

学校编码: 10384

分类号____密级____

学号: 23320071152186

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

DTMB 数字电视发射机的预失真技术的研究

The Research of Predistortion in DTMB Digital TV

Transmitter

杨小力

指导教师姓名: 石江宏 副教授

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2010 年 4 月

论文答辩时间: 2010 年 月

学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密 ()，在年解密后适用本授权书。
2. 不保密 ()

(请在以上相应括号内打“√”)

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

在数字电视发射系统中,发射机末级功率放大器对系统的性能和设备的可靠性有着重要的影响。高功率放大器因其具有非线性特性,这种非线性将会造成信号的畸变,使信号的输出频谱发生变化,产生带内失真和带外干扰。因此,在高质量的发射系统中一般采取线性化技术补偿功放的非线性对数字电视信号的影响。另外由于功放具有记忆效应,即功放的输出不仅依赖于当前的输入信号也与过去的输入信号有关,为了实现更好的校正功能,还必须研究带有记忆功能的数字基带预失真技术。

本文以中国数字电视地面广播传输标准的 TDS-OFDM 系统为仿真平台,采用数字预失真技术对数字电视发射机的功率放大器进行线性化。目前针对数字电视激励器所用的预失真方法大多是基于查找表方式的,因此本文在对预失真技术进行深入研究的基础上,重点研究了基于查询表的预失真方法,最后着重研究了有记忆非线性预失真。针对记忆功放,本文研究了基于记忆多项式的预失真技术、频率预失真技术、二维 LUT 索引技术,并在基本二维 LUT 索引技术的基础上提出一种改进的二维 LUT 索引技术来改善功放的非线性和记忆效应。仿真表明,该方法能有效地对放大器产生的 AM-AM、AM-PM 失真进行补偿,并将功放的邻道功率抑制比 (ACPR) 改善 25dB 左右。文章还从查找表更新方式上进行分析,重点改进了内插算法,并将内插算法和二维 LUT 索引技术相结合,有效地提高了收敛速度。

关键词: TDS-OFDM; 查找表; 高功率放大器; 数字预失真; 记忆效应

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

In the digital television transmission system, the power amplifier has a significant effect to the system reliability and performance. It is well known that HPAs(High Power Amplifiers)are inherently nonlinear devices which affect the communication systems directly, whose nonlinear distortions result in spectrum expansion and adjacent channel interference, then worsen the bit error rate. Therefore, the linearity technique is used to overcome the effects of the power amplifier nonlinearity on the digital television signal. In addition, as power amplifier with memory effect, that the output of HPAs depends not only on the current input, but also on some historical inputs, memory predistortion technique need research to achieve better correction.

In this paper, a design based on the character of TDS-OFDM is performed for improving the linearity of the digital television transmitter power amplifier. At present, LUT(look-up table) based predistortion method is mostly used in digital television exciter system. Therefore, we focus on the LUT based predistortion technique in this paper. We separately proposed LUT based predistortion for both memoryless HPA and memory HPA. Then we concentrate our analysis on the distortions mutually caused by nonlinearity and memory. Memory polynomial predistortion method, the method of predistortion in frequency domain, 2D LUT indexing method all have been researched in this paper. On the basis of the previous 2D LUT indexing method, an improved 2D (two-dimensional) LUT indexing method for HPA predistortion with memory is proposed. Results of simulation show that the proposed method can correct the AM/AM and the AM/PM distortions that may exist in the power amplifier. The 2D LUT techniques can also increase ACPR of those power amplifiers more than 25dB. The article also proposed modified algorithm in update lookup table address to get more fast speed and more accurate convergence result.

Key Words: TDS-OFDM ; predistortion; HPA; LUT; memory effects

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录	
第一章 绪论	1
1.1 课题的研究背景与意义.....	1
1.2 国内外发展的现状和态势.....	1
1.2.1 地面数字电视的发展现状和态势.....	1
1.2.2 预失真线性化技术的发展现状和态势.....	3
1.3 论文的主要研究工作及结构安排.....	4
第二章 功率放大器的非线性特性分析	6
2.1 功率放大器的非线性分析.....	6
2.1.1 谐波失真.....	6
2.1.2 互调失真.....	6
2.1.3 AM/AM 和 AM/PM 特性.....	8
2.2 功率放大器的记忆效应.....	9
2.2.1 记忆效应的定义及表现.....	9
2.2.2 记忆效应产生的原因.....	10
2.3 功放线性化技术.....	12
2.3.1 功率回退技术.....	12
2.3.2 负反馈技术.....	13
2.3.3 前馈技术.....	14
2.3.4 LINC 法.....	15
2.3.5 预失真线性化技术.....	15
2.3.6 线性化技术比较.....	17
2.4 本章小结.....	17
第三章 DTMB 发射端系统介绍及仿真	19
3.1 DTMB 数字电视激励器原理与技术指标.....	19
3.2 DTMB TDS-OFDM 系统.....	20
3.2.1 DTMB 发送系统.....	20
3.2.2 TDS-OFDM.....	22
3.3 DTMB 发送端信号仿真.....	23
3.4 本章小结.....	24
第四章 无记忆功放预失真算法仿真及分析	26
4.1 无记忆功率放大器模型.....	26
4.1.1 无记忆多项式模型.....	26
4.1.2 Saleh 模型.....	27
4.1.3 Rapp 模型.....	28
4.1.4 Ghorbani 模型.....	28
4.2 查询表预失真技术.....	29

4.3	基于查找表预失真技术的关键技术.....	30
4.3.1	查找表地址产生方案.....	30
4.3.2	查找表更新策略分析及改进.....	32
4.4	基于 DTMB 的查找表预失真技术仿真.....	35
4.4.1	基于极坐标技术的查找表技术的仿真.....	35
4.4.2	LUT 内插算法仿真分析.....	37
4.5	本章小结.....	42
第五章 DTMB 系统的记忆功放预失真算法设计.....		43
5.1	有记忆模型.....	43
5.1.1	Volterra 级数模型.....	43
5.1.2	简化的 Volterra 级数模型.....	44
5.1.3	Hammerstein 模型和 Wiener 模型.....	45
5.2	记忆多项式预失真技术.....	46
5.3	二维 LUT 预失真技术.....	47
5.3.1	预失真器结构.....	47
5.3.2	二维 LUT 索引值划分算法分析及改进.....	49
5.3.3	基于二维 LUT 的频率预失真技术.....	51
5.3.4	二维 LUT 内插算法.....	53
5.4	DTMB 系统的有记忆预失真算法仿真.....	54
5.4.1	记忆多项式预失真技术的仿真及分析.....	54
5.4.2	二维 LUT 预失真技术仿真及分析.....	56
5.4.3	基于二维 LUT 频率预失真算法仿真及分析.....	59
5.4.4	二维 LUT 内插法算法仿真及分析.....	60
5.5	本章小结.....	62
第六章 总结与展望.....		64
6.1	本论文工作总结.....	64
6.2	后期工作展望.....	65
参考文献.....		66
致谢.....		71
攻读硕士学位期间发表的论文及所做工作.....		73

Contents

Chapter1 Preface	1
1.1 Research Background and Meaning	1
1.2 Research Status	1
1.2.1 Development Strategy of Digital TV	1
1.2.2 Development Strategy of predistortion	3
1.3 Dissertation Structure	4
Chapter2 Power Amplifier and Linearizing Technology	6
2.1 Non-linear Distortion of Power Amplifier	6
2.1.1 Harmonic Distortion	6
2.1.2 Intermodulation Distortion	6
2.1.3 The Characteristics of AM/AM and AM/PM	6
2.2 Memory Effects of Power Amplifier	9
2.2.1 Definition and Performance of Memory Effect	9
2.2.2 Causes of Memory Effect	10
2.3 The Linearization Indicators of Power Amplifier	12
2.3.1 Power Back-off Technique	12
2.3.2 The Linearizing Technology Negative Feedforward	13
2.3.3 The Linearizing Technology about Feedforward	14
2.3.4 Linear Amplification with Non-Linear Components	15
2.3.5 Digital Predistortion	15
2.3.6 Comparison of Linearizing Technique	17
2.4 Summary	17
Chapter3 Research and Simulation of the DTMB system at the Transmitter	19
3.1 Principles and Technical Indicators of DTMB Digital Television Exciter	19
3.2 DTMB TDS-OFDM System	20
3.2.1 DTMB Transmitter System	20
3.2.2 TDS-OFDM	22
3.3 Simulation of TDS-OFDM	23
3.4 Summary	24
Chapter4 The Algorithm Analysis of Memoryless Predistortion	26
4.1 Memoryless Model	26
4.1.1 Memoryless Polynomial Model	26
4.1.2 Saleh Model	27
4.1.3 Rapp Model	28

4.1.4	Ghorbani Model	28
4.2	LUT Based Predistortion Techniques	29
4.3	Key Technologies of LUT based Predistortion	30
4.3.1	Look-up Table Address Generator Program	30
4.3.2	Look-up Table Update Policy Analysis and Improvement	32
4.4	Simulation of DTMB-based LUT Predistortion Techniques	35
4.4.1	Simulation of Polar-based LUT Predistortion Techniques	35
4.4.2	Simulation of LUT Interpolation Algorithm	37
4.5	Summary	42
Chapter5	Memory predistortion Algorithm of DTMB System	43
5.1	Memory Model	43
5.1.1	Volterra Series model	43
5.1.2	Simplified Volterra Series Model	44
5.1.3	Hammerstein Model and Wiener Model	45
5.2	Memory Polynomial Predistortion Technique	46
5.3	Research of 2D LUT Based Predistortion Techniques	47
5.3.1	Predistorter Structure	47
5.3.2	2D LUT Indexing Algorithm Analysis and Improvement	49
5.3.3	2D LUT Based Predistortion Technique on Frequency Domain	51
5.3.4	2D LUT Interpolation Algorithm	53
5.4	Simulation of DTMB System with Memory Predistortion	54
5.4.1	Simulation of Memory Polynomial Predistortion Technique	54
5.4.1	Simulation of 2D Index Value Partitioning Algorithm	56
5.4.2	Simulation of the 2D LUT Based Predistortion Algorithm on Frequency Domain	59
5.4.3	Simulation of 2D LUT Interpolation Algorithm	60
5.5	Summary	62
Chapter6	Conclusion and Prospect	64
6.1	Summary of this Dissertation	64
6.2	Future Work	65
	Reference	66
	Acknowledgement	71
	Published Paper and Research during Pursuing Master Degree	73

第一章 绪论

1.1 课题的研究背景与意义

数字电视广播技术的发展，引发了广播电视业界的一场技术革命。广播电视从黑白电视、彩色电视时代，正进入数字化时代。

随着计算机技术、通讯技术的飞速发展，全世界广播电视界都在进行数字电视的研究和使用。目前已有美国高级电视系统委员会（ATSC）、欧洲数字视频地面广播（DVB-T）和日本地面综合业务数字广播（ISDB-T）三个国际电联批准的地面数字电视广播传输国际标准。1999 年我国设立数字电视研发及产业化并成立国家数字电视领导小组，明确宣示自主制定技术标准。针对我国数字电视应用的具体标准，2006 年推出了我国数字电视地面标准 DTMB。国家广电总局计划在 2015 年在国内全面完成由模拟电视向数字电视的更新换代。

数字电视由于其能提供高清晰度的电视节目以及可点播等特点，已经慢慢得到电视用户的接受，但是如果要进行更广泛的普及，特别是得到广大农村地区的支持，则需要降低数字电视整体产业的成本。在数字电视发射系统中，发射机末级功率放大器对系统的性能和设备的可靠性有着重要的影响，而数字电视系统一般都采用 OFDM 等高效调制方式，因此需要功率放大器具有高的线性度，否则会产生互调失真，在带外会造成邻频干扰，但是购买更高档的功率放大器将会大大提高发射机的成本，所以选择何种技术来进行功率放大器线性化的意义重大。

要解决这样的非线性问题，有一种方法是采用功率回退法，但这会使得电视发射机的效率变低，提高电视发射机的成本^[1]。为了解决这一问题，目前在电视发射机的激励器中，一般都采用预失真技术，通过对输入信号的预畸变补偿功率放大器的振幅和相位信息，从而达到线性化的目的。

1.2 国内外发展的现状和态势

1.2.1 地面数字电视的发展现状和态势

数字电视广播相比于传统的模拟方式而言具有许多明显的优点，例如更高的

频谱效率，更清晰的图象，更多样的服务等。因而电视广播业务的数字化研究得到了广泛的关注。

不同的数字电视地面广播标准，最主要的区别是在传输信道采用了不同的信道编码与调制技术。目前国际上常用的 DTTB 标准有三种：美国的 ATSC 标准，欧洲的 DVB-T 标准和日本的 ISDB-T 标准。ATSC 标准采用单载波 8VSB 编码调制技术；DVB-T 和 ISDB-T 都采用多载波 COFDM 调制技术。

我国进行的地面数字电视标准研究和制定过程是紧张而漫长的。2006 年 5 月，为了配合地面数字电视国标的正式颁布，国家广电总局组织大规模测试，测试包括实验室测试和现场测试。测试表明：融合标准无论是单载波模式还是多载波模式，包括实验室和现场测试在内的绝大多数测试项目上性能指标都超过了现有国际地面数字电视标准，个别指标还需要进一步改进。总的来说，地面数字电视传输标准基本能够满足我国开展地面数字电视广播的要求。2006 年 8 月 18 日，数字电视地面多媒体广播（Digital Television Terrestrial Multimedia Broadcast, DTMB）方案被正式获批为强制性国标 GB20600-2006^[2]，又称“数字电视地面广播传输系统帧结构、信道编码和调制”。2007 年 8 月开始强制性实施。香港无线电视台、亚洲电视台和中央电视台相继于 2007 年 12 月 31 日正式开播和 2008 年 1 月 1 日试播国标 DTMB 数字电视节目，拉开了中国地面数字电视传输标准的实施序幕。国标 DTMB 传输系统采用了创新的时域同步正交频分复用（TDS-OFDM）单/多载波调制方式，结合了时域和频域的信道同步和均衡技术，并采用巧妙的帧体数据结构，在多项技术上取得了创新突破，是真正完整的自主知识产权创新体系。

经过近十几年的努力，数字电视地面广播所必需的数字电视发射机技术，也有了飞速的发展。在整个数字电视产业链中，无线数字电视发射系统发射处于产业链的最前端，也是技术含量最高、技术难度最大、带动作用最大的一环。与模拟电视发射机不同，用做数字电视广播的发射机的输入信号不是通常的视频和音频节目信号，而是将音频、视频信号按 MPEG2 标准，经过压缩、编码，并与其他数据信息复用打包后的传输码流（TS 流）。输入的 TS 流，经过信道编码与调制单元，形成符合一定制式标准的模拟中频信号，然后上变频至发射频道，经射频放大后发送，信号处理采用了全数字技术。

我国数字电视发射机的研制开始于 1996 年,北京广播器材厂于 1998 年 9 月中旬研制成功了 2KW 单电子管数字电视发射机,此后,北京广播器材厂先后研发成功了 2KW 全固态和 3~5KW 单电子管数字电视发射机,并且建立实验网。

1.2.2 预失真线性化技术的发展现状和态势

随着无线通信技术的不断发展和社会需求的日益增长,对通信系统的传输质量和容量的要求也越来越大。现代通信系统为了追求更高的数据速率和频谱效率,更趋向于采用非恒定包络的调制方式,这使得信号的峰均比(PAPR)进一步提高。这就对射频功率放大器的线性度提出了很高的要求。加上现代通信系统对功率放大器的效率提出了更高的要求,以及功率放大器本身有限的线性度,这就使功率放大器线性化技术成为无线通信系统的关键技术之一。

早在上个世纪二十年代,贝尔实验室工作人员发明了前馈和负反馈技术并将其应用到放大器设计中,有效地减少了放大器失真,但其主要着眼点是器件本身,因此工作的频率和线性度都较低。后来 D.C.Cox 改进了负反馈线性化技术,提出了 Cartesian 负反馈^[3],使负反馈技术曾经在一段时间内基本代替了前馈线性化技术。线性化技术中非常重要的一种方法就是数字预失真技术,实用的数字预失真实现方法有两种:一是基于多项式方式,用多项式拟合补偿增益曲线,这种方法由于参数较少,所以容易初始化和实时修正,但对强非线性的校正误差较大且实现复杂度较高;二是基于查找表方式,即构造预失真查找表,根据查找表对输入信号进行处理,基于查找表的预失真技术可以对任意增益特性的功放均较好的完成线性补偿,并可以方便地使用高速信号处理器件实现。

查询表技术是目前预失真技术的流行方案之一。本论文的 4.2 小节将对查找表的发展历程进行详细介绍。

近年来,现代通信系统正朝着宽频带、多载波的方向发展,在 WCDMA、CDMA2000 和 OFDM 等宽带通信系统中,放大器的记忆效应明显,无记忆模型无法准确描述其特性,因此,对功放记忆效应的研究已逐渐引起重视,功放建模技术的研究重点也正在转向有记忆模型。而从本文后面的仿真结果可以看到无记忆预失真技术不能很好的校正记忆放大器的非线性失真。Volterra 模型能完整地表达弱非线性动态系统。广泛采用的多项式模型的记忆预失真器可以看作是

Volterra 模型的一种特例。文献^[4,5,6]提出了基于记忆多项式的预失真器,此类预失真器易于补偿深度压缩的功放特性。但上述基于多项式的预失真器对记忆深度有所限制,所以补偿功放非线性的能力也有限,如果增加记忆深度,又增加了实现难度。另外,比较常见的还有 Hammerstein 模型及其相应的预失真方法^[7]。数字预失真技术的另一重要实现分支是查找表(LUT)法,文献[8]提出了一种二维 LUT 预失真算法,该方法无论是矫正带内信号的畸变,还是抑制带外频谱的泄漏,都有较好的效果,但其性能还有待改善。因此如何对这种算法进行改进,从而设计出性能更为优良的二维 LUT 预失真方案是本文将重点解决的一个问题。

1.3 论文的主要研究工作及结构安排

本文的主要内容是对 DTMB 数字电视发射机中的功率放大器线性化技术的研究。

论文主体部分总共分为六章,各部分内容安排如下:

第一章介绍了 DTMB 标准的制定过程和发射机的研究现状,论述了功率放大器线性化技术研究的必要性和重大实际意义,并阐述了当前主要的线性化技术。

第二章从各方面对功率放大器的非线性特性进行了分析。包括由功放引起的一系列非线性失真、记忆效应理论及各种功放线性化技术方案。最后通过比较各种线性化方案,明确了数字预失真技术是解决放大器非线性和记忆效应问题最有效的技术。

第三章介绍了数字电视发射机的结构框架,指出了其重要组成部分激励器的模块组成和技术指标。接着论述了 DTMB 发射端系统的基本原理,仿真得到了 TDS-OFDM 信号源。并根据 TDS-OFDM 信号的特性,分析了 TDS-OFDM 系统具有的特点以及线性化的必要性。

第四章讨论了 DTMB 发射端系统的无记忆功放预失真。首先给出常用的几种无记忆功放模型,对当前的各种查询表(LUT)预失真方法进行了比较和总结,重点研究并仿真了基于查询表的极坐标法,针对查询表地址索引方式查询表更新策略进行了深入研究和分析,并对内插法进行了改进。

第五章最重要的章节。针对功放的记忆性,研究了 DTMB 发射端系统的有

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库