

Analysis of the Impact of Component Selection and PCB Routing on the Electromagnetic Compatibility Performance of Short-Wave Radio Frequency Systems

Wen Han

Nanjing Panda Hinda Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210014, China

Abstract

The short-wave radio frequency system is a key component in wireless communication and radio frequency identification. Its operating frequency band is susceptible to electromagnetic interference, which can lead to radiation and thereby affect electromagnetic compatibility. As the core part of the radio frequency system hardware design, PCB routing and component selection directly affect electromagnetic interference, propagation, and EMC performance. In the hardware design process, PCB routing, component selection, etc. all influence the level of electromagnetic compatibility. Component noise and linearity are also influencing factors. PCB routing and layout directly affect interference propagation, and there is a certain correlation between them. Through a systematic analysis, this paper focuses on the EMC core, analyzes the influence of active and passive components, deeply explores the influence laws of PCB routing and EMC performance, and proposes EMC optimization principles and design strategies, thereby providing certain basis for EMC optimization design.

Keywords

Component selection; PCB wiring; Short-wave radio frequency; Electromagnetic compatibility

元器件选型与 PCB 布线对短波射频系统电磁兼容性能影响分析

韩文

南京熊猫汉达科技有限公司, 中国·江苏 南京 210014

摘要

短波射频系统作为无线通信、射频识别的关键,其工作频段受电磁干扰容易产生辐射,进而影响电磁兼容度。作为射频系统硬件设计核心环节,PCB布线以及元器件选择等直接影响电磁干扰、传播以及EMC性能。在硬件设计中,PCB布线、元器件选择等均会影响电磁兼容水平,元器件噪声、线性度也是影响因素。PCB走线、布局直接影响干扰传播,二者具有一定关联。本文通过进行系统分析,从EMC核心进行处罚,通过分析有源器件、无源器件的影响,深入探究PCB布线、EMC性能的影响规律,并提出EMC优化原则以及设计策略,从而为EMC优化设计提供一定依据。

关键词

元器件选型; PCB布线; 短波射频; 电磁兼容性

1 引言

目前来说,短波通信整体优势明显,同时应用广泛。短波通信设备成本较为低廉,整体传输距离相对较远,因此在民用通信、航天、军事方面应用广泛。短波射频系统整体覆盖在 3MHZ-30MHZ 之间,由于外界电磁环境复杂、频谱密集,因此容易受到干扰。短波通信自身也会产生一定电磁辐射,直接影响周边设备运行,电磁兼容成为目前衡量短波射频的主要指标。电磁兼容的核心原则即为维持电磁环境稳

定,减少干扰的发生。当前来说,射频系统 EMC 一般集中于毫米波频段,对于短波系统研究较少。因此,通过系统研究元器件、PCB 布线具有一定价值。

2 短波射频系统电磁兼容要求和特点

2.1 电磁兼容核心要求

当前短波射频系统 EMC 要求主要包含三个方面,电磁发射、电磁抗扰度以及内部电磁兼容^[1]。电磁发射要求中,由于系统自身射频杂散、传导发射,应符合 GB/T 13837、GJB 151B 的标准值。电磁抗扰度要求应以保持设备的灵敏度为主,同时时间距信号质量。内部电磁兼容主要以避免干扰为主,射频、数字以及电源模块之间一般不产生干扰、耦合,

【作者简介】韩文(1982—),男,中国山西人,本科,工程师,从事短波发射机研究。

从而减少射频电路干扰的发生。

2.2 短波频段电磁干扰特点

短波频段干扰具有一定特征，第一，干扰源包含功率放大器、开关电源、数字时钟等相关设备，外部包含工业噪声、同频信号，整体种类相对较多。第二，传播路径较为复杂，通过传导、电容耦合等进行扩散。第三，对于寄生参数敏感。部分走线、电容等均会影响电路，导致信号产生反射。第四，通过接收微小信号电路，因此整体干扰容易被淹没、灵敏度下降。当前来说，短波射频系统应从多个方面进行优化，做好干扰源、传播路径、敏感电路控制。

3 元器件选型对短波射频系统 EMC 性能影响

当前电磁干扰的源头即为元器件，同时也是首要防线，其参数、频率直接影响 EMI 水平以及抗干扰能力。

3.1 有源器件选型影响

有源器件作为首要干扰源，同时也是系统核心单元。低噪声放大器决定系统接收灵敏度，其位于接收前端，整体噪声系统、抗干扰阈值等均是影响因素。线性度不足容易引起失真问题，但如果频段不匹配容易导致干扰增加。功率放大器最为干扰源，从最大辐射方面引起，其效率、杂散抑制均会是影响 EMI 指标的主要因素，在谐波抑制不足时容易导致发射超标，效率偏低则导致耦合加剧。设备中频率稳定性、相位噪声为关键点，如果噪声过大会造成干扰。混频器中频率变化以及隔离度不足容易形成耦合，在交调抑制不足时直接导致动态范围降低，影响干扰频率。数字干扰源中主要为数字控制器件、时钟电路，在高频脉冲时容易落入短波频段，因此应选择低辐射器件。

3.2 无源器件选型影响

无源器件一般不主动产生干扰，但其抗阻特性、频率直接影响传输效果。对于阻抗匹配器来说，应选用高频特性的器件，传统普通插器件寄生参数大，容易影响信号反射，系统标准阻抗匹配精度也是影响 EMI 水平的关键因素。为抑制干扰，应加强滤波器管理。射频滤波器整体精度相对较高，电源滤波器直接抑制传导噪声，去耦电容通过进行就近放置，从而能够降低不良情况的产生。影响进出的主要通道即为天线、连接器，天气驻波比相对较大，直接造成反射加剧，因此应必须选用优良器件，避免产生不良情况^[2]。

3.3 元器件 EMC 选型原则

综合短波系统特点，严格进行系统、频段匹配，优先选择低噪声器件。对于电气参数来说应严格进行匹配，针对高干扰、敏感器件应做好分装屏蔽，以此来提升集成度，减少连线。元器件的电气参数应和系统电路进行匹配，避免因参数不稳定产生额外干扰。针对大功率、高干扰的器件，优选选择屏蔽封装器件，提升抗干扰能力。

4 PCB 布线对短波射频系统 EMC 性能影响

EMC 设计的核心关键点即为 PCB 布线，其布局方式、

接地设计直接决定胸内部电磁干扰的耦合方式，在短波频段寄生时直接导致电磁侵入，影响干扰途径。短波频段的寄生对于走线即为敏感，不合理 PCB 布线直接导致 EMC 性能不达标，并导致电磁干扰产生。因此，PCB 应遵循 EMC 设计规律，在进行严格抗阻时进行合理布局，从而抑制电磁干扰产生，提升整体性能。

4.1 布局设计对 EMC 性能影响

PCB 布局作为基础，通过进行合理布局能够有效抑制干扰，在减少模块耦合时保证信号质量。短波射频系统应遵循就近布局原则，做好布局分区，将不同类型、不同干扰等级模块进行分离，从而避免干扰源产生耦合。将 PCB 进行分区布局，PCB 分为四个核心区域：射频发射区、射频接收区、数字控制区以及电源区等几个核心区域，对于各区域来说应保证一定距离。射频发射区作为高敏感区域，二者之间应避免发功率射频耦合以及走线交叉^[3]。数字控制区作为干扰源，和射频区域之间距离应在 15mm 以下，从而避免产生辐射。电源区作为干扰器，应靠近系统电源输入端进行布局，从而通过滤波电路隔离，避免产生干扰。

同一功能模块的元器件应进行就近布局，从而缩短信号线走线长度。LNA 输入以及输出端元器件应结合 LNA 布局，在紧靠元器件电源布局时提升信号传输效率。天线接口作为外部信号通道，靠近 PCB 边缘，通过和接收模块进行快速连接，降低信号反射。天线接收整体良好，能够避免程度电磁辐射天线。大功率器件在工作时容易产生一定热量，应保证良好散热。

4.2 阻抗控制对 EMC 性能影响

短波射频系统中射频信号线作为保证信号传输的核心，其中 PCB 布线中由于抗阻不匹配容易影响信号失真，同时产生额外电磁辐射。在抗阻严重不匹配时直接产生杂散干扰。PCB 走线抗阻值包含走向宽度、厚度以及介质厚度等几个方面，在短波频率应严格进行走线控制^[4]。依据 PCB 板材参数进行走线宽度设计，选择介电常数稳定的 PCB 板材。射频走线下方应设置完整接地层，从而避免由于介质厚度造成的抗阻偏差。将射频阻抗走线、电源线进行分开布局，减少干扰产生。

4.3 接地设计对 EMC 性能影响

EMC 设计的核心即为接地系统，主要作为即为电磁干扰信号从而为系统提供一定参考，抑制电磁辐射以及耦合。短波射频系统设计应采用混合原则，根据不同频段以及不同模块保证接地层的完整性，从而降低不良情况。PCB 应采用多层设计，保证接地层完整，避免出现被走线分割的情况。接地层厚度应保证完整，减少破坏并提升抗干扰能力。短波射频系统通过采用混合方式，低频段、高频段分别采用单点、多点接地模式，从而降低不良情况。

4.4 滤波与屏蔽布线对 EMC 性能影响

抑制电磁干扰的关键手段即为滤波，合理器件布局、

走线从而提升滤波效果。设置屏蔽线、屏蔽层减少电磁耦合,以此来提升 EMC 性能。滤波器件的核心关键即为靠近干扰源,去耦合紧靠器件布局,从而缩短滤波器件以及走线长度,降低寄生电感,提升整体效果。通过滤波器件放到接地层,保证直线,避免信号产生干扰。针对高干扰源模块,以 PCB 布线进行设置,减少电磁符合。在射频信号线两侧通过接地走线,连接接地层,避免产生干扰。射频信号应尽量保证平行走线,保证间距,避免产生耦合^[5]。电源线应采用款走线,通过抑制电源纹波传播,减少射频电路干扰。

5 元器件选型和 PCB 布线的 EMC 优化策略

元器件选型应和 PCB 布线相互关联,优质元器件应进行合理布局从而发挥自身性能。合理 PCB 布线应匹配元器件,应注重 PCB 布线,从根本上实现 PCB 布线的协同优化,减少干扰。

5.1 元器件电磁特性 PCB 布线优化

依据元器件的电磁干扰特性,进行 PCB 布线优化,从而抑制电磁干扰传播。针对振荡器等干扰有源器件,在 PCB 布线时进行屏蔽,将器件电磁辐射控制在屏蔽环中。器件电源应通过去耦电容布局抑制纹波耦合,缩短走线从而提升滤波效果。针对 LNA 和混频器等敏感器件,应将其放在中心位置,在器件合理输入、输出时缩短走线,减少耦合。根据滤波器件特性和要求合理选择布局,形成最佳滤波回路,降低传导干扰。对于射频滤波器来说,通过紧靠射频信号,从而缩短走线。在布局时应紧靠输入端布局,减少干扰。在实际工程设计中,元器件电磁符合直接影响 PCB 布局方式、效果,将 PCB 布线和元器件进行一体化流程设计,从源头降低电磁耦合,从而实现 EMC 性能提升,保证稳定可靠。

5.2 基于 PCB 布线特点元器件选型优化

依据 PCB 布线布局规则,针对性选择元器件,并提升系统 EMC 性能。如果 PCB 布局空间有限,优先选择集成度较高的元器件,减少走线长度、降低电磁耦合。依据 PCB 抗阻要求,选择高频特性较优的方式匹配电阻电容,从而减少信号反射。采用 PCB 接地方式和设计,选择整体性能较好的元器件,整体便于连接。针对带有金属屏蔽封装器件,形成完整屏蔽。对于 PCB 滤波布线布局,从而便于紧靠电源,形成走线连接,缩短滤波。依据 PCB 接地方式和设计,便于连接接地层。优先选择接地脚丰富、屏蔽性能良的元器

件,通过形成完整屏蔽结构,阻断辐射干扰传播路径。依据 PCB 接地方式进行设计,便于可靠连接,形成完整性。

5.3 全流程 EMC 协同设计

短波射频系统 EMC 协同设计应从全流程进行优化。在需求分析阶段,依据系统工作频段以及 EMC 标准要求,明确系统 EMC 指标,确定元器件选型的设计布局,为后续协同设计奠定一定依据。结合系统 EMC 指标、PCB 布线初步规划,选择电磁特性匹配度好的设计,制作元器件选型清单,从而验证抗干扰能力。在 PCB 布线阶段,依据元器件的选型特性,结合仿真软件分析阻抗匹配以及电磁耦合,从而优化 PCB 布线,必要性调整元器件。在 PCB 详细布线阶段,动态优化,对超标问题进行分析,确保系统以及性能满足指标要求,制作系统样机,进行 EMC 测试,针对其中发现的问题进行分析,优化 PCB 布线实现动态优化,保证 EMC 性能达标。EMC 协同设计应贯穿方案设计、PCB 布线,从源头实现真正闭环优化。在需求分析、方案设计阶段,为后续设计奠定一定基础。

6 结语

EMC 设计的核心环节即为元器件选型、PCB 布线,其核心点直接决定电磁干扰传播能力以及强度。本文通过结合短波射频系统特点,在系统分析元器件选择以及 PCB 布线规律时,得出以下结论:有源器件的线性度、杂散抑制直接影响频率特性,同时也是影响 EMC 的关键因素,从源头上决定电磁发射基础。PCB 布线布局、设计直接决定电磁传播路径以及耦合方式,在布线时应遵循就近布局原则。元器件选型应和 PCB 布线进行结合,二者协同优化从而从源头上抑制电磁干扰。

参考文献

- [1] 张奇升. 广播电视覆盖系统多频电磁兼容设计分析[J].电视技术,2025,49(11):14-16.
- [2] 徐乐,王泽楷,李蕊,等. 基于仿真技术的电磁适应性评估技术及展望[J].安全与电磁兼容,2025,(05):25-38.
- [3] 梁文林,井占发. 电磁兼容技术在某车载配电设备中的设计应用[J].机电元件,2025,45(03):29-33.
- [4] 丛一凡,王博,江秀红. 基于CIR-NO方法的电动飞机BTMS模块的电磁兼容优化设计[J].新能源航空,2023,1(06):69-80.
- [5] 伍光新,李归. 综合射频一体化系统技术发展综述[J].现代雷达,2023,45(05):1-14.D