

学校编码：10384

分类号____密级____

学号：23320061152603

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 WCDMA 标准的数字直放站 Doherty 功率放大器设计

The Design of Doherty Power Amplifier in Digital Repeater
Based on WCDMA Standard

方 志 远

指导教师姓名：汤 碧 玉 高级工程师

石 江 宏 副教授

专 业 名 称：通信与信息系统

论文提交日期：2009 年 月

论文答辩时间：2009 年 月

学位授予日期：2009 年 月

答辩委员会主席：_____

评 阅 人：_____

2009 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

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

随着第三代无线通信技术的发展,采用多载波调制技术的 WCDMA 信号,具有较高的峰均比。以功率回退设计的 A 类或 AB 类功率放大器难以满足在高峰均比 (PAR) 条件下的效率要求,造成了能量的巨大浪费,而且导致了严重的基站或直放站热管理问题,影响了系统性能,增加了制作成本。因此,研究具有低功耗、高效率的功率放大器是新一代基站或直放站的关键技术之一。近几年,随着数字预失真技术 (DPD, digital predistortion) 的发展,功率放大器的线性指标得到有效改善,将结构简单、效率高的 Doherty 功率放大器应用于基站或直放站成为当前研究的热点。

本文深入研究了 Doherty 功率放大器的结构特点,以及工作原理;针对 WCDMA 数字直放站功率放大器的性能指标要求,以 Agilent 公司提供的 ADS 软件 (ADS, Advanced Design System) 为仿真平台,采用 Freescale 公司的 MRF6S21140 LDMOS 管,设计了一款满足高效率要求的 Doherty 功率放大器。

主要工作包括如下几个方面:首先,针对 MRF6S21140 LDMOS 管的性能特点,对功率放大器的偏置网络电路、匹配网络、负载调制网络等进行优化设计;其次,采用在输出匹配中综合考虑补偿线网络的设计方案,通过加入适当长度的相位补偿线,解决了在小功率信号输入条件下的功率泄漏问题,提高 Doherty 功率放大器的性能指标;再次,借助 ADS 软件提供的 3GPP 基站功率放大器测试模型,对 Doherty 功率放大器的性能进行仿真测试;最后制作了电路模块并验证分析。

实际测量结果表明: Doherty 功率放大器的效率达到设计要求,在输出功率 43dBm 时,效率达到 22.3%,输出功率 47dBm 时,效率达到 38%,饱和输出时,效率达到 48%。平均功率增益超过 10dB,能够满足 WCDMA 数字直放站对于高效功率放大器的应用要求。

关键字: 数字直放站, Doherty 功率放大器, WCDMA

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

With the development of 3G technology, the WCDMA signal is characterized with a higher PAR, in which multi-carrier modulation is adopted. The power amplifiers, class A and AB, using power backoff scheme are difficult to meet the efficiency requirement under the condition of a high PAR, which cause a huge energy dissipation while producing a lot of heat. What's more, it degrades the system performance and raises the production cost. Therefore, enhancing the efficiency of power amplifier is one of the key points of 3G based station and repeater. In recent years, with the development of Digital Predistortion Technology (DPD), the linearity of power amplifier has been improved. Then the study and application of Doherty power amplifier in WCDMA digital repeater becomes a hot spot.

This paper studies the structure characteristic and working principle of Doherty power amplifier then designs the Doherty power amplifier according to the model of MRF6S21140 LDMOS and adopts the ADS software developed by Agilent company to be the simulation software. Main work including: firstly, optimal designs for bias circuit design, matching network design, and the load modulation are given. Secondly, a design strategy with a comprehensive consideration of offset line network in output match is adopted. Meanwhile, an offset line with appropriate length is added, which offers a solution to the problem of power leakage and improves the performance of Doherty power amplifier. Thirdly, the simulation analysis is presented which is based on WCDMA 3GPP software test platform offered by ADS. Finally, hardware modules are developed to verify the system.

The test result shows that, the output power added efficiency of Doherty power amplifier covers the basic needs, when the output power is 43dBm, the efficiency reaches to 22.3%, and when the output power is 47dBm, the efficiency reaches to 38%, at last, under full output power, the efficiency reaches a peak of 48%. With the gain of power amplifier exceeds 10dBm, the system fully adapts the application requirement

for high efficient power amplifier in WCDMA standard.

Keywords: Digital Repeater; Doherty Power Amplifier; WCDMA

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目录

摘 要	I
Abstract	III
第 1 章 绪论	1
1.1 课题研究的背景	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 论文研究目的和意义	3
1.4 本文的内容和结构	3
第 2 章 Doherty 功率放大器原理介绍	4
2.1 功率放大器的主要技术指标	4
2.1.1 功率放大器的频率范围	4
2.1.2 功率增益	4
2.1.3 增益平坦度	5
2.1.4 1dB 压缩点	5
2.1.5 效率	5
2.1.6 幅度失真(AM-AM)和相位失真(AM-PM)	6
2.1.7 互调失真(IMD)	8
2.1.8 邻信道泄漏率 (ACLR)	10
2.2 功率放大器分类	11
2.2.1 A 类功率放大器	12
2.2.2 B 类功率放大器	12
2.2.3 AB 类功率放大器	12
2.2.4 Doherty 功率放大器	13
2.3 Doherty 功率放大器的原理	13
2.3.1 有源负载牵引技术	14
2.3.2 Doherty 放大器的工作原理	15
2.3.3 Doherty 放大器的工作状态	17
2.4 小结	19

第 3 章 Doherty 功率放大器设计	20
3.1 Doherty 功率放大器的指标	20
3.2 仿真平台介绍	20
3.3 Doherty 功率放大器仿真设计	21
3.3.1 直流分析	21
3.3.2 负载牵引 (LoadPull) 和源牵引 (SourcePull)	22
3.3.3 偏置电路设计与匹配网络设计	28
3.3.4 稳定性分析	43
3.3.5 负载调制网络设计	45
3.3.6 载波放大器性能测试	46
3.3.7 Doherty 功率放大器性能测试	48
3.3.8 Layout 设计	50
3.4 小结	53
第 4 章 Doherty 功率放大器验证测试	55
4.1 3GPP 模板仿真测试	55
4.2 WCDMA 信号硬件测试	62
4.2.1 Doherty 功率放大器效率与增益测试	64
4.2.2 WCDMA 信号测试	67
4.3 小结	69
第 5 章 总结与展望	70
5.1 本论文工作总结	70
5.2 后期工作展望	71
参考文献	72
致 谢	75
攻读硕士学位期间发表的论文及所做工作	77

Content

Chapter1 Preface	1
1.1 Background	1
1.2 Introduction.....	2
1.3 Research Meaning.....	3
1.4 Structure of The Paper	3
Chapter2 The Concept of Doherty Power Amplifier.....	4
2.1 The Main Specifications of Power Amplifier.....	4
2.1.1 Frequency Range	4
2.1.2 Gain	4
2.1.3 Gain Flatness	5
2.1.4 1dB Compression Point	5
2.1.5 Efficiency.....	5
2.1.6 AM-AM and AM-PM	6
2.1.7 Intermodulation Distortion(IMD).....	8
2.1.8 Adjacent Channel Leakage Ratio(ACLR).....	10
2.2 Categories of Power Amplifier.....	11
2.2.1 Class A	12
2.2.2 Class B	12
2.2.3 Class AB.....	12
2.2.4 Doherty Power Amplifier.....	13
2.3 Principle of Doherty Power Amplifier	13
2.3.1 Active Load Pull Technique	14
2.3.2 Principle	15
2.3.3 State of Doherty Power Amplifier	17
2.4 Summary.....	19
Chapter3 The Design of Doherty Power Amplifier	20
3.1 Design specifications	20

3.2	The Introduction of Simulation platform	20
3.3	Simulation Design of Doherty Power Amplifier	21
3.3.1	DC Analysis	21
3.3.2	LoadPull and SourcePull	22
3.3.3	Design of Bias Circuit and Match Circuit	28
3.3.4	Stability Analysis	43
3.3.5	Design of Load Impedance modulation	45
3.3.6	Carrier Amplifier Test	46
3.3.7	Performance Test of Doherty Power Amplifier	48
3.3.8	Layout Design	50
3.4	Summery	53
Chapter4 Test of Doherty Amplifier		55
4.1	3GPP Template Simulation Testing	55
4.2	Physical Testing	62
4.2.1	Efficiency and Gain Test	64
4.2.2	WCDMA Signal Test	67
4.3	Summery	69
Chapter5 Conclusion and Prospect		70
5.1	Summary of this Dissertation	70
5.2	Future Work	71
References		72
Thanks		75
Papers Published During Studying Master		77

第1章 绪论

1.1 课题研究的背景

移动通信经过几代的发展,已成为世界各国主要的通信方式之一。全球第三代无线通信商用网络持续增加,业务日趋丰富。为提供高速率的数据业务和宽带服务,广泛采用了高效率的编码调制技术,所以系统的瞬时传输功率具有较高的峰均比(PAR)。为满足在高峰均比(PAR)条件下的线性、无失真的放大,基站的功率放大器常常工作在A类或AB类,采用功率回退的方法,通过牺牲功率放大器的效率来换取线性指标。功率放大器的工作效率仅为10%左右,绝大部分的能量以热的形式散失,不仅浪费了大量的能量,而且还带来了基站的热管理问题,影响了系统性能,增加了制作成本。

根据2009年2月份《中国联通通报》,即将在中国国内建设的WCDMA网络,首期预计完成建设77272个基站。若按照每个基站覆盖3个扇区,将需要231816个功率放大器。通过计算不难发现,对于效率仅为10%的功率放大器来说,每年因低效率而导致功率耗散所浪费的电费就高达1.8亿元,再加上额外增加的冷却系统所消耗的能量,每年浪费的电力资源至少2亿元。若功率放大器的效率提高10%,每年就可以节约电费至少两千万。

随着无线通信技术的发展和用户应用,用户对蜂窝移动通信系统的覆盖范围和信号质量的要求也越来越高,移动通信直放站以其有效性和经济性得到广泛应用。直放站作为主设备的延伸,改善网络信号质量,增强网络覆盖范围。与基站相比,直放站具有投资较少、结构简单、安装方便灵活等优点,已广泛应用于一些弱信号区域或盲区,如电梯、地下车库、宾馆、山上风景区、地铁、隧道等场所。目前,直放站已经成为无线网络优化的一种重要手段和延伸网络覆盖距离的优选方案。

当代解决功率放大器的效率问题的研究有很多,包括E类放大器(开关放大器)、包络跟踪技术(Envelope-tracking technology)、LINC技术和Doherty放大器等。Doherty放大器技术同其他几种技术相比,具有实现方法简单,成本低廉,对系统的线性影响相对较小等优点。随着数字预失真技术的发展,Doherty

放大器所带来的线性影响，完全可以通过数字预失真技术来解决。

综上所述，研究可以运用于 WCDMA 数字直放站的高效率 Doherty 功率放大器将是本文的重点内容。

1.2 国内外研究现状

关于 Doherty 功率放大器的研究可以追溯到上世纪，Doherty 功率放大器结构最早是在 1936 年由当时贝尔实验室的 W.H.Doherty 提出。最初的 Doherty 放大器由两个真空管和阻抗变换网络组成，但由于其自身线性度差的缺点，一直没有得到长足的发展。直到 21 世纪以后，随着第三代无线通信的发展，特别是随着数字预失真技术的兴起，越来越多的公司与研究机构投入到 Doherty 功率放大器的研究工作上来，为 Doherty 功率放大器的研究与发展注入了新的活力。从 IEEE 以及国内期刊关于 Doherty 功率放大器的论文的数目，如图 1-1 所示，Doherty 功率放大器已经开始成为高性能功率放大器领域中的研究热点。

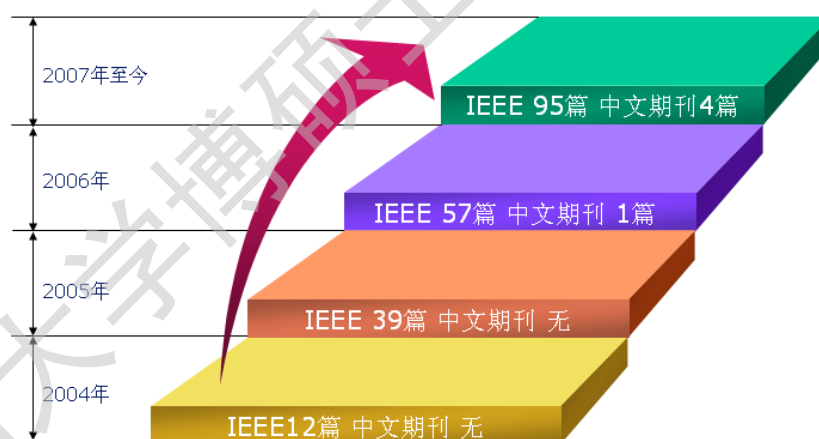


图 1-1: IEEE 与国内论文

从 2004 年开始，Doherty 功率放大器的研究进入了黄金时期，出现了多种新型的 Doherty 结构，例如，多级 Doherty 放大器模型，不对称结构的 Doherty 放大器模型等，但由于 Doherty 功率放大器本身所具有的广阔的市场价值，和经济效益，许多公司以及研究机构都对其取得的研究成果予以保留，公开的 Doherty 功率放大器研究资料较少。国内开展 Doherty 功率放大器研究的时间较晚，直到 2006 年，才陆续有高校和研究机构开始该方向的研究，目前尚处于起步阶段。

2009 年 2 月 2 日恩智浦半导体推出全球首款 TD-SCDMA 和 WCDMA 基站

用全集成 Doherty 功率放大器，至此，Doherty 功率放大器研究真正进入白热化阶段。

1.3 论文研究目的和意义

论文依托课题组承担的福建省科技重大专项《新型数字化通信系统关键技术及产业化》。研究 Doherty 功率放大器技术对于提高功率放大器效率的原理。设计满足多载波 WCDMA 制式要求的数字直放站高效率功率放大器。结合数字预失真技术改善系统线性指标，使新型的数字化直放站系统具有更好的性能。

本文基于安捷伦 (Agilent) 公司研发的射频设计软件平台 ADS (ADS, Advanced Design System)，以软件辅助设计为思想，采用开放性、标准化、高效率的设计方法，完成对 Doherty 功率放大器的设计与实现，提高了功率放大器各相关模块的准确性和可靠性。在与数字预失真相结合的前提下，达到 3GPP 组织对于 WCDMA 直放站功率放大器输出信号的要求。

1.4 本文的内容和结构

本文围绕用于 WCDMA 数字直放站的 Doherty 功率放大器设计为研究重点，分析功率放大器的性能指标，研究 Doherty 功率放大器的工作原理。借助 ADS 软件设计平台，对 Doherty 功率放大器的偏置电路、匹配网络、阻抗调制网络等进行设计，并对 Doherty 功率放大器进行验证测试。全文共分为五章：

第一章引入 Doherty 功率放大器研究的背景与现状，提出了本文研究的目的和意义。

第二章介绍衡量功率放大器性能的各项技术指标，以及 Doherty 功率放大器的工作原理。

第三章设计基于 WCDMA 标准的数字直放站 Doherty 功率放大器。

第四章验证测试 Doherty 功率放大器的各项性能指标。

第五章总结全文的工作，归纳本文的创新点，并提出下一步工作的设想。

第2章 Doherty 功率放大器原理介绍

理想的功率放大器是为射频载波信号提供完全透明的传输通道,对工作频带内任意频点的输入信号,在全动态范围内实现固定比率的幅度放大、稳定的相位偏移以及不变的时间延迟,同时不产生任何其他分量的信号成分。但由于实际功率放大器传输函数的非线性,使得功率放大器的输出中不仅包含有载波成分,而且还存在着谐波、杂散、互调失真分量等其他信号成分,同时放大器的增益、相移以及群时延等指标还会随着信号的频率、幅度、环境温度、器件老化等因素发生变化^[6]。

为了对功率放大器的性能直观与全面的描述,射频工程师提出了一系列描述功率放大器性能的参数指标,包括功率放大器的工作频率、功率增益、效率、增益平坦度、1dB 压缩点、幅度失真 (AM-AM)、相位失真 (PM-AM)、邻信道泄漏率 (ACLR) 等。

本章节以功率放大器的性能为主要研究背景,引入并介绍 Doherty 功率放大器工作原理。

2.1 功率放大器的主要技术指标

2.1.1 功率放大器的频率范围

功率放大器的频率范围指放大器的工作频率范围。对于 WCDMA 信号来说,工作频率为 2100MHz~2170MHz^[12]。实际中功率放大器的工作频率一定要大于定义的信号的工作频率范围。因此,设计的 Doherty 功率放大器的频率范围是指包含 WCDMA 信号的工作频率 (2110MHz~2170MHz) 的频率范围。

2.1.2 功率增益

功率增益是指功率放大器功率放大倍数,以输出功率同输入功率比值来描述,通常以对数形式表示,常用单位分贝 (dB)。功率增益的定义为:

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.

厦门大学博硕士论文摘要库