

电台通信系统中射频干扰抑制与滤波器设计研究

李国强

天津七一二通信广播股份有限公司，天津 300462

DOI:10.61369/ME.2025060041

摘 要： 电台通信系统的射频干扰抑制是确保通信质量和系统稳定性的重要任务。本研究针对射频干扰问题，提出了基于滤波器设计的抑制策略，分析了常见射频干扰源及其对系统的影响。通过对射频滤波器的设计原理与优化方法进行探讨，提出了一些具有实际应用价值的设计方案，以降低射频干扰对电台通信系统性能的影响，进一步提高系统的抗干扰能力。研究表明，合理的滤波器设计能够显著提高电台通信系统的性能和可靠性。

关 键 词： 射频干扰；滤波器设计；电台通信；抑制策略；通信系统

Research on RF Interference Suppression and Filter Design in Radio Communication Systems

Li Guoqiang

Tianjin 712 Communication & Broadcasting Co., Ltd., Tianjin 300462

Abstract： RF interference suppression in radio communication systems is a crucial task for ensuring communication quality and system stability. This study addresses the issue of RF interference by proposing suppression strategies based on filter design and analyzing common RF interference sources and their impact on the system. Through an exploration of the design principles and optimization methods of RF filters, several practical design schemes are proposed to mitigate the impact of RF interference on the performance of radio communication systems, thereby further enhancing the system's anti-interference capability. The research indicates that reasonable filter design can significantly improve the performance and reliability of radio communication systems.

Keywords： RF interference; filter design; radio communication; suppression strategies; communication systems

引言

射频干扰（RFI）是电台通信系统中常见且影响通信质量的关键因素之一。随着现代通信技术的发展，尤其是在无线通信频段的繁忙程度不断增加，射频干扰的严重性愈加显现。为了确保通信系统的稳定运行，必须采取有效的干扰抑制措施。射频滤波器作为一种广泛应用于干扰抑制的设备，其设计与优化成为了研究的热点。本文通过对射频干扰抑制技术及滤波器设计的研究，探讨了如何在电台通信系统中有效解决射频干扰问题，以提高通信系统的整体性能。

一、射频干扰的来源与影响

（一）射频干扰的类型

射频干扰（RFI）指的是不需要的电磁信号，它们会在频率上与电台通信系统的工作频段重叠，影响通信质量。根据干扰的来源和性质，射频干扰可以分为几种类型。首先，窄带干扰是指频率带宽较小的信号，其干扰主要集中在某个特定频段，这类干扰通常来自通信设备的非线性工作状态。其次，宽带干扰是指频率带宽较大的干扰信号，通常来自于周围环境中的多个源，如无线电设备、电力线传输等^[1]。还有一种常见的干扰是跨频干扰，

即由于设备频率的漂移或不稳定，导致干扰信号在不同频段间传播。最后，脉冲干扰是一种周期性或非周期性的干扰信号，通常由雷达、脉冲无线电设备等产生，特点是信号强度高，持续时间短。

（二）干扰对通信系统性能的影响

射频干扰会对电台通信系统的性能产生严重影响。首先，干扰信号会导致通信系统的信噪比（SNR）下降，从而降低系统的接收灵敏度。信噪比的降低直接影响到信息的解码能力，增加了误码率。例如，当干扰信号功率超过系统接收信号的功率时，系统将无法正确接收有效信息。其次，射频干扰还会影响系统的频

谱利用率，使得频谱资源的分配更加紧张，进一步加剧了干扰的传递。在高频谱资源环境中，干扰的存在可能导致频道的频谱拥挤，从而降低通信效率。最后，严重的射频干扰可能会导致系统的信号丢失，使得通信连接暂时中断，影响系统的稳定性和可靠性^[2]。

射频干扰对电台通信系统的影响可以通过信噪比（SNR）公式来表示：

$$SNR = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}} + P_{\text{interference}}}$$

其中， P_{signal} 为信号功率， P_{noise} 为噪声功率， $P_{\text{interference}}$ 为干扰功率。随着 $P_{\text{interference}}$ 的增加，SNR 值会降低，系统的抗干扰能力和通信质量随之下降。

（三）干扰源的识别与分析

识别和分析射频干扰源是解决干扰问题的关键步骤。首先，通过使用频谱分析仪，可以实时监测不同频段的信号强度，识别干扰源所在的频率范围。频谱分析仪能够显示频谱中的异常信号，如突出的脉冲信号或持续的宽带信号，帮助工程师定位干扰源。其次，使用时域分析技术，结合时间轴上的信号变化，可以识别脉冲干扰和周期性干扰的特征，进一步判断干扰源的性质。对于复杂的环境干扰，可以采用方向性天线或多天线阵列进行干扰源的方向定位，进而确定干扰源的具体位置。通过这种方式，不仅可以识别干扰源，还能对其干扰强度和影响范围进行量化，为后续的干扰抑制设计提供数据支持。

射频干扰源的准确识别和分析是采取有效抑制措施的前提，对于提高电台通信系统的抗干扰能力至关重要^[3]。

二、射频滤波器的基本原理

（一）滤波器的工作原理

射频滤波器是一种用于选择性地通过或阻止特定频率信号的设备。其基本原理是通过控制信号的频率响应，使其仅允许特定频率范围内的信号通过，抑制其他频率成分。射频滤波器的工作依赖于电感、电容等无源元件的组合，通常通过这些元件的阻抗特性来调节信号的传输。滤波器的设计关键在于其截止频率，即信号频率达到或超过此值时，信号的衰减显著增加。常见的滤波器类型包括低通、高通、带通和带阻滤波器。

在射频系统中，滤波器的作用是根据信号的频率特性进行过滤，以减少不需要的干扰信号。例如，当信号频率低于某一特定值时，低通滤波器将允许这些低频信号通过，而将高频信号衰减。对于高频干扰，带阻滤波器可以在干扰信号的频段上抑制其通过，从而确保通信信号的清晰传输^[4]。

（二）滤波器的分类与特点

射频滤波器可以根据其工作特性分为几种主要类型：低通滤波器（LPF）、高通滤波器（HPF）、带通滤波器（BPF）和带阻滤波器（BSF）。

它们的工作原理和应用场景各不相同，如表 1 所示。

表 1 各种射频滤波器的工作特性

滤波器类型	工作原理	应用场景
低通滤波器 (LPF)	允许低频信号通过，抑制高频信号	用于去除高频噪声或干扰，常见于信号接收端
高通滤波器 (HPF)	允许高频信号通过，抑制低频信号	用于抑制低频干扰，广泛用于无线通信系统
带通滤波器 (BPF)	仅允许某一频带内的信号通过，其它信号被抑制	用于通信信号的选择性通过，广泛用于信号分析与处理
带阻滤波器 (BSF)	阻止某一频带内的信号通过	用于消除特定频率范围的干扰信号，常见于无线电通信

每种滤波器都有其独特的设计特点。低通滤波器在允许低频信号通过的同时，能有效减少高频信号的传输，这使得其在电台接收系统中应用广泛。高通滤波器则用于隔离低频噪声，带通滤波器和带阻滤波器通常用于针对特定频段的干扰抑制和信号选择。

（三）滤波器的频率响应设计

滤波器的频率响应是指其对不同频率信号的衰减或增益特性。频率响应的设计决定了滤波器的工作效果，通常通过选择合适的截止频率和阻带衰减来优化其性能。滤波器的频率响应可以通过插值法或最小二乘法进行精确计算，确保滤波器能够精确地衰减不需要的频率，并最大限度地保留有效信号。

例如，低通滤波器的频率响应公式通常为：

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + (f / f_c)^{2n}}}$$

其中， $H(f)$ 是滤波器的增益， f 是信号频率， f_c 是截止频率， n 是滤波器的阶数。随着频率 f 增加，滤波器的增益逐渐衰减。当信号频率超过截止频率 f_c 时，衰减变得更加显著。设计时，需要确保滤波器的频率响应平滑过渡，以避免信号失真。

滤波器的频率响应直接影响其对干扰信号的抑制效果。设计过程中，通常根据需要进行合适的通带增益和阻带衰减，并优化滤波器的阶数，以获得理想的干扰抑制效果^[5]。

三、射频干扰抑制技术

（一）干扰源的抑制方法

射频干扰源的抑制方法多种多样，针对不同的干扰源，可以采取不同的技术手段来有效减少或消除其影响。首先，屏蔽技术是防止射频干扰最直接的方法。通过将干扰源与敏感设备隔离，使用金属屏蔽罩或屏蔽材料来封闭干扰信号的传播路径，有效地减少了电磁辐射。屏蔽技术在无线通信设备中应用广泛，尤其是在高频信号的传输中，屏蔽效果对于提高系统的抗干扰能力至关重要。其次，接地技术是另一种常见的抑制射频干扰的方法。通过建立合适的接地系统，降低了电气设备之间的干扰耦合，尤其是对于高频电流的流动，合理的接地设计能够显著减少电磁干扰^[6]。第三，滤波器的应用也是常见的干扰源抑制方法。通过在

信号路径中加入低通、高通或带通滤波器，能够有效地隔离不需要的频率，阻止高频干扰信号进入通信系统。对于不同频段的干扰，选择合适的滤波器类型和参数设定，可以大大提高系统的信噪比，从而改善信号的质量。

（二）滤波器在干扰抑制中的应用

滤波器在射频干扰抑制中发挥着至关重要的作用。它们通过选择性地过滤掉不需要的频率成分，允许所需的信号通过，从而有效降低了干扰信号对系统的影响。首先，滤波器广泛应用于无线电接收设备中，以去除与接收信号频率接近的干扰信号。例如，在无线电通信中，带通滤波器通常用于信号接收端，它能够允许特定频带内的信号通过，同时抑制其它频段的干扰。在卫星通信和雷达系统中，带阻滤波器被广泛用于抑制特定频段的干扰，如 GPS 干扰或雷达反射信号^[7]。其次，射频滤波器还被应用于无线网络设备中，通过精确设计滤波器的带宽和衰减特性，可以有效减少周围设备的无线电干扰，确保网络通信的稳定性和速度。例如，在 LTE 通信系统中，带通滤波器可以将目标频段的信号增强，同时有效降低周围频道的干扰。此外，滤波器还广泛应用于电源系统中，减少由电源引起的噪声干扰，保护设备的正常运行。

（三）滤波器设计中的挑战与解决方案

射频滤波器的设计面临许多挑战，主要体现在设计复杂性、频率响应的优化以及系统集成等方面。首先，滤波器的设计需要确保其频率响应的精确性。在高频信号处理的过程中，滤波器的带宽、衰减特性和插入损耗等参数必须精确匹配系统需求。频率响应的精确控制要求设计师在选择电容、电感和其它元件时，必须进行精密计算和优化。例如，低通滤波器设计时，如果选择不当，会导致信号失真或无法有效隔离高频干扰。针对这个问题，现代设计方法采用了计算机辅助设计（CAD）软件来优化滤波器的频率响应，使其更加符合实际应用需求。其次，尺寸和集成度是设计中的另一大挑战。射频滤波器通常需要在有限的空间内完成复杂的功能，特别是在移动通信设备和嵌入式系统中，滤波器的尺寸和重量限制了其设计自由度。因此，设计师需要平衡性能和体积，采用更高效的设计方法，如集成电路（IC）技术，将多个功能模块集成到一个小型芯片中。最后，温度和环境因素对滤波器的性能也有重要影响。射频滤波器在不同的工作环境下会受到温度、湿度等因素的影响，导致其性能波动。为了应对这一挑战，设计时必须考虑到滤波器的环境适应性，选择适当的材料，并进行热稳定性测试，确保滤波器在各种环境下的稳定运行。通过这些设计和技术的优化，射频滤波器能够更好地适应现代通信系统的需求，提高系统的抗干扰能力^[8]。

四、滤波器设计优化策略

（一）滤波器设计的基本要求

射频滤波器设计的基本要求包括频率选择性、插入损耗、带

宽、衰减特性、尺寸限制及稳定性等多个方面。首先，频率选择性是滤波器设计的核心要求之一，设计时必须确保滤波器能够精确地分离目标信号和干扰信号。频率选择性需要滤波器在通带内具有较小的插入损耗，而在阻带内能够实现足够的衰减。例如，对于低通滤波器，其截止频率应明确界定，确保高于该频率的信号能够有效衰减，防止干扰信号进入系统。其次，插入损耗指滤波器对通过信号的衰减，插入损耗越小，信号的质量越好。因此，滤波器设计时需要尽量减小插入损耗，保持信号的完整性。除了频率选择性和插入损耗外，带宽和衰减特性也是设计中的关键要求。带宽决定了信号通过的频率范围，而衰减特性决定了滤波器对阻带信号的抑制能力。此外，滤波器的尺寸和重量也是考虑因素，尤其在便携设备中，滤波器需要尽量小型化以适应设备的尺寸要求。最后，稳定性是滤波器的另一个重要要求。滤波器必须在不同环境条件下（如温度变化、电压波动）保持其性能稳定，以确保长期可靠运行^[9]。

（二）滤波器性能优化的关键技术

滤波器的性能优化需要依靠一系列技术手段来提高其工作效率和稳定性。首先，多层次结构设计可以显著改善滤波器的性能。采用多层次设计方法可以通过不同级别的滤波网络，提高其在通带和阻带之间的分离度。这种方法能够有效减少通带和阻带之间的过渡区间，从而提高频率响应的精确度。其次，并联和串联电路优化是常用的性能优化技术。通过将电感和电容进行串联或并联组合，可以实现特定频率范围内的滤波效果，并通过调整元件的数值来优化滤波器的频率响应。此外，采用微带线或波导结构进行滤波器设计也是常见的优化方法，这类结构能够有效减少体积，提高设计的集成度，并在高频环境下保持较低的损耗。自动优化算法也在滤波器设计中逐渐应用，通过计算机辅助设计（CAD）工具，设计师能够对滤波器的各项参数进行系统优化，从而找到最佳设计方案，提高其工作性能。最后，抗干扰能力的增强也是优化滤波器性能的关键。通过设计时对滤波器抗电磁干扰（EMI）的考虑，能够在保持信号质量的同时，有效防止外界干扰的影响^[10]。

（三）滤波器在电台通信系统中的应用

在电台通信系统中，射频滤波器发挥着重要作用，主要用于选择性地通过信号并抑制不需要的干扰。在无线通信系统中，带通滤波器通常用于从宽带信号中提取目标信号。例如，在广播和卫星通信中，带通滤波器能够有效地从接收到的宽频带信号中选择特定频段的通信信号，防止其它频段的噪声和干扰信号影响信号的传输质量。在基站设备中，带阻滤波器常常用于抑制特定频段的干扰信号，例如去除相邻频段内的干扰，确保无线网络的稳定运行。在电台接收系统中，低通滤波器被广泛应用于去除高频噪声和干扰，保证通信质量。在一些高频雷达和卫星通信系统中，带阻滤波器也能够抑制来自不同信号源的干扰，确保系统的有效接收。此外，随着技术的发展，集成滤波器也被广泛应用于

电台通信设备中。通过集成多个滤波器模块，这些设备能够在有限的空间内实现更强的干扰抑制功能，提高整个系统的频谱利用效率。

五、结语

通过对射频干扰抑制技术和滤波器设计的深入研究，本文揭示了射频干扰对电台通信系统性能的影响及其抑制策略。射频滤

波器在通信系统中的应用尤为重要，能够有效减少干扰，提高信号质量。滤波器设计优化技术，特别是在频率响应、性能优化和尺寸集成方面的进展，为通信系统的稳定运行提供了坚实的保障。

参考文献

[1] 苏本征. 海岸电台通信系统架构研究 [J]. 天津航海, 2018(03): 56-58.

[2] 普丽. 论短波电台在人防指挥通信系统中的应用 [J]. 长江信息通信, 2022, 35(03): 233-235.

[3] 肖刚. 空管系统中地空通信电台 VOIP 多点接入功能测试方案解析 [J]. 电子测试, 2019(19): 69-71. DOI: 10.16520/j.cnki.1000-8519.2019.19.026.

[4] 梁拥军. 短波电台在人防机动通信系统中的应用 [J]. 数字通信世界, 2019(12): 192.

[5] 甘露. 短波电台在人防机动通信系统中的作用研究 [J]. 无线互联科技, 2019, 16(09): 10-11.

[6] 夏志飞. 短波电台在人防机动通信系统中的作用 [J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8(13): 121-122. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2018.13.51.

[7] 刘萍. 短波通信电台在民防通信系统中的作用 [J]. 信息记录材料, 2017, 18(07): 81-82. DOI: 10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2017.07.048.

[8] 牟健, 何波贤, 岳明, 王岩. 基于 SIP 协议的模拟电台语音通信系统设计 [J]. 电子产品世界, 2017, 24(01): 56-58.

[9] 郭凯丰. 短波数传电台通信系统关键技术研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2017.

[10] 李国建, 张海勇. 短波跳频电台通信对抗效能研究 [J]. 舰船科学技术, 2005(06): 75-78.