

文章编号: 1000-5013(2012)06-0627-03

宽带叠层矩形介质谐振器天线的设计与仿真

葛悦禾, 汤炜, 张海

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 应用宽带叠层贴片天线的设计原理,设计宽频带叠层矩形介质谐振器天线. 在矩形介质谐振器和金属地板之间插入空气缝隙或低介电常数的薄介质片,可有效降低介质谐振器的 Q 值,展宽介质谐振器天线的带宽. 所设计的矩形介质谐振器天线带宽达 59.4%,天线带内增益在 4.5~6.0 dBi 之间. 仿真和实验结果对比验证了该设计原理的正确性及有效性.

关键词: 介质谐振器; 介质谐振器天线; 叠层天线; 宽带天线; 矩形介质

中图分类号: TN 820.85 **文献标志码:** A

自 20 世纪 80 年代以来,介质谐振天线以其高辐射效率、低损失率、尺寸小、质量轻和结构简单等突出特性一直都是备受关注的领域. 随着研究的深入,其电气性能如带宽、极化和辐射特性等不断获得提高^[1]. 其中,展宽介质谐振天线带宽一直是一个重要的课题,目前已研究出许多技术实现这一目的,如将两个或多个介质谐振器叠加,可展宽天线的带宽^[2-4];将高介电常数的薄介质片插入介质谐振器和地面之间,可获得较好的阻抗匹配和带宽^[5];采用特殊形状的介质谐振器,如倒圆锥形、球形和圆柱形等,通过在其底面上开槽,均可获得较大的带宽^[1,6]. 但这种介质谐振器不易加工,尤其是当使用介电常数较高的、脆性的材料. 此外,介质谐振器和金属片的混合设计也可以获得较大的带宽^[7]. 本文通过理论、仿真和实验研究宽频带叠层矩形介质谐振器天线.

1 设计原理

整个叠层矩形介质谐振器天线由矩形介质谐振器、薄层介质片、金属地板和馈电探针构成,如图 1 所示. 图 1 中:介质谐振器和薄介质片材料介电常数分别为 ϵ_1 和 ϵ_2 ;尺寸分别为 $a' \times b' \times c$ 和 $a' \times b' \times d$. 为了降低介质谐振器的 Q 值,展宽天线的输入阻抗带宽,介电常数要满足 $\epsilon_1 > \epsilon_2$. 介质谐振器采用 Rogers TMM10,其介电常数为 9.2. 天线由金属探针底部 SMA 连接器探针馈电(图 1),探针伸入介质片和介质谐振器内,高度为 h ,探针的半径为 0.65 mm. 介质谐振器天线放置于尺寸为 200 mm×200 mm 的金属地板上. 矩形介质谐振器的谐振频率可以由介质波导模型(DWM)^[8]获得.

如果在矩形介质谐振器和金属地板之间没有空隙,应用镜像原理,则该矩形介质谐振器的等效尺寸为 $2c \times a \times b(2c > a > b$ 或 $a > 2c > b)$,其主模(TE_{y11}^*)的工作频率可由下式近似获得,即

$$\left. \begin{aligned} k_x &= \frac{\pi}{a}, & k_z &= \frac{\pi}{2c}, & k_y \tan(\frac{k_y b}{2}) &= \sqrt{(\epsilon_r - 1)k_0^2 - k_y^2}, \\ k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 &= \epsilon_r k_0^2. \end{aligned} \right\} \tag{1}$$

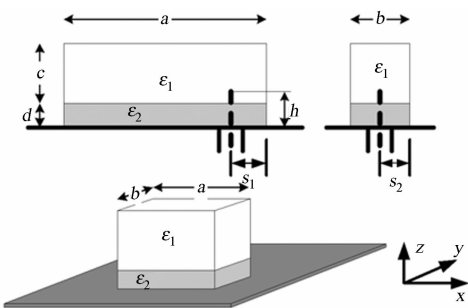


图 1 叠层矩形介质谐振器天线的结构
Fig.1 Structure of stacked rectangular dielectric resonator antennas

通常情况下,该工作模式呈现较窄的工作带宽.众所周知,贴片天线的带宽可以通过增加金属贴片和地面的距离来展宽.同理,在介质谐振器和金属地板之间加入一个空气缝隙或插入一个低介电常数的薄介质片,同样可有效降低介质谐振器的 Q 值,使主模和高次模工作在较宽的频带内.在一定的条件下,将主模和高次模的工作带宽互相重叠,以实现更大的工作带宽.

通过应用三维电磁仿真软件的仿真结果来验证这一推理.仿真中,在矩形介质谐振器和地面之间插入空气缝隙.介质谐振器天线的相关参数: $a=20\text{ mm}$, $b=12\text{ mm}$, $c=12\text{ mm}$, $\epsilon_1=9.2$, $\epsilon_2=1.0$.空气缝隙高度 d 作为变量,分别取值为 $0,1,3$ 和 5 mm .针对不同的参数值 d ,适当调整参数 h ,以获得最佳输入阻抗匹配带宽.

图 2 给出了仿真得到的输入反射系数 S_{11} .当 $d=0$ 时,由式(1)可得出主模的谐振频率是 3.98 GHz .在 DWM 模型中,矩形介质谐振器的 6 个边界设为理想磁壁;而在实际的介质谐振器天线中,由于介电常数和磁导率有限,无法满足理想磁壁的边界条件,即 $E \cdot n=0$ (介质谐振器边界的法向电场为零).因此,只能将其边界视为准磁壁,仿真的结果和式(1)的结果稍有误差.图 2 中: $d=0$ 时的主模谐振频率为 3.86 GHz ,与式(1)的结果相差 3% ,这个结果可以接受.仿真中,针对不同介电常数的矩形介质谐振器的主模谐振频率进行了研究,可知当 $\epsilon_1>8$ 时,仿真得到的主模谐振频率与式(1)的结果非常接近.

从图 2 中可以看出:随着参数 d 的变大,由 $|S_{11}|$ 小于 -10 dB 确定的天线输入阻抗带宽逐渐变宽.这是介质谐振器 Q 值变小的结果.通过对不同谐振频率下的介质谐振器内部的电场和磁场分布进行研究,发现工作模式主要是类 TE^y 模(或称准 TE^y 模),即类 TE_{111}^y 、类 TE_{211}^y 和类 TE_{112}^y 模.这是因为介质谐振器的边界为非理想磁壁,工作模式为以 TE^y 模占主导地位的混合模式.这种现象在高频高次模工作时尤其显著.

通过大量的仿真,叠层矩形介质谐振器天线可获得远较非叠层矩形介质谐振器天线大的工作带宽.实际设计时,介质材料确定后,可首先通过式(1)来确定设计参数 a, b 和 c 的值.介质谐振器主模的工作频率选为设计频带的下限,然后通过调整参数 d 和 h 及探针的位置来获得所需要的工作带宽.

2 设计实例和结果

叠层矩形介质谐振器天线的矩形介质谐振器和薄介质片的材料分别选为 Rogers TMM10 和 Duri-od 5880,其介电常数分别为 9.2 和 2.2 .根据上述步骤进行设计和优化,最终的天线参数: $a=8\text{ mm}$, $b=6\text{ mm}$, $c=6\text{ mm}$, $d=1.6\text{ mm}$, $s_1=2\text{ mm}$, $s_2=3\text{ mm}$, $h=3\text{ mm}$.金属地板的尺寸为 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}$,天线的总尺寸为 $8\text{ mm}\times 6\text{ mm}\times 7.6\text{ mm}$ ($0.21\lambda\times 0.16\lambda\times 0.2\lambda$, λ 为 8 GHz 的自由空间波长).这里选择的参数值 $d=1.6\text{ mm}$ 并不是优化的最佳结果,而是在优化结果和市场上最容易获得的介质板之间的一种折中选择.

针对设计好的天线进行加工和测试,其实测和仿真的输入反射系数如图 3 所示.由图 3 可知:实测结果和仿真结果的一致性很好.根据测试结果,天线的工作频率范围为 $7.76\sim 14.31\text{ GHz}$,带宽达到 59.4% .图 3 给出该介质谐振器在未加入薄介质片时的仿真输入反射系数,这时天线的工作频率范围为 $8.45\sim 9.3\text{ GHz}$,只

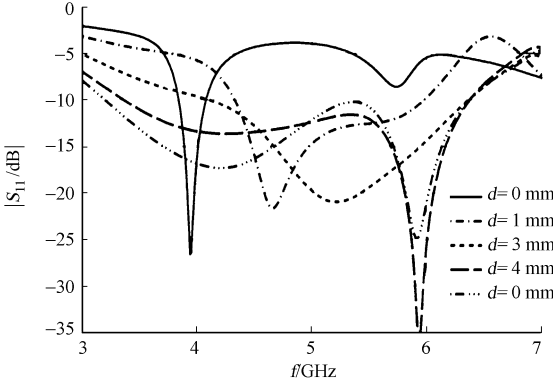


图 2 参数 d 变化时 $|S_{11}|$ 随频率变化的曲线
Fig. 2 Curves of $|S_{11}|$ vs frequency with the variation of parameter d

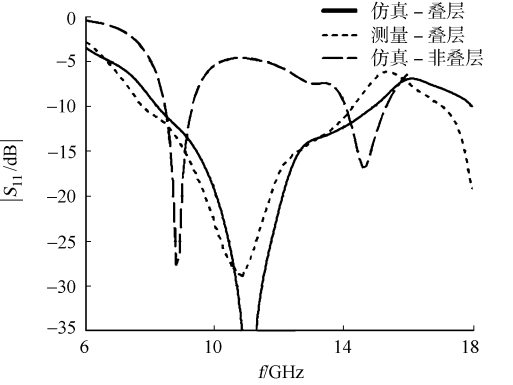


图 3 天线的输入反射系数
Fig. 3 Input reflection coefficient of antennas

有 9.6%。因此,加入低介电常数的薄介质片可以显著提高介质谐振器天线的工作带宽。天线在 8, 12 GHz 的 E 面和 H 面的方向图,如图 4 所示。图 4 中:两个频率的理论增益分别为 4.8,5.8 dBi。

3 结束语

将宽带叠层贴片天线设计原理应用于矩形介质谐振器天线,可以有效降低介质谐振器的 Q 值,大幅展宽介质谐振器天线的工作带宽。在设计中,激励探针的位置和长度是一个重要的调谐因素。基于上述原理,设计出了带宽达 59.4% 的矩形介质谐振器天线,天线带内增益在 4.5~6.0 dBi 之间。

参考文献:

[1] PETOSA A, ITTIPIBOON A, ANTAR Y, et al. Recent advances in dielectric-resonator antenna technology[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 1998, 40(3): 35-47.

[2] KISHK A A, AHN B, KAJFEZ D. Broadband stacked dielectric resonator antennas[J]. Electron Lett, 1989, 25(18): 1232-1233.

[3] SHUM S M, LUK K M. Stacked annular-ring dielectric resonator antenna excited by axi-symmetric coaxial probe [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1995, 43(8): 889-892.

[4] WALSH A G, YOUNG S D, LONG S A. An investigation of stacked and embedded cylindrical dielectric resonator antennas[J]. IEEE Antennas Wireless Propag Lett, 2006, 5(1): 130-133.

[5] PETOSA A, SIMONS N, SIUSHANSIANA R A, et al. Design and analysis of multisegment dielectric resonator antennas[J]. IEEE Trans Antennas Propag, 2000, 48(5): 738-742.

[6] KISHK A, YIN Y, GLISSON A W. Conical dielectric resonator antennas for wide-band applications[J]. IEEE Trans Antennas Propag, 2002, 50(4): 469-474.

[7] ESSELLE K P, BIRD T S. A hybrid-resonator antenna: Experimental results[J]. IEEE Trans Antennas Propag, 2005, 53(2): 870-871.

[8] MONGIA R K. Theoretical and experimental resonant frequencies of rectangular dielectric resonators[J]. Proc Inst Elect Eng, 1992, 139(1): 98-104.

Design and Simulation of Compact Broadband Stacked Rectangular Dielectric Resonator Antennas

GE Yue-he, TANG Wei, ZHANG Hai

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: The principle of broadband and stacked antenna is applied to the design of broadband, stacked, rectangular dielectric resonator antennas (DRAs). By inserting an air gap or a thin dielectric segment of lower dielectric constant between the rectangular dielectric resonator and the PEC ground, the quality factor of the dielectric resonator can be reduced effectively and the bandwidth of the antenna can be broadened. The rectangular DRA designed has a bandwidth of 59.4% and the gain of 4.5~6.0 dBi within the operating bandwidth. Experiments and simulations confirm the correctness and validation of the design principle.

Keywords: dielectric resonator; dielectric resonator antennas; stacked antennas; broadband antennas; rectangular core

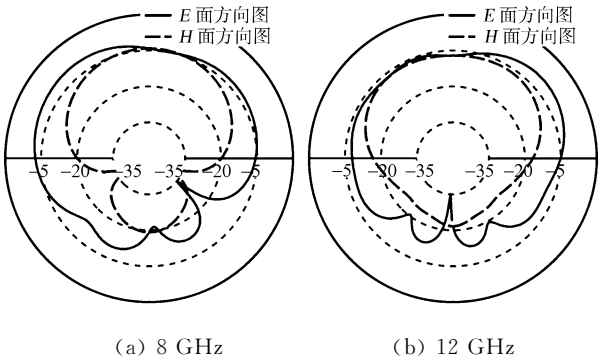


图 4 叠层介质谐振器天线方向图
Fig. 4 Antenna direction of stacked dielectric resonator