

一种带有反相单元的小型化宽带双面平行带线混合环

杨国彪, 车文荃, 顾黎明

(南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏南京 210094)

摘要: 本文研究了一种利用双面平行带线(Double-Sided Parallel Strip Line, DSPSL)反相器和加载微带分支电路来设计的混合环.文中首先介绍了设计理论和思路,并给出了设计实例和测试结果.结果表明:该混合环的尺寸可缩小为常规混合环的11%,相对带宽达到了82%,中心频率点处反射损耗在-20dB以下,通带内隔离度达到了-30dB.

关键词: 混合环; 宽带; 反相器; 双面平行带线

中图分类号: TN803.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 06-1452-04

A Miniaturized Wideband Double-Sided Parallel Strip Line (DSPSL) Hybrid Coupler with Phase Inverter

YANG Guo-biao, CHE Wen-quan, GU Li-ming

(School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China)

Abstract: This paper presents a miniaturized wideband DSPSL hybrid coupler with phase inverter; the open-stubs are also introduced to further reduce the size of the hybrid coupler. The design strategies and procedures of the hybrid coupler are presented at first. A prototype operating at 1GHz is fabricated for verification. The experimental results show that the size of the proposed hybrid is reduced to 11% of the conventional hybrid coupler. The relative operating bandwidth is greater than 80%, return loss at the central operating frequency is less than -20dB, while the isolation is less than -30dB.

Key words: hybrid coupler; wideband; phase inverter; double-sided parallel strip line (DSPSL)

1 引言

混合环定向耦合器是用于微波电路的基本元件之一.通常所用的鼠道混合环,是环路归一化导纳为 $1/\sqrt{2}$,总长度为 $1.5\lambda_g$ (λ_g 为中心频率点处的波长)的3dB定向耦合器,其带宽大约为30%左右.但是,1.5个波长的环长,使得其几何尺寸偏大,同时,在一些应用中需要更宽的带宽.因此,如何设计结构更为紧凑的混合环,同时提高其带宽,成为微波电路设计者比较关注的问题.在文献[1]中,作者采用反相器替代半波长微带线,起到了增大混合环带宽和减小混合环尺寸的作用;同时,作者还设计了带有CPS反相单元的混合环进行实验验证.在本文中,我们将利用双面平行带线(DSPSL)反相单元来进行混合环的设计. DSPSL的结构首先由Wheeler于1964年提出^[1],由于当时加工制造与理论上的不完善并未得到足够的重视.近十几年来,随着微波工程理论的不完善,对微波电路小型化集成化和可靠性的迫切需求,以及多层制造工艺的日渐成熟, DSPSL开始受到关注.双面平行带线是一种微波平面平衡传输线,与其

它平衡传输线相比,具有一系列的优点,相比微带线易于获得较低和较高的特性阻抗,同时它具有双平面传输的特点,可以有效地减小差分平衡电路的面积,利于集成.

用DSPSL来设计的反相单元,制作简单方便,占用面积小.已经有研究者分别用它来设计带通滤波器和定向耦合器,显示出了独特的性能^[2,3].但是带有反相单元的混合环环长依然有一个 λ_g ,为了进一步缩小混合环的尺寸,我们利用文献[4]中提到的微带分支加载的方法把环长缩小为 $0.5\lambda_g$.这种缩小尺寸的方法的最大特点在于它不是以牺牲混合环的带宽为代价.因此,最终设计出的混合环既具有紧凑的几何尺寸,同时又具有宽带特性,可望在一些实际工程中获得应用.下面首先对这种混合环的设计思路和步骤进行介绍,并设计加工一个实际的混合环样品来进行验证.

2 电路设计

2.1 带反相器的混合环

文献[4]给出了带反相器的混合环环路的特性阻抗

公式:

$$z = z_0 \cdot \sqrt{2\left(1 - \frac{2}{10^{-(L/20)} + 1}\right)} \quad (1)$$

其中, L 是工作频段内的最大插入损耗, Z_0 是输入输出端口的特性阻抗. 在本文设计的混合环中, 我们选择 $L = -20\text{dB}$, 环路特性阻抗为输入阻抗的 1.28 倍. 用反相器替代电长度为 180 度的微带线, 如图 1 所示. 其中, 端口 1 是功率输入端口, 端口 2、3 是功率输出端口, 端口 4 是隔离端口. 本文选用 $\epsilon_r = 2.65$, $h = 0.5\text{mm}$ 的介质基板, 混合环中心工作频率为 1GHz, 端口阻抗 Z_0 为 50Ω. 图 2 给出了引入反相器后的混合环的仿真结果, 采用的仿真软件为 HFSS10.0. 可以看出, 该混合环的相对工作带宽为 82%, 频带内反射损耗小于 -15dB , 隔离度小于 -30dB , 输出端口的插入损耗小于 0.15dB, 两个输出端口的相位不平衡性小于 5° .

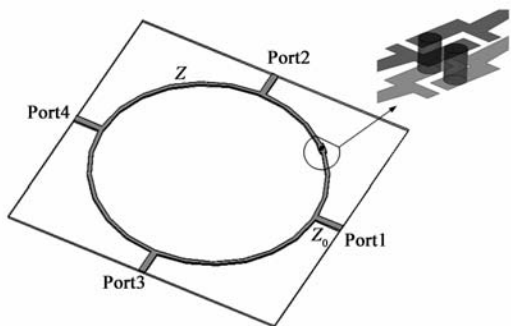
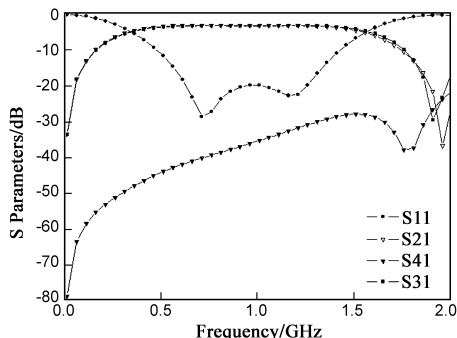
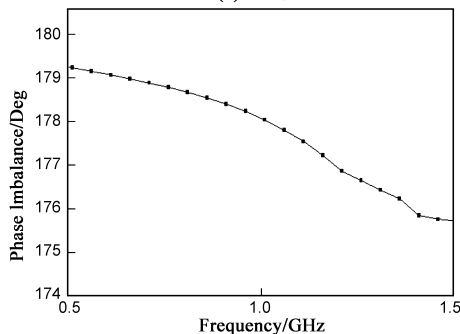


图1 带反相器的混合环结构示意图



(a) S参数



(b) 输出端口的相位不平衡性

图2 带反相器的混合环仿真结果

2.2 分支加载的混合环设计

为了进一步缩小混合环的尺寸, 我们考虑引入微带线分支加载方法^[5]. 把常规混合环中电长度为 $\theta = 30^\circ$ 的平行带线等效为电长度为 $\theta_m = 15^\circ$ 的平行带线和两个电长度为 θ_s 的并联开路线, 如图 3 所示.

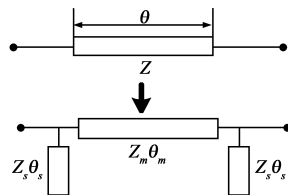


图3 任意长度的双面平行带线等效为在两端加载开路路线的双面平行带线

$$\text{其中 } Z_m = \frac{Z_s \sin \theta}{\sin \theta_m} \quad (2)$$

$$Z_s = \frac{Z_s \sin \theta \tan \theta_s}{\sin \theta_m - \cos \theta} \quad (3)$$

根据上述方法, 可以得出本结构的相关设计参数: $R = 18\text{mm}$, $RW = 0.5\text{mm}$, $SW = 1.2\text{mm}$, $SL = 9.6\text{mm}$, $SL = 9.6\text{mm}$, $W = 1.8\text{mm}$, $GL = 1.2\text{mm}$, $PL = 2.4\text{mm}$, $PW = 1\text{mm}$, $GW = 0.2\text{mm}$, $RD = 0.6\text{mm}$, $r = 0.2\text{mm}$, 其中介质基板的参数选择为 $\epsilon_r = 2.65$, $h = 0.5\text{mm}$.

结合上述分析, 最终的混合环结构如图 4 所示, 其性能仿真结果如图 5 所示. 可以看出, 引入微带分支加载结构以后, 混合环的环长相比传统的混合环结构缩小了一半. 另外, 仿真结果表明, 该混合环的带宽为 82%, 带内回波损耗小于 -15dB , 隔离度小于 -25dB , 带内插损偏离 3dB 小于 0.2dB. 不难看出, 引入微带线分支加载结构之后, 混合环尺寸缩小了 50%, 但其带宽仍然保持在 80% 左右, 并没有受到加载结构的影响.

3 实验与讨论

为了验证前述设计思路的有效性, 我们加工了实验样品. 如前面理论分析所述, 该混合环加工在介电常数为 2.65, 厚度为 0.5mm 的介质板上. 用 HP8722ES 网络分析仪对实验样品进行测试. 为便于比较, 该混合环的实验测试结果也画在图 5 中. 实验样品如图 6 所示.

由图 5 可见, 仿真的混合环带宽 (反射损耗隔离小于 -15dB) 为 82%, 实验结果约为 84%, 二者吻合很好, 说明用 DSPSL 设计的混合环具有宽带的特性. 隔离端口的隔离度小于 -40dB . 实测中, 输入端口的回波损耗在中心频率点为 -18dB , 和仿真结果略有偏差. 两个输出端口的插入损耗在中心频率点 1GHz 位置上测试结果与仿真结果有 0.6dB 的偏差, 输出端口的相位不平衡性也有 7° 的偏差. 这种偏差是由 SMA 接头和加工精度不够, 以及介质损耗等因素引起的.

可见, 通过引入 DSPSL 反相器, 混合环的环长从原来的 $1.5\lambda_g$ 减小到 λ_g . 再通过引入微带分支加载的方法, 混合环的环长进一步减小为 $0.5\lambda_g$, 混合环的总体尺寸也由 $0.48\lambda_g \times 0.48\lambda_g$ 缩小到 $0.16\lambda_g \times 0.16\lambda_g$, 是原来的 11.1%. 同时, 引入微带分支加载结构的混合环的性能未受影响, 而且仍然保持了其宽带特性.

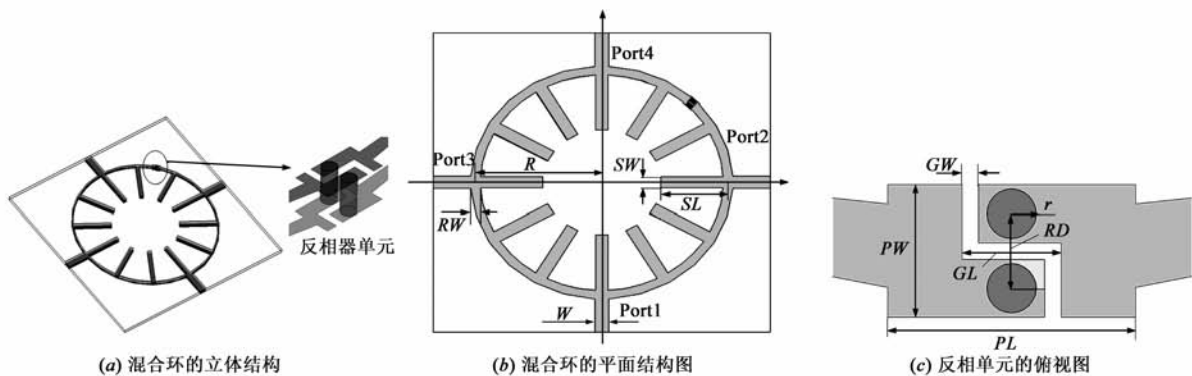


图4 带有反相器及微带分支加载结构的混合环

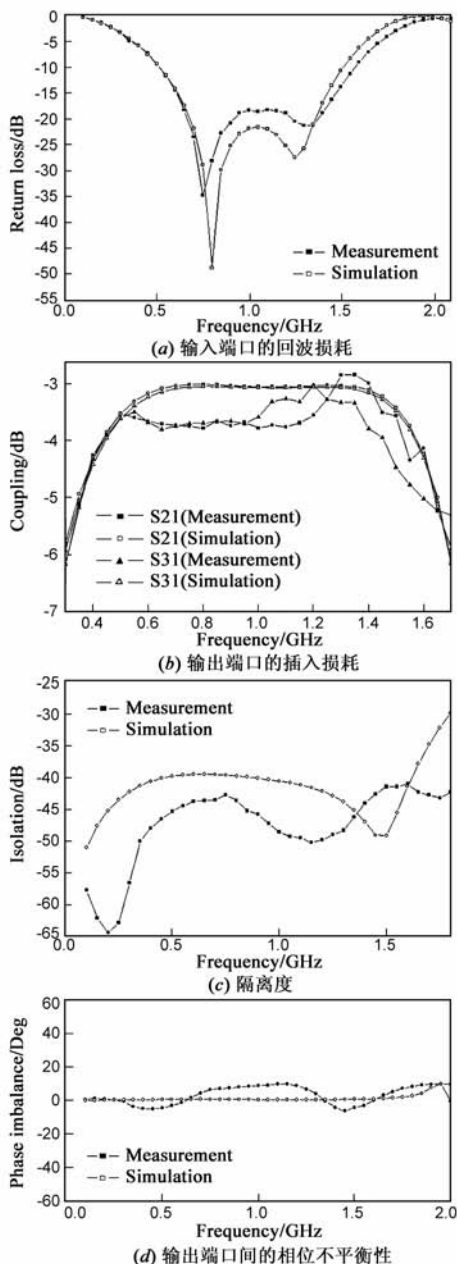


图5 带有反相器及微带分支加载的DSPSL混合环的仿真和实验特性比较

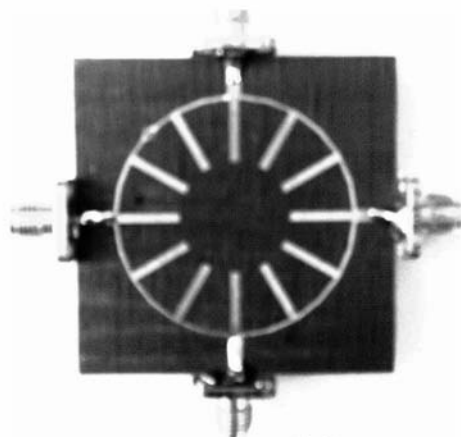


图6 混合环实物图

4 小结

在本文中,我们应用 DSPSL 反相单元和传输线分支加载结构来设计小型宽带的 DSPSL 混合环.首先是在传统混合环的结构中引入反相器,混合环的尺寸从 $1.5\lambda_g$ 缩小到 λ_g ,工作带宽也从传统的混合环的 30% 左右提高到了 80% 以上.在此基础上,为进一步缩小尺寸,我们引入微带分支加载结构,使带有反相器单元的混合环尺寸从 λ_g 缩小到 $0.5\lambda_g$,同时又不影响混合环的性能,保持了其宽带特性.实验结果和仿真结果吻合较好,验证了设计思路的可行性.实验结果表明:该混合环的半径缩小为常规混合环半径的 56%,相对带宽达到了 82%,中心频率点处反射损耗在 -20dB 以下,在加了反相器之后通带内隔离度很好,达到了 -30dB .

参考文献

[1] Harold A Wheeler. Transmission-line properties of parallel wide strips by a conformal-mapping approximation[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1964, 12(3): 280 - 289.

[2] L Chiu, Quan Xue. Wide band parallel-strip 90° hybrid coupler with swap[J]. Electronics Letters, 2008, 44(11): 687 - 688.

[3] Ka Wai Wong, Leung Chiu, Quan Xue. Wide-band parallel-

strip bandpass filter using phase inverter[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2008, 18 (8), 503 – 505.

- [4] Tongqing Wang, Ke Wu, Size-reduction and band-broadening design technique of uniplanar hybrid ring coupler using phase inverter for M(H)MIC's[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1999, 47(2): 198 – 206.
- [5] Ming-Lin Chuang. Miniaturized ring coupler of arbitrary reduced size [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2005, 15(1): 16 – 18.

作者简介



杨国彪 男, 1984年9月出生于福建泉州. 2006年获得南京理工大学学士学位, 现为南京理工大学微波专业硕士研究生, 主要研究微带电路的设计与分析.

E-mail: yangguobiao_1999@163.com



车文荃 女, 1968年9月出生于四川. 1990年, 1995年和2004年在分别在华东工学院, 南京理工大学和香港城市大学获得工学学士, 工学硕士和博士学位. 1999年12月至2000年11月在香港城市大学从事合作研究, 任研究助理. 2002年3月至2002年9月在加拿大蒙特利尔大学工学院任访问学者. 2007年8月至2008年11月为德国慕尼黑工业大学访问科学家, 洪堡学者. 2008年获“第五届中国青年女科学家奖”. 现为南京理工大学电子工程与光电技术学院教授, 博士生导师. 主要研究方向为射频/微波电路及子系统理论分析和工程设计. E-mail: yeeren_che@yahoo.com.cn



顾黎明 男, 1987年6月出生于江苏射阳. 2009年获得南京理工大学学士学位, 现为南京理工大学电子工程与光电技术学院通信工程系电磁场与微波专业硕博连读生, 主要从事射频/微波电路的研究.

E-mail: glming7@gmail.com