

无线电广播发射天线的多频段特性与辐射效率研究

迟玉强

内蒙古自治区广播电视传输发射中心额尔古纳712台 内蒙古 呼伦贝尔 022250

摘要: 无线电广播发射天线具有覆盖多个频段的能力,如长波、中波、短波、超短波及微波等,各频段具有不同的传播特性和用途。天线的辐射效率是衡量其性能的重要指标,受天线尺寸、形式、频率、地网优劣、匹配好坏等多种因素影响。提高天线辐射效率需优化天线设计、改善地网敷设、增强天馈线匹配程度等,以确保良好的通信效果和广播覆盖质量。

关键词: 无线电广播发射天线;多频段特性;辐射效率

引言: 随着无线电通信技术的不断发展,无线电广播发射天线的多频段特性和辐射效率成为研究的热点。天线作为无线电通信系统的核心组件,其多频段特性能够提升频谱资源的利用率,满足日益增长的通信需求。同时,提高天线的辐射效率,不仅可以增强信号传输的可靠性和稳定性,还能降低能耗。因此,深入研究无线电广播发射天线的多频段特性与辐射效率具有重要意义。

1 无线电广播发射天线的基本原理

1.1 天线的基本概念

(1) 天线的定义与分类

天线,作为无线通信系统中的关键组件,是一种能够有效地向空间某特定方向辐射电磁波或者有效地接收空间某特定方向来的电磁波的装置。它是无线电设备中实现电磁波传输与接收的桥梁。天线的种类繁多,根据其结构、用途和工作频段的不同,可以进行多种分类。例如,按形状可分为线天线、面天线和阵列天线;按用途则可分为通信天线、广播天线、电视天线等。不同类型的天线在特定应用场景中具有各自独特的优势。

(2) 天线的基本功能与参数

天线的基本功能是将传输线上传播的导行波变换成在无界媒介(通常是自由空间)中传播的电磁波,或者将空间中的电磁波转换回导行波。这一转换过程使得无线电信号能够在空间中传播,从而实现信息的传递。天线的性能参数包括输入阻抗、增益、带宽、极化方式、辐射方向图等。其中,输入阻抗决定了天线与传输线之间的匹配程度,增益则反映了天线辐射电磁波的强度,带宽决定了天线能够有效工作的频率范围,极化方式决定了电磁波的振动方向,而辐射方向图则描述了天线辐射电磁波的强度分布。

1.2 无线电广播发射天线的工作原理

(1) 信号传输与接收机制

在无线电广播系统中,发射天线负责将经过调制的射频信号(包含声音、图像等信息)转换成电磁波向空间辐射。这一过程中,射频信号通过馈线输入到天线,并在天线中产生变化的电流和磁场,根据麦克斯韦电磁场理论,变化的电场和磁场会相互依赖并交替产生,从而在空间中形成电磁波。这些电磁波沿着一定的方向传播,覆盖特定的广播区域。接收天线则负责捕捉空间中传播的电磁波,并将其转换回导行波,再经过解调等处理恢复出原始的信息信号。接收过程中,天线需要具有良好的灵敏度和选择性,以便从众多电磁信号中准确捕捉到所需的信号^[1]。

(2) 中波广播发射天线的传输特性

中波广播通常使用波长在几百米到几千米之间的电磁波进行传输。中波广播发射天线通常具有较高的发射效率和良好的方向性,能够实现较远的传输距离和较好的覆盖效果。中波广播的传输特性主要受地球表面和电离层的影响。在白天,由于电离层对电磁波的反射作用较弱,中波广播主要依赖地面波进行传输;而在夜晚,电离层对电磁波的反射作用增强,中波广播可以通过电离层的反射实现更远的传输距离。

2 无线电广播发射天线的多频段特性分析

2.1 天线频段的基本概念

(1) 频段定义与分类

频段,指的是电磁波频谱中某一特定频率范围的集合。在无线通信领域,频段是根据电磁波的特性和应用需求进行划分的。频段的选择对于天线的性能、信号传输质量以及系统的兼容性都至关重要。频段通常按照频率范围进行分类,常见的分类包括极低频(ELF)、甚低频(VLF)、低频(LF)、中频(MF)、高频(HF)、甚高频(VHF)、特高频(UHF)、超高频(SHF)以及极高频(EHF)等。不同频段具有不同的传输特性和

应用场景。例如，低频（LF）和中频（MF）主要用于广播和导航，高频（HF）可以用于远距离通信，而特高频（UHF）则广泛应用于电视、手机和GPS等领域。

（2）多频段天线的特点与应用

多频段天线是一种能够在多个频段内有效工作的天线。其特点在于能够同时覆盖多个通信频段，从而减少了系统中天线的数量，有利于有限平台上天线的合理布局，降低了系统的制造成本，并促进了通信系统的集成化和小型化。多频段天线的应用非常广泛。在移动通信领域，随着技术的不断进步和系统的更新换代，基站需要同时支持多个通信频段，以兼容不同的移动通信终端。此外，在卫星通信、无线电广播、雷达探测等领域，多频段天线也发挥着重要作用。

2.2 多频段天线的设计

（1）宽带天线设计原理

宽带天线设计原理主要基于天线的频率响应特性。为了实现宽带工作，天线需要在较宽的频率范围内保持良好的阻抗匹配和辐射特性。这通常涉及对天线结构、馈电方式以及材料选择等方面的优化。宽带天线的设计方法包括引入不同谐振单元、使用寄生单元、采用分形结构以及加载等技术。这些技术可以调整天线的频率响应特性，使其能够在多个频段内有效工作。

（2）多频段天线的结构与实现

多频段天线的结构多种多样，常见的包括多分枝天线、倍频天线、寄生分枝天线以及多天线阵列等。这些结构通过特定的设计方法和材料选择，实现了天线在多个频段内的有效工作。例如，多分枝天线通过每个分枝对应一个工作频段的方式，实现了天线的多频段特性。倍频天线则利用了谐波的原理，通过单分支结构实现了多个频段的工作。寄生分枝天线通过增加短路耦合枝节的方式，扩展了天线的工作带宽。而多天线阵列则通过多个天线的协同工作，实现了更广泛频段内的信号覆盖^[2]。

2.3 多频段特性的影响因素

（1）天线形式与发射频率

天线形式对多频段特性具有重要影响。不同形式的天线具有不同的频率响应特性和辐射方向图。在选择天线时，需要根据应用场景和发射频率进行综合考虑。例如，在高频段，天线通常具有较小的尺寸和较高的方向性；而在低频段，天线则可能具有较大的尺寸和较好的全向性。发射频率也是影响多频段特性的重要因素。不同频段具有不同的传输特性和衰减特性。在设计多频段天线时，需要充分考虑发射频率对天线性能的影响，以确保天线在多个频段内都能保持良好的工作性能。

（2）馈线与地网的影响

馈线是连接天线和发射机之间的传输线，其性能对多频段天线的整体性能具有重要影响。馈线的阻抗、损耗以及相位稳定性等参数都会影响天线的频率响应特性和辐射特性。因此，在设计多频段天线时，需要选择合适的馈线材料和结构，以确保天线在多个频段内都能保持良好的匹配和传输性能。地网作为天线系统的组成部分之一，对天线的性能也具有重要影响。地网的形状、尺寸以及材料等因素都会影响天线的辐射方向图和增益等参数。在设计多频段天线时，需要充分考虑地网的影响，以确保天线在多个频段内都能保持稳定的性能。

3 无线电广播发射天线的辐射效率研究

3.1 辐射效率的定义与计算方法

（1）辐射效率的定义

无线电广播发射天线的辐射效率是指天线将输入的高频电流转换为电磁波能量的能力，是天线辐射功率（ P_r ）与输入功率（ P_i ）之比。用数学公式表示，辐射效率 η 为：

$$\eta = P_r / P_i$$

这个比值越高，表示天线将输入的电能转化为向外辐射的电磁波能量的能力越强，即天线的性能越好。

（2）计算方法与分析步骤

在实际应用中，天线辐射效率的计算通常涉及以下几个步骤：

1）测量输入功率（ P_i ）：通过测量天线输入端的射频电流和电压，可以计算出输入功率。

2）测量辐射功率（ P_r ）：天线的辐射功率可以通过远场测量法或其他技术手段进行测定。例如，通过测量天线远场处的辐射功率密度，然后根据天线辐射的总功率和等效辐射面积计算得出。

3）计算损耗功率（ P_{loss} ）：损耗功率是输入功率减去辐射功率的部分，即 $P_{loss} = P_i - P_r$ 。

4）计算辐射效率（ η ）：利用公式 $\eta = P_r / P_i$ 或利用损耗功率表示为 $\eta = P_r / (P_r + P_{loss})$ 来计算天线的辐射效率。

此外，还可以从天线的设计参数（如天线半径、辐射功率密度等）出发，推导和计算出辐射效率。例如，假设天线半径为 R ，远场辐射功率密度为 S ，则辐射功率可以表示为 $P_{ra} = S \cdot (4\pi R^2)$ 。通过这一关系和其他相关公式，可以推导出辐射效率的计算公式^[3]。

3.2 影响辐射效率的因素

（1）天线高度与结构

天线的高度和结构对辐射效率有直接影响。天线的

高度决定了天线辐射电阻的大小,从而影响辐射效率。一般来说,天线越高,辐射电阻越大,辐射效率也越高。例如,中波发射天线一般采用 $1/4\lambda$ 到 $1/2\lambda$ 高度的铁塔天线,高度一般在60到150米之间。此外,天线的结构(如并馈式、串馈式等)也会影响辐射效率。不同类型的天线(如锥面顶负荷式、谐振腔式等)在辐射效率上也会有所差异。

(2) 地网敷设的质量与方式

地网的敷设对天线辐射效率也至关重要。地网是天线电流回路的一部分,铺设良好的地网能为天线电流回流提供一个良好的通路,减少地面损耗,从而提高辐射效率。中波天线的地网通常以铁塔底部中心为圆心,用2-3毫米的铜导线或铜包钢材料放射状向外敷设,数量一般为60到120根,长度一般为 0.3λ 到 0.5λ 。地网的埋设深度对减少地损而言越浅越好,但考虑到地面耕作和导线保护,一般埋设在0.2到0.5米之间。地网一旦铺设完成,就成为永久性的隐蔽工程,其敷设质量直接影响天线的辐射功率和播出质量^[4]。

(3) 地表结构对辐射效率的影响

地表结构对天线的辐射效率也有显著影响。开阔的视野和潮湿的地面具有良好的地导系数,有利于中波广播的传播。地导系数即大地的电导率,与地表结构、湿度、温度等因素有关。地表结构不同的地区有不同的大地电导率,即使在同一个地区电导率也随降雨量的多少和地下水位的变化而变化。电导率越大,地电阻越小,地面的导电性能越好,电波传播损耗也越小。

3.3 提高辐射效率的策略

(1) 优化天线设计

优化天线设计是提高辐射效率的重要手段之一。通过改进天线的结构、尺寸和材料等因素,可以优化天线的辐射性能和阻抗特性,从而提高其辐射效率。例如,可以采用更高效的辐射单元、增加天线的尺寸和密度、采用导电性能更好的材料等方法来提高天线的辐射效率。此外,还可以利用仿真软件和天线校准装置来优化天线的设计。通过仿真模拟天线的辐射性能和传播特性,可以预测天线的性能表现并进行优化设计;而利用天线校准装置则可以测量天线的实际性能并与仿真结果进行比较,从而进一步调整和优化天线的设计。

(2) 改进馈线与地网的连接

馈线与地网的连接是影响天线辐射效率的另一个关键因素。为了确保天线能够正常工作并达到预期的辐射效果,需要改进馈线与地网的连接方式并减少损耗。例如,可以采用低损耗的馈线材料、增加馈线的尺寸和密度、优化馈线与天线的连接结构等方法来减少馈线损耗;同时,也可以优化地网的布局 and 连接方式,以减少地面损耗并提高天线的辐射效率。

(3) 合理选址与布局

合理选址与布局是提高天线辐射效率的另一个重要策略。在选择天线位置时,需要考虑多种因素的综合影响,包括地表结构、建筑物分布、植被覆盖以及电磁环境等。通过综合考虑这些因素,可以选择一个合适的天线位置并优化其布局,以确保天线能够正常工作并达到预期的辐射效果。此外,还可以考虑采用多个天线组成天线阵列来提高辐射效率。通过合理布局天线阵列中的各个天线单元并优化其相互之间的耦合关系,可以进一步提高天线的辐射效率和覆盖范围。这种方法尤其适用于需要覆盖大面积区域或提供高可靠性通信的无线电广播系统。

结束语

无线电广播发射天线的多频段特性与辐射效率研究对于推动无线电通信技术的发展具有重要意义。通过本研究,我们深入了解了影响天线多频段特性和辐射效率的关键因素,并提出了相应的优化策略。未来,我们将继续探索更高效的 antenna 设计方法和更广泛的应用场景,以进一步提高无线电广播发射天线的性能和效率,为无线电通信事业作出更大的贡献。

参考文献

- [1]李姝晖.无线电广播电视发射技术传播范围扩大策略[J].科技传播,2020,(04):50-51.
- [2]成林班久.论无线电广播电视发射技术传播范围扩大策略[J].现代信息科技,2019,(06):41-42.
- [3]谭辛.基于数字化技术探讨无线电广播电视发射技术传播范围扩大策略[J].中国传媒科技,2019,(08):60-61.
- [4]胡传敏.高功率微波发射技术在无线电广播中的运用研究[J].无线互联科技,2022,(08):75-77.