

电子产品辐射发射整改关键技术研究与应用探讨

姜战*

(江苏省计量科学研究院(江苏省能源计量数据中心), 南京 210000)

摘要: 随着电子产品在生活中的广泛应用, 其辐射安全亦逐渐成为大众关注的焦点。为确保人身健康、设备安全和电磁环境, 以及保护用户和消费者的利益, 需对辐射发射不合格的产品进行整改。通过对电子产品辐射发射超标原因的分析, 可以得出产品辐射发射超标通常是由于干扰源、干扰耦合路径和敏感设备3个方面因素造成的。本文依据国家相关辐射安全标准, 运用先进的电磁兼容性原理及屏蔽效应理论, 定位电子设备辐射源, 分析其辐射特性, 并采取相应措施, 使被测产品的辐射发射值降低到规定限值以内。本文提出当前辐射发射整改的三大方向为屏蔽、滤波、隔离, 为相关研究进一步发展提供参考。

关键词: 电子产品辐射发射; 电磁兼容性; 干扰源; 整改

Research and application of radiation emission rectification key technology for electronic products

JIANG Zhan*

(Jiangsu Institute of Metrology (Jiangsu Energy Measurement Data Center), Nanjing 21000, China)

ABSTRACT: With the wide application of electronic products in life, its radiation safety has gradually become the focus of public attention. In order to ensure personal health, equipment safety and electromagnetic environment, as well as to protect the interests of users and consumers, it is necessary to rectify the products with unqualified radiation emission. Through the analysis of the reasons for the excessive radiation emission of electronic products, it can be concluded that the excessive radiation emission of products is usually caused by three factors, interference source, interference coupling path and sensitive equipment. According to relevant national radiation safety standards, this paper used advanced electromagnetic compatibility principles and shielding effect theory to locate the radiation source of electronic equipment, analyzed its radiation characteristics, and took corresponding measures to reduce the radiation emission value of the tested product to within the specified limit, put forward the three major directions for radiation emission rectification at present were shielding, filtering, and isolation, which providing further reference for related research.

KEY WORDS: radiation emission of electronic products; electromagnetic compatibility; interference source; rectification

0 引言

随着电子信息技术的快速发展, 各类电子产品更新换代速度不断加快, 功能日趋丰富和强大。然而, 电子产品在给人们生活和工作带来便利的同时, 其电磁辐射问题也日益突出, 已成为电磁兼容领域亟待解决的重点和难点问题之一^[1]。电子产品的辐射发射超标不仅会对其他电子设备产生电磁干扰, 降低设备的可靠性和使用寿命, 而且过量的电磁辐射还可能对人体

健康产生不利影响。因此, 如何有效抑制电子产品的辐射发射, 将发射控制在可接受范围内, 提高其电磁兼容性, 已成为电子产品设计和生产中不可忽视的关键环节^[2]。

目前, 国内外学者针对电子产品的辐射发射问题开展了大量研究, 并提出了多种整改技术和方案。陈旗等^[1]以某型网络交换机为例, 通过近场扫描和频谱分析, 精确定位辐射发射超标的问题电路, 并通过在关键电路上串加匹配电阻的方式, 有效抑制了辐射发射, 使其满足相关标准要求。成兆平等^[3]则针

* 通信作者: 姜战, 助理工程师, 主要研究方向为电子电器产品电磁兼容检测。E-mail: 15298353318@163.com

* Corresponding author: JIANG Zhan, Assistant Engineer, Jiangsu Institute of Metrology (Jiangsu Energy Measurement Data Center), Nanjing 21000, China. E-mail: 15298353318@163.com

对全彩 LED 显示屏的辐射发射超标问题,从硬件和软件两个方面进行了深入分析,提出了包括优化印制电路板(PCB)布局、增加磁环和共模电感、改进接地和屏蔽等一系列整改措施,显著改善了发光二极管(LED)显示屏的电磁兼容性能。王德辉等人^[4]以医疗设备为研究对象,系统总结了常见的辐射发射超标现象和产生机理,并从设备外壳屏蔽、接地、电缆处理等方面给出了相应的整改方法,对指导医疗设备的电磁兼容设计具有重要参考价值。

综上所述,电子产品辐射发射问题已引起学术界和工业界的广泛重视,现有研究为解决这一问题提供了诸多有益探索和有效方法。然而当前,随着现代电子设备的普及和电子技术的快速发展,电磁兼容问题变得日益复杂和突出。不同电子产品构造不同,骚扰源也不同,需要具体产品具体分析。目前研究暂缺系统性、整体性的整改措施。本文在前人工作的基础上,针对不同类型电子产品的辐射发射超标问题,深入分析其产生机制和传播途径,并综合运用各种整改技术,通过理论分析与实验验证相结合的方式,研究探讨辐射发射的关键控制技术,为提高电子产品的电磁兼容性能提供切实可行的解决方案,具有重要的理论意义和实际应用价值。

1 电子产品辐射概述

电磁辐射是电子产品运行时产生的一种共同的电磁干扰现象。电子产品中的各种时钟信号、开关电源以及其他数字电路都可能产生辐射发射。网络交换机作为典型的电子通信产品,由于内部存在高速数字电路和印制电路板(PCB)走线,很容易引起辐射发射超标问题^[3]。计算机服务器设备也面临高频辐射发射超标的问题,尤其是在3 GHz左右的高频段^[5]。

电磁辐射发射超标不仅会对产品自身的电磁兼容性产生影响,还可能干扰到周围的电子设备,因此我国制定了相应的电磁兼容性标准来限制电子产品的辐射发射水平。如GB/T 9254.1—2021《信息技术设备、多媒体设备和接收机电磁兼容 第1部分:发射要求》规定了不同级别电子产品30 MHz~1 GHz频段的辐射发射限值,A级设备30~230 MHz的准峰值限值为40 dB μ V/m;230 MHz~1 GHz的准峰值限值为47 dB μ V/m;B级设备30~230 MHz的准峰值限值为30 dB μ V/m;230 MHz~1 GHz的准峰值限值为37 dB μ V/m。以上限值均在10 m处测量^[6]。GB 4824—2019《工业、科学和医疗设备射频骚扰特性 限值和测量方法》则对工业、医疗等电子产品辐射发射提出了1组、2组、A类、B类更为严格详细的分类^[7]。

为了使电子产品满足相关电磁兼容标准的要求,必须采取有效的抑制和控制辐射发射的技术措施。常见的方法包括对干扰源进行屏蔽、滤波,优化印制电路板(PCB)布线和接地设计,合理使用磁环和吸波材料等。但在实际整改过程中,首先需要准确定位辐射发射超标的根本原因,这通常需要借助频谱分析仪、示波器、近场探头等仪器进行测量分析,并结合电磁仿真软件进行建模验证。只有找准辐射超标的关键路径和器件,才能有的放矢地实施整改措施,从而最大程度降低辐射发射水平。

总之,电子产品的电磁辐射问题已经成为电磁兼容领域亟待攻克的一大难题。研究和掌握辐射发射的测试分析方法以及

各种抑制整改技术,对于提高电子产品的电磁兼容设计水平具有重要意义。

2 辐射发射整改技术

在电子产品辐射发射整改研究中,深入分析干扰源的特性和整改技术的有效性成为核心内容。而实施整改的前提是寻找干扰源的位置,通过控制变量法或者频谱仪寻找干扰源。本研究遵循辐射发射整改流程图(图1)所示步骤,先针对电子产品进行辐射问题识别,再通过实验室精密设备评估辐射水平。对于辐射值超标的情况,立即确定其根本原因。

首先检查被测设备是否有接地设计,接地线应尽量靠近电源,接地可以为干扰信号提供快速释放途径;其次判断被测设备是否做好屏蔽,如果样品外壳或者线缆接缝处没有做好屏蔽,可以用铜箔等材料将外壳封堵严实,或在专用屏蔽线缆上加装低通滤波器^[8],在后续产品设计和生产中应注意外壳接缝处导电连续性的工艺处理。此外屏蔽材料需要根据产品的实际情况选择金属、导电涂层、磁性材料等;最后观察被测设备内部走线是否混乱,如混乱应优化走线,保证各部分的连接线尽可能短,分析内部线缆之间是否存在耦合干扰,必要时采取加磁环、电容、电感进行滤波从而降低对外的辐射或优化PCB布局^[9-12]。实施整改之后,对比辐射发射衰减情况,根据测试结果决定是否要回到流程的起始点进行重新整改。

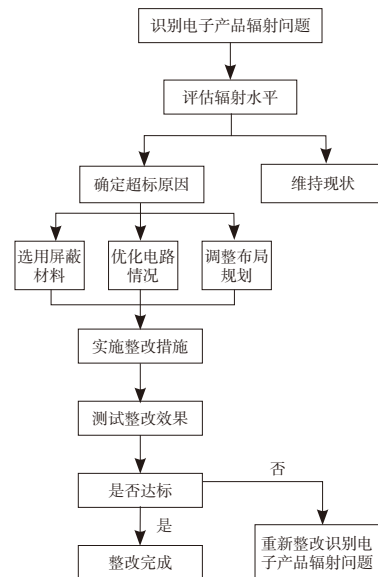


图1 辐射发射整改流程图

Fig.1 Flow chart of radiation emission rectification

3 关键技术实验与分析

在本研究中,为了实现电子产品辐射发射整改的目标,采用了一系列关键技术,并通过实验对这些技术的效果进行了评估。实验设计遵循系统性和控制性的原则,以确保结果的可靠性和准确性。实验中每项关键技术的应用,均综合考虑了参数设置、测试设备的选择及实验前后的辐射水平,以便全面并定量地评价整改效果。本文选用某地铁站台门控制柜和某品牌手术床整改前后的实验数据为案例,直观地分析不同整改技术的

效果。两台设备在整改前后均在 10 m 法电波暗室进行实验，使用相同的电磁接收机和天线，辐射发射实验示意图见图 2。

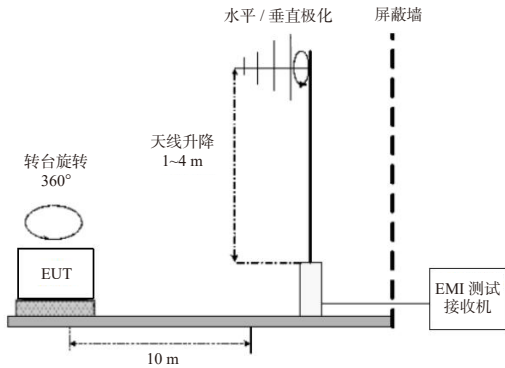


图 2 辐射发射检测示意图

Fig.2 Schematic diagram of radiation emission detection

3.1 某地铁站台门控制柜辐射发射超标分析与整改

根据试验结果(如图 3 所示),该设备的辐射发射不符合 GB/T 9254.1—2021《信息技术设备、多媒体设备和接收机 电磁兼容 第 1 部分:发射要求》A 级限值,超标频率范围主要集中在 30~40 MHz。对造成超标的原因进行以下排查:①从样品骚扰源分析,该设备的骚扰源主要有开关电源、晶振等,这些组件在工作时会产生电磁波,如果这些电磁波穿过其他电器设备的电路,可能会干扰到那些电器设备的正常运行,从而导致电磁干扰;②从连接线缆分析,检查连接线缆之间是否存在耦合干扰,是否进行有效的屏蔽和采用合理的滤波方式;③从机箱屏蔽分析,检查机箱是否存在有风险的缝隙或孔洞;④从接地分析,检查是否接地以及接地方式是否合理。

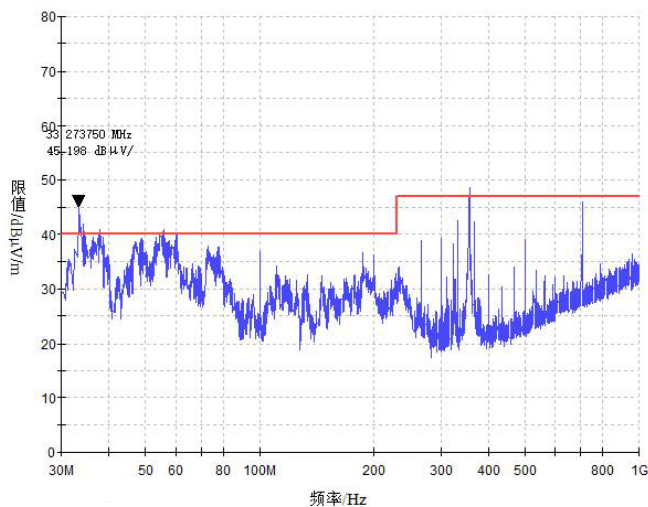


图 3 地铁站台门控制机柜初扫实验结果

Fig.3 Experimental results of the initial sweep of the platform door control cabinet in a subway station

具体整改措施:①通过分析发现设备内部走线混乱,先优化走线,将交流输入线和直流输出线尽量分开;②在进行整改时发现辅助电源没有接地。在整改完成后再进行实验(实验结果见图 4),30~40 MHz 处的辐射骚扰明显降低。

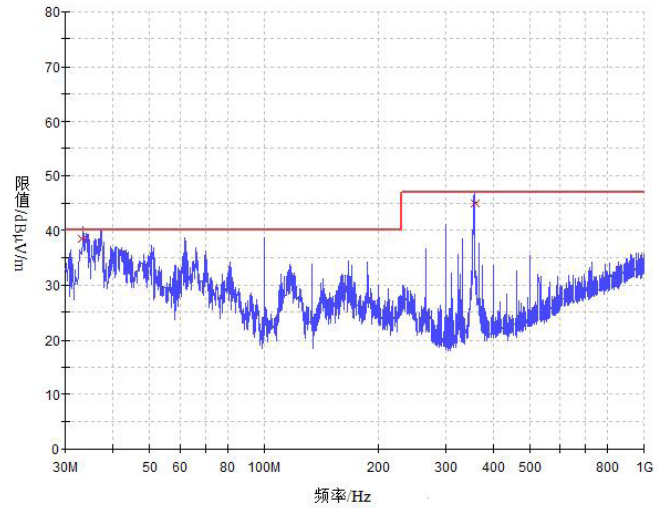


图 4 某地铁站台门控制机柜整改后实验结果

Fig.4 Experimental results after rectification of platform door control cabinet in a subway station

3.2 某品牌手术床辐射发射超标分析与整改

该手术床依据 GB 4824—2019《工业、科学和医疗设备 射频骚扰特性 限值和测量方法》标准进行实验,属于 1 组 A 类设备,30~230 MHz 的准峰值限值为 40 dBμV/m;230 MHz~1 GHz 的准峰值限值为 47 dBμV/m。初扫实验结果如图 5 所示。其超标频率均为 150 MHz 以上的毛刺。根据以往经验以及现场分析,高频毛刺是由手术床油泵导致的。

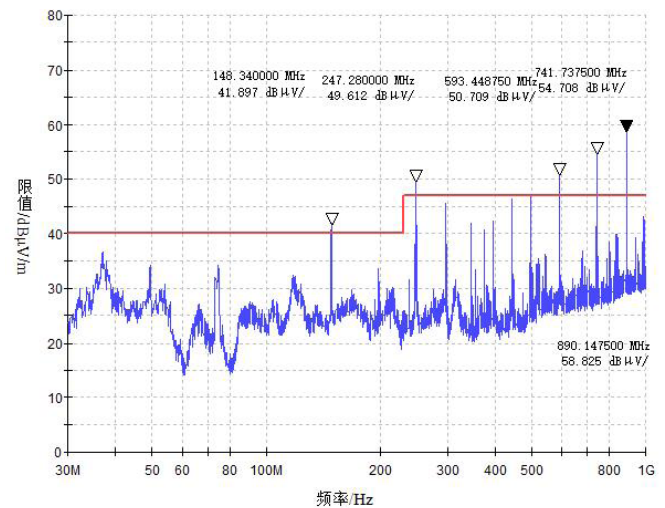


图 5 手术床初扫实验结果

Fig.5 Experimental results of the initial sweep of the operating table

具体整改措施:①在油泵电源输入端加磁环;②油泵驱动线屏蔽接地;油泵外壳接地;③油泵内部含高频信号线,与 24 V 控制线靠近易串扰,在走线时,应控制油泵走线远离 24 V 控制线;24 V 控制线较长容易形成发射路径,尽量控制走线长度。④油泵周围存在缝隙,工作时产生的电磁辐射会通过缝隙向外扩散,使用导电胶带或导电填充物来封闭缝隙,或者使用专门的屏蔽材料来覆盖或填充开口和缝隙。在经过以上整改后进行实验(实验结果见图 6),毛刺得到很大程度的改善,并且

在油泵接地后低频波形也有明显降低。

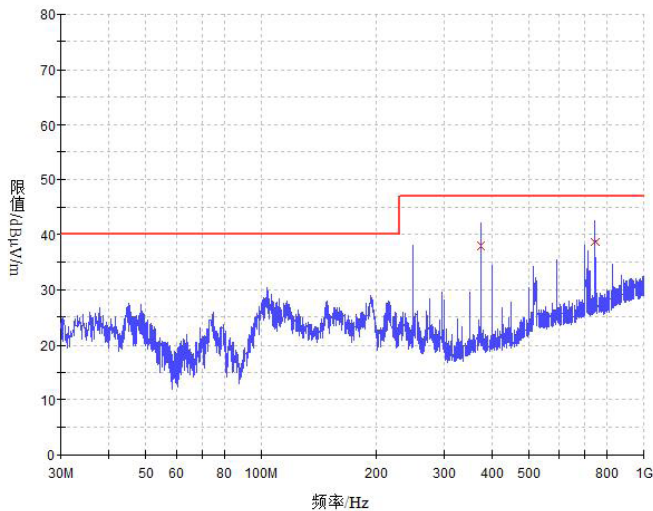


图6 手术床整改后实验结果

Fig.6 Experimental results after rectification of the operating table

4 结论

通过对电子产品辐射发射超标原因的分析,可以得出产品辐射发射超标通常是由干扰源、干扰耦合路径和敏感设备三个方面因素造成的。针对这三个方面,电子产品辐射发射整改一般采用控制干扰源头、切断干扰耦合路径以及提高敏感设备抗干扰能力等方法。对于单一超标频点的产品,从干扰源头解决问题的成本通常会更加经济有效^[13]。若涉及多个超标频点或超标幅度较大,则需要从多个角度综合考虑,采取多种整改措施。

实验结果表明,通过在产品的电源线缆和网线等耦合路径上增加磁环和共模滤波等措施,可以有效抑制共模电流干扰,降低辐射发射幅度。对于高频段的辐射超标问题,通过提高产品外壳、通风口、屏幕等部位的屏蔽能力,可以显著改善电磁辐射水平。此外,辅助设备也可能成为辐射超标的干扰源,因此在进行辐射骚扰试验时,辅助设备同样需要满足相关EMC标准的要求^[14]。

电子产品的电磁兼容设计应贯穿于产品开发的全生命周期。在产品初期,就需要充分考虑电磁兼容设计,合理选择器件与电路拓扑,优化印制电路板(PCB)布局布线。生产和装配过程中,应严格控制生产工艺和装配质量,必要时需要对生产人员进行电磁兼容知识培训。产品整机组装完成后,应在第三方实验室进行电磁兼容预检测,及时发现和解决潜在的兼容性问题。只有将电磁兼容设计理念植入到产品设计和生产的每个环节,才能从根本上提高产品的电磁兼容性,减少辐射发射超标等问题的发生。

电子产品辐射发射超标是一个涉及多方面因素的复杂问题,需要从干扰源、耦合路径、敏感器件等角度进行全面分析,并

结合产品的具体特点,采取针对性的整改措施。整改时需要将方案整体化系统化地进行,同时,电磁兼容设计理念应贯穿于产品开发的全过程,在每个研发阶段进行相应的电磁兼容测试,以发现潜在问题,从根源上解决问题,降低研发成本^[15]。只有协调好电磁兼容设计与成本、进度等因素的关系,才能在保证产品性能的同时,提高产品的电磁兼容性,最终实现产品的优化设计。

参考文献

- [1] 陈旗,阮鹏,刘洪颐.某型网络交换机辐射发射超标的分析与整改[J].安全与电磁兼容,2019,(02):71-72,77.
- [2] 李燕,焦美.针对电子电气设备辐射发射的电磁兼容设计方法[J].微波学报,2014,30(S2):68-73.
- [3] 成兆平,钱天元.全彩LED显示屏辐射发射超标的整改案例[J].电子质量,2018,(11):77-79.
- [4] 王德辉,范慧佳,陈魁.通用医疗设备辐射发射整改案例[J].安全与电磁兼容,2018,(01):78-80.
- [5] 潘其良.服务器高频辐射发射问题分析[J].安全与电磁兼容,2011,(02):49-50,64.
- [6] 易华斌,程杭杭.新版GB/T 9254.1解析[J].安全与电磁兼容,2022,(02):86-90.
- [7] 何灿林.GB 4824新旧标准主要差异[J].质量与认证,2021,(S1):313-315.
- [8] 卢勇生.电磁兼容技术在电气产品中的应用[J].电子测试,2018,(06):48-49.
- [9] 申佳乐,范开江,袁超,等.辐射发射相关试验及整改分析[J].自动化应用,2021,(09):118-121.
- [10] 侯宇,刘蒙,张成刚.电子设备抑制电场辐射发射工程设计及改进[J].光电技术应用,2014,29(03):48-51.
- [11] 高之鹏,曹相军,张伟,等.全自动生化分析仪辐射发射和传导发射实验分析和整改措施探讨[J].医疗卫生装备,2021,42(12):73-76.
- [12] 胡剑文,姚胜,魏伟.基于CT机EMC辐射发射(RE)的优化方案[J].电动工具,2023,(01):24-26.
- [13] 李春广,李国成.应用抑制电磁干扰发射技术应注意的问题[J].舰船电子工程,2000,(06):57-59,61.
- [14] 吉虹钢.电磁兼容辐射骚扰试验中辅助装置整改的研究与实践[J].电子世界,2017,(16):97.
- [15] 高维胜.电子产品的EMC整改方法实例[J].电子技术与软件工程,2016,(22):93-95.

作者简介

姜战,助理工程师,主要研究方向为电子电器产品电磁兼容检测。