

基于电磁带隙结构的共形阵列互耦抑制方法

Mutual Coupling Suppression of Conformal Array Based on Electromagnetic Bandgap Materials

郭鹏斐 付云起 / 国防科学技术大学电子科学与工程学院

摘 要:在共形天线阵列结构中,表面波是互耦的重要来源,本文利用电磁带隙结构对共形天线阵中的表面波进行抑制,研究了共形条件下的电磁带隙结构,并将其应用到共形天线阵列中,有效抑制了天线单元间的互耦。

关键词:电磁带隙结构;共形天线阵;互耦

Keywords: electromagnetic bandgap; conformal array; mutual coupling

0 引言

电磁带隙结构(EBG)本质上是一种具有频率带隙的周期电磁结构。由于其存在明显的禁带效应,因此广泛应用于天线的设计,以改善天线的辐射特性。例如,在微带天线中引入EBG结构,可以有效抵制微带结构中的表面波传播,提高天线增益,同时减小天线的旁瓣及后瓣,提高电磁兼容性能等。当前对于EBG结构的研究多限于平面阵列的理论和实验工作,本文主要研究将EBG结构用于共形天线阵的设计,以达到抑制互耦的目的。

1 共形EBG结构设计

1.1 EBG结构

高阻表面是一种新型的电磁带隙结构,由一组金属突起物在导体表面按二维网格排列而得到。通常这些突起物被加工成金属片,通过垂直的导电过孔与下面的连续导体面相连,如图1所示。

高阻表面的金属贴片和导电过孔与波长相比较小,它们的电磁特性就可以采用集总电路元件——电容和电感来进行描述。相邻的金属单元之间产生电

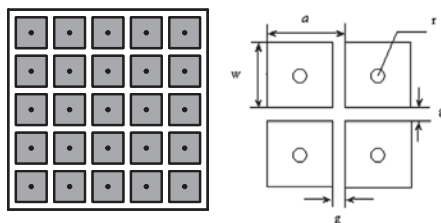


图1 高阻表面结构及参数

容,连接它们的导电通路产生电感,它们的特性就如同平行LC谐振电路,像滤波器一样在特定频段上阻止电流在导体表面上的流动,因此高阻表面可以抑制导体表面传播的表面波,这就是高阻表面产生高阻的电磁原理,这个特定的频段也就是高阻表面的带隙。其等效电路如图2所示。

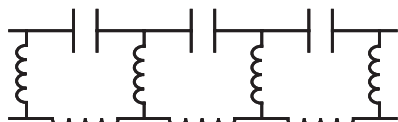


图2 高阻表面的等效电路

有了高阻表面的等效电路模型,就可以对高阻表面进行设计。以下是一个设计实例。

C波段高阻表面结构设计为 $a=6\text{mm}$, $w=5.7\text{mm}$, $g=0.3\text{mm}$, $t=3\text{mm}$, $r=0.4\text{mm}$,

$\epsilon_r=3.5$ 。其中, t 为介质基板的厚度, ϵ_r 为基板的介电常数。

对C波段高阻表面结构进行制备。介质基板采用微波板材F4BK-2,金属贴片单元为正方形,采用传统的印刷电路板技术制作。金属化过孔位于金属贴片的中心,连接贴片和金属接地地面,如图3所示。

利用矢量网络分析仪、同轴电缆等微波仪器,测量出高阻表面的表面波传输特性。图3中的曲线即为表面波传输特性的测试结果,带隙出现在 $4.6\sim 5.6\text{GHz}$ 。

1.2 共形EBG结构

在HFSS软件中建立共形EBG的仿真模型,采用 1mm 厚、相对介电常数为 10.2 的微波基板,贴片宽度为 1.8mm ,缝隙宽度为 0.2mm ,对应谐振

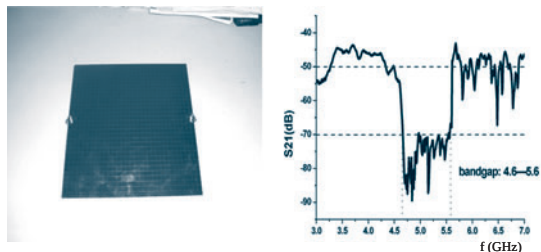


图3 C波段高阻表面的实物图及其带隙测试结果

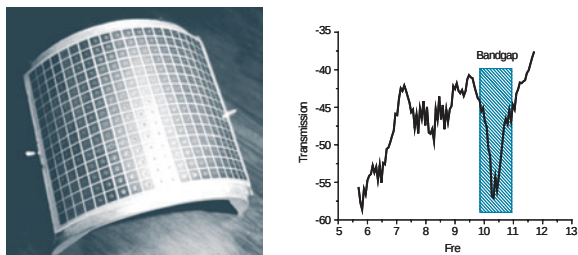


图4 共形EBG结构样品及带隙测试结果

表1 介电常数对曲面高阻表面型EBG结构带隙影响

介电常数	带隙范围 (GHz)	中心频率(GHz)	Δf (GHz)	带宽BW (%)
1.05	3.8~4.55	4.175	0.75	18.0
2.7	2.9~3.4	3.15	0.50	15.9
3.2	2.7~3.13	2.915	0.43	14.8
4.0	2.25~2.45	2.35	0.20	8.5

表2 介质厚度对曲面高阻表面型EBG结构带隙影响

介质厚度(mm)	带隙范围(GHz)	中心频率(GHz)	Δf (GHz)	带宽BW (%)
1.0	2.85~3.45	3.125	0.60	19.2
1.5	2.52~3.15	2.835	0.63	22.2
2.0	2.3~3.15	2.725	0.85	31.2

表3 曲率对曲面高阻表面型EBG结构带隙影响

曲率半径R(mm)	带隙范围(GHz)	中心频率(GHz)	Δf (GHz)	带宽BW (%)
平面	2.95~3.45	3.2	0.5	15.6
200	2.84~3.35	3.095	0.50	15.6
160	2.85~3.40	3.125	0.55	17.6
80	2.85~3.38	3.115	0.53	17.0
40	2.85~3.37	3.11	0.52	16.7

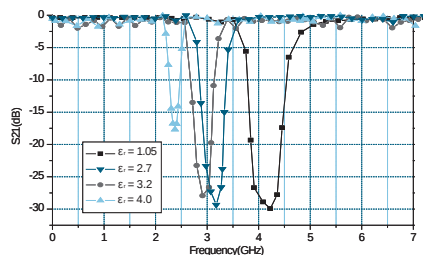


图5 介电常数对曲面高阻表面型EBG结构带隙影响

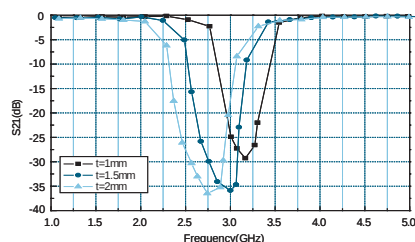


图6 介质厚度对曲面高阻表面型EBG结构带隙影响

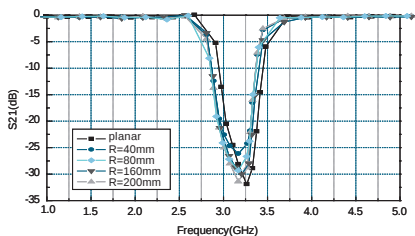


图7 曲率对曲面高阻表面型EBG结构带隙影响

率为10.8GHz,且为 15×6 大小的阵列,计算得出其传输系数曲线。由仿真结果可以得出,在X波段有一个明显的低接收区域,即对应着表面波带隙。在10.0~11.5GHz频带内,其传输系数低于-30dB。

实际制作了 20×15 大小的样品进行测试,样品照片及测试结果如图4所示。在9.9~11.4GHz范围内,其传输系数有一个陡降区域,传输系数远低

于-45dB。

1.3 参数变化对共形EBG带隙特性的影响

选择高阻表面参数为 $w=12\text{mm}$, $g=4\text{mm}$, $h=1\text{mm}$, $r=0.5\text{mm}$, $\epsilon_r=2.7$, $R=80\text{mm}$, $n=15$ 。其中, a 是EBG结构周期, r 是过孔半径, h 是介质厚度, ϵ_r 是介质介电常数, R 是曲面半径, w 是贴片宽度, g 是贴片缝隙, n 是周期数量。

(1) 介电常数对带隙的影响

对曲面高阻表面结构,观察介电常数分别为1.05、2.7、3.2、4.0时的带隙情况,微带线支撑介质介电常数为2.7。从图5和表1可以看到,介电常数的增大,使得带隙中心频率降低,带宽变窄,带隙变浅。

(2) 介质层厚度对带隙的影响

对曲面高阻表面结构,观察介质层厚度 h 分别为1mm、1.5mm、2mm时的带隙。从图6和表2中可看出,随着 h 的增大,带隙中心频率降低,但是带宽增大。

(3) 曲率半径对带隙的影响

对曲面高阻表面结构,选取曲率

半径 R 分别为40mm、80mm、160mm、200mm时的带隙与平面上的带隙进行比较,如图7和表3所示。从结果来看,带隙中心频率和带宽变化不大,曲面上中心频率稍有偏低。

由上述分析可以知道,EBG结构被弯曲之后,接地板附近电场比平面情况下更集中,相当于EBG结构的周期增加,从而中心频率有所降低。从仿真结果看,这种影响并不是很严重。相对于曲率变化对带隙的影响,介电常数与介质厚度对带隙的影响更为显著一些。

2 共形EBG天线阵列

在普通圆柱微带天线中引入EBG结构,使天线谐振频率落在EBG结构的带隙范围内,构成新的圆柱共形微带天线结构并对二元天线阵进行设计分析。

二元阵在曲面上有E面和H面两种排列方式。图8、图9分别是E面、H面二元阵的仿真模型和计算结果。

从结果中可以看出,E面排列方式下,两个天线的耦合较强,达到-12dB,

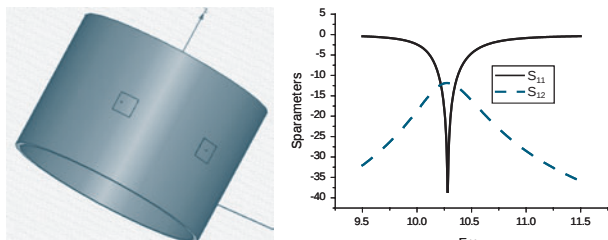


图8 共形二元阵仿真模型及结果,E面

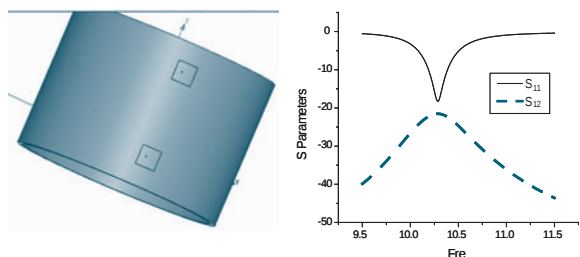


图9 共形二元阵仿真模型及结果,H面

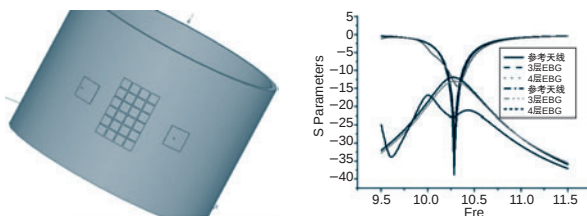


图10 EBG共形二元阵仿真模型及计算结果

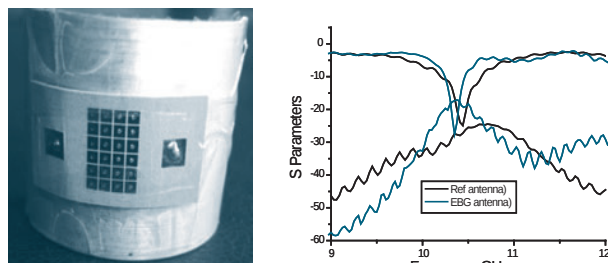


图11 EBG共形二元阵样品及测试结果

而H面排列方式下两个天线耦合则较弱。因此制备了E面排列二元阵的实验样品。基于上述设计的圆柱共形二元阵天线,在两个天线之间加上EBG结构,以提高隔离度。

EBG结构需要一定的周期数目才能起作用,由于两个天线单元之间的距离有限,所以必须确定足够起到隔离作用的周期。利用HFSS对不同周期数目的情况进行仿真,计算了中间3层和4层EBG结构时的耦合系数,仿真模型和结果见图10。在加了3层EBG结构时,天线间的耦合系数略有降低,而当增加到4层EBG结构时,天线间的耦合系数显著降低。所以天线单元间至少要加4层EBG结构。按照此要求制备实验样品,并且对其进行测试,样品照片及测试结果如图11所示。加了EBG之后,天

线的谐振频率略有升高,而耦合系数降低了9dB。因此可以说EBG结构抑制共形阵列间的互耦是非常有效的。

3 结论

通过对共形条件下电磁带隙结构的研究,并将其应用于共形天线阵列的设计,从具体的仿真结果中可以看到共形阵天线单元间的互耦得到了有效抑制。并且,在对实验样品的测量后得出,加载电磁带隙结构后,天线单元间的互耦下降了9dB以上。因此,利用电磁带隙结构对共形天线阵中的表面波进行抑制的方法是有效的。

AST

参考文献

- [1] E. Yablonovitch. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics. Phys. Rev. Lett, 1987, 58: 2059.
- [2] E. Yablonovitch. Photonic band-gap structures[J]. Journal of the Optical Society of America B, 1993, 10(2): 283–295.
- [3] E. Yablonovitch, T. J. Gmitter. Photonic band structure: the face-centered-cubic case. Phys. Rev. Lett, 1989, 63(18): 1950–1953.
- [4] Taesun Kim, Chulhum Seo. A novel photonic bandgap structure for low-pass filter of wide stopband[R]. IEEE Microwave Guided Wave Lett, 2000, 10(1): 13–15.
- [5] Ian Rumsey, Melinda Piket-May, P. Keith Kelly. Photonic bandgap structure used as filters in microstrip circuits[R]. IEEE Microwave Guided Wave Lett, 1998, 8 (10): 336–339.
- [6] Michael J. Hill, Richard W. Ziolkowski, John Papapolymerou. A high-Q reconfigurable planar EBG cavity resonator[R]. IEEE Microwave Wireless Compo. Lett, 2001, 6: 255–257.
- [7] Tae-yeoul Yun, Kai Chang. One-dimensional photonic bandgap resonators and varactor tuned resonators[R]. IEEE MTT-S Digest, 1999, 1629–1632.
- [8] V. Radisic, Y. Qian, T. Itoh. Broadband power amplifier using dielectric photonic bandgap structure[R]. IEEE Microwave Guided Wave Lett, 1998, 8(1): 13–14.

作者简介:

郭鹏斐, 硕士研究生, 主要研究方向为电磁场与微波技术。

付云起, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为微波与天线技术, 长期从事光子晶体天线的研究。