

基于复合左右手的零阶谐振天线设计

常树茂

(西安邮电学院, 陕西 西安 710061)

【摘要】设计了一种基于复合左右手传输线结构的零阶谐振天线, 讨论了零阶谐振天线的工作原理。使用Ansoft Designer软件仿真和优化了中心频率为1.8 GHz, 单元组为5单元、7单元、9单元单元和11单元的零阶谐振天线。文中给出了零阶谐振天线的具体设计尺寸和由9单元构成的零阶谐振天线的仿真图, 其天线增益为8.7 dBi, 在中心频率处电压反射系数为1.28。基于复合左右手传输线结构设计的零阶谐振天线其尺寸和损耗都比微带阵列天线小。

【关键词】复合左右手传输线; 零阶谐振天线; 串联电容; 并联电感

【中图分类号】TN826

【文献标识码】A

【文章编号】1002-0802(2011)06-0035-03

Design of Zeroth-order Resonator Antennas based on Composite Right/Left-Handed Transmission Lines

CHANG Shu-mao

(Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an Shaanxi 710061, China)

【Abstract】A zeroth-order resonator antennas based on Composite Right/Left-Handed Transmission Lines (CRLH-TL). A zeroth-order Resonator Antennas (ZORA) is studied. simulation results with Ansoft Designer software show that this antenna could achieve gain of 8.7dBi and VSWR of 1.28 at a center frequency of 1.8 GHz. The simulation results and the antenna size are given in this paper.

【Key words】CRLH-TL; zeroth-order resonator antennas; serial capacitance; shunt inductance

0 引言

复合左右手传输线(CRLH-TL, Composite Right/Left-Handed Transmission Line)最早是由美国科学家Itoh等人于2002年提出的一种新型左手材料^[1-2], 由于其异常特性和潜在的应用价值引起国内外许多科学家的极大兴趣^[3-4]。对于CRLH-TL结构, 在其左手通带和右手通带的过渡段上有个特殊的非零频率点, 在此点上电磁波的相位常数 $\beta=0$ 。如果再适当调节分布结构, 使得左手传输线和右手传输线具有相等的特性阻抗, 此时即可实现一个新型的零阶谐振器。此类零阶谐振器其谐振频率由复合结构等效的电感、电容值决定, 而与谐振器的尺寸无关, 因而具有小尺寸的优点。这种零阶谐振器可以制作成零阶谐振天线^[5]。

本文中设计了一种基于CRLH-TL结构的高方向性零阶谐振天线, 该天线由多个CRLH-TL结构单元组成, 它辐射特性类似于串馈微带阵列天线。由于这种零阶谐振阵列省略了馈电网络, 所以它的尺寸和损耗都比微带阵列天线小。

收稿日期: 2011-01-07。

作者简介: 常树茂(1957-), 男, 教授, 主要研究方向为微波技术与天线, 飞行器测试。

1 零阶谐振天线原理

CRLH-TL 实际上是在普通微带线上加载串联电容和并联电感而组成的一种周期性结构, 其中串联电路在低频段上实现等效介电常数 ϵ_e 和等效磁导率 μ_e 同时为负的左手特性, 并联电路在高频段实现传统的右手特性, 其等效电路如图1所示。

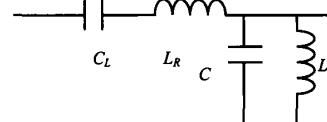


图1 CRLH-TL 单元等效电路

根据对CRLH-TL的研究, 由布洛赫定理应用周期性边界条件有如下色散关系^[6]:

$$\beta_n(\omega) = \frac{s(\omega)}{p} \sqrt{\omega^2 L_R C_R + \frac{1}{\omega^2 L_L C_L}} - \frac{L_R C_L + L_L C_R}{L_L C_L}, \quad (1)$$

$$s(\omega) = \begin{cases} -1, & \omega < \min\left(\frac{1}{\sqrt{L_R C_L}}, \frac{1}{\sqrt{L_L C_R}}\right), \\ +1, & \omega > \min\left(\frac{1}{\sqrt{L_R C_L}}, \frac{1}{\sqrt{L_L C_R}}\right), \end{cases} \quad (2)$$

式中 $\beta_n(\omega)$ 为第n阶模式电磁波的相移常数、 ω 为角频率、 P 为单元长度、 C_R 为并联电容、 L_R 为串联电感、 C_L 为串联电容、 L_L 为并联电感式。

由式(1)和式(2)得到的平衡条件下的色散曲线如图2所示。所谓的平衡条件是指左手和右手单元的电容和电感之比满足 $L_L/C_L=L_R/C_R$, 电磁波禁带区为零。从色散曲线可以看出, CRLH-TL结构的相位传播常数可为负、零和正值。当相位传播常数为零时, 天线谐振波长趋向无限大, 天线将不受物理尺寸限制, 即人们称的零阶谐振天线或无限波长谐振天线。这是左手材料天线区别普通天线的特性。

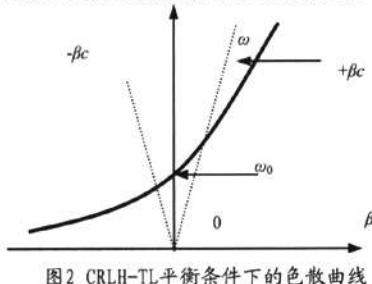


图2 CRLH-TL平衡条件下的色散曲线

在终端短路的边界条件下, 无耗CRLH-TL谐振器的输入阻抗为:

$$Z_{in} = N * j(\omega L_R - \frac{1}{\omega C_L}), \quad (3)$$

式中 N 是周期性结构中的单元数。式(3)表明CRLH-TL短路时, 输入阻抗为谐振 L_R/C_L 串联电路阻抗的 N 倍。因此, 整个零阶谐振天线的谐振频率仅与单元电路的串联部分有关。所以同尺寸的CRLH-TL结构和加载电感传输线结构有相同零阶谐振频率, 其频率为:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_R C_L}}, \quad (4)$$

式(4)表明改变基板和单元尺寸参数可以达到控制无限波长谐振频率的目的。而周期排列单元的数量基本不会引起零阶谐振点的偏移^[7]。

2 天线设计与仿真

从理论上讲, 任何类型的终端开路或短路的CRLH-TL都可以用于构建零阶谐振天线^[8]。文中使用串联交指电容和终端短路支节线构成零阶谐振天线, 其单元结构如图3所示, 单元等效电路如图1所示。等效电路中的左手电容 C_L 由交指电容产生; 左手电感 L_L 由终端短路支节线产生; 右手电容 C_R 由串联交指电容的金属带和接地板之间产生; 右手电感 L_R 则是由金属带本身产生。



图3 CRLH-TL结构天线单元

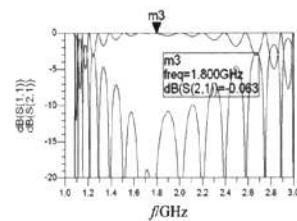


图4 9单元结构电路仿真结果

零阶谐振天线设计的第一步是设计零阶谐振器。首先进行LC网络单元设计。在平衡结构条件下, 工作频率为1.8 GHz的LC网络单元参数可选为: $C_L=1.11 \text{ pF}$, $L_R=6.78 \text{ nH}$, $C_R=3.72 \text{ pF}$, $L_L=2.07 \text{ nH}$ 。图4是9个单元电路仿真结果。从电路仿真结果看, 谐振器的中心频率在平衡点处, 此点也是零阶位置处。

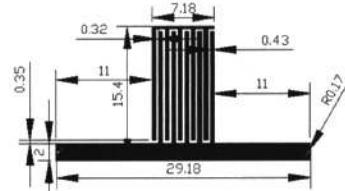


图5 CRLH-TL结构单元尺寸(单位mm)

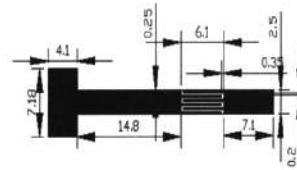


图6 9单元天线匹配尺寸(单位mm)

使用串联交指电容来实现 C_L 和 L_R , 使用终端短路支节线来实现 C_R 和 L_L , 具体实现方法参考文献^[9]。图5是CRLH-TL结构单元的具体尺寸。图6是9单元结构天线具体匹配结构图。图7是9单元天线的结构图, 天线终端使用3个过孔接地短路, 基板参数为 $\epsilon_r=3.38$, $h=1.52 \text{ mm}$, $\tan\delta=0.0027$, $t=17 \mu\text{m}$ 。它类似微带阵列天线^[10]。



图7 9单元天线结构版图

使用Ansoft Designer软件分别对5单元、7单元、9单元和11单元进行了仿真。9单元天线方向图和电压驻波比如图8和图9所示。

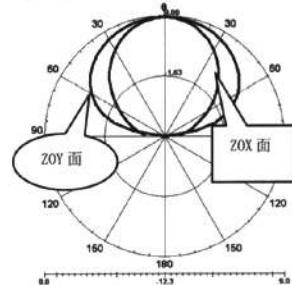


图8 9单元天线方向图

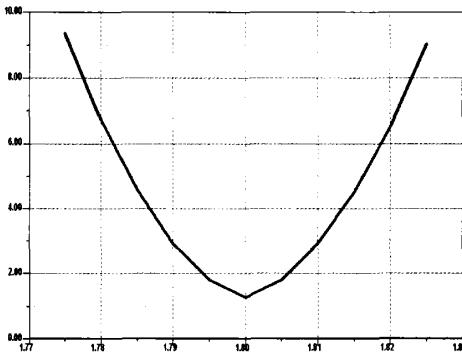


图 9 9 单元天线电压驻波比

3 结语

由CRLH-TL结构天线仿真曲线知：5单元天线增益为6.6 dBi，7单元天线增益为8 dBi，9单元天线增益为8.7 dBi，11单元天线增益为9.2 dBi。天线方向图无后向辐射是由于使用Ansoft Designer软件仿真时底板是无限大引起的。实物天线的方向图会有一定的后瓣，增益也会略低于仿真增益（基板损耗在仿真时已考虑）。电压驻波比在中心频率处为1.28。由仿真结果知：CRLH-TL结构单元增加，天线方向图的主瓣宽度减少，天线增益增加，这类似串馈阵列天线。

文中讨论了CRLH-TL结构零阶谐振天线的工作原理，仿真设计了多单元天线。CRLH-TL结构零阶谐振天线的性能类似串馈阵列微带天线。由于CRLH-TL结构零阶谐振天线省略了馈电网络，它的尺寸和损耗都比微带阵列天线小^[11]。这是CRLH-TL结构零阶谐振天线的优点。从天线电压驻波比图可以看出CRLH-TL结构零阶谐振天线的不足是工作频带窄，如何增大工作频带是需要进一步研究的内容。

参考文献

- [1] CALOZ C, ITOH T. Application of the Transmission Line Theory of Left-handed (LH) Materials to the Realization of a Microstrip "LH line" [C]// 2002 IEEE Antennas and Propagation

(上接第 34 页)

所提出的均衡器是有效的，从而说明了定理结论的正确性；而此文中的盲信号检测算法与经典的 SSA 算法相比性能优越，在含公零点的信道矩阵中经典算法已不再适用，而此文中的算法依然表现出良好的检测性能。

参考文献

- [1] 孔德廷, 伍守豪, 金涛, 等. 维特比均衡算法[J]. 通信技术, 2010, 43(09):27-29.
- [2] 顾雯. 基于 FIR MIMO 系统的盲均衡技术的探讨[J]. 通信技术, 2006(增刊):94-96.
- [3] MENDEL J M. Tutorial on Higher-order Statistics (spectra) in

- Society International Symposium. [s. l.]: IEE Press, 2002.
- [2] LAI A, CALOZ C, ITOH T. Composite Right/left-handed Transmission Line Metamaterials[J]. IEEE Microwave Magazine, 2004, 5(03): 34-50.
- [3] CALOZ C, OKABE H, IWAI H, et al. Transmission Line Approach of Left-handed (LH) Materials[C]// Proc. USNC/URSI National Radio Science Meeting. San Antonio, TX:[s. n.], 2002(01):39.
- [4] OLINER A A. A Periodic Structure Negative Refractive Index Medium without Resonant Elements[J]. IEEE-AP-S/URSI Int. Symp, 2002(41):16-21.
- [5] LEE K, LEONG M K H, ITOH T. Design of Resonant Small Antenna Using Composite Right/left-handed Transmission Line[C]// Proc. IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp. America:[s. n.], 2005(2B): 218 - 221.
- [6] SANADA A, CALOZ C, ITOH T. Zeroth Order Resonance in Composite Right/left-handed Transmission Line Resonators[C]// Proc. Asia-Pacific Microwave Confe. Seoul, Korea:[s. n.], 2003: 1588-1592.
- [7] CASARES-MIRANDA F P, CAMACHO-PENALOSA C, CALOZ C. Active Composite Right/left-handed Leaky-wave Antennas[C]// Proc. IEEE AP-S International Symposium USNC/URSI National Radio Science Meeting. America:[s. n.], 2006:23-26.
- [8] RENNINGS A, LIEBIG T, OTTO S, et al. Highly Directive Resonator Antennas based on Composite Right/left-handed (CRLH) Transmission Lines[C]// Proc. 2nd International ITG Conference on Antennas (INICA). Munich, Germany:[s. n.], 2007.
- [9] CALOZ C, SANADA A, ITOH T. A Novel Composite Right/Lefthanded Coupled-line Directional Coupler with Arbitrary Coupling Level and Broad Bandwidth[J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 2004(52):980-992.
- [10] 李雯, 郑爽. 共形微带天线相控阵列的仿真优化设计[J]. 通信技术, 2010, 43(04):45-47.
- [11] 邓曦, 刘运林, 史志伟, 等. 一种新型超小型化天线[J]. 通信技术, 2010, 43(07):21-23.

- Signal Processing and System Theory: Theoretical Results and some Applications[J]. Proceedings of the IEEE, 1991, 79:277-305.
- [4] GARDNER W. A New Method of Channel Identification[J]. IEEE Trans. Commun. 1991, 39:813-817.
- [5] TANG J S. Conditions on Blind Scource Separability of Linear FIR-MIMO System with Binary Inputs[J]. International Journal of Computer Science, 2008, 3(04):257-260.
- [6] 唐加山, 张志涌. 基于 ε 逼近算法的 CDMA 盲自适应多用户检测[J]. 通信学报, 2003, 24(06):36-43.
- [7] DING Z, LI Y. Blind Equalization and Identification[M]. New York:Marcel Dekker, 2000.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>