

文章编号: 1001-893X(2011)10-0104-05

一种改进型微带贴片八木天线的设计^{*}

倪国旗^{1,2}, 余白平¹, 梁 军¹

(1. 桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004; 2. 桂林空军学院 一系, 广西 桂林 541003)

摘 要:设计了一种宽带微带贴片八木天线。通过采用正方形贴片形状、附加寄生贴片等方法, 获得了较大的相对阻抗带宽和较好的方向性。该天线工作频率为 12 GHz, 三维电磁仿真软件 Ansoft HFSS 仿真结果表明: 这种改进型天线在其它参数不变的情况下, 其相对阻抗带宽达到 27.5% ($VSWR \leq 2$), 实现了天线频带的超宽性, 满足了某项目中无线通信设备的需要。

关键词:微带天线; 贴片八木天线; 高增益; 宽频带; 寄生贴片

中图分类号: TN823 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2011.10.021

Design of a Modified Microstrip Patch Yagi Antenna

NI Guo-qi^{1,2}, YU Bai-ping¹, LIANG Jun¹

(1. School of Information and Communication Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China; 2. The 1st Department, Guilin Air Force Academy, Guilin 541003, China)

Abstract: A broadband microstrip patch Yagi antenna is presented in this paper. It can achieve a greater relative impedance bandwidth and good pattern by using square patch and adding parasitic patch. The operational frequency is 12 GHz. Ansoft HFSS simulation results indicate that this modified antenna can achieve 27.5% ($VSWR \leq 2$) relative impedance bandwidth on condition that other parameters are the same. The ultra-wideband property of the antenna bandwidth is realized and the antenna meets the requirement of the wireless communication equipment in a project.

Key words: microstrip antenna; patch Yagi antenna; high gain; broadband; parasitic patch

1 引 言

八木天线是一种典型的定向天线, 广泛应用于通信、雷达及其它无线电技术设备中, 通常由一个有源振子(通常是半波振子)、一个反射器(通常稍长于半波振子的无源振子)和若干个引向器组成。适当调整振子的长度和它们之间的距离可以改善天线的频率响应和辐射特性。然而, 八木天线只能实现端射辐射, 而且无法直接与载体表面共面安装。但在无线通信的实际应用中, 常常要求天线的主瓣波束

在边射方向和端射方向之间, 即准端射方向, 且天线与载体共面安装。John Huang 等人基于微带天线剖面薄、体积小, 易与导弹、卫星等载体表面共形, 且能够实现准端射的优点, 利用微带贴片八木天线实现了上述要求。

1989 年, John Huang 提出了微带贴片八木天线, 将一个反射贴片、一个有源贴片和两个引向贴片共 4 个正方形金属贴片印制在一块介质板正面, 介质板背面是金属接地板, 采用同轴线馈电, 天线工作原理与八木振子天线类似, 贴片尺寸很接近但依次减小, 经软件仿真并制成实物, 测试结果表明这种天线

^{*} 收稿日期: 2011-06-15; 修回日期: 2011-09-02

基金项目: 广西回国基金项目(桂科回 0991021)

Foundation Item: The Scientific Research Foundation of Guangxi for Returned Chinese Scholars(No.0991021)

在仰角 $20^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 的范围内增益比普通微带天线明显提高,阻抗带宽比单贴片也稍有展宽,具有准端射方向图。1991 年,John Huang 又将 4 个微带贴片八木天线并列组阵以提高增益,应用于美国的 MSAT 系统中。2007 年,Gerald R. DeJean 对 John Huang 提出的结构进行了改进,通过增加引向贴片的个数,采用微带线馈电,提高了天线的增益和前后瓣比(F/B),但相对带宽较小^[1,2]。

本文对 Gerald R. DeJean 提出的天线结构进行了改进,在保证高增益和相对较高的前后瓣比的前提下,相对阻抗带宽展宽了 3 倍多,并且改善了方向性。这种天线结构紧凑,而且馈线与贴片共面,易加工制造。为了提高分析效率,通过电磁仿真软件 Ansoft HFSS 分析了天线各贴片尺寸和贴片间距等参数变化对天线频率响应和辐射方向图的影响,并对参数进行了优化设计,而非实际制作后测得,但这并不影响该设计方法的有效性。仿真结果表明,这种天线增益很大,相对阻抗带宽能达到 27.5% ($VSWR \leq 2$),并且容易组阵以达到更高的增益。

2 结构设计

2.1 Gerald R. DeJean 设计的天线结构

Gerald R. DeJean 设计的微带贴片八木天线是一个 Y 字型结构,天线结构俯视图如图 1 所示,介质基板下表面是接地板,上表面刻蚀金属贴片,有源贴片为正方形,反射贴片、引向贴片 1 和引向贴片 2 为矩形,其中反射贴片与有源贴片、有源贴片与引向贴片 1、引向贴片 1 与引向贴片 2 之间的距离相同。采用微带线馈电,馈电网络与金属贴片共面。

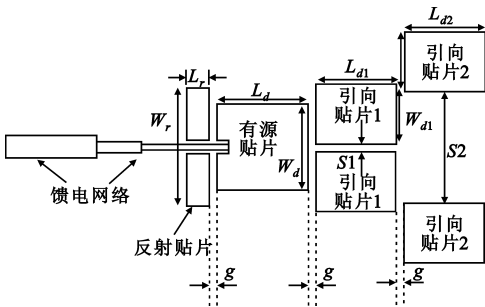


图 1 Gerald R. D 提出的天线结构俯视图
Fig.1 Top view of the antenna proposed by Gerald R. D

2.2 对 Gerald R. DeJean 提出的天线结构的改进

上述微带八木天线结构便于组阵以获得更高的

增益,但工作带宽较小,并不能满足实际工作要求。为了增大其阻抗带宽,本文在保证半功率波束宽度和相对较高的前后向比的前提下,通过选择不同的贴片形状,如矩形、方形、三角形、圆形、圆环等,在有源贴片两边加“栅栏”改善其方向性,设置不同的贴片间距进行优化等方法,经过多次实验优化,并使天线尺寸小型化,主波束控制在 $20^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之间,最终选择矩形和正方形贴片组合使用结构,并在有源贴片两边附加寄生贴片^[3],实现了更宽的阻抗带宽。设计出的改进型微带八木天线结构俯视图如图 2 所示,介质基板下表面是接地板,上表面刻蚀金属贴片,反射贴片为矩形,有源贴片、引向贴片 1 和引向贴片 2 为正方形,并在有源贴片两边加了两块矩形寄生贴片。采用微带线馈电,馈线与金属贴片共面,反射贴片中间开缝,馈线通过反射贴片的缝隙连接至有源贴片处。该天线的工作原理类似于传统的偶极子八木天线^[4],激励贴片、反射贴片和引向贴片的尺寸和间隔都是基于偶极子八木天线设计的。

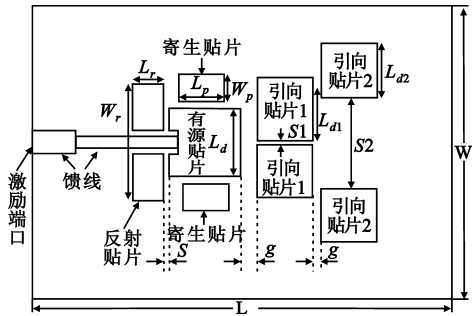


图 2 天线结构俯视图
Fig.2 Top view of the proposed antenna

2.3 改进型天线结构尺寸的计算与优化

本文所设计的天线工作频率为 12 GHz,介质板采用 RT/duroid5880 双面板,其相对介电常数 $\epsilon_r = 2.20$,厚度 $h = 1.57 \text{ mm}$ 。根据文献[5],其等效相对介电常数可用下式计算:

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{h}{w}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

则电磁波在介质中的工作波长为

$$\lambda_g = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_e} f_0} = 18.5 \text{ mm} \quad (2)$$

式中, c 为自由空间光速, f_0 为天线的工作频率, ϵ_r 为天线的相对介电常数, h 为介质板的厚度, w 为微带线宽度。

由文献[6]可知,有源贴片尺寸初值可取 $L_d = 0.47\lambda_g = 8.7\text{ mm}$,引向贴片 1 和引向贴片 2 尺寸初值可取 $L_{d1} = L_{d2} = 0.423\lambda_g = 7.8\text{ mm}$,反射贴片与激励贴片的间距 S 和激励贴片与引向贴片的间距 g 不能过大,应小于介质板的厚度 h 。

由文献[1]可知,反射贴片长度 L_r 大约可取反射贴片宽度 W_r 的 1/4。

按照以上计算初值设置天线参数,并使用电磁仿真软件 Ansoft HFSS 对天线的结构参数进行优化,最后得到满足设计要求的参数为: $L_r = 3\text{ mm}$, $W_r = 14\text{ mm}$, $L_d = 8\text{ mm}$, $S = 0.6\text{ mm}$, $L_{d1} = L_{d2} = 6.3\text{ mm}$, $g = 0.8\text{ mm}$, $S1 = 0.4\text{ mm}$, $S2 = 11\text{ mm}$ 。文献[6]中的经验公式是根据传统结构提出的,本文在此基础上做了改进,结构不同,尺寸减小了,所以会有一定的差异。

在天线的优化设计中,介质板的尺寸对天线增益和方向图也有一定的影响,经过多次优化设计后,在保证天线尺寸尽量小的前提下,介质板尺寸取为 $W \times L = 38\text{ mm} \times 48\text{ mm}$ 。

3 仿真结果与性能比较

3.1 仿真结果

该天线结构参数通过仿真软件 Ansoft HFSS 仿真并经优化设计后,天线输入回波损耗曲线如图 3 中粗实线所示。从图 3 中可以看到,天线输入回波损耗 $S_{11} \leq -10\text{ dB}$ 时的工作带宽为 3.3 GHz(10.3 ~ 13.6 GHz),相对带宽达到 27.5%,在 12 GHz 处, $S_{11} \approx -47.4\text{ dB}$, $VSWR = 1.0085$ 。

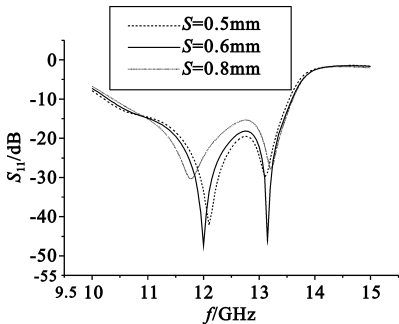


图 3 S_{11} 随 S 的变化曲线
Fig.3 Influence of S on S_{11}

天线 E 面和 H 面辐射方向图如图 4 所示,从图中可以看出,天线有较高的增益和较小的旁瓣和尾瓣,主瓣在 30° 方向。

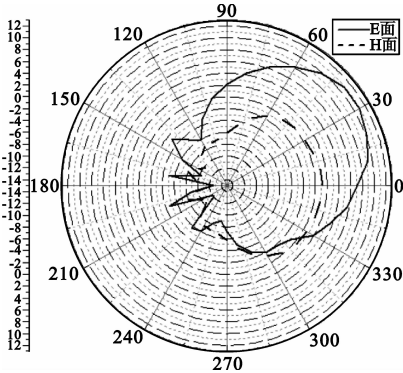


图 4 天线 E 面和 H 面辐射方向图
Fig.4 E-plane and H-plane radiation patterns for the antenna

3.2 性能比较

Gerald R. DeJean 设计的微带贴片八木天线与本文所设计的天线性能参数值如表 1 所示。从表 1 中可以看出,相对带宽从 8.1% 增大到 27.5%,增大了 3 倍多;增益从 10.7 dB 变为 10.96 dB,略有增大;前后向比 (F/B) 从 15 dB 变为 20 dB;E 面半功率波束宽度从 40° 变为 46°,有所增大;本次设计的天线端口接 50 Ω 同轴线,输入阻抗 $Z_0 = (50.2 + j0.37)\Omega$ 。

表 1 Gerald R. DeJean 与本文所设计的天线性能参数值
Table 1 Parameter value of the two antennas

天线类型	$B/\%$	G/dB	(F/B) /dB	$\theta_{0.5E}$ /(°)	输入阻抗 Z_0/Ω
Gerald R. D 设计天线	8.1	10.7	15	40	
本文设计 天线	27.5	10.96	20	46	$50.2 + j0.37$

4 各贴片对天线性能影响分析

4.1 一般影响

激励贴片 L_d 的尺寸决定着天线的主谐振频率,适当增加引向贴片的尺寸 L_{d1} 和 L_{d2} 可以提高天线主瓣增益,但过大时,天线副瓣明显变大,主瓣增益也会降低。引向贴片 1 确定主波束方向,通过两个引向贴片 1 和两个引向贴片 2 来获得高增益和高前后向比。引向贴片 2 用来提高增益,同时协助控制主波束达到一个更高的仰角。适当调整引向贴片 2 之间的距离可以增大半功率波束宽度。

4.2 反射贴片与激励贴片间的距离 S 对天线性能的影响

当改变天线反射贴片与激励贴片间的距离 S 时,天线方向图形状变化不大,最大辐射方向基本保持在 30° 方向,但随着 S 的改变,天线增益也随之变化。天线输入回波损耗 S_{11} 随 S 变化曲线如图 3 所示。从图 3 中可知,随着 S 的增加,天线谐振频率略有减小,对天线输入回波损耗 S_{11} 影响较大。当 $S = 0.5 \text{ mm}$ 时,天线的谐振频率为 12.1 GHz , $S_{11} \approx -42.2 \text{ dB}$;当 $S = 0.6 \text{ mm}$ 时,天线的谐振频率为 12 GHz , $S_{11} \approx -47.4 \text{ dB}$;当 $S = 0.8 \text{ mm}$ 时,天线的谐振频率为 11.8 GHz , $S_{11} \approx -30.3 \text{ dB}$ 。可见 S 对天线的谐振深度影响很大。因为当 S 过小时,电磁波在反射贴片与激励贴片间循环反射,耦合到引向贴片的能量较少;而当 S 较大时,反射贴片虽然能把电磁波反射出去,使方向图主瓣偏向有源贴片的一侧,但在空间某处可能反相叠加,能量抵消,只有当 S 大小合适,使得能量在空间某处同相叠加,增益才能达到最大。

4.3 附加寄生贴片对天线性能的影响

根据微带天线理论可知,在一般微带天线的振子附近附加寄生振子,可以有效地将简单 RLC 电路修改为多谐振点的耦合谐振电路,从而展宽阻抗频带^[7-9]。附加寄生贴片,可以是共面配置的,也可以是上下配置的。本次设计采用共面配置,在正方形激励贴片两边各置放一寄生贴片,从而引入新的谐振频率。

由双峰谐振理论也可知,当寄生贴片长度小于激励贴片长度时,可以引入一个较高的谐振频率。调节这两个寄生贴片的大小及距离,当两个谐振频率彼此靠近时就可以有效地展宽微带天线的带宽。经过软件仿真优化设计后,得到寄生贴片长度 $L_p = 6.3 \text{ mm}$,宽度 $W_p = 4 \text{ mm}$ 。寄生贴片对天线输入回波损耗 S_{11} 的影响如图 5 所示。由图 5 中 S_{11} 曲线图可见,无附加寄生贴片的天线仅有一个谐振频率,而在激励贴片两边引入两个寄生贴片后天线的反射系数曲线呈双谐振特性,分别在 12 GHz 和 13.15 GHz 处,这两个频率彼此靠近,明显展宽了天线的带宽。当 $S_{11} \leq -10 \text{ dB}$ 时,附加寄生贴片的天线带宽达到 $3.3 \text{ GHz}(27.5\%)$,而无附加寄生贴片的天线带宽只达到 $2.2 \text{ GHz}(18.3\%)$,而且附加寄生贴片的天线 E 面辐射方向图旁瓣和尾瓣也明显减小。

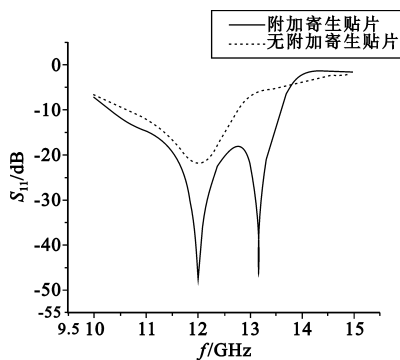


图 5 寄生贴片对 S_{11} 的影响

Fig.5 Influence of parasitic elements on S_{11}

5 结束语

在保证天线半功率波束宽度和前后向比的前提下,本文提出了一种展宽微带贴片八木天线频带,改善天线方向性的改进方案,并且分析了天线参数变化对天线频率响应和辐射方向图的影响。高精度的三维电磁仿真实验验证了这种改进型天线具备高增益、低旁瓣、低交叉极化、宽频带和准端射特性,而且这种天线结构紧凑、体积小、剖面低、馈线与贴片共面,易加工制造。因此,该天线结构成为某项目的首选结构。

参考文献:

- [1] Gerald R DeJean, Tentzeris M M. A new high - gain microstrip Yagi array antenna with a high front - to - back (F/B) ratio for WLAN and millimeter - wave applications[J]. IEEE Transactions on Antennas Propagation, 2007, 55(2): 298 - 304.
- [2] Gerald R DeJean. Design and Analysis of Microstrip Bi - Yagi and Quad - Yagi Antenna Array for WLAN Applications [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2007, 6: 244 - 248.
- [3] Sang H W, Yong S L, Jong G Y. Wide band microstrip patch antenna with u - shaped parasitic elements[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(4): 1196 - 1199.
- [4] John D Kraus, Ronald J Marhefka. 天线[M]. 3 版. 章文勋, 杨先华, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007: 191 - 195.
John D Kraus, Ronald J Marhefka. Antennas: For All Applications[M]. 3th ed. Translated by ZHANG Wen - xun, YANG Xian - hua. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007: 191 - 195. (in Chinese)
- [5] 孙思扬, 林欣, 高攸纲, 等. 一种可展宽频带的微带贴片天线[J]. 电波科学学报, 2009, 24(2): 307 - 310.
SUN Si - yang, LIN Xin, GAO You - gang, et al. Design of a wideband microstrip patch antenna[J]. Chinese Journal of

- Radio Science, 2009, 24(2): 307 – 310. (in Chinese)
- [6] 侯榜焕, 万国宾, 张雪松. 微带八木贴片天线的特性研究[J]. 中国空间科学技术, 2009, 6(3): 36 – 41.
HOU Bang – huan, WAN Guo – bin, ZHANG Xue – song. Identity Analysis of Microstrip Patch Yagi Antenna[J]. Chinese Space Science and Technology, 2009, 6(3): 36 – 41. (in Chinese)
- [7] NI Guoqi, GAO Benqing, LU Junwei. A Newly Dielectric Embedded Quasi – Microstrip Yagi Antenna with Barrier[C]//Proceedings of International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology. Nanjing: IEEE, 2008: 1121 – 1123.
- [8] 沈楠, 郭陈江, 胡楚锋. 一种大带宽高增益微带天线的研究与设计[J]. 电子测量技术, 2007, 30(1): 49 – 51.
SHEN Nan, GUO Chen – jiang, HU Chu – feng. Wide bandwidth and high gain microstrip antenna[J]. Electronic Measurement Technology, 2007, 30(1): 49 – 51. (in Chinese)
- [9] 倪国旗, 高本庆. 一种新型的层叠式介质埋藏贴片八木天线[J]. 电波科学学报, 2009, 24(2): 337 – 340.
NI Guo – qi, GAO Ben – qing. Newly patch Yagi antenna of cascade – dielectric embedded[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2009, 24(2): 337 – 340. (in Chinese)

作者简介:

倪国旗(1964—), 男, 湖北人, 2008 年于北京理工大学获

博士学位, 现为教授、硕士生导师, 主要研究方向为微波技术与天线、微波器件与材料;

NI Guo – qi was born in Hubei Province, in 1964. He received the Ph.D. degree from Beijing Institute of Technology in 2008. He is now a professor and also the instructor of graduate students. His research interests include microwave technology and antenna, microwave devices and material.

Email: ngq157@163.com

余白平(1986—), 女, 湖北人, 2009 年获桂林电子科技大学信息与通信学院通信工程专业学士学位, 现为硕士研究生, 主要研究方向为微带天线、无源器件;

YU Bai – ping was born in Hubei Province, in 1986. She received the B.S. degree from Guilin University of Electronic Technology in 2009. She is now a graduate student. Her research interests include microstrip antenna and passive devices.

Email: yubaipingping@126.com

梁 军(1984—), 男, 广西人, 2009 年获桂林电子科技大学信息与通信学院通信工程专业学士学位, 现为硕士研究生, 主要研究方向为微带天线、无源器件。

LIANG Jun was born in Guangxi Zhuang Autonomous Region, in 1984. He received the B.S. degree from Guilin University of Electronic Technology in 2009. He is now a graduate student. His research interests include microstrip antenna and passive devices.

Email: liangjun3697@126.com