

基于 HBAR 的 X 波段低相噪频率合成方法

穆晓华, 沈文渊

(中国电子科技集团公司第二十六研究所, 重庆 400060)

摘要:基于高次谐波体声波谐振器(HBAR)的高Q值梳谱信号产生的特性提出了一种低相位噪声频率合成方法。该文根据HBAR的工作原理,采用HBAR与声表滤波器级联的方法共同构成低噪声振荡环路直接产生S波段信号,然后通过四倍频模块输出X波段频率信号。采用HBAR与声表滤波器串联的方式提高了带外频响抑制,输出的2.2 GHz信号的相位噪声达 -118.9 dBc/Hz@1 kHz,四倍频后得到的X波段信号8.8 GHz的相噪达到 -107.4 dBc/Hz@1 kHz。

关键词:HBAR;声学梳谱;相位噪声;微波

中图分类号:TN65 **文献标识码:**A

HBAR-Based Frequency Synthesis at the X Band with Low Phase Noise

MU Xiaohua, SHEN Wenyan

(26th Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: A method of frequency synthesis has been present at the X-Band with low phase noise based on a high-overtone bulk acoustic resonator (HBAR). According to the working principle of HBAR, using a HBAR and sound table filters consist of oscillating loop with low phase noise, which can directly generate S-band signal. X-band signal can be obtained by quadruplicated frequency module. This method serried with SAW filter has raised out-of-band noise suppression. The phase noise at the frequency of 2.2 GHz reaches -118.9 dBc/Hz@1 kHz, and the phase noise of 8.8 GHz at X-band is -107.4 dBc/Hz@1 kHz after quadruplicated frequency.

Key words: high-overtone bulk acoustic resonator (HBAR); acoustic comb spectrum; phase noise; microwave

0 引言

微波毫米波频率合成器是电子系统的重要组成部分,在电子对抗、航空航天雷达系统、微波毫米波导引头及通信导航等领域中具有重要的应用。传统的微波毫米波信号合成技术是通过低频的晶体振荡器产生稳定、准确的单频信号,然后对该信号进行倍频、分频和混频等处理,从而产生其他频点、频段的信号。在倍频和混频处理过程中常会引起相位噪声的附加恶化,多次的倍频和混频处理在另一方面也导致频率合成的体积难以实现小型化。现代体制的新型雷达对系统性能的要求越来越高,对体积的要求却越来越小,这就为传统的频率合成方法在小型化和低相噪方面提出了更严峻的挑战^[1-2]。

本文通过采用高次谐波体声波谐振器(HBAR)与声表滤波器串联谐振的方式直接得到S波段的低

相噪、高稳定的微波信号。所得S波段信号直接四倍频可得低相噪的X波段信号。本文的研究和实验工作打破了传统的频率合成方法,直接产生高质量的微波信号,减少了倍频的次数,简化频率合成的设计方案,有利于频率合成器的体积小型化和低相位噪声的实现,在对整机体积和相噪要求较高的领域中有广泛的应用前景。

1 HBAR 的工作原理

HBAR是采用压电薄膜体声波换能器和声谐振腔复合结构的器件。采用具有高激励效率薄膜换能器可通过调整膜厚使其工作的基模激励频率在UHF~10 GHz之间,带宽可达倍频程。频率与品质因数之积($f \times Q$)可达 10^{14} 量级。另外,它本身是一种多模器件,可谐振在一系列等间隔(1~100 MHz)频率上,从而形成高频的梳谱信号^[3]。

收稿日期:2015-08-20

基金项目:国家重大基础研究基金资助项目

作者简介:穆晓华(1981-),男,重庆人,高级专家,硕士,主要从事频率合成器、低相噪频率源等技术的研究。

HBAR采用薄膜换能器,避开晶体自身压电耦合而让其工作于高次谐波。HBAR类似于传统的石英晶体谐振器,只是把电能转换成声能进入谐振晶体,再把声能变换后输出,HBAR结构及工作原理如图1所示。

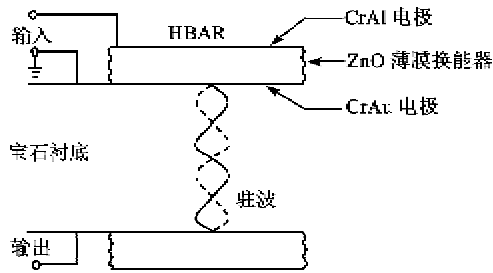


图1 HBAR结构原理图

与传统的石英晶体谐振器相比,HBAR是用薄膜换能器将电能转换成声能进入谐振的晶体并产生谐振,在输出端口再把声能转换成谐振的微波信号输出。当两面对应的晶体表面有足够高的谐振Q值时,在低损耗的晶体中就形成驻波,从而导致整个系统产生谐振^[3-5]。谐振频率近似满足:

$$f_R = \frac{(n+1)v}{2(L+t)} \quad (1)$$

式中: v 为换能器薄膜材料的纵波声速; L 为声腔体厚度; t 为换能器薄膜层厚度; n 为谐波次数。

2 X波段频率合成系统设计

由于HBAR随着工作频率的增加,插损会迅速增加,从而Q值下降快。在目前工艺条件下,直接开展X波段HBAR的研究工作难度大,因此,本文X波段频率合成系统采用S波段的HBAR直接产生2.2 GHz微波信号,通过四倍频模块倍频至X波段8.8 GHz,系统框图如图2所示。

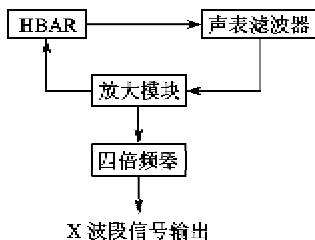


图2 基于HBAR的X波段频率合成原理框图

2.1 S波段HBAR模块

HBAR作为频率源使用,选择双端器件结构,根据基片的大小及厚度设计基片的外壳结构。采用换能器镜像对称重合,双面分离引出结构,考虑极薄基片易碎等因素,将HBAR基片与外壳连接成一个

整体,不但机械性能好,且对RF场起屏蔽作用,既使输入、输出信号隔离,又把双端面器件变成平面型与微带兼容的安装结构。图3为HBAR装配示意图。

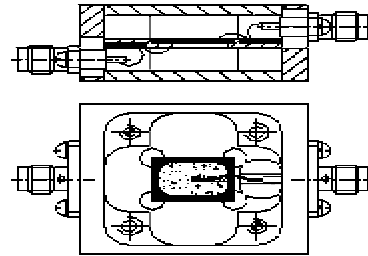


图3 HBAR的结构示意图

HBAR谐振器有大量的频谱响应从而产生一系列梳谱信号,谐振频率间隔与腔声体传输时间成反比。本文采用S波段的HBAR模块,其产生频率为1.5~2.5 GHz的带宽范围,频率间隔为8.13 MHz,HBAR的开环增益在2.2 GHz达到-10 dB。图4、5为实测HBAR的频响曲线。

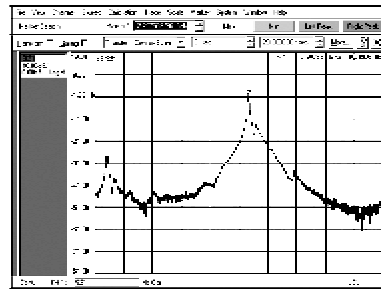


图4 HBAR频谱响应

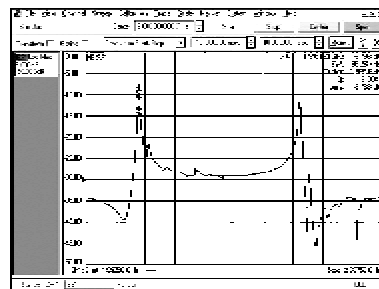


图5 HBAR频响间隔曲线

2.2 高基频声学梳谱信号处理

如何使HBAR和放大器所构成的振荡器产生固定的频率是该方法的关键。本文通过窄带的声表面滤波器与HBAR在谐振回路中串联的方式共同构成振荡环路。由于S波段的声表滤波器的滤波作用,振荡环路可直接产生良好杂波抑制的S波段的信号输出。

本文制作的S波段HBAR的频率间隔为

8 MHz,因此需要滤除所需频率±8 MHz 的信号,由此可计算出滤波的带宽约为 2%,这里采用多级声表面波滤波器串联的方式来实现对临近信号的抑制。

通过对信号的分析,本文采用声表面滤波器和 HBAR 串联来实现对其他频谱信号的抑制。首先测试出 HBAR 的频谱响应点,并挑出 Q 值较高的点,然后级联相应的声表滤波器。通过将 HBAR 和声表滤波器串联之后的频响应曲线如图 6 所示。

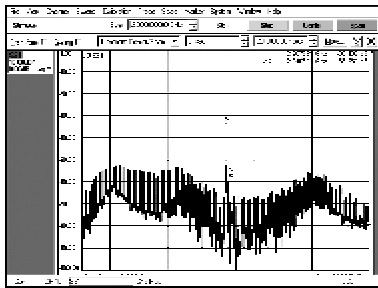


图 6 HBAR 和声表滤波器串联后的频谱响应曲线

由图 6 可看出,HBAR 和声表滤波器的串联使用可将所需信号频率外的频谱响应进行有效抑制,抑制可大于 20 dB,由此可使声学梳谱信号产生器振荡在固定的频率。

3 X 波段信号相噪分析

为了调试方便,制作 X 波段梳谱发生器原型时,我们研制了振荡回路中的声表面波滤波模块、放大模块、HBAR 模块和四倍频模块,实物如图 7 所示。

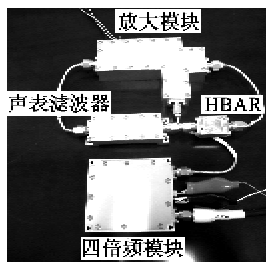


图 7 X 波段梳谱发生器实物图

S 波段梳谱发生器产生频率为 2.2 GHz,其在 1 kHz 处的相位噪声为 -118.9 dBc/Hz,四倍频后得到 X 波段梳谱发生器产生信号频率为 8.8 GHz,其在 1 kHz 处的相位噪声为 -107.4 dBc/Hz,相位噪声曲线如图 8 所示。

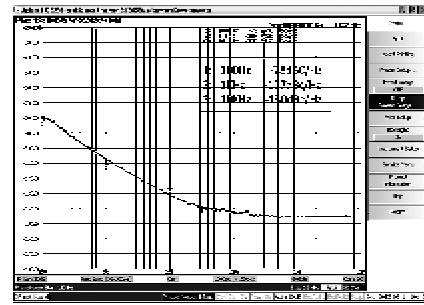


图 8 8.8 GHz 的相位噪声测试曲线

4 结束语

本文对基于 HBAR 的 X 波段低相噪频率合成方法进行了研究;通过梳谱信号处理方法实现输出频率信号选通;采用 HBAR 与声表滤波器串联的方式形成振荡环路,提高梳谱信号选频能力。完成了 X 波段频率合成器原型的设计和试制,相位噪声小于 -107 dBc/Hz@1 kHz,杂散抑制优于 70 dBc。

参考文献:

- [1] LEBRASSEUR E, MARTIN G, BARON T, et al. A feedback-loop oscillator stabilized using laterally coupled mode narrow-band HBAR filters[C]//S. I.; IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, 2011.
- [2] ALEKSEEV S, POLZIKOVA N, KOTELYANSKII I, et al. Tunable HBAR based on magnetoelectric YIG/ZnO structure[C]//Dresden; IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, 2012.
- [3] KHANNA A P S, GANE E, CHONG T. A 2 GHz voltage tunable FBAR oscillator[J]. Microwave Symp Digest, 2003 IEEE MTT-S International, 2003, 2: 717-720.
- [4] 朱明博,刘梦伟,汪承灏. 基于 ZnO 薄膜的高次谐波体声波谐振器的研究[J]. 应用声学, 2013,5:212-216.
- [5] YU H Y Y, LEE C Y, PENG W, et al. 12E-4 low phase noise, low power consuming 3.7 GHz oscillator based on High-overtone bulk acoustic resonator[C]//S. I.; Ultrason Symp, 2007.
- [6] LAKIN K M, KLINE G R, MCCARRON K T. High-Q microwave acoustic resonators and filters[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1993, 41(12): 2139-2146.