

Design of a Miniaturized LTCC Lumped Balun

Xin Wang*, Yongsheng Dai

School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu
Email: *2310164987@qq.com

Received: Mar. 26th, 2016; accepted: Apr. 11th, 2016; published: Apr. 14th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

This paper presented a design and realization method of lumped balun based on the LTCC technology, which was derived from simple LC balun and designed by ADS circuit simulation and the HFSS software to optimize the 3D modeling. The measured results agree with the simulated data basically, the center frequency of balun sample is 70 MHz, the bandwidth is 20 MHz, the insertion loss of the pass band is less than 4.7 dB, the phase difference between the two output ports is more than 172°, the size is only 2.5 mm × 1.5 mm × 1 mm. The balun can totally be used in miniaturized mobile communication equipment.

Keywords

Low Temperature Co-Fired Ceramic, Lumped, Miniaturization, Balun

一种小型化LTCC集总巴伦设计

王鑫*, 戴永胜

南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏 南京
Email: *2310164987@qq.com

收稿日期: 2016年3月26日; 录用日期: 2016年4月11日; 发布日期: 2016年4月14日

摘要

本文提出了一种基于LTCC技术的集总巴伦的设计与实现方法。该小型化集总巴伦由简易LC巴伦结构改进

*通讯作者。

而成, 利用ADS软件进行电路仿真以及HFSS软件三维建模设计。性能测试结果表明: 测量结果数据与仿真结果基本一致, 该巴伦的标称中心频率为70 MHz, 频带宽20 MHz, 通带内插入损耗小于4.7 dB, 两端口相位差大于172°, 尺寸仅为2.5 mm × 1.5 mm × 1 mm。完全能够满足当今通信设备日益小型化的要求。

关键词

低温共烧陶瓷, 集总, 小型化, 巴伦

1. 引言

巴伦是由英文名 balanced-unbalanced 的缩写 BALUN 音译而来, 即平衡-非平衡变换器。其中 balanced 代表差分结构, unbalanced 代表的是单端结构, 巴伦一般作为单端电路与双端电路之间的转换器, 单端电路是指单输入单输出的一类电路, 传输的信号为非平衡信号, 双端电路指双端输入的电路如偶极天线等, 传输平衡信号。现如今差分电路因其高增益、抗电磁干扰能力强、抗电源噪声、抗地噪声能力很高、抑制偶次谐波等优点越来越受到欢迎。同时, 在 RF 电路和低频电路中, 由于差分电路广泛使用使得巴伦的重要性也与日俱增[1]。

LTCC (低温共烧陶瓷)技术自面世以来便是令人瞩目的整合组件技术, 经过这几十年的发展更是成为无源集成技术的主流技术。为满足军用电子整机、通讯类电子产品及消费类电子产品迅速向短、小、轻、薄方向发展, 手机、PDA、MP3、笔记本电脑等终端系统须拥有愈来愈多的功能, 各企业及高校不断加大研发投入, 越来越多的功能器件产品采用 LTCC 工艺制造。低温共烧陶瓷技术(LTCC)是一种多层陶瓷制造技术, 经过研磨、混料, 留延, 切片, 打孔, 印刷和填孔, 叠层、切割, 排胶共烧等一系列加工过程[2]。LTCC 与其他集成技术相比, 加工的电路品质因数好, 耐用性强, 可用于恶劣环境, 且易与其它集成技术兼容, 成品率高, 还有着节能节材绿色环保等优点。

LTCC 以其优异的电子、机械、热力特性已成为未来电子元件集成化、模组化的首选方式[3]。

本文中对巴伦的设计, 由于中心频率低带宽窄, 选择集总式设计亦可满足指标。其具体指标如下: 中心频率为 70 MHz, 带宽为 20 MHz, 通带内插入损耗小于 4.7 dB, 两端口相位差大于 172°, 尺寸仅为 2.5 mm × 1.5 mm × 1 mm。

2. 巴伦的原理分析

巴伦是具有一个不平衡端口和两个平衡端口的三端口器件。平衡端口输出的信号须具有相同的幅值, 且两信号还需要有 180°的相位差。许多电路需要将不平衡信号转化为平衡信号, 以减少电路的噪声和高次谐波, 改善电路的动态范围。

巴伦形式多样, 总体上可分为有源巴伦和无源巴伦两大类。有源巴伦需要使用晶体管等有源器件, 所以噪声和功耗不可避免。而无源巴伦又可以分为分布参数形式巴伦、螺旋变压器形式巴伦和集总元件形式巴伦三类。螺旋变压器形式巴伦在低频和超高频(UHF)时效果较好, 且有一定的损耗; 分布参数形式巴伦可细分为 180°混合环巴伦和 Marchand 巴伦。在微波频段, 180°混合环巴伦有相当好的频率响应, 但是过大的尺寸限制它应用于射频频段, 即从 200 MHz 到几 GHz。Marchand 巴伦性能较好带宽较宽, 故被最多使用。但是 Marchand 巴伦用四分之一波长耦合线构成, 占用面积大, 低频段时尤其不可取; 集总元件形式巴伦两输出端口信号虽不容易达到 180°的相位差和幅值相同的输出, 但其体积小、重量轻, 结构简单且成本较低, 且易于设计[4]。

巴伦是一种三端口网络, 其中一个是不平衡输入端口, 另外两个是平衡输出端口, 如图 1 所示。

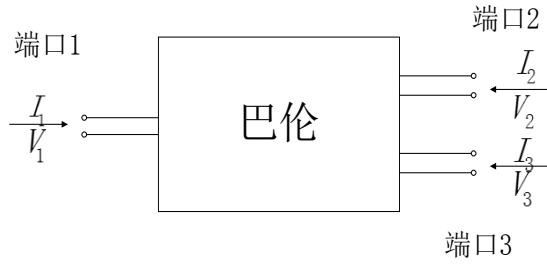


Figure 1. Balun structure and schematic diagram
图 1. 巴伦结构示意图

此三端口网络的电压电流关系, 用 Y 参数表示如下:

$$\begin{cases} I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 \\ I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 \\ I_3 = Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3 \end{cases} \quad (1)$$

导纳矩阵为:

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

由于巴伦其互易网络的特性, 故有 $Y_{ij} = Y_{ji}$, 那么导纳矩阵可表示成:

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{21} & Y_{31} \\ Y_{12} & Y_{22} & Y_{32} \\ Y_{13} & Y_{23} & Y_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

两输出端口幅度相同相位相反, 故端口 2 和端口 3 两个平衡端口应满足:

$$\begin{cases} V_2 = -V_3 \\ I_2 = -I_3 \end{cases} \quad (4)$$

(4)式代入(3)式得:

$$\begin{cases} Y_{12} = -Y_{13} \\ Y_{22} = Y_{33} \end{cases} \quad (5)$$

上式就是巴伦阻抗(导纳)匹配条件, 即巴伦三端口网络平衡条件的导纳表示式, 它给出了巴伦三端口网络输入和输出的阻抗(导纳)关系。

设端口 1 的输入导纳为 Y_1 , 端口 2 和端口 3 的输出导纳为 Y_2 , 由式(5)得:

$$Y_1 = Y_{11} - \frac{2Y_{12}}{Y_2 + Y_{22} - Y_{23}} \quad (6)$$

这是三端口网络作为巴伦时, 输入导纳和输出导纳之间应满足的关系。

公式(6)为输入导纳和输出导纳的关系式。从以上表达式可以看出, 该巴伦可以输出一对幅度相等信号, 且均满足-3 dB 功率转换效果。一般来说 Y_1 与频率有关, 且为复数, 如果想使巴伦在较宽的频带内工作, 则应使 Y_1 尽可能与频率无关[5]。

由基本的 LC 巴伦进行改进得到以下原理图, 集总巴伦原理图如图 2 所示。

从图 2 中可以得出, 该巴伦结构中一路由两个串联电感中间接一接地电容在末端电感形成输出, 而

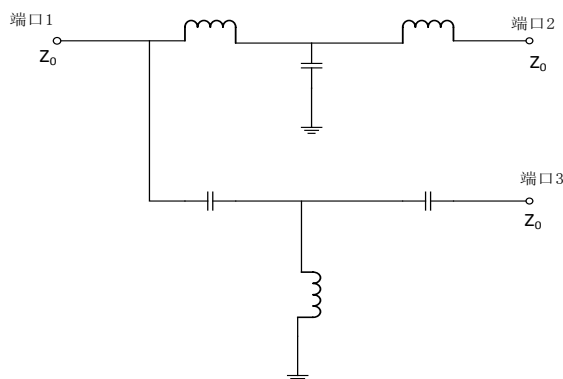


Figure 2. Lumped Balun structure and schematic diagram
图 2. 集总巴伦结构图

另一路则是两串联电容间接一接地电感并在末端电容形成输出, 信号从端口 1 输入, 经过阻抗变换的作用, 在端口 2 和端口 3 输出两路幅值相同相位相反的信号[6]。

3. LTCC 集总巴伦设计

3.1. 设计理论

由给定巴伦的设计指标, 运用 ADS 仿真软件确定原理图中各电容电感大小, 使得整个电路参数满足指标要求。然后根据设计要求结合 HFSS 设计软件进行建模, 模型完成后对其与先前原理图进行数次拟合, 以确定各元件参数。最后进行总体试验调试, 加工生产, 分析并测试性能。

3.2. 设计过程

由给定巴伦的设计指标, 运用 ADS 仿真软件画出集总形式巴伦原理图并设置变量进行优化, 使得整个电路参数满足指标要求。在合适的尺寸下一次画出各电感电容等元件完成三维设计。首先对各元件逐个拟合: 将原理图中需拟合的元件用 SNP 文件代替并接地, 在三维设计中利用相应元件进行单独的电磁仿真得到 SNP 文件加载到原理图中, 通过对比已优化完成的指标图确定三维设计中各电感电容的大小。其次再对每一路电路分别进行拟合调试直到满足指标, 最后整体仿真对模型稍作调整优化确定最终三维结构[7]。

3.3. LTCC 集总巴伦的三维实现

本设计的中心频率是 70 MHz, 属于 VHF 波段, 带宽为 20 MHz。基于 LTCC 的三维设计模型, 确定该集总形式巴伦的尺寸为 $2.5 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$, 陶瓷材料选用相对介电常数为 13.3 的材料, 介质损耗角为 $\tan \theta = 0.00058377$, 金属导体材料为银, 厚度均为 0.01 mm [8]。

如图 3、图 4 所示, 两电感中间引出输出端口 2 的两个电容值较大, 考虑到空间大小及巴伦尺寸, 采用垂直方向平行板叠层电容, 不仅能够满足电容参数, 对减小器件尺寸也有重要意义[9]。电容在器件内部右下方串联且直接引出输出端口 2, 两电容中间向上接入接地电感。层叠电容平行板的面积以及上下平行板之间的距离主要会影响电容值的变化, 面积越大, 层间间距越小的电容值越大。该巴伦中电感采用三维螺旋结构, 其优点是减小电感线长, 增大空间的利用率[10]。

信号从输入端口进入, 分两路将能量等分传导至电感及层叠电容, 最终形成幅度相等相位相反的两路信号在两输出端口输出。本设计由于中心频率较低, 电感电容值均较大, 故电容采用层叠电容而电感则有着相对较多的层数, 器件尺寸比较理想。

3.4. 仿真测试结果

小型化 LTCC 集总巴伦的模拟仿真结果如图 5 所示, 中心频率为 70 MHz, 带宽为 20 MHz, 通带内插入损耗小于 3.75 dB ($60\text{ MHz} < f < 80\text{ MHz}$), 两端口相位差大于 174° 。

经过生产加工, 并进行测试, 其测试结果如图 6 所示, 在通带 60 MHz 与 80 MHz 处, 其中 3 端口 3 插入损耗分别为 3.41 dB, 4.69 dB。通带范围内插入损耗优于 4.7 dB。两输出端口幅度差优于 0.65 dB。其两端口相位测试曲线如图 7 所示, 两端口相位差为 $180^\circ \pm 8^\circ$, 其性能测试基本达到预期。

经过对比分析, 仿真与测试结果存在一定误差, 原理图中的仿真相位差与实物测试相位差经计算会存在着 2° 到 4° 的误差, 但总体来说还是在 170° 以上, 通带内插损也有着 1 dB 左右的误差, 主这要是由于

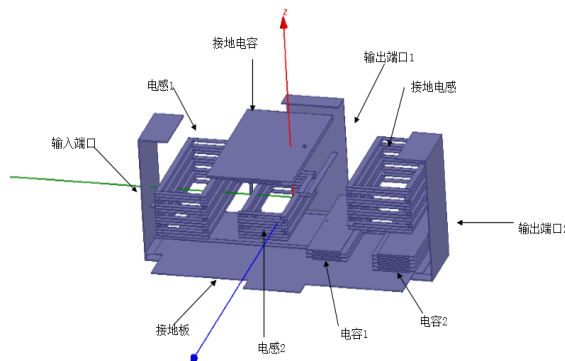


Figure 3. The lumped Balun internal three-dimensional structure

图 3. 集总巴伦的内部三维结构

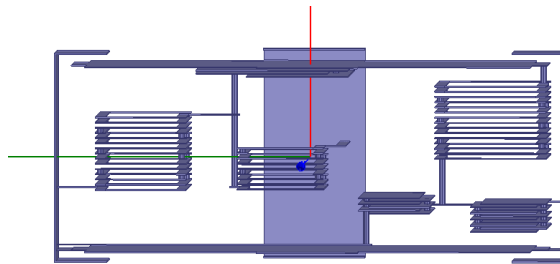


Figure 4. Front view of the Lumped Balun

图 4. 集总巴伦的正视图

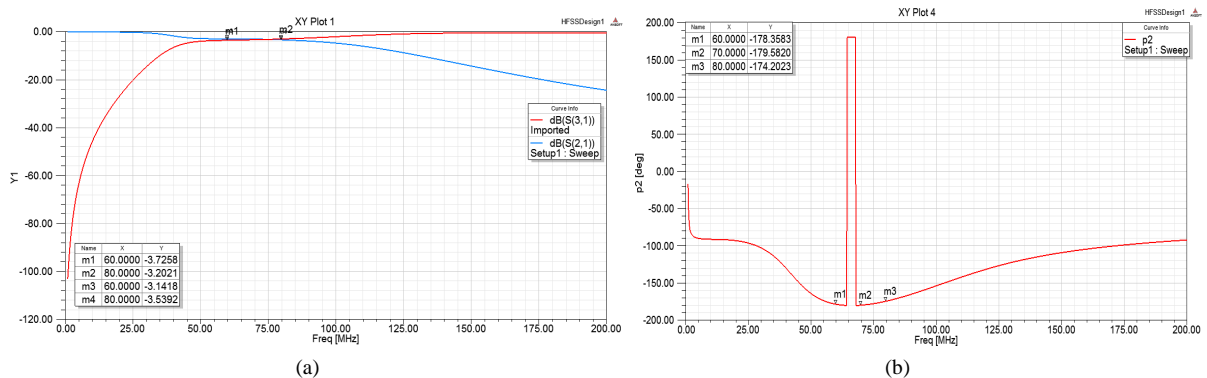


Figure 5. The Lumped Balun simulation result; (a) Insertion loss; (b) Phase difference of two output port

图 5. 集总巴伦仿真图; (a) 插入损耗; (b) 两端口相位差



Figure 6. The Lumped Balun test curve

图 6. 集总测试曲线图

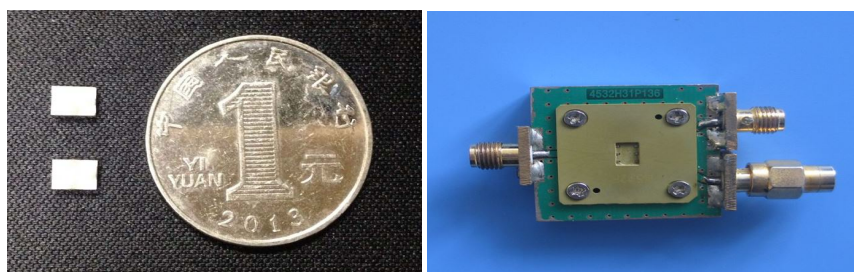


Figure 7. The Lumped Balun physical and test figure

图 7. 集总巴伦实物图与测试夹具图

所用陶瓷介质差异、加工过程不能完全精确、测试夹具存在损耗等原因造成。但总体来说，该产品达到了预期的目标，可以进行批量生产加工。

4. 结论

本设计是一种基于 LTCC 技术的小型化集总窄带巴伦，中心频率是 70 MHz，属 VHF 频段，频率较低，波长较长，采用集总结构完全可以满足其窄带以及小型化的要求。利用电路仿真及三维设计软件对巴伦进行仿真设计，要获得输出端口插损和两端口相位差的理想值需对三维设计不断进行调试。实际测试结果基本达到仿真测试结果。可以进行批量生产。

参考文献 (References)

- [1] 黄昆. 一种微型 LTCC 巴伦的设计与实现[J]. IT 时代周刊, 2014: 7-20.
- [2] 戴永胜, 李旭, 朱丹. 基于 LTCC 技术超小型宽带巴伦的设计与实现[J]. 微波学报, 2014.
- [3] 厉强. LTCC 功分器与巴伦设计[M]. 成都: 电子科技大学, 2009: 3-11.
- [4] 姚友芳. 微型 LTCC 平衡滤波器的研究[M]. 南京: 南京理工大学, 2010.
- [5] 罗鸣. 微型巴伦滤波器的研究[M]. 南京: 南京理工大学, 2015.
- [6] Ang, K.S. and Robertson, I.D. (2001) Analysis and Design of Impedance-Transforming Planar Marchand Baluns. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, **49**, 402-406. <http://dx.doi.org/10.1109/22.903108>
- [7] 吴国安, 徐勤芬, 汤清华, 等. 基于 LTCC 技术的蓝牙巴伦设计[J]. 微波学报, 2007, 23(4): 55-57.
- [8] 何中伟. LTCC 工艺技术的重点发展与应用[J]. 集成电路通讯, 2008, 26(2): 1-9.
- [9] 戴永胜, 冯媛, 尹洪浩. 微型蓝牙 LTCC 平衡滤波器的设计与研究[J]. 固体电子学研究与进展, 2012, 32(6): 556-560.
- [10] 蒋万兵, 金龙, 杨世朝, 胡季岗. 小型 LTCC 巴伦的设计[J]. 电子元件与材料, 2011, 30(9): 53-56.