

低压电器产品电磁兼容检测技术和抑制策略

张庭荣

广东东电检测技术有限公司 广东 东莞 523000

摘要: 通过深入探讨低压电器产品电磁兼容(EMC)检测技术与抑制策略的最新进展。检测技术方面,强调智能化、自动化检测系统的应用,以及远程在线检测服务的兴起,显著提升检测效率和准确性。在抑制策略上,文章指出新型抑制技术的研发与综合抑制策略的实施是关键,旨在从源头降低电磁干扰,保障产品性能。同时绿色化抑制策略的推广也体现了环保与可持续发展的理念。

关键词: 低压电器产品; 电磁兼容检测技术; 抑制策略

引言: 随着电力电子技术的飞速发展,低压电器产品在各行各业中得到广泛应用,电磁兼容(EMC)问题日益凸显,成为影响产品性能和安全性的重要因素。为确保低压电器产品能在复杂的电磁环境中稳定工作,电磁兼容检测技术与抑制策略的研究显得尤为重要。本文旨在综述当前低压电器产品电磁兼容检测技术的最新进展,并探讨有效的抑制策略,以期为相关领域的研究与应用提供参考。

1 电磁兼容概述

电磁兼容(Electromagnetic Compatibility,简称EMC)是电子设备和系统在其电磁环境中能够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。它涵盖了两个基本方面:电磁干扰(EMI)的抑制与电磁敏感度(EMS)的增强。简而言之,电磁兼容就是要求电子设备“共存”,即在共同的电磁环境中相互间不发生有害的电磁影响,既不会对外辐射超出规定限值的电磁能量,也不会因外部电磁场的作用而导致性能降级或失效。随着科技的飞速发展,电子设备的种类和数量急剧增加,它们在工作时产生的电磁辐射也日益复杂多样,这对电磁环境的清洁度提出了更高要求,电磁兼容设计成为电子产品研发中不可或缺的一环,它贯穿于产品设计、制造、测试、安装、使用和维护的全生命周期。通过合理的电磁屏蔽、滤波、接地等技术手段,可以有效控制电磁干扰,保障设备的正常工作和人员安全,同时也符合国际及行业相关的电磁兼容标准和法规要求。

2 低压电器产品电磁兼容问题的产生机理

低压电器产品的电磁兼容(EMC)问题主要源自其内部和外部电磁环境的相互作用。其产生机理可以归纳为几个方面:第一、低压电器产品内部包含大量电子元件和电路,这些元件在正常工作时会产生电磁辐射。当这些辐射的能量超过一定限度时,就会对同一电气系统

中的其他设备造成干扰,即电磁干扰(EMI)。这种干扰可能通过空间辐射或导线传导的方式传播,影响其他设备的正常工作^[1]。第二、低压电器产品也会受到外部电磁环境的影响,外部环境中可能存在各种电磁干扰源,如高压输电线、无线电发射设备、工业设备等。这些干扰源产生的电磁场可能通过耦合途径进入低压电器产品内部,对其造成电磁骚扰,影响其性能甚至导致故障。第三、低压电器产品的设计、制造和安装等环节中的不当处理也可能引发电磁兼容问题。例如,不合理的电路布局、未采用有效的屏蔽措施、接地不良、滤波不充分等都可能增加电磁干扰的风险。

3 低压电器产品电磁兼容检测技术

3.1 电速变脉冲群抗扰度性测试

电速变脉冲群抗扰度性测试(Electrical Fast Transient/Burst, EFT/B)是评估低压电器产品在面对快速瞬变脉冲群干扰时的抗干扰能力。这种测试模拟了电感性负载在快速开关过程中产生的瞬态脉冲群,这些脉冲群虽然能量较小,但由于其频谱分布广泛,仍可能对电器产品的稳定运行造成影响。电速变脉冲群在模拟电感性负载断开时,基于开关的触点动作(如弹簧振动或绝缘击穿)等因素,在断开点处产生瞬态脉冲群。若电感性负载进行多次重复性开关,脉冲群将以相对固定的时间间隔重复出现。测试过程中,通过专用的脉冲发生器向被测设备施加一系列快速瞬变的脉冲群,模拟实际工作环境中的电磁干扰,监测被测设备在干扰下的性能变化,包括功能是否降低、丧失或完全失效。测试结果主要分为三类:第一类是设备在受干扰环境下性能逐渐降低,但干扰消失后能自行恢复;第二类是性能降低或丧失后需人为干预才能恢复;第三类是设备直接损坏,无法恢复。通过此类测试,可以评估低压电器产品对电速变脉冲群的抗扰能力,从而指导产品的设计和改进。

3.2 浪涌抗扰度性测试

浪涌抗扰度性测试是评估低压电器产品在遭受雷击、开关操作或其他暂态高压干扰时的抗扰能力。这种测试模拟了设备在实际使用中可能遇到的极端电压瞬变情况，确保设备能够承受而不损坏或性能下降。浪涌抗扰度试验使用浪涌发生器产生标准化的浪涌电压波形，通过耦合/去耦网络（CDN）将浪涌电压耦合到被测设备的电源线或信号线^[2]。测试过程中，逐步增加浪涌电压的幅度，观察设备在不同电压下的响应情况。测试前需检查去耦网络及发生器是否正常工作，确定浪涌次数及试验等级。一般情况下，浪涌次数为正负极各五次，分别在不同相位角进行施加。测试过程中，使用示波器监测浪涌电压波形和设备响应，记录设备在每次浪涌冲击下的行为变化。测试结果同样分为三类：（1）设备在浪涌冲击下性能逐渐降低但能自行恢复；（2）性能降低或丧失后需人为干预恢复；（3）设备直接损坏无法恢复。通过浪涌抗扰度性测试，可以评估低压电器产品在极端电压瞬变条件下的稳定性和可靠性。

3.3 静电放电抗扰度性测试

静电放电（ESD）抗扰度性测试是评估低压电器产品在遭受静电放电时的抗干扰能力。静电放电抗扰度性测试使用静电放电发生器模拟静电放电现象，通过直接接触或空气放电的方式向被测设备施加静电电荷。测试过程中，监测设备在静电放电作用下的性能变化，包括功能是否降低、丧失或数据损坏等。测试前需选择合适的静电放电发生器，并根据被测设备的实际情况确定测试等级和放电位置。测试过程中，静电放电发生器逐渐施加电压于设备的旋钮、键盘、面板等易接触部位，观察设备在静电放电作用下的响应情况。测试结果同样分为三类：其一、设备在静电放电作用下性能逐渐降低但能自行恢复；其二、性能降低或丧失后需人为干预恢复；其三、设备直接损坏或数据丢失无法恢复。通过静电放电抗扰度性测试，可以评估低压电器产品在静电环境下的稳定性和防护能力，为产品的设计和生产提供重要参考。

4 低压电器产品电磁兼容抑制策略

4.1 浪涌抑制策略

浪涌抑制是保护低压电器产品免受雷击、电力线路故障等引起的瞬态过电压冲击的关键措施。这些浪涌电压往往具有极高的能量和极短的持续时间，可能对设备造成严重损害甚至永久性故障，制定有效的浪涌抑制策略对于提高产品的可靠性和安全性至关重要。浪涌保护器是专门设计用于吸收和耗散浪涌能量的装置。它们通常安装在设备的电源入口或信号线上，当检测到浪涌电

压时，能够迅速启动并将能量引导至地线，从而保护设备免受损害。选择合适的SPD并正确安装，可以显著降低浪涌电压对设备的影响^[3]。合理的电路布局和接地系统可以有效降低浪涌电压的传播和耦合，通过减少电路中的环路面积、增加接地导体的截面积、优化接地点的位置等措施，可以降低接地电阻和电感，提高系统的抗浪涌能力。在电源线和信号线上安装滤波器和限压元件，可以进一步降低浪涌电压对设备的影响。滤波器可以滤除高频噪声和干扰信号，而限压元件则可以在电压超过一定阈值时自动断开电路或限制电压的上升速度，从而保护设备免受浪涌冲击。

4.2 静电放电抑制策略

静电放电（ESD）是低压电器产品中常见的电磁兼容问题之一。静电放电不仅可能损坏设备内部的电子元件，还可能引起数据丢失或误操作。因此制定有效的静电放电抑制策略对于保护设备免受静电损害具有重要意义。在产品的设计过程中，应优先考虑使用防静电材料。这些材料具有良好的导电性或电荷耗散能力，可以迅速将静电电荷导走或中和，从而降低静电放电的风险。静电接地是防止静电放电的有效手段之一，通过将设备外壳、操作面板等易产生静电的部位与地线相连，可以将静电电荷及时导走，避免电荷积累到一定程度后引发放电现象。在产品的表面涂覆一层静电防护涂层或在包装材料中加入防静电剂，可以提高产品的静电防护能力。这些涂层和包装材料能够吸收或中和静电电荷，减少静电放电的发生。在生产和使用过程中，人员也是静电放电的重要来源之一，应对相关人员进行防静电培训，教育他们如何正确使用防静电设备和工具、避免穿着易产生静电的衣物等。在生产线和区域设置静电消除器、铺设防静电地垫等措施，也可以有效减少静电放电的发生。

4.3 速变脉冲群抑制策略

速变脉冲群（EFT/B）是低压电器产品中另一种常见的电磁干扰源。它主要由电感性负载的快速开关动作产生，具有高频、高重复率的特点。通过优化电路设计，减少电路中的感性元件和容性元件的相互作用，可以降低速变脉冲群的产生和传播。例如，可以采用低电感、低电阻的电源线和信号线、增加滤波电容等措施来抑制速变脉冲群。屏蔽和滤波技术是降低电磁干扰的有效手段之一，在电路设计中，可以采用金属屏蔽罩、屏蔽层等措施来隔离干扰源和敏感元件；在电源线和信号线上安装滤波器可以进一步降低速变脉冲群对设备的影响^[4]。良好的接地系统可以将干扰信号迅速导入大地，从而降

低其对设备的影响。在设计过程中,应确保所有接地点的电阻值在允许范围内,并尽可能缩短接地导体的长度和减少环路面积以降低电感。在选择电子元件时,应优先考虑具有较强抗干扰能力的元件,这些元件通常具有较低的噪声系数、较高的工作稳定性和可靠性等特点,可以在一定程度上降低速变脉冲群对设备的影响。

5 低压电器产品电磁兼容检测与抑制的发展趋势

5.1 检测技术的智能化与自动化发展

随着人工智能、大数据、云计算等技术的快速发展,电磁兼容检测正逐步向智能化方向发展。智能化检测系统能够自动完成测试过程的数据采集、处理和分析,提高测试效率和准确性。自动化测试平台是电磁兼容检测技术智能化发展的重要体现。这些平台集成了先进的测试设备和软件控制系统,能够实现测试任务的自动调度、执行和结果反馈。随着物联网技术的普及,远程在线检测服务逐渐成为电磁兼容检测领域的新趋势。企业可以通过网络平台将测试数据实时传输至云端服务器,由专业的检测机构进行远程分析和评估。这种服务模式不仅提高检测效率,还打破地域限制,使得企业能够更加便捷地获取电磁兼容检测服务。

5.2 抑制策略的创新与综合应用

为了应对日益复杂的电磁环境,低压电器产品的电磁兼容抑制策略也在不断创新。新型抑制技术如主动噪声控制、电磁屏蔽材料的改进等不断涌现,为产品的电磁兼容设计提供了更多选择。这些技术通过优化电路布局、改进材料性能等方式,有效降低了电磁干扰的产生和传播。单一的抑制策略往往难以完全解决电磁兼容问题,因此综合抑制策略的应用成为必然趋势。综合抑制策略包括从产品设计、生产、使用和维护等各个环节入手,综合运用多种抑制技术和管理手段,形成全方位的电磁兼容防护体系。这种策略不仅提高了产品的电磁兼容性能,还增强了企业的整体竞争力。随着环保意识的增强,绿色化抑制策略在电磁兼容领域也得到了广泛推

广^[5]。绿色化抑制策略注重在保证电磁兼容性能的前提下,降低能耗、减少污染和废弃物排放。例如,采用低功耗电子元件、优化电路设计以减少能源浪费等措施,都是绿色化抑制策略的具体体现。这些措施不仅有助于保护环境,还符合可持续发展的要求。低压电器产品电磁兼容检测与抑制领域正朝着智能化、自动化、创新化和绿色化的方向发展。这些趋势将推动电磁兼容技术的不断进步和完善,为低压电器产品的质量和可靠性提供更加坚实的保障。

结束语

低压电器产品的电磁兼容检测技术与抑制策略是推动产品质量提升和市场竞争力的关键因素。随着技术的不断进步和创新,有理由相信,未来低压电器产品的电磁兼容性能将更加优异,为电力系统和各类电子设备的稳定运行提供更加可靠的保障。同时绿色化抑制策略的广泛应用也将为环境保护和可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]司莺歌,翟华吉,周海强. 低压电器产品电磁兼容检测技术和抑制策略[J]. 通信电源技术,2023,40(23):238-240. DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2023.23.078.
- [2]林伟. 浅谈电源适配器电磁干扰设计及优化整改方案[J]. 日用电器. 2022,(9). DOI:10.3969/j.issn.1673-6079.2022.09.022.
- [3]刘淑霞. 电子产品电磁兼容的重要性与检测技术要点探讨[J]. 造纸装备及材料. 2021,50(11). DOI:10.3969/j.issn.1672-3066.2021.11.035.
- [4]赖小东,陈志远. 新版GB/T 4343.2家用电器、电动工具和类似器具电磁兼容抗扰度技术变化解读[J]. 家电科技. 2021,(z1). DOI:10.19784/j.cnki.issn1672-0172.2021.99.135.
- [5]周飏,胡剑文,姚胜,等. 笔记本电脑高速存储芯片电磁辐射检测[J]. 日用电器. 2021,(8). 128-133. DOI:10.3969/j.issn.1673-6079.2021.08.031.