

基于 ADS 的基站功率放大器仿真实现

赵景梅¹, 南敬昌¹, 袁 杰²

(1 辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105; 2 72959 部队, 山东 济南 250031)

摘 要: 为了加快功率放大器的设计并降低网络运营成本提高网络质量, 文中在详细分析基站功率放大器技术要求的基础上, 主要论述了基站功率放大器的设计参数和仿真过程, 提出了一种利用 ADS 软件进行功放仿真和设计的方法. 利用该方法对中心频率为 1960MHz 基站功放的功率增益、功率附加效率、三阶互调等参数进行了仿真和设计, 同时和测试结果进行了比较. 结果表明利用该方法设计基站功放是可行的.

关键词: 功率放大器; 基站; 仿真; 高级设计系统

中图分类号: TN722

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)02-0133-04

Simulation Implementing of Base Station Power Amplifier Based on ADS

ZHAO Jing-mei¹, NAN Jing-chang¹, YUAN Jie²

(1 School of Electrics and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China;

2 Command of 72959, Jinan 250031, China)

Abstract: In order to accelerate the design of power amplifier, reduce the network business cost and improve the quality of network. This paper, based on analyzing the technical target of base station power amplifier, mainly discusses design parameters and simulation process of base station PA. Presents a kind of method of simulating and designing PA using ADS software. Using the method to simulate and design the power gain, power additional efficiency, and third-order intermodulation of base station PA with a center frequency of 1960MHz. Meanwhile, compares simulation results with testing results. Results of comparison demonstrate that the method is feasible to simulate and design base station PA.

Key words: power amplifier (PA); base station; simulation; advanced design system (ADS)

1 引言

随着功放技术、基带处理技术与射频拉远等技术的重大突破, 基站性能大幅度提高, 现已经进入了新一代 3G 基站时代. 移动网络在实际使用过程中, 由于地形环境的影响很多基站并未达到预期的效果. 为了改善网络覆盖, 通常有三种方法^[1]: ①添加基站, 覆盖盲区; ②增设直放站, 延伸并扩大原基站信号, 以增强信号覆盖; ③在原有的网络设备基础上, 通过提高基站的发射功率扩大覆盖范围. 基站功放就是一种通过提升基站发射功率来优化网络覆盖的解决方案. 加装基站功放后, 基站输出功率、有效

覆盖面积增加, 因此覆盖一定区域的基站数量可以减少.

文中就是在这种背景要求下, 以飞思卡尔半导体的 LDMOS 晶体管 - MRF6S19060N 为例, 在 ADS 环境下仿真设计了一个应用在 1930 ~ 1990 MHz 基站的功率放大器. 基站功放属于大信号放大器, 输入功率和可控衰减范围大、三阶交调抑制比要求高等都是基站功放设计的难点. 文中针对以上问题提出了单双音信号分别输入的仿真方法并给出了设计步骤, 最后和测试结果进行了比较. 仿真结果与测试结果的一致性说明了仿真的有效性.

2 基站功率放大器的技术要求

作为优化网络信号覆盖的一种解决方案,基站功率放大器(加塔顶放大器)具有较高的实用价值.基站功放作为基站射频信号的输出必须保证其输出信号满足移动通信系统的技术规范对空中射频信号的所有技术要求.主要有以下几个方面的要求:

(1) 输出功率

输出功率应符合通信系统基站发射功率等级要求.鉴于目前国内大部分 GSM 系统基站输出功率等级为 5 级,且塔顶放大器能将噪声系数改善 6dB,因此基站功放一般也按 6dB 增益提高,把以前 5 级提高到 3 级,这样输出功率也有一定的改善.

(2) 增益

基站功率放大器的增益应能满足不同基站功率等级需要,根据上行链路中塔顶放大器的增益进行调整,以达到上下行链路的平衡.一般要求大于 6dB.

(3) 互调失真

根据 TS GSM05.05 要求,GSM 系统单载波信号满功率输出时,IMD 小于 -26dBc,用双音测试法测试,当峰值包络功率等于最大输出功率时,IMD < -26dBc.

(4) 杂散发射

GSM 系统基站功率放大器的杂散发射按 GSM05.05 技术规范要求^[2],应满足:0.9kHz~1GHz 范围内 $\leq -36\text{dBm}$;1GHz~12.75GHz 范围内 $\leq -30\text{dBm}$.因此,基站功率放大器必须具备一定的滤波功能,一方面滤除上行频带内的噪声,另一方面抑制因功率放大器非线性而产生的谐波失真分量.

(5) 端口驻波

基站功率放大器插入 BTS 后,必须不影响原系统的匹配,一般要求功率放大器输入、输出端口驻波系数小于 1.2.

3 设计功放主要特性及仿真步骤

下面是主要仿真基站功放性能参数:

(1) 转换功率增益 G_T :当放大器的输入阻抗和信号源的内阻共扼匹配时,信号源到放大器之间有最大的功率传输,此时有下式成立:

$$G_T = \frac{P_L}{P_A} \quad (1)$$

其中, P_L 为负载吸收的功率, P_A 为信号源的资用功率.用放大器的 S 参数和反射系数可表示为:

$$G_T = \frac{(1 - |\Gamma_L|^2) |S_{21}|^2 (1 - |\Gamma_S|^2)}{|(1 - S_{11}\Gamma_S)(1 - S_{22}\Gamma_L) - S_{21}S_{12}\Gamma_L\Gamma_S|^2} \quad (2)$$

而且功率增益也可直接用 S 参数仿真结果得到.

(2) 功率附加效率(PAE):功率附加效率是指射频输出功率和输入功率的差值与供给晶体管的直流功率之比:

$$\text{PAE} = \frac{P_{\text{OUT}} - P_{\text{IN}}}{P_{\text{INQ}}} \quad (3)$$

其中, P_{OUT} 为射频输出功率, P_{IN} 为射频输入功率, P_{INQ} 为直流输入功率.它既反应了直流功率转化为射频功率的能力,又反应了放大射频功率的能力^[3].

(3) 三阶互调失真(IMD3):输出功率的三阶互调分量与基波分量之比,单位为 dBc 时表示为:

$$\text{IMD3(dBc)} = P_{L3}(\text{dBm}) - P_{L1}(\text{dBm}) \quad (4)$$

同时还仿真了理想输出功率和增益压缩输出功率与输入功率的关系曲线.

在对功率放大器进行仿真之前,需要做的准备工作主要包括:确定仿真工具软件、用于仿真的功放晶体管模型、采用的电路结构和设计方法等.主要仿真步骤为^[3]:①将晶体管模型库导入到 ADS 模型库中;②根据放大器的要求和晶体管特性确定静态工作点;③进行功率放大器的电路设计,包括阻抗匹配、偏置电路和直流厄流等;④确定仿真类型和仿真参数以及 ADS 环境下的所需的一些变量;⑤对所设计电路进行仿真,然后分析这些曲线并得出结论.

4 仿真实例

本次设计实例中采用了飞思卡尔公司的 MRF6S19060N 晶体管测试板作为功率放大器,对本放大器的一些特性进行仿真,其频率范围为 1930MHz~1990MHz,工作电压为 DC28V,输出平均功率为 12W(31.08dBm),增益为 16dB.该晶体管是 LDMOS 功率管,具有增益高、输出功率大以及良好的线性度、较高的性价比和高可靠性等特点^[3],非常适合用于设计基站功率放大器.

4.1 静态工作点的确定

静态工作点仿真主要是选择放大器的工作状态,确定静态工作点.根据仿真步骤首先在 ADS 中导入飞思卡尔的 LDMOS 模型库,并调出 MRF6S19060N 模型.建立如图 1 所示的直流仿真电路图.

在晶体管的技术参数中,需要通过仿真和实际

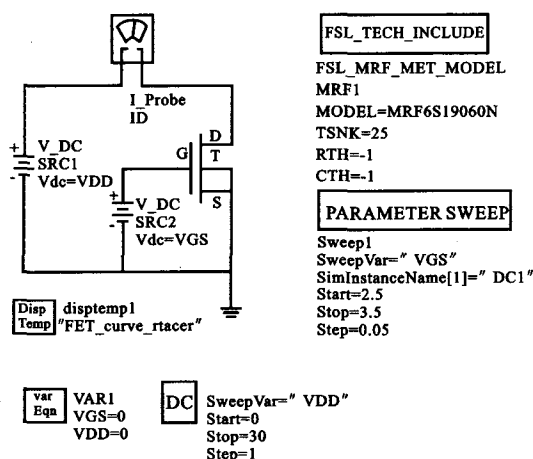


图1 确定静态工作点电路图

测试获得栅极电压. 图2为MRF6S19060N晶体管的静态工作点特性曲线. 在特性曲线中, 可以发现静态工作点即图2中m1点, $V_{DD} = 28V$, $I_{DQ} = 0.606A$, 从而得到栅极电压 $V_{GS} = 2.7V$, 这样静态工作点就确定了.

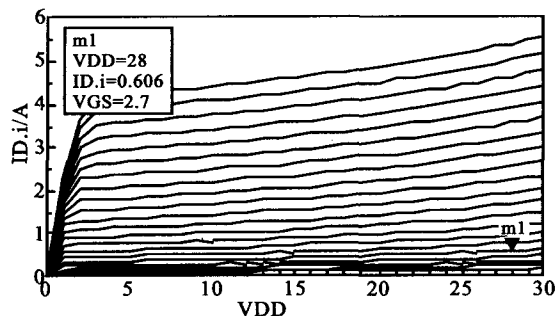


图2 晶体管直流特性曲线和静态工作点

4.2 器件的稳定性分析及增益仿真结果

放大器电路必须满足的首要条件之一是其在工作频段内的稳定性. 因为射频电路在某些工作频率和终端条件下有产生振荡的趋势. 它一般取决于晶体管的S参数和置端条件. 功率放大器的稳定性可以根据稳定因子来判定^[4], 计算公式如下:

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2 \times |S_{11} \times S_{21}|} > 1 \quad (5)$$

$$B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2 > 0 \quad (6)$$

或者满足下列公式:

$$\mu_{load} = \frac{1 - |S_{11}|^2}{|S_{22} - \text{conj} \times S_{11} \times \Delta + |S_{12} \times S_{21}|}| > 1 \quad (7)$$

$$\mu_{source} = \frac{1 - |S_{22}|^2}{|S_{11} - \text{conj} \times S_{22} \times \Delta + |S_{21} \times S_{12}|}| > 1 \quad (8)$$

如果因不稳定在输入或输出端口出现负阻时, 就可能发生振荡, 则需要采用在输入或输出端串联或并联负反馈的方法使晶体管稳定. 仿真实例中采

用ADS自带 μ_{load} 和 μ_{source} 公式满足的条件来判定功率放大器稳定性, 通过仿真可以得到器件的稳定性曲线如图3所示. 由下图仿真结果可见在工作频率范围内 μ_{load} 和 μ_{source} 都大于1满足绝对稳定的条件.

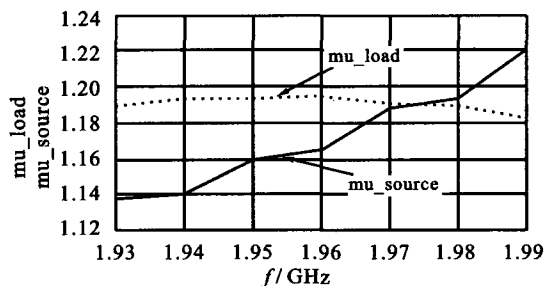
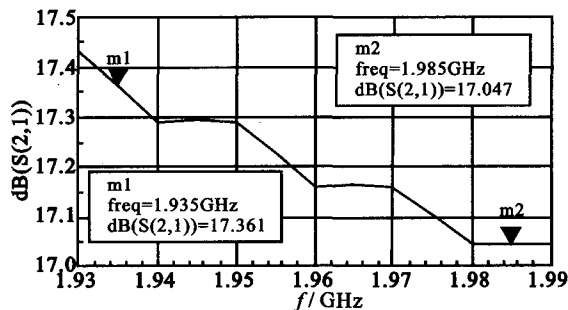


图3 稳定性分析结果

基站功率放大器的增益应能满足不同基站功率等级需要, 根据上行链路中塔顶放大器的增益进行调整, 以达到上下链路的平衡. 在高增益方案中, 信号增益可用S参数仿真 $\text{dB}(S(2,1))$ 来衡量. 图4为放大器的增益仿真结果, 能够看到在整个工作频率范围内都符合增益大于16dB的要求.

图4 S_{21} (增益)仿真结果

4.3 单音信号仿真电路与仿真曲线

单音信号仿真是扫描功率的谐波平衡仿真, 主要是得到1dB压缩点和放大器的功率附加效率曲线. 图5是单音信号仿真电路图, 这里频率设定为中心频率1960MHz.

图6和图7为由以上电路原理图仿真得到的输入输出功率关系和功率附加效率仿真结果, 能够看到当输入功率为31dBm时, P1dB即图6中的m2输出为45.686dBm. 图7给出了功率附加效率在10%~50%范围内随着输入功率的变化曲线. 由此可知输出功率及效率达到了基站功放的要求.

4.4 双音信号仿真结果

双音信号仿真是测试放大器线性度的重要手段, 它是将频率相近的射频信号输入到放大器, 利用谐波平衡法, 得出放大器输出信号中的三阶互调失

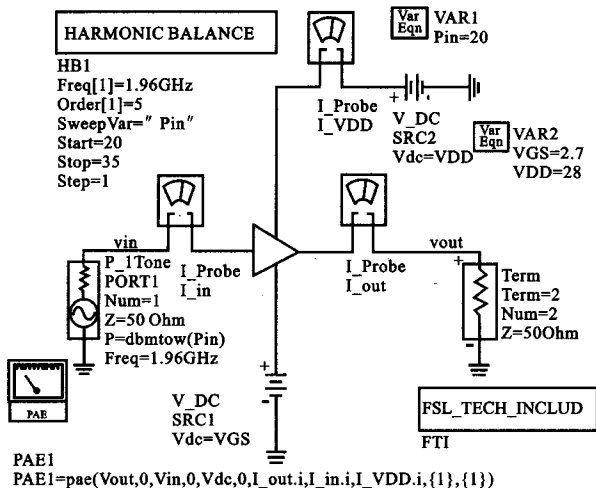


图5 单音信号仿真电路图

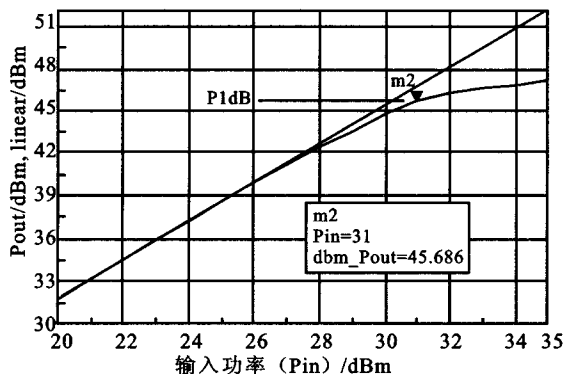


图6 理想输出功率和增益压缩输出功率曲线

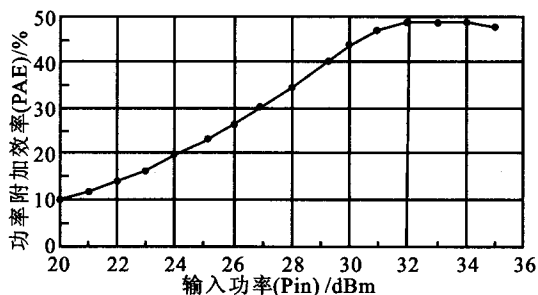


图7 功率附加效率仿真结果

真分量与基波信号的相对关系^[5].将输入的双音信号频率分别设置为 1958.75MHz. 和 1961.25MHz 的正弦信号,则三阶互调失真的频率分别为 1953.75MHz 和 1966.25MHz.图8为双音信号的仿真结果.由仿真结果可以计算出 IMD3 为 -32.68dBc.

通过对比有关晶体管 MRF19060N 的特性曲线和仿真结果可知,仿真结果和测量结果是一致的,但也存在一些微小差别.这主要是由于实际的器件和仿真模型不完全相同造成的.

5 结束语

文中针对基站功率放大器的输出功率大以及良好的线性度、较高的性价比和高可靠性等要求,通过采用 ADS 软件的仿真和设计实现了基站功率放大器的性能要求.这不但能够扩大基站覆盖范围,提高通信质量,同时也节省了开发的成本.文中给出了仿真特性的电路图和仿真后的特性曲线,同时对仿真曲线和实际测试的特性曲线进行了比较,比较结果表明得到的仿真曲线和实际测试曲线是一致的,表明这种设计方法和步骤是可行的.可以有效地应用于基站系统来提高基站的发射功率,使原有盲区范围变小甚至实现无盲区覆盖,达到改善通话质量、提高经济效益的目的.

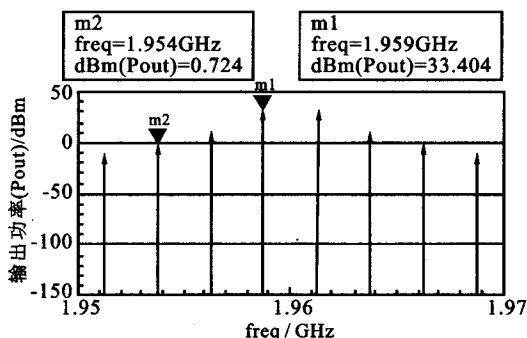


图8 双音互调仿真结果

参考文献:

- [1] 陈国玳. 移动通信设台组网 [M]. 北京:人民邮电出版社,1995:50-53.
- [2] Ludwig R, Bretchko P. RF circuit design: theory and applications[M]. Englewood: Prentice-Hall, 2000:60-68.
- [3] 周翠, Vreedy L C N.de. Inverse Class-AB 功率放大器线性度和效率分析[J]. 微电子学与计算机,2007,24(4): 177-182.
- [4] Guillermo Gonzalez. 微波晶体管放大器分析与设计(Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design)[M]. 白晓东,译.北京:清华大学出版社,2003.
- [5] 丘春辉,陈向东,沈冰. 射频功率放大器前馈线性化技术研究[J]. 微电子学与计算机, 2008,25(11):133-136.

作者简介:

- 赵景梅 女,(1983-),硕士研究生.研究方向为射频与微波.
- 南敬昌 男,(1971-),博士,副教授.研究方向为射频电路与器件、多媒体信息编码、通信系统仿真等.
- 袁杰 男,(1982-),助理工程师.研究方向为电子信息技术的现实应用、无线电短波通信系统等.