

小型化新型宽频带环形电桥

张鹏飞, 龚书喜

(西安电子科技大学 天线与微波技术重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘要: 采用人工合成左/右手传输线结构, 设计了两种新型的小型宽频带环形电桥. 通过在电桥中用 $\pm 90^\circ$ 枝节代替 290° 枝节, 使环形电桥的电路面积减小了75%, 工作于2GHz的第1种环形电桥的同相输出带宽增加了50%, 180° 反相输出带宽增加了49%. 通过在电桥中引入 0° 枝节, 使第2种电桥可以对具有 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ 和 270° 相差的两个信号进行同相或反相混合, 同相输出带宽增加了38%.

关键词: 环形电桥; 左手媒质; 人工合成左/右手传输线

中图分类号: O441.44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2006)04-0593-05

New Compact Enhanced-Bandwidth Hybrid Ring

ZHANG Peng-fei, GONG Shu-xi

(Key Lab. of Antennas and Microwave Technology, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract: Two new compact enhanced-bandwidth hybrid rings using composite right/left-handed transmission lines are designed. The replacement of the 270° branch by $\pm 90^\circ$ ones results in at least 75% reduction in size of the hybrid ring compared with the conventional one. At the same time, the bandwidths of the first hybrid ring operating at 2GHz are enhanced by 50% in the in-phase operation, and 49% in the 180° -out-of-phase operation. The introduction of the 0° transmission line branches makes it possible that the second new hybrid ring be used as a mixer of two signals with $-90^\circ, 0^\circ, 90^\circ$ or 180° phase difference. The bandwidth is enhanced by 38% in the in-phase operation.

Key Words: hybrid ring; left-handed materials; composite right/left-handed transmission lines

双负性材料即介电常数 ϵ 和磁导率 μ 同时为负的材料称为左手介质(LHMs)或后向波材料(BWMs)^[1]. 从2000年Smith等人^[2]实验验证了左手材料以来, LHMs的独特性质引发了许多新的概念以及应用, 也被引入到新的微波器件设计中^[3].

最近, 基于传输线等效电路的LHMs^[4], 以及融合LHMs和右手介质(RHMs)的人工合成左/右手传输线(CRLH-TLs)^[5]引发了许多新型微波器件和天线的设计^[6,7]. CRLH-TLs因其小的插入损耗, 较宽的频带, 以及可在同一结构上不同频段实现LHMs、RHMs和从LHMs过渡到RHMs的平衡状态, 即零相位状态的特性^[5], 在新型微波器件和天线设计当中得到广泛应用^[6,7].

环形电桥是微波电路中的一种基本元件, 可用作等幅同相和等幅反相功分器. 微带线环形电桥因易于实现平面结构而广泛应用于微波集成电路当中. 笔者设计了由CRLH-TLs实现的3个 -90° 支路和一个 90° 支路构成的环形电桥, 以及采用2个 0° 支路、一个 90° 支路和一个 -90° 支路的环形电桥, 并对其性能进行了分析.

1 CRLH-TLs

图1给出了LHMs和RHMs以及CRLH传输线等效结构^[5]. 通过传输线分析理论可知^[5]: RH-TLs, LH-TLs, CRLH-TLs中的传输常数为 $\gamma = \alpha + j\beta = (Z' Y')^{1/2}$, 其中 Z' 和 Y' 分别为单元电路的串联阻抗和并联导纳,

收稿日期: 2005-07-30

基金项目: 国家部委重大预研资助项目(10.2.1.4)

作者简介: 张鹏飞(1979-), 男, 西安电子科技大学博士研究生.

从而有

$$\beta_R = \omega(L_R C_R)^{1/2} > 0 \quad , \quad \beta_L = -(\omega^2 L_L C_L)^{-1/2} < 0 \quad , \quad (1)$$

$$\beta_{R/L} = S(\omega) (\omega^2 L_R C_R + 1/(\omega^2 L_L C_L) - (L_R/L_L - C_R/C_L))^{1/2} \quad , \quad (2)$$

其中

$$S(\omega) = \begin{cases} -1 & , \quad \text{如果 } \omega < \omega_1 = \min((L_R C_L)^{-1/2}, (L_L C_R)^{-1/2}) \quad , \\ +1 & , \quad \text{如果 } \omega > \omega_2 = \max((L_R C_L)^{-1/2}, (L_L C_R)^{-1/2}) \quad . \end{cases}$$

若满足平衡条件,即 $L_R C_L = L_L C_R$, $\omega_0 = 1/(L_R C_R L_L C_L)^{1/4}$, 则 $\beta = 0$.

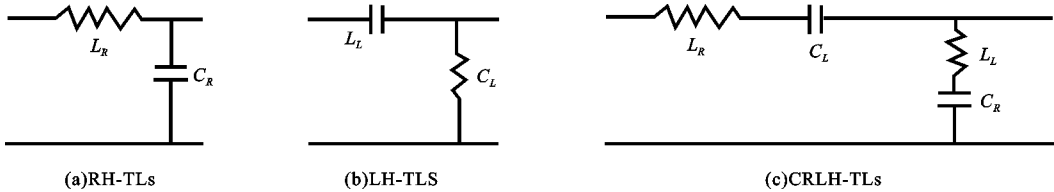


图 1 RH-TLs, LH-TLs, CRLH-TLs 单元电路示意图

由此可看出,通过传输线电路实现了正、负和零相速,这一特性将被应用到新型的环形电桥当中.对应的阻抗分别为 $Z_{0R} = (L_R/C_R)^{1/2}$, $Z_{0L} = (L_L/C_L)^{1/2}$, 平衡态 $Z_{0RL} = (L_L/C_L)^{1/2} = (L_R/C_R)^{1/2}$.

2 新型环形电桥的设计

图 2(a)给出了传统环形电桥的原理图,电桥由 3 个 90° 枝节和一个 270° 枝节构成.通过相位关系可看出,若 1 端口输入,则 2 和 3 端口等幅同相输出,4 端口隔离;若 4 端口输入,则 2 和 3 端口等幅反相输出,1 端口隔离.若 2 和 3 端口等幅同相输入,则信号在 1 端口叠加输出,4 端口隔离.若 2 和 3 端口等幅反相输入,则信号在 4 端口叠加输出,1 端口隔离.由于 270° 枝节的存在,使电路相位随频率变化较快、损耗较大,并且电桥面积较大,如图 3 所示.

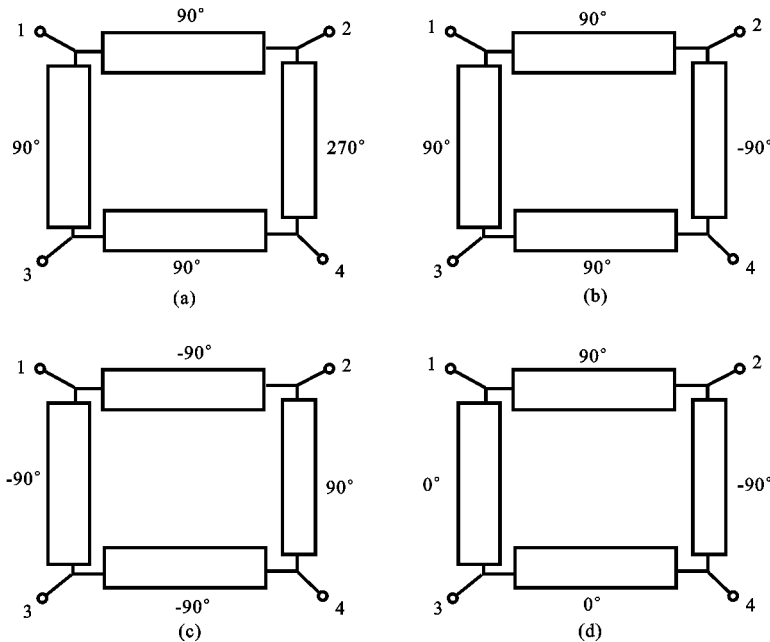


图 2 4 种不同结构的环形电桥示意图

图 2(b)给出了由 3 个 90° 枝节和 1 个 -90° 枝节构成的电桥^[3],图 2(c)给出了由 3 个负 90° 枝节和 1 个 90° 枝节构成的电桥,两个电桥均可实现传统电桥的功能.图 2(d)给出了由两个 0° 枝节,一个 90° 枝节和一个 -90° 枝节构成的电桥,通过相位关系可以看出,若 3 端口输入,则 1 和 4 端口等幅同相输出,2 端口隔离;若 1 和 4 端口等幅同相输入,则信号在 3 端口叠加输出,2 端口隔离.若 1 和 4 端口等幅反相输入,则信号在 2 端

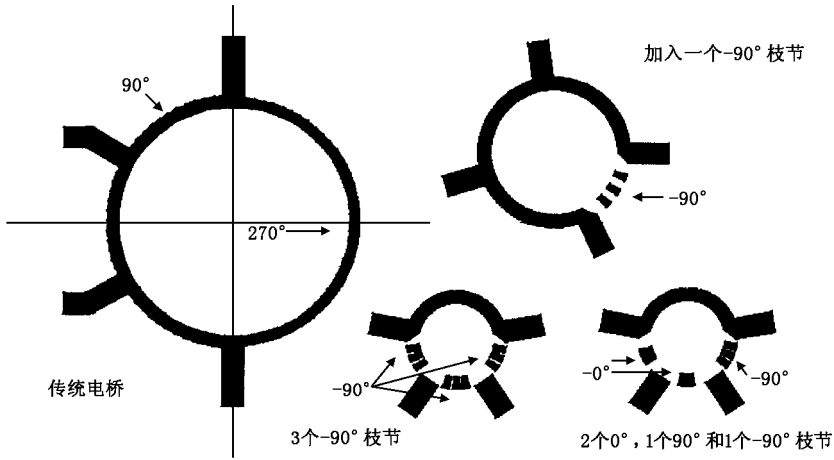


图 3 4 种结构的相对尺寸示意图(仅画出微带电路部分)

口叠加输出,3 端口隔离.若 2 和 3 端口为输入端口,3 端口信号领先 2 端口信号 90° ,则信号在 1 端口叠加输出,4 端口隔离.若 3 端口信号领先 2 端口 270° ,则信号在 4 端口叠加输出,1 端口隔离.在上述电路当中由于用 -90° 枝节替代了 270° 枝节,使电路损耗减小,频带变宽,并且使电桥面积大为减小.上述所有电桥当中枝节阻抗值均为 70.7Ω ,端口阻抗为 50Ω .

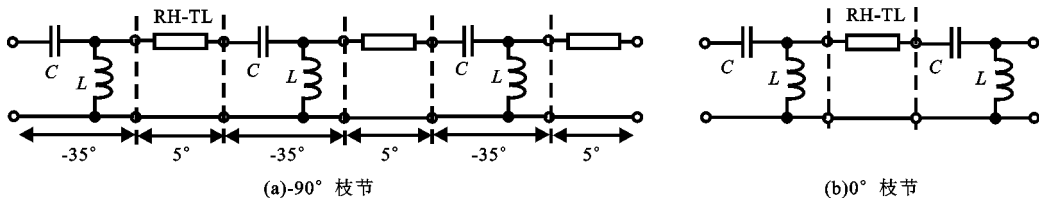


图 4 枝节 LC 等效图

环形电桥设计为微带电路,采用 RT/Druoid,基片厚度为 1.57 mm ,工作的中心频率为 2 GHz . 90° 枝节微带线对应于 70.7Ω 宽度为 2.77 mm , 50Ω 端口对应的宽度为 4.9147 mm .图 2(b)~(d)电桥的 -90° 枝节采用集总元件实现产生负相位的 LH-TLs,串联的 5° 的传输线用来提高带宽^[3].图 4(a)所示元件值以以下初值来优化 $C = 2.0 \text{ pF}$, $L = 9.4 \text{ nH}$ ^[3]. 0° 枝节采用相位补偿,通过集总元件实现产生负相位的 LH-TLs 和 RH-TLs(等效于 CRLH-T1 当中的右手电感电容)正相位相互抵消来产生零相位,如图 4(b).

3 计算结果

图 5(a)给出了传统环形电桥的 S 参数图,图 5(b)给出了电磁仿真的结果,吻合较好.图 6(a)给出了图 2(b)结构的 S 参数图^[3],图 6(b)给出了电磁仿真的结果,吻合较好,验证了电磁仿真的可靠性.

图 7 和 8 给出了笔者所提出的结构即图 2(c),(d)的 S 参数图和相位关系图.由图中曲线可看出,同相和反相输出幅度的 -3.5 dB 带宽大大加宽,输出幅度带内稳定.从相位输出曲线可看出,无论同相输出还是反相输出,两个输出端口的相位曲线变化一致,保证了相对相位的稳定.表 1 给出了参数关系.

表 1 图 2 各参数

	图 2(a)	图 2(b)	图 2(c)	图 2(d)
3.5 dB 同相输出频率范围/GHz	1.65~2.25	1.3073~2.8478	1.3107~2.9378	1.423~2.814
相对带宽(相对 2 GHz)/%	31.5	77.025	81.355	69.55
3.5 dB 反相输出频率范围/GHz	1.65~2.25	1.3074~2.8723	1.3339~2.9377	
相对带宽/%	31.5	78.38	80.19	
电路尺寸(平)/mm ²	6880	2750	1400	1400

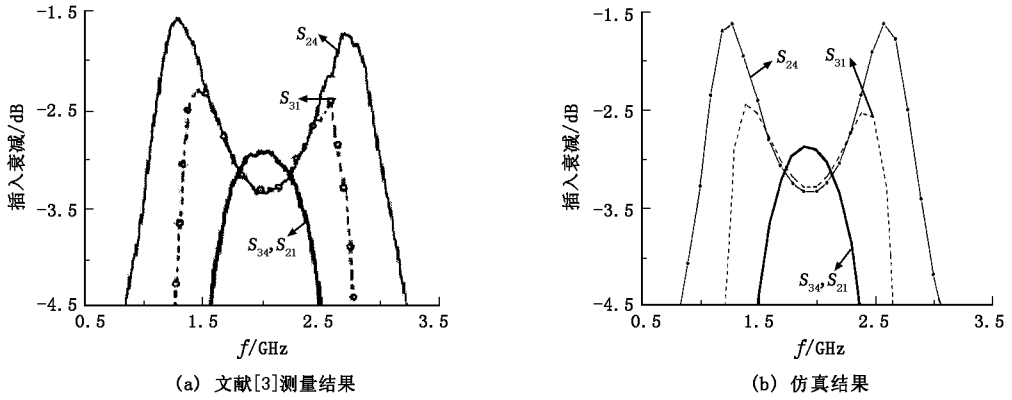
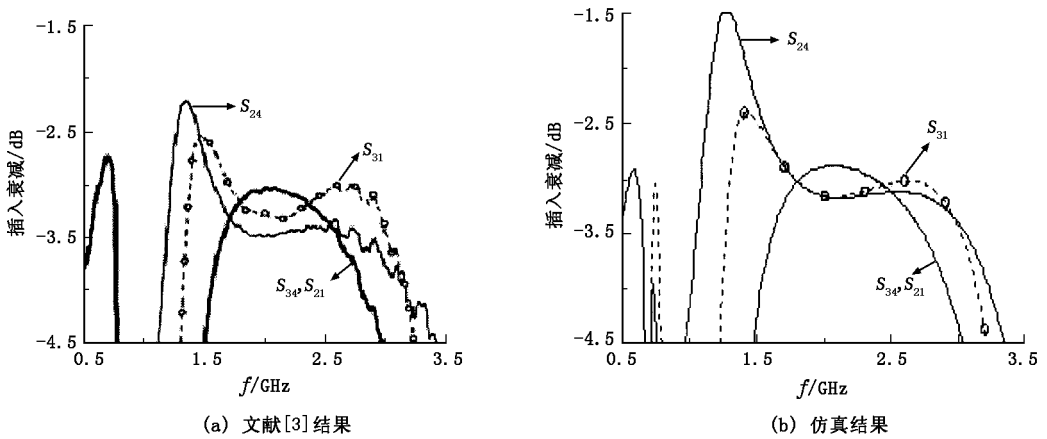
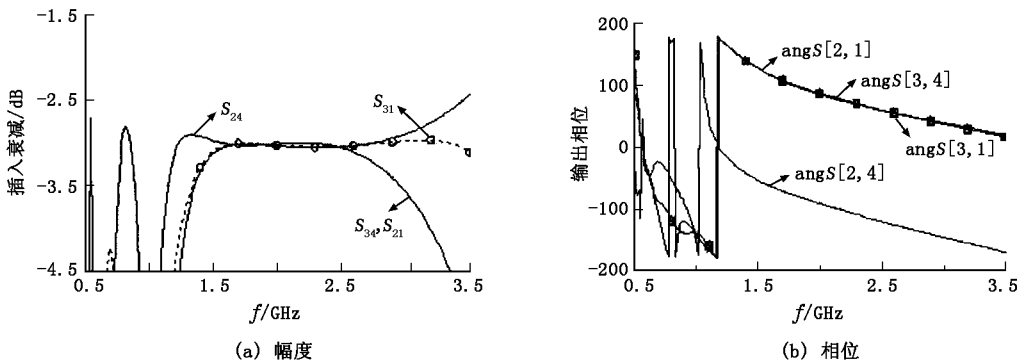
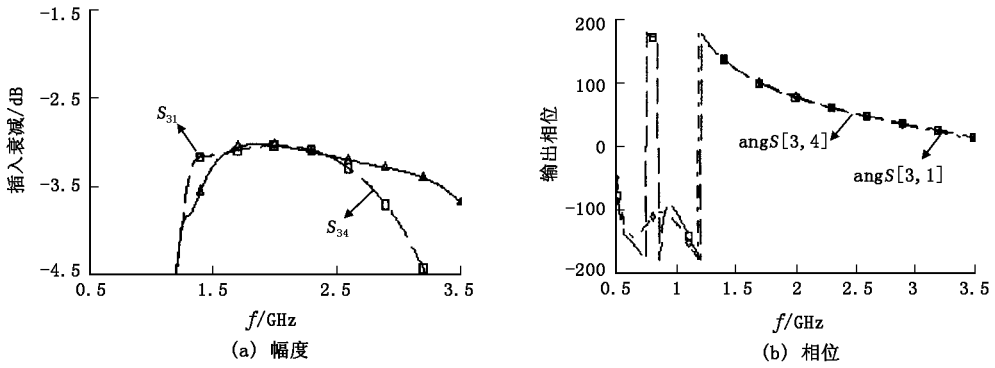


图 5 传统电桥的 S 参数

图 6 单一 -90° 枝节电桥的 S 参数图 7 3 个 -90° 枝节电桥的输出幅度和相位

4 结束语

笔者提出的两种新型微带环形电桥,采用 LHM-TLs 和 CRLH-TLs,通过引入 -90° 枝节和 0° 枝节,在减小了电路面积(75%以上)的同时,将环形电桥的带宽增加了一倍多.拓宽了环形电桥在各种电路尤其是在微波集成电路当中的应用,并使原仅可用于 $\pm 180^\circ$ 相差信号混合的电桥的功能拓展到可对 $\pm 90^\circ$, $\pm 270^\circ$ 相差的信号进行混合.

图 8 2 个 0° 和 1 个 90° 1 个 -90° 电桥的输出幅度和相位

参考文献:

- [1] Veselago V G. The Electrodynamics of Substances with Simultaneously Negative Values of ϵ and μ [J]. Sov Phys -Usp, 1968, 10(4): 509-514.
- [2] Smith D R, Padilla W J, Vier D C, et al. Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity [J]. Phys Rev Lett, 2000, 84(18): 4 184 -4 187 .
- [3] Okabe H, Caloz C, Itoh T. A Compact Enhanced-bandwidth Hybrid Ring Using an Artificial Lumped-element Left-handed Transmission-line Section[J]. IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques, 2004, 52(3): 798-804.
- [4] Caloz C, Itoh T. Application of the Transmission Line Theory of Left-handed(LH) Materials to the Realization of a Microstrip LH Transmission Line[A]. IEEE-APS Intl Symp; Vol 1[C]. San Antonio: IEEE, 2002. 412-415.
- [5] Lai A, Itoh T, Caloz C. Composite Right/Left-handed Transmission Line Metamaterials[J]. IEEE Microwave Magazine, 2004, 5(3): 34-50.
- [6] Ziolkowski R C, Kipple A L. Application of Double Negative Materials to Increase the Power Radiated by Electrically Small Antennas[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2003, 51(10): 2626 -2640 .
- [7] Liu L, Caloz C, Itoh T. Dominant Mode (DM) Leaky-waveantenna with Backfire-to-endfire Scanning Capability[J]. Electron Lett, 2000, 38(23): 1414 -1416 .

(编辑: 郭 华)

简 讯

我校与中电集团 27 所共建联合研究中心 2006 年 4 月 7 日, 我校与中电集团 27 所共建联合研究中心揭牌仪式在我校隆重举行. 27 所在电子对抗、激光武器、测控、航天、无人机等方面有突出的优势, 双方具有很好的合作条件和广泛的合作领域.

何积丰受聘我校双聘院士 日前, 中国科学院院士、著名计算机软件专家何积丰正式受聘为我校双聘院士. 何积丰教授是我国著名计算机软件专家, 中国科学院院士, 现任华东师范大学终身教授、软件学院院长, 上海嵌入式系统研究所所长, 联合国大学国际软件技术研究所高级研究员.

我校与 Altera 公司共建 EDA/SOPC 联合实验室与培训中心 日前, 我校举行了西安电子科技大学—Altera 公司 EDA/SOPC 联合实验室与培训中心挂牌及签字仪式.

(摘自《西电科大报》2006 年第 4 期)