

C波段高增益宽带准八木天线阵列

林 澍^{1,2} 刘 路³ 张兴起² 张馨月² 黄冠龙²

(哈尔滨工业大学电子科学与技术博士后科研流动站¹, 电子与信息工程学院², 哈尔滨 150080;

哈尔滨工业大学工程训练中心³, 哈尔滨 150001)

摘 要 提出了一种高增益的宽带准八木天线阵列。天线为印刷电路板的形式,通过平衡微带线给印刷对称振子馈电。为节省空间,将馈线与反射器进行了一体化的设计。为提高天线单元的增益和带宽,在有源振子前方引入了寄生振子和一段介质板。为进一步提高天线增益,将天线单元组成二元阵,设计了一个宽带平衡与等功率分配的馈电网络。整个天线阵连同馈电网络印刷在一块FR4环氧板的两侧,使用电磁仿真软件CST Microwave Studio®进行建模与仿真分析。根据仿真结果制作了天线阵列,在微波暗室内进行测试。结果表明,天线在(4.4—7.0) GHz的频带内反射系数小于-10 dB,相对带宽为45.6%,在整个工作频段内平均增益为6.2 dBi,达到了预期效果。

关键词 准八木天线阵 印刷天线 宽带 高增益

中图分类号 TN822.8; **文献标志码** A

八木天线由于结构简单,且具有较高增益,在无线通信领域获得了广泛的应用。随着通信技术的发展,对天线提出了小型化、高增益和宽频带的要求,印刷天线由于具有较低剖面,易于和通信系统集成,所以受到了广泛的关注。Qian等人提出了印刷准八木天线^[1],由于采用了宽带平衡器,获得了17%的阻抗带宽。随后学者们提出了大量的准八木天线的设计方案,但是这类准八木天线一般由馈电单元和辐射单元两部分组成,馈电单元部分包含了阻抗变换器和平衡/不平衡转换器,从而导致了天线及其阵列的尺寸偏大^[2]。文献[3]提出了一种槽线馈电的印刷八木天线,获得了较小的天线单元尺寸,但是由于引入了相对较大的馈线尺寸,导致天线不易组成阵列,从而限制了它的应用。文献[4]讨论了印刷八木天线的制造工艺问题,提出了一种采用新的介质材料及新工艺制造天线的问题,但是实现较为困难。

本文提出一种结构简单的平衡微带线馈电的印刷八木天线。该天线的馈电结构充当了反射器,并且未采用分流式平衡器,减小了天线尺寸,在天线寄生振子前端引入一段介质板,提高了天线单元的增益,设计了一个结构简单的功率分配/平衡馈电网络将天线组成阵列,进一步提高了天线增益。通过电磁仿真软件CST Microwave Studio®仿真和实验的方法对天线进行研究,得出了结构参数对天线性能影响的详细结果。

1 天线的设计与仿真

1.1 天线结构

所设计的印刷八木天线如图1所示。该天线采用对称振子作为有源振子,如图1(a)所示。对称振子右侧为用于馈电的平衡微带线,馈线的两个分支分别印刷在介质板的两侧,正面的馈线将两个天线单元的镜像对称的振子连接起来,此时馈线还起到了反射器的作用。反射器的长度由图1(a)可知在其它结构参数确定的情况下,主要由阵元的间距决定。两个天线单元的另一振子则由背面的馈线通过金属化过孔连接,如图1(c)所示。

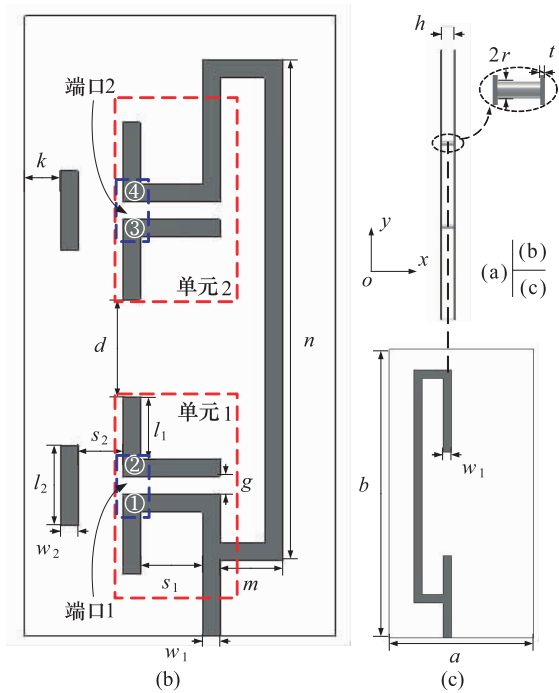


图 1 天线结构

$a = 39\text{ mm}, b = 150\text{ mm}, d = 52\text{ mm}, g = 1\text{ mm}, h = 1.5\text{ mm},$
 $l_1 = 11\text{ mm}, l_2 = 13\text{ mm}, m = 12\text{ mm}, n = 127\text{ mm}, s_1 = 9\text{ mm},$
 $s_2 = 5\text{ mm}, w_1 = w_2 = 2\text{ mm}, k = 3\text{ mm}$

对称振子前方的金属带条为寄生单元,起到引向器的作用,可以使天线的增益和带宽进一步提高。寄生单元为图 1(a)左侧深色区域。印刷在介质板背面的加长馈电金属条充当了八木天线反射器的作用,这使得该分支长度 l_1 、馈电线与振子的距离 s_1 以及反射器的长度 $p = 2m + n$ 成为了主要结构参数。另外,引向器的长度 l_2 、振子间距离 s_2 共同决定了天线的匹配条件。

1.2 天线阵的辐射特性分析

图 1 所示的天线由两个单元组成,采用并馈的方式进行馈电,为了减小馈电网络的尺寸,提出了如图 1 所示的非对称的分支结构,馈线的电流从天线阵的底部馈入。为了保证两个天线单元的辐射场能够同向叠加而提高增益,必须使两副有源振子上的电流为同相,即图 1 中端口 1 和端口 2 的激励是同相的。这里可以借助电子技术中的瞬时极性法进行分析:(1)假设端口 1 的①端子的瞬时极性为正,则②端子的瞬时极性必为负;(2)若使端口 2

和端口 1 的激励为同相,则必须使端子③的极性为正,而端子④的极性为负,即直接相连接的端子①和端子④的极性相反;(3)若使端子①和端子④的极性相反,则需使两个端子之间的馈线长度满足在给定的工作频率范围内产生 $90^\circ\text{—}270^\circ$ 之间的相移,反之,这样大的相移范围可以使得移相器的工作频率范围很宽,理论上可以达到 3:1 的带宽,即天线阵可以在较宽的频率范围内实现和波束的效果。

1.3 引向器前方介质长度对增益的影响

为提高增益,将引向器前方的介质加长,由于介质具有提高场的能量密度的特点,所以会使天线金属表面电流产生的近区场更加集中,从而影响到天线的远区场,提高天线的增益。由于仅仅加长了介质,而没有引入金属材料,所以天线的反射系数不会受到较大的影响。这种方法对于提高宽带天线的增益是十分有益的。

图 2—图 3 的仿真结果证明了加大辐射方向介质长度提高增益方法的正确。增益的仿真结果表明,仅仅提高了 3 mm 的介质长度,相当于天线尺寸增加了 8.3%,结果使得天线在工作频带内的增益普遍提高了 (0.5—1.0) dBi,相当于增益提高了 12%—26%。反射系数的仿真结果表明,提高介质长度对天线的反射系数影响不大,仅在一个很小的频率范围内略有差异。

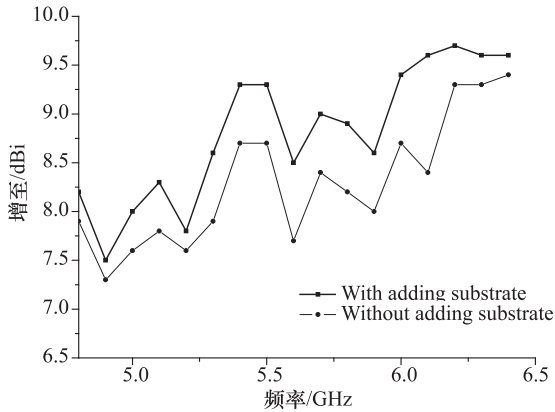


图 2 提高介质长度对增益的影响 ($k = 3\text{ mm}$)

2 实验结果分析

所设计的天线实物如图 4 所示,在微波暗室内

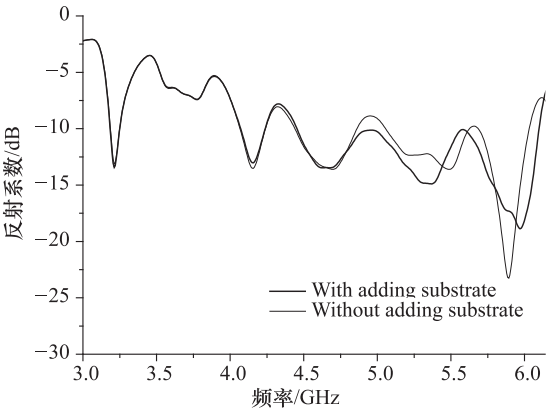


图3 提高介质长度对反射系数的影响

进行了测试,测试天线的阻抗带宽使用 Agilent E8363B 型矢量网络分析仪。图 5 给出了天线反射系数的测量值,测试结果表明天线在 (4.4—7.0) GHz 的频率范围内反射系数小于 -10 dB,具有良好的宽带效果。天线增益和方向图的仿真及测试结果如图 6—图 7 所示,新型印刷八木阵列天线实现了高增益和良好的定向辐射。

阻抗匹配特性实际上比仿真结果要好,反射系数值降低,带宽比仿真结果要大;(3)FR-4 基板的不均匀性和色散特性会使方向图与在均匀介质情况下的仿真结果有较大差异,从而导致增益的下降;(4)测试时天线夹具(主要位于馈电端)和馈线的遮挡是引起方向图的副瓣与后瓣测量结果和仿真结果差异的重要原因。

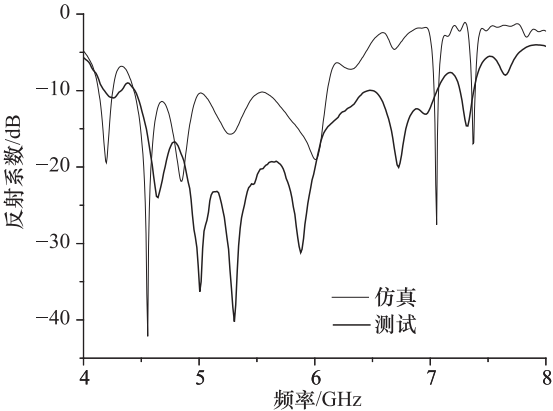


图5 天线反射系数仿真与测试结果

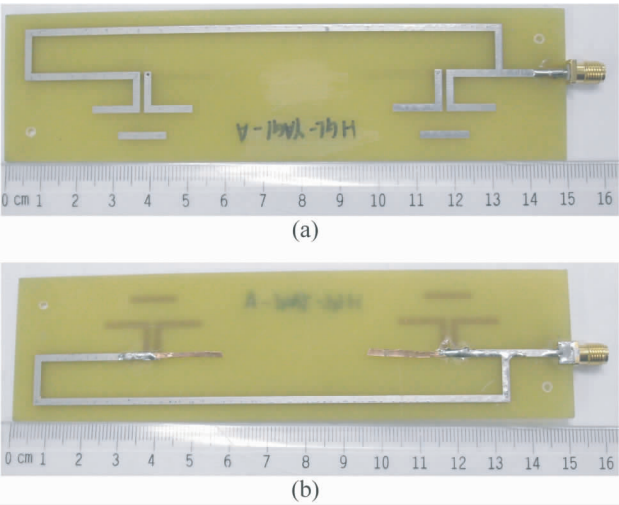


图4 天线实物图

测试结果和仿真结果相比仍然有一些差异,主要原因如下:(1)所选择的介质材料为有耗介质,其损耗正切为 10^{-2} 量级,损耗较大,正是由于介质损耗的影响,在馈线端口所得到的反射功率降低,从而引起反射系数值的降低;(2)SMA 馈线接头焊点的不确定性使得在 (4.5—7.0) GHz 的频率范围内

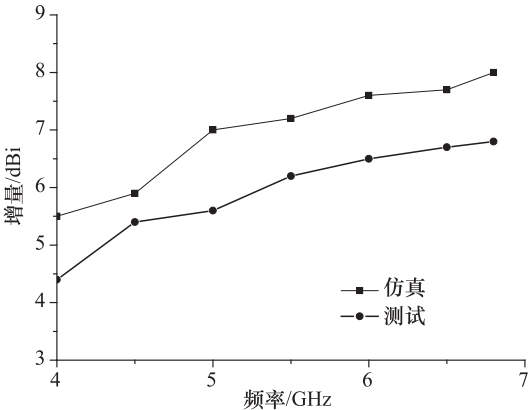


图6 天线增益仿真与测试结果

3 结论

提出了一种工作在 C 波段的高增益印刷八木天线阵列,印刷对称振子由平衡微带线进行馈电。通过仿真合理设置天线阵的结构参数达到提高天线增益和带宽的目的。整个天线阵连同馈电网络印刷在 FR4 环氧板的两侧,并制作了天线阵实物在微波暗室内进行测试。结果表明,天线的绝对带宽

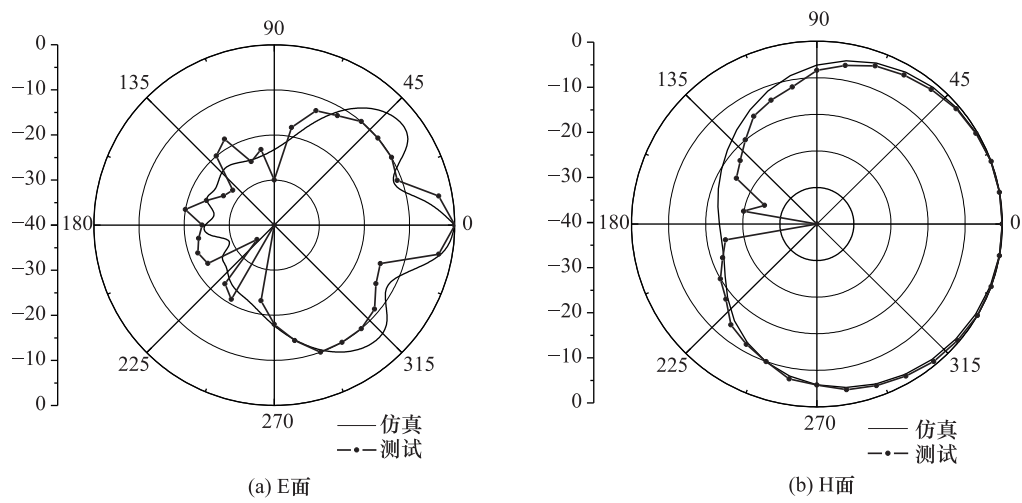


图7 天线辐射方向图的仿真与测试结果(@ 5.5 GHz)

为 2.6 GHz, 相对带宽达 45.6%, 带内平均增益为 6.2 dBi 且方向图定向特性良好, 可用于 C 波段内的无线通信系统中。

参 考 文 献

1 Qian Y, Deal W R, Kaneda N, *et al.* Microstrip-fed quasi-Yagi antenna with broadband characteristics. *Electronics Letters*, 1998; 34 (11):2194—2196

2 Leong K M K H, Sor J, Deal W R, *et al.* A broadband 64-element 2-D quasi-Yagi antenna array. *Radio and Wireless Conference*, 2000: 67—70

3 Ta S X, Kim B, Choo H, *et al.* Slot-line-fed Quasi-Yagi antenna. 2010 9 th International Symposium on Antennas Propagation and EM Theory (ISAPE), 2010: 307—310

4 Sun M, Zhang Y P. 100 GHz Quasi-Yagi antenna in silicon technology. *IEEE Electron Device Letters*, 2007; 28 (5):455—457

C Band High Gain and Broadband Quasi-yagi-uda Antenna Array

LIN Shu^{1,2}, LIU Lu³, ZHANG Xing-qi², ZHANG Xin-yue², HUANG Guan-long²

(Electronic Science and Technology Post-doctoral Research Center¹,

School of Electronics and Information Engineering², Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, P. R. China;

Engineering Training Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001³, P. R. China)

[Abstract] A broadband Quasi-Yagi-Uda antenna array with high gain is proposed. The antenna has a form of printed circuit board, and the printed dipole is fed by balanced microstrip line. In order to save space, the feeding line and radiator are designed to be integrated. To enhance antenna gain and bandwidth, parasitic elements and a piece of dielectric slab are introduced in front of the active dipole. In order to further enhance antenna gain, binary array is composed of antenna elements, and a feeding network with balanced wideband and equal power distribution is designed. The whole antenna array with feeding network are printed on the two sides of the FR4 epoxy resin lamina, and it is modeled and simulated by electromagnetic simulation software CST Microwave Studio®. The antenna array is manufactured according to the simulation results. And the antenna is measured in microwave anechoic chamber. The results indicate that the reflection coefficient within band of (4.4—7.0) GHz is below -10 dB, the relative bandwidth is 45.6% and the average gain in the whole band is 6.2 dB, which obtain the expected effect.

[Key words] Quasi-Yagi-Uda antenna array printed antenna bandwidth high gain