

无线电广播发射机功率放大器的线性化技术探讨

陈泽东

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：本文深入探讨了无线电广播发射机中功率放大器的线性化技术。文章首先概述了功率放大器的非线性特性及其对通信质量的负面影响。接着，详细分析了功率回退、预失真、前馈等几种主要线性化技术的原理和特点，讨论了它们的优缺点。最后，介绍了这些技术在无线电广播发射机中的实际应用，为提升通信质量提供了有力支持。

关键词：功率放大器；非线性特性；线性化技术；无线电广播发射机

引言

随着无线通信技术的快速进步，无线电广播发射机在信息传播领域发挥着至关重要的作用。功率放大器作为发射机的核心部件，其性能优劣直接关系到信号的传输质量和系统效率。但功率放大器往往存在非线性问题，易引发信号失真和频谱干扰。因此，深入探究功率放大器的线性化技术，对于提升通信质量、优化系统性能具有十分重要的意义。

1 功率放大器的非线性特性及其对通信质量的影响

功率放大器作为无线通信系统中的关键组件，其性能直接关乎信号的传输质量和系统的整体效率。然而，功率放大器在实际工作中往往表现出非线性特性，这对通信质量产生了显著的影响。（1）功率放大器的非线性特性主要源于其内部器件的物理限制和工作原理。当输入信号幅度较小时，功率放大器通常能够保持线性放大，即输出信号与输入信号成正比。然而，随着输入信号幅度的增加，功率放大器的输出不再与输入保持线性关系，而是出现饱和、压缩甚至截止等现象。这种非线性行为会导致信号失真，产生一系列新的频率分量。

（2）这些新的频率分量，如二次谐波、三次谐波等，是功率放大器非线性特性的直接体现。它们是由于输入信号在功率放大器内部经过非线性变换而产生的。这些谐波分量如果落在通信系统的通带内，就会对发射的信号造成直接干扰，导致信号波形畸变，信息丢失或误判；这种干扰不仅降低了信号的传输质量，还可能影响接收端的解调和解码过程，进而降低整个通信系统的可靠性。（3）除了对通带内信号的干扰外，功率放大器的非线性特性还会产生带外辐射。这些带外辐射的频率分量如果落在其他频道的通带内，就会对其他频道的信号造成干扰，称为邻道干扰；邻道干扰是无线通信系统中一个严重的问题，它会导致频谱资源的浪费和通信质量的下降；为了抑制邻道干扰，通信系统通常需要采用更复

杂的滤波技术和频谱管理策略，这增加了系统的复杂性和成本。（4）功率放大器的非线性特性还会降低信号的频谱利用率和传输效率。由于非线性失真产生的谐波分量和带外辐射占用了额外的频谱资源，使得有效信号的频谱宽度增加，频谱利用率降低；为了抵消非线性失真对信号质量的影响，通信系统可能需要增加发射功率或采用更复杂的调制和解调技术，这都会降低传输效率^[1]。

2 功率放大器的线性化技术

（1）功率回退。功率回退是一种最为简单的线性化技术。其基本原理是通过降低功率放大器的输入功率，使其工作在远低于1dB压缩点的电平上。这样，功率放大器就能够在更线性的区域内工作，从而有效减少非线性失真。然而，功率回退技术也存在明显的缺点。由于输入功率的降低，功率放大器的输出功率也会相应减少，导致效率大幅降低。在实际应用中，这种效率损失往往难以接受，因此功率回退技术通常只适用于对线性度要求较高，而对效率要求相对较低的场合。（2）预失真。预失真技术是一种更为先进的线性化方法。它通过在功率放大器前增加一个非线性电路，来补偿功率放大器的非线性失真。这个非线性电路会根据功率放大器的特性进行精心设计，使得其输出信号与功率放大器的非线性失真相反相，从而相互抵消。预失真技术可以分为RF预失真和数字基带预失真两种类型：RF预失真一般采用模拟电路来实现，具有电路结构简单、成本低、易于高频和宽带应用等优点。但模拟电路的精度和稳定性相对较差，可能无法完全抵消功率放大器的非线性失真。数字基带预失真则通过数字信号处理技术在基带部分完成信号预失真的功能，这种技术具有适应性强、可以通过增加采样频率和增大量化阶数来抵消高阶互调失真等优点；数字基带预失真技术能够更精确地补偿功率放大器的非线性失真，因此在现代无线通信系统中得到了广泛应用。（3）前馈。前馈技术是一种基于“反馈”概念

的线性化技术。它通过耦合器、衰减器、合成器、延时线、功分器等组件组成两个环路，分别抵消载波信号和失真信号。前馈技术具有超线性化、频带宽的特点，能够显著提高功率放大器的线性度。然而，前馈设备的价格昂贵，需要辅助的误差放大器和复杂的控制电路，并且体积庞大，因此在实际应用中受到一定限制^[2]。

3 线性化技术在无线电广播发射机中的应用

3.1 功率回退在无线电广播发射机中的应用

功率回退作为一种简单而有效的线性化技术，在无线电广播发射机中具有一定的应用场景。（1）在无线电广播发射机中，特别是在某些特定频率段的广播传输中，对信号的线性度要求极高。这是因为非线性失真可能会产生谐波和互调产物，这些不希望的频率分量可能会干扰相邻频道，影响广播的接收质量。在这种情况下，功率回退技术通过降低功率放大器的输入功率，使其工作在远低于饱和点的区域，从而有效减少非线性失真。（2）功率回退的实现相对简单，不需要复杂的电路或算法，这使得它在一些对成本敏感或技术实现难度较高的场合中具有吸引力。在无线电广播发射机中，可以通过调整输入信号的幅度或改变功率放大器的偏置条件来实现功率回退。（3）尽管功率回退会导致功率放大器的效率降低，但在某些对线性度要求极高而对效率要求相对较低的场合，这种折衷是可以接受的。例如，在一些低功率的广播发射机中，由于发射功率本身不大，因此功率回退带来的效率损失并不会对整体系统性能产生太大影响。（4）功率回退还可以与其他线性化技术相结合，以进一步提高功率放大器的线性度。例如，可以在功率回退的基础上加入预失真或前馈技术，以实现非线性失真的更精细补偿。

3.2 预失真在无线电广播发射机中的应用

预失真技术，作为一种先进的线性化手段，在无线电广播发射机中扮演着至关重要的角色。（1）在无线电广播发射机中，预失真技术的应用尤为广泛。这是因为广播信号往往包含多个载波，且信号的峰均比（PAPR）较高，这对功率放大器的线性度提出了极高的要求。传统的线性化技术，如功率回退，虽然简单有效，但会牺牲大量的效率。而预失真技术，则能够在保持较高效率的同时，实现优异的线性度。（2）预失真电路的设计是预失真技术的关键。它需要根据功率放大器的具体非线性特性，如增益压缩、相位失真等，进行精确建模和仿真。通过调整预失真电路的参数，如幅度和相位的响应特性，可以使得预失真电路的输出信号与功率放大器的非线性失真相互抵消，从而达到线性化的目的。（3）

在多载波传输的场合，预失真技术能够有效抑制载波间的互调干扰，提高信号的频谱纯度。同时，对于高峰均比的信号，预失真技术能够避免功率放大器进入非线性区，减少信号的削峰和失真，保证信号的完整性和传输质量。（4）预失真技术还具有良好的适应性和可扩展性。随着数字信号处理技术的不断发展，数字基带预失真技术逐渐成为主流。它不仅能够实现更高精度的预失真处理，还能够通过软件升级来适应不同功率放大器的非线性特性，降低了硬件成本和维护难度^[3]。

3.3 前馈在无线电广播发射机中的应用

前馈技术，作为一种高精度的线性化手段，因其超线性化和频带宽的显著特点，在无线电广播发射机中占据了重要的地位。（1）在无线电广播发射机中，前馈技术通过构建两个环路——主环路和误差环路，来实现对功率放大器非线性失真的精确补偿。主环路负责传输原始信号，而误差环路则用于检测并放大功率放大器的失真信号。随后，通过精确的相位和幅度调整，将误差信号与主信号在合成器中相减，从而有效抵消功率放大器的非线性失真。（2）前馈技术的超线性化特性使得它能够处理具有高峰均比和复杂调制方式的信号，而不会出现明显的失真或削峰现象。这对于无线电广播发射机来说至关重要，因为广播信号往往包含丰富的音频和视频信息，需要保持极高的信号质量。（3）前馈技术的应用也面临着一些挑战。首先，前馈系统的成本相对较高，需要高精度的器件和复杂的控制电路。其次，前馈系统的调试和维护也较为复杂，需要专业的技术人员进行操作。这些因素在一定程度上限制了前馈技术的广泛应用。（4）尽管如此，在对于信号质量有着极高要求的无线电广播发射机中，前馈技术仍然是一种不可或缺的线性化手段。随着技术的不断进步和成本的逐渐降低，前馈技术有望在更多领域得到应用，为无线电广播发射机的性能提升和信号质量优化做出更大的贡献。

3.4 其他线性化技术

（1）负反馈技术是一种通过反馈网络将输出信号的一部分反馈到输入端，以调节放大器工作点，从而改善线性度的技术。这种技术具有电路结构简单、实现方便的优点，但在高频和大功率应用中，反馈网络的延迟和稳定性问题可能限制其性能。（2）包络消除与恢复（EER）技术是一种将信号的幅度和相位信息分离处理的方法。在发射机中，先对信号的包络进行调制，然后通过高效率的开关模式放大器放大，最后再与恢复的相位信息合并。EER技术能够提高放大器的效率，同时保持较好的线性度，特别适用于幅度调制信号。（3）LINC技

术则是一种通过两个非线性放大器来实现线性放大的方法。它将输入信号分解为两个恒包络信号,分别由两个放大器放大,然后在输出端合并。由于每个放大器都工作在饱和状态,效率较高,而合并后的信号则保持了原始信号的线性特性。LINC技术的实现复杂度较高,但对提高放大器的效率和线性度具有显著效果。(4)在实际应用中,选择哪种线性化技术需要综合考虑多种因素,如信号的特性、放大器的类型、系统的成本、效率和性能要求等。例如,对于需要高效率和大功率放大的场合,EER和LINC技术可能更为合适;而对于对线性度要求极高,且对效率要求不是特别严格的场合,负反馈或前馈技术可能更为适用。因此,在实际应用中,需要根据具体情况进行技术选型和优化^[4]。

3.5 线性化技术的选择与优化

在无线电广播发射机中,功率放大器的线性化技术选择与优化是一个至关重要的环节。(1)功率放大器的类型是影响线性化技术选择的关键因素。不同类型的功率放大器,如A类、AB类、B类或C类放大器,具有不同的非线性特性和效率表现;在选择线性化技术时,必须充分考虑放大器的类型,以确保所选技术能够有效补偿放大器的非线性失真。(2)工作频率也是选择线性化技术时需要考虑的重要因素。在某些高频段,如微波频段,一些线性化技术可能会因为电路寄生效应或器件限制而变得不适用。因此,在选择线性化技术时,必须确保其在所需工作频率范围内具有良好的性能。(3)信号特性也是选择线性化技术时不可忽视的因素。例如,对于具有高峰均比的信号,可能需要选择能够有效处理这

类信号的线性化技术,如预失真或前馈技术。(4)成本预算也是选择线性化技术时需要考虑的重要因素。不同的线性化技术具有不同的实现成本和复杂度。在满足信号传输质量和效率要求的前提下,应尽量选择成本较低、实现较简单的线性化技术。(5)在优化线性化技术时,可以通过调整电路参数、改进算法或采用先进的数字信号处理技术来提高线性化效果。同时还可以考虑将多种线性化技术相结合,以充分利用各自的优势,实现更佳的线性化性能^[5]。

结语

无线电广播发射机功率放大器的线性化技术是提高信号传输质量和效率的重要手段。通过深入研究和应用各种线性化技术,可以有效解决功率放大器的非线性问题,为无线电广播事业的发展提供有力支持。未来,随着无线通信技术的不断进步和创新,功率放大器的线性化技术也将迎来更加广阔的发展前景。

参考文献

- [1]段树春.调频广播发射机播出系统的自动监测和控制研究[J].科技传播,2020,12(15):95-96.
- [2]张红玉.调频广播发射机的故障处理与维护[J].西部广播电视,2020(11):212-213.
- [3]段树春.调频广播发射机播出系统的自动监测和控制研究[J].科技传播,2020,264(15):114-115.
- [4]滕基友.浅述吉兆3kW调频广播发射机原理及维护[J].人文之友,2019(15):10-11.
- [5]孟玲梅.调频广播发射机技术特点及发展趋势探讨[J].中外交流,2019(5):28-29.