尽的数据支持，为后续分析提供坚实依据。

频谱分析技术在这一过程中发挥着关键作用。利用高精度频谱分析仪,可实时监测并记录设备工作时产生的电磁波形特征及其变化趋势。这种技术有助于识别潜在的电磁干扰源,并量化其影响程度。通过对比不同设计或配置下设备的频谱数据,能够直观地展示出各种优化措施的实际成效,从而指导进一步的设计改进。为了更加全面地评估设备的抗干扰能力,需结合多种测试方法进行全面考量。针对特定应用场景开展定制化测试,也有助于发现通用测试难以覆盖的问题点,提升整体抗干扰性能。在进行实际应用环境测试时,选择具有代表性的场地至关重要。不同的使用场景可能面临截然不同的电磁环境挑战,因此需要根据目标市场的具体情况来选定测试地点。例如,在工业现场,强电设备、变频器等可能会产生强烈的电磁干扰;而在居民区,则更多考虑来自家电产品和无线通信设备的影响。

通过这些典型环境中进行实地测试,可以更准确地反映设备的真实性能表现。数据采集与分析过程同样不可忽视。在整个测试期间,详细记录各项参数的变化情况,并运用统计学方法对其进行深入分析。这包括但不限于信号强度、噪声水平、误码率等关键指标。借助现代数据分析工具和技术,可以从海量数据中提取有价值的信息,揭示隐藏的问题根源,并为优化方案提供科学依据。为了确保测试结果的客观性和准确性,建立完善的质量保证体系必不可少。

6 技术进步对 EMC 标准的新要求

随着科技的迅猛发展,电子设备的功能和性能不断提升,这对电磁兼容性(EMC)标准提出了新的挑战与需求。新兴技术的应用不仅改变了传统设备的设计理念,同时也促使 EMC 标准不断演进,以适应更加复杂和多变的电磁环境。在无线通信领域,5G 网络的普及带来了更高的数据传输速率和更低的延迟时间,但同时也引入了毫米波频段的应用,这给 EMC 设计带来了前所未有的难题。由于毫米波具有高方向性和易受干扰的特点,传统的 EMC 测试方法和防护措施显得力不从心。需要开发更为精确和高效的测试技术,以及更严格的抗干扰设计规范来确保设备在高频段下的稳定运行。

物联网(IoT)的发展同样对 EMC 标准提出了新要求。大量智能设备的互联互通使得电磁环境日益复杂,设备之间的相互干扰问题变得更加突出。为了保证 IoT 设备在密集部署条件下的正常工作,必须制定专门针对小型化、低功耗设备的 EMC 标准。这些标准不仅要考虑设备间的互操作性,

还需关注如何最小化每个节点对外部环境的电磁污染,确保整个网络系统的稳定性。新能源汽车技术的进步也对 EMC 标准产生了深远影响。电动汽车中的高压电力系统与精密电子控制系统共存,两者之间极易产生电磁干扰。快速充电技术和无线充电功能的加入进一步增加了 EMC 设计的难度。为保障这些系统的可靠性和安全性,有必要更新现有的 EMC 标准,引入更多关于电磁兼容性的具体要求,特别是在强电场和磁场环境下设备的稳定性和抗扰度。与此随着电子产品的小型化趋势加剧,电路板上的元件密度不断增加,信号线间距缩小,导致内部电磁干扰问题愈发严重。

在这种背景下,传统的 EMC 设计理念难以满足现代电子产品的高性能要求。需探索新的材料和技术,如使用新型屏蔽材料或开发基于软件算法的自适应抗干扰策略,同时修订相应的 EMC 标准,指导设计师在有限的空间内实现最佳的电磁兼容效果。另外,虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等新兴技术的兴起,对设备的实时响应速度和图像处理能力提出了更高要求。这类设备通常需要处理大量的数据并进行高速的数据传输,容易受到电磁干扰的影响。为此,相关 EMC 标准应特别强调对高频信号完整性和低噪声环境的要求,确保用户体验不受电磁干扰的负面影响。

7 结语

随着电子技术的快速发展,电磁兼容性(EMC)标准在提升电子设备抗干扰能力方面的重要性日益凸显。面对新兴技术带来的挑战,如 5G 通信、物联网和新能源汽车等领域,EMC 标准需不断更新以适应复杂多变的电磁环境。通过优化设计方法、严格测试流程及引入新型材料和技术,能够显著增强设备的抗干扰性能。展望未来,持续关注技术进步并及时调整 EMC 策略,将有助于推动电子行业向更高效、可靠的方向发展。

参考文献

- [1] 刘伟. 电磁兼容性标准在电子产品设计中的应用[J]. 电子科技杂志, 2023, 45(3): 78-89.
- [2] 王丽娟. 提升电子设备抗干扰能力的策略研究[J]. 信息技术通讯, 2024, 36(2): 112-123.
- [3] 孙强. 电子设备电磁兼容性设计的新进展[J]. 计算机科学与技术学报, 2025, 38(1): 56-67.
- [4] 李文博. 高效电磁兼容设计实践[J]. 电气工程及其自动化, 2024, 30(4): 101-110.
- [5] 赵宏. 电子设备抗干扰技术发展趋势[J]. 中国无线电管理, 2023, 27(5): 45-55.