

CDMA 射频线性功率放大器¹

何松柏 徐宁 朱君范 虞厥邦

(电子科技大学微波中心 成都 610054)

摘要 该文对前馈线性校正射频功率放大器进行了分析,给出了分析结果,并用该结果指导设计了 CDMA IS-95 基站射频线性功率放大器,放大器增益 47dB,连续波输出功率 60W,在通频带内三阶交调改善了 23dB.

关键词 前馈线性校正, CDMA, 线性功率放大器, 交调

中图分类号 TN722, TN914.4

1 引言

目前,移动通信发展迅速,对系统性能提出了更高的要求。码分多址(CDMA)系统由于其大容量、抗干扰等特点^[1],在欧洲、日本、美国和韩国等国家得到了迅速发展,1998年,符合 IS-95 标准^[2]的 CDMA 商用系统已在美国、韩国、香港等地投入商用,用户已超过 500 万。随着第三代移动通信技术的发展,宽带 CDMA 将成为国际移动通信 2000/通用移动通信系统(IMT-2000/UMTS)的最佳多址接入方案^[3]。

在 CDMA 基站和移动台的发射机中,从复杂性和成本的角度出发,最重要的成分是射频(RF)部分的功率放大器。由于系统采用了带宽受限的线性调制方式,邻信道载波间的频谱泄漏取决于功率放大器(PA)的线性。实际的放大器总是非线性的,必须通过补偿功率放大器或采用线性化方法来改善 PA 的非线性,以控制邻信道的频谱泄漏。

PA 的线性化方法有很多种,但目前效果比较好的方法是前馈线性校正法^[4]。在这里,我们对设计前馈线性功率放大器的方法做了分析研究,完成了符合 IS-95CDMA 标准的基站功率放大器的研制,进行了系统整机集成。对射频功率放大器机电一体化设计方法、工艺技术都有了深入研究,设计的系统具有可生产性、经济性,为进一步产业化打了基础。

2 前馈线性校正功率放大器实现框图

前馈线性校正功率放大器实现如图 1 所示。

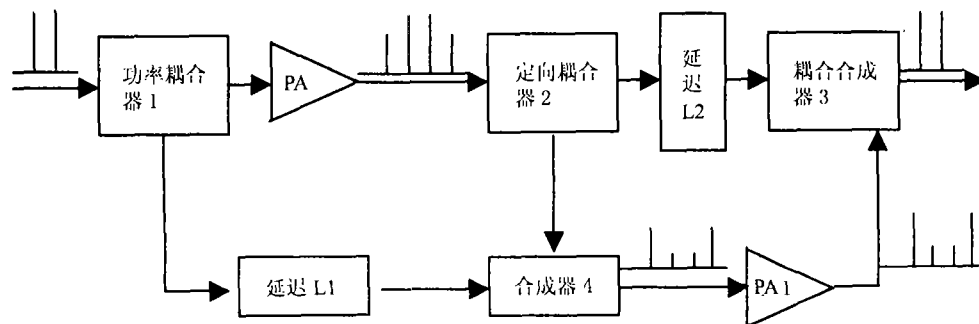


图 1 前馈线性校正功率放大器

¹ 2000-12-27 收到, 2001-07-19 定稿
863 资助项目(863-317-9603-04)

在第一个环路中, 主功率放大器 (PA) 输出信号与输入信号延迟 (L1) 后进行等幅反相合成, 抵消载波信号, 提取交调分量; 该分量经辅助放大器 (PA1) 放大后再与主功率放大器输出信号延迟 (L2) 后进行等幅反相合成, 以抵消交调分量, 这是第二个环路所需完成的任务。从这里可以看出, 交调分量抵消程度与环路中信号的幅度、相位不平衡度有直接的关系。

3 设计分析

假设两射频信号 $x_1(t)$, $x_2(t)$ 分别为

$$x_1(t) = A_1 \cos(\omega t + \theta_1) \quad (1)$$

$$x_2(t) = A_2 \cos(\omega t + \theta_2) \quad (2)$$

在 (1), (2) 式中, 两信号的角频率都是 ω , 幅度 A_1 , A_2 满足:

$$A_2 = aA_1 \quad (3)$$

(3) 式中, a 是两信号的幅度不平衡度。若相位不平衡度为 θ , 即相位 θ_1 , θ_2 满足:

$$\theta_2 = \theta_1 + \theta + \pi \quad (4)$$

信号 $x_1(t)$, $x_2(t)$ 进行矢量合成输出信号 $y(t)$ 为

$$\begin{aligned} y(t) &= A_1 \cos(\omega t + \theta_1) + A_2 \cos(\omega t + \theta_2) \\ &= \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)} \cos(\omega t + \Phi) \end{aligned} \quad (5)$$

(5) 式中,

$$\Phi = \arctg[(A_1 \sin \theta_1 + A_2 \sin \theta_2)/(A_1 \cos \theta_1 + A_2 \cos \theta_2)] \quad (6)$$

因此, 信号 $x_1(t)$, $x_2(t)$ 合成后的压缩比 R_{sup} 为

$$R_{\text{sup}} = 10 \log[A_1^2(1 + a^2 - 2a \cos \theta)/A_1^2] = 10 \log(1 + a^2 - 2a \cos \theta)(\text{dB}) \quad (7)$$

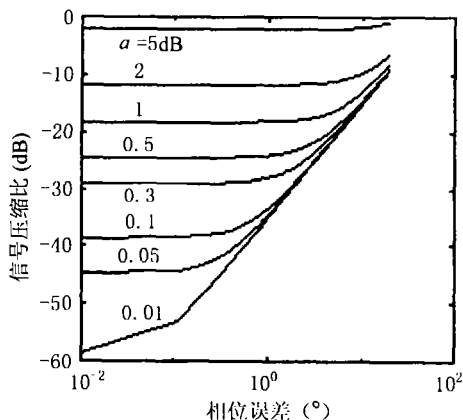


图 2 R_{sup} 与 a, θ 间的关系图

根据 (7) 式, 得出 R_{sup} 与 a, θ 间的关系如图 2。从图 2 可以看出, 两反相信号合成后, 幅度压缩比要达到 25dB 以上, 则幅度不平衡度要小于 0.5dB, 相位不平衡度要小于 2° 。

在图 1 中, 两个环路中信号矢量合成后 $R_{\text{sup}1}$, $R_{\text{sup}2}$ 分别为

$$R_{\text{sup}1} = 10 \log(1 + a_1^2 - 2a_1 \cos \theta_1)(\text{dB}) \quad (8)$$

$$R_{\text{sup}2} = 10 \log(1 + a_2^2 - 2a_2 \cos \theta_2)(\text{dB}) \quad (9)$$

(8), (9) 式中, $a_1, \theta_1, a_2, \theta_2$ 分别为第一、二环路中, 幅度、相位不平衡度。其中,

$$a_2 = T_2 L_2 T_3 / (C_2 G_1 C_3) \quad (10)$$

(10) 式中, T_2 , T_3 分别为定向耦合器 2、耦合合成器 3 的传输比, L_2 为延迟线 L2 的插损, C_2 , C_3 分别为定向耦合器 2、耦合合成器 3 的耦合度, G_1 为辅助放大器的增益, 在这

里, 合成器 4 的插损很小, 可以忽略。对于一个功率放大器其三阶交调系数 M_3 与三阶交调功率 P_3 、载波输出功率 P_O 及三阶交调交截点 P_I 之间满足^[5],

$$M_3 = 10 \log(P_3/P_O) \approx 20 \log(P_O/P_I) \text{ (dB)} \quad (11)$$

因此, 放大器输出三阶交调信号功率为

$$P_3 = P_O(P_O^2/P_I^2) \quad (12)$$

因此, 由第一环路功放 PA 输出载波信号 P_O 进入辅助放大器产生的交调信号 P_{31} 为

$$P_{31} = (P_O C_2 R_{\text{sup}1} G_1)^3 / P_{I1}^2 \quad (13)$$

(13) 式中 P_{I1} 为辅助放大器 PA1 三阶交调交截点功率。又, 第二环路中进入耦合合成器 3 的交调信号功率 $R_{\text{sup}1}$ 与 $R_{\text{sup}2}$ 之间满足:

$$R_{\text{sup}1} = R_{\text{sup}2} P_3 T_2 L_2 T_3 \quad (14)$$

(14) 式中 P_3 为主放大器 PA 输出信号三阶交调功率。因此, 整个前馈线性校正功率放大器对交调信号改善度 R_{supt} 为 (这里认为主放大器 PA 与辅助放大器 PA1 的交调信号是同相的)

$$R_{\text{supt}} = \left(\sqrt{P_{\text{sup}1}} + \sqrt{P_{31} C_3} \right)^2 / (P_3 T_2 L_2 T_3) \quad (15)$$

将 (10), (12), (13), (14) 式代入 (15) 式得到

$$R_{\text{supt}} = \left[\sqrt{R_{\text{sup}2}} + \sqrt{R_{\text{sup}1}^3 (P_I^2/P_{I1}^2) [(C_2^3 G_1^3 C_3)/(T_2 L_2 T_3)]} \right]^2 \quad (16)$$

用对数表示为

$$R_{\text{supt}} = 20 \log \left[\sqrt{R_{\text{sup}2}} + \sqrt{R_{\text{sup}1}^3 (P_I^2/P_{I1}^2) [(C_2^3 G_1^3 C_3)/(T_2 L_2 T_3)]} \right] \text{ (dB)} \quad (17)$$

从上面的分析可以看出, 利用前馈线性校正技术对交调产物的改善不仅与两个环路相位、幅度不平衡度有关, 还与辅助放大器 PA1 的线性度、定向耦合器及耦合合成器参数等有关系。根据 (17) 式, 选择了一些与实际电路相符合的参数计算 R_{supt} , 如图 3 所示。

在图 3 中, 设 $R_{\text{sup}2} = -25\text{dB}$, $(C_2^3 G_1^3 C_3)/(T_2 L_2 T_3) = 20\text{dB}$, 横轴表示 θ_1 , 虚线表示 $P_I/P_{I1} = 0\text{dB}$ 的情况, 实线表示 $P_I/P_{I1} = -10\text{dB}$ 的情况。根据 (17) 式计算表明, 在第一个环路的幅度不平衡度小于

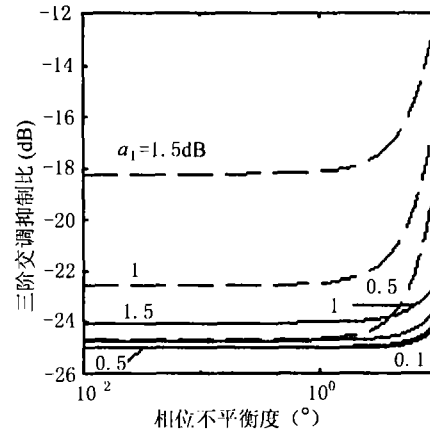


图 3 交调改善度与电路参数的关系

0.5dB, 相位不平衡度小于 5° 时, 前馈线性校正对交调产物的改善主要受 $R_{\text{sup}2}$ 决定. 从图 3 可以得出, 辅助放大器的线性性对系统指标影响较大.

4 实际系统设计

根据上面设计分析结果来确定具体电路参数, 我们采用图 1 的方案完成了符合 IS-95 标准的移动通信基站功率放大器. 主要电路参数如定向耦合器 2 和耦合合成器 3 的耦合度分别为 -30dB , -10dB ; 辅助放大器的增益为 40dB ; 第二个环路要求其幅度不平衡度要小于 0.5dB , 相位不平衡度要小于 2° 要求; 辅助放大器的线性优于主放大器, 其三阶交截点功率比主放大器的高 10dB 左右. 对整个系统用 HP SERIES IV6.6 软件进行了参数优化, 使整个前馈线性校正功率放大器在连续波输出功率 60W 时, 三阶交调改善了 $23\text{dB}^{[6]}$.

需要说明的是, 对于线性功率放大器的设计, 还必须考虑环境温度、输入功率变化、功放管的特性等变化对线性度的影响, 这可以用自适应技术来解决, 这是我们正在努力做的工作.

5 结 论

本文利用前馈线性校正技术改善射频功率放大器的线性度, 并对该系统进行了分析, 得出有用的结果. 用该方法设计了 CDMA IS-95 基站射频线性功率放大器, 放大器增益 47dB , 连续波输出功率 60W , 在通频带内三阶交调改善了 23dB . 这为利用前馈线性校正技术改善射频功率放大器的线性度提供了有效的设计方法.

参 考 文 献

- [1] A. J. 维特比著, 李世鹤等译. CDMA 扩频通信原理, 北京, 人民邮电出版社, 1997, 1-2.
- [2] TIA/EIA/IS-95-A, Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System, TIA, May, 1995.
- [3] T. Ojanpera, R. Prasad 著, 朱旭红等译. 宽带 CDMA: 第三代移动通信技术, 北京, 人民邮电出版社, 2000, 第一章.
- [4] 王金和等, 基站用超线性功率放大器, 2000' 全国第八届微波集成电路与移动通信学术年会论文集, 长沙, 中国电子学会微波分会 MIC 与移动通信专委会, IEEE MTT, Beijing, Chapter, 2000, 145.
- [5] Tri T. Ha, Solid-State Microwave Amplifier Design, New York, John Wiley & Sons, 1981, 208.
- [6] 何松柏等, CDMA 基站线性功率放大器, 2000' 全国第八届微波集成电路与移动通信学术年会论文集, 长沙, 中国电子学会微波分会 MIC 与移动通信专委会, IEEE MTT, Beijing, Chapter, 2000, 103.

LINEAR RF POWER AMPLIFIER FOR CDMA

He Songbai Xu Ning Zhu Junfan Yu Juebang

(Dept. of Microwave Center, UEST of China, Chengdu 610054, China)

Abstract In this paper, a novel analysis of feedforward linearizing power amplifier is presented. Experimental results are reported for a CDMA IS-95 base station feedforward linearizing amplifier, which demonstrates a minimum of 23dB intermodulation distortion suppression when the amplifier's gain is 47 dB and continue wave output power is 60W .

Key words Feedforward linearizing, CDMA, Linear power amplifier, Intermodulation

- 何松柏: 男, 1972 年生, 博士生, 主要研究方向是无线通信原理及其应用, 混沌扩频通信等.
 徐 宁: 男, 1968 年生, 博士生, 研究兴趣包括人工神经网络, 分形几何, 大规模集成电路设计及其算法.
 朱君范: 男, 1934 年生, 教授, 曾主持多项微波、毫米波信号源及通信系统科研课题, 多次获部、省级科研奖励.
 虞厥邦: 男, 1932 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事人工智能, 非线性动力学系统, 大规模集成电路设计.