

文章编号:1001—893X(2010)03—0073—04

一种结构紧凑的毫米波微带阵列天线^{*}

官正涛,李 峰,赵 璐

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘 要:提出了一种波导带状线转换器,应用于毫米波多层微带阵列天线设计,减小了天线的厚度,并增加了天线的效率和可靠性。与采用传统的波导微带转换器、微带同轴转换器及同轴带线转换器的级联转换方案的天线相比,该多层微带阵列天线的厚度缩小了 90%,实测为 1.2 mm,天线效率增加了 14%,实测为 24%。

关键词:毫米波;微带阵列天线;波导带线转换器;天线效率

中图分类号:TN82 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001—893x.2010.03.016

A Compact Millimeter Wave Microstrip Array Antenna

GUAN Zheng-tao, LI Feng, ZHAO Lu

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: A waveguide to stripline transition is used in the design of millimeter wave(MMW) multilayer microstrip array antenna to reduce the thickness of antenna and enhance its efficiency and reliability. Compared with the antenna using the series scheme of waveguide to microstrip line transition, microstrip to coaxial-line transition, and coaxial-line to stripline, the multilayer microstrip array antenna using the scheme of waveguide to stripline transition has the thickness of 1.2mm with the decrease of 90%, and the efficiency of 24% with the increase of 14%.

Key words: millimeter wave; microstrip array antenna; waveguide to stripline transition; antenna efficiency

1 引 言

在毫米波频段,微带阵列天线具有轻质、低剖面、低成本、易于加工和批产性好的特点,因而受到了广泛关注。为了降低馈线损耗和避免馈线不连续性辐射对天线方向图的影响,各辐射单元采用缝隙耦合馈电形式,馈电网络与辐射贴片不同层。并且馈电网络可以单独排列,空间较大,馈线可以做得较宽,损耗更小。馈电网络的不连续性,被辐射单元地板屏蔽,无法前向辐射,避免了对天线前向方向图的影响^[1-2]。

微带阵列天线工程应用的最大限制是馈线损耗

大,天线效率低。天线口径越大,效率越低,其缺点越明显。在系统可以接受的天线效率前提下,采用强制馈电方式,牺牲天线增益,换取天线的低剖面和低成本特性。为了尽可能地降低馈线损耗,缩短馈线长度,天线输入端放在阵面的中心部位,馈线的总长度才最短。与天线输入端放在阵面的边缘相比,端口放在中心,馈线长度缩短了 1/3。

基于上述情况,馈线必须采用带状线形式。并且,采用带状线馈电还能避免微带线的色散问题,即改变频率,各单元馈电相位几乎不受影响,有利于保证频带内天线性能的一致。在 Ka 频段,天线与射

^{*} 收稿日期:2009—09—28;修回日期:2009—11—04
基金项目:中国电子科技集团公司第十研究所基础技术基金项目(H06003.2)
Foundation Item: The Basic Technology Foundation of the 10th Institute of CETC (No. H06003.2)

频前端连接一般采用波导接口。因此,天线还需要将带状线过渡到标准波导的转换器。

在前述的阵列天线应用下,带状线到波导的过渡是通过带状线过渡到同轴线,再过渡到微带线,最后微带线通过传统的 E 面探针方式过渡到波导。这种方案不仅结构复杂,损耗大,加工装配难度大,可靠性低,并且还破坏了微带阵列天线的低剖面特性。文献[3]提出一种微带波导转换器,有别于传统的波导—探针—微带线过渡,传输准 TEM 波的微带线末端开路位,激励位于波导口的微带贴片,形成 TM_{01} 模,再通过微带贴片激励起波导主模 TE_{10} 模,即利用一个匹配单元进行模式转换,从而完成不同模式工作的传输线的过渡。

本文提出一种波导带状线转换器,具有插入损耗低、结构简单和易于安装的特点。用于 8 mm 频段的口径尺寸为 14 个波长的多层微带阵列天线,实现了 24% 的天线效率,并且天线厚度减少到 1.2 mm。

2 天线组成及原理

天线由辐射单元、馈电网络和波导带线转换器 3 部分组成。当天线工作于发射状态时,电磁波通过波导带线转换器将能量注入馈电网络,馈电网络通过和差器、七级功率分配器将能量同相位地注入 16×16 个辐射单元,辐射单元将导行电磁波转换成自由空间传播的电场波,将能量辐射出去,控制注入各辐射单元的能量比,各单元的辐射电场波在空间叠加,可以得到预期的方向图。当天线工作于接收状态时,情况与之相反。

3 辐射单元

辐射单元为微带贴片,由地板上的缝隙馈电,而缝隙由与微带贴片共地板的带线激励。由于带线地板上的缝隙破坏了带线的对称性,缝隙在带线两地板间激励平行平板模式,大大增加了单元间的互耦,严重恶化天线性能^[4]。为了避免这种情况发生,在缝隙周围两地板间加短路销钉,销钉的间距要足够小,以至于平行平板模式在销钉和上下地板间转化为波导的模,从而形成一个谐振腔,而穿过销钉的带线传播 TEM 模则不受影响。在印制板加工工艺中,用金属化孔实现两地板间短路是很容易的。对微带贴片切角可形成圆极化辐射单元,辐射单元的 HFSS 模型如图 1 所示。

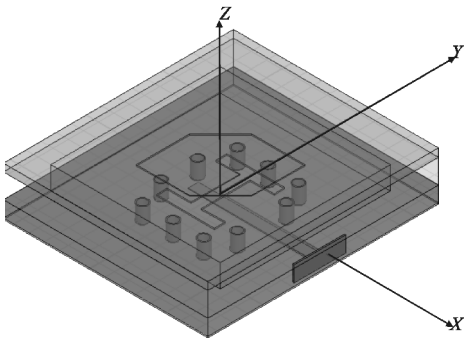


图 1 辐射单元 HFSS 模型

Fig. 1 HFSS model of the radiating unit

4 馈电网络及波导带线转换器

馈电网络在阵列天线中起到将能量按照口面幅相分布的要求分配到各个辐射单元中的作用。对于 16×16 元的大阵(图 2)进行全尺寸的仿真目前硬件水平还达不到,只能对各个局部仿真。

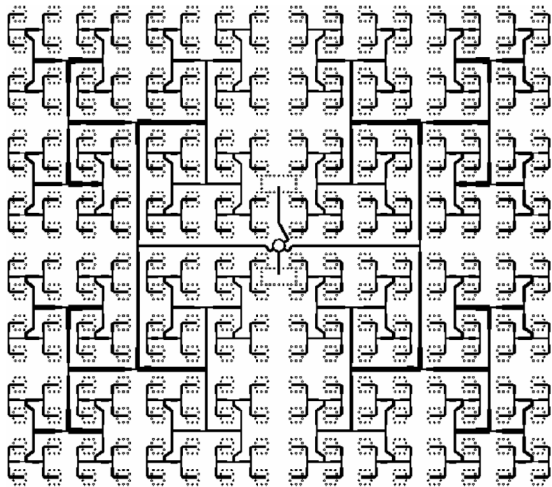


图 2 馈电网络示意图

Fig. 2 Chart of the feeding network

波导带状线转换器结构如图 3 所示,主要由波导短路面、带状线、匹配单元(微带贴片)、金属化孔和标准波导组成。带状线末端开路激励匹配单元,等效于微带天线的电磁耦合馈电,在波导短路面和匹配单元之间形成 TM_{01} 模。连接带状线上下两地板的金属化孔,既能不影响带状线的 TEM 模式传输,又能截止平行平板模式电磁波传播,即波导短路面和金属化孔形成一个背腔,这就限制了能量只能进入波导传输。由于背腔中的激励起的 TM_{01} 模

式,能量集中在匹配单元两端与波导宽边形成的缝隙周围。并且两缝隙内的电场方向一致,都垂直于波导宽边,与波导内传输主模 TE_{10} 模电场方向匹配,从而激励波导主模传输。

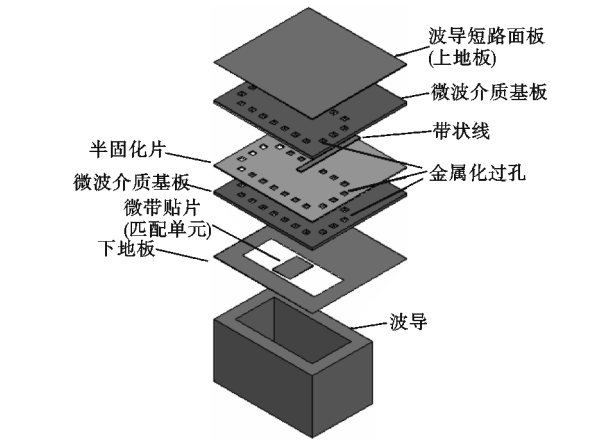


图 3 波导带状线转换器示意图

Fig. 3 Chart of the waveguide to stripline transition

5 实验结果与分析

制作了一个 16×16 的面阵,方位面按 0.9 个波长等间距分布,俯仰面按 0.8 个波长等间距均匀分布。天线的方位和差方向图如图 4 所示,波束宽度为 4.2° ,与设计值 4.29° 只有 0.09° 的差距。副瓣电平实测值为 -19.13 dB ,与设计值 -23 dB 有 3.87 dB 的不同。这主要是由于天线表面不平度达到了 0.1 mm 的缘故,它将引起最大 2 dB 的恶化。余下的 1.87 dB 估计是辐射贴片和馈电结构之间的定位误差引起的,从轴比测试数据来看它直接导致单元驻波谐振频率偏低,从而造成各单元馈电相位和幅度出现偏差。

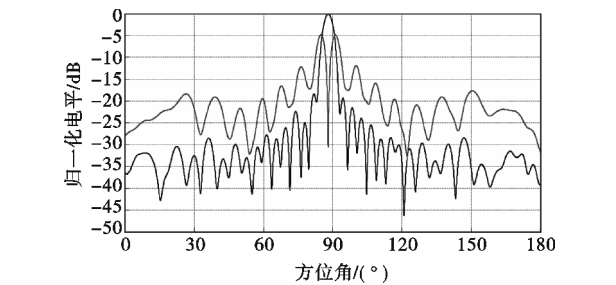


图 4 天线方位和差方向图

Fig. 4 Pattern of the antenna in the azimuth plane

俯仰面副瓣电平实测值为 -12.79 dB ,如图 5 所示,与均匀分布的理论值 -13.34 dB 相差 0.55 dB 。 0.1 mm 不平度将导致最大 0.72 dB 的恶化。

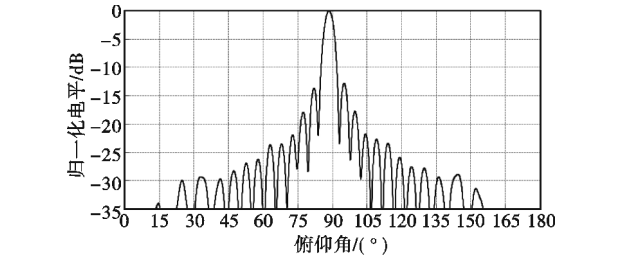


图 5 天线俯仰方向图

Fig. 5 Pattern of the antenna in the elevation plane

在 500 MHz 带宽内天线平均增益约为 27.3 dBi ,如图 6 所示,折算成效率约为 24% 。馈电网络插入损耗约 5 dB ,它构成了微带阵列天线的主要损耗,在材料性能没有改善之前,该天线达到 30% 的效率是十分困难的。

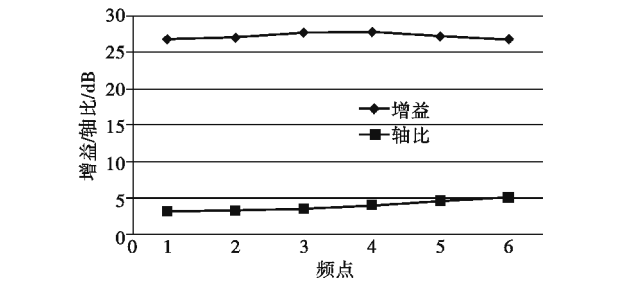


图 6 天线轴比和增益频响特性

Fig. 6 Frequency property of the axial ratio and gain of the antenna

6 结 论

本文提出一种波导带状线转换器,用于 8 mm 频段的多层微带阵列天线,提高了天线效率和稳定性,并且还明显的降低了天线的厚度,使天线结构更紧凑和轻便。该天线口径尺寸为 14 个波长,实现了 24% 的天线效率。天线物理厚度为 1.2 mm ,口径与厚度之比达到 $100:1$,易于与平台共形,具有极大的应用前景。该天线应用于实际系统,最大限度地降低了系统的体积和重量,具有明显的技术优势。

参考文献:

[1] TESHIROGI T, SEKINE Y, BABA N. Novel milli-

meter-wave planar arrays with high radiation efficiencies[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation,2005,53:778—785.

[2] IIZUKA H, NISHIKAWA K. Millimeter-wave microstrip array antenna for automotive radar systems [J]. R&D Review of Toyota CRDL,2002,37(2):7—12.

[3] HIDEO LIZUKA, TOSHIAKI WATABABE, KAZUO S. Millimeter-wave microstrip line to waveguide transition fabricated on a single layer dielectric substrate[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation,2000,48:13—18.

[4] THOMAS A MILLIGAN. Modern antenna design [M]. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. , 2005.

作者简介:

官正涛(1978—),男,四川人,2004年毕业于西南交通大学电磁场与微波技术专业,一直从事天线设计与测量工作,主要研究领域包括多波束天线、波导裂缝阵天线、微带阵天线、微带反射阵天线等,曾获部级成果一等奖一项;

GUAN Zheng-tao(male) was born in Sichuan Province, in 1978. He graduated from Southwest Jiaotong University in 2004. His research interests include multibeam antenna, waveguide slotted antenna, microstrip array antenna, microstrip reflectarray antenna.

Email:zhtguan@163. com

李 峰(1972—),男,四川安县人,高级工程师,主要研究领域包括波导缝隙阵列天线、微带阵列天线、透镜天线及遗传算法在天线设计中的应用等;

LI Feng(male) was born in Anxian, Sichuan Province, in 1972. He is now a senior engineer. His research interests include waveguide slot array antenna, microstrip array antenna, lens antenna, and application of GA in the antenna design.

赵 璐(1982—),女,河南范县人,助理工程师,主要研究领域包括微带阵列天线、卫星通信天线、毫米波全向天线等。

ZHAO Lu(female) was born in Fanxian, Henan Province, in 1982. She is now an assistant engineer. Her research interests include microstrip array antenna, satellite communication antenna and MMW antenna.