

印刷对数周期天线的 FDTD 分析与实验*

王生水,柴舜连,田立松,杨虎,毛钧杰

(国防科技大学电子科学与工程学院,湖南长沙 410073)

摘要 采用非均匀网格时域有限差分(NU-FDTD)方法,对单层印刷对数周期阵子天线(PLPDA)进行了电磁仿真,分析了单面和双面介质盖板对 PLPDA 性能的影响,得到了 PLPDA 的驻波和方向图特性,并进行了实验验证,分析结果与实验结果吻合得较好。

关键词 非均匀网格;时域有限差分法;印刷对数周期阵子天线

中图分类号:TN822 文献标识码:A

Analysis and Experiment for a Printed LPDA Based on FDTD

WANG Sheng-shui, CHAI Shun-lian, TIAN Li-song, YANG Hu, MAO Jun-jie

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract Based on the method of non-uniform grid-FDTD a monolayer printed PLPDA was analyzed. The influence of the single and double coated dielectric cover on the performance of the PLPDA was also discussed. Through electromagnetic simulation to the PLPDA, the standing-wave-ratio and directional-pattern of the antenna were got and the results were validated by experimentation. The analysis and experimental results fit perfectly.

Key words non-uniform grid; finite-difference of time-domain; printed log-periodic dipole array antenna

对数周期天线是一种非频变超宽带天线,它具有自相似结构,其电性能可以在 10:1 甚至更宽的频带内基本上保持不变^[1,2]。一般的对数周期天线用圆柱振子做成,其体积大、重量重、制作难度大、精度有限。文献[3,4]介绍了双层印刷对数周期天线,文献[5]提出了一种新型结构——单层印刷对数周期天线。印刷天线制作在微带基板上,它采用现代光刻工艺制作,具有重量轻、体积小、易于加载、制作精度高、一致性好的优点。单层 PLPDA 是将辐射振子和集合线分别印制在同一块微带基板的两面,集合线是平行双线,馈电同轴线的外表皮直接焊在双线的一条导带上,而同轴线的内导体延伸弯曲后焊在双线的另一条导带上,这种馈电方式能起到宽频带的不平衡到平衡的转换,并且阻抗转换比为 1:1。在工程应用中需要把天线固定在介质支架上,有两种固定方案(1)天线固定在单层介质支架上(2)固定在双层介质支架中(两层介质板把天线夹住)。经分析,第一种方案不可取,会引起驻波的急剧升高。本文基于这两种方案建立模型,用当今流行的时域有限差分的方法,采用非均匀网格的剖分方法,对介质加载情况进行了电磁仿真,仿真结果与实验结果相当一致,证实了分析的正确性。

1 天线结构

单层 PLPDA、单面盖板 PLPDA 和双面盖板 PLPDA 分别如图 1、图 2 和图 3 所示。

2 算法描述

时域有限差分法^[7]自诞生以来,已广泛应用于电磁散射和反射的计算中,随着吸收边界条件、激励方式等问题的解决,在天线辐射的研究中也得到了应用,如微带天线、线天线等。本文用同轴线馈电,计算并分析了印刷型对数周期天线的特性。

* 收稿日期:2003-08-26
作者简介:王生水(1977-),男,硕士生。

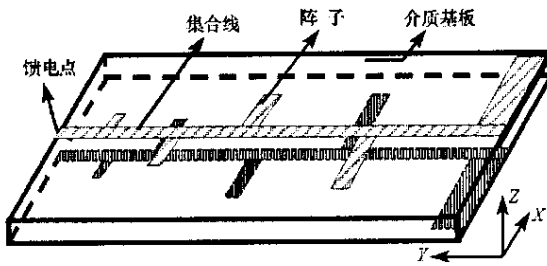


图1 单层 PLPDA

Fig.1 Single-patch printed PLPDA



图2 单面盖板 PLPDA

Fig.2 Single-face cover-board of PLPDA

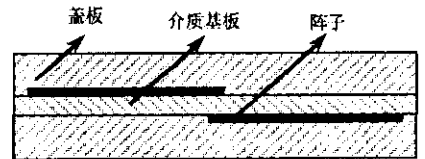


图3 双面盖板 PLPDA

Fig.3 Double-face cover-board of PLPDA

(1) 网格划分及吸收边界的设置。天线辐射属于开放性问题,需要用有限的网格区域模拟无限大的电磁波辐射空间,采用完全匹配层(PML)^[8]吸收边界条件,PML边界有6个网格的宽度;受计算机容量和计算时间的限制,网格不可能划分得过密。采用非均匀正交FDTD算法,非均匀网格划分方法仍保持了FDTD方法的简洁性,同时可大幅度减少所用的计算机内存和计算时间。该方法粗细网格的搭配,可以在不占用更多计算机资源的情况下,将吸收边界推至更远处,当吸收边界条件不良时,这一点尤其重要。表1示出了FDTD计算区域的相关数据。本文中,在天线的高频端、天线表面以及阵子附近场量变化快的区域,要采用细网格,低频端网格划分较粗。因为高频端阵子短且细,为了真实反映高频端的电特性,须将网格划分细密,低频端则相反。仿真结果证明,这样的网格划分合理有效。

(2) 激励源设置。本文中采用同轴线馈电^[6],在天线的高频端变换为平行双线,然后对各振子进行馈电,为计算简化起见,只考虑平行双线馈电,而不考虑同轴线及同轴线与平行双线的变换部分(事实上,矩量法计算中也只考虑平行双线馈电)。

表1 计算区域相关数据

Tab.1 Correlated-data to calculation-domain of FDTD

	X轴	Y轴	Z轴
计算区域尺寸	400mm	640mm	20mm
网格数目	74个	154个	28个
最小网格	1.5mm	1.25mm	0.5mm
最大网格	12mm	10mm	1mm

(3) 近远场变换。由FDTD方法计算得到近场数值,应用惠更斯原理求远场。

3 仿真及实验结果

天线要求频段为0.4~3.2GHz,设计频段0.37~4.2GHz,在工作频段内驻波小于2.0。实验中,介质基片的相对介电常数为2.5,厚度为1.0mm,盖板的相对介电常数为3.3,厚度为2.0mm。单层PLPDA、单面盖板PLPDA和双面盖板PLPDA的驻波的计算和实验结果如图4~7所示。由图可见:

(1) 单层PLPDA,实际最高工作频率3.8GHz,理论计算和实测驻波吻合得较好,说明对天线的设计是合理的。

(2) 单面盖板 PLPDA 的驻波急剧升高, 达到 2.5 ~ 3.5。这是由于单面盖板造成 PLPDA 两边振子的介质加载效果不一致, 出现不平衡, 因而驻波差。

(3) 双面盖板 PLPDA 的驻波在工作频段内满足要求, 频段有所下降, 实际最高工作频率 3.3GHz 左右, 这是由于介质加载时, 印刷振子的谐振频率降低, 天线工作频带变窄所致。

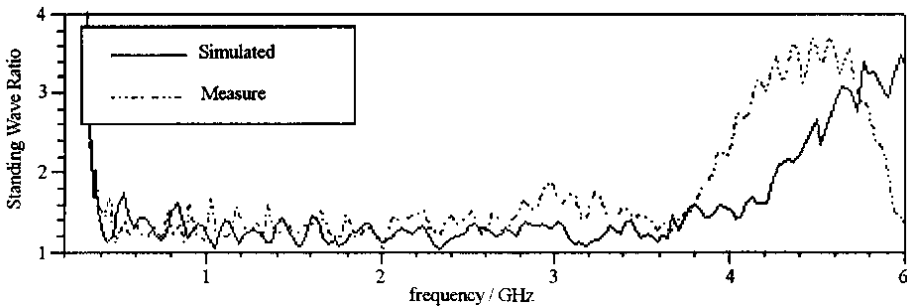


图 4 单层 PLPDA 驻波的仿真与实验结果

Fig.4 Simulation and experiment result to the SWR of single-patch printing PLPDA

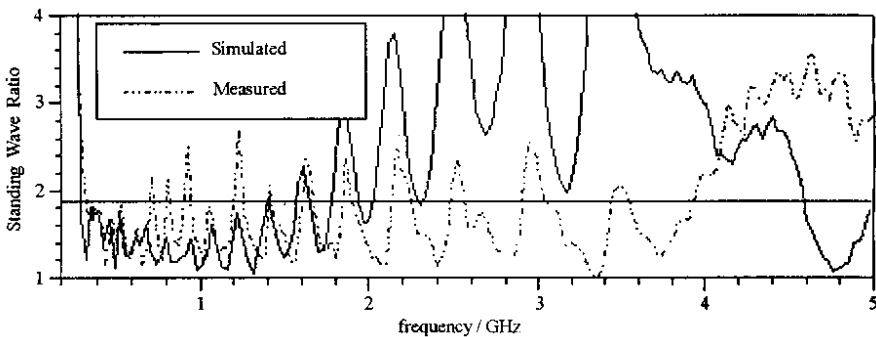


图 5 单面盖板 PLPDA 驻波的仿真与实验结果

Fig.5 Simulation and experiment result to the SWR of the single coated dielectric cover on the performance PLPDA

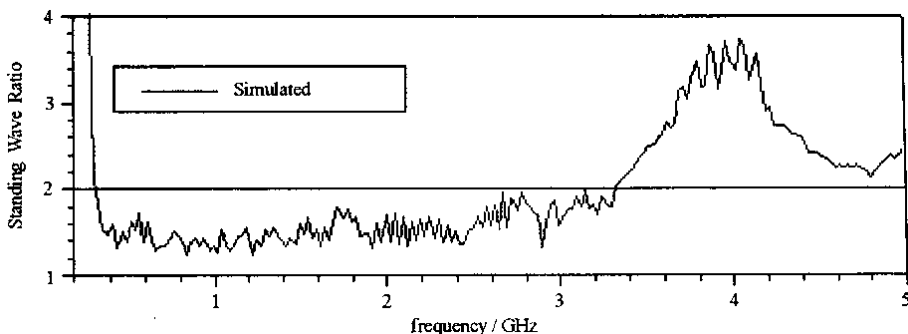


图 6 双面盖板 PLPDA 驻波的仿真结果

Fig.6 Simulation result to the SWR of the double coated dielectric cover on the performance of PLPDA

由近远场变换和实验测得方向图如图 8、图 9。

由图可见: 计算得到的方向图与实验测得方向图比较吻合。

4 结论

单层 PLPDA 和双面盖板 PLPDA 的驻波在工作频段内满足要求, 而单面盖板 PLPDA 的驻波在工作频段内急剧升高, 不满足要求, 这是由于盖板加载不平衡导致天线驻波急剧变坏, 单面盖板方案不可行。因此, 在实际工程中, 我们采用了双面加载的方案。

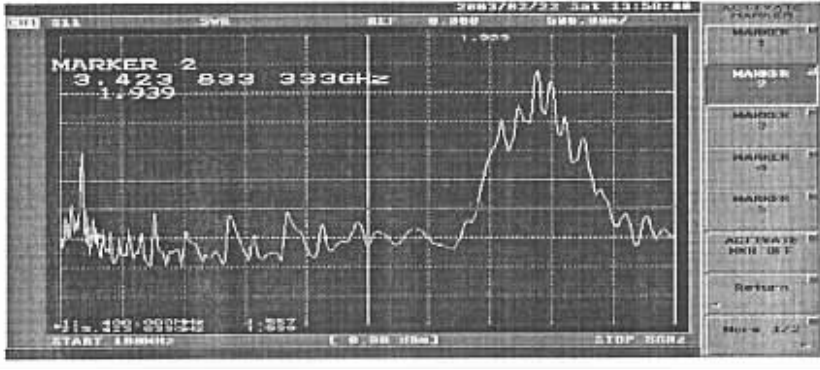


图7 双面盖板 PLPDA 驻波的实验结果

Fig.7 Experiment result to the SWR of the double coated dielectric cover on the performance of PLPDA

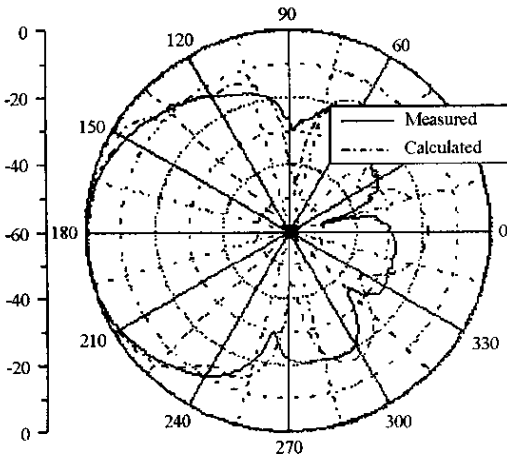


图8 频率为 1.0GHz 时 H 面方向图

Fig.8 Directivity-pattern of H plane at 1.0GHz

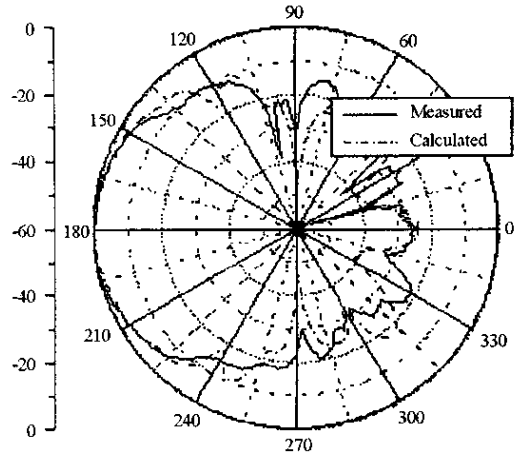


图9 频率为 2.0GHz 时 H 面方向图

Fig.9 Directivity-pattern of H plane at 2.0GHz

参考文献：

[1] 康行健. 天线原理与设计[M]. 北京:国防工业出版社,1995.

[2] 魏文元,宫德明,陈必森. 天线原理[M]. 北京:国防工业出版社,1984.

[3] Pantoja R R,Sapienza A R,Medeiros Filho F C. A Microwave Printed Plana Log-periodic Dipole Array Antenna[J]. IEEE Trans. A. P. , 1987,AP-35(10).

[4] Campbell C K,Traboulay I,Suthers M S,Kneve H. Design of a Stripline Log-periodic Diopole Antenna[J]. IEEE Trans. A. P. ,1997.

[5] 慕凌飞,姚德森,毛钧杰. 新型印刷对数周期天线[J]. 国防科技大学学报,1998,20(13).

[6] 尹家贤,刘克成,刘继斌,刘培国,毛钧杰. 对数周期天线时域特性分析[J]. 电波科学学报,2002,17(4).

[7] 王长清,祝西里. 电磁场中的时域有限差分法[M]. 北京:北京大学出版社,1994.

[8] Jean-Pierre B. Perfectly Matched Layer for the FDTD Solution of Wave-structure Interaction Problem[J]. IEEE Trans. A. P. ,1996,44(1).

