

基于 H 形缝隙耦合的宽带圆极化微带天线

张 辉 张 晓 发 闫 敦 豹 袁 乃 昌

(国防科技大学电子科学与工程学院 长沙 410073)

摘 要: 制作并测量了一种基于 H 形缝隙耦合的宽带圆极化微带天线, 并讨论了天线的各结构参数对天线性能的影响。测量结果表明: 通过 Wilkinson 功分器馈电, 可使天线驻波带宽达 47.5%, 轴比带宽达 50%, 方向图前后比达 -21dB, 实现了低后瓣宽带圆极化微带天线的设计。

关键词: 微带天线; 宽带圆极化天线; H 形缝隙耦合

中图分类号: TN822+.8

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)04-0991-03

Broadband Circularly Polarized H-Shaped Aperture-Coupled Microstrip Patch Antenna

Zhang Hui Zhang Xiao-fa Yan Dun-bao Yuan Nai-chang

(School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Design of broadband circularly polarized microstrip patch antenna which is coupled by two H-shaped apertures is presented in this paper. Based upon the proximity coupling feed by the Wilkinson power divider, the proposed antenna can have a standing wave bandwidth of about 47.5% and the axial-ratio value within 3dB is about 50%. The front-to-back ratio of the antenna radiation pattern is better than -21dB, which indicate the realization of the good circularly polarized and low backward radiation level characteristics.

Key words: Microstrip antennas; Broadband circularly polarized antenna; H-shaped aperture

1 引言

缝隙耦合微带天线最早是由 Pozar 于 1985 年提出^[1]。与传统的同轴馈电或侧馈相比, 缝隙耦合结构的主要优点是它的馈电网络和无源辐射单元分别装在两个介质板上, 可以分别进行优化设计, 并且辐射部分与馈线部分由接地板隔开, 馈线的寄生辐射弱, 交叉极化水平低, 更容易形成圆极化天线^[2]。

为了展宽天线的带宽, 辐射单元通常采用较厚的介质板, 从而需要增大缝隙尺寸来保证足够强的能量耦合, 但是随之而来的后向辐射增强, 因此, 利用较小的缝隙开槽面积得到较大耦合量具有重要的意义。Vivek 用实验的方法考察了几种不同的缝隙形状对耦合强度的影响^[3], 并指出与相同尺寸的矩形缝隙相比, H 形的缝隙可以得到比较大的耦合量。

本文制作并测量了一种基于 H 形缝隙耦合的宽带圆极化微带天线。两个 H 形缝隙正交放置, 通过一个 Wilkinson 功分器进行馈电, 得到阻抗带宽达 47.5%, 轴比带宽达 50%, 方向图前后比达 -21dB, 实现了低后瓣的宽带圆极化微带天线的设计。

2 天线设计

H 形缝隙耦合的宽带圆极化微带天线结构如图 1 所示, 由 Wilkinson 功分器对两个正交的 H 形缝隙进行馈电, 能量通过缝隙耦合到方贴片, 激励起幅度相等、相位差 90° 的 TM₀₁ 模和 TM₁₀ 模, 从而得到宽带圆极化微带天线。

天线正上方是由一介质板与空气层构成的天线罩, 对天线表面进行保护, 它对天线的方向图、辐射效率及增益都略有影响^[2]。在工程应用中, 当天线与其他的微波器件放置较

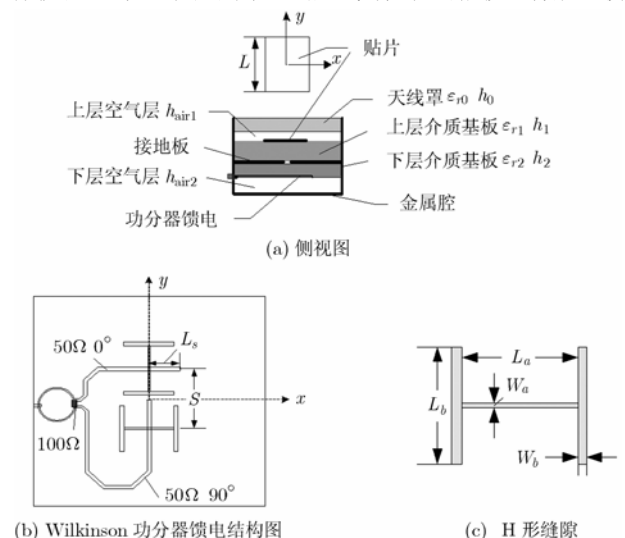


图1 天线结构

2005-06-20 收到, 2006-02-28 改回
国家 973 重大安全基础研究项目(51307)和国家自然科学基金(60401011)资助课题

近时,需要在天线的底部和四周用金属腔屏蔽,四周的金属腔仅对方向图略有影响,底部的金属板与天线之间由较厚的空气层隔离,它除了起到屏蔽作用外还可以抑制天线的后向辐射,提高天线效率。

天线主体是由两层介质板组成,如图1(a)所示。上层介质板的媒质参数影响天线的阻抗带宽:介电常数 ϵ_{r1} 越低,厚度 h_1 越厚,频带越宽,但是厚度的增加会使贴片与缝隙之间的耦合减弱,表面波增强,因此需折衷考虑;下层介质板一般采用较薄的高介电常数介质板,增强介质对场的束缚来减小后向辐射,同时减小背面馈电微带线宽从而减少馈线杂散辐射的干扰。上层介质板的上表面是边长为 L 的方形贴片,边长 L 决定天线的谐振频率,但是缝隙的耦合使其谐振长度与理论值 $\lambda_g/2$ 有较大的偏移,因此贴片尺寸需要与缝隙尺寸一起进行设计。两层介质板之间的接地板上刻蚀等长的正交放置的H形缝隙,如图1(c)所示。缝隙长度 L_a 和 L_b 对谐振频率和谐振电阻都有较大的影响:长度增长,谐振频率降低,谐振电阻增加,这表明缝隙长度越长,贴片与馈线之间能量耦合能力增强;缝隙宽度 W_a 和 W_b 对于天线的谐振电阻和谐振频率同样具有较大影响,只是影响程度远小于缝隙长度。通常为减少背向辐射,缝隙宽度一般限制在一个很小的值,固定 L_a 的长度,而主要通过适当改变 L_b 的长度来辅助调节谐振频率和谐振电阻。

由Wilkinson功分器对两个正交的H形缝隙馈电,能量通过缝隙耦合到方贴片,激励起幅度相等、相位差 90° 的 TM_{01} 模和 TM_{10} 模,从而形成宽带圆极化天线。天线的馈电结构如图1(b)所示,由一个Wilkinson功分器提供等幅激励,通过端口之间的馈线长度差 $\lambda_g/4$ 来获得 90° 的相位差。功分器使用 100Ω 的片状电阻隔离,确保两个端口之间相互隔离,吸收不平衡的反射能量。两个正交的H形缝隙之间的距离 S 越小,缝隙从馈线上耦合能量的能力越强,输入电阻越大,但两个缝隙之间的耦合也同时增大,从而降低了轴比带宽。文献[4]指出,两个缝隙之间的隔离度必须大于 20dB ,才能保证得到较宽的轴比带宽,因此,需要通过不断地调试来确定缝隙的位置。馈线终端开路短截线的长度 L_s 一般小于 $\lambda_g/4$,仅起调节输入阻抗的感抗的作用,随着 L_s 的增加,输入阻抗感性增强,反映到Smith圆图上为绕一等电阻圆向感性区域移动[4]。

本文在仿真软件HFSS9.0的辅助下,设计并测量了一个中心频率在 2.1GHz 的宽带圆极化微带天线。根据天线的尺寸及频率要求来选择合理的天线板材及媒质参数,按照中心频率设计Wilkinson功分器馈电电路并预估贴片的尺寸(约 $\lambda_g/2$)。在设计的过程中,首先通过观察驻波仿真值来修正贴片的尺寸,再通过观察Smith圆图的阻抗匹配特性来调节缝隙长度及馈线终端开路短截线的长度,由轴比的仿真结果来调节缝隙的位置。由于这种分层结构的几何参数较多,因此上述设计过程是一个不断修正不断往复的过程,直到得出一个

比较满意的仿真结果,并通过实际制作加以实现。

3 测量结果

这种分层媒质结构一般采用谱域矩量法分析,在谱域中利用TE波和TM波的等效电路将分层媒质问题转化为一维传输线问题,建立分层媒质的谱域并矢格林函数,再利用矩量法求解积分方程,便可求得天线的特征参数,详细理论分析见文献[5]。

为了使天线的带宽尽可能的宽,国外许多文献[6~8]使用空气或泡沫填充天线的上层介质板,但这种结构的抗压、抗高温能力差,制作公差较大,在工程应用中一般使用聚四氟乙烯材料。这里我们使用 $\epsilon_{r1}=2.65$, $h_1=5\text{mm}$ 介质板。天线的其他结构参数如下: $\epsilon_{r0}=3.5$, $h_0=3\text{mm}$, $\epsilon_{r2}=6$, $h_2=0.8\text{mm}$, $h_{\text{air}}=2\text{mm}$, $L=32\text{mm}$, $L_a=12\text{mm}$, $L_b=12\text{mm}$, $W_a=1\text{mm}$, $W_b=1\text{mm}$, $S=15.5\text{mm}$, $L_s=8\text{mm}$, $W_s=1.2\text{mm}$ 。

由矢量网络仪测量的天线的驻波特性如图2所示,出现两个相邻的谷点,中心频率谐振于 2.13GHz ,驻波带宽($s_{11}<-10\text{dB}$)为 $1.62\text{GHz}\sim 2.65\text{GHz}$,相对带宽达 47.5% 。一方面,缝隙相当于另一谐振器与贴片一起谐振,两者的谐振频率稍有差异构成双点谐振,展宽频带。另一方面,当频率偏离中心频率时,功分器的片状隔离电阻将两个端口的不平衡反射能量吸收,使反射到输入端口能量很小,从而得到较宽的驻波带宽。

天线的轴比测量值如图3所示,3dB轴比带宽为 $1.5\text{GHz}\sim 2.5\text{GHz}$,相对带宽达 50% ,在频率点 2.26GHz 处有一个突起的轴比值略大于 3dB ,轴比中心频率为 2GHz ,偏离驻波中心频率约 100MHz ,但由于频带比较宽,轴比频带基本上与驻波频带范围相吻合。由于对称的天线结构(包括馈电结构)将表面波和高次模引起的交叉极化抵消了,同时Wilkinson功分器的隔离度较好,端口间幅度误差很小,随着频率偏离中心频率,功分器的相位误差线性增加,但是与幅度误差相比,相位误差对轴比的影响较小[9],从而使天线在相当宽的频带内保持较好的轴比。

天线在频率 $f=2.1\text{GHz}$ 的H面归一化方向图测量值如图4所示,方向图前后比达 -21dB ,后瓣比较低。这是由于H形缝隙的耦合能力比较强,可以利用较小的缝隙开槽面积得到较大耦合能量,同时天线底部的金属板除了起到屏蔽作用外还可以抑制天线的后向辐射,提高了天线效率。

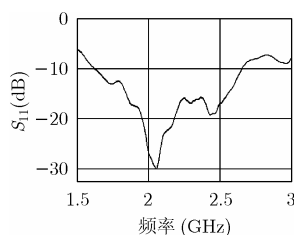


图2 天线驻波特性测量值

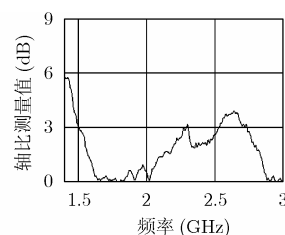
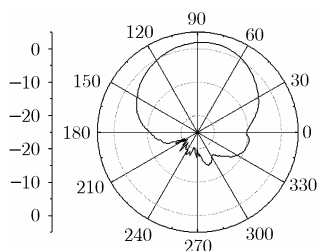


图3 天线的轴比测量值

图4 天线H面方向图测量值($f=2.1\text{GHz}$)

4 结束语

通信和雷达系统的发展对天线提出了愈来愈高的要求。在通信系统中,为了增加通信容量,要求天线为圆极化工作。能够实现圆极化工作的天线形式有多种,微带天线由于其馈电网络、辐射单元的设计比较灵活,加工制作成本低,便于批量生产等优点,因此,用微带天线实现圆极化已经得到广泛的关注。

为了展宽微带天线的带宽,已有不少学者进行了研究。近年来缝隙耦合式微带天线已显示出其明显的优势,它采用层状结构的馈电技术,可以得到比较宽的轴比带宽,但随之而来表面波和高次模严重制约了天线的轴比带宽。本文制作并测量了一种基于H形缝隙耦合的宽带圆极化天线,天线驻波带宽达47.5%,轴比带宽达50%,方向图前后比达-21dB,实现了低后瓣宽带圆极化微带天线的设计。

参考文献

- [1] Pozar D M. A microstrip antenna aperture coupled to a microstrip line. *Electronics Letters*, 1985, 21(1): 49-50.
- [2] 张均,刘克诚等著. 微带天线理论与工程. 北京:国防工业出版社, 1988: 237-311.
- [3] Rathi V, Kumar G, and Ray K P. Improved coupling for

aperture coupled microstrip antennas. *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, 1996, 44(8): 1196-1198.

- [4] Karmakar N C and Bialkowski M E. Circularly polarized aperture-coupled circular microstrip patch antennas for L-band applications. *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, 1999, 47(5): 933-940.
- [5] Pollar K M. A reciprocity method of analysis for printed slot and slot-coupled microstrip antennas. *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, 1986, 34(8): 1439-1446.
- [6] Gao Shi-Chang, Li Le-Wei, Leong Mook-Seng, and Yeo Tat-Soon. Wide-band microstrip antenna with an H-shaped coupling aperture. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 2002, 54(1): 17-27.
- [7] Pozar D M and Duffy S M. A dual-band circularly polarized aperture-coupled stacked microstrip antenna for global positioning satellite. *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, 1997, 45(11): 1618-1626.
- [8] Wang J, Fralich R, Wu C, and Litva J. Multifunctional aperture coupled stacked antenna. *Electronics Letters*, 1998, 26(10): 2067-2068.
- [9] Targonski S D and Pozar D M. Design of wideband circularly polarized aperture-coupled microstrip antenna. *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, 1993, 41(2): 214-220.

张辉: 女, 1982年生, 博士, 研究方向为微带天线、分形天线、光子晶体等方面的研究。

张晓发: 男, 1978年生, 博士, 研究方向为微波电路及微波测量。

闫敦豹: 男, 1976年生, 博士, 研究方向为微波光子晶体、微带天线设计等。

袁乃昌: 男, 1965年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为微波毫米波电路、相控阵天线、电磁散射及超宽带技术等。