

四川省高密度集成器件 工程技术研究中心2011学术年会 暨电子科技大学电子科学技术研究院 第七届学术会议论文集

SICHUANSHENG GAOMIDU JICHENG QIJIAN GONGCHENG JISHU YANJIU ZHONGXIN 2011NIAN XUESHU NIANHUI
JI DIANZI KEJI DAXUE DIANZI KEXUE JISHU YANJIUYUAN DIQIJIE XUESHU HUIYI LUNWENJI

主 审 田 忠

主 编 石忠国 廖家轩

副主编 金 龙 汪 澎 徐自强 尉旭波



电子科技大学出版社

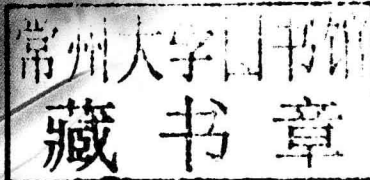
四川省高密度集成器件 工程技术研究中心2011学术年会 暨电子科技大学电子科学技术研究院 第七届学术会议论文集

SICHUANSHENG GAOMIDU JICHENG QIJIAN GONGCHENG JISHU YANJIU ZHONGXIN 2011NIAN XUESHU NIANHUI
JI DIANZI KEJI DAXUE DIANZI KEXUE JISHU YANJIUYUAN DIQIJIE XUESHU HUIYI LUNWENJI

主 审 田 忠

主 编 石忠国 廖家轩

副主编 金 龙 汪 澎 徐自强 尉旭波



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

四川省高密度集成器件工程技术研究中心 2011 学术年会暨电子科技大学电子科学技术研究院第七届学术会议论文集 / 石忠国, 廖家轩主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2011. 12

ISBN 978-7-5647-1022-4

I. ①四… II. ①石…②廖… III. ①集成电路—电子器件—学术会议—文集 IV. ①TN4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 257894 号

四川省高密度集成器件工程技术研究中心
2011 学术年会暨电子科技大学
电子科学技术研究院第七届学术会议论文集

主 审 田 忠

主 编 石忠国 廖家轩

副主编 金龙 汪 澎

徐自强 尉旭波

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 郭蜀燕

责任编辑: 袁 野

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都市新都华兴印务有限公司

成品尺寸: 210mm×285mm 印张 15 字数 415 千字

版 次: 2011 年 12 月第一版

印 次: 2011 年 12 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-1022-4

定 价: 120.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

目 录

基于LTCC的带状线电桥的设计	徐美娟, 徐自强, 瞿小龙, 刘明强	1
基于LTCC技术C波段雷达高度表模拟器小型化研究.....		
.....魏 巍, 汪 澎, 尉旭波, 廖家轩, 王莎欧		5
基于LTCC技术0.1GHz~4GHz超宽带低噪声放大器小型化设计		
.....马 嵩, 尉旭波, 杨邦朝, 胡永达		10
基于LTCC技术的GPS天线的分析与设计	宋世明, 金 龙, 郑 轶, 杨国庆	15
基于LTCC技术的WLAN双向放大器小型化设计	王 滨, 朱立正, 魏旭波	20
基于LTCC技术的X波段压控振荡器的设计	杨世朝, 金 龙, 蒋万兵, 胡季岗	25
内埋置LTCC电感的DCDC变换器研究	瞿小龙, 汪 澎, 徐自强, 曾志毅, 廖家轩	30
提高LTCC垂直过渡传输效率的研究	刘明强, 魏 巍, 朱立正	34
一种LTCC的集总元件Wilkinson功分器设计	霍晓石, 汪 澎	38
一种LTCC左手材料基板小型化毫米波微带天线设计	刘振哲, 汪 澎	42
一种基于LTCC技术蓝牙频段集总巴伦的小型化设计	王 嵩, 汪 澎	46
Ka波段LTCC基片集成波导带通滤波器的设计	曾奇远, 范海涛, 徐自强	50
LTCC超宽带带通滤波器设计	符 博, 尉旭波, 徐美娟, 徐从玉, 刘明强	55
LTCC内埋置电容的修正 π 模型研究	范海涛, 徐自强	59
LTCC小型化两分支集总参数3dB正交定向耦合器设计	刘振哲, 汪 澎	63
基于空间映射神经网络算法的LTCC滤波器研究		
.....夏 红, 徐自强, 汪 澎, 尉旭波, 金 龙		69
基于DDS的低通滤波器设计	王 滨, 朱立正, 魏旭波	74
一种CT滤波器的改进设计	邓宗睿, 金 龙, 汪 澎, 陈海波	77
一款具有双阻带特性的超宽带小型化天线	熊 灵, 高 鹏	81
小型FM芯片天线的研制	杨国庆, 金 龙, 郑 轶	86
小型化低温共烧陶瓷DC/DC变换器设计	徐自强, 郭海平, 石 玉	91
小型化集成超宽带探地雷达系统设计	唐鹏举, 李 超, 曹海霞, 高 鹏	96

小型化开关电源的发展和趋势	瞿小龙, 徐自强, 汪 澎 101
一款集成小型化平面漩涡超宽带天线	高 超, 高 鹏 105
一种基于功放数字预失真技术的延时估计改进算法	
..... 郭湘斌, 金 龙, 唐 伟, 陈海波 110	
北斗接收前端低噪声放大器的设计	谭 淋, 钱可伟 115
岔线带通滤波器的设计与性能	韩世雄, 唐 伟 118
多路对称Doherty结构功率放大器的研究与仿真	许宏志, 唐 伟 121
共面波导馈电的WLAN和WiMAX小型化三频段天线	熊 灵, 高 鹏 125
宽带低噪声放大器设计	刘明强, 尉旭波, 王志达 130
小型化频率源的现状与发展	朱立正, 尉旭波, 魏 巍, 刘明强, 王莎鸥 133
A Doherty power amplifier with an improved π -type output network	
.....Zha Jiahong Luo Yonglun Liu Peiwei Li Qing 138	
Design of the coplanar waveguide electrode for polymer electrooptic modulator	
.....Zhang Chengyu, Zhang Xiaoxia, Ye Qingqing, and Lu Zhiming 144	
Miniaturized dual-mode star-shaped bandpass filter with spurious suppression	
.....K.W. Qian,Y.Yang 151	
非对称Doherty功放的设计	但振峰, 汪 澎 155
基于TD-SCDMA的Doherty高效率功放研究	李力力, 尉旭波 159
基于Si热沉的高功率密度LED阵列建模与仿真技术研究	
.....钟冬梅, 张 靖, 王培界, 王品红 164	
人工超材料 (metamaterials) 研究动态	温海涛, 金 龙 170
运用有效介质理论模拟氧化钒薄膜的光学特性	
.....魏雄邦, 吴志明, 廖家轩, 蒋亚东 176	
多晶太阳能电池双层SiNx薄膜研究	
.....范圣凯, 廖家轩, 魏雄邦, 胡盛华, 俞 健, 全 成 182	
掺杂对BST薄膜相变及介电性能的影响	王 滨, 廖家轩, 张 宝, 徐从玉 187
掺杂对钛酸锶钡薄膜界面特性及介电性能的影响	
.....徐从玉, 廖家轩, 王 滨, 张 宝 192	

缓冲层对BST薄膜生长动力学和介电性能的影响.....	
.....张 宝, 廖家轩, 王 滨, 徐从玉	197
铈钇共掺BST薄膜掺杂机理及介电性能.....	
.....廖家轩, 尉旭波, 徐自强, 汪 澎, 魏雄邦	205
适合大电路的测试集压缩方法.....	张 玲 211
双馈风力发电机并网系统的建模与仿真.....	张会参, 卢志飞 218
基于着色原理的认知无线电频谱分配算法.....	李 猛, 刘 林 219
基于ZigBee的无线传感网数据传输的安全性分析.....	胡 敏, 李良光, 屈庆琳 224
基于STM32的汉英语音翻译系统.....	屈庆琳, 李良光 230

基于LTCC的带状线电桥的设计

徐美娟, 徐自强, 瞿小龙, 刘明强

(电子科技大学 电子科学技术研究院 四川 成都 611731)

【摘要】电桥作为一种重要的微波器件,其小型化是目前研究的热点。本文根据单节耦合线定向耦合器的设计原理,结合LTCC技术,利用HFSS软件,分析了耦合线的结构、层厚等因素对电桥隔离度的影响,成功设计了一个隔离度 $<-35\text{dB}$,体积 $3.2\text{mm}\times 3\text{mm}\times 1.2\text{mm}$ 的LTCC小型化带状线电桥。

【关键词】电桥; LTCC; 隔离度; 小型化

Design of Stripline-Structured Hybrid Based on LTCC

Xu Mei-juan, Xu Zi-qiang, Qu Xiao-long, Liu Ming-qiang

(Research Institute of Electronic Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract Hybrid is one of the most important microwave devices, whose miniaturization is a hot topic nowadays. According to the design principle of single-branch coupling line of directional coupler, factors that influence coupling coefficient and isolation are analyzed. Based on LTCC and HFSS, we finally design a stripline-structured hybrid, the isolation of which is below -35dB and the bulk is $3.2\text{mm}\times 3\text{mm}\times 1.2\text{mm}$. So the goal of miniaturizing hybrid is finally realized.

Key words Hybrid coupler; LTCC; miniaturization; insulation

引言

在微波电路中,电桥是非常重要的器件。其功能是将输入端的信号分为相位差为 90° 的两路等幅信号分别从耦合端和直通端输出^[1]。带状线电桥具有插入损耗低,方向性好等优点。但带状线电桥的结构难以满足现代通信对微波器件小型化、紧凑化的要求^[2]。为了解决该问题,本文引入LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic)技术进行带状线电桥的设计^[7]。LTCC技术是无源集成的重要技术,集多层互连、埋置无源元件和气密性封装于一体,微波性能优良,是实现产品小型化、轻量化和高可靠性的关键技术

之一^[1]。依托该技术设计带状线电桥,可以大大减小器件体积,提高器件的可靠性^[3]。

现有的耦合器多为单层结构,在 10GHz 以下,占用的面积大,器件体积大^[6]。折线结构能在一定程度上减小器件的体积,但其受单层结构线间距的限制,难以满足小型化的要求。作为一种三维封装技术,LTCC技术为耦合器的小型化带来了契机。基于LTCC技术,欧美国家的电桥产品已经缩小到毫米量级。日本以及韩国也开发出了相关的产品。其中韩国RN2公司生产的电桥产品工作在狼牙频段附近的体积已经小型化到了 $6.3\text{mm}\times 3.0\text{mm}\times 1.5\text{mm}$,隔离度达到了 -20dB ,插入损耗小于 0.2dB 。国内的LTCC

技术起步晚,对电桥产品的开发少,尚未见到有相关产品面市。因此对LTCC电桥小型化的研究具有重要意义。

本文带状线电桥在2.4GHz~2.5GHz,指标要求为:驻波 ≤ 1.5 ,隔离度 $\geq 20\text{dB}$,插入损耗 $\leq 1\text{dB}$,带内幅度起伏 $\leq 0.1\text{dB}$,相位起伏 $\leq 2^\circ$,体积小于RN2公司的同类产品。

1. 设计流程图

图1所示为LTCC带状线电桥的设计流程。

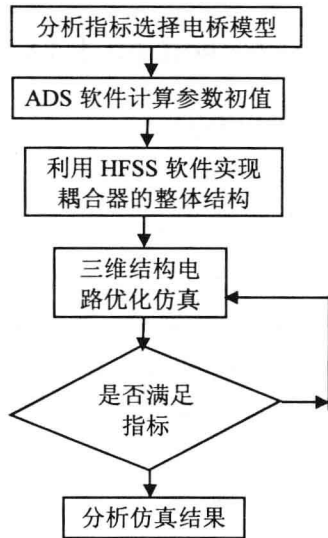


图1 电桥设计流程

2. LTCC带状线电桥的设计原理和方法

2.1 带状线耦合线宽边耦合器原理

平行耦合线定向耦合器的分析方法通常采用“偶模奇模法”[5][8]。

经奇偶模分析,电压耦合系数 K_0 和耦合度 C 分别为

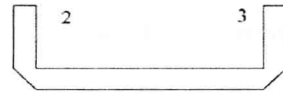
$$K_0 = s_{21} = \frac{\sqrt{\frac{Z_{0e}}{Z_{0o}}} - \sqrt{\frac{Z_{0o}}{Z_{0e}}}}{\sqrt{\frac{Z_{0e}}{Z_{0o}}} + \sqrt{\frac{Z_{0o}}{Z_{0e}}}} = \frac{Z_{0e} - Z_{0o}}{Z_{0e} + Z_{0o}} \quad (1)$$

$$C = 10 \lg |s_{21}|^2 = 10 \lg \left(\frac{k_0^2 \sin^2 \theta}{1 - k_0^2 \cos^2 \theta} \right) \quad (2)$$

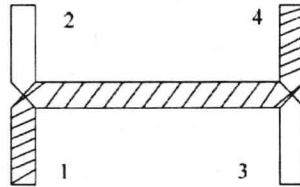
其中, Z_{0e} 、 Z_{0o} 分别代表偶模阻抗和奇模阻抗, θ 为耦合线的电长度。

当输出端与耦合端输出的电压相等时, $C = 3\text{dB}$, $k_0 = 1/\sqrt{2}$, 计算得 $\theta = 90^\circ$ 。所以3dB电桥耦合线的电长度为中心频率处波长的四分之一。此时输出端与耦合端的相位差为 90° 。

传统的侧边耦合结构如图2(a)所示。其占用面积大、耦合弱、无法利用LTCC多层结构的优势,所以在本文采用图2(b)所示的宽边耦合结构。该结构承受功率大,尺寸较小,工作带宽适中。单个宽边带状线耦合器的信号由1口输入时,2口为耦合端口,3口为隔离端口,4口为直通端口。该结构把直通端和耦合输出端放在同一个方向,方便连接和实现级联:用三块材料相同的介质基片和两层金属微带线,将它们按照下接地板、介质层、金属微带层、介质层、金属微带层、介质层和上接地板从下到上依次层叠起来。



(a) 侧边耦合



(b) 宽边耦合

图2 $\lambda/4$ 微带线耦合基本结构

2.2 宽耦合带状线电桥模型的设计及仿真

若用直线型的结构,其体积将远大于设计指标。为了减小体积,对耦合线进行了结构上的重构。由于带宽的要求不高,耦合度比较容易达到,本文设计的主要难点在隔离度。影响隔离度的因素主要有:微带线的宽度,中间介质层厚度 d_1 ,两边介质层厚度 d_2 ,耦合线的形状^{[4] [9] [10]}。本文使用的LTCC基片的厚度是0.1mm。线宽由于受工艺的限制,在仿真中取了0.2mm。由于 d_1 基本不可调,本文主要通过调节 d_2 及耦合线的形状来提高隔离度。

不同形状线圈的隔离度对比如图3(a)所示。折线型结构由于寄生效应,隔离度很难做到-20dB以下。单层螺旋形结构通过调节螺旋内圈大小,隔离度有了提高,体积大大缩小。为消除螺旋结构同一层微带线上的寄生和耦合效应,将每一层耦合线都设计成双层结构,隔离度有很大提高。

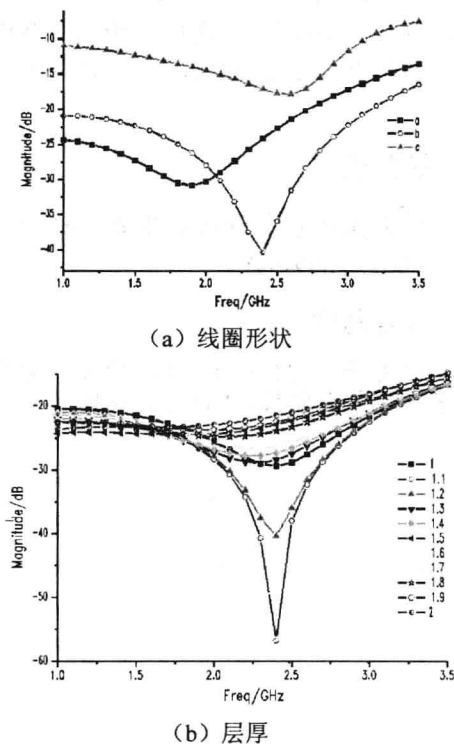


图3 影响隔离度因素分析

不同 d_2 对应的隔离度对比如图3(b)所示。图中右侧数据代表上下接地板之间的距离。根据仿真的结果, d_2 越小,隔离度越好。但是考虑到多层结构, d_2 不可能无限制缩小。

经仿真优化,最终采用螺旋结构的耦合线。中间耦合线均采用了双层螺旋的结构。为了方便外部连接以及使相位平衡,在结构上尽量对称。最终得到的模型如图4所示,对应的仿真结果如图5所示。

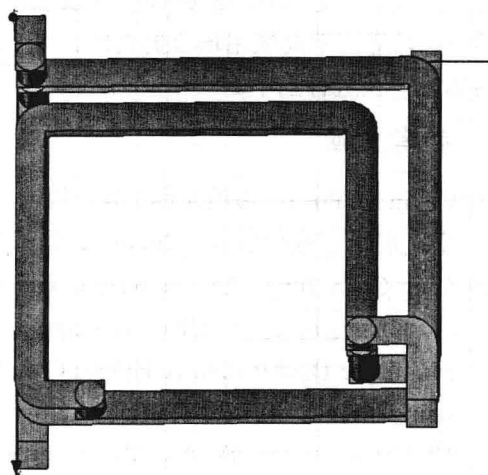


图4 耦合器仿真模型

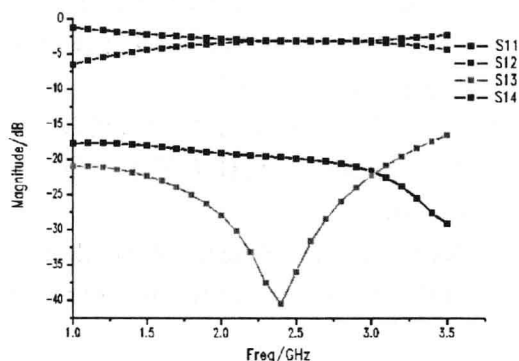


图5 耦合器仿真结果

从HFSS的仿真结果来看,在2.4GHz~2.5GHz的工作频率范围内,耦合平衡度为0.03dB,隔离度优于35dB, VSWR<1.2, 体积为3.2mm×3mm×1.2mm, 相位起伏<1°, 均远优于目标值。

3. 结 论

通过仿真分析,调整耦合线的形状、间距以及上下接地板的距离等,得到了体积 $3.2\text{mm}\times 3\text{mm}\times 1.2\text{mm}$ 、工作频率 $2.4\text{GHz}\sim 2.5\text{GHz}$ 的带状线电桥。在工作频率内,其耦合平衡度为 0.03dB 、隔离达到了 35dB 、VSWR小于1.2。与RN2公司生产的同类LTCC电桥相比,隔离度提高50%、占用面积减小了50%、厚度减少了20%。通过缩小内部线圈,本文的耦合器结构还可以进一步缩小,以适应不同应用场合的需求。本产品的加工正在进行当中。

参考文献

- [1] David M. Pozar. 微波工程(第三版). 北京: 电子工业出版社, 2006: 290~297
- [2] Sung-Chan Jung, Renato Negra, Fadhel M. Ghannouchi, A Microminiature 3dB Multilayer Double-Octave Hybrid Coupler Using LTCC IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 48, no. 12, pp. 2424~2431, Dec. 2005
- [3] 洪求龙, 吴洪江. 基于LTCC技术的SIP研究. 中电科技集团13所.《半导体技术》第33卷, 第5期, 2008
- [4] 付强. 基于LTCC超小型定向耦合器的研究. 西安电子科技大学硕士学位论文, 2011
- [5] J.Reed and G.J.Wheeler. A Method of Analysis of Symmetrical Four-Port Networks. IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 246-252
- [6] R. Beyer and U. Rosenberg. "Compact top-wall hybrid/coupler design for extreme broad bandwidth application." in 2005 IEEE MTT-S Int.Microwave Symp.Dig., June 2005: 1227~1280
- [7] [美]路德维格. 射频电路设计: 理论与应用[M]. 王子宇, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005
- [8] 苏兴华. LTCC双波段定向耦合器设计与分析[J]. 集电路通讯, 2003, 21(2): 4~7
- [9] Hendrick L. W., Levy R.. Design of Waveguide Narrow -Wall Short - Slot Couplers [J]. IRE Trans. on Microwave Theory Tech., 2000, MTT-48(10): 1771~1774
- [10] 张媛. 带状线宽频带 90° 电桥的设计[J]. 遥测遥控, 2004, 25(5): 48~51
- [11] 倪春, 张庆华, 吴先良. 3dB带状线电桥的研究与设计. 2010, 4: 193~195

基金项目

中央高校基本科研业务费专项资金资助(ZYGX2009J091)

作者简介

徐美娟(1987—), 女, 硕士研究生, 从事微波集成电路、LTCC集成技术。

基于LTCC技术C波段雷达高度表模拟器小型化研究

魏巍, 汪澎, 尉旭波, 廖家轩, 王莎欧

(电子科技大学 电子科学技术研究院 四川 成都 611731)

【摘要】本文介绍了一种基于LTCC技术的小型化雷达高度表模拟器。雷达高度表模拟器利用现有仿真技术及数字电路技术,通过为雷达高度表提供模拟回波信号,达到检测雷达性能的目的。同时,随着电子技术的迅速发展,小型化、高性能、高可靠性、便携性和低成本成为未来电子系统及整机的发展趋势。低温共烧陶瓷(LTCC)技术作为目前国际先进的集成技术,是实现雷达模拟器小型化的关键途径之一。利用LTCC 3D-MCM技术和无源器件内埋技术以大大减小系统面积,最终的模型大小为25mm×24mm×5.5mm。

【关键词】LTCC; 雷达; 高度表; 3D-MCM

Compact Radar Altimeter Simulator Using Low Temperature Co-fired Ceramic Technology

Wei Wei, Wang Peng, Wei Xu-Bo, Liao Jia-Xuan, Wang Sha-ou

(Research Institute of Electronic Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054 People's Republic of China)

Abstract A low-temperature co-fired ceramic (LTCC) module for miniaturized radar altimeter simulator is presented in this paper. Using the existing simulation technology and digital circuit technology, Radar altimeter simulator provides echo signals to achieve the purpose of detection of Radar performance. Meanwhile, with the rapid development of electronic technology, miniaturization, high performance, high reliability, portability and low cost have been the future development trend of the whole system. As an advanced integration technology, Low Temperature Co-fired Ceramic (LTCC) is one of the best ways to realize the miniaturization of radar altimeter simulator. By taking advantages of the LTCC three-dimensional Multi-chip Module (3D-MCM) technology, the embedded circuit elements can be arranged vertically for size reduction. The proposed module features a compact size of 25mm × 24mm, with a packaged height of 5.5mm.

Key words LTCC; Radar; Altimeter; 3D-MCM

引言

雷达高度表又称为无线电高度表,简称高度表,是用来测量飞行体与地面或海平面之间真实高度的仪器。它具有广泛的民用和军事用途,是一种特殊的雷达系统^{[1]~[3]}。雷

达模拟器的产生,以其经济、快速和可重复性等优点很快地解决了雷达性能指标测试和评估过程中面临的诸多问题。

随着电子技术的迅速发展,小型化、高性能、高可靠性和低成本成为未来电子系统的发展趋势,针对功能完善、结构复杂和体

积较大的雷达模拟器,研制小型化的雷达高度表模拟器具有重要意义。低温共烧陶瓷(LTCC)技术作为目前国际先进的集成技术,为雷达模拟器的小型化设计提供了强有力的技术保障。本文立足于传统脉冲雷达高度表工作原理,采用LTCC 3D-MCM技术,介绍一种基于CPLD信号处理的小型化C波段脉冲雷达高度表模拟器设计,并给出实际测试结果,实物大小仅有 $25\text{mm}\times 24\text{mm}\times 5.5\text{mm}$ 。

1. 雷达高度表模拟器设计

对于特定的雷达高度表模拟器,由于其保密性,国内外都缺乏相关的报道。从仅有的少量的公开信息来看,现代雷达模拟器主要采用声表延迟线方法实现对雷达信号的模拟。其具体思路是:用声表延迟线来延迟雷达信号,然后通过公式 $S=vt$ (S 代表长度, v 代表光速, t 代表时间)将延迟时间换算为飞机高度。这种方式虽然结构相对简单,但是系统庞大、仅能模拟几个离散点及成本高等缺点也限制了它的应用与发展^[4]。

针对现有的雷达高度表模拟器设计过程中存在的问题和挑战,根据课题指标要求,本文提出一种基于CPLD信号处理雷达高度表模拟器,设计其射频电路结构,其系统方框图如图1所示。

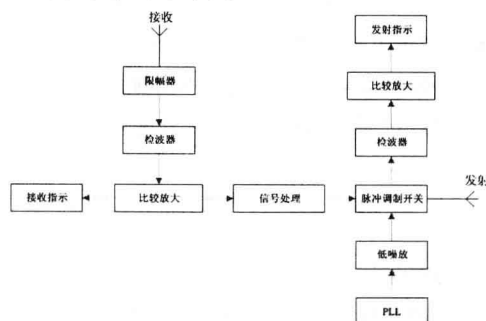


图1 雷达高度表模拟器系统框图

该系统采用收发分开双天线工作模式。主要由限幅器、检波器、放大比较电路、信

号处理电路、微波调制开关、锁相环回路、LNA、发射接收监测以及天线等多个模块组成。

2. 雷达模拟器小型化设计与实现

LTCC技术是1982年由休斯公司开发的先进材料技术^[5]。该技术不仅可以实现多层布线,而且可以根据需要,将无源器件内埋,实现系统小型化。

图2与图3分别为内埋置电容与电感的等效电路模型及三维结构。

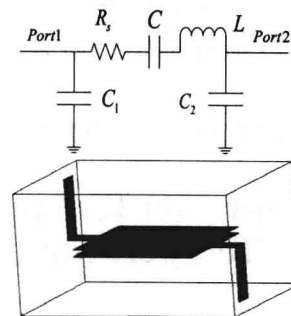


图2 内埋置电容等效电路模型及三维结构

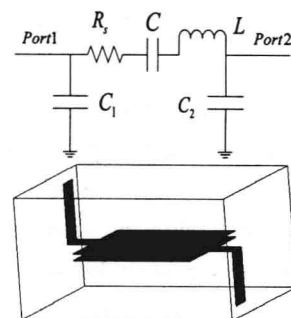


图3 内埋置电感等效电路模型及三维结构

依据系统需求,利用三维结构图,使用HFSS软件可以分别对内埋置平板电容的 S 参数输出特性和内埋置电感的 Y 参数进行仿真模拟,再带入相应计算公式,可得到需要的电容值和电感值。

本文不仅利用了LTCC内埋无源器件和多层布线的优势,同时采用了在此基础上发展起来的LTCC三维多芯片组件(3D-MCM)技术。该技术可轻松突破传统2DMCM组装

的最大理论极限85%，组装密度可高于200%，大大节省体积，进一步实现电路小型化和系统集成化^{[6]~[8]}。

整个系统的三维封装剖面结构示意图如图4所示。

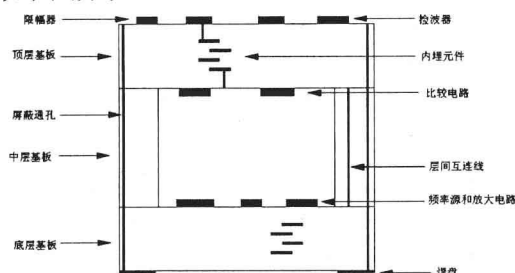


图4 高度表模拟器3D结构示意图

系统版图使用Altium Designer 6软件设计，将功能电路设计与HFSS无源元件仿真值结合，得到LTCC小型化模拟器布线与布局如下^[8]：

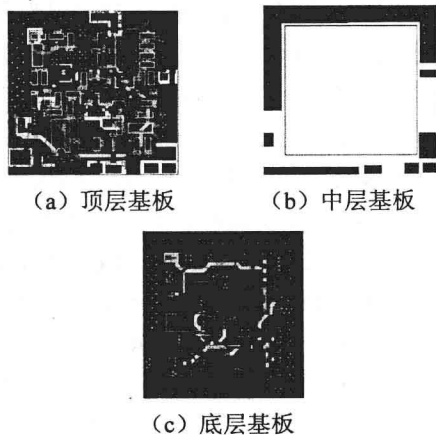


图5 版图

根据所设计雷达模拟器工作频段及电性能可靠，以及工艺水平等考虑，为了保证烧结后整个基板有一定的厚度与机械强度，本设计选用相对介电常数为5.9的Ferro A6-M作为系统基板膜片，采用10层结构^{[9]~[10]}。顶层基板top层是射频电路收发支路，bottom层是射频电路控制电路，第4层是网格地层，有效减小了射频信号与低频信号之间的互扰。底层基板top层是PLL电路，bottom层是

接地面和输入输出阵列焊盘。第6层为网格地，同时增加电容对地的距离，减小寄生效应。因为顶层基板bottom层与底层基板top层均有器件排布，因此采用了中层隔板以增加间距，基板实物如图6所示。制成基板后，通过回流焊工艺将所需器件安装在基板表面，利用金丝压焊的方式将裸芯片与金属微带线连接起来。

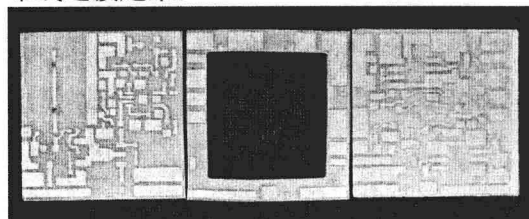


图6 雷达模拟器LTCC基板实物

3. 测试分析

雷达高度表模拟器的实物照片如图7所示。它的总体大小为25mm×24mm×5.5mm，是实现同功能的PCB板体积的55%。

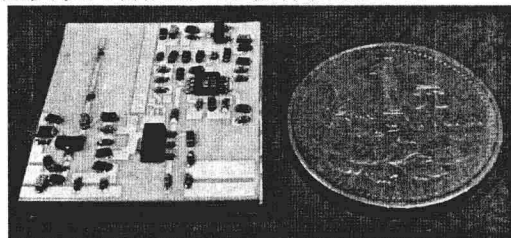
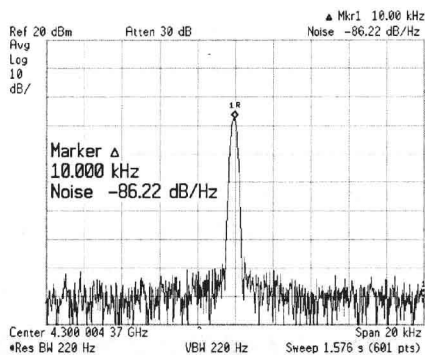
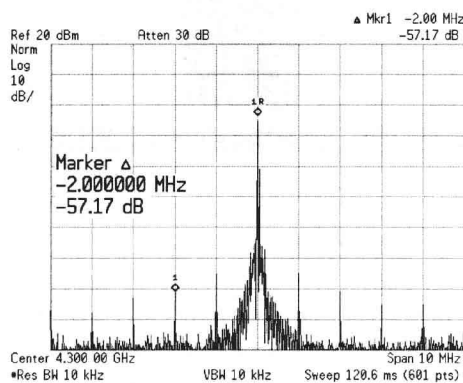


图7 雷达高度表模拟器实物照片

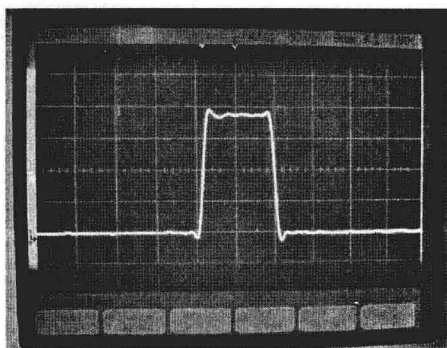
根据指示要求，对整机各个具体指标给以测试。由图8测试结果显示：发射频率为5.60GHz，40个频点跳变正常，连续波功率8.8dBm；PLL测试结果显示相位噪声为-86.22Bc/Hz at 10kHz，杂散为-57.17dBc，检波信号高电平为3.8V，脉冲宽度100ns，上升沿和下降沿各10ns，占空比0.01%，检波器最小检测功率为-5.2dBm，基本满足指标要求。而系统的延时时间为45ns，略低于指标要求。原因是：检波电路的内埋置匹配电容容值偏大，增加了整个系统的延时时间。



(a) 相位噪声



(b) 杂散



(c) 检波信号

图8 测试结果

4. 结 论

本文依据系统级封装(SIP)的技术思路,采用LTCC技术优势,对雷达高度表模拟器小型化进行了研究与制作,同时介绍了实现其小型化的一体化封装结构模型和布线布局,验证了利用LTCC 3D-MCM技术实现系统及整机小型化的可行性,对类似的系

统小型化封装设计有一定的借鉴和帮助。

参考文献

- [1] Hovanessian S. A. 雷达探测与跟踪系统[M]. 高锡俊, 叶志轻, 译. 西安: 空军工程学院, 1984
- [2] 蔡世学. 国产雷达高度表的研制与应用[J]. 世界导弹与航天, 1990, 2(10): 44~47
- [3] 朱启明. 雷达高度表设计理论基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1992
- [4] 李正钢. 雷达高度表模拟器的设计与研究; [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2010
- [5] 王悦辉, 周济, 崔学民. 低温共烧陶瓷(LTCC)技术在材料学上的进展. 无机材料学报, 2006年3月21卷第2期
- [6] 杨邦朝, 蒋明, 胡永达. LTCC组件技术及未来发展趋势. 混合微电子技术, 2002, 13(1): 1-10.45
- [7] R. R. Tummala, M. Swaminathan, M. M. Tentzeris, J. Laskar, G. K. Chang, S. Sitaraman, D. Keezer, D. Guidotti, Z. Huang, K. Liu, and P. M. Raj. "The SoP for miniaturized, mixed-signal computing, communication, and consumer systems of the next decade". IEEE Trans. Adv. Packaging., vol. 27, no.2, pp.250~267, May 2004
- [8] Gawon Kim, Albert Chee W. Lu, Fan Wei, Lai L. Wai, and Joungho Kim. "3D Strip Meander Delay Line Structure for Multilayer LTCC-based SiP Applications". Proceedings of 2008 Electronic Components and Technology Conference, pp.2081~2085, 27~30 May. 2008
- [9] Chiu C T, Horng T S, Ma H L, et al. Super Broadband Lumped Models for Embedded Passives[J]. IEEE Electronic Components

and Technology. 2004,1(1-4): 1104~1107
[10] Ferro. A6-S High Frequency LTCC
System application notes. USA: ferro
electronic material system, 2007

基金项目

本文工作在电子科技大学中央高校基

本科研业务费专项资金 (ZYGX2010J120)
资助下完成。

作者简介

魏 巍 (1985—), 电子科技大学电子
科学技术研究院硕士研究生, 主要从事微波
频率源小型化研究。

基于LTCC技术0.1GHz~4GHz超宽带 低噪声放大器小型化设计

马 嵩^{1,2}, 尉旭波², 杨邦朝^{1,2}, 胡永达²

(1. 电子科技大学 电子科学技术研究院 四川 成都 610054;

2. 电子科技大学 微电子与固体电子学院 四川 成都 610054)

【摘 要】选用LTCC这种先进的工艺与噪声低、体积小的大器,利用内埋置与负反馈、宽带匹配等技术,结合ADS与HFSS软件的辅助设计,研制出在0.1GHz~4GHz频带内,增益大于21dB,平坦度小于 ± 0.8 dB,噪声系数小于1.4 dB,驻波比小于1.5的宽带低噪声放大器。该放大器频带宽、体积小,可满足与各种微波通信领域。

【关键词】低噪声放大器;超宽带;LTCC;负反馈

0.1GHz~4GHz ultra-broad band LNA based on LTCC technology

Ma hao^{1,2}, Wei xu-bo², Yang bang-chao^{1,2}, Hu yong-da²

(1. Research Institute of Electronic Science and Technology, UESTC, Chengdu 610054, China;

2. School of Micro Electron and Solid Electron UESTC Chengdu 510054, China)

Abstract We choose the advanced technology LTCC and low-noise, small-size amplifier IC, combing LTCC embedding process and negative feedback, wideband match techniques, with the help of ADS and HFSS software, we achieve a 0.1GHz~4GHz wideband LNA. The LNA shows the gain above 21dB, flatness below ± 0.8 dB, noise figure less than 1.4dB, with low cost and small volume. This LNA can be widely used in microwave communication areas.

Key words low noise amplifier; ultra-broad band; LTCC; negative feedback

引 言

随着电子科技技术的不断发展,电子业界对于电子器件小型化要求越来越高,在体积、能耗、成本方面提出越来越苛刻的要求,而LTCC器件的特点恰到好处满足了上述需要。近年来,国内外在LTCC微波组件集成技术方面有了长足的进步,各种集成电容、集成电感、LTCC滤波器在理论和实现方面

都在持续发展中,应用的频段也在不断扩展,从微波低端直到毫米波波段。

宽带低噪声放大器(LNA)是通信、雷达、电子对抗及遥测遥控等接收系统的关件部件,而噪声系数又是低噪声放大器关键指标,更低噪声系数的放大器能提高系统的灵敏度^[1]。本文研制的宽带低噪声放大器是开发市场预研项目,结合LTCC技术与选用合

适的器件与电路结构使低噪声放大器具有超宽带、小型化和低噪声系数的优势,频率范围100MHz~4000MHz,覆盖了大部分通信频段和军民两种无线电频段,具有良好的应用市场前景。

1. LTCC技术

与普通的FR4板材相比,LTCC基板具有明显的高频优势;由于其三维多层集成功能,因此与传统的微波板(主要是聚四氟乙烯PTFE类产品)相比,在体积上占有明显的优势。此外,LTCC材料介电常数范围宽,可适应各种频段应用需求,与HTCC相比,由于LTCC烧结温度低,可采用低熔点、低损耗的银、金等导体浆料进行布线印刷,极大地降低了LTCC产品的损耗;并且与半导体工艺的热胀系数非常接近利于有源/无源集成^[2]。

综上所述,LTCC技术具有如下优点:

(1) LTCC材料具有优良的高频高Q特性,使用频率可高达几十GHz,能很好地满足日益发展的无线射频微波应用要求;

(2) 使用银、金、铜及其合金等高电导率的金属材料作为导体材料,有利于提高电路系统的品质因子,制作的电路导体损耗小;

(3) 集成度高,LTCC可以制作层数很高的电路基板,一般可以达到几十层甚至上百层,实现有源/无源集成,有利于提高电路的组装密度;

(4) 可适应大电流及耐高温特性要求,并具备比普通PCB电路基板更优良的热传导性;

(5) 可靠性高,耐高温、高湿,可应用于恶劣环境,如军事通信设备、航空航天电子等;

(6) 成本低,属非连续式的生产工艺,

允许对生瓷基板进行检查,降低生产成本。

2. 设计理论以及方案

低噪声放大器的主要作用是放大天线从空中接收到的微弱信号,降低噪声干扰,以供系统解调出所需的信息数据,所以低噪声放大器的设计对整个接收机来说是十分重要的。

低噪声放大器与一般的放大器不同之处在于,低噪放是按照噪声最佳匹配并非最大增益点,因此增益相对要下降。噪声最佳匹配情况下的增益称为相关增益。通常相关增益比最大增益大概低2~4dB。为了达到最佳的噪声指标需要一定的适配为代价,但在输出级理论上是可以按最佳匹配设计的^[3]。

放大管的功率增益是随着频率增加大约按6dB/倍频程下降,因此在设计超宽带放大器时必须使用相应的方法来补偿增益的下降,且要保证其稳定性,所以要慎重考虑阻抗匹配及选择合理的电路形式。一般宽带放大器有以下几种方法:①平衡放大器;②有耗匹配放大器;③分布式放大器;④负反馈放大器^[4]。这些方法各自有其优缺点,综合考虑此设计选用负反馈与有耗匹配的形式来实现。选用这种方法的优点是容易设计、利于调试,缺点是以牺牲一定的噪声、增益为代价。

2.1 电路设计

本设计采用两级放大,第一级放大器选用ATF54143,它的优势具有增益高,噪声系数小,体积小,工作电流较小,静态工作点稳定,不易自激等特点。基板采用ferro公司140膜片考虑到内埋置电感、电容与机械强度等因素,电路基板的厚度为0.6mm。第一级偏置与匹配电路如图1所示。