



一种新型的低剖面定向 45°线极化水天线

摘要

本文提出了一款具有高前后比的 45°线极化水天线.天线利用电偶极子作为馈电结构,实现了边射的辐射特性.通过减小电偶极子与地板之间的距离,能量被束缚在电偶极子与地板之间,减少了水介质损耗所引起的能量.天线的反射系数在 828~873 MHz 频段内小于-10 dB.在整个工作频段内,天线的增益在 7.73 dBi 左右,辐射效率达到了 70% 以上.

关键词

水天线;偶极子;定向;低剖面

中图分类号 TN820

文献标志码 A

0 引言

近年来,液体材料因其流动性、高透明性、高介电常数等固有特性备受微波界的关注.大多数的传统天线都是基于固体材料进行信号传递的,而液体天线的出现为新型天线的设计提供了新的研究方向.液体天线是指利用液体材料替代传统固体天线中的固体材料,以液体材料作为辐射媒介进行信号的发射和接收.从狭义上可以将液体天线分为三大类:导电天线(高导电率)、介质谐振器天线(低导电率)和介质贴片天线(高介电常数).作为液体材料中的特殊材料,水是备受研究者关注的材料之一.液体水比较容易获取,同时又无毒无害、价格低廉,还具有高介电常数特性^[1],因此,水有望应用于未来的移动设备和基站通信中.

目前,不少学者相继在文献中提出多种水天线结构,如海水单极子天线^[2]、水介质谐振器天线^[3]、水介质贴片天线^[4].文献[2]通过在水与地板之间插入一个低介电常数的介质层,天线的效率可以大幅度地改善;除此之外,通过在馈电探针顶端加载一个铝盘,有效地激励了天线的 TM 模式.文献[3]展示了一个频率可调的圆极化水天线,通过调谐水的高度实现频率可调;此外,引入宽带的馈电结构,从而实现了在宽频段范围内的频率可调.但是,相对于金属来说,海水的导电率较低,导致表面电阻较大,同样,蒸馏水在 1 GHz 以上的频段,介质损耗较大,因此,当利用高介电损耗的介质材料设计介质谐振器天线以及利用低导电率的盐水作为导电天线的材料时,天线的效率相对较低.文献[4]通过引入类似电壁的边界条件,提出了一种高效率的水介质贴片.

在基站通信系统中,印刷对称振子是基站天线设计中常用的辐射单元.人们相继提出了不少单向天线^[5-6],为了实现单向辐射特性或者获得更高的增益,利用金属板作为天线的反射器.由于金属地板的镜像作用,大多数的偶极子天线距地板之间的距离为 1/4 空间波长,入射波与反射波之间的 180°相位差不利于低剖面的偶极子天线设计.为了实现低剖面的定向天线,本文提出了将电偶极子作为蒸馏水介质谐振器的馈电结构,近距离的电偶极子与地板之间的高 Q 值特性降低了蒸馏水介质损耗的能量占总能量的比值,从而实现高辐射特性.

收稿日期 2018-11-21

资助项目 浙江省自然科学基金(LQ19F010010);东南大学毫米波国家重点实验室开放课题(K201913)

作者简介

陈科明,男,博士,副教授,研究方向为无线通信技术.keming@hdu.edu.cn

钱雅惠(通信作者),女,博士,讲师,研究方向为液体天线.yhqian@hdu.edu.cn

1 杭州电子科技大学 电子信息学院,杭州,310018

2 东南大学 毫米波国家重点实验室,南京,210096

1 天线设计

本文所提出的定向水天线结构如图1所示.电偶极子印刷在相对介电常数为2.55、厚度为0.8 mm的介质板上,在偶极子的中间位置利用SMA头进行馈电.一个对称振子印刷在相对介电常数为2.55、厚度为0.8 mm的介质板上.对称振子用SMA头连接馈电,因为由平衡结构到不平衡结构的转换,在SMA头的外导体上会有很大的回流.为了避免回流,将对称振子的两枝节分别印刷在介质板的上下两层,再用双线为对称振子馈电.对称振子水平地放置在金属地板上方和蒸馏水的下方,其长度和宽度分别为 L 和 W .在对称振子的上方放置了一个亚克力塑料制作的长方体容器,其相对介电常数在2.7到3之间,厚度为 t .液态蒸馏水放置在长方体容器中,蒸馏水的尺寸为 $L_{\text{water}} \times W_{\text{water}} \times h_{\text{water}}$.在盛水容器上方挖个注水孔,用来注水和抽水.为了产生45°的线极化辐射,蒸馏水、介质板、对称振子以及盛水容器都旋转45°.地板用来产生定向辐射,其尺寸为 $L_g \times W_g$.介质板的下层与地板之间的距离为 h_1 ,介质板上层距盛水容器的距离为 h_2 .

常温下,在600~1500 MHz的频段内,蒸馏水的相对介电常数在78左右,介质损耗角正切值约为0.04,所以蒸馏水可以作为一种高介电常数的介质材料,但是高介质损耗角在某种程度上降低了天线的辐射效率,从而限制了蒸馏水在介质谐振器天线中的应用.为了降低蒸馏水对辐射效率的影响,本文使蒸馏水中的场能量减弱,而使大部分的电场能量聚集在低介质损耗的介质中,从而减小由水介质损耗引起的辐射损耗.

当偶极子距金属地板之间的距离相对于工作波长较小时,偶极子与金属地板构成的结构可以等效成一个上下为电壁、四周为磁壁的漏波空腔.由于腔

体的高 Q 值特性,电场能量主要集中在地板与偶极子之间,此时,偶极子与地板之间有很强的耦合.所以用靠近地板的偶极子去馈电蒸馏水介质谐振器时,水中的电场能量较少,这样由水引起的损耗能量就较低.图2给出了天线在谐振频点处的电场分布.由图2可以看出,蒸馏水中的电场相对于水与地板之间的空气中的电场较弱.

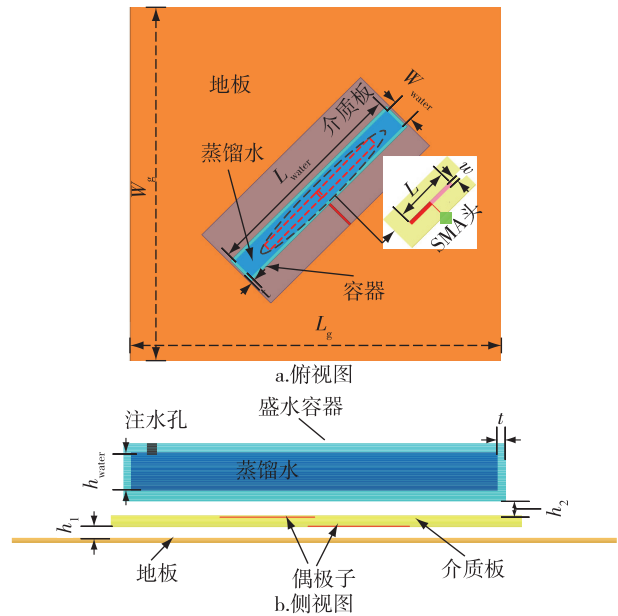


图1 定向水天线的结构

Fig. 1 Configuration of the directional water antenna

为了了解天线的各尺寸对天线性能的影响,对天线的几个主要参数进行分析.当其中的一个参数改变时,其他参数都保持不变.图3给出了天线在不同的空气层高度时的反射系数曲线,可以看出,当空气层的高度越高时,天线的谐振频率越低.由于金属地板引入了电壁的边界条件,而蒸馏水的上表面与空气的交界面引入非理想的磁壁边界条件,为了同

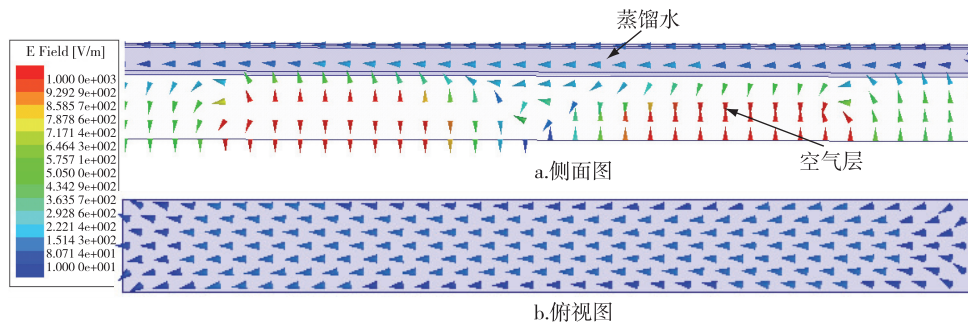


图2 天线在工作频点处的电场分布

Fig. 2 Simulated electric field distribution of the proposed antenna

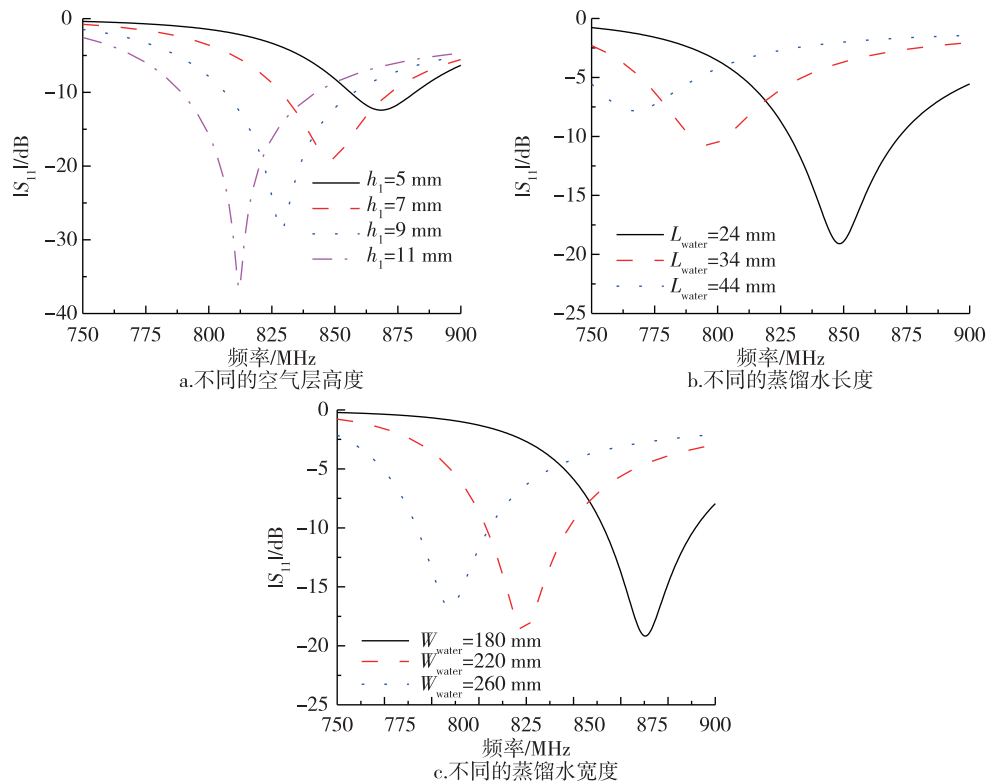


图3 定向水天线的各参数对定向水天线的反射系数的影响

Fig. 3 Simulated reflection coefficients with the different parameters of the proposed antenna

时满足这两个边界条件,混合介质谐振器的高度应该近似为 $1/4$ 波长,因此混合介质谐振器的高度越高,谐振频率越往低频移动.图4展示了天线在不同的蒸馏水长度下的反射系数,可以看出,水的长度越长,天线的谐振频率越低,同样的现象也出现在图5中.这主要是因为混合介质谐振器的谐振频率和谐振器的三维尺寸都有关系,随着尺寸的增加,天线的谐振频率往低频移动.

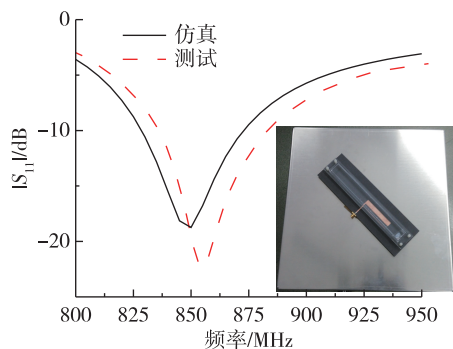


图4 天线的仿真与测试反射系数曲线

Fig. 4 The simulated and measured reflection coefficients

通过三维仿真软件 HFSS 优化天线的各个参数,最终得到的优化参数值分别是: $L_{\text{water}} = 220$ mm,

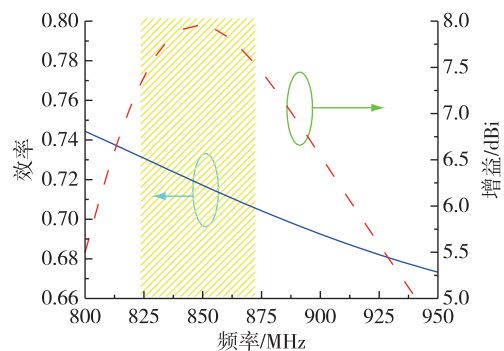


图5 定向水天线的效率和增益曲线

Fig. 5 Simulated radiation efficiency and realized peak gain of the proposed antenna

$W_{\text{water}} = 24$ mm, $h_{\text{water}} = 7$ mm, $h_1 = 7$ mm, $h_2 = 6$ mm, $t = 3$ mm, $L = 148$ mm, $W = 10$ mm, $L_g = W_g = 380$ mm.天线的整体高度为 26 mm,近似为 $0.077\lambda_0$,因此该天线可以认为是一种低剖面天线.

2 天线特性

图4给出了天线的仿真与测试反射系数曲线.由图4可知,天线的谐振频率在 850 MHz,该天线能够在 828~873 MHz 的频段内满足 $|S_{11}| < -10$ dB.图5

展示了天线在工作频段内的辐射效率和增益.从图5中可以看出,天线在整个工作频段内的辐射效率在70%以上,这说明蒸馏水定向天线在工作频段内都是一个有效的辐射体.从图5中的增益曲线可以看出,天线在整个工作频段内保持稳定的增益,天线的增益在 7.73 ± 0.22 dBi 范围内.图6给出了天线在850 MHz 频率处的水平面和垂直面的归一化仿真辐射方向图.从图6中可以看出,天线水平面和垂直面具有相似的辐射模式,这是因为天线单元沿着45°方向分布.天线在水平面和垂直面的交叉极化分量都低于-20 dB.从图7的前后比曲线中可以看出,天线在整个工作频段内的前后比都在21 dB 以上.由于天线的定向性,天线的增益比一般的矩形介质谐振器的基模增益要高.图8给出了天线在水平面和垂直面的仿真半功率波束宽度.水平面波束宽度保持在 $62.4^\circ \pm 0.2^\circ$ 范围内,垂直面波束宽度保持在 $62.25^\circ \pm 0.25^\circ$ 范围内.

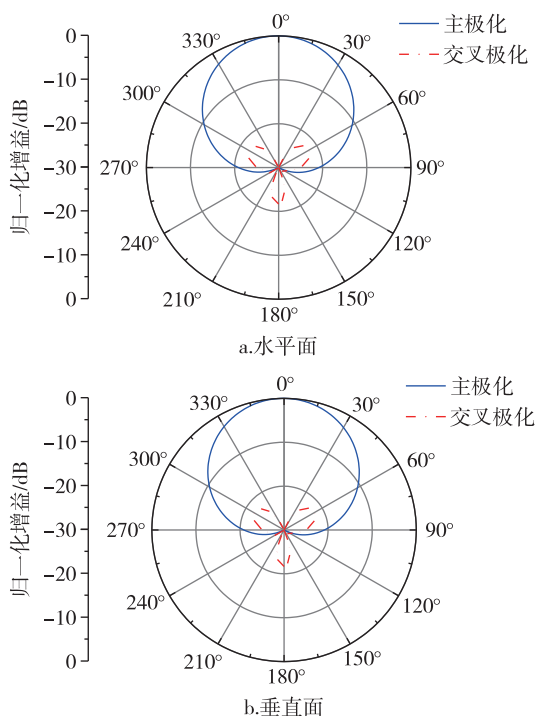


图6 定向水天线的归一化仿真辐射方向图
Fig. 6 Simulated normalized radiation pattern proposed antenna

3 结束语

本文提出了一款低剖面的水介质谐振器天线,利用近地板的水平偶极子对水介质谐振器进行馈电,实现了高增益的单向辐射特性.该天线结构简

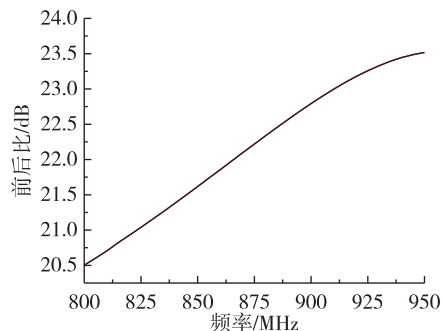


图7 定向水天线的前后比
Fig. 7 Simulated FBR of the proposed antenna

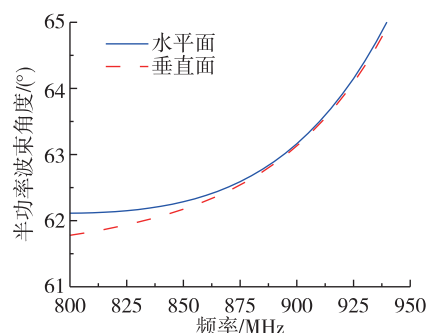


图8 定向水天线水平面和垂直面的半功率波束宽度
Fig. 8 The half-power beam with of the E plane H plane

单,方向图稳定,适用于具有定向辐射要求的无线通信系统.

参考文献

References

- [1] Zou M, Hu Z, Hua C, et al. Liquid antennas [M] // Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering. John Wiley & Sons, Inc, 2016: 1-23
- [2] Hua C Z, Shen Z X, Lu J. High-efficiency sea-water monopole antenna for maritime wireless communications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(12): 5968-5973
- [3] Zou M, Shen Z X, Pan J. Frequency-reconfigurable water antenna of circular polarization [J]. Applied Physics Letters, 2016, 108(1): 014102-014105
- [4] Li Y J, Luk K M. A water dense dielectric patch antenna [J]. IEEE Access, 2015, 3: 274-280
- [5] Ge L, Luk K M. A wideband magneto-electric dipole antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(11): 4987-4991
- [6] Zhang Z Y, Zuo S L, Zhao J Y. Wideband folded bowtie antenna with Γ -shaped strip feed and tuning stubs [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2013, 55(9): 2145-2149
- [7] Ge L, Luk K M. A low-profile magneto-electric dipole an-

tenna[J].IEEE Transactions on Antennas and Propaga-

tion,2012,60(4):1684-1689

A low-profile linearly polarized water antenna inclined at 45 degrees

CHEN Keming¹ QIAN Yahui^{1,2} LUO Guoqing¹

1 School of electronic and information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018

2 State Key Laboratory of Millimeter Waves, Southeast University Nanjing 210096

Abstract A novel linearly polarized water antenna inclined at 45 degrees with a high front-to-back ratio (FBR) is proposed. The broadside radiation pattern is realized by using a dipole to feed the structure. The dipole is placed near the ground surface to force the energy to the nearest field, reducing the energy loss caused by the distilled water. The results show that an impedance bandwidth from 823 to 873 MHz for $|S_{11}| < -10$ dB with a gain of approximately 7.73 dBi and a high radiation efficiency (better than 70% through the whole operating band) are obtained.

Key words water antenna; dipole; unidirectional; low profile