

超宽带小尺寸介质谐振器天线

曾小虎, 葛悦禾

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 研究一种工作于 3.1~10.6 GHz 频段的超宽带叠层介质谐振器天线. 将低介电常数薄介质片插入介质谐振器和金属地面之间, 可有效降低介质谐振器的 Q 值, 展宽天线带宽. 在介质谐振器下部切去 1 个小四面体, 产生 1 个空气缝隙, 进一步展宽天线带宽并提高阻抗匹配. 对空气缝隙尺寸进行优化, 使各个工作模式的频带相互重叠, 产生超宽带工作带宽. 在天线一侧短接金属壁, 减小天线总尺寸一半以上. 对设计的介质谐振器天线进行仿真实验, 结果表明: 试验和仿真结果一致性较好; 介质谐振器天线实现 4 : 1 的带宽(相对带宽约 118%), 带内增益为 4~8 dBi.

关键词: 介质谐振器天线; 介质谐振器; 叠层天线; 超宽带天线

中图分类号: TN 822 **文献标志码:** A

天线小型化和带宽展宽技术是天线设计的一个重要内容. 以往天线工程师为了减小天线尺寸, 不得不使用窄带天线. 随着无线系统性能的不断提高, 工程师们一直尝试设计具有小尺寸和宽带性能的天线, 而介质谐振器天线是一个较好的选择. 早在 1983 年, 介质谐振器就被用作辐射单元^[1]. 之前, 无负载的高 Q 值介质谐振器在微波电路中已经广泛运用. 介质谐振器的带宽、高辐射效率、极化方式和低剖面等性能都已得到深入研究^[2-6]. 使用高介电常数的介质谐振器可使天线小型化, 但会减小天线的带宽. 因此, 需要额外的技术来减小介质谐振器天线尺寸^[2,7-9]. 为了降低天线的复杂度和减小天线尺寸, 许多研究人员通过在介质谐振器和地面之间加入多层介质板来拓宽天线的带宽. 研究表明: 在介质谐振器底部和地面之间引入一层低介电常数介质板, 可有效辐射并提高带宽^[7,10]. 在前期设计的超宽带介质谐振器天线^[7]中, 超宽带范围内有多个频率点的驻波比超过 2, 使天线在这些频率点不能很好匹配. 本文运用新技术改进超宽带介质谐振器的阻抗匹配, 并进一步提高天线的超宽带带宽.

1 超宽带介质谐振器天线的设计

改进文献[7]的叠层超宽带介质谐振器天线, 进一步提高带宽和阻抗匹配. 文中设计的介质谐振器天线结构, 如图 1 所示. 图 1 中: a 为 12 mm; b 为 8 mm; $c+h_1$ 为 12 mm; d 为 3 mm; $h-d$ 为 1.9 mm; 空气缝隙的尺寸 g_d, g_h, h_1 , 以及与探针短接的正方形金属贴片的边长 s 为待定参数. 介质谐振器天线由

矩形介质谐振器和低介电常数的薄介质片以及金属地面组成. 介质谐振器和介质片堆叠在地面上方, 金属探针通过地面, 穿过介质片, 伸入介质谐振器进行馈电. 同时, 在介质谐振器下表面或者介质片上表面

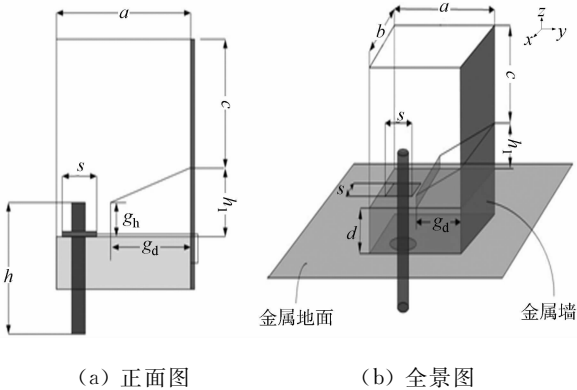


图 1 介质谐振器天线的结构

Fig. 1 Structure of the dielectric resonator antenna

探针位置处放置 1 个正方形的薄金属片,与探针短接.介质谐振器一侧的下部被切去 1 个四面体,当其安置在薄介质片上时,切去的部分成为空气间隙.在空气间隙一侧短接 1 个金属导体板,该导体板短接地面.

在介质谐振器和地面之间插入低介电常数薄介质片可使介质谐振器和地面隔离,从而提高天线的带宽,降低介质谐振器的 Q 值.在一侧放置短接地面的金属板,可以视为 1 个等效地面.根据镜像原理,介质谐振器天线的尺寸在某些工作模式下可以减小一半^[7].在薄介质片之间引入空气间隙,在介质片上表面加入与探针短接的金属片,不仅增加了天线带宽,还提高了天线带内的阻抗匹配.

对设计的介质谐振器天线进行仿真实验,仿真结果均出自商业软件 Ansoft HFSS.金属贴片和空气间隙对天线驻波比(VSWR)的影响,如图 2 所示.由图 2 可知:当不加金属贴片和空气间隙时,在 3~10.6 GHz 频带内,8,10 GHz 附近的阻抗匹配不好;当加金属贴片,不加空气间隙时,10 GHz 附近的阻抗匹配不好;当不加金属贴片,加空气间隙时,阻抗匹配性能可以接受,但由 $VSWR < 2$ 确定的带宽无法覆盖到 10.6 GHz;当加金属贴片和空气间隙时,在 3~11.5 GHz 范围内, $VSWR < 2$,且阻抗匹配好于上述 3 种情况.

仿真研究发现:当正方形贴片边长 s 为 3 mm 时,结果较好;当 s 在 3 mm 附近微小变化时,对带宽和阻抗匹配结果影响不大.因此, s 取 3 mm.当 g_h 为 1 mm, h_1 为 2 mm 时, g_d 对驻波比的影响,如图 3 所示.由图 3 可知:当 g_d 为 7~9 mm 时,天线的阻抗带宽均较好,且 g_d 越大,天线在高频匹配越好.当 g_d 为 7 mm, h_1 为 2 mm 时, g_h 对驻波比的影响,如图 4(a)所示.由图 4(a)可知:当 g_h 为 3 mm 时,天线高频段阻抗匹配较好;而取其他值时,天线在高频时匹配较差.当 g_d 为 7 mm, g_h 为 3 mm 时, h_1 对驻波比的影响,如图 4(b)所示.由图 4(b)可知:当 h_1 为 2 mm 时,天线频带内匹配性能较好.

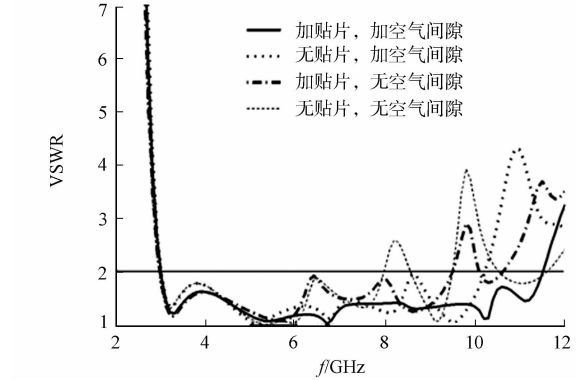


图 2 金属贴片和空气间隙对驻波比的影响
Fig. 2 Effects of the metallic patch and the air gap on the VSWR

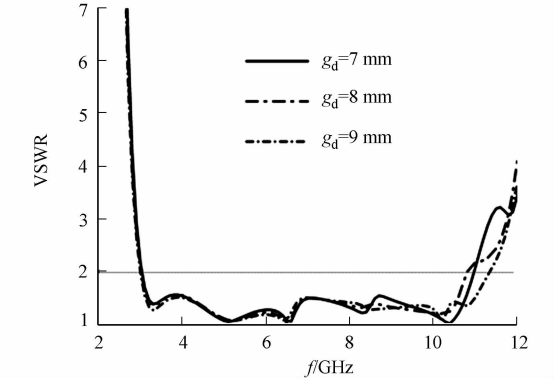
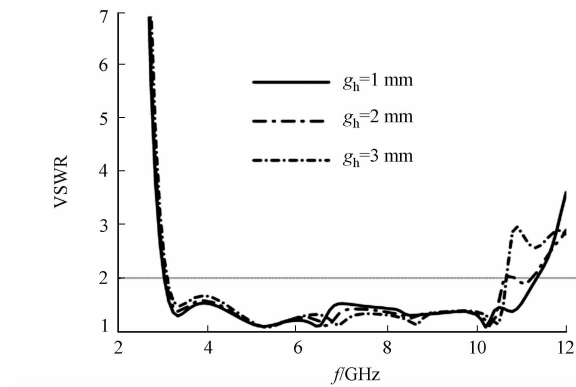
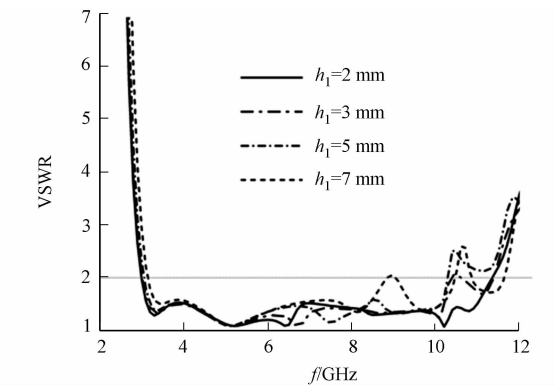


图 3 g_d 对驻波比的影响
Fig. 3 Effects of g_d on the VSWR



(a) g_h



(b) h_1

图 4 g_h, h_1 对驻波比的影响
Fig. 4 Effects of g_h and h_1 on the VSWR

2 设计实例和结果

由上文分析可得介质谐振器天线的最佳参数: a 为 12 mm; b 为 8 mm; c 为 12 mm; d 为 3 mm; h 为 5.2 mm; g_h 为 1 mm; g_d 为 7 mm, h_1 为 2 mm. 介质谐振器和薄介质片材料分别为 Rogers TMM10, Rogers Duroid 5880, 其介电常数分别为 9.2, 2.2. 天线地面选用厚度为 1 mm 的铝板, 尺寸为 100 mm \times 100 mm. 介质谐振器天线实物, 如图 5 所示. 天线的一面用铜箔短路到地面. 天线的阻抗匹配和辐射特性分别用 E5071C 型矢量网络分析仪(美国安捷伦科技有限公司)和近场测试系统(美国 NSI 公司)进行测试.

天线驻波比的测量值与仿真值, 如图 6 所示. 理论上驻波比小于 2 的带宽为 2.95~11.70 GHz, 相对带宽超过 118%. 在整个频段内测得的驻波比接近仿真值. 其中的误差来自于介质谐振器的加工误差. 由于 Rogers TMM10 是一种陶瓷材料, 较脆, 在加工空气缝隙和馈电探针的孔隙时存在较大的误差. 联邦通信委员会(FCC)超宽频范围内天线增益的测量值, 以及由商业软件 CST 得出的增益理论值, 如图 7 所示. 由图 7 可知: 在频带范围内, 增益测量值和仿真值都在 4~7 dBi.

实测的辐射方向, 如图 8 所示. 由图 8 可知: 在 XOZ 平面, 方向图在上述频率下有相似之处; 在 YOZ 平面, 随着频率的不同, 方向图有一些改变. 因为随着频率的扫描, 不同的谐振模式占据了主导地位. 显然, 最大功率辐射方向为上半球, 所以这种类型的天线可用于定向和全向无线通信设备类型.

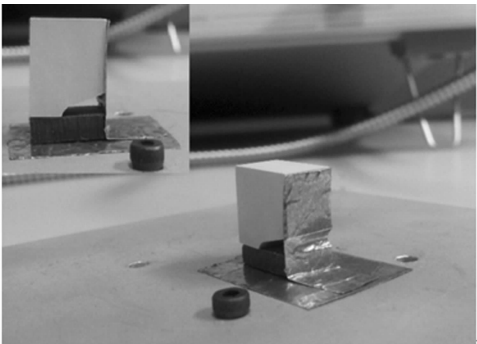


图 5 介质谐振器天线实物
Fig. 5 Prototype of the proposed dielectric resonator antenna

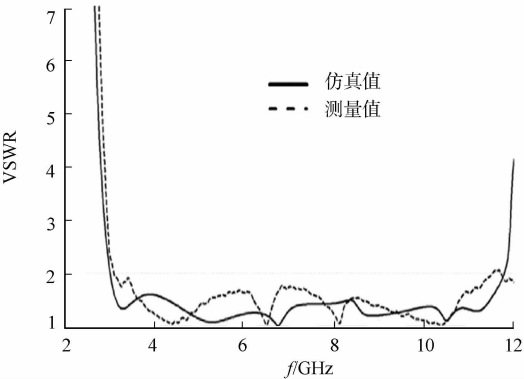


图 6 天线驻波比的仿真值和测量值
Fig. 6 Measured and simulated VSWR

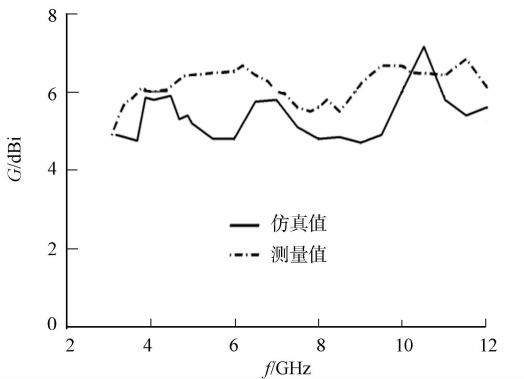


图 7 介质谐振器天线增益的仿真值和测量值
Fig. 7 Measured and simulated gain of the dielectric resonator antenna

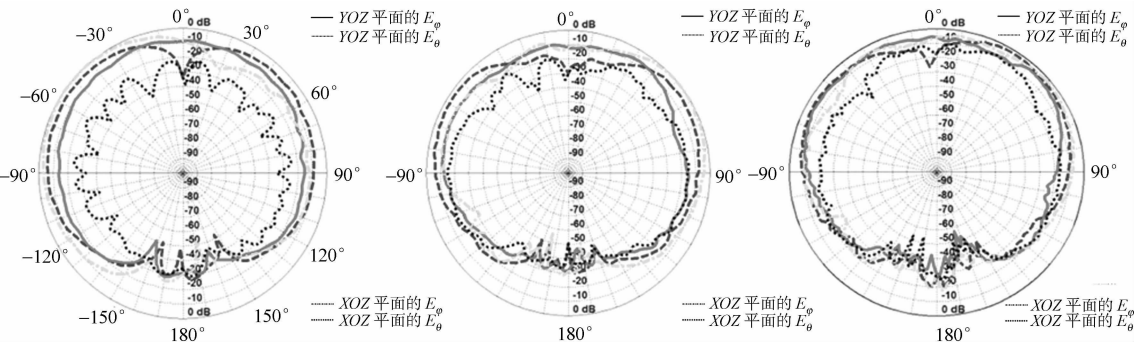


图 8 实测方向图
Fig. 8 Measured radiation patterns

3 结 束 语

加入低介电常数薄介质片,在介质谐振器内部引入空气间隙,增加介质谐振器天线的工作带宽.在天线一侧加入短接地面金属壁,减少一半以上的天线体积.通过适当的优化参数,介质谐振器天线具有超宽带、高增益和低交叉极化的法向辐射的特点.设计实例的实测带宽可覆盖完整的 FCC 频带,其 2 : 1 的驻波比带宽为 4 : 1(相对带宽约 118%).该天线具有较小的横截面尺寸 12 mm×8 mm($0.124\lambda_0\times 0.083\lambda_0$),高度为 15.0 mm($0.155\lambda_0$).

参考文献:

[1] LONG S,MCALLISTER M,SHEN L. The resonant cylindrical dielectric cavity antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation,1983,31(3):406-412.

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

[3] SHUM S M,LUK K M. Characteristics of dielectric ring resonator antenna with an air gap[J]. Electronics Letters, 1994,30(4):277-278.

[4] FAN Z,ANTAR Y M M,ITTIPIBOON A,et al. Parasitic coplanar three-element dielectric resonator antenna subarray[J]. Electronics Letters,1996,32(9):789-790.

[5] KISHK A A. Experimental study of broadband embedded dielectric resonator antennas excited by a narrow slot [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters,2005,22(4):79-81.

[6] PETOSA A. Dielectric resonator antenna handbook[M]. Boston:Artech House,2007:153-204.

[7] GE Yue-he,ESSELLE K P,BIRD T S. Compact dielectric resonator antennas with ultrawide 60%-110% bandwidth [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation,2011,59(9):3445-3448.

[8] MONGIA R K,ITTIPIBOON A,ANTAR Y M M,et al. A half-split cylindrical dielectric resonator antenna using slot-coupling[J]. IEEE Microwave and Guided Wave Letters,1993,3(2):38-39.

[9] KISHK A A. Wide-band truncated tetrahedron dielectric resonator antenna excited by a coaxial probe[J]. Transactions on Antennas and Propagation,2003,51(10):2913-2917.

[10] 葛悦禾,汤炜,张海. 宽带叠层矩形介质谐振器天线的设计与仿真[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2012,33(6): 627-629.

A Compact Ultra-Wideband Dielectric Resonator Antenna

ZENG Xiao-hu, GE Yue-he

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

Abstract: An ultra-wideband staked dielectric resonator antenna operating at 3.1-10.6 GHz band is studied. By inserting a low-permittivity thin dielectric sheet between the dielectric resonator and the ground, the *Q* factor of the dielectric resonator can be reduced effectively and broadening the antenna bandwidth. When cutting a small tetrahedron at the lower part of the dielectric resonator, an air gap is generated the bandwidth and the impedance matching of the antenna are enhanced. Through adjusting the dimensions of the air gap, multiple operating modes can be overlapped, resulting in an ultra-wide operating band. A shorting metal wall, based on the image theory, is placed on one side of the dielectric resonator, to reduce more than 50% of the antenna size without compromising the performance of the antenna. By simulating and testing to the dielectric resonator antenna, the result shows: the proposed dielectric resonator antenna achieves 4 : 1 a bandwidth (up to 118%) and the gain of 4-8 dBi over the bandwidth.

Keywords: dielectric resonator antenna; dielectric resonator; staked antennas; ultra wideband antennas

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 吴逢铁)