

文章编号:1007-2780(2016)07-0703-05

放大器的新型谐波匹配网络的研究与实现

朱弘旭*

(吉林大学 珠海学院,广东 珠海 519041)

摘要:在现代通信系统中,功率放大器起着重要的作用并消耗大量的功率,因此,提高放大器效率对于节约整个系统的能量是尤为重要的。本文的目标是找到放大器在谐波频率处的匹配阻抗,并最终构建放大器的谐波匹配网络,以使放大器达到其最高效率。本文采用了负载牵引技术,使用自动控制调节器对阻抗进行控制。首先对自动调谐器进行校准,得出其内部的不同坐标与相应阻抗的对应关系。然后通过对自动调谐器的控制来控制 and 改变二次谐波和三次谐波的负载阻抗,找到谐波匹配阻抗以使放大器在基频的效率达到最大。最终,根据谐波匹配阻抗来构建放大器的谐波匹配网络。实验结果表明:通过谐波匹配,可以使放大器的效率提高 2.13%。采用本文所使用的方法,放大器的功率提高了 2.13%,实现了通过谐波匹配网络来提高放大器效率的目标,证明了本文所采用的方法的可行性。

关键词:谐波;匹配;负载牵引技术

中图分类号:TP394.1;TH691.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163107.0703

Research and realization of a new type harmonic matching network for amplifier

ZHU Hong-xu*

(Zhuhai College of Jilin University, Zhuhai 519041, China)

Abstract: In communication systems, power amplifiers (PAs) play an important role and consume large amount of power. As a consequence, the enhancement of amplifier efficiency is significantly important for saving energy. The goal for this paper is to find the matching impedances of harmonics and build a matching network for optimum efficiency performance of an amplifier. The load pull technique is applied in this paper to control the impedances with automatically controlled tuners. Firstly, a calibration of the automatically tuners is made to get the correspondence of tuner positions and impedance. Then the tuners are used to control and change the load impedances at 2nd and 3rd harmonics for maximum efficiency performance of an amplifier at fundamental frequency and finally to build a matching network according to the matching impedances at harmonics. Experimental results indicate that the efficiency of the amplifier with harmonic matching can be improved 2.13%. With the method implemented in this paper, the efficiency of the amplifier was improved 2.13%, it realized the goal to

收稿日期:2015-11-30;**修订日期:**2016-02-25.

基金项目:吉林省重点科技攻关项目(No. 20150204039GX);广东省省级科技计划项目(No. 2013B010101020)
Supported by Key Scientific Research Project of Jilin Province(No. 20150204039GX);Supported by Provincial Science and Technology Plan Projects of Guangdong Province (No. 2013B010101020)

* 通信联系人,E-mail:706769837@qq.com

improve the efficiency of an amplifier with harmonic. It proves the feasibility of the method investigated in this paper.

Key words: harmonic; matching; load pull technique

1 引言

在现代通信技术中,功率放大器起着重要的作用并消耗大量功率。因此,提高放大器的功率附加效率就变得越来越重要。随着放大器功率附加效率的提高,电池的寿命随之延长,运行成本也将降低。为了达到高的功率附加效率,放大器工作在压缩区域,在压缩区域中,放大器将伴有非线性特征,例如谐波以及互调失真等。在本文中,输入信号为单一的基频信号,因此,谐波是提高放大器的效率的主要问题。谐波的产生消耗了整个系统的功率,造成了能量的浪费。为了减少谐波的影响,需要确定谐波匹配阻抗,使谐波处的功率消耗达到最低,以达到提高放大器效率的目的。

近年,还有一些其他的方法与技术被应用于提高放大器的效率,例如数字预失真技术(DPD)、包络跟踪技术(ET)、EER 技术、Doherty 以及 LINC 技术等。其中,DPD 技术主要侧重于软件方面,主要方法是对输入信号进行修改。而其他技术侧重于硬件方面,如 ET 和 ERR 技术主要是修改晶体管的偏置电路,而 Doherty 和 LINC 技术主要是对放大器进行重新设计以提高其效率^[1-9]。

2 理论

2.1 负载牵引技术

负载牵引技术能够控制被测装置的负载阻抗并同时测量被测装置的性能^[10]。基于对阻抗控制的需要,自动调谐器是实现负载牵引技术的合适选择^[11]。自动调谐器能够准确的控制阻抗,并且易于被电脑控制。

2.2 谐波阻抗调谐

功率放大器(PAs)工作在基频频率。然而,放大器的功率附加效率(PAE)却被谐波频率的负载阻抗很大程度的影响着^[12]。由于谐波阻抗对放大器功率的影响,高效率的功率放大器需要其谐波阻抗达到匹配^[13]。特别地,二次谐波和三次谐波的阻抗对于放大器功率的影响最大,需要分别进行调谐^[14]。

2.3 功率附加效率

功率附加效率(PAE)表示为射频输出功率与射频输入功率的差值与直流总功率的比值^[15]。放大器的功率附加效率可用公式(1)来确定^[16]。

$$\eta = \text{PAE} = \frac{P_{\text{out}} - P_{\text{in}}}{P_{\text{DC}}} = \left(1 - \frac{1}{G}\right) \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{DC}}}, \quad (1)$$

其中: η =功率附加效率; G =放大器的功率增益; P_{in} =放大器的射频输入功率; P_{out} =放大器的射频输出功率; P_{DC} =放大器的直流功率。

3 测量过程和结果

3.1 效率测量

在本文中,放大器的效率是按照图 1 的设置来进行的。放大器在有谐波调谐时和没有谐波调谐时的效率测量都是按照图 1 的设置进行的。

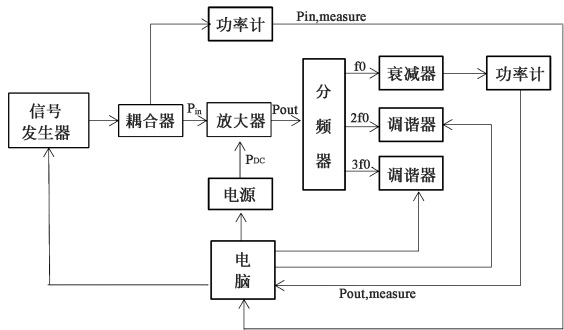


图 1 效率测量的设置

Fig. 1 Efficiency measurement setup

根据图 2 所示,当输入功率为 3.8 dBm 时,放大器工作在 3 dB 压缩点。在 3 dB 压缩点周围,高谐波功率电平和对放大器的保护这两点需求同时满足。本文中所使用的谐波匹配的方法是在 3 dB 压缩点周围的非线性区域进行研究的。在下文中,输入功率为 3.8 dBm 的这个点被称为“测试点”。本文所呈现的测试结果都是根据这个点来进行测量的。

由图 3 所示,在“测试点”,放大器的效率为 24.94%。由图 3 可以清楚的看出,放大器的效率随着输入功率的增加而增大,并且在非线性区域变得稳定。

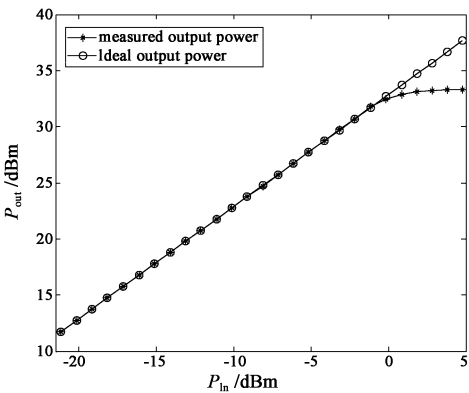


图 2 与输入功率相对应,放大器理想输出功率与测量输出功率的比较

Fig. 2 Comparison of ideal output power and measured output power of the amplifier vs. input power

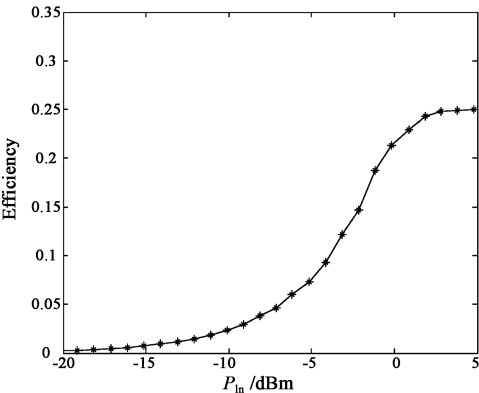


图 3 与输入功率相对应的放大器效率

Fig. 3 Efficiency of the amplifier vs. input power

3.2 最大功率搜索法

本章测量的目的是得出放大器的效率是如何通过谐波调谐来提高的,并且得出放大器最大效率时相应的谐波匹配阻抗。

为了计算出放大器的效率,并且得出放大器的效率是如何随着调谐器的内部坐标位置而改变的,对应于每个特定的调谐器坐标位置,放大器的输入输出功率及直流功率都要进行测量。通过在史密斯圆图上搜索放大器最大效率所对应的点(S11 参数),可以确定其谐波匹配阻抗。在史密斯圆图上搜索最大效率所对应的点(S11 参数)的步骤可以分为两部分,分别为在整个史密斯圆图上的效率扫描以及在史密斯圆图上的特定区域的效率扫描。一旦在史密斯圆图上找到最大效率所对应的点(S11 参数),则根据 S11 参数与阻抗的

关系,可以确定出放大器最大效率所对应的谐波匹配阻抗。

通过对史密斯圆图上特定区域进行功率扫描,可以得到其最大效率为 27.07%。如图 4 所示,在两个匹配点(S11 参数),放大器的效率被提高至 27.07%。相比于放大器原来的效率 24.94%,其效率提高了 2.13%。由这个效率增量可以证明本文所采用的方法的有效性。

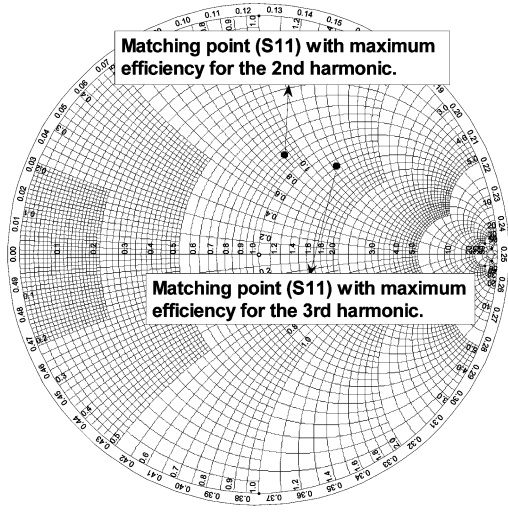


图 4 在史密斯图上特定区域功率扫描所得到的最大功率对应的匹配点(S11 参数)

Fig. 4 Matching Points (S11) with maximum efficiency in Smith Chart for specific area efficiency sweep

在图 5 中,展示了制作的谐波匹配网络。图 5 左边的是二次谐波匹配网络,右边是三次谐波匹配网络。

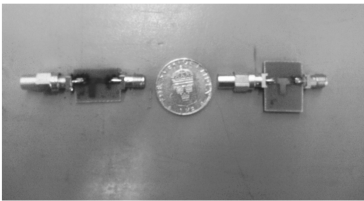


图 5 制作的二次谐波及三次谐波的匹配网络

Fig. 5 Manufactured matching network for 2nd harmonic and 3rd harmonic

图 6 显示了放大器的原始效率,放大器相应于谐波匹配阻抗的效率以及放大器相应于制作的匹配网络的效率的对比。在“测试点”,放大器的原始效率为 24.94%,加上谐波匹配阻抗后,其效

率提高至 27.07%，而加上谐波匹配网络后，其效率增加至 26.77%。

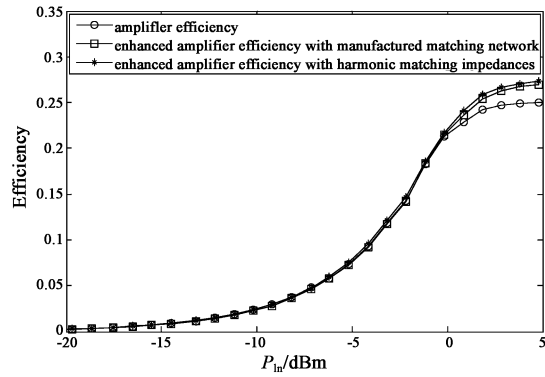


图 6 与输入功率相对应，放大器的原始效率以及提高后的效率的对比

Fig. 6 Comparison of amplifier efficiency and enhanced efficiency vs. input power

4 讨 论

本文所涉及的研究工作要点如下：首先，如文

参 考 文 献：

[1] SAFARI N, OLAVSBRATEN M, ROSTE T. On the optimization of biasing conditions in a digitally-linearized power amplifier [C]. *Proceedings of the 38th European Microwave Conference*, Amsterdam: IEEE, 2008: 567-570.

[2] CEYLAN N, MUELLER J E, PITTORINO T, *et al.* Mobile phone power amplifier linearity and efficiency enhancement using digital predistortion [C]. *Proceedings of the 33rd European Microwave Conference*, Munich, Germany: IEEE, 2003, 1: 269-272.

[3] YANG Y, YI J, WOO Y Y, *et al.* Experimental investigation on efficiency and linearity of microwave Doherty amplifier [C]. *Proceedings of the IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Phoenix, AZ, USA: IEEE, 2001, 2: 1367-1370.

[4] XIAO D, SCHREURS D, ANGELOV I, *et al.* Efficiency enhancement of harmonic-tuned GaN power amplifier using Doherty like load modulation [C]. *Proceedings of the IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuits Symposium*, Monterey, CA: IEEE, 2008: 1-5.

[5] CHOI G W, KIM H J, HWANG W J, *et al.* High efficiency class-E tuned Doherty amplifier using GaN HEMT [C]. *Proceedings of the IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Boston, MA: IEEE, 2009: 925-928.

[6] JEONG H T, LEE H S, CHANG I S, *et al.* Efficiency enhancement method for high-power amplifiers using a dynamic load adaptation technique [C]. *Proceedings of the IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Long Beach, CA: IEEE, 2005: 2059-2062.

[7] LI Y, WU R L, LOPEZ J, *et al.* A highly-efficient BiCMOS cascode Class-E power amplifier using both envelope-tracking and transistor resizing for LTE-like applications [C]. *Proceedings of the IEEE Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting*, Atlanta, GA: IEEE, 2011: 142-145.

[8] KIM I, WOO Y Y, KIM J, *et al.* High-efficiency hybrid EER transmitter using optimized power amplifier [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2008, 56(11): 2582-2593.

[9] AREF A F, ASKAR A, WERNER S, *et al.* Efficiency boosting of multilevel LINC transmitter [C]. *Proceedings*

中图 5 所示，放大器提高的效率清晰可见，这证明了文本所采用的方法的有效性。同时，根据图 5 所测量的结果，本文提高放大器效率的目标达到了。其次，根据图 1 的设置，调谐器的内部坐标位置可由电脑控制，各仪器的测量结果可由电脑收集。这使得效率扫描及谐波匹配阻抗的确定变得简单而快捷。

5 结 论

本文中，提高放大器效率所采用的方法为谐波匹配。根据高效率的需要，放大器工作于非线性区域，因此，由非线性所导致的谐波成为影响放大器效率的主要因素，所以提高放大器效率的关键部分在于确定其谐波匹配阻抗。随着负载阻抗的控制以及效率扫描，放大器最大效率所对应的谐波匹配阻抗可以确定，同时谐波匹配网络也可以建立。根据测量结果，本文的目标已达到，放大器的效率提高了约 2%。

- of the Asia-Pacific Microwave Conference, Melbourne, VIC: IEEE, 2011: 127-130.
- [10] SEVIC J. Theory of load and source pull measurement [DB/OL]. [1999-07-27]. <http://www.maurymw.com/support/pdfs/5C-055.pdf>.
- [11] CUSACK J M, PERLOW S M, PERLMAN B S. Automatic load contour mapping for microwave power transistors [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1974, 22(12): 1146-1152.
- [12] SEVIC J. Introduction to tuner-based measurement and characterization [DB/OL]. [2004-08-31]. <http://www.maurymw.com/pdf/applib/5C-054.pdf>.
- [13] MOHAMED A M M, BOUMAIZA S, MANSOUR R R. Novel reconfigurable fundamental/harmonic matching network for enhancing the efficiency of power amplifiers [C]. *Proceedings of the European Microwave Conference*, Paris: IEEE, 2010: 1122-1125.
- [14] LAROSE R, GHANNOUCHI F M, BOSISIO R G. A new multi-harmonic load-pull method for nonlinear device characterization and modeling [C]. *Proceedings of the IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Dallas, TX: IEEE, 1990, 1: 443-446.
- [15] GOLIO M, GOLIO J. *RF and Microwave Applications and Systems (The RF and Microwave Handbook)* [M]. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007.
- [16] POZAR D M. *Microwave amplifier design* [M]//POZAR D M. *Microwave Engineering*. 3rd ed. Hamilton, USA: John Wiley & Sons, 2005: 570-573.

作者简介:朱弘旭(1986—),女,山西大同人,硕士,主要从事通信与电子技术以及微波方面的研究。E-mail:706769837@qq.com