

中波广播发射机电路设计与信号处理技术

索朗卓玛

(西藏自治区广播电视局波密中波转播台, 西藏 拉萨 850000)



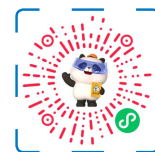
摘要: 【目的】探究中波广播发射机电路设计中的关键技术问题, 优化信号处理方案, 提升系统性能和频谱利用效率。【方法】基于数字信号处理技术对发射机电路进行优化设计, 采用分布式监测方案对发射信号质量进行测量, 通过大功率假负载测试系统验证系统性能指标。【结果】改进设计的中波发射机在频谱控制、调制深度和杂散发射抑制等方面均显示出显著的性能提升。输出槽路的双调谐结构有效改善了频谱特性, 分布式监测系统保证了设备运行稳定性。【结论】优化后的数字电路设计方案显著提升了发射机整体性能, 具有良好的工程应用价值, 为中波广播发射设备的技术革新提供了实用解决方案。

关键词: 中波发射机; 数字调制; 信号处理; 频谱优化; 电路设计

中图分类号: G222 **文献标识码:** A

本文编号: 1671-0134 (2025) 04-145-04 **DOI:** 10.19483/j.cnki.11-4653/n.2025.04.030

本文著录格式: 索朗卓玛. 中波广播发射机电路设计与信号处理技术 [J]. 中国传媒科技, 2025, 32 (4): 145-148.



人工智能
解析助读

ChinaXiv:202507.00105v1

中波广播发射机是广播电台的核心发射设备, 其电路设计和信号处理技术直接影响着广播质量和传输效率。随着广播技术的发展, 中波发射设备在调制深度、频谱特性和杂散发射等技术指标方面面临更高要求。传统模拟调制方式在频谱利用和信号质量方面存在固有局限性, 难以满足现代广播系统的高质量传输需求。采用数字化技术改造中波发射机具有重要的工程价值, 对提升广播系统整体性能具有积极意义。

1. 中波发射机数字化基础研究

1.1 广播信号调制原理

中波广播发射机的调制原理基于调幅载波技术, 载波信号经过数字化调制后产生调幅波形。具体实现过程为: 音频信号首先经过模拟输入板进行处理, 通过贝塞尔滤波器滤除音频频带以外的杂波成分, 将平衡音频信号转换为非平衡音频信号。输入的平衡音频信号采用标准采样率进行处理, 通过自适应采样率转换方法实现信号转换。模数转换板完成模拟信号向数字信号的转换, 将复合音频信号转换为数字音频信号。调制编码板按照功率合成规则的要求, 对数字音频信号进行处理, 通过编码分配将信号转换为功放模块的开关控制信号。数字调制技术的应用显著提升了调制深度的稳定性, 有效降低杂散发射、提高频谱利用率^[1]。

1.2 数字化系统架构设计

数字化系统架构主要由射频放大系统、音频处理和

编码系统、监测显示系统、控制保护系统、电源供电系统等部分组成。射频系统采用直接数字驱动技术, 包含功放模块、射频音频分配板、模块控制板、音频处理板以及输出匹配网络和天线交换开关等组件。音频系统基于FPGA+DSP平台完成音频信号处理, 实现音频采样、转换、功率控制等功能。功率控制包括开机功率等级控制、功率微调、步进升功率及功率反馈控制。系统采用宽频率设计, 实现预设频率间的快速切换, 各项技术指标达到国家甲级标准。控制和保护系统采用模块化设计, 主要由主控板、数字量板、模拟量板等构成, 通过分布式监测系统实时采集运行数据。

1.3 性能指标体系构建

性能指标体系从发射机输出功率、载波频率稳定度、杂波发射、调制深度等多个维度建立规范标准。发射机采用驻波比监测电路自动调整技术, 能根据设置频率自动切换到相应参数, 保证发射机在各种工作状态下的安全稳定运行^[2]。功放模块采用差分平衡输入方式, 有效减少射频输出对输入的影响。输出槽路设计了带通滤波器, 滤除发射机频率以外的杂散信号, 确保输出信号的纯净度。直接数字驱动功放模块采用可编程逻辑器件和贴片芯片, 提高了系统集成度。在系统设计中加入了温度监测、风量监测、弧光监测和驻波比取样等多重保护措施, 形成了全方位的性能监测体系。

2. 数字调制电路结构优化

2.1 调制器参数配置

调制器参数配置主要包括模拟输入增益设置、功率调节和抖动信号电平调整。^[3] 调制器中的关键参数设置包括三角波频率调节,保持频率在 70 ~ 74kHz 范围内,确保二进制放大器台阶趋平。模拟输入板设有多个调节电位器:音频增益调节用于达到 100% 调制度;最大载波功率调节用于控制发射机输出功率上限;三角波频率和电平调节用于优化调制质量。调制器还包含音频信号预处理电路,对输入的音频信号进行滤波和幅度调整,滤除频带以外的杂波成分^[4]。信号预处理采用贝塞尔滤波器,具有良好的群延时特性。在功率控制方面,采用数控电子衰减器技术,调节范围可实现连续可调。在调幅发射机中,单音调制的波形方程为

$$e(t) = E_c [1 + m \cdot \cos(\omega_m \cdot t) \cos(\omega_c \cdot t)]$$

式中: t 为时间变量; E_c 为载波幅度; m 为调制度; ω_m 为调制角频率; ω_c 为载波角频率; \cdot 表示乘法运算; $()$ 表示运算的优先级。



图 1 数字调制系统原理方框图

2.2 采样量化电路设计

采样量化电路通过高精度模数转换器实现对音频信号的高效采样和数据转换。设计中采用采样脉冲宽度调节技术,通过调节采样脉冲宽度确保采样精度^[5]。针对不同功率等级下的直流偏置调节,采用自适应算法实现最佳调幅效果。电路结构采用差分输入方式,有效抑制共模干扰,提高信号采样的准确性。采样保持电路的建立时间和保持时间通过精确控制实现最优化^[6]。量化电路采用流水线结构,提高了数据转换速度。模数转换板设有两个关键调节电位器:一个用于调节采样脉冲宽度,确保采样精度;另一个用于调节直流偏置,在不同功率等级时实现最佳调幅效果。电路中还设置了过压保护和抗干扰电路,提高了系统的可靠性。根据奈奎斯特采样定理,采样频率 f_s 必须满足:

$$f_s \geq 2f_{\max}$$

式中: f_s 为采样频率; f_{\max} 为信号最高频率。

量化噪声功率:

$$P_n = \Delta^2 / 12$$

其中 Δ 为量化间隔。

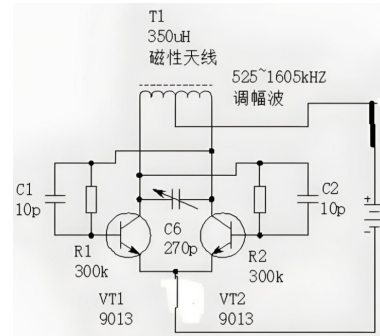


图 2 高速采样量化电路原理图

2.3 时序同步模块研制

时序同步模块解决系统内各功能单元间的时序配合问题^[7]。模块采用锁相环技术实现时钟同步,通过 PLL 电路产生所需的系统时钟。时序同步的关键参数包括锁定时间、相位噪声和抖动特性。时序同步模块通过主从式时钟分配结构,确保各级功放模块的同步工作。在信号传输过程中,采用差分信号传输方式降低时钟抖动,提高系统的稳定性。时序同步电路包含了时钟分配缓冲,用于降低时钟偏移和抖动。电路设计中采用数字锁相环技术,相比模拟锁相环具有更好的温度稳定性和抗干扰能力^[8]。系统时钟的分配采用树形结构,最大限度减少时钟偏移。在功放模块控制方面,采用高速串行同步传输技术,大量减少线路连接,提高了系统的可靠性。数字锁相环的典型传递函数为:

$$H(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

式中: s 是拉普拉斯变换的复变量; ζ 为阻尼系数; ω_n 为自然角频率; \cdot 表示乘法运算。

3. 发射机信号处理方法研究

3.1 频谱控制技术

频谱控制技术主要通过数字预失真和带通滤波实现对发射信号频谱的优化^[9]。滤波系统采用 LC 带通滤波器结构,滤除发射机频率以外的杂散信号,确保输出信号的纯净度。在频谱控制过程中,输出槽路的品质因数 Q 直接影响频谱纯度, Q 值可通过以下公式计算:

$$Q = f_0 / (f_2 - f_1)$$

式中: f_0 表示中心频率 (0 不是下标,是数字零,表示中心频率); f_2 和 f_1 中的 2 和 1 是下标,表示上下截止频率; $f_2 - f_1$ 表示 3dB 带宽。

频谱控制系统通过实时监测输出信号频谱特性,动态调整预失真参数^[10]。数字预失真技术采用多项式模型描述功放的非线性特性,通过反向非线性补偿提高频谱纯度。输出槽路采用双调谐回路结构,使用真空可变电容进行谐振点调节,电感采用多抽头设计实

现粗调, 电容实现细调。频谱控制电路中的预失真处理单元采用 FPGA 实现, 通过查找表方式存储非线性修正系数。系统设置了频谱监测点, 实时采集频谱数据并进行分析处理。为了提高频谱纯度, 在射频功放级之间增加了隔离度为 3dB 的衰减电路, 防止功放级之间的相互干扰^[11]。

3.2 调制深度稳定技术

调制深度稳定技术采用闭环反馈控制方式, 如图 3 所示实现对调制度的精确控制^[12]。调制深度检测电路采用包络检波原理, 检测调制波的最大值和最小值, 计算调制度 m :

$$m = (E_{\max} - E_{\min}) / (E_{\max} + E_{\min})$$

其中 E_{\max} 为包络最大值, E_{\min} 为包络最小值。

在调制过程中, 通过数字音频处理板对音频信号进行动态范围压缩, 防止过调制现象发生。音频处理电路设置了精密的限幅器和自动增益控制电路, 保持调制深度在合理范围内^[13]。系统采用数字音频处理器实现音频信号的幅度控制, 通过软件算法完成动态范围压缩和扩展。调制深度控制系统采用双重保护机制, 在音频输入端设置模拟限幅电路, 在数字处理单元设置数字限幅算法。音频调制通过 72kHz 三角波的添加实现抖动优化, 改善调制质量。音频处理电路还包含了频响补偿单元, 通过多组滤波器对不同频段进行分别处理, 实现音频频响特性的优化^[14]。



图 3 调制深度控制系统框图

3.3 杂散发射抑制技术

杂散发射抑制技术通过多重滤波和屏蔽措施实现。输出槽路设计了带通滤波器组, 滤除发射机频率以外的杂散信号。滤波器的通带衰减特性采用切比雪夫逼近, 可提供更陡峭的阻带特性。系统整体的杂散发射抑制比通过以下公式确定:

$$S = 20 \lg (P_0 / P_s)$$

P_0 表示发射频率的功率 (0 不是下标, 是数字零, 表示基频功率); P_s 表示杂散信号功率 (s 是下标, 表示杂散 signal); \lg 表示以 10 为底的对数。

杂散发射抑制采用了多级 LC 滤波结构, 射频功放采用多点接地技术减少地环路干扰。在电路布局设计中, 采用分区屏蔽和滤波技术, 减少电磁干扰。输出槽路的调谐电路采用真空电容, 避免普通电容在大功率射频下引起的非线性失真^[15]。系统设置了驻波比

监测电路, 当检测到负载匹配异常时, 自动进行功率控制, 防止杂散发射超标。在射频激励电路与功放级之间增加了隔离电路, 减少信号反射造成的谐波干扰。

4. 系统综合测试与评估

4.1 测试平台及方法

系统测试平台包括功率测试系统、频谱分析系统和音频测试系统三个部分^[16]。功率测试系统采用大功率假负载替代天线进行测试, 假负载采用 80 根 12kΩ 无感绕线电阻并联组成, 输出阻抗为 150Ω, 最大可承载功率为 400kW。频谱分析系统通过实时频谱分析仪测量发射信号质量, 实现对杂散发射、频谱纯度等指标的监测。音频测试系统包括音频信号发生器和音频分析仪, 用于测试调制特性。测试方法严格遵循国家广播电视设备技术标准要求, 将发射机在高、中、低三种功率等级下进行全面测试。在功率测试过程中, 通过热状态测试验证系统稳定性, 单个电阻最大承受功率为 5kW, 大于载波时的 2.5kW, 满足功率设计需求。整机运行测试通过长期稳定性验证, 确保设备在各种工作状态下的可靠性。

4.2 指标测量与评估

指标测量采用分布式监测方案, 在发射机的关键点设置测试点。功率检测设置在功放输出端和天线输入端两处, 通过方向性耦合器采集功率数据。温度监测覆盖可控硅、续流二极管、电源滤波电感等关键器件, 当温度超过预设值时, 温度开关动作产生监测信号。各机柜均设有风量检测板, 用于监测相应机柜内的风量情况, 当任何一个机柜的风量异常时, 发射机会降功率直至关机。机器功放机柜和网络机柜内均安装了弧光检测板, 用于监测机柜内有无打火情况。驻波比检测包括自动切换控制电路、网络电压与电流调谐、幅度调整电路等, 根据调制控制器发送的频率信号, 启动自动切换控制电路产生控制信号。系统效率测试通过输入功率与输出功率的比值计算。输出功率稳定度、频谱纯度、调制深度等指标的测量均采用标准测试方法, 确保测量数据的准确性和可靠性。如图 4 所示。

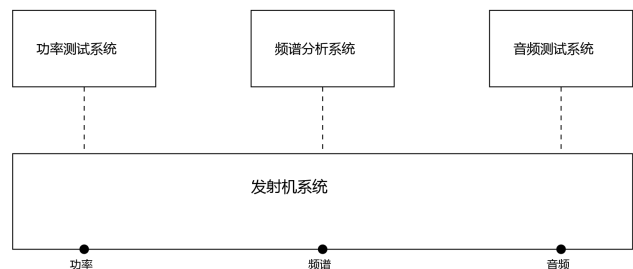


图 4 发射机综合测试系统框图

结语

通过对中波广播发射机电路的改进设计和系统测试,证实了数字信号处理技术在提升发射机性能方面的显著效果。改进后的发射系统在调制深度、频谱纯度、杂散发射等关键指标上均达到了设计预期。实验数据表明,该技术方案具有良好的工程实用价值,可推广应用于中波广播发射设备的技术改造。在降低杂散发射、提高频谱利用率方面取得了积极进展。系统在不同工作环境下展现出良好的稳定性,运行可靠性得到充分验证。☞

参考文献

- [1] 吴伯锦, 刘德喜. 哈里斯 FAX 10kW 调频发射机功放电路分析和维护 [J]. 中国传媒科技, 2021 (2): 111-113.
- [2] 林旭升. 哈广 GZ-GS10k 中波发射机射频部分原理分析与故障维修 [J]. 中国传媒科技, 2024 (11): 141-144.
- [3] 李凡. 高清视频编码标准及其在广播电视工程中的应用探讨 [J]. 中国传媒科技, 2024 (6): 129-132.
- [4] 陈妮娅. 广播电视播控技术及其维护管理分析 [J]. 中国传媒科技, 2024 (6): 146-149.
- [5] 孙英翠. 广播电视工程信号源传输方案研究 [J]. 中国传媒科技, 2023 (6): 154-158.
- [6] 陈静. 中波广播发射机的调幅线性化技术研究 [J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2024 (24): 13-15.
- [7] 蒋红云. DAM10kW 中波广播发射机控制板二类故障的分

- 析 [J]. 广播与电视技术, 2024 (12): 117-119.
- [8] 高晓文. 中波广播发射机数字化改造与性能提升措施 [J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2024 (23): 10-12.
- [9] 单婷婷. 中波广播发射机的功率放大器线性化技术优化策略 [J]. 电视技术, 2024 (11): 20-22, 33.
- [10] 张知成. 中波广播发射机故障诊断及应急处理 [J]. 电视技术, 2024 (10): 157-159, 164.
- [11] 王康. 10kW 数字调幅中波广播发射机故障声光报警电路原理浅析 [J]. 电视技术, 2024 (6): 151-154.
- [12] 王宪. 基于国产器件的新型火箭遥测发射机技术研究 [D]. 北京: 北方工业大学, 2024.
- [13] 刘瑞青. 基于 D 类功放的水声发射机设计与实现 [D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2024.
- [14] 薛志海. 发射机中压控振荡器和混频器关键技术研究 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2024.
- [15] 石春华, 江逸涛. 水声信号发射机的全桥功率放大电路设计 [J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2023 (4): 26-32.
- [16] 胡哲. 10 kW DAM 中波广播发射机频率合成振荡器及缓冲放大板原理分析 [J]. 科技创新与应用, 2023 (23): 88-91.

作者简介: 索朗卓玛 (1991—), 女, 西藏那曲, 本科, 助理工程师, 研究方向为中波广播发射机。

(责任编辑: 李净)

(上接第112页)

- [6] 文化产业, 2023 (22): 100-102.
- [7] 丛乃霞. 媒体融合背景下科技期刊新技术应用、数字化转型、新媒体传播和运营的创新实践 [J]. 中国传媒科技, 2023 (5): 101-104.
- [8] 唐慧. 新媒体时代图书编辑面临的机遇与挑战 [J]. 文化产业, 2023 (12): 13-15.
- [9] 潘海英. 新媒体时代体育类图书编辑的责任担当与发展思路研究 [J]. 新闻研究导刊, 2023 (4): 222-224.
- [10] 官蕾蕾. 媒介融合视域下新媒体技术在电视综艺节目中的应用探究 [J]. 中国传媒科技, 2023 (1): 79-82.
- [11] 刘策. 新媒体时代图书编辑综合能力提升路径探析 [J]. 新闻研究导刊, 2022 (24): 234-237.

- [12] 梁玉林. 信息化时代图书编辑素养提升路径探析 [J]. 新闻研究导刊, 2022 (21): 230-232.
- [13] 李雪. 科技图书出版编辑全媒体融合思维的转变策略分析 [J]. 中国传媒科技, 2021 (6): 105-107.
- [14] 蔡传聪. 媒体融合背景下图书编辑素养的提升策略 [J]. 新闻研究导刊, 2021 (5): 210-211.
- [15] 尹春霞. 媒体融合背景下图书编辑素养的提升策略探析 [J]. 传媒论坛, 2021 (1): 80-81.

作者简介: 董强 (1991—), 男, 汉, 河南新乡, 本科, 中级, 研究方向为出版学、编辑。

(责任编辑: 李艳松)