 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i5.5680

Optimization strategy of power amplifier for medium-wave radio transmitter

Deyi Wang Xuqiang Niu

Tianshui Radio and Broadcasting Station of Gansu Radio and Television Bureau, Tianshui, Gansu, 741400, China

Abstract

In recent years, with the continuous development of wireless communication technology, people's quality requirements for broadcast signals are getting higher and higher. To meet this need, technicians constantly explore new linearized techniques. This paper analyzes the causes of the nonlinear distortion of the power amplifier and its influence on the broadcast signal quality, and points out that the nonlinear distortion will not only reduce the signal quality, but also may interfere with other radio equipment and accelerate the equipment aging. This paper summarizes the principle and application of mainstream linearization techniques such as feedforward method, feedback method and pre-distortion technique. On this basis, the linearization technique is proposed in order to improve the linearization effect of power amplifier and then improve the quality and transmission efficiency of broadcast signals.

Keywords

medium-wave radio transmitter; power amplifier; linearization; technology optimization

中波广播发射机的功率放大器线性化技术优化策略

王德义 牛许强

甘肃省广播电视局天水广播转播台，中国 · 甘肃 天水 741400

摘 要

近年来，随着无线通信技术的不断发展，人们对广播信号的质量要求也越来越高。为了满足这一需求，技术人员不断探索新的线性化技术。本文分析了功率放大器非线性失真的原因及其对广播信号质量的影响，指出非线性失真不仅会降低信号质量，还可能干扰其他无线电设备并加速设备老化。文章综述了前馈法、反馈法和预失真法等主流线性化技术的原理及应用。在此基础上，本文提出了线性化技术的优化策略，以期提高功率放大器的线性化效果，进而提升广播信号的质量和传输效率。

关键词

中波广播发射机；功率放大器；线性化；技术优化

1 引言

在广播信号领域，中波广播发射机扮演着至关重要的角色。然而，功率放大器的非线性特性一直是影响广播信号质量的关键因素。非线性失真会导致信号频谱的扩展和带外辐射的增加，这不仅会降低广播信号的清晰度，还可能对其他无线电设备造成干扰。此外，非线性失真还会加速功率放大器的老化，缩短设备的使用寿命。因此，研究功率放大器的线性化技术，优化其性能，对于提升广播信号的质量和传输效率具有重要意义。

2 中波广播发射机功率放大器常用线性化技术

中波广播发射机功率放大器常用的线性化技术主要包括功率回退技术、预失真技术、前馈技术以及其他一些技术，如负反馈、动态偏差校正等。

2.1 功率回退技术

功率回退法是一种基本的、被广泛使用的线性化方法，它在通讯系统中占有举足轻重的地位。在信号放大中，功率放大器的工作状态直接影响到其性能。1 dB 压缩点（P1dB）是衡量功放性能产生明显非线性失真的重要指标。其核心思想是使功放工作在 1 dB 以下的压缩点（P1dB）。

功放工作在接近饱和区域时，即使是很小的扰动，都会引起很大的非线性失真，严重影响着通信系统的精度。将功放工作点从饱和区移开，可以使功放工作在线性范围内。在此范围内，功放可以维持较好的线性特性，使其输出的信号能更精确地反映输入信号的变化，进而降低信号的失真。

该方法的优点非常明显，其最突出的特征是实施起来非常简便，不需增加任何复杂的仪器，仅需调节功放的工作功率。这就使功率回退技术在某些要求更高、更复杂度更高

【作者简介】王德义（1987–），男，中国甘肃天水人，本科，工程师，从事广播电视、无线电研究。

的应用场合，成为一种理想的线性化方法。

2.2 预失真技术

2.2.1 预失真

RF 预失真器一般是由模拟电路来完成的。由于其结构比较简单，所以在成本上有一些优势，可以低成本实现对放大器的非线性失真进行初步的补偿。同时，RF 预失真因其对高频信号的固有优势，特别适用于高频段、宽频带的场合。在这种情况下，该算法能迅速实现对输入信号的预失真，确保了在高频率下信号的线性。

但是，RF 预失真器也有其自身的局限。然而，在实际应用中，由于其对高阶光谱的消除作用十分有限。在处理含有大量高阶成分的信号时，RF 预失真器不能彻底消除放大器引起的非线性失真，从而使输出信号仍有不同程度的失真。

2.2.2 数字预失真（DPD）

数字预失真则是基于先进的数字信号处理技术。其工作流程较为复杂，必须采用一系列测试方法，准确地获得功放的非线性特征，并据此构建其数学模型。在信号的输入端，采用数字预失真器对输入的信号进行实时的分析，并依据所建的模型，动态地调节预失真信号，如图所示。该方法可根据不同的输入信号及放大器的工作状态，灵活地补偿非线性失真，提高了系统的自适应能力和线性化能力。

然而，采用数字预失真器对算法的运算能力提出了更高的要求。这不但对器件的性能提出了更高的要求，而且对算法也提出了更高的要求。在实际应用中，不仅会增加器件的造价，而且还会增加系统的功率消耗和散热。

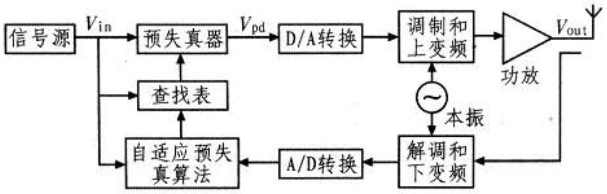

图 1 基于 LUT 的预失真放大器的结构图

2.3 前馈技术

前馈技术是一种高效的线性化方法。它通过从放大器输出中耦合一部分信号，与输入信号比较，生成误差信号。然后，将误差信号放大后，与放大器的非线性失真分量抵消，从而改善线性度。前馈技术的优点是线性化效果好，不受带宽限制。但其缺点是实现复杂，成本高，需要额外的辅助放大器 [1]。

2.4 其他线性化技术简介

2.4.1 负反馈技术

采用负反馈法对放大器的输出进行监控，并与输入信号进行对比，从而实现对放大器增益、相位的调节。该方案具有结构简单、通用性强等优点。但是，这种方法也会带来一些稳定性问题，并且对于高频信号的线性化作用不大。

2.4.2 动态偏差校正（Dynamic Deviation Correction，DDC）

动态偏差校正是提高功放线性度的一种方法。该方法一般与预失真法相结合，通过对放大器输出信号进行实时监控与调节，对器件老化、温度等因素造成的非线性畸变进行补偿。该方法能改善放大器的线性、稳定性能，但也比较复杂。

表 1：常用功放线性化技术对比

技术类型	线性度提升	效率影响	成本复杂度	典型应用场景
功率回退	低（＜10dB）	高	最低	传统模拟发射机
数字预失真	中高（20dB）	低	中	数字电视发射机
前馈	最高（40dB）	低	极高	大功率调频发射机
包络跟踪＋DPD	高（30dB）	最优	高	下一代广播发射机

3 线性化技术的优化策略

3.1 精确建模与实时调整

为了实现功率放大器的线性化，建立准确的模型是提高功率放大器性能的前提。传统的信号处理方法通常侧重于信号的静态非线性，而现有的信号处理模型不能很好地满足信号处理的要求。该模型既要考虑放大器的稳态非线性，又要考虑其随频率、温度等因素的影响。比如，当工作温度提高时，半导体元件的电导率会发生改变，从而对放大器的增益与失真等性能产生影响。

所以，一个综合的模型应该考虑到这些因素，精确的模型能够进一步对预失真器的参数进行实时调节，实现对放大器非线性失真的动态补偿，该方法的实现依赖于采用了先进的控制算法，并具有较高的运算速度。实时调节是指在一定的时间内对放大器的输出进行连续的监控，并按照预先设定的线性化目标对预失真器的参数进行微调，该方法可使放大器在不同工作状态下快速响应，保证了输出信号的线性度满足预定要求，能够实现基于环境温、频等参数的自适应调节策略。通过将温度、频率等信息融合在一起，使系统能够实时地感知外界环境的变化，从而达到对非线性失真的最优补偿。

3.2 多维度失真评估与校正

在传统功率放大器线性化方法中，往往只针对幅值、相位等单个参量进行失真评价，这一限制忽视了功率放大器内部可能出现的多种失真形式，不利于对功率放大器的整体性能进行综合优化。为了更加准确地评价和提高功率放大器的性能，需要构建一套多维度的失真评价系统。多维度失真评价方法需要综合考虑幅度失真、相位失真和组时延等多项性能指标。综合评价了功率放大器各方面性能的优劣。

其中，幅值失真是指信号幅值的改变，而相位失真是信号的相位偏移，群时延是指放大器内不同频率分量的传播时延差别。在进行多维度评价时，必须使用高精度的计量仪器与计量手段，才能保证各种指标的精确定量。同时，在实际应用中，需要根据实际工作环境及信号特点，建立合理的评价准则与校正方法。在多维校正策略上，可采用分段校正和动态校正等措施。分段校正是指针对放大器工作范围的不同，分别制订出相应的修正措施，以便对各种失真进行更为准确的补偿。动态校正就是根据实际监控到的失真信息，对修正参数进行不断地调节，使之与放大器的工作状态相匹配。

3.3 智能算法的应用

近年来，由于人工智能的发展，将智能算法引入到功率放大器的线性化中，其重要性日益突出，利用神经网络、深度学习等方法，能够对数据分析、模式识别实现强大的数据处理能力，提供了新型的功率放大器非线性失真量补偿方法。通过对功率放大器输入输出关系的学习，神经网络可以对功率放大器进行准确的非线性建模。此外，该模型还可以精确地预测各种输入工况下的输出特性，为其线性化处理提供了重要的数据支撑。这就意味着，神经网络能够通过对放大器的失真特征进行学习，从而得到与之对应的预失真器。

同时，深度学习不但可以学习放大器目前的非线性特征，而且可以预测其将来的发展趋势。由于功率放大器的工作状态及工作特性随工作环境的不同而不同，通过对系统的深度学习，系统能够对系统的工作状态进行动态调节，从而保证系统的输出信号具有最优的线性。该算法具有较强的自适应能力，可以有效地处理多种变形。传统的线性化方法只能对特定类型的失真起作用，而智能算法可以通过学习实现对各种失真的自动识别，包括幅值失真、相位失真和更为复杂的非线性失真 [2]。

3.4 高效散热与稳定性设计

功率放大器是信号传递的核心部分，它的工作稳定性及工作性能直接关系到整个系统的成败。因此，提高功率放大器线性化的效率和稳定性是提高功率放大器性能的重要途径。在散热设计上，应以高效能之散热材料与结构为佳。

例如，使用诸如铜或铝散热片等高热导率的材料，可以将放大器内所生成的热量快速地传递到外界环境。采用先进的风冷、液冷等技术，能够有效提高系统的散热效能。在保证放大器稳定运行的同时，除了物理散热措施外，还要建立一套合理的温度监测系统。当温度超出预先设定的安全阈值时，该系统会自动采取相应的控制措施，例如减少输出功率、启动后备冷却系统等，避免过热引起的器件性能退化和器件损伤。

3.5 集成化与模块化设计

中波广播发射机在不断发展的过程中，其设计思想逐渐趋向于高度集成化、模块化。在这种情况下，需要对线性化技术进行优化，使其与其他部件更加紧密地结合起来。在此基础上，将线性化模块与其他功能模块进行高度整合，可有效地减少互连线及接口数目，减少信号在传输中的损失与相互干扰。

同时，该方案还降低了外界环境的干扰，增强了设备的抗干扰能力。集成化的设计也减少了故障点与维修要求，使系统的日常管理和维修工作变得简单。模块化的设计为系统的柔性与可扩充性提供了强有力的支撑，该方法将线性化函数分割成多个模块，即可实现对模块的单独升级、更换或维护。这样的设计不但可以减少维修费用，而且可以有效地减少由于故障和升级引起的停工期，使整个广播系统的工作效率得到极大的提升 [3]。

4 结语

本文针对中波广播发射机功放存在的非线性失真问题，系统地探讨了各种线性化方法，为今后广播技术的发展提供有益的借鉴。在此基础上，提出了采用高精度建模技术、实时调整机制、综合失真评价和修正机制等方法，通过引入智能算法和有效的散热设计，大幅提高功放的线性度，保证广播信号的高质量传输。

参考文献

[1] 尤明晖.基于多端口网络的负载调制类功率放大器研究[D].杭州:杭州电子科技大学,2024.

[2] 张晓凤,郑隆浩,谢子成,等.用于非线性超声检测的高频高功率E类功率放大器研究[J].电子设计工程,2024,32(13):60-64.

[3] 全欣,张梦瑶,刘简,等.一种基于双通道非线性反馈架构的模拟域功率放大器线性化技术[J].电子与信息学报,2023,45(12):4211-4217.