

集成电路电磁兼容测试在PCB设计中的应用研究

袁保玉

宁波赛宝信息产业技术研究院有限公司 浙江 宁波 315040

摘要：集成电路电磁兼容基础及其在PCB设计中的实践应用是本文探讨的主题。文章概述了集成电路与电磁兼容性的基本概念，并深入分析PCB电磁兼容设计所遵循的原则、优化方法及具体案例。同时，也介绍电磁兼容测试的流程、方法，并强调了测试结果分析与改进的价值。通过计算机主板高速PCB设计、消费电子产品、汽车电子等领域的实例，展示集成电路电磁兼容测试与PCB设计结合所带来的显著效果。这些内容为相关领域的设计人员提供有益的信息和指导。

关键词：集成电路；电磁兼容测试；PCB设计要点；实际应用

引言：随着现代电子技术的飞速发展，集成电路的广泛应用为电子产品带来了前所未有的性能提升。在享受技术进步带来的便利时，电磁兼容问题也日益凸显，成为影响电子产品质量和可靠性的关键因素。其中，PCB设计作为电子产品的基础，其质量直接决定了产品的电磁兼容性能。因此深入分析集成电路电磁兼容测试的要点，并探讨其在PCB设计中的应用，对于提升电子产品的整体性能具有重要意义。

1 集成电路电磁兼容基础

1.1 集成电路概述

集成电路（Integrated Circuit, IC），又称微电子电路或微芯片，是将大量的晶体管、电阻、电容等元器件，通过半导体制造工艺集成在一块硅片上，实现特定功能的微型化电路概述。简单来说，集成电路就是将许多电子元件“压缩”到一个微小的空间内，以实现复杂功能的概述。根据集成度的不同，集成电路可以分为小规模集成电路（Small-Scale Integrated Circuit, SSI）、中规模集成电路（Medium-Scale Integrated Circuit, MSI）、大规模集成电路（Large-Scale Integrated Circuit, LSI）和超大规模集成电路（Very Large-Scale Integrated Circuit, VLSI）。目前，VLSI已经广泛应用于计算机、通信、消费电子等领域的概述^[1]。

1.2 电磁兼容基本概念

电磁兼容性（设备或系统级）是指设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。集成电路电磁兼容性（芯片级）则是指集成电路在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。电磁骚扰一般可分为两大类：自然骚扰和人为骚扰^[2]。自然骚扰是指来源于自然现象而非人工装置产生的电磁骚

扰，如雷电、太阳噪声等；人为骚扰是指来源于人工装置的电磁骚扰，如无线电通信设备、工业、科学、医疗设备、电力系统等。

2 PCB电磁兼容设计要点

2.1 PCB电磁兼容设计的基本原则

在PCB（印刷电路板）的电磁兼容（EMC）设计中，遵循基本原则是确保电路性能稳定、可靠，并满足电磁兼容要求的关键。这些基本原则涵盖：首先，明确设计目标，确保PCB设计不仅满足产品的功能需求和性能指标，还要严格遵守EMC标准。其次，合理规划电路板布局，各元器件之间的连接需紧凑且合理，同时确保有足够的空间以便散热和维修。此外，还需选择合适的导线宽度和间距，以在电流承载能力、信号传输质量和制造成本之间找到最佳平衡，电源和地线的处理同样重要，需确保电源稳定、接地良好，从而降低电磁干扰。最后，遵循标准化、模块化设计原则，旨在提高设计效率，并降低生产成本。

2.2 PCB电磁兼容设计的优化策略

在PCB的EMC设计中，优化策略是确保产品电磁兼容性的核心。（1）分区布局：通过按功能模块划分区域，将功能相似的元器件集中布置，以降低不同功能模块间的电磁干扰，减少信号线间的串扰，提高电路的抗干扰能力。（2）信号路径优化：在设计中，需避免信号线与功率线交叉，以减少耦合效应，降低电磁干扰。保持信号线长度一致，以减少信号传输过程中的相位差和衰减。对于高频信号，推荐使用差分信号传输方式。（3）接地设计：合理的接地结构对于降低电磁干扰至关重要。设计中，需根据电路特点和EMC要求，选择适当的接地方式，如单点接地、多点接地或混合接地^[3]。（4）屏蔽设计：使用金属屏蔽层或屏蔽罩是减少外部电

磁场影响的有效方法。通过设置屏蔽层,可阻挡外部电磁波的侵入,降低电磁干扰,同时屏蔽层还具备散热和保护电路的功能。(5)滤波设计:在电源和信号线路上设置滤波器,可滤除噪声信号,提高信号纯净度。滤波器的选择需根据电路特点和EMC要求来确定。

2.3 PCB电磁兼容设计案例分析

某通信设备制造商在开发一款高频通信设备时,遭遇严重的电磁兼容问题。由于初步设计中未充分考虑EMC优化策略,导致设备在测试阶段出现显著的电磁干扰,影响设备正常工作。面对这一问题,设计团队对PCB设计进行全面优化。他们按功能模块重新布局元器件,将高频与低频元器件分开布置,以减少相互干扰。同时,优化信号路径,避免信号线与功率线交叉,降低耦合效应。在接地设计上,团队采用了混合接地方式,既确保低频电路的稳定性,又降低高频电路的接地阻抗;还在电源和信号线路上设置滤波器,滤除噪声信号,提高信号纯净度。为了进一步降低电磁干扰,设计团队还在PCB上增加金属屏蔽层,以阻挡外部电磁波的侵入。这些优化措施显著提升设备的电磁兼容性能,使其成功通过EMC测试。这一案例充分证明了PCB电磁兼容设计的重要性,通过合理布局、优化信号路径、合理接地、增加屏蔽层和滤波器等措施,可有效降低电磁干扰,提高产品的电磁兼容性能^[4]。

3 电磁兼容测试与PCB设计的结合

3.1 电磁兼容测试流程与方法

电磁兼容测试流程通常包括准备阶段、测试阶段和结果分析阶段。在准备阶段,需要明确测试的目的、范围和要求,制定详细的测试计划,并准备好所需的测试设备和仪器。测试阶段则按照测试计划进行实际操作,包括发射测试、抗扰度测试、谐波电流测试等。发射测试用于评估产品产生的电磁辐射是否超过规定的限值;抗扰度测试则检验产品在受到外部电磁干扰时的性能表现;谐波电流测试则关注产品在工作时产生的谐波电流是否对电网造成不良影响。在测试方法上,电磁兼容测试通常采用标准测试方法和专用测试方法。标准测试方法是按照国际或国内相关标准进行的测试,如IEC 61000系列标准、GB/T 17626系列标准等。这些标准规定测试的具体步骤、测试条件和测试限值,确保测试结果的准确性和可比性。专用测试方法则是根据产品的特点和测试需求而定制的测试方法,旨在更准确地评估产品的电磁兼容性能。

3.2 测试结果分析与改进

电磁兼容测试完成后,需要对测试结果进行深入分

析。首先,要判断测试结果是否满足相关标准和要求。如果测试结果不合格,则需要进一步分析不合格的原因,如是否存在设计缺陷、制造工艺问题或测试环境干扰等。在此基础上,制定改进措施,对PCB设计进行优化。改进措施可能包括调整布局布线、优化接地结构、增加滤波元件等。如果产品抗扰度测试不合格,则需要加强产品的抗干扰能力,如提高电源的滤波效果、增加保护电路等。在改进措施实施后,需要再次进行电磁兼容测试,以验证改进措施的有效性。通过反复测试和改进,可以逐步优化PCB设计,提高产品的电磁兼容性能^[5]。测试结果的分析还可以为设计人员提供宝贵的经验教训,通过分析测试中出现的问题和原因,设计人员可以更加深入地理解电磁兼容性的原理和要求,从而在今后的设计中更加注重电磁兼容性的考虑,提高设计的可靠性和稳定性。

4 集成电路电磁兼容测试PCB设计的实际应用

4.1 在计算机主板高速PCB设计中的应用

集成电路电磁兼容测试与PCB设计的紧密结合,在计算机主板高速PCB设计中发挥着至关重要的作用。随着计算机技术的不断演进,主板上的集成电路密度显著提升,数据传输速率也达到前所未有的高度,这对电磁兼容性构成严峻的挑战。在高速PCB设计中,设计人员首先运用电磁兼容测试的原理,对元器件进行合理布局。他们按照功能模块划分区域,以减少不同模块间的相互干扰。同时,通过优化信号路径,避免高频信号线与电源线、地线等低频线路发生交叉,从而显著降低耦合效应。在布线阶段,设计人员采用差分信号传输和等长线设计,以确保信号在传输过程中的完整性和一致性。为了进一步提升电磁兼容性,设计人员还注重接地设计和滤波元件的应用。通过合理设计接地结构,采用多点接地或混合接地方式,有效降低了接地阻抗;在关键部位增加滤波元件,以滤除高频噪声,进一步降低电磁干扰。在电磁兼容测试方面,设计人员采用多种测试方法,如辐射发射测试、传导发射测试和抗扰度测试等^[6]。依据相关标准,对计算机主板进行严格的测试,发现设计中存在的潜在问题,如线路间的耦合干扰、接地不良等。

4.2 在消费电子产品中的应用

消费电子产品作为日常生活中不可或缺的一部分,其电磁兼容性能同样至关重要。在智能手机、平板电脑等消费电子产品的PCB设计中,设计人员同样将电磁兼容测试的原理和方法应用于实际设计中。由于消费电子产品通常集成了大量的无线通信模块,如Wi-Fi、蓝牙、NFC等,这些模块在工作时会产生较强的电磁辐射。为

了降低这种干扰，设计人员在PCB设计中采用分区布局和信号路径优化的策略。他们将无线通信模块与其他功能模块分开布置，以减少相互干扰。同时，通过增加屏蔽层和滤波元件，有效降低电磁辐射水平。在电磁兼容测试方面，设计人员采用专门的测试设备和方法，对消费电子产品进行全面的测试。进行辐射发射测试，以评估产品在工作过程中产生的电磁辐射水平；同时，还进行了传导发射测试和抗扰度测试，以验证产品在受到外部电磁干扰时的稳定性和可靠性^[7]。通过这些测试，发现设计中存在的电磁兼容性问题，并据此进行优化和改进。

4.3 在汽车电子等其他领域的应用

集成电路电磁兼容测试与PCB设计的结合同样适用于汽车电子等其他领域。在汽车电子领域，由于车辆内部环境复杂，电磁干扰源众多，如发动机、发电机、点火系统等，这些干扰源容易对车载电子设备造成严重影响。在汽车电子产品的PCB设计中，设计人员更加注重电磁兼容性的考虑。他们通过优化PCB布局和布线，减少线路间的耦合干扰和电磁辐射，采用高性能的滤波元件和屏蔽层，进一步提高电磁兼容性能。在电磁兼容测试方面，设计人员对汽车电子产品进行严格的发射和抗扰度测试，以确保其在恶劣的电磁环境中的稳定性和可靠性。在医疗电子、工业控制等其他领域，集成电路电磁兼容测试与PCB设计的结合也发挥着重要作用^[8]。通过合理的PCB设计和严格的电磁兼容测试，这些领域的电子产品同样能够具备出色的电磁兼容性能，满足复杂环境下的使用需求。

结束语

在现代电子技术快速发展的背景下，集成电路的集成度和复杂度持续提高，电磁兼容性问题逐渐凸显其重

要性。电磁兼容性作为确保设备或系统能在电磁环境中正常运行的关键因素，对于集成电路和PCB设计而言，其意义不言而喻。本文旨在全面探讨集成电路电磁兼容的基础理论及其在实际PCB设计中的应用，旨在为相关领域的设计人员提供有益的参考。通过分析电磁兼容性的基本概念、PCB设计的优化策略以及电磁兼容测试技术，将进一步阐明集成电路电磁兼容性与PCB设计之间的紧密联系，从而为提升电子产品的电磁兼容性能提供坚实的支持。

参考文献

- [1]雷钊.刘海涛.电力系统自动化设备的电磁兼容技术[J].电子世界, 2021(16):208-209.
- [2]陈希琛.韩焯, 蒋莉.电动汽车无线充电系统EMC测试标准综述[J].中国汽车, 2021(08):31-35.
- [3]林辰.高成.黄姣英.浅析集成电路辐射抗扰度测试方法[J].电子测量技术, 2021, 44(14):51-58.
- [4]郭虎岗.刘俊.马喜宏.混合集成电路的电磁兼容设计[J].微计算机信息, 2018, 2(2): 308-309, 295.
- [5]王文杰,白云,彭俊,等.IEC 61967系列-集成电路辐射发射测试方法分析[J].中国集成电路.2021,(5).DOI:10.3969/j.issn.1681-5289.2021.05.015 .
- [6]李万银,张晨阳,查继鹏,等.电磁脉冲作用下NMOS管的电磁敏感性研究[J].兵器装备工程学报.2023,44(12). DOI:10.11809/bqzbgcxb2023.12.004 .
- [7]陈梅双,朱赛,蔡利花,等. 集成电路电磁兼容测试PCB设计[J]. 安全与电磁兼容,2021(5):83-87. DOI:10.3969/j.issn.1005-9776.2021.05.015.
- [8]刘建鹏.集成电路的电磁兼容测量标准及需求分析[J].信息技术与标准化, 2018, 7(7): 63-67.