

# Design of a Miniature Balun Based on LTCC

Chao Sun\*, Yongsheng Dai

School of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu

Email: [1824170966@qq.com](mailto:1824170966@qq.com)

Received: Mar. 10<sup>th</sup>, 2016; accepted: Mar. 26<sup>th</sup>, 2016; published: Mar. 29<sup>th</sup>, 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

A method of designing and implementing a miniature LTCC balun is proposed in this paper. This kind of balun is based on the structure of Marchand microstrip balun in order to realize the miniaturization. LTCC multilayer 3D technology, broadband coupling spiral stripline and loading terminal capacitors structure have been used to achieve quarter-wave coupling line to reduce the size. The operation frequency ranges from 1 GHz to 3 GHz with the advantages of low insertion loss, well amplitude balance and strong phase consistency. The dimension was only 2.5 mm × 3 mm × 1.2 mm. The operation principle, design thoughts of miniaturization and the structure of balun were discussed in this paper. At last, the results from the simulation and those from the measurement are in good agreement.

## Keywords

Balun, Low Temperature Co-Fired Ceramic (LTCC), Miniature, Loading Capacitors

---

# LTCC微型巴伦设计

孙超\*, 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: [1824170966@qq.com](mailto:1824170966@qq.com)

收稿日期: 2016年3月10日; 录用日期: 2016年3月26日; 发布日期: 2016年3月29日

---

\*通讯作者。

文章引用: 孙超, 戴永胜. LTCC 微型巴伦设计[J]. 应用物理, 2016, 6(3): 36-41.

<http://dx.doi.org/10.12677/app.2016.63006>

## 摘要

本文提出了一种基于LTCC (低温共烧陶瓷)技术的微型巴伦的设计与实现方法。此种巴伦采用Marchand型结构, 运用LTCC多层三维立体集成技术, 通过宽边耦合的螺旋型结构实现1/4波长耦合线, 大大减小了巴伦的实际体积。随后通过带状线末端电容加载技术的改进型结构, 进一步缩小了耦合线长, 实现了结构的微型化。最终设计的巴伦工作频带1.5~3 GHz, 具有插损小, 幅度平坦性好, 相位一致性高的优点, 巴伦尺寸为2.5 mm × 3 mm × 1.2 mm。文章讨论了该巴伦工作原理、微型化的设计思路、三维结构, 最后给出了设计的仿真和测试结果, 两者一致性较好。

## 关键词

巴伦, 低温共烧陶瓷(LTCC), 微型化, 电容加载

## 1. 引言

随着无线通讯技术和微波集成电路的快速发展, 人们对无线通信系统的小型化要求越来越高。低温共烧陶瓷(LTCC)技术由于成熟的发展理论, 稳定的电气性能和相对低廉的生产成本成为目前电子元器件小型化发展较为迅速的一个领域[1] [2]。LTCC是一种多层基板结构, 它是以陶瓷材料作为介质基板, 金、银、铜等导电性能良好的金属作为导电材料, 将无源元件埋置于基板中, 在800°C~900°C温度下把陶瓷介质基板和导电金属材料一同烧成一种具有高性能、小型化的电子元件和电路组件。

巴伦(Balun)是平衡不平衡转换器英文缩写的音译, 一般作为不平衡端口和平衡端口之间相互转换的元器件, 在天线馈电网络、差分放大器、平衡混频器等需要差分电路的系统中运用较为广泛, 因而其小型化设计具有重要意义。LTCC巴伦由于实现简单、成本低廉、一致性好、噪声系数低等优点, 成为目前无源巴伦的一种重要形式。

## 2. Marchand 巴伦理论

巴伦用来将输入信号转换为一对差分信号输出, 主要有同轴型、微带型、共面波导型等, 而在无线通信系统日益小型化趋势下, 微带巴伦由于其分析比较简单, 封装尺寸较小而成为应用最广泛的一种。微带巴伦主要有微带集总式巴伦、微带混合环巴伦、微带三线巴伦、微带 Marchand 巴伦等结构形式[3]。

Marchand [4]巴伦最早由 N.Marchand 在 1994 年提出, 由于有较好的输出等幅值和输出 180°相移, 制作容易而且能实现宽频特性, 被广泛地应用于微波毫米波电路中。Marchand 巴伦是三端口器件, 一个不平衡输入端和两个平衡输出端, 电路结构主要由两段 1/4 波长的耦合线组成, 两段 1/4 波长的短路线从半波长开路线上耦合得到能量, 从而在两个平衡输出端口得到幅值相同、相位相差 180°的输出能量[5] [6]。在分析 Marchand 巴伦原理时可先从 1/4 波长耦合器入手, Marchand 巴伦可看作由两组 1/4 波长耦合器组成, 图 1 为理想 1/4 波长耦合器, 图 2 为 Marchand 巴伦等效电路原理图。

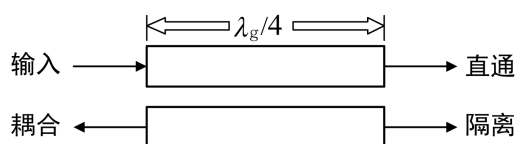


Figure 1. The equivalent circuit of quarter-wave coupling line  
图 1. 理想 1/4 波长耦合器

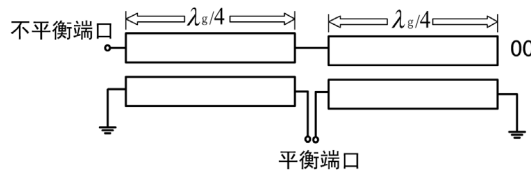


Figure 2. The equivalent circuit of Marchand balun  
图 2. Marchand 巴伦等效电路原理图

当耦合线的源端阻抗和负载端阻抗相等时, 由二端口网络理论可以得到图 1 理想 1/4 波长耦合线的散射矩阵  $S$ , 如式(1)所示, 其中  $C$  为两段耦合线之间的耦合系数。由耦合器的  $S$  参数可以得到终端负载相同的 Marchand 巴伦的  $S$  参数, 如式(2)所示。

$$[S]_{couple} = \begin{bmatrix} 0 & C & -j\sqrt{1-C^2} & 0 \\ C & 0 & 0 & -j\sqrt{1-C^2} \\ -j\sqrt{1-C^2} & 0 & 0 & C \\ 0 & -j\sqrt{1-C^2} & C & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[S]_{balun} = \begin{bmatrix} \frac{1-3C^2}{1+C^2} & j\frac{2C\sqrt{1-C^2}}{1+C^2} & -j\frac{2C\sqrt{1-C^2}}{1+C^2} \\ j\frac{2C\sqrt{1-C^2}}{1+C^2} & \frac{1-C^2}{1+C^2} & \frac{2C^2}{1+C^2} \\ -j\frac{2C\sqrt{1-C^2}}{1+C^2} & \frac{2C^2}{1+C^2} & \frac{1-C^2}{1+C^2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

为了满足每个端口-3 dB 的功率转换, 即  $|S_{balun(2,1)}| = |S_{balun(3,1)}| = 1/\sqrt{2}$ , 可以得到耦合系数  $C = -4.8$  dB, 代入式(2)可得巴伦的简化  $S$  矩阵如式(3)所示。由 Marchand 巴伦的简化  $S$  矩阵表达式可知, 此巴伦能够输出一对幅度相等且为输入信号的一半、相位相反的差分信号, 而且由  $S_{11} = 0$ ,  $S_{22} = 1/2$ ,  $S_{33} = 1/2$  可知输入端口能够达到完全匹配, 输出端口不匹配, 这也验证了三端口网络三个端口不能完全匹配这一特性, 为了实现三个端口匹配的情况, 可以在两个输出端口添加补偿电阻性网络来达到三端口的完全匹配[7]。

$$[S]'_{balun} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{j}{\sqrt{2}} & -\frac{j}{\sqrt{2}} \\ \frac{j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 3. 微型化设计方案

微型化是本文设计的巴伦的特点之一, 在满足性能指标的前提下减小器件的尺寸, 需要用到多种技术的支持。

首先, LTCC 多层三维立体集成技术是微型化设计的前提, 多层结构的运用避免了传统的平面结构面积大的缺点。由微带巴伦基础理论可知, 巴伦的带宽直接与耦合线的耦合系数有关, 要得到指标良好的巴伦, 需要强耦合系数的两段耦合线来实现, 而且需要高的偶模阻抗来抑制奇模激励以实现宽带特性。为了增大耦合线间耦合作用且实现 1/4 波长, 此处采用螺旋宽边耦合带状线结构(Spiral Broadside Coupled Stripline) [8]。同一平面平行放置结构相比上下垂直正对方式放置的宽边耦合带状线结构的耦合系数有了

很大的提高, 大大缩小了巴伦器件面积, 更适用于 LTCC 多层结构。

影响巴伦性能指标的结构参数主要有耦合线线长、线宽、以及耦合线的间距。线长主要影响中心频率, 线长越长对应的电感电容越大, 中心频率越小。线宽主要影响巴伦的驻波性能、插入损耗等指标。而耦合线间距主要影响耦合系数大小, 间距越小耦合系数越大, 工作带宽越宽。然而, 层间距不能过小, 最小层间距由 LTCC 板材本身最小厚度所决定。

为了进一步减小巴伦尺寸, 本设计采用了带状线末端电容加载型结构。由传输线理论可知, 在较短传输线上并联一个或多个电容, 可与长传输线等效, 并联电容增加, 短传输线的长度将逐渐变短, 同时特征阻抗变大。本文设计的末端电容加载型螺旋宽边耦合带状线三维结构如图 3 所示。

在巴伦平衡输出端口分别接上对地电容  $C_1$ , 不平衡输入端口和开路端口分别接上对地电容  $C_2$ , 由此得到最终的原理图如图 4 所示。 $C_1$ 、 $C_2$  的引入可以缩短带状线线长, 而且通过调节加载电容可以减少耦合线与接地面的寄生电容的影响, 此外加载电容的引入也能降低巴伦对于烧结的收缩误差的敏感度, 大大优化了巴伦的性能[9]。但是, 加载电容虽然能有效减小耦合线长, 但同时也会减小耦合强度, 改变特征阻抗大小,  $C_1$ 、 $C_2$  过大会使带宽变小, 通带内驻波性能变差, 所以加载电容大小应控制在合理的范围以满足设计指标要求。

#### 4. 制作与测试

本文采用末端电容加载螺旋宽边耦合结构设计了一款带宽 1.5~3 GHz、尺寸仅为 2.5 mm × 3 mm × 1.2 mm 的微型巴伦, 巴伦的指标如表 1 所示。该巴伦采用 A6-M 系列板材, 相对介电常数 2.65, 介质损耗角为 0.002, 最终设计的巴伦带状线线宽 0.08 mm, 层间距 0.04 mm。

巴伦的整体三维结构如图 5 所示。

文设计的巴伦共有 13 层金属导电材料和其间的介质陶瓷基板组成。其中 1、7、13 层为接地层, 1、13 接地层的作用是为了屏蔽外界环境对巴伦的干扰, 第 7 层作用是为了隔离两段耦合线, 减小内部寄生耦合作用; 4、5 和 9、10 层为两组螺旋宽边耦合带状线; 2、12 和 6、8 层分别为加载集总电容  $C_1$  和  $C_2$  的正极板结构层; 端口引出端为 3、11 层和第 5 层的左侧, 第 5 层为不平衡输入端, 第 3 和第 11 层左侧为平衡输出端口。运用三维电磁场仿真软件 HFSS 进行仿真优化, 最终巴伦的仿真和测试曲线如图 6 所示。

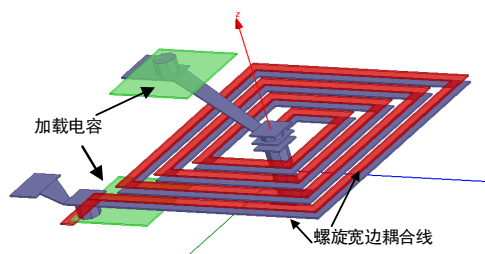


Figure 3. Loading terminal capacitors and broadband coupling spiral stripline 3D structure  
图 3. 末端电容加载螺旋宽边耦合带状线三维模型图

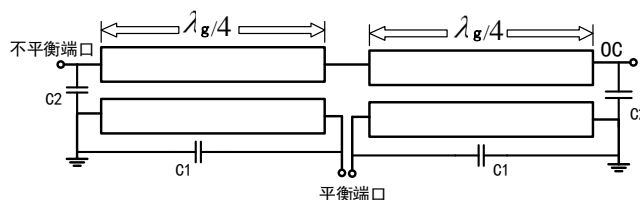
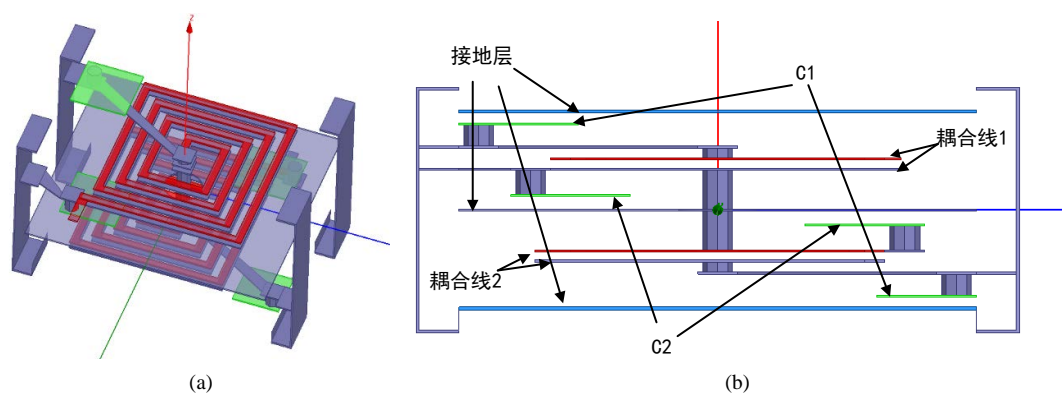


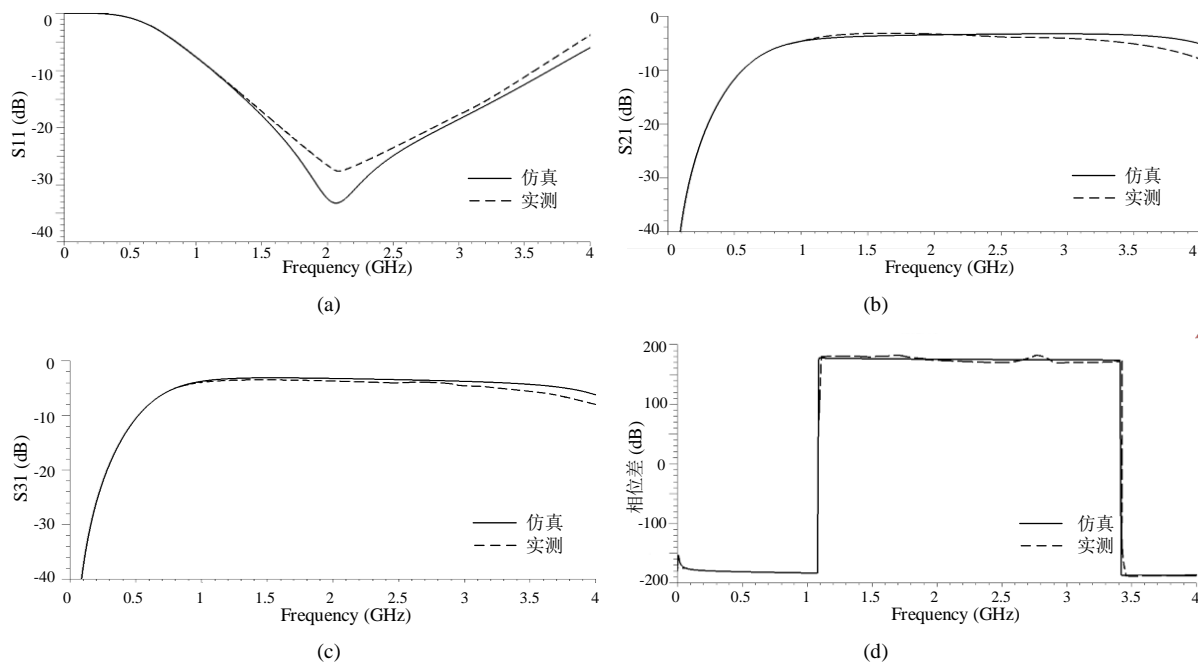
Figure 4. The circuit of loading terminal capacitors balun structure  
图 4. 末端加载电容巴伦结构原理图

**Table 1.** Detailed parameters of balun  
**表 1.** 巴伦具体指标

参数	值
带宽	1.5~3 GHz
插入损耗	≤2.0 dB
VSWR	≤1.5
不平衡端口阻抗	50 Ω
平衡端口阻抗	100 Ω
幅度不平衡性	≤1 dB
相位不平衡性	180° ± 10°



**Figure 5.** 3D and positive structure of balun. (a) 3D structure, (b) positive structure  
**图 5.** 巴伦三维立体图和正面图。 (a) 立体图, (b) 正面图



**Figure 6.** The simulation and measured results of the balun. (a) S11, (b) S21, (c) S31, (d) phase difference of S21 and S31  
**图 6.** S 参数仿真测试结果。 (a) S11, (b) S21, (c) S31, (d) S21、S31 相位差

从图 6 可以看出, 仿真曲线与测试曲线存在一定的误差, 经分析, 误差主要来自以下两个方面[10]: 一、LTCC 工艺精度存在误差, 线宽、线间距以及层间对位等均存在一定的误差, 对于分布参数结构而言在频率较高处必然会引入性能误差; 二、测试时引入的误差, 底板夹具及 SMA 头等必然会带来一定的损耗及相位偏移。但是, 总体来说该巴伦完全满足了设计指标。

## 5. 结论

本文设计了一款基于 LTCC 的三维多层微型巴伦, 运用螺旋宽边耦合与末端加载电容结构来实现巴伦的小型化。文章阐述了其工作原理、微型化设计思路, 描绘了其结构模型, 最后给出了此款巴伦的仿真及测试曲线, 两者吻合度较高。最终设计的巴伦具有带宽宽、插损小, 幅度平坦性好, 相位一致性高等优点, 且具有微型结构, 是一般巴伦难以达到的, 在通信系统日益小型化的趋势下具有很高的实用价值。

## 参考文献 (References)

- [1] 今中佳彦. 多层低温共烧陶瓷技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [2] 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.
- [3] Lew, D.-W., Park, J.-S., Ahn, D., *et al.* (2001) A Design of the Ceramic Chip Balun Using the Multilayer Configuration. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, **49**, 220-224.
- [4] Marchand, N. (1942) Transmission Line Conversion Transformers. *Electronics*, **17**, 142-145.
- [5] 姚友芳. 微型 LTCC 平衡滤波器的研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2010
- [6] 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, 30(1): 51-54.
- [7] 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.
- [8] Fujiki, Y., Mandai, H. and Morikawa, T. (1999) Chip Type Spiral Broadside Coupled Directional Couplers and Baluns Using Low Temperature Co-Fired Ceramic. 1999 *IEEE Electronic Components and Technology Conference*, San Diego, 1-4 June 1999, 105-110.
- [9] 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.
- [10] 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.