

# 综合射频系统射频滤波与杂波抑制电路优化设计

李宗和 谢玉玲 周谦杰

陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723200

**摘要:** 复杂电磁环境下综合射频系统易受各类电磁干扰与杂波影响,传统射频电路结构固化、场景适配性不足,难以满足高精度信号处理需求。研究结合射频电路运行规律与干扰形成机理,梳理电路结构缺陷与多信号耦合引发的运行问题,本文通过拓扑重构、阻抗优化、结构改良等方式升级滤波与杂波抑制电路。结合系统集成适配、工况兼容调整与稳定性体系建设优化信号链路,改善电磁干扰造成的信号异常问题,提升射频系统信号处理精度与运行稳定性。

**关键词:** 综合射频系统; 射频滤波; 杂波抑制; 电路优化

**引言:** 现代电磁应用场景不断拓展,综合射频系统可实现多频段、多通道信号并行处理,应用覆盖范围持续拓宽。复杂工况下空间电磁辐射繁杂,多信号耦合引发各类杂波干扰,破坏射频链路的信号传输秩序。传统滤波与杂波抑制电路结构老旧,对动态、复合型干扰的处理能力存在短板。对电路结构进行针对性改良与系统适配优化,能够完善射频信号处理体系,弱化电磁干扰带来的不良影响,保障射频设备平稳运行。

## 1 射频电路运行问题与干扰机理分析

### 1.1 复杂电磁环境下射频干扰来源

现代综合射频系统的运行场景覆盖各类复杂电磁空间,周边充斥着各类无序电磁信号,会对射频电路的正常工作形成持续扰动。空域范围内存在大量自然电磁辐射信号,这类信号覆盖频段宽泛,传播路径无固定规律,容易侵入射频接收链路。设备周边的各类电子设备、通信终端、雷达设备会辐射人工电磁信号,这类信号频段与射频系统工作频段存在重叠区间,会对有效信号形成挤占。空间电磁信号的密集叠加会改变射频链路的信号传输状态,打乱电路正常的信号接收、传输与转换节奏。各类干扰信号的持续存在,会持续影响射频电路的工作稳定性,造成信号传输质量下降,为后续滤波与杂波抑制工作带来各类难题<sup>[1]</sup>。

### 1.2 传统射频滤波电路结构缺陷

传统射频滤波电路多采用固定拓扑结构设计,整体架构设计模式单一,适配场景存在明显局限。这类电路的滤波参数处于固化状态,无法根据电磁环境的动态变化完成自主调整。面对多频段、高密度的电磁干扰信号,固定结构的滤波电路无法实现全频段的有效屏蔽,部分杂散信号可以穿透滤波链路进入系统内部。电路集成设计较为松散,内部元器件排布方式老旧,信号传输

过程中容易产生额外损耗。整体结构设计未适配综合射频系统多频段、多通道的工作特性,单一的滤波功能难以适配复杂工况下的电路运行需求,长期运行中会持续暴露性能短板。

### 1.3 常规杂波抑制电路适配短板

常规杂波抑制电路的设计逻辑面向单一电磁场景,适配范围较为狭窄,难以应对多变的电磁环境。电路的信号识别维度较为单一,仅能对特定类型的杂波信号进行处理,对新型、复合型杂波信号的处理能力不足。电路硬件架构设计偏向通用化,未针对综合射频系统的专属工作特性开展针对性设计。面对强度、频段持续波动的杂波信号,这类电路无法完成分层处理与精准抑制,残留杂波信号会干扰有效信号解析。通用化的设计模式让电路在多场景切换运行时,会出现工作状态不稳定、抑制能力不足的各类问题。

### 1.4 多信号耦合场景电路运行矛盾

综合射频系统处于多信号共存的运行场景,不同频段、不同类型的信号会在射频链路内部产生耦合作用。多路信号并行传输的状态,会改变电路内部的阻抗分布与传输特性,引发信号串扰问题。不同信号的能量层级存在差异,高能信号会压制低能量有效信号,破坏信号传输的完整性。耦合产生的衍生杂波与原生干扰信号相互交织,大幅提升电路的信号处理压力。常规射频电路的链路规划与处理机制,无法适配多信号耦合的复杂工况,信号传输紊乱、链路负载过高的问题频繁出现,直接制约射频系统整体的运行精度与工作稳定性。

## 2 射频滤波电路优化设计

### 2.1 滤波电路拓扑结构重构设计

传统滤波电路固定的拓扑结构难以适配综合射频系统复杂的工作场景,结构重构是提升滤波性能的核心方式。

重构设计摒弃老旧的单一化架构模式,依托射频链路的传输特性调整电路层级布局。全新的拓扑架构能够丰富信号过滤层级,搭建分层式信号处理体系,针对不同类型的干扰信号设置对应的过滤通道。优化后的结构可以弱化固定架构带来的性能局限,拓宽电路适用的工作场景。合理的层级排布能够减少信号传输过程中的无效路径,降低电路内部的能量损耗,让滤波电路的信号处理逻辑更加科学完善,适配射频系统多样化的工作需求。

## 2.2 滤波电路阻抗匹配优化设计

阻抗匹配状态直接决定射频信号的传输效率,也是滤波电路优化的关键环节。不合理的阻抗参数会引发信号反射、能量损耗等问题,削弱滤波电路的工作效能。匹配优化围绕电路整体链路展开,对输入端、输出端及元器件衔接位置的阻抗参数进行系统性调校。结合射频系统多频段工作的特性,调整阻抗配比方式,弱化频段切换带来的参数波动问题。精准的阻抗调校可以降低信号传输过程中的反射损耗,保障有效信号完整传输,提升滤波电路对干扰信号的隔离能力,维持电路长期稳定的运行状态。

## 2.3 多频段适配滤波结构改良

综合射频系统覆盖多个工作频段,常规滤波结构仅能覆盖窄频段范围,无法满足全域滤波需求。多频段适配改良针对频段适配不足的问题,调整滤波结构的整体框架与参数阈值。改良后的结构拓展滤波频段覆盖范围,对高低频段的杂散干扰信号都可以完成有效过滤。结构改良过程中兼顾不同频段的信号传输特性,调整内部组件的排布方式与工作参数,消除频段盲区。针对性的结构改良可以让滤波电路适配宽频段工作模式,解决传统电路频段适配不足、杂波过滤不全面的问题。

## 2.4 滤波电路抗干扰结构优化

复杂电磁环境下各类电磁干扰会持续影响滤波电路的工作状态,提升电路抗干扰能力是优化设计的重要内容。抗干扰优化从电路硬件结构入手,调整内部组件的布局间距,减少组件间的相互电磁影响。增设针对性的隔离防护结构,阻隔外部无序电磁信号的侵入路径。优化电路的信号屏蔽体系,强化对杂波、串扰信号的阻隔能力。结构优化可以提升滤波电路在高密度电磁环境中的适应能力,减少外部干扰对信号过滤工作的影响,夯实射频系统信号传输与处理的基础保障<sup>[2]</sup>。

# 3 杂波抑制电路改良设计

## 3.1 杂波抑制电路整体结构改进

传统杂波抑制电路整体架构设计较为固化,结构层级简单,难以应对综合射频系统复杂的电磁运行环境。

结构改进围绕电路整体框架开展系统性调整,打破单一的信号处理架构。重新规划电路内部功能分区,划分独立的信号接收、杂波处理、信号输出功能区域,理顺电路信号处理流程。规整元器件布局逻辑,精简冗余电路链路,压缩无效信号处理流程。全新的整体结构能够提升电路运行的规整性,强化杂波处理的有序性,缓解复杂电磁环境下电路处理能力不足的问题,为多层次、多类型杂波的抑制工作提供稳定的结构支撑。

## 3.2 被动式杂波屏蔽结构优化

被动式杂波屏蔽依靠硬件结构实现杂波阻隔,是射频电路基础的抗杂波手段。原有屏蔽结构设计较为粗放,屏蔽范围有限,对复杂杂波的阻隔效果存在明显不足。优化工作聚焦硬件屏蔽体系升级,调整屏蔽组件的布设方式,强化电路外部电磁隔离能力。优化屏蔽层材质与结构厚度,阻断外界杂波信号的渗透路径,削弱环境杂波对内部有效信号的侵扰。细化局部屏蔽结构设计,针对敏感元器件与信号传输链路做重点防护,减少杂波信号的穿透概率。完善后的屏蔽结构可以夯实电路基础防护能力,筑牢杂波抑制的第一道防线。

## 3.3 主动式杂波抵消电路改良

主动式杂波抵消电路可针对性处理链路内部衍生杂波,弥补被动屏蔽结构的处理短板。传统主动抵消电路处理模式单一,对复杂类型杂波的识别与抵消力度不足。改良工作优化电路内部信号采样与处理单元,升级杂波甄别逻辑,提升对不同强度、不同频段杂波的分辨力度。调整抵消电路的工作参数与响应机制,优化杂波抵消的处理逻辑,精准抵消链路中产生的各类杂波信号。完善电路内部信号闭环处理体系,减少残留杂波堆积,提升射频链路信号纯净度。改良后的电路可以高效清理内源杂波,弥补硬件屏蔽结构的处理盲区。

## 3.4 宽场景杂波适配结构升级

射频系统运行场景具备多样性特征,传统杂波抑制结构适配场景单一,无法适配复杂多变的工作环境。宽场景升级针对场景适配短板,优化电路的通用适配结构,拓宽杂波抑制的适用工况。调整电路参数可调范围,适配不同电磁密集度、不同频段覆盖的工作场景。优化结构兼容能力,让电路可以应对静态杂波与动态浮动杂波等多种干扰形式。升级后的结构能够弱化场景变化对杂波抑制工作的影响,保持电路在各类工况下的稳定工作状态,满足综合射频系统多场景运行的杂波处理需求。

# 4 优化电路集成适配与体系完善

## 4.1 优化电路与射频系统集成设计

滤波结构与杂波抑制结构完成独立改良后,整体性能指标得到有效提升。这类优化结构需要嵌入综合射频系统前端链路,依托整机硬件平台与信号传输体系发挥实际作用。孤立的电路结构无法参与系统信号处理流程,各类性能优势难以在实际工作中体现。集成设计工作立足射频系统整体架构,梳理前端接收、信号传输、频段切换、后端处理的完整链路逻辑。结合整机硬件安装尺寸、结构布局与端口规范,调整优化电路的外形结构与安装形式,适配设备内部有限的装配空间。对电路输入输出端口的接线形式、信号传输标准进行统一规范,降低链路衔接过程中的信号衰减与阻抗突变问题。优化内部模块排布方式,让滤波、杂波抑制与信号传输单元形成紧密衔接的整体结构。合理的集成方案能够重塑电路与整机系统的匹配关系,让优化电路深度融入射频工作链路,构建完整顺畅的信号处理流程,充分释放结构改良的性能优势。

#### 4.2 多工况场景电路兼容适配设计

综合射频系统的作业环境具备较强的复杂性与多变性,运行过程中会面对电磁密集度、工作频段、运行负载的多种变化。固定参数的电路结构只能适配单一工作环境,面对复杂工况容易出现处理能力不足、性能波动等问题。多工况兼容适配设计针对不同作业环境的运行特征,对电路功能参数与运行逻辑进行深度调整。重新划分电路工作参数区间,适配轻负载、满负载等不同运行状态下的信号处理需求。针对密集电磁环境、空旷电磁环境的干扰特征差异,调整杂波处理强度与信号过滤阈值,适配不同干扰强度下的工作模式。优化频段切换过程中的电路响应逻辑,弱化频段变动对信号处理质量的影响<sup>[3]</sup>。多维度的适配调整,让电路可应对各类复杂工作场景,维持稳定的信号处理水平,提升射频系统对各类作业环境的适应能力。

#### 4.3 电路运行稳定性体系构建

电路结构优化与整机集成完成后,运行过程中的长期稳定性成为保障射频系统工作质量的关键。单纯的结构改良无法完全规避复杂工况下的运行隐患,需要搭建系统化的稳定性保障机制。结合优化电路的结构特点与工作原理,梳理运行过程中可能出现的参数偏移、电磁

扰动、信号堆积等问题。明确各类元器件的安全工作区间,划定合理的参数浮动范围,规避参数异常引发的电路性能衰退。完善电路内部的隔离与防护结构,强化电路抵御外部电磁干扰与内部信号串扰的能力。规整整体信号处理流程,建立有序的信号吞吐与杂波处理机制,避免大量信号无序堆积造成的链路拥堵。这套全方位的稳定性体系能够降低电路故障概率,保障设备长期可靠运行,为射频系统持续作业提供稳定硬件支撑。

#### 4.4 射频电路通用拓展架构完善

射频相关技术始终保持更新迭代的发展趋势,各类新型频段与信号处理方式持续落地应用。传统封闭式电路架构功能固化,结构改造空间有限,难以匹配后续技术升级的发展节奏。通用拓展架构的完善能够打破固化设计带来的局限,构建具备可升级、可扩容特性的电路体系。重新规划电路整体框架,拆分独立功能模块,降低不同单元之间的结构耦合度。模块化的布局方式可以实现单一功能单元的独立更换与升级,无需改动整体电路架构。预留标准化的功能拓展端口,支持后续新增频段处理、新型杂波处理等功能的接入。架构优化能够提升电路整体通用性,满足射频系统后续功能升级与性能扩容需求,延长设备使用周期,适配行业技术迭代节奏。

#### 结束语

射频滤波与杂波抑制电路的结构优化,能够有效提升综合射频系统的抗干扰性能。结合电磁干扰形成机理与传统电路运行短板,对滤波结构、杂波抑制结构开展全方位改良,同步完成系统集成适配、稳定性体系搭建与模块化架构完善。多层次优化措施可以化解多信号耦合引发的各类运行问题,强化电路对复杂电磁场景的适配能力,规整射频信号处理流程,提升信号传输纯度,保障射频设备保持高精度、高稳定的运行状态。

#### 参考文献

- [1]杨桃均,幸林华,黎思远,等.射频开关滤波器组中的杂散及其板级抑制研究[J].压电与声光,2026,48(2):344-349.
- [2]饶冲崇.6G无线接入设备中射频功放供电系统谐波抑制方法研究[J].通信电源技术,2026,43(10):139-141.
- [3]程月江,汪丙南.基于等效电路的谐波雷达标签参数设计与分析[J].国外电子测量技术,2025,44(3):56-62.