

基于 LTCC 的一体化频率源研制

刘明强, 彭亮, 李骞, 何玮洁, 廖雯, 穆晓华

(中国电子科技集团公司第二十六研究所, 重庆 400060)

摘要:采用低温共烧陶瓷(LTCC)技术,设计并实现了一款Ku波段的频率源。该频率源将滤波器集成在LTCC基板内,并采用共晶焊和平行缝焊工艺,实现了频率源的小型化和一体化封装,经测试满足国军标检漏标准。该频率源的输出频率为13.6 GHz,相位噪声为 -88 dBc/Hz@1 kHz,其体积为 $12\text{ mm}\times 15\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 。

关键词:低温共烧陶瓷(LTCC);频率源;小型化;一体化封装;滤波器

中图分类号:TN911.4;TQ174.75 **文献标识码:**A

Development of Integrated Frequency Synthesizer Based on LTCC Technology

LIU Mingqiang, PENG Liang, LI Shuang, HE Weijie, LIAO Wen, MU Xiaohua

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

Abstract: A Ku-band frequency synthesizer has been designed and fabricated using low temperature co-fired ceramic (LTCC) technology. The filter has integrated into the frequency synthesizer, and the miniaturization and integrative encapsulation has been realized by using the eutectic soldering and parallel seam sealing, which satisfies the leak hunting standards of GJB. The output frequency of the frequency synthesizer is 13.6 GHz, phase noise of is -88 dBc/Hz@1 kHz, and the size is $12\text{ mm}\times 15\text{ mm}\times 3\text{ mm}$.

Key words: low temperature co-fired ceramic (LTCC); frequency synthesizer; miniaturization; integrative encapsulation; filter

0 引言

频率源是现代通信系统(包括雷达、导航等)的核心组件,其性能直接影响系统的性能指标。随着通信系统向轻量化和小型化不断发展,对频率源的设计也提出了更高要求,包括体积小和可靠性高等。

低温共烧陶瓷(LTCC)技术能将多个无源组件(如低容值电容、电感、滤波器等)内埋入多层陶瓷基板中^[1-2],可张贴多个IC芯片和多个电子元件,实现完整和小型化的电路功能模块^[3]。同时LTCC材料具有良好的高频传输特性,其品质因数(Q)值较高。因此,LTCC适用于各个频段的射频和微波基板^[4]。

本文设计的频率源在基板内部设计了滤波器,节省了电路表面积,实现了电路的小型化。同时,本文采用了金属围框和LTCC基板共晶焊接、平行缝焊封盖等工艺^[5],实现了本频率源的一体化封装,满足国军标气密性要求。

1 频率源设计

1.1 总体设计

图1为LTCC频率源原理框图。

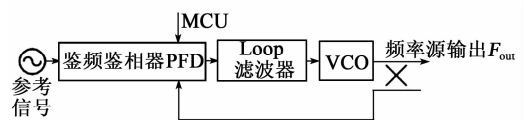


图1 LTCC频率源原理框图

LTCC频率源采用单环锁相实现,鉴相器选择AD公司的某HMC器件,其内部集成了R分频器和N分频器;归一化噪声基底为 -233 dBc/Hz,可获得良好的输出信号相噪指标。压控振荡器(VCO)内部自带前置二分频器,可减少独立的分频器,节约体积^[6]。

LTCC频率源采用100 MHz鉴相,环路滤波器需采用有源环路^[7];该频率源内部集成单片机(MCU),控制频率源实现13.6 GHz信号输出。

1.2 滤波器设计

滤波器采用平行耦合带状传输线结构,内埋于 LTCC 基板内部,其结构如图 2 所示。

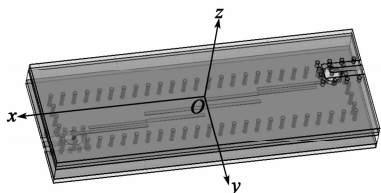


图 2 内埋滤波器结构图

滤波器通带为 13~14 GHz,插入损耗小于 2.2 dB;谐波抑制频带 6.5~7.0 GHz 和 19.5~21.0 GHz,滤波器带外抑制均大于 55 dB。仿真结果如图 3 所示。

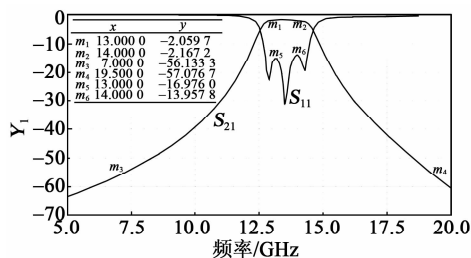


图 3 滤波器仿真结果

1.3 LTCC 电路设计

本电路选用某公司的 LTCC 材料,其相对介电常数为 7.8,总共需要 17 层生瓷片共烧而成^[8]。其中印有图形的共有 7 层,包括表层器件层^[9],第 5、6 层为电源层,第 11 层为滤波器层,第 4、7 和 15 层为地层。

2 频率源组装

2.1 金属围框焊接

本频率源需焊接边框,实现一体化封装。金属围框的焊接工艺主要有 AuSn 和 PbSn 两种。AuSn 共晶焊接是主流的密封焊接工艺,可靠性高,但工艺温度高,需在整个工艺流程第一步实现,成本也较高,后续表贴元器件装配也需要专门的焊膏喷印设备,有一定局限性;PbSn 焊接可实现表贴元件和边框同时用钢网印刷焊膏,并回流焊接,工艺步骤少,温度低。图 4 为回流焊接和共晶焊接密封后模块外观图。由图可知,回流焊接因焊膏量不好控制,其边框残留多余焊锡。下面采用 2 种工艺方法实际各装配 2 只,通过气密性考察选用哪种工艺方法。

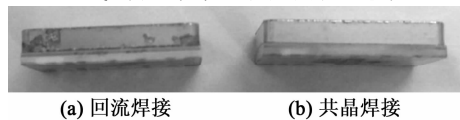


图 4 回流焊接和共晶焊接密封后器件外观图

金属围框采用 4J29 型可伐合金制作,表面镀 Ni+Au。

封装气密性试验:分别按 GJB548B-2005 方法 1042.2 中细检漏条件 A1、粗检漏条件 C1 要求,完成 4 只平行缝焊封盖后“LTCC 一体化频率源”样品的检漏试验,要求测量漏率小于 $5 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ (氦气细检漏);并进行碳氟化合物粗检漏试验。实验结果表明,2 只共晶焊样品和 1 只回流焊接样品细检漏和粗检漏试验均合格,另一只回流焊接样品未通过细检漏和粗检漏试验。其原因可能是因为 PbSn 回流焊膏含有较多助焊剂,回流后助焊剂挥发,易形成孔洞。因此,综合考虑,金属围框和表贴元件焊接应先共晶焊接围框,再回流焊接元器件。

2.2 一体化频率源整体装配

完成一体化频率源装配,密封前、后如图 5 所示。

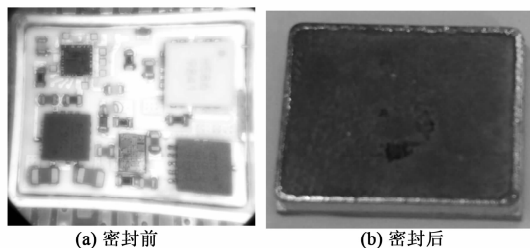


图 5 密封前和密封后组装图

3 频率源测试

用安捷伦公司的频谱仪 E4440A 对该一体化频率源进行测试,中心频率为 13.6 GHz,杂散抑制为 $-58 \text{ dBc} @ \pm 100 \text{ MHz}$,如图 6 所示。

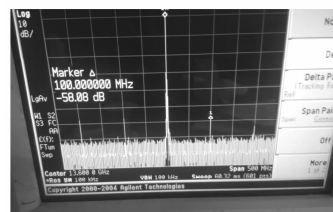


图 6 100 MHz 处杂散测试结果

用相噪仪 E5052B 测试其中心频率的相位噪声分别为 $-88 \text{ dBc}/\text{Hz} @ 1 \text{ kHz}$ 、 $-95 \text{ dBc}/\text{Hz} @ 10 \text{ kHz}$ 、 $-98 \text{ dBc}/\text{Hz} @ 100 \text{ kHz}$,如图 7 所示。

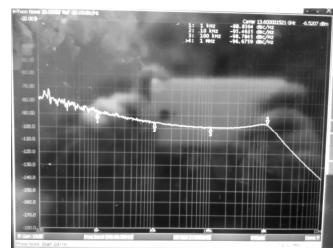


图 7 相位噪声测试结果

4 结束语

与传统 PCB 版相比,本频率源的表面积可减小 70%以上,同时将 LTCC 基板作为外壳封装的一部分,减少了金属外壳的再度封装,实现了频率源的小型化和轻量化,在雷达和航天领域有广泛的应用前景^[10]。

参考文献:

- [1] 杨邦朝,张经国.多芯片组件(MCM)技术及其应用[M].成都:电子科技大学出版社,2001
- [2] 严伟,禹胜林,房迅雷.基于 LTCC 技术的三维集成微波组件[J].电子学报,2005,33(11):2009-2012.
YAN Wei, YU Shenglin, FANG Xulei. Three dimensional integrated microwave modules based on LTCC technology[J]. Chinese Journal of Electronics, 2005, 33(11):2009-2012.
- [3] ZHANG Yunchi, ZAKI K A. LTCC Multi-layer coupled strip-resonator filters[J]. Microwave Symposium, 2007;1039-1042
- [4] 龙乐.低温共烧陶瓷基板及其封装应用[J].电子与封装,2006,6(11):5-9.
LONG Le. LTCC substrate and its packaging applications[J]. Electronics & Packaging, 2006, 6(11):5-9.
- [5] 何中伟,李杰,周冬莲,等.耐高过载 LTCC 一体化 LCC 封装的研制[J].电子工艺技术,2014,6(35):334-336.
HE Zhongwei, LI Jie, ZHOU Donglian, et al. Development of high overload resistant LTCC integral LCC package[J]. Electronics Process Technology, 2014, 6(35):334-336.
- [6] 王玉军,孙旭.基于 LTCC 技术频率源的设计与实现[J].实验科学与技术,2011,5(9):26-28.
WANG Yujun, SUN Xu. Miniaturization frequency synthesizer based on LTCC technology research and implementation[J]. Experiment Science and Technology, 2011, 5(9):26-28.
- [7] 方立军,王元庆.现代频率合成中的分数分频与锁频环[J].现代雷达,2002,24(3):68-72.
FANG Lijun, WANG Yuanqing. Fractional divider and frequency-locked loop of modern frequency synthesizer[J]. Modern Radar, 2002, 24(3):68-72.
- [8] 赵飞,党元兰. LTCC 电路加工中的关键技术分析[J].电子工艺技术,2013,34(1):37-39.
ZHAO Fei, DNG Yuanlan. Analysis of key technologies in LTCC circuit fabrication [J]. Electronics Process Technology, 2013, 34(1):37-39.
- [9] 周骏,窦文斌,沈亚,等.基于 LTCC 技术的表贴式微波模块设计[J].微波学报,2010,2(26):47-49.
ZHOU Jun, DOU Wenbin. A novel surface mounted MCM design using LTCC technology[J]. Journal of Microwaves, 2010, 2(26):47-49.
- [10] 费元春,苏广川,米红,等.宽带雷达信号产生技术[M].北京:国防工业出版社,2002.

(上接第 429 页)

参考文献:

- [1] GUAN M J, LIAO W H. On the efficiencies of piezoelectric energy harvesting circuits towards storage device voltages [J]. Smart Materials and Structures, 2007, 16:498-505.
- [2] SODANO H A, INMAN D J, PARK G. A review of power harvesting from vibration using piezoelectric materials [J]. Shock and Vibration Digest, 2004, 36(3):197-205.
- [3] ERICKA M, VASIC D, COSTA F, et al. Energy harvesting from vibration using a piezoelectric membrane[J]. J Phys IV France, 2005, 128:187-193.
- [4] GYNNNE JONES P, TUDOR M J, BEEBY S P, et al. An electromagnetic, vibration-powered generator for intelligent sensor systems[J]. Sensors and Actuators A, 2004, 110:344-349.
- [5] MITCHESON P D, MIAO P, STARK B H, et al. MEMS electrostatic micropower generator for low frequency operation[J]. Sensors and Actuators A, 2004, 115:523-529.
- [6] 孙春华,杜建红,汪红兵,等.路面振动压电俘能器的性能分析[J].压电与声光,2013,35(4):556-560.
SUN Chunhua, DU Jianhong, WANG Hongbing, et al. Properties analysis of piezoelectric energy harvesters from pavement vibration [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2013, 35(4):556-560.
- [7] 汪红兵,孙春华,李志荣.沥青路面内矩钹形压电俘能器性能仿真分析[J].压电与声光,2015,37(4):667-671.
WANG Hongbing, SUN Chunhua, LI Zhirong. Performance simulation analysis on a rectangle cymbal shaped piezoelectric energy harvester in asphalt pavement[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2015, 37(4):667-671.
- [8] 赵淳生.超声电机技术与应用[M].北京:科学出版社,2007.