

宽频带宽波瓣准端射圆极化微带八木天线

叶喜红 何 芒

(北京理工大学信息与电子学院, 北京 100081)

hemang@bit.edu.cn

摘要: 基于传统八木天线理论, 本文在 C 波段研究设计了一种宽频带宽波瓣、准端射、圆极化微带八木天线 (Microstrip Yagi-Uda Antenna)。仿真结果表明, 该天线的反射系数小于-10dB 以及 3dB 轴比带宽可以达到 740MHz (13%); 在天线的工作频带内, 整个俯仰面范围以及水平面 50° 以上范围内, 其增益均不小于 0dBi, 同时具有较大的前后比 $R(F/B)$ 。介质基板底面尺寸对天线特性的影响, 在本文中进行了适当的参数分析。

关键词: 宽波瓣, 端射, 圆极化, 微带八木天线

A Broadband and Wide Beamwidth Quasi-Endfire Circular Polarized Microstrip Yagi Antenna

YE Xihong, He Mang

(School of Information and Electronic, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

Abstract: Based on the principle of the Yagi-Uda antenna, a broadband and wide beamwidth quasi-endfire microstrip antenna with circular polarization for C-Band applications is presented in this paper. The -10dB return loss and 3dB AR bandwidth of 740MHz (13%) is achieved simultaneously in this design. Within the working band, antenna gain is larger than 0dBi in the entire elevation plane and over 50° in the horizontal plane, while a large front-to-back ratio is obtained as well. The effect of the size of the ground plane bottom the antenna's performance is also parametrically studied to optimize the circular polarization.

Keywords: quasi- endfire, circular polarization, microstrip Yagi-Uda antenna

1 引言

随着各种无线通信系统的快速发展, 同时具有低剖面、低制造成本、易与电路集成以及易与工作平台共形的微带天线一直受到大家的关注和青睐。一般的微带天线具有边射特性, 但是可以通过在贴片前后适当增加寄生贴片 (反射贴片和引向贴片) 并利用贴片之间的互耦将辐射能量引向边缘实现端射^[1-6]。J. Huang 提出一种适用 L 和 C 波段的微带八木天线, 该天线的峰值由边射方向向贴片天线边

的倾斜角度 α 达到 30°~40° 之间^[1, 2]。此后, 众多学者对该天线进行了很到分析研究和改进, S. K. Padhi 等在 X 波段应用该天线形式使倾斜角 α 达到 40° 左右^[3, 4]。Gerald R. DeJean 等利用同尺寸、相距适当距离的两个贴片代替原微带八木天线的每级引向器的孤立贴片, 得到更高的高增益和更大的前后^[5, 6]。然而, 除了 J. Huang 在设计的天线实现圆极化以外, 上述其它设计均为线极化工作模式。

本文设计了一种宽频带、宽波瓣、准端射、圆极化微带八木天线。该天线同时满足反射系数小于-10dB 以及端射前向轴比小于 3dB 的频带宽度可达 740MHz (13%), 而前述文献中设计的微带八木天线最大线极化带宽为 10%左右, 与其相比, 本文设

基金项目: 自然科学基金 (60801008)

计的天线具有更大的带宽。在俯仰面 $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 水平面 70° 范围内均具有较大的增益和良好的圆极化特性，且该天线前后比 $R(F/B)$ ，即在 $\theta = 90^\circ$ 与 $\theta = -90^\circ$ 的增益比值可以达到 13dB。

2 天线结构及工作原理

2.1 天线结构

图 1 为所设计准端射圆极化微带八木天线结构图。其中，D 为激励贴片，R 为反射寄生贴片，尺寸相同的两个贴片 D_{1T} 和 D_{1B} 组成第一级寄生引向器， x 和 y 方向长度分别为 L_{d1} 和 W_{d1} ，两贴片之间的距离为 S_1 ；同样，具有相同尺寸的两个贴片 D_{2T} 和 D_{2B} 组成第二级寄生引向器， x 和 y 方向长度分别为 L_{d2} 和 W_{d2} ，两贴片之间的距离为 S_2 。为实现圆极化工作，采用两个同轴馈电端口进行馈电。第一个馈电端口由激励贴片 D 的对角线中心沿负 y 方向移动 f_y ；第二个馈电端口由激励贴片 D 的对角线中心沿 x 方向移动 f_x 。激励贴片与反射器之间的距离为 g_1 ，激励贴片与第一级引向器之间的距离为 g_2 ，两级引向器之间的距离为 g_3 。介质板的厚度为 h ，沿 x 和 y 方向的长度分别为 L_s 和 W_s ，分别在天线底面两端切除沿 x 方向为 L_{c1} 和 L_{c2} 在 y 方向均为 W_s 导电地面。

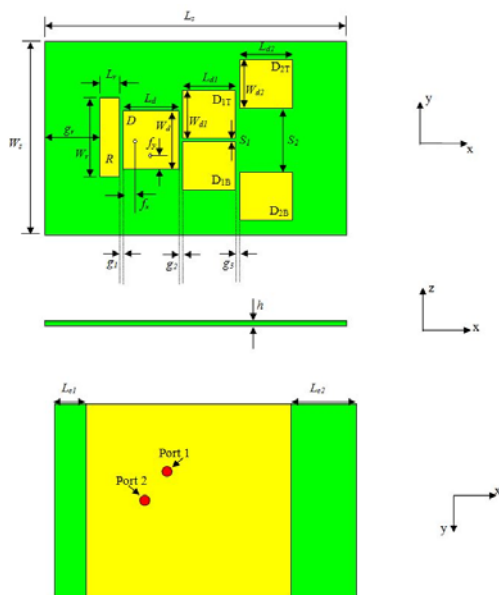


图 1 天线结构图

2.2 工作原理

位于自由空间中的传统八木天线，激励单元辐射出的电磁能量由反射振子反射，再通过空间波耦合传递到引向振子，从而实现天线的端射特性。而微带八木天线是在微带天线技术中应用了类似于八木天线的工作原理，即电磁能量也是经反射贴片的反射作用再由激励贴片耦合到具有引向作用的引向贴片中。但是，与传统八木天线不同的是，在微带八木天线中不仅存在空间波的耦合，更主要的是依靠介质基板中的表面波进行电磁能量的耦合。传统八木天线中，作为天线单元的振子天线在水平面内全向辐射，因此激励单元与寄生单元之间的电磁耦合很强，能量可以向引向器方向传递很远。然而微带天线单元本身具有边射特性，因此激励单元能量只能主要通过表面波作用耦合到与其接近的几个寄生单元上，并且耦合较弱。所以微带八木阵列中，激励单元与引向器以及反射器之间应尽量靠近，且引向器数量不宜超过两个，反射器数量不超过一个，继续增加寄生贴片的数目不能明显改善天线的工作特性，却增大了天线的几何尺寸。

3 仿真分析

由前述文献[1~6]的阐述以及本文作者的验证知道：介质基板的介电常数在一定范围内取值越高，天线的辐射峰值倾斜角 α 越大，但是天线的带宽将会越小，而且如果介电常数过大会影响贴片之间的耦合进而影响天线的辐射特性；各级贴片之间的距离 g_1 、 g_2 和 g_3 的大小影响贴片之间的耦合；第一级引向器 D_1 主要起引向和增加阻抗带宽的作用，而且其间距 S_1 应当足够小，以便 D_1 的耦合；第二级引向器 D_2 主要是增强辐射，其间距 S_2 决定了天线辐射口径的大小，当 S_2 越大时天线的增益越大但是其波瓣减小，而且 S_2 也不可过大，否则会使 D_2 与 D_1 间的耦合过小，影响天线的工作。

本文首先给出经过设计具有良好工作特性的天线的仿真结果，而后主要分析基板底面大小，即 L_{c1} 和 L_{c2} 对天线工作特性的影响。

3.1 设计天线的工作特性

文中所设计的天线， $g_1=g_2=g_3=g$ ，第一个馈电端口与第二个馈电端口采用等幅异相馈电，其相位

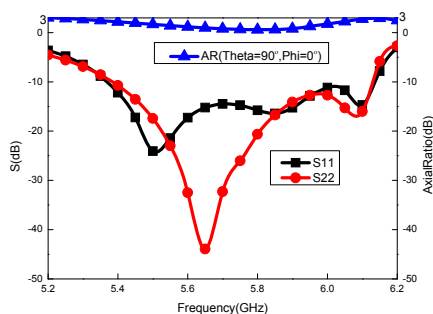
差 $\Delta\varphi$ 为 105° 。此时得到改天线工作特性的仿真结果如图 2 所示。

从图 2 可以看到，天线的阻抗带宽为 740MHz (13%)，且在此范围内端射前向轴比都小于 3dB。当频率大于 5.6GHz 时，在整个俯仰面范围 ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$) 范围内，天线增益都大于 0dBi，其前后比 $R(F/B)$ 可以达到 13dB；当频率大于 6GHz 时，天线辐射峰值倾斜角 α 可以达到 50° 以上；整个工作频带内，包括整个俯仰面以及 70° 左右水平面范围内，可以保证轴比不大于 6dB，且在水平面近 50° 范围内不大于 3dB。

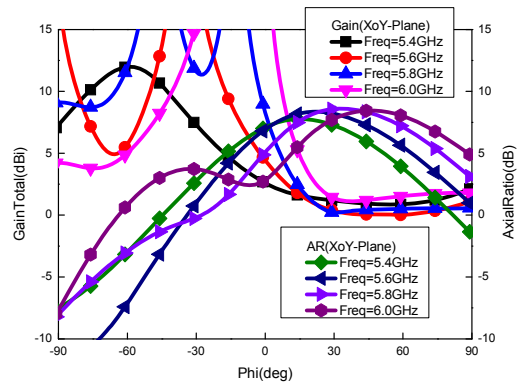
3.2 L_{c1} 和 L_{c2} 对天线特性的影响

微带天线介质基板底面一般全为导电面，但本文设计中为了减小天线的后向辐射以及加强引向作用使前向辐射增大，而在基板前后两端切除部分导电底面。 L_{c1} 和 L_{c2} 分别为被切除底面后向和前向部分的长度，如图 3 所示为在中心求解频率 5.8GHz 处，切除部分介质基板底面前后天线工作特性的比较。

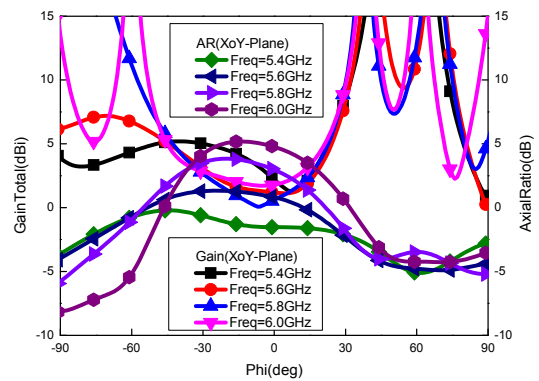
由图 3 (a) 可以看到，切除基板两端部分底面前后，对 2 端口阻抗特性的影响较大，但不会严重影响端口的匹配；但从图 3 (b) 和图 3 (c) 发现切除部分底面后的增益和轴比特性明显得到改善。这是因为切除后向部分导电底面使辐射能量泄露，从而减小后向增益；而前向部分底面切除后，且此时底面反射减弱，使表面波更好地被引导向前传播，能量更多向前集中。如果天线的几何尺寸不受限制，理论上可以通过增大介质基板增大 L_{c1} 和 L_{c2} 进步改善天线的工作特性。



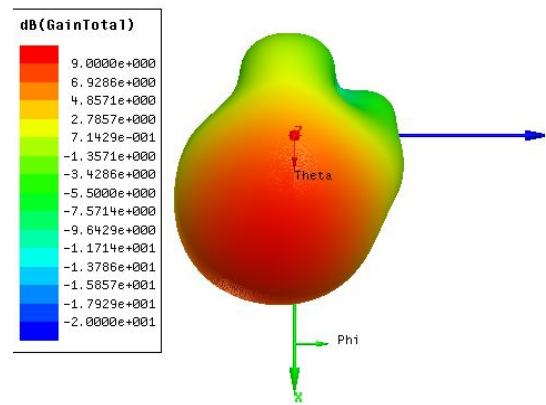
(a) 两端口的反射系数和端射前向轴比



(b) XoZ 面增益与轴比特性

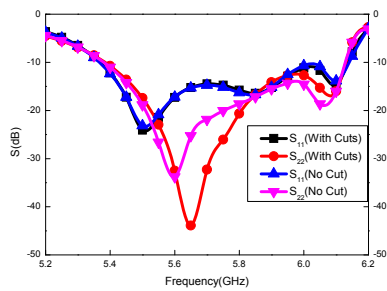


(c) XoY 面增益与轴比特性

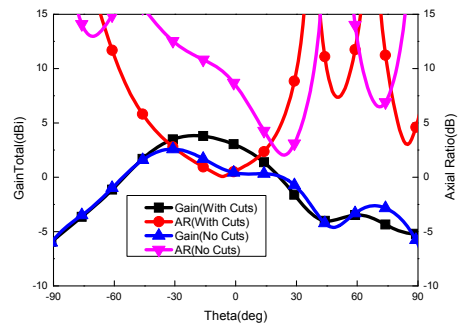


(d) 在求解中心频率 5.8GHz 处 3D 方向图

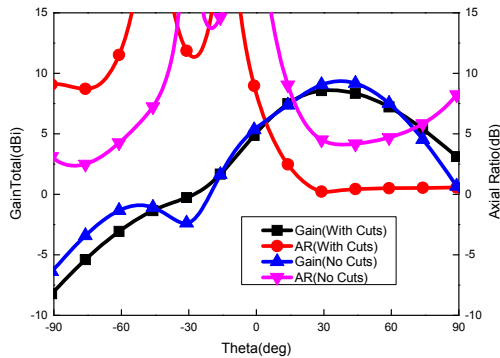
图 2 所设计天线的工作特性



(a) 两端口的反射系数随频率变化曲线



(c) XoY 面增益与轴比特性



(b) XoZ 面增益与轴比特性

图 3 切除基板两端部分底面前后天线工作特性

4 结论

本文设计了一种应用于 C 波段，具有宽频带宽波瓣圆极化准端射微带八木天线。该天线具有 740MHz (13%) 阻抗和轴比带宽，在工作频带内整个俯仰面和近 70° 范围水平面宽度具有较大的增益和良好的圆极化特性。

参考文献

- [1] J. Huang, Planar Microstrip Yagi Array Antenna *IEEE Antennas Propagat. SocrURSI Symp. Dig.*, June 1989, pp. 894-897
- [2] J. Huang, Microstrip Yagi Antenna for Mobile Satellite Vehicle Application Communication, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 39, July 1991, pp. 1024-1030.
- [3] S.K. Padhi and M.E. Bialkowski, An X band Aperture Coupled Microstrip Yagi Array Antenna for Wireless Communications, *Microwave and Optical Technology Letters*, vol: 18, Aug 5, 1998, pp. 331-335.
- [4] S. K. Padhi and M. E. Bialkowski, Parametric study of a microstrip Yagi antenna, *Proc. 2000 Asia-Pacific Microw. Conf.*, Sydney, Australia, Dec. 2000, pp. 715-718.
- [5] G. R. DeJean and M. M. Tentzeris, A new high-gain microstrip Yagi array antenna with a high front-to-Back (F/B) ratio for WLAN and millimeter-wave applications, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 55, No. 2, Feb. 2007, pp. 298-304.
- [6] Gerald R. DeJean, etc., Design and Development of a Novel Compact Soft-Surface Structure for the Front-to-Back Ratio Improvement and Size Reduction of a Microstrip Yagi Array Antenna, *IEEE Antennas and Wireless Propag. Letters*, Vol. 7, 2008, pp. 369-373.

作者简介:

叶喜红, 男, 博士, 主要研究领域为天线设计、计算电磁学等; 何芒, 男, 副教授、博士生导师, 主要研究领域为计算电磁学及其应用, 天线理论与技术等。