

射频系统需求分析与功放设计关键技术

Original 皮诺曹 射频通信链 2025年06月06日 17:07 江苏



射频通信链

学射频，学通信，就看射频通信链。

320篇原创内容

公众号

一、需求分析的核心价值与体系构建

需求是客户对产品的核心约束，深入理解需求即抓住产品设计的基线。需求分析作为系统设计的前置环节，其核心任务是通过问题的深度解构，明确输入数据、预期结果及输出形式，涵盖问题识别、分析与综合、规格说明制定、评审四个关键阶段。

从需求维度看，完整的需求体系包括：

功能需求：产品应实现的具体业务功能

性能需求：量化的技术指标（如灵敏度、动态范围）

接口需求：外部连接标准（线序、协议、电信号定义）

可靠性需求：环境适应性（温度、电源波动耐受）

物理特性：外观尺寸、供电方式等约束条件

其中，指标作为性能需求的量化载体，其精细化程度直接决定设计方向的准确性。以射频系统为例：

接收机关键指标：邻道选择性、阻塞特性、灵敏度、互调选择性、动态范围

发射机关键指标：杂散抑制、宽带噪声、邻道泄漏（ACLR）、功率一致性、频率覆盖比。

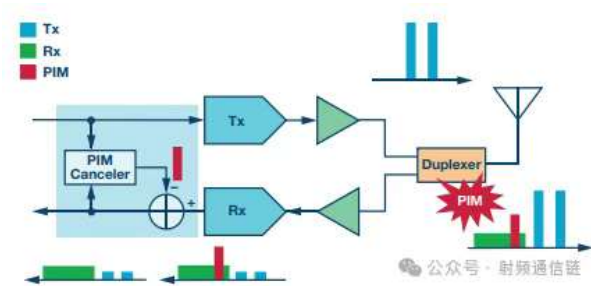
类别	指标	要求/设计要点
接收机指标	邻道选择性	抑制相邻频道干扰能力
	阻塞	强干扰下保持正常工作能力
	灵敏度	最小可检测信号强度
	互调选择性	抑制互调产物干扰能力
	动态范围	最大/最小信号强度处理能力比
发射机指标	杂散抑制	抑制非必要发射信号
	宽带噪声	近端 $\leq -110\text{dBc/Hz}$ ，远端 $\leq -130\text{dBc/Hz}$ （特殊频段更严）
	邻道泄漏 (ACLR)	需满足通信标准（如5G要求 -45dBc ）
	功率一致性	全温/全频波动 $\leq \pm 1\text{dB}$
	频率覆盖比	宽带设计需低通滤波器组或推挽结构

二、功放设计关键指标与技术实现

2.1 核心性能指标与设计策略

2.1.1 收发隔离度

收发隔离是收发双工器的核心指标，旨在避免发射信号泄漏导致接收机前端（LNA）饱和或损坏。设计原则需确保射频 AGC 模块正常工作，典型 TDMA 双工器隔离度需达到50dB 以上。



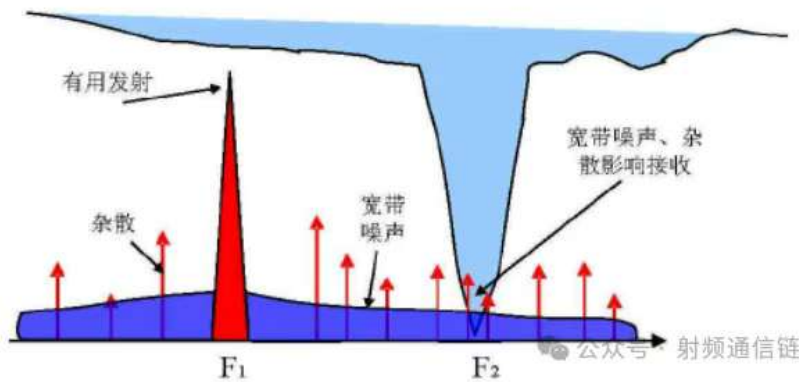
2.1.2 宽带噪声抑制

功放激励后输出宽带噪声显著增加，设计需满足：

地面设备近端噪声 $\leq -110\text{dBc/Hz}$

偏离 10% 中心频率 (f_0) 以外 $\leq -130\text{dBc/Hz}$

实现方案：限制功放总增益 ($\leq 30\text{dB}$)，推动级输出端配置调谐滤波器或滤波器组。



2.1.3 谐波抑制技术

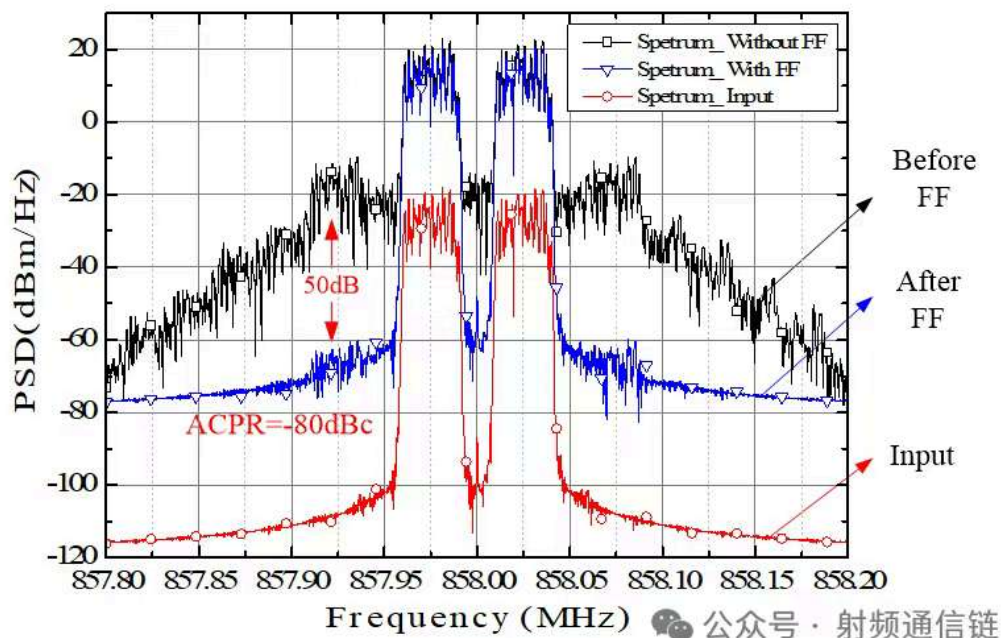
功放非线性特性导致谐波干扰，优化路径：

末级采用 AB 类放大器（偶次谐波抵消，典型抑制水平 $-30\sim -40\text{dBc}$ ）

宽频带场景（频率覆盖比 $> 10:1$ ）采用功率合成技术，减少滤波器组复杂度

2.1.4 三阶互调与 ACLR 控制

三阶互调直接影响邻道泄漏（ACLR）和调制误差（EVM），多载波场景需重点抑制互调分量，通过功率回退（非恒包络调制回退 $3\sim 5\text{dB}$ ）、预失真、DPD改善非线性特性。



2.2 动态特性与可靠性指标

2.2.1 输出驻波比 (VSWR)

驻波比 (VSWR, Voltage Standing Wave Ratio) 是衡量功放输出端与负载之间阻抗匹配程度的指标。当功放的输出端与负载阻抗不匹配时，部分功率会被反射回功放，形成驻波。驻波比的大小与激励功率有关，当激励功率为0或满负荷时，驻波比的测量结果会有较大差异。由于驻波比会随激励功率变化，不能使用矢量网络分析仪直接测量，而应使用通过式功率计进行测量。满载与空载状态差异需控制在合理范围。

2.2.2 温度稳定性设计

功率波动：全温区输出功率变化 $\leq \pm 1\text{dB}$ ，可采用功率闭环的方式实现对功率波动的控制。

2.3 功耗与控制功能

2.3.1 效率与待机功耗优化

窄带功放效率接近理论最大值，宽带功放需平衡带宽与效率

TDMA 体制下采用待机模式：保留漏极偏压、关闭栅极电压，推动级同步待机降低整体功耗

2.3.2 动态控制功能

收发转换时间：功率上升 / 下降至 90%/10% 的时间需满足系统时序要求

保护机制：输出开短路时自动降额 3~10dB，集成温度传感器与功率检测实现闭环控制

三、电源处理与布局设计要点

3.1 电源系统优化

滤波与退耦：多电容并联降低等效串联电阻（ESR），抑制充放电发热

浪涌抑制：大功率电阻与磁芯电感并联（直流短路、交流吸收振荡）

脉冲电源设计：采用储能电容平滑脉冲电流，独立电流源限制充电峰值

3.2 电磁兼容布局原则

信号流向布局：按 “推动级→末级” 顺序排列，空间隔离防止自激

电源与信号隔离：大电流路径远离射频小信号，电源输入口靠近末级功放

屏蔽腔体设计：谐振频率需高于最高工作频率 2 倍以上，通过仿真验证电磁兼容性

四、总结

射频系统设计以需求分析为起点，通过精细化指标分解与关键技术选型，实现功能、性能与可靠性的平衡。功放作为发射链路核心部件，其设计需综合考虑非线性抑制、动态特性匹配与电磁兼容优化，通过电源处理与布局策略提升系统整体稳定性，最终满足不同应用场景的严苛要求。

■ 最后的话

射频的学习是一个系统的学习过程，理论复杂且知识点多，书看的很多还找不到头绪。射频通信链提供专业的培训，十多年的大厂工作经验分享（产品经验丰富实用），教你如何高效的学习射频——射频入门及提高。入门针对射频小白，详细讲解射频设计与器件。

提高：射频收发系统的指标设计与分解可以系统的学习射频设计，从器件到方案，从模块到系统，全方位学习射频的设计。

相信能帮助你走的更快、更稳、更远！ 感兴趣扫码咨询。



皮诺曹

“ 射频工程师加油 ”

Like the Author

Reads 1726

3 comment(s)

Comment



雪水 山西 昨天

AB类放大器偶次谐波抵消?



陈 陕西 6天前

使用需求决定技术需求，技术需求要从技术可行性来契合



射频通信链 江苏 6天前