

一种新型复合左右手结构四频微带天线

宋志杰, 梁建刚, 杨自牧, 张小飞

(空军工程大学 防空反导学院, 陕西 西安 710051)

摘要: 在传统互补开环谐振(CSSRR)结构上添加 T 型枝节, 形成一种新型复合左右手传输线(CRLH TL)。采用理论分析、电磁仿真和电路仿真研究其电磁特性, 给出了单元结构的等效电路, 计算了色散曲线, 证明该结构是一种具有双频特性的 CRLH 结构。利用该结构设计、制作并测试了一种 C 波段四频微带天线, 测试结果表明该天线具有较宽的阻抗带宽和很好的辐射特性。

关键词: 复合左右手结构; 互补开口谐振环; 双频复合左右手传输线; 四频天线; 微带天线

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A

A Novel Quadruple-band Micro-strip Antenna with Composite Right/Left Handed Structure

SONG Zhijie, LIANG Jiangan, YANG Zimu, ZHANG Xiaofei

(Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: A new type of composite right/left handed(CRLH) transmission line is proposed by adding a T-shaped branch to the traditional complementary single split ring resonator (CSSRR). Through theory analysis, electromagnetic(EM) simulation and circuit simulation, the characterization is studied, the corresponding equivalent circuit model is given and the dispersion curve is derived. Then the CRLH structure with dual-band performance is proved. A quadruple-band micro-strip antenna working in C wave-band is designed, fabricated and measured using the new type CRLH structure. Good performance in impedance band-width and radiation is verified by the measurement data.

Key words: composite right/left handed(CRLH) structure; complementary single split ring resonator(CSSRR); dual-band CRLH TL; quadruple antenna; microstrip antenna

0 引言

随着无线通信系统的发展,很多设备都要求能工作在 2 个或多个频段,因此双多频天线成为近年来天线研究的热点。1968 年,前苏联科学家 V. G. Veselago 首次提出左手材料^[1],此后便受到高度关注及深入研究。1996 年和 1999 年,英国皇家学院的 J. B. Pendry 分别提出可用金属导线阵列构造负介电常数人工媒质和用金属谐振环阵列构造负磁导率人工媒质。1999 年, D. R. Smith 等利用 Pendry 的理论制成了世界上第一块人工左手材料。2002 年, Cloz 和 Itoh 首次提出用传输线实现左手材料的新方法,复合左右手传输线(CRLH TL)作为左手材料的传输线实现形式,损耗低,易实现,具有多种异常特性和潜在应用价值,被广泛应用于微波工程设计中^[2]。

2004 年, Falcone 等^[3]提出了互补开环谐振(CSSRR)结构,谐振型复合左右手传输线在超材料领域出现并获得广泛应用^[4]。本文在原有 CSSRR 结构上添加 T 形枝节,并将其应用到天线设计中,提出了一种工作在 C 波段的四频微带天线,获得了较宽的阻抗带宽和较好的辐射特性^[5]。

1 CRLH 单元结构分析

图 1 为所采用的添加 T 形枝节的 CSSRR 拓扑结构及其等效电路图。采用介电常数为 2.65 的聚四氟乙烯玻璃布板,厚为 2 mm。白色部分为刻蚀在地板上的缺陷结构,灰色部分为介质板上表面的微带线。互补开口谐振环的开口宽度 $g_1 = 1$ mm,地面上刻蚀开口谐振环的缝隙宽度 $g_2 = 1.4$ mm,环长 $L_s = 11.6$ mm,环宽 $W_s = 5.8$ mm。

在原有的 CSSRR 结构上添加 T 形枝节相当于

收稿日期:2013-12-02

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61372034)

作者简介:宋志杰(1989-),男,山东文登人,硕士生,主要从事天线与系统工程的研究。E-mail:szjlyj@163.com。梁建刚(1975-),男,安徽肥东人,硕士生导师,博士,主要从事微波与毫米波电路、电磁兼容与电波传播等的研究。

在原来 CSSRR 中形成 2 个尺寸较小的 CSSRR, 因此其等效电路中应该有 2 个并联支路。图中, L_{a1} 和 L_{a2} 为线电感, C_{g1} 和 C_{g2} 为微带线上的缝隙电容, C_1 为微带线与较大尺寸的 CSSRR 单元的耦合电容, C_{p1} 和 L_{p1} 组成的并联电路为较大尺寸的 CSSRR 单元产生的等效电容和电感, C_2 为微带线与较小尺寸的 CSSRR 单元的耦合电容, C_{p2} 、 L_{p2} 为较小尺寸的 CSSRR 单元产生的等效电容和电感。

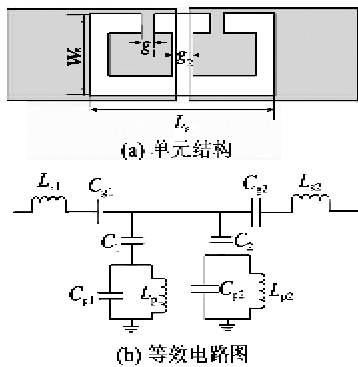


图 1 单元结构及等效电路图

采用电磁仿真软件 Ansoft HFSS 和电路仿真软件 Ansoft Serenade 对单元和等效电路进行仿真分析。首先用电磁仿真软件 HFSS 对单元进行仿真, 提取出 S 参数, 然后将电路模型的 S 参数与电磁模型的 S 参数进行拟合匹配, 从而确定电路参数 (见表 1)。图 2 为两种仿真结果。由图可看出, 2 种结果吻合较好, 证明提取的等效电路是正确的^[6-8]。

表 1 电路参数

C_1 / pF	C_2 / pF	C_{a1} / pF	C_{g2} / pF	C_{p1} / pF
1.75	0.73	0.12	0.12	0.005
C_{g1} / pF	L_{a1} / nH	L_{a2} / nH	L_{p1} / nH	L_{p2} / nH
0.27	2.74	3.75	2.62	2.22

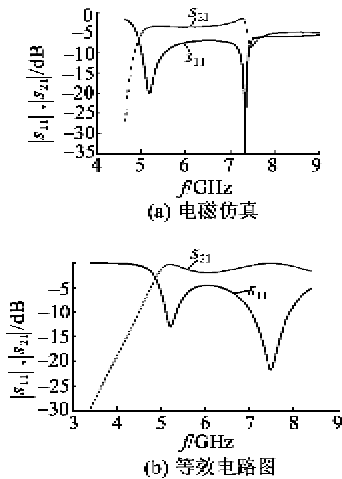


图 2 单元 S 参数仿真结果

从仿真的 S 参数可看出, 单元结构本身就具有双频特性, 因此它在天线应用中能实现良好的多频特性。根据 S 参数, 利用色散关系公式得到单元的颜色散曲线, 结果如图 3 所示。由图可看出, 该结构具有 2 个左手频段和一个右手频段, 进一步说明了其多频特性。色散关系式^[9-10]为

$$|\beta(\omega)d| = \left| \operatorname{Re} \left(\arccos \frac{1 - s_{11}s_{22} + s_{12}s_{21}}{2s_{21}} \right) \right| \quad (1)$$

式中: β 为相位常数; d 为单元的长度。

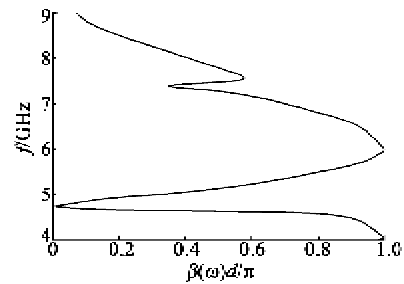


图 3 单元结构的色散曲线

2 天线设计

图 4 为所设计的天线结构图。介质基板采用介电常数 2.65、厚 2 mm 的环氧玻璃布板。使用电磁仿真软件 Ansoft HFSS 对天线进行仿真优化, 最终确定天线物理尺寸为 $W=4$ mm, $L=28$ mm, $a=10.3$ mm, $g=1.2$ mm, 背面缺陷地结构尺寸同上面的单元结构。

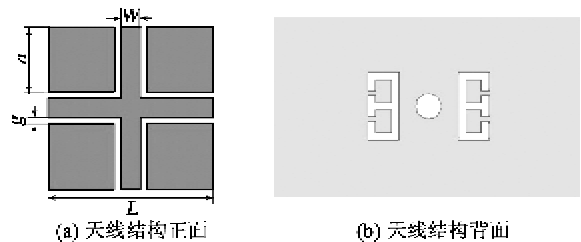


图 4 天线结构图

图 5 为仿真基础上制作的天线实物, 并进行了测试。

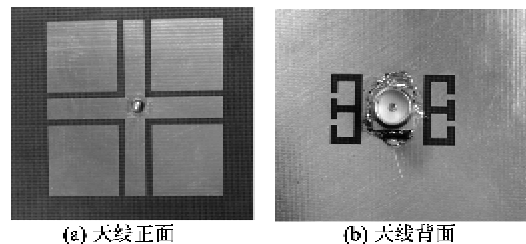


图 5 天线实物图

图 6 为天线 s_{11} 的仿真和测试结果。由图可知, 天线

分别在 5.63 ~ 6.03 GHz (400 MHz)、6.55 ~ 7.15 GHz (600 MHz)、7.25 GHz ~ 7.8 GHz (550 MHz)和 8.35 ~ 8.63 GHz(270 MHz)上获得 4 个工作频带,最大增益为 2.7~5.7 dB,交叉极化均小于-20 dB。

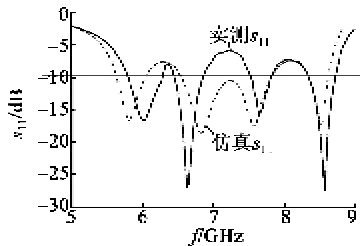


图6 天线 s_{11}

图7为天线在不同频率处包含主辐射方向的方向图。图中 G_0, G_9 分别为主极化和交叉极化。由图可知,天线具有较稳定的方向图,最大增益 G 为 2.7~5.7 dB,且交叉极化很小,均小于-20 dB。

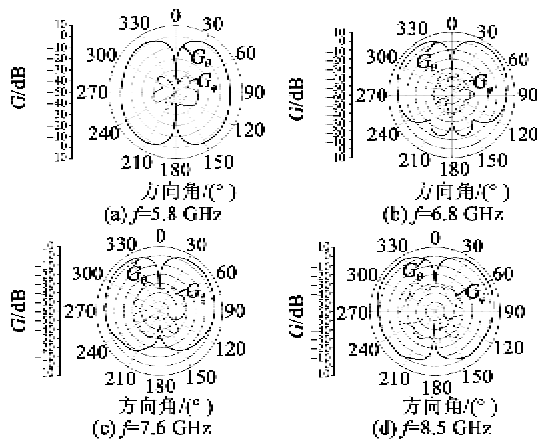


图7 天线方向图

3 结束语

通过在传统 CSSRR 结构上添加 T 形枝节,经过理论分析、电磁仿真和电路仿真,计算并给出了单元结构的色散曲线,证明这种结构是一种具有双频特性的复合左右手传输线。将此结构应用到天线设计中,提出了一种工作在 C 波段的四频微带天线,加工了实物并进行了测试。结果表明,此天线分别在 5.63~6.03GHz(400MHz)、6.55~7.15 GHz

(600 MHz)、7.25~7.8 GHz(550 MHz)和 8.35 ~ 8.63 GHz(270 MHz)上获得 4 个工作频带,最大增益为 2.7~5.7 dB,交叉极化均小于-20 dB。

参考文献:

- [1] VESELAGO V G. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ [J]. Soviet Physics, 1968, 10(4): 509-514.
- [2] 崔万照. 复合左/右手传输线理论及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [3] FALCONE F, LOPETEGI T, LASO M A G, et al. Babinet principle applied to the design of metamaterials [J]. Phys Rev Lett, 2004, 93(19): 197401-197405.
- [4] NIU J X. Dual-band dual-mode patch antenna based on resonant-type meramaterial transmission line[J]. Electronics Letters, 2010, 46(4): 266-268.
- [5] LIANG Jiangang, XU Hexiu. Harmonic suppressed bandpass filter using composite right/left handed transmission line[J]. Journal of Zhejiang University Science C, 2012, 13(7): 552-558.
- [6] 李凡. 左右手复合结构传输线小型化天线研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [7] 刘双喜. 新型复合左右手传输线及其在天线中的应用[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [8] 代黎明. 超材料在微带天线小型化设计中的应用研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [9] 吴国成, 王光明, 周超, 等. 基于 Minkowski 分形 CRLH 结构的微带漏波天线[J]. 压电与声光, 2013, 35(5): 763-765.
WU Guocheng, WANG Guangming, ZHOU Chao, et al. A leaky-wave antenna based on the minkowski fractal composite right/left-handed structure[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2013, 35(5): 763-765.
- [10] 路成福, 吴国成, 冯存前, 等. 新型对偶复合左右手传输线电磁特性研究[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2013, 14(3): 50-53.
LU Chengfu, WU Guocheng, FENG Cunqian, et al. Electromagnetic characteristics research on novel dual-composite right/left-handed transmission line [J]. Journal of Air force Engineering University: Natural Science Edition, 2013, 14(3): 50-53.