

文章编号: 1001 - 893X(2012)07 - 1147 - 04

大功率多载波发射机的新设计*

钟寿永

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

摘要:多载波通信系统中,发射机因为功率器件的非线性特性,会产生多阶交调,影响发射信号频谱质量。介绍了一种大功率多载波发射机的新设计,该设计采用运用快速初相搜索算法优化的信号产生、带 AGC 的上变频器和平衡式功率放大器。理论和实践证明,该设计兼顾信号的线性度和整机效率,对交调分量、谐波等有效抑制,能获得较好的信号频谱和较高的效率。

关键词:多载波通信;发射机;线性;平衡式放大器;初相搜索算法

中图分类号: TN837 **文献标志码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2012.07.020

A New Design of High Power Multi-carrier Transmitter

ZHONG Shou-yong

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: In a multi-carrier communication system, because of the nonlinearity of power devices, the transmitter will produce multiple order intermodulation, and influence the quality of the transmitting signal spectrum. This paper introduces a new design of high power and multi-carrier transmitter. The design uses signal generation optimized by Initial Phase Searching Algorithm, up converter with AGC, and balanced power amplifier. It is proved from theoretical analysis and practice that the design gives consideration to both linearity of signal and overall efficiency, and gets effective inhibition of the intermodulation components and harmonic wave, and obtains good signal spectrum and high efficiency.

Key words: multi-carrier communication; transmitter; linear; balanced amplifier; initial phase searching algorithm

1 引言

在多载波通信系统中,如果采用多个发射机分别发送不同载波频率的信号,发射机的技术方案相对简单,但系统组织架构较为复杂,体积、成本都大为增加,性价比低。而采用单个发射机实现多载波信号的发射,体积、成本都大为减少,是目前广泛应用的设计方式。

发射机既要保证输出信号的频谱质量,即交调分量和杂波信号幅度相对小,又要保证输出多载波具有一定的功率。而多载波经过混频器、放大器等非线性器件,将产生诸如谐波、交调等非线性失真,

并使输出频谱质量变差;在对功耗要求严格的系统中,谐波、杂波和交调等非有效成分的存在将降低各载波的输出功率,由此会影响系统技术指标的实现。尽量减少组合分量和增大载波信号对它们的抑制是设计发射机的关键^[1]。要得到具有较好频谱的发射信号,需对发射机的 3 个组成部分即信号产生、上变频器及功率放大器分别考虑。除对发射机输入信号的频谱要进行优化,还要对上变频器进行精心设计,同时保证工作频带内功放的线性度。

2 多载波发射机的设计

如图 1 所示,信号产生部分如果杂波、交调成分

* 收稿日期:2012-05-09;修回日期:2012-06-05

幅度较大,经过上变频、功率放大器后,这些非线性会变大、变多,输出频谱质量变差。

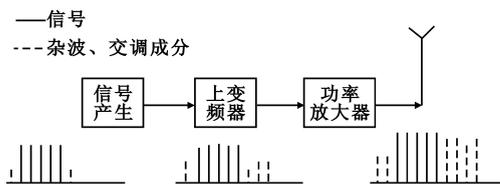


图1 发射机组成及频谱示意

Fig.1 The transmitter composition and spectrum schematic

2.1 信号产生的优化设计

要获得理想频谱质量的输出信号,首先要保证产生信号的频谱质量。使用快速初相搜索算法对信号进行包络优化后,减小非线性失真,减小每个单频点的谐波^[2]。搜索初相最优组合以达到多频率合成信号包络幅值最小,即减小多频点间的交调。应用快速初相搜索算法前后得到多载波信号的交调干扰和高次谐波频谱比较可知,应用快速初相搜索算法,多载波信号的交调谐波减少和降低,能获得较好的频谱质量。

2.2 多载波发射机上变频器设计

多载波发射机由上变频和功放组成,见图2。上变频器采用进口温补晶振作为频率源,使得发射机在要求的温度范围内保持很小的频率偏移。锁相环的频综输出频率稳定,杂散小。混频前后的滤波,对输入功放的信号频谱纯度起到重要作用。输入多载波数量变化时,输入信号中载波的强度会有所不同,采用AGC增益控制放大,使幅度起伏的多载波信号经过AGC后输出信号幅度保持稳定。

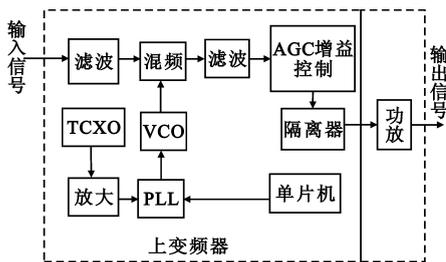


图2 发射机上变频器原理图

Fig.2 Schematic diagram of transmitter up converter

上变频器输出带外抑制不大于-40 dBc,带内杂散抑制小于等于-40 dBc,谐波抑制小于等于-45 dBc。

2.3 功率放大器设计

2.3.1 功率放大器线性分析

功放的非线性特性可以用它的转移特性来分

析,数学表示可近似用功放的偏置电压 V_0 泰勒级数展开式表示:

$$f(v) = f(V_0) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} \left. \frac{\partial^n f(v)}{\partial v^n} \right|_{v=V_0} (v - V_0)^n \quad (1)$$

输入双音信号为

$$v = V_0 + V_1 \cos \omega_1 t + V_2 \cos \omega_2 t \quad (2)$$

式中, V_1 、 V_2 分别为两个单音信号的电压幅度值, ω_1 、 ω_2 为角频率, t 为时间。将式(2)代入式(1),输出信号用泰勒级数展开式表达,相同频率合并,得到下式:

$$\begin{aligned} i = & f(V_0 + \frac{1}{4} \frac{\partial^2 f(v)}{\partial v^2}) \Big|_{v=V_0} (V_1^2 + V_2^2) + \\ & [f'(V_0) + \frac{1}{4} \frac{\partial^3 f(v)}{\partial v^3} \Big|_{v=V_0} (\frac{1}{2} V_1^2 + V_2^2)] V_1 \cos \omega_1 t + \\ & [f'(V_0) + \frac{1}{4} \frac{\partial^3 f(v)}{\partial v^3} \Big|_{v=V_0} (V_1^2 + \frac{1}{2} V_2^2)] V_2 \cos \omega_2 t + \\ & \frac{1}{4} \frac{\partial^2 f(v)}{\partial v^2} \Big|_{v=V_0} (V_1^2 \cos 2\omega_1 t + V_2^2 \cos 2\omega_2 t) + \\ & \frac{1}{24} \frac{\partial^3 f(v)}{\partial v^3} \Big|_{v=V_0} (V_1^3 \cos 3\omega_1 t + V_2^3 \cos 3\omega_2 t) + \\ & \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f(v)}{\partial v^2} \Big|_{v=V_0} V_1 V_2 \cos(\omega_1 \pm \omega_2) t + \\ & \frac{1}{8} \frac{\partial^3 f(v)}{\partial v^3} \Big|_{v=V_0} [(V_1^2 V_2 \cos(2\omega_1 \pm \omega_2) t + V_1 V_2^2 \cos(\omega_1 \pm 2\omega_2) t) \end{aligned} \quad (3)$$

由式(3)可以看出,输出的电流点基波、二次及三次谐波或者互调分量的振幅分别取决于输入电压的一次方、二次方和三次方。因此,线性项、二阶项和三阶项频率分量的输出功率电平分别显示线性行为,输入信号电平改变1 dB,输出改变1 dB、2 dB和3 dB的行为。类推可得, n 阶分量将改变 n dB。这些依赖输入的各条直线在截断点交叉,如图3所示。

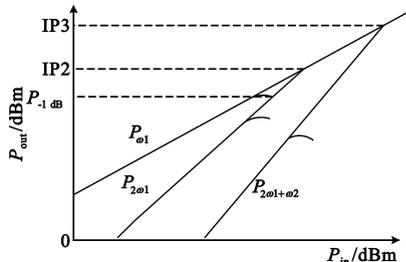


图3 基波、二次谐波和三阶互调分量与输入信号的直线关系
Fig.4 The linear relationship between input signal and fundamental, second harmonic and third-order intermodulation component

三阶互调分量通常会落在信号带内,无法滤除,减小互调分量,提高功率放大器的线性度显得尤为

重要。

对直线有如下方程:

$$P_{IMn} = nP_{in} + P_{n0} \quad (4)$$

式中, P_{IMn} 为基波的 n 阶分量单位为 dBm; P_{n0} 为可估算常数; P_{in} 为输入功率。线性基波输出功率可写成

$$P_{\omega_1} = 10 \lg(G_p P_{in}) = P_{in} + G_p \quad (5)$$

式中, G_p ($G_p = P_L/P_{in}$) 为工作功率增益(单位 dBm),故对交截点 IP_n 有:

$$P_{IMn} = P_{\omega_1} = IP_n \quad (6)$$

由式(6)可得:

$$(1 - n)IP_n = P_{n0} - nG_p \quad (7)$$

于是有:

$$P_{IMn} = nP_{\omega_1} - (n - 1)IP_n \quad (8)$$

由式(8)可以估算二次谐波和三阶互调分量:

$$P_{2\omega_1} = 2P_{\omega_1} - IP_2 \quad (9)$$

$$P_{2\omega_1 - \omega_2} = 3P_{\omega_1} - 2IP_3 \quad (10)$$

1 dB 压缩输出功率电平和三阶交截点的关系由下式决定:

$$P_{1 \text{ dB}} = IP_3 - 9 \quad (11)$$

因此,为使功放输出具有较好的线性度,交截点给定时,可以减小输出功率。输入功率减小 1 dB,三阶互调减小 3 dB,三阶互调抑制要好 2 dBc。这种方法又称为功率回退法。设计时要选择功率容量较大的功率管,以保证放大器有足够的输出功率的同时对各阶的交调也有足够大的抑制。

功放线性化技术除了功率回退法主要还有负反馈法、预失真法、前馈法。功率回退法的原理简单且易于实现。

另外,功率放大的静态偏置点对其线性特性影响较大,也是放大器的设计重点。GaAs MESFET 功率放大器直流偏置电流选为 $0.5I_{dss}$ (I_{dss} 为饱和漏源电流),可使增益最大且互调交截点最大;对 AB 类最佳偏置点的 MOSFET 功率放大器来说,可改善三阶互调失真 10 dB 以上^[3]。因此,选择较佳的功率放大器直流偏置点对改善发射机的线性特性至关重要。

2.3.2 设计实例

功放的设计原理图如图 4 所示。

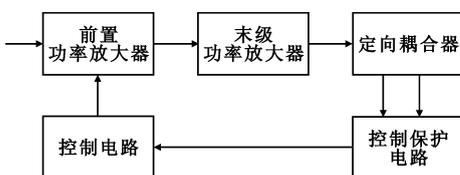


图 4 功放原理图

Fig.4 Schematic diagram of power amplifier

前置功率放大器由固定衰减器、温度补偿衰减器、开关机电路, LD MOSFET 宽带放大器和一级 LD-MOSFET 晶体管放大器组成,见图 5。末级功放见图 6 所示。电路采用 1 分 2 功率分配器和 2 合 1 的功率合成器及两只大功 LD MOSFET 功率管组成。末级功放采用先进的平衡式放大电路,易于匹配,并且放大器的可靠性和稳定性大大提高^[4],任一路功率放大模块出现故障,输出功率仅下降 6 dB。对过激励和过驻波的承受能力大大加强。平衡放大式电路又叫 Doherty 功率放大器,在功率回退时增加了效率,所以兼顾了效率和线性度的要求。

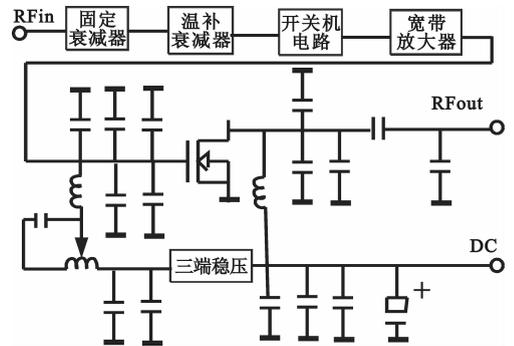


图 5 前置放大器原理图

Fig.5 Schematic diagram of power preamplifier

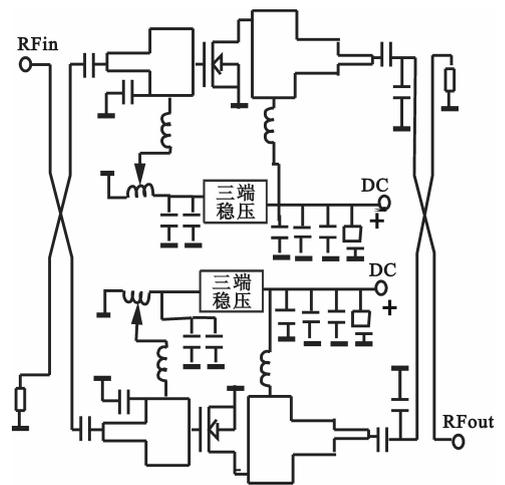


图 6 末级功放原理图

Fig.6 Schematic diagram of last stage power amplifier

平衡式放大器的性能优劣直接取决于两个放大器的一致程度,放大器的驻波比以及耦合器的移相精确度,尤其是后者。事实上经过试验测试,当两路放大器匹配完全一致时,输出功率并非完全叠加,这是由于耦合器的相移并非完全精确所导致的,这需要对电路进行进一步微调,对匹配电路进行修正,让输出信号的相位偏移得到纠正,从而得到预先估计

的最大功率输出能力。

3 指标测试

最终的发射机实现单载波(CW)输出功率40 W, 5载波输入时,输出每个单频点大于4 W。图7为单载波发射机输出,图8为多载波发射机输出,通过天线接收测得。具体指标如下:

(1)输出功率:输出单点频46 dBm;输出2点频每点频47.5 dBm;输出3点频每点频39.5 dBm;输出4点频每点频37.8 dBm;输出5点频每点频36 dBm。

(2)带内不平度小于等于 ± 0.5 dB。

(3)谐波输出抑制(额定功率下)小于等于 -30 dBc。

(4)三阶交调小于等于 -30 dBc。



图7 单载波发射机输出
Fig.7 Output of single carrier transmitter

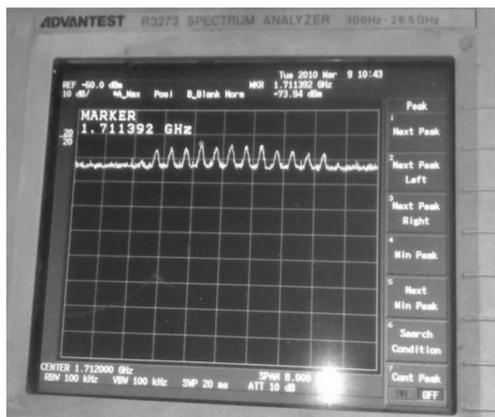


图8 多载波发射机输出
Fig.8 Output of multi-carrier transmitter

本发射机具有较高的效率,从图8看出,输出

12个点频时,交调和杂波很小,显示出发射机的线性度很好。

4 结束语

多载波系统中,非线性成分难以避免。本文着重分析了功率放大器的非线性特性及线性化技术,通过采用算法优化产生交调较少的多载波激励信号,采用AGC上变频器使多载波信号稳定,并对功率放大器进行精心设计,在线性度和效率指标上都达到了较满意的结果,获得了良好的输出信号频谱。这种新的多载波发射机的设计成功,对系统能满足指标要求并获得应用,起到了关键作用。

参考文献:

- [1] 漆家国,一种连续波多站式发射机及频谱分析[J].电讯技术,2002,42(2):44-47.
QI Jia - guo. A Multi - station Continuous Wave Transmitter and Its Spectrum Analys[J]. Telecommunication Engineering, 2002,42(2):44-47. (in Chinese)
- [2] 邓宇,李大芳,梅勇兵,等.多频率合成信号包络优化的初相搜索方法[J].电讯技术,2008,48(3):74-78.
DENG Yu, LI Da - fang, MEI Yong - bing, et al. Initial Phase Searching Algorithm for Optimizing Multi - frequency Compound Signal Envelo[J]. Telecommunication Engineering, 2008,48(3):74-78. (in Chinese)
- [3] Wood A. LDMOS Transistor Powers PCS Base - Station Amplifiers[J]. Microwaves & RF, 1998,37(3):69-90.
- [4] Ludwig R, Bretchko P. 射频电路设计——理论与应用[M].王子宇,张肇仪,徐承和,译.北京:电子工业出版社,2002.
Ludwig R, Bretchko P. RF Circuit Design theory and Applications[M]. Translated by WANG Zi - yu, ZHANG Zhao - yi, XU Cheng - he. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002. (in Chinese)

作者简介:

钟寿永(1973—),男,四川邻水人,2003年于电子科技大学获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为电子对抗和雷达。

ZHONG Shou - yong was born in Linshui, Sichuan Province, in 1973. He received the M. S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2003. He is now an engineer. His research concerns electronic countermeasure and radar.

Email: shyozh@126.com