

文章编号: 2095-4980(2021)02-0271-04

一种宽带水平全向平面天线设计

李佳阳, 陈 星

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 为提高水平全向天线的带宽, 设计了一种宽带水平全向平面天线。该天线由 4 只弧形偶极子天线组阵构成一个圆环, 每只偶极子天线振子交错印刷在印制板的上下表面。将 4 只弧形偶极子远场方向图叠加组合为水平全向辐射方向图; 在每只偶极子振子上开缝并在印制板边缘加载寄生贴片, 增加天线的带宽。设计和加工制作一只天线样品, 测试结果表明, 该天线能够在 2~3.71 GHz 实现 $|S_{11}| < 10$ dB, 相对带宽达到 60%, 水平全向平均增益约为 1.36 dBi, 不圆度小于 ± 1.5 dB, 测试与仿真结果吻合良好。

关键词: 水平极化; 全向天线; 宽带

中图分类号: TN821⁺.1

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2020708

Design of a horizontally omnidirectional wide-band antenna

LI Jiayang, CHEN Xing

(School of Electronic and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

Abstract: In order to increase the bandwidth of the horizontal omnidirectional antenna, a new type of wide-band horizontal polarization omnidirectional antenna is designed. The antenna consists of an array of four arc-shaped dipole antennas forming a ring, and each dipole antenna is printed on the upper and lower surfaces of the Printed Circuit Board (PCB). The radiation fields of the four arc-shaped dipole antennas add together and compose a horizontal omnidirectional pattern in the far field. By slitting each dipole element and loading parasitic patches on the edge of the printed board, the bandwidth of the antenna is increased. An antenna sample is designed and manufactured. The measured results show that the antenna can achieve $|S_{11}| < 10$ dB in 2–3.71 GHz, the relative bandwidth is 60%, the mean gain of its horizontal omnidirectional is about 1.36 dBi, and the non-roundness of its horizontal omnidirectional pattern is less than ± 1.5 dB. The test results are in good agreement with the simulation results.

Keywords: horizontal polarization; omnidirectional antenna; wide-band

近年来, 水平极化全向天线广泛用于无线通信系统中。常见的水平极化全向天线有 Alford 环形天线^[1]及其衍生物^[2-4], 开缝圆柱天线^[5-7]和组合环天线^[8]等。其中, 文献[3]中的 Alford 环形天线采用印刷在介质板上下两面的“Z”型贴片, 这种“Z”型贴片天线的顶部和底部组合形成了近似方形的环路电流分布, 从而实现水平极化全向辐射。但天线的工作带宽很窄, 只有 3.4%。开缝圆柱天线是将一开缝导体片弯成圆柱面, 其电流主要趋于绕圆柱呈水平环线流动, 在圆柱足够小时, 该切割有铅垂缝隙的圆柱将辐射水平极化的场, 但该类天线为立体结构, 天线剖面高度较高。组合环天线通过将多个辐射单元并联于同轴线上, 模仿均匀电流环, 使组合环天线上的电流近似均匀的环电流, 在水平面内的方向辐射最大, 实现水平极化的全向辐射。

本文设计了一种具有水平极化特性的平面组合环天线, 将 4 只弧形开缝偶极子组阵, 每只偶极子上下交错印刷在介质板上, 在各个天线臂上加载弧形寄生贴片, 增加了天线的带宽, 同时利用天线中心的圆片与天线馈线组成巴伦结构实现阻抗匹配, 馈电结构简单。

收稿日期: 2020-12-17; 修回日期: 2021-01-31

基金项目: 四川省重点研发项目资助(2019YFG0404)

作者简介: 李佳阳(1996-), 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为电磁场与微波技术。email:1741922341@qq.com

1 天线结构

图 1(a)为宽带水平全向天线结构。该天线主要由 4 只弧形偶极子组成, 4 只弧形偶极子交错印刷在介质板的上下两面(图 1 深蓝色部分为天线正面的偶极子, 橙色部分为天线背面的偶极子); 偶极子外围绿色扇形部分为寄生贴片, 通过在每只偶极子振子上开缝和在印制板边缘加载扇形寄生贴片, 增加了天线的带宽。介质板采用 Rogers 5880, 相对介电常数为 2.2, 损耗角正切为 0.009, 介质板的厚度 $h=1$ mm。天线采用 50Ω 的同轴馈线进行馈电, 为了调整电路的阻抗匹配, 在天线的中心处采用了 2 个圆片, 见图 1(b)。圆片和馈线 L_1 组成了一个巴伦结构, 实现同轴馈线和天线之间的不平衡到平衡的转换。采用电磁仿真软件对天线结构参数进行优化, 其优化后的尺寸见表 1。

表 1 天线结构参数

Table 1 Structural parameters of the proposed antenna					
L_4 /mm	B /°	W /mm	L_2 /mm	R_1 /mm	L_1 /mm
15	43	2	19.27	43	23.87

2 天线设计原理及参数分析

2.1 天线的设计原理

采用平面印刷偶极子作为辐射单元, 它由位于介质板正反两面的扇形单极子组成, 偶极子单臂的臂长为对应波长的 $1/4$, 即采用半波偶极子进行设计, 其臂长

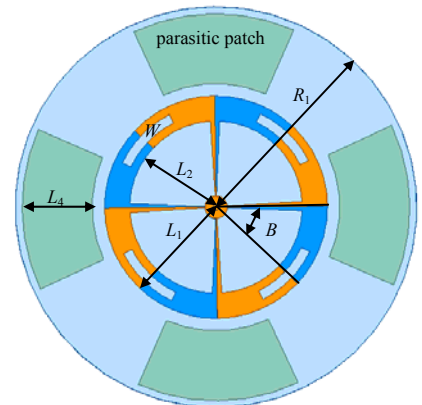
$$L = \frac{1}{4} \lambda \epsilon_c^{-\frac{1}{2}} \tag{1}$$

式中: λ 为自由空间波长; $\epsilon_c = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{1 + \frac{10h}{W}}$ 为等效相对介电常数, 其数值介于空气介电常数和介质板介电常数之间^[9], ϵ_r 为相对介电常数, h 为介质板厚度, W 为偶极子开缝宽度。根据式(1)设置半波偶极子的大小, 得出半波偶极子的大小为: $L_1=23.87$ mm, $L_2=4.6$ mm, $W=2$ mm。弧形偶极子的振子采用开缝形式, 增加了电流流动路径和天线的阻抗带宽。

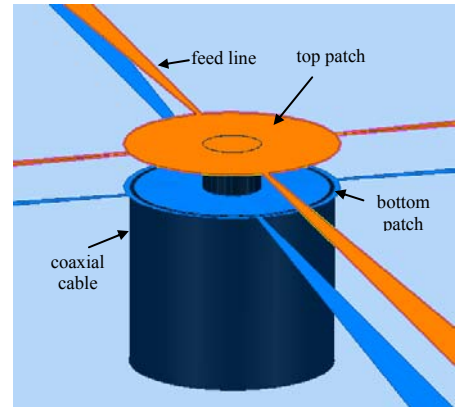
图 2 中当天线被激励时, 可以看到天线中心处 2 个圆片之间的准横电磁波被导入到半波偶极子天线单元上, 由于介质板上下两面馈线上的电流方向相反, 开缝弧形偶极子上的电流沿着顺时针或逆时针同向流动, 使天线产生了全向辐射。

2.2 天线参数分析

图 3(a)为无加载寄生扇形贴片和加载后的天线 $|S_{11}|$ 的对比, 通过在辐射单元外围加载环形寄生贴片后, 偶极子天线单元上的电流被耦合至加载寄生贴片上, 从而增加了电流流动的路径, 天线的相对带宽可以从 18%提高到 60%。图 3(b)为天线 $|S_{11}|$ 随 L_4 (加载寄生贴片的宽度)变化的对比情况, 当 $L_4=15$ mm 时, 天线得到了最大的阻抗带宽。图 3(c)为其余结构参数均保持不变, 天线结构参数 B (每只振子弯折弧度)变化时, 天线端口 $|S_{11}|$ 的对比情况, 从图 3(c)中可以看出, 当振子弯折的弧度 $B=43^\circ$ 时, 天线得到了最大的阻抗带宽。从图 3(d)可以看出, 当其余结构参数均保持不变时, $|S_{11}|$ 随结构参数 W (天线振子开缝宽度)的变化情况, 当 $W=2$ mm 时, 天线得到了最大的阻抗带宽。



(a) geometry of the proposed antenna



(b) geometry of antenna feed structure

Fig. 1 Top view of antenna structure
图 1 天线结构俯视图

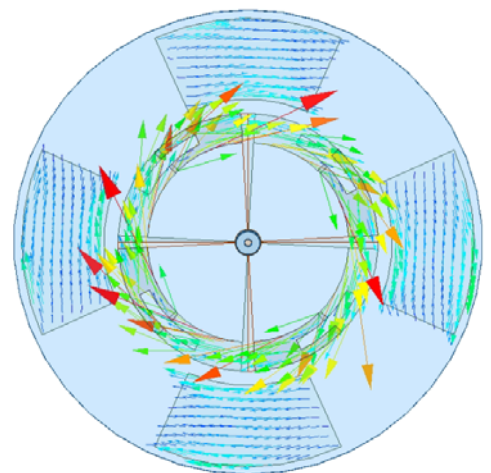


Fig. 2 Current distribution on the antenna surface
图 2 天线表面电流分布图

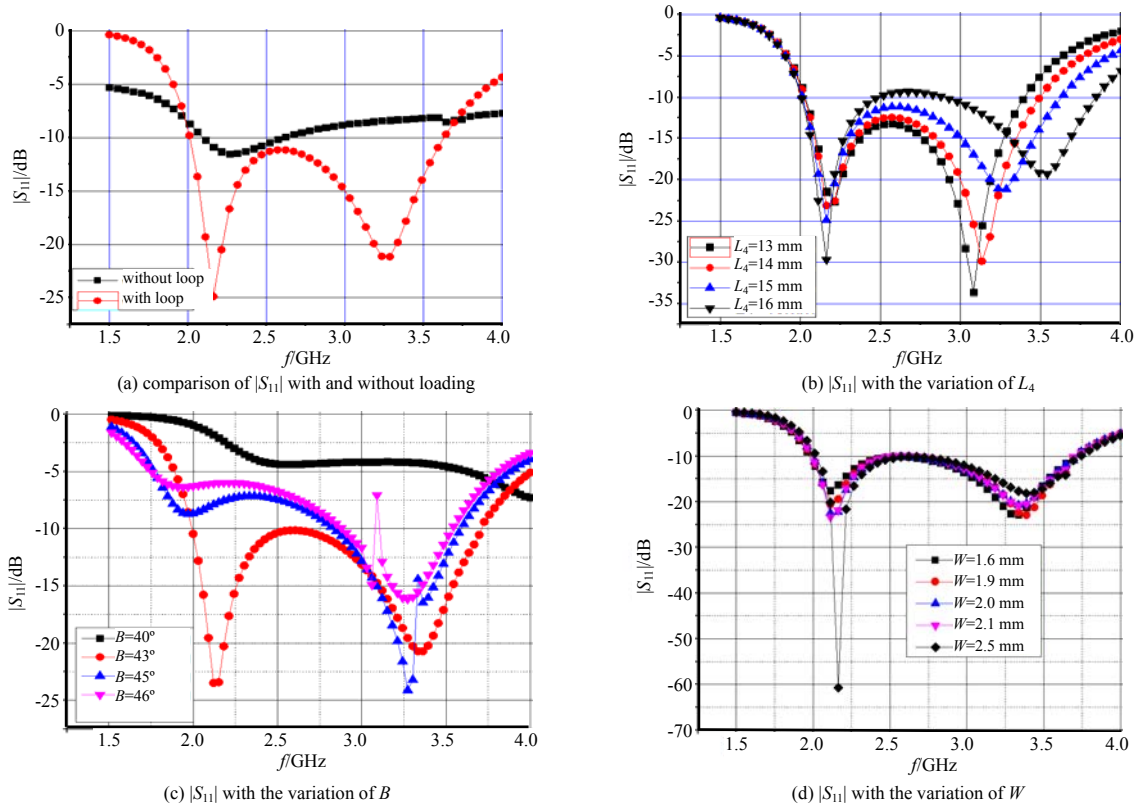


Fig.3 Influence of different structure parameters on $|S_{11}|$

图 3 不同结构参数对 $|S_{11}|$ 曲线的影响

3 天线仿真与测试对比

为验证设计的准确性，对设计结果进行加工和测试，加工模型见图 4。图 5 为宽带水平全向天线测试与仿真的 $|S_{11}|$ 对比结果，可以看到，该天线在 2~3.71 GHz 的 $|S_{11}| \leq -10$ dB，相对带宽达到 60%，天线测试结果与仿真结果吻合良好。



(a) front of the antenna (b) side of the antenna

Fig.4 Photo of the proposed antenna

图 4 加工实物图

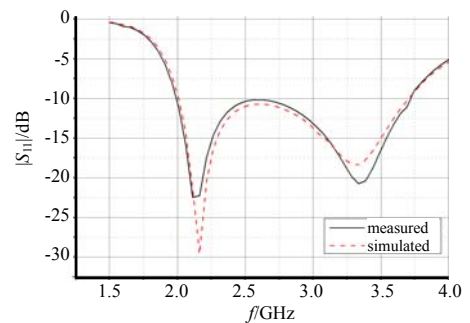


Fig.5 Simulated and measured $|S_{11}|$

图 5 仿真与实测 $|S_{11}|$ 对比

图 6 和图 7 分别为该平面偶极子天线在 2 GHz, 2.85 GHz 和 3.71 GHz 这三个频点的仿真和测试方向图。该天线在水平面呈现良好的水平全向辐射特性，天线的水平面方向图不圆度小于 1.5 dB，具有良好的水平全向辐射特性，仿真与测试的方向图吻合良好。

4 结论

本文设计了一种宽带水平全向平面天线。该天线由 4 只弧形偶极子天线组阵构成一个圆环，每只偶极子天线振子交错印刷在印制板的上下表面。将 4 只弧形偶极子远场方向图叠加组合为水平全向辐射方向图，在每只偶极子振子上开缝并在印制板边缘加载寄生贴片，增加了天线的带宽。利用巴伦馈电实现同轴馈线和天线之间的

不平衡到平衡的转换, 馈电结构简单。天线样品的测试与仿真结果吻合良好, 在 2~3.71 GHz 的 $|S_{11}| \leq 10$ dB, 水平全向平均增益约为 1.36 dBi, 水平全向方向图不圆度为 ± 1.5 dB 以内, 呈现了良好的水平全向特性。

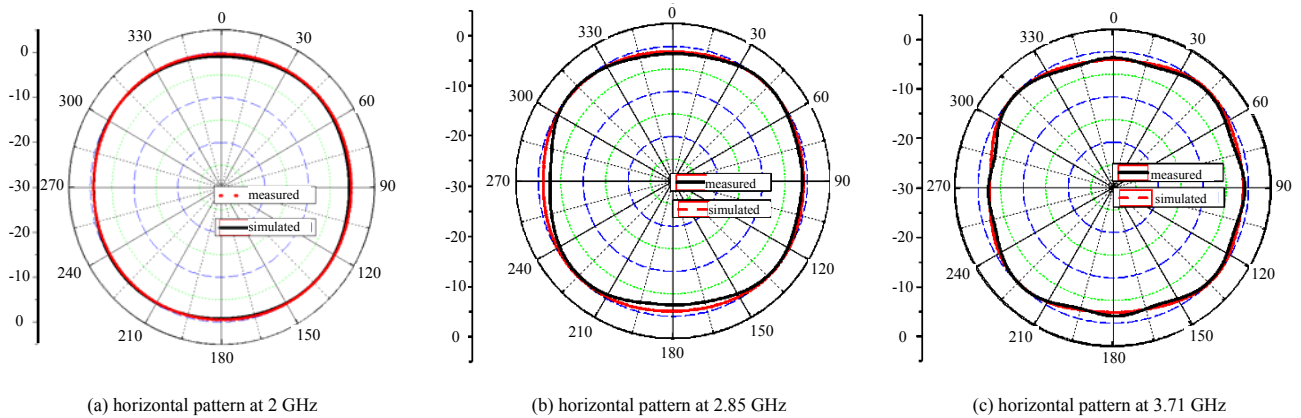


Fig.6 Horizontal patterns at 2 GHz,2.85 GHz,3.71 GHz
图 6 2 GHz,2.85 GHz,3.71 GHz 处水平面(XOY)方向图

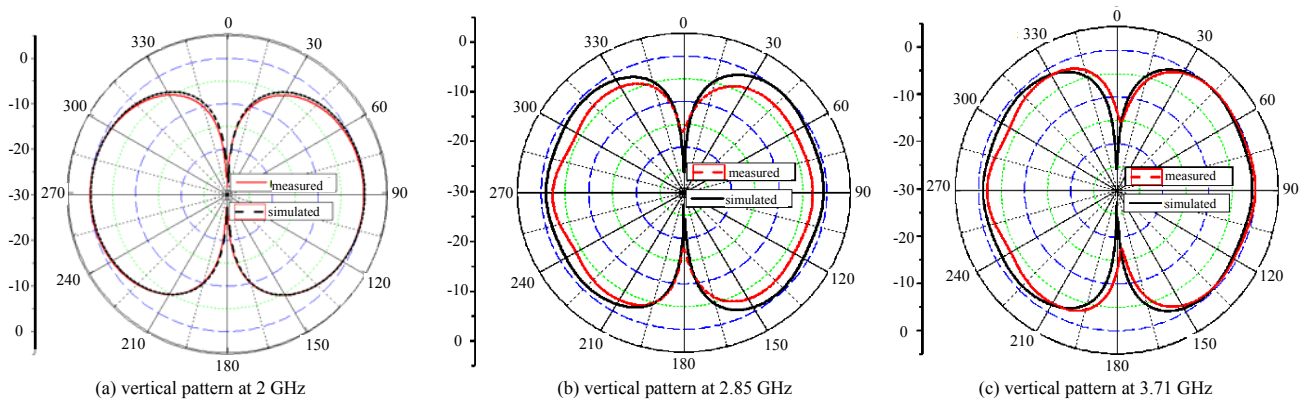


Fig.7 Vertical pattern at 2 GHz,2.85 GHz,3.71 GHz
图 7 2 GHz,2.85 GHz,3.71 GHz 处垂直面(XOZ)方向图

参考文献:

- [1] ALFORD A,KANDOIAN A G. Ultrahigh-frequency loop antennas[J]. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 1940,47(12):843-848.
- [2] NAKANO H,SATAKE R,YAMAUCHI J. Horizontally polarized,omnidirectional antenna with a single feed[C]// 2010 IEEE International Conference on Wireless Information Technology and Systems. Honolulu,HI,USA:IEEE, 2010:1-4.
- [3] LIN C C,KUO L C,CHUANG H R. A horizontally polarized omnidirectional printed antenna for WLAN applications[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2006,54(11):3551-3556.
- [4] AHN C H,OH S W,CHANG K. A dual-frequency omnidirectional antenna for polarization diversity of MIMO and wireless communication applications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2009,8(24):966-969.
- [5] ANDO A,CHO K,HORI T. Dielectric-loaded slotted-cylinder antennas offering reduced base station interference for personal communication services[C]// IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Atlanta,GA,USA:IEEE, 1998:1454-1457.
- [6] CROSWELL W,KNOP C. On the use of an array of circumferential slots on a large cylinder as an omnidirectional antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1966,14(3):394-396.
- [7] CASCIOLA D,MIERS G L,SURETTE R A. UHF antenna choices[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 1999,45(1):93-105.
- [8] WU B Q,LUK K M. A wideband,low-profile,conical-beam antenna with horizontal polarization for indoor wireless communications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2009,8(24):634-636.
- [9] RADNOVIC Ivana,NESIC Aleksandar,MILOVANOVIC Bratislav. A new type of turnstile antenna[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2010,52(5):168-171.