

电子通信工程中设备抗干扰技术研究

刘 爽

河北广电网络集团秦皇岛有限公司 河北 秦皇岛 066000

摘 要：电子通信工程作为现代信息社会的核心支撑，其设备运行的稳定性直接关系到通信质量与信息传输安全。本文聚焦电子通信工程设备抗干扰技术，分析了设备面临的干扰类型及影响。系统阐述了电磁兼容设计、信道编码与纠错、扩频通信、自适应滤波、天线抗干扰及加密与跳频/跳时结合等关键技术，包括接地屏蔽、Turbo 码、直接序列扩频、波束成形等具体方法。探讨了该领域未来发展趋势，如人工智能融合、多技术协同、新型材料应用及复杂电磁环境下的抗干扰体系构建。研究为提升电子通信设备在复杂环境中的可靠性提供了技术参考与方向指引。

关键词：电子通信；工程；设备抗干扰；技术

引言：随着电子通信技术在航空航天、智能制造、物联网等领域的广泛应用，设备运行环境日趋复杂，电磁干扰、信号衰落、恶意攻击等问题愈发突出，严重影响通信质量与系统稳定性。干扰不仅导致数据传输错误、设备性能下降，甚至可能引发系统瘫痪，威胁关键领域的安全运行。因此，研究设备抗干扰技术成为保障通信系统可靠工作的核心课题。本文从干扰概述入手，系统梳理当前主流抗干扰技术的原理与应用，分析各技术的优势与局限，并展望未来发展趋势，旨在为电子通信工程设备抗干扰设计与优化提供理论支撑和实践借鉴。

1 电子通信工程设备干扰概述

电子通信工程设备在运行过程中面临的干扰类型多样，按来源可分为内部干扰与外部干扰。内部干扰源于设备自身电路元件的电磁辐射、信号串扰及电源波动，例如高频振荡器的谐波干扰、导线间的电容耦合等，这类干扰与设备设计缺陷或元件性能差异直接相关。外部干扰则来自系统外部环境，包括自然干扰与人为干扰：自然干扰如雷电电磁脉冲、太阳黑子活动引发的电离层扰动等，会导致信号衰减或失真；人为干扰更为复杂，涵盖工业设备的电磁辐射、无线电通信的同频干扰，以及恶意的信号压制、伪造等攻击行为。这些干扰通过传导、辐射或耦合等途径侵入通信系统，造成信号信噪比下降、数据传输误码率升高，严重时会导致通信中断、设备故障^[1]。

2 电子通信工程中设备抗干扰的关键技术

2.1 电磁兼容（EMC）设计技术

2.1.1 接地与屏蔽技术

接地与屏蔽是电磁兼容设计的基础手段，旨在阻断干扰的传播路径。接地技术通过将设备金属外壳、电路参考点与大地或公共电位点连接，消除电位差引起的干扰，常

见方式包括单点接地、多点接地和混合接地：低频电路多采用单点接地减少回路干扰，高频电路则以多点接地降低阻抗。屏蔽技术通过金属材料（如铜、铝或合金）构建封闭空间，利用电磁波反射与吸收特性阻隔辐射干扰，按功能可分为电场屏蔽、磁场屏蔽和电磁屏蔽。

2.1.2 滤波技术

滤波技术通过筛选特定频率信号抑制干扰，是抑制传导干扰的核心手段。滤波器根据频率特性分为低通、高通、带通和带阻类型，在通信设备中主要用于电源端口与信号接口：电源滤波器可滤除电网中的高频噪声，防止其通过电源线侵入设备；信号滤波器则能保留有用信号频段，衰减带外干扰。实际应用中，需根据干扰频率与信号频率特性选择滤波器参数，例如在数字电路中采用 π 型低通滤波器抑制高频谐波，在射频电路中通过带通滤波器滤除邻道干扰。

2.1.3 布局与布线优化

布局与布线优化通过合理规划设备内部元件与导线的空间分布，减少干扰耦合。在布局设计中，需按信号类型分区放置电路模块，将高频噪声源（如振荡器、功率放大器）与敏感电路（如接收器、传感器）物理隔离，避免辐射耦合；同时，电源模块应靠近负载，缩短供电电路路径以降低传导干扰。布线时，采用差分信号线减少共模干扰，高频信号线需短直且远离干扰源，关键导线可采用屏蔽层接地。

2.2 信道编码与纠错技术

2.2.1 差错控制编码原理

差错控制编码是通过在原始数据中刻意添加冗余信息，使接收端能够识别甚至纠正传输过程中因干扰产生的错误。其核心思路是建立数据之间的关联性，当部分数据受干扰发生变化时，接收端可依据这种关联规则

检测异常。例如,简单的奇偶校验码会在数据末尾添加一位校验位,使整个数据序列中1的个数保持奇数或偶数,接收端通过校验该规则是否成立来判断数据是否出错。更复杂的编码方式则通过更精密的关联设计,不仅能发现错误,还能确定错误位置并自动修正,从而在不增加发射功率的情况下,显著提升通信系统在噪声环境中的可靠性。

2.2.2 典型信道编码技术

常见的典型信道编码技术中,卷积码以其连续编码的特性广泛应用于实时通信场景。它将输入数据与前若干时刻的信息通过移位寄存器进行关联运算,生成具有记忆性的编码序列,接收端通过动态规划算法实现高效解码,特别适合卫星通信和无线移动通信。Turbo码则采用并行级联的双编码器结构,结合交织器对数据进行打乱重排,使编码序列具有极强的纠错能力,在接近理论极限的信道条件下仍能保持稳定通信,因此被用于深空探测、光纤通信等对可靠性要求极高的领域。

2.3 扩频通信技术

2.3.1 直接序列扩频(DSSS)

直接序列扩频通过将窄带信息信号与高速伪随机序列(扩频码)相乘,使信号频谱扩展到更宽的频段。其核心是利用扩频码的自相关性,在接收端通过相同扩频码解扩,将有用信号恢复为窄带信号,而干扰信号因与扩频码不相关仍保持宽带特性,被滤波器抑制。DSSS抗干扰能力强,尤其能对抗窄带干扰和多径效应,且频谱利用率较高,广泛应用于移动通信(如CDMA)、卫星通信及物联网等领域,是保障复杂环境下通信可靠性的重要技术。

2.3.2 跳频扩频(FHSS)

跳频扩频通过按预设伪随机序列快速改变载波频率,使信号在宽频段内随机跳变。发射端与接收端同步跳频,在每个频率点短暂停留并传输信号,而干扰方难以跟踪跳频规律,其干扰仅能影响个别频率点。FHSS的抗干扰性能取决于跳频速率与频率集大小,跳频速率越高、频率集越宽,抗宽带干扰和截获的能力越强。该技术在军事通信、无线局域网(如早期Wi-Fi)及蓝牙通信中应用广泛,尤其适用于对抗恶意阻塞式干扰,保障通信链路的隐蔽性与连续性。

2.4 自适应滤波与干扰抑制技术

2.4.1 自适应滤波器

自适应滤波器是一种无需预先知晓干扰统计特性,能根据输入信号自动调整滤波器系数的动态系统。其核心在于通过反馈机制持续优化性能:滤波器接收输入

信号后,将输出与期望信号(或参考信号)对比生成误差,再利用误差信号调整滤波器权重,使输出逐渐逼近目标值。例如,在通信系统中,自适应滤波器可实时抑制窄带干扰或消除多径效应导致的码间干扰。其优势在于对非平稳干扰的适应性,但需权衡收敛速度与稳态误差——收敛过快可能导致参数波动,过慢则无法及时跟踪干扰变化。

2.4.2 波束成形技术

波束成形技术通过控制天线阵列中各阵元的相位与幅度,形成指向目标信号的主波束,并在干扰方向形成零陷,实现空间域的干扰抑制。其分为自适应波束成形与固定波束成形:自适应波束成形能根据干扰分布实时调整波束方向图,适用于动态干扰环境;固定波束成形则针对特定场景预设波束模式,复杂度较低。该技术可显著提升接收端对有用信号的增益,同时衰减干扰信号,在雷达、无线通信基站、卫星接收系统中广泛应用,尤其在多用户干扰和强电磁干扰环境下能大幅提升通信可靠性。

2.5 天线抗干扰技术

2.5.1 高增益定向天线

高增益定向天线借助特殊的辐射结构,将电磁能量集中在特定方向,形成窄波束覆盖,其增益通常比全向天线高出10-20dB。通过增强目标方向的信号接收强度,同时大幅衰减非目标方向的干扰信号,从而降低外部干扰的相对影响。在微波中继通信中,能减少沿途工业设备的电磁辐射干扰;在卫星通信地面站应用时,可削弱地面杂波对卫星信号的干扰。不过,其方向固定,需通过机械或电子调谐实现精准对准,在移动场景中灵活性稍显不足,但在固定链路通信中稳定性优势显著。

2.5.2 抗干扰天线阵列

抗干扰天线阵列由多个空间分布的天线单元构成,通过复杂的信号处理算法实现阵元间的协同工作。利用空间分集技术区分信号与干扰的来波方向,结合波束赋形技术形成指向目标信号的主波束,同时在干扰源方向形成零陷。该技术能有效应对多方向、多类型干扰,在雷达系统中可滤除杂波干扰,在通信基站中能抑制同频邻区干扰。相比单一天线,其抗干扰能力提升明显,尤其在复杂电磁环境下,可通过动态调整波束参数维持通信链路的稳定性。

2.5.3 自适应调谐天线

自适应调谐天线集成了传感器、控制器和可调谐辐射结构,能实时感知周围电磁环境的干扰特性。通过控制器调整天线的谐振频率、阻抗匹配状态或辐射方向

图,自动避开强干扰频段,或增强对有用信号的接收增益。在认知无线电系统中,可快速适配动态变化的频谱环境;在物联网终端设备中,能应对工业环境中多变的电磁干扰。其核心优势在于无需人工干预即可实现动态抗干扰,显著提升了设备在复杂且不稳定干扰环境中的通信适应性和可靠性。

2.6 加密与跳频/跳时结合技术

2.6.1 加密技术

加密技术是通过特定规则将原始数据转换为不易理解的形式,从而保护信息在传输过程中的安全性。它能有效防止未授权者获取和解码信息,即便信号被干扰或截获,也能保证内容不泄露。常见的加密方式有对称加密和非对称加密,对称加密中收发双方使用相同密钥进行加密和解密,操作简便高效;非对称加密则使用公钥和私钥,公钥可公开用于加密,私钥由接收方保管用于解密,安全性更高。在电子通信中,加密技术为数据传输构建了一道安全屏障,是抗干扰和保障信息安全的重要手段。

2.6.2 跳频与跳时协同

跳频与跳时协同技术通过动态改变载波频率与传输时隙,使信号在时间和频率维度上随机分布,增加干扰方的捕捉难度。跳频按伪随机序列切换工作频率,跳时则在预设时隙中随机选择传输时刻,两者结合可降低信号被持续干扰的概率。在抗阻塞干扰中,即使部分频率被压制,信号仍能通过其他频率和时隙传输;在抗截获场景中,敌方难以预测信号的时空分布规律。该技术广泛应用于军事抗干扰通信和无线专网,能在复杂电磁环境中显著提升通信链路的抗毁性与隐蔽性^[2]。

3 电子通信工程中设备抗干扰技术的发展趋势

3.1 人工智能(AI)与机器学习融合

人工智能与机器学习为抗干扰技术注入新活力。通过训练算法学习干扰特征与信号模式,系统可实时识别新型干扰并动态调整抗干扰策略。例如,AI驱动的自适应滤波器能快速适配复杂多变的电磁环境,机器学习模型可预测干扰出现规律,提前启动防护机制。该融合技术大幅提升了抗干扰的智能化与自适应性,在5G/6G通信、认知无线电等领域潜力巨大,可突破传统技术对固定干扰模式的依赖。

3.2 多技术协同与一体化设计

单一抗干扰技术难以应对复杂场景,多技术协同成

必然趋势。将电磁兼容设计、扩频通信、加密技术等整合为一体化系统,通过统一管控平台实现技术间的优势互补。比如,扩频技术与波束成形结合,可同时提升抗干扰与空间复用能力;加密与跳频协同,形成“物理层+信息层”双重防护。一体化设计减少技术间冲突,优化资源配置,使设备在保证抗干扰性能的同时,降低功耗与成本。

3.3 新型材料与器件应用

新型材料与器件推动抗干扰技术升级。石墨烯、超材料等具有独特电磁特性,可制作高性能屏蔽材料或超宽带天线,提升设备抗辐射干扰能力;量子器件的应用,使加密技术突破传统算法限制,实现无条件安全通信;毫米波与太赫兹器件则拓展了通信频段,减少频谱拥堵带来的干扰。这些新材料与器件为抗干扰技术提供了硬件基础,助力设备向小型化、高效能、强抗扰方向发展。

3.4 面向复杂电磁环境的抗干扰体系

未来通信环境电磁信号密集且多变,构建全域抗干扰体系成关键。该体系涵盖从信号发射到接收的全链路防护,结合动态频谱感知、分布式干扰监测与协同抗扰机制,实现对复杂环境的实时感知与响应。例如,在城市密集区,通过多基站协同调整波束与频率,规避各类电磁干扰;在军事领域,构建全域感知网络,实现干扰源定位与集中抗扰。体系化设计突破单设备抗扰局限,提升整体通信系统的鲁棒性^[3]。

结束语

综上所述,电子通信工程设备抗干扰技术是保障通信系统可靠运行的核心支撑。从干扰类型剖析到关键技术阐述,再到发展趋势展望,可见抗干扰技术需多维度协同发展。当前技术已在多领域发挥重要作用,而未来与人工智能融合、多技术协同等趋势,将进一步提升设备抗干扰能力。

参考文献

- [1]章蓓蓓.电子通信工程中的设备抗干扰策略探析[J].南方农机,2020,51(15):207.
- [2]马敏,霍常春,李玉峰等.电子通信工程中设备抗干扰接地措施[J].智能城市,2020,6(14):167-168.
- [3]徐青青.电子通信工程中设备抗干扰接地措施的探析[J].大众标准化,2020(10):122-123.