

# 基于复合左右手结构的新型超宽带巴伦\*

郭 锋<sup>1</sup>, 曹卫平<sup>1,2</sup>

(1. 桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004;

2. 电子科技大学 应用物理研究所, 四川 成都 610054)

**摘要:** 基于复合左右手(CRLH)结构的非线性相位特性, 设计了一种新型的超宽带威尔金森功分器巴伦。该巴伦利用一个单元的 CRLH 结构代替传统微带线构成分支臂。仿真和实验结果表明该新型的巴伦具有高达 120% 的相对阻抗带宽、112% 的相对相位差带宽、体积小、制作简单、易与 MIC/MMIC 技术集成等优势。

**关键词:** 巴伦; 宽带; 左手媒质; 复合左右手

中图分类号: TN011

文献标识码: A

## A novel broadband balun based on the composite right/left handed structure

GUO Feng<sup>1</sup>, CAO Wei Ping<sup>1,2</sup>

(1. School of Information and Communication Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

2. Institute of Applied Physics, University of Electronics Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** A novel broadband Wilkinson balun based on the nonlinear phase characteristics of composite right/left handed (CRLH) structure is presented. The proposed device is fabricated by using one CRLH unit, instead of the conventional microstrip TLs to implement branch arms, which shows a 120% relative impedance bandwidth, 112% relative phase difference bandwidth while still keeps a small size. Moreover, it is easily to implement and apply to MIC/MMIC circuits.

**Key words:** balun; broadband; metamaterial; composite right/left handed

近年来, 一种新型的人工等效结构——混合左右手结构(CRLH)以其众多新奇的特性以及广泛的应用前景得到了极大的发展, 一系列具有新型特性的微波无源器件被研制出来<sup>[1-2]</sup>。由于 CRLH 结构的异向介质特性, 使得这些新型的无源器件无论在差损、尺寸以及性能上都优于由传统传输线构成的同类器件<sup>[3]</sup>。

巴伦即平衡到不平衡的转换器, 是一个三端口网络, 能量从不平衡端输入, 从平衡端等幅反相地输出, 是微波平衡混频器、倍频器、推挽放大器和天线馈电网络等平衡电路布局的关键部件。由于微带线的线性相位性质, 传统的微带线巴伦输出端 180° 相位差带宽较窄; 而传统的 CRLH 巴伦<sup>[4]</sup>是利用集总元件来实现的左手结构, 仅适用于低频范围, 且获取的电感电容值不连续, 与 MIC/MMIC 技术不兼容。

本文基于一种分布式 CRLH 结构的非线性相位特性, 设计了一种新型超宽带的威尔金森功分器巴伦, 并制作了实物, 实测结果和仿真结果均表明该巴伦具有宽带宽、制作简单、易与 MIC/MMIC 技术兼容等优势。

### 1 新型 CRLH 巴伦的理论与设计

#### 1.1 CRLH 单元的实现形式

文中采用的复合左右手(CRLH)传输线的模型及其等效电路如图 1 所示<sup>[3]</sup>, 不同于用集总元件来实现电感电容值的 CRLH 结构, 该结构利用交指电容来实现串联电容  $C_L$ , 利用最外面接地的枝节来实现并联电感  $L_L$ , 同时沿交指方向的磁通量引起了寄生的电感  $L_R$ , 微带线和接地板之间存在的平行板电势差导致了寄生的电容  $C_R$ 。其中  $L_c$  和  $W$  分别为一个单元的长和宽,  $W_1$ 、 $W_2$  分别为交指的宽度和缝隙的宽度。

\* 基金项目: 广西研究生教育创新计划资助项目(2009105950809M11)

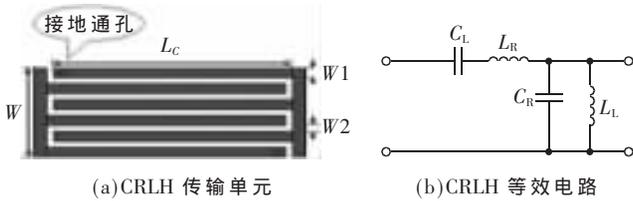


图1 CRLH 传输线单元及等效电路图

1.2 新型巴伦设计

新型巴伦原理图如图2所示,该巴伦是在威尔金森功分器阻抗为50Ω的一个输出端上加一个CRLH结构单元,利用CRLH单元的相位超前特性进行相位调节,而另一个输出端口则利用传统的右手微带线进行相位上的补充。新型巴伦结构如图3所示。

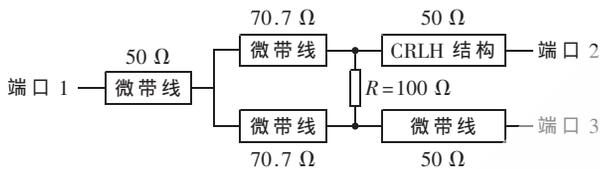


图2 新型巴伦的原理图

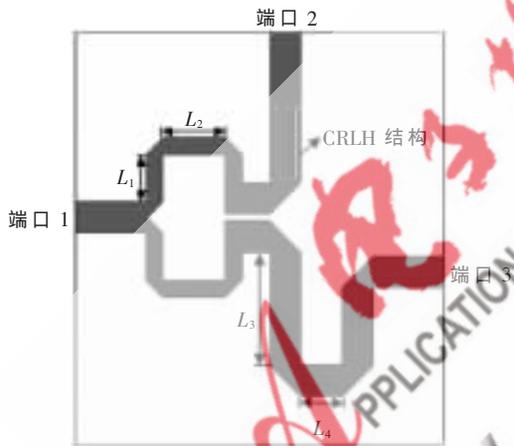


图3 新型巴伦结构图

要想使巴伦输出端口相位在一个很宽的频带内而不是一个频点上达到180°的相位差,关键是使2个输出端口的相位曲线达到平行状态,而CRLH结构的非线性相位特性表明这是可以实现的,CRLH的相位可以由以下公式计算<sup>[5]</sup>:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{CRLH}}(f) &= \Phi_{\text{RH}}(f) + \Phi_{\text{LH}}(f) \\ \Phi_{\text{RH}}(f) &\approx -N2\pi f \sqrt{L_R C_R} \\ \Phi_{\text{LH}}(f) &\approx \frac{N}{2\pi f} \sqrt{L_L C_L} \\ \Phi_{\text{CRLH}}(f) &= N \left( \frac{1}{2\pi f} \sqrt{L_L C_L} - 2\pi f \sqrt{L_R C_R} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

其中,N是CRLH结构的单元个数, $\Phi_{\text{RH}}$ 是右手部分产生的相位, $\Phi_{\text{LH}}(f)$ 是左手部分产生的相位。

文中采用参考文献[5]中所提到的相位合成方法来设计巴伦的相位,首先给出设计频率 $f_1$ 和 $f_2$ ,令端口3

微带线产生的相位满足如下条件:

$$\Phi_{\text{PRH}}(f_1) = 0^\circ, \Phi_{\text{PRH}}(f_2) = -180^\circ \quad (2)$$

则为了满足平行条件,端口2的相位在端口3相位基础上加180°,即:

$$\Phi_{\text{CRLH}}(f_1) = 180^\circ, \Phi_{\text{CRLH}}(f_2) = 0^\circ \quad (3)$$

将式(3)带入式(1)中,再考虑端口阻抗匹配条件:

$$\sqrt{\frac{L_R}{C_R}} = Z_0, \sqrt{\frac{L_L}{C_L}} = Z_0 \quad (4)$$

综合式(1)~式(4)可以方便地求出 $L_R$ 、 $C_R$ 、 $L_L$ 、 $C_L$ 的值及端口3微带线的长度。

2 新型巴伦仿真和测试结果

本文设计一个中心频率 $f_0=5$ GHz的CRLH巴伦,采用介电常数为2.65、厚度为0.8mm的F4B基板,设计频率 $f_1$ 和 $f_2$ 分别为4GHz和6GHz,由上述设计公式得到 $L_R=0.42$ nH, $C_R=0.17$ pF, $L_L=5.46$ nH, $C_L=2.2$ pF。有了CRLH结构的等效电感电容值,利用下述公式进行结构尺寸初值的设计<sup>[6]</sup>:

$$W_1 = W / \frac{5N_1}{3} \frac{2}{3}, W_2 = 2W_1 / 3$$

其中, $N_1$ 是交指电容交指的个数。

设计出初值后,利用商业仿真软件CST2008对其参数进行仿真优化。优化后的巴伦尺寸为: $W_1=0.25$ mm, $W_2=0.14$ mm, $L_0=5$ mm, $L_1=3.35$ mm, $L_2=4.46$ mm, $L_3=8$ mm, $L_4=3$ mm, $N_1=6$ 。其中50Ω微带线的宽度 $W_{50}=2.2$ mm,70.7Ω微带线的宽度 $W_{70.7}=1.2$ mm, $L_c$ 长度影响中心频率,适当地调节此值可以达到所需要的频率。

根据优化后的尺寸,制作了CRLH巴伦实物如图4所示,可以看出该巴伦尺寸很小,仅有26mm×30mm。使用Agilent N5230A矢量网络分析仪对巴伦3个端口的传输和反射系数以及相位进行测试。仿真与测试结果如图5~图8所示。

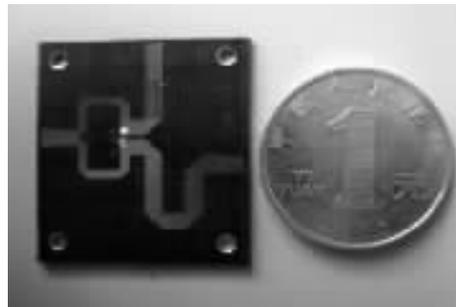


图4 新型CRLH巴伦实物图

图5是测试和仿真的传输及反射系数,可以看出在2GHz~8GHz的频率范围内,反射系数 $|S_{11}| < -10$ dB,传输系数 $|S_{21}|$ 和 $|S_{31}|$ 均在 $-3$ dB±0.5dB的范围内波动,相对带宽高达120%。测试结果与仿真结果略有偏颇,可能是加工的误差所致。

图6是巴伦的输出端口相位,测试结果和仿真结果比较一致,由结果可以看出端口2和端口3的相位曲线

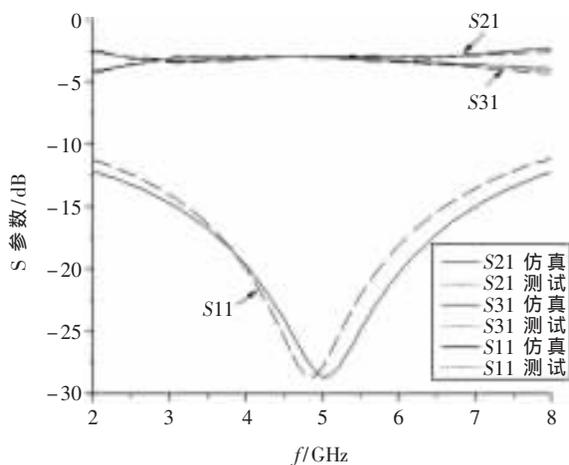


图5 仿真及测试传输及反射系数

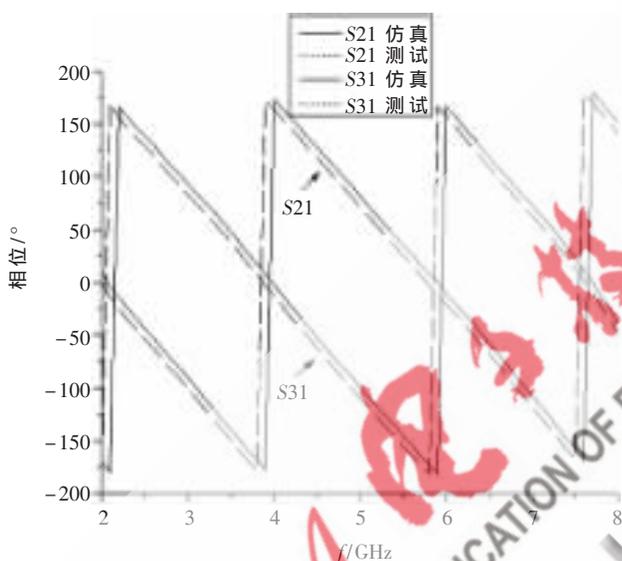


图6 仿真及测试输出端口相位

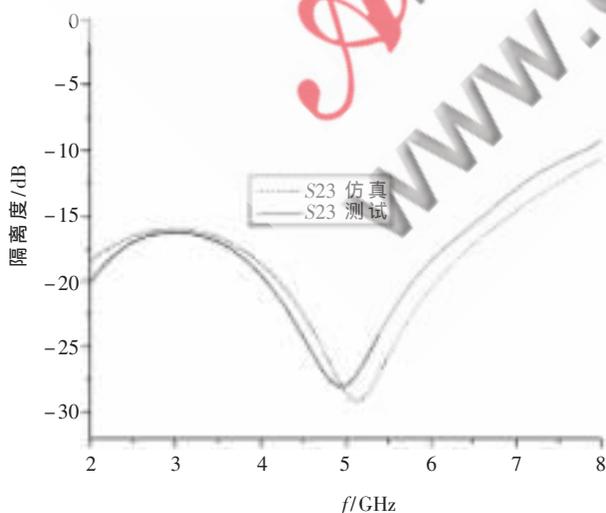


图7 仿真及测试输出端口隔离度

基本上达到了平行状态,这就保证了巴伦的输出端口相位在一个很宽的频率范围内均能达到 $180^\circ$ 的相位差。

52

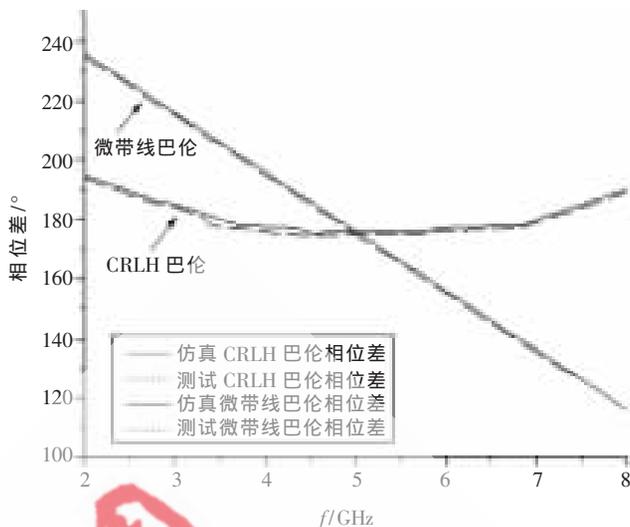


图8 新型CRLH巴伦及微带巴伦的输出端口相位差

图7是巴伦的输出端口隔离度,由于该巴伦采用了威尔金森功分器,故隔离度良好。

为了体现新型CRLH巴伦的宽带优势,同样设计了一个中心频率 $f_0=5\text{ GHz}$ 的微带线巴伦(即用微带线进行相位上的调节),对比了两者的输出端口相位差,如图8所示。可以看出,由于微带线性相位的性质,输出端口相位差的绝对值在 $180^\circ\pm 10^\circ$ 的频率范围为 $4.73\text{ GHz}\sim 5.28\text{ GHz}$ ,相对带宽仅有11%;而本文的CRLH巴伦满足相位差条件的频率范围为 $2.2\text{ GHz}\sim 7.8\text{ GHz}$ ,相对带宽高达112%,相比于传统的微带巴伦在带宽上有了很大的改善。同时,相对于参考文献[4]提出的CRLH巴伦77%的相对相位差带宽来说,本文所设计的巴伦在带宽上也更胜一筹。

本文设计了一种新型CRLH威尔金森功分器巴伦。测试和仿真结果显示,新型巴伦具有较低的插入损耗、高达120%的相对阻抗带宽、112%的相对相位差带宽和较小的尺寸。新型巴伦无论是与传统微带巴伦还是参考文献[4]提出的CRLH巴伦相比,在带宽方面都具有明显优势,并且与参考文献[4]提出的巴伦相比,具有不受频率的限制,能工作在更高的频段,制作简单且更易与MIC/MMIC技术兼容等优点。这种新型超宽带巴伦可以广泛地应用于对带宽有严格要求的微带天线的馈电系统中及混频器等的制作中。

#### 参考文献

- [1] LAI A, CALOZ C, ITOH T. Composite right/left-handed transmission line metamaterials[J]. IEEE Micro, 2004, 5(3): 34-50.
- [2] MAO S G, WU M S, CHUEH Y Z, et al. Modeling of symmetric composite right/left-handed coplanar waveguides with applications to compact bandpass filters[J]. IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2005, 53(11): 3460-3466.
- [3] ZHU Q, ZHANG Z X, ZHANG J, et al. Realization of left-

## 网络与通信 Network and Communication

- handed transmission line and its applications[C].Progress in Electromagnetics Research Symposium, New Jersey: IEEE Press, 2004: 167.
- [4] ANTONIADES M A, ELEFThERIADES G V. A broadband Wilkinson balun using microstrip metamaterial lines[J]. IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., 2005, 4: 209-212.
- [5] LIN I H, DEVINCENTIS M, CALOZ C, et al. Arbitrary dual-band components using composite right/left-handed transmission lines[J]. IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2004, 52(4): 1142-1149.
- [6] 崔万照, 马伟, 邱乐德, 等. 电磁超介质及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.

(收稿日期: 2009-11-30)

### 作者简介:

郭锋, 女, 1983年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 微波无源电路。

曹卫平, 男, 1971年生, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 射频、微波电路及 CAD 技术、天线理论与技术。

