

一种超宽带异向介质共面波导馈天线

史少洪, 雷振亚, 谢拥军, 盛琼年, 张治铎

(西安电子科技大学 天线与微波技术国家重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘要:基于裂缝谐振环的降频技术, 利用色散性稳定、频带宽、电尺寸小的异向介质结构, 设计了一种加载异向介质的新型平面波导馈天线(CPW-fed antenna), 实现了天线的宽带小型化。修正的 PIFA 传输线模型中, 利用异向介质的谐振电路取代了传统辐射贴片不连续性而引起的电容效应。仿真和实测数据表明, 该天线-10 dB 相对带宽超过了 80%, 物理尺寸也缩减了近一倍, 其谐振频段 3.5~8.3 GHz 内得到全向的辐射方向图。

关键词:异向介质; 共面波导馈天线; 超宽带; 左手介质

中图分类号:TN82-34

文献标识码:A

文章编号:1004-373X(2010)17-0100-03

Ultra Wideband Metamaterial CPW-fed Antenna

SHI Shao-hong, LEI Zhen-ya, XIE Yong-jun, SHENG Qiong-nian, ZHANG Zhi-hua

(National Key Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: Based on the technique of reducing working frequency of split ring resonators (SRR), and a left-handed medium structure with smooth dispersion, broadband property and small dimensions, a novel CPW-fed antenna loaded with a metamaterial is designed for the broadband and miniaturization. In the modified CPW-fed antenna transmission line model, the conventional capacitance which causes the capacitance effect by its discontinuity is replaced by the resonance circuit of the metamaterial. Both the simulated and measured results demonstrate that such metamaterial CPW-fed antenna exhibits a -10 dB return loss of more than 80% bandwidth, and also the physical dimensions have been reduced by nearly 50%. Nearly omnidirectional radiation pattern is achieved in the resonance oscillation frequency range of 3.5~8.3 GHz.

Keywords: metamaterial; CPW-fed antenna; ultra wideband; left-handed medium

0 引言

左手介质(Left-handed Medium)是 20 世纪 90 年代末期, 继 Pendry 等提出采用周期性排列的导线和开口谐振环结构 SRR(Split Ring Resonator)可以在微波频段内产生负的介电常数和磁导率^[1]以后, 一种新型周期结构的人工电磁介质。它可在该介质中传播的电磁波的电场 E 、磁场 H 以及波矢量 k 三者构成左手关系, 故而得名。Veselago 沉寂了近三十年的异向介质先驱理论再度成为科学界的研究热点^[2]。2001 年, Smith 等首次构造出这种自然界不存在的媒质以来^[3], 由于它具有一些反常的电磁特性(包括左手特性、负折射特性和后向波特性等)而再度成为科学界的研究热点。国内外成果表明, 上述电磁特性具有广泛的研究前景。

近年来, 异向介质的应用早已渗透到了各类微波器件的设计和开发中。具体到天线方面, Wu 等实现了基于异向介质后向波的小型化天线^[4], Yang 等则提出了具有主瓣宽度窄、仰角低特点的异向介质微带天线^[5]。但是, 设计者们都希望天线的带宽能够覆盖多个工作频段以满足越来越多的无线通信标准。与此同时, 对于移动

终端所使用的天线, 如平面倒 F 天线(PIFA), 同时兼顾超宽带并满足小型化又非常困难^[6-8]。另一方面, 异向介质固有的强色散和有耗特性也似乎阻碍了异向介质加载天线带宽性能的提高。Hao 等研究了异向介质电小天线并指出加载材料的损耗将使天线性能恶化^[9]。Tretyakov 数值仿真了部分填充色散异向介质的微带天线^[10], 发现天线带宽将小于单纯空气填充的天线。Yang 等则分析和设计了含有异向介质双层基底的亚波长谐振腔微带天线^[11], 虽然突破了传统微带天线的窄带局限, 但前提假设为异向介质是各向同性的均匀介质。

基于以上考虑, 本文将异向介质地板引入共面波导馈天线的设计中, 实现了具有超宽带特性的异向介质天线。可以看出, 异向介质谐振电路替代传统辐射贴片的开路电容将有可能提高该天线的辐射特性。数值和实测数据表明, 这种天线-10 dB 相对带宽达到了 80% 以上, 谐振频率包含无线局域网和城域网 IEEE 801.11a 标准及 IEEE 802.16e 标准的各载波频段。在谐振频段内具有全向的辐射方向图。

1 天线设计与原理

图 1 给出了加载异向介质地板的共面波导馈天线模型。可以看出, 周期性方形金属贴片结构替代了天线

传统的金属地板。其中天线各参量的物理尺寸见表1,基底的材料为Arlon DiClad 880,相对介电常数 $\epsilon_r=2.2$,厚度 $t=2\text{ mm}$ 。

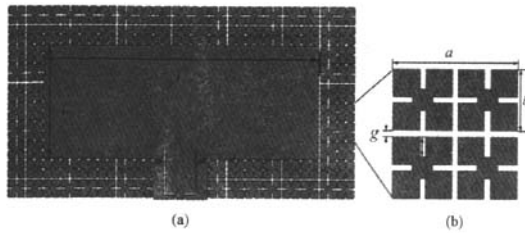


图1 加载异向介质共面波导馈天线模型

表1 天线各参量物理尺寸

参量名称	a	b	g	l	q	s	t	w
尺寸/mm	6.5	3.1	0.3	50.7	1	5.4	2	20.1

由于天线贴片终端和地板之间形成了辐射缝隙,边缘场兼顾着储能和辐射的作用。当异向介质地板引入后,由贴片不连续性所造成的电容效应将被异向介质的谐振电路取代。另一方面,与传统天线相比,边缘场辐射所导致的能量流失仍然可以用一个并联导纳来表示。如图2所示,异向介质共面波导馈天线的输入导纳可以表示为:

$$Y_{in} = Y_0 \frac{Y_s + jY_0 \tan(\beta' l)}{Y_0 + jY_s \tan(\beta' l)}$$

(1)

式中: Y_s 为辐射缝隙的导纳且具有以下形式:

$$Y_s = G + M$$

(2)

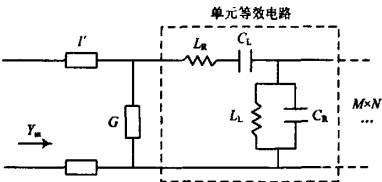


图2 加载异向介质CPW的传输线模型

M 表示了异向介质单元谐振电路的等效导纳。已知当异向介质取得双正参数时,分布参数将只由 L_R 和 C_R 表示。而当异向介质取得双负参数时,分布参数 L_L 和 C_L 将起主要作用,但由于寄生效应, L_R 和 C_R 也将存在。

图3给出了该异向介质的本构参数^[12],可知在2~8 GHz介质的相对介电常数和相对磁导率均为正数,而且数值非常稳定,有效地减小了色散特性。当 l' 趋近于1/4波长时, $Y_2=Y_0^2/Y_s$ 。此时若异向介质电路发生谐振或感性,这意味着输入阻抗将能够更加接近实数,从而使得天线在其谐振频点周围工作的相当平稳,为获得良好的带宽特性提供了可能。为了验证以上理论,图4给出了该天线馈电点的输入阻抗,可以看出,

2~8 GHz频段内输入阻抗的实部相比于虚部将起主导作用,并且非常接近50 Ω 的天线特性阻抗。对应实部最接近50 Ω 且虚部最接近0的频段,这也正好预示了该异向介质共勉波导馈天线的谐振频段。

另外,异向介质地板也会对不同频段的电磁波产生不同的反射和透射,以此来影响天线的某些辐射特性,在3~8 GHz内异向介质呈现双正参数对应的为无截止频率的传输通带,天线所辐射的电磁波将更多的直接透射过异向介质加载的地板,造成天线在此频段具有全向的辐射方向图。因此,可以通过调整异向介质不同的摆向,以不同的通带或阻带来控制天线辐射方向。

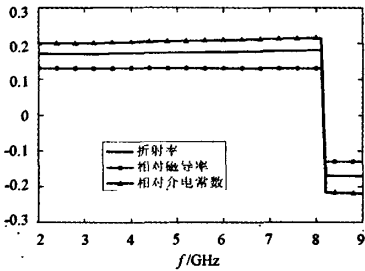


图3 异向介质的本构参数

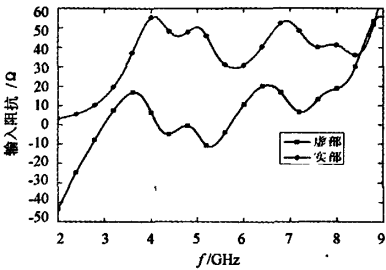


图4 异向介质天线输入阻抗

2 仿真结果及其分析

利用Ansoft HFSS 11.0对异向介质共面波导馈天线进行全波仿真,并且与实际天线测量结果进行比对。图5给出了该异向介质的加工实物。图6则给出了此新型和传统地板天线的回波损耗,从仿真结果可以看出,以5.8 GHz为中心频率,异向介质天线小于-10 dB的相对带宽达到了80%以上。

图7给出了各谐振频点的辐射方向图。而且,实测结果与仿真结果较为吻合,其低频驻波还要优于仿真结果,证明了异向介质天线分析和设计的正确性。谐振频带包含了无线通信中IEEE 802.11a标准5.1~5.8 GHz以及IEEE 802.16e标准固定和移动宽带无线接入系统的所有载波频段,使得该天线有着广阔的实际应用前景。值得注意的是,在整个异向介质天线的设计中,并没有附加任何的匹配网络来提高宽带,所以这个新型天线的效

率会很高,而且更有利于小型化的实现。所以,除了贴片尺寸等一些传统参量,基板的材质和厚度也将至关重要,这里不再赘述。



图5 天线加工实物

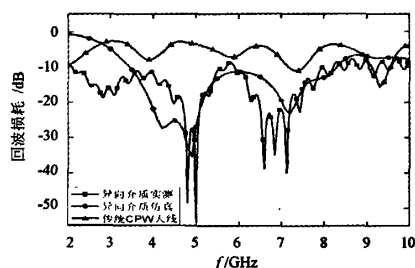


图6 回波损耗随频率的变化曲线

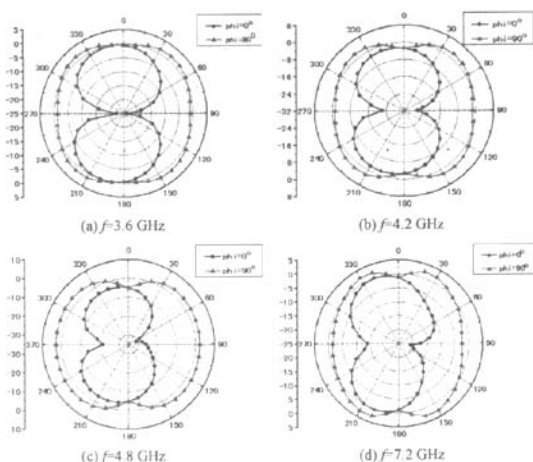


图7 不同频率下的辐射方向图

3 结语

研究了加载异向介质地板共面波导馈天线的新型辐射特性,通过对共面波导馈天线传输线模型的修正分析,从物理上有效地解释了该天线带宽性能提高。仿真数据表明,这种天线-10 dB相对带宽达到了80%以上,谐振频率包含多种无线局域网络通信标准及城域网3~8 GHz固定和移动宽带无线接入系统的应用载波频段,

大幅度地提高了传统天线的窄带局限。在谐振频带内,这种天线具有全向的辐射特性。最后,给出了天线实测结果,验证了异向介质加载天线的合理性与可行性。

参考文献

- [1] PENDRY J B. Negative refraction makes a perfect lens[J]. Phys. Rev. Lett., 2000, 85(18): 3966-3969.
- [2] VESELAGO V G. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ_r and μ_r [J]. Sov. Phys. Usp., 1968, 10(4): 509-514.
- [3] SMITH D R, Pendry J B, WILTSHIRE M C K. Metamaterials and negative refractive index[J]. Science, 2004, 305 (5685): 788-792.
- [4] 武明峰,孟繁义,吴群,等.基于DGS和双层SRRs结构的左手介质微带线的设计[J].物理学报,2006,55(11): 5790-5794.
- [5] YANG R, XIE Y J, WANG P. Characteristics of millimeter wave microstrip antennas with left-handed materials substrates[J]. Appl. Phys. Lett., 2006, 89: 64-108.
- [6] MYLLYMAKI S, HLITTLINEN A, BERG M, et al. Method for measuring user-induced load on mobile terminal antenna[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 2009, 45 (21): 1065-1066.
- [7] PAZIN L, TELZHENSKY N, LEVIATAN Y. Multiband flat-plate inverted-f antenna for wi-fi/WiMAX operation[J]. IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett., 2008, 7: 197-206.
- [8] WANG Y S, LEE M C, CHUNG S J. Two PIFA-related miniaturized dual-band antennas[J]. IEEE Trans. Antennas Propag., 2007, 43(2): 105-107.
- [9] HAO Y, ZHAO Y, LEE Y J. Electrically small antennas with dielectric, magneto-dielectric and metamaterial loading [C]//Loughborough Antennas & Propagation Conference. [S. l.]: LAPC, 2007: 156-174.
- [10] TRETYAKOV S A, ERMUTLU M. Modeling of patch antennas partially loaded with dispersive backward-wave materials[J]. IEEE, Antennas Wireless Propagat. Lett., 2005, 1(4): 10-13.
- [11] 杨锐,谢拥军,王鹏,等.含有左右手介质双层基底的亚波长谐振腔微带天线研究[J].物理学报,2007,56(8): 4504-4508.
- [12] 王瑞,谢拥军,杨锐,等. Floquet模激励下的异向介质本构参数提取测量[C]//2009国防计量测试学术年会会议论文集.北京:中国宇航学会计量与测试专业委员会,2009: 86-88.

作者简介:史少洪 男,1985年出生,河北唐山人,硕士研究生。主要研究方向为异向介质电磁特性及微波天线设计。

雷振亚 男,1960年出生,陕西西安人,教授,硕士生导师。主要研究方向为微波无源电路、微波天线及微波系统等。

谢拥军 男,1968年出生,安徽滁州人,教授,博士生导师。主要研究方向为微波与计算电磁学、微波通信、电磁兼容及电波传播特性等。

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，一直致力和专注于微波、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>