

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106302

一种带状线 L 型探针馈电的微带贴片天线设计

陈蓬旭 李建新

(南京电子技术研究所 南京 210039)

摘要: 提出了一种基于带状线结构的探针耦合馈电的微带贴片天线。天线工作在 X 波段,贴片形状为正方形,宽度为 9.3 mm;馈线部分经由微带线转带状线结构后弯折,上部形成 L 型探针的结构。在 X 波段 $VSWR < 2$ 的带宽约为 16.30%。在垂直方向的增益约为 8.78 dB,交叉极化比约为 33.20 dB。在这个天线的基础上设计了类似结构的 PIFA 天线,对天线带宽提升到 19.1%的同时,使得贴片垂直方向的交叉极化比约为 45.3 dB,与之前提出的天线相比该项指标提升超过了 10 dB。在实际应用方面,这种天线由于极化隔离度较好,则不容易受到其他天线的干扰,具有一定的应用价值。

关键词: 宽带微带贴片天线;探针耦合;交叉极化比

中图分类号: TN820 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Design of microstrip patch antenna fed by stripline L-probe

Chen Pengxu Li Jianxin

(Nanjing Research Institute of Electronic Technology, Nanjing 210039, China)

Abstract: A microstrip patch antenna fed by a stripline probe is proposed. The antenna works in X-band, and the patch is square in shape with a width of 9.3 mm; the feeder is bent through the microstrip line to stripline structure, and the upper part forms an L-shaped probe structure. The bandwidth of $VSWR < 2$ in X-band is about 16.30%, the gain in vertical direction is about 8.78 dB, and the cross polarization ratio is about 33.20 dB. On the basis of this antenna, a PIFA antenna with similar structure is designed. The antenna bandwidth is increased to 19.1%, and the vertical cross polarization ratio of the patch is about 45.3 dB, which is increased by more than 10 dB. In practical application, this kind of antenna is not easy to be interfered by other antennas because of its good polarization isolation.

Keywords: broadband microstrip patch antenna; probe coupling; cross polarization ratio

0 引言

自 20 世纪 50 年代 Dechamp 教授提出以来,微带贴片天线由于其具有结构紧凑、剖面低、易共型易集成,且便于实现多种极化等优点,受到了人们的青睐,已经广泛应用于相控阵雷达、射电天文、通信和导航等现代装备中^[1-2]。微带贴片天线的辐射原理与缝隙天线类似,根据理论假设,微带贴片与接地板之间可以等效为一段上下为电壁,四周为磁壁的漏波空腔,由于基板厚度极小,可近似认为其两条辐射边的电场垂直于贴片与地并且等幅反向。两条辐射边的公式可以写成: $\vec{M}_s = -\vec{n} \times \vec{E}$, 其中 \vec{n} 为两侧边的法向量,由于两侧边法向量反向,故两条辐射边的等效磁流源为同向的,辐射场由这两条等效磁流源辐射产生。

虽然微带天线具有广阔的应用前景,但是其本身的窄带缺陷也是不容忽视的。多年来人们在展宽带宽主要使用

的方法包括使用较厚但是相对介电常数较低的基片、贴片开槽、耦合馈电以及增加背腔等。文献[3]提出了探针耦合的贴片天线馈电方式。探针在辐射元的下方弯折,形成 L 字型,与贴片所在平面水平,通过电磁耦合的方式对贴片馈电。与传统的探针直馈贴片相比这种方法能够提升带宽,其原因如下:探针将引入一个电抗^[4],其与空腔谐振电路是串联的关系,设为 jX_p 。在探针直馈贴片天线中该电抗仅呈感性。而在使用探针耦合馈电的贴片天线中,由于探针与辐射贴片之间不直接接触,二者之间产生电容。通过调整探针横向部分长度,宽度以及其与贴片的距离可以有效改变这一电容分量,从而抵消探针引入的电感分量,产生一个新的谐振点。总而言之,L 型探针垂直部分产生感抗,水平部分和贴片之间产生容抗,两者相互作用产生谐振,使天线呈现宽频带或者多频带^[5]。

这种方式能有效提升带宽,并且结构简单易于加工,很

收稿日期:2021-04-06

有实用价值。文献[6]中将两组L型探针用于圆形贴片在同一频段获得两种不同的激励模式,制成了模式可重构天线。文献[7-8]中则将探针耦合的方式用于给开了U型槽或者E型槽的堆叠贴片天线馈电,在L波段的带宽提升到了30%,而交叉极化比在20 dB左右;而用于超表面的L型探针耦合馈电贴片天线也被提出^[9-10]。此外,探针形式也在不断地改变,文献[11-13]中则分别设计了F型和T型的探针结构,两种方法都能有效将带宽展宽,但是从辐射方向图来看,在E面或者H面对于交叉极化比都在20 dB左右;在文献[14-16]中则提出了弯折型探针的结构,制成了单极化或者双极化的天线,探针在横切面呈现“N”字型,在L波段的带宽能提升到30%,带内的交叉极化比也普遍提升到20~30 dB左右。这些结构皆由文献[3]改进而来,可以有效地展宽带宽和提升交叉极化比。2004年,文献[17]中提出了一种适用于印制电路技术的L型探针结构。在2011年和2012年,文献[18-19]中对此进一步改进,将L型探针直接印制在基片上,进一步简化了加工的难度,制成了工作于S波段的单极化微带贴片天线,这种天线VSWR<2的带宽得到进一步提升,带内交叉极化比也已经达到30 dB以上的优良特性。

本文提出了一种工作于X波段的微带贴片天线。探针为带状线形式的L型探针,在周围为了降低阵列之间的耦合加入了金属隔离墙结构,该天线的工作主频在9.6 GHz,在X波段的相对带宽在16.30%,在9.6 GHz的主极化增益8.78 dB,垂直方向上的交叉极化比达到了33.2 dB。在已有天线的基础上,在零电场点增加短路墙,将天线的尺寸缩小了1/2,通过仿真,其带宽增加到19.1%,垂直方向的交叉极化比约为45.3 dB。

1 微带天线的结构设计与仿真

1.1 结构设计

天线工作主频为9.6 GHz。其结构如图1所示,SMA接头由地板中央的开孔接入,经由微带线转带状线结构后弯折,上部形成类似L型探针的结构。为了保证探针馈电,带状线的两层地面的最上方部分需要切削一小块。带状线部分分为4段,前3段的线宽都是0.9 mm,最上方充当L型探针馈电部分的一段宽度为1.1 mm。带状线上下两层的介质板的材料的相对介电常数为2.2,厚度为20 mil。贴片为正方形,边长为9.3 mm。为了降低天线之间的互耦干扰,在周围安装金属隔离墙。天线的关键参数如表1所示。

表1 天线参数

参数名称	l_p	l_4	w_4	hs_1
数值/mm	9.3	4.2	1.1	0.6

1.2 仿真结果分析

经电磁仿真软件HFSS的分析,得到天线VSWR随频

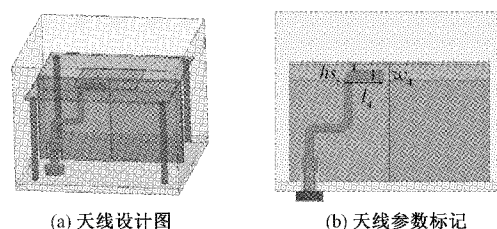


图1 天线设计图与参数标记

率变化的曲线如图2所示。关键数据如下:VSWR<2的带宽约为16.30%。天线的输入阻抗随频率变化的曲线如图3所示,可以看到,在9 GHz与10 GHz附近输入阻抗比较接近馈线的特性阻抗:50 Ω,从而形成两个阻抗匹配点。

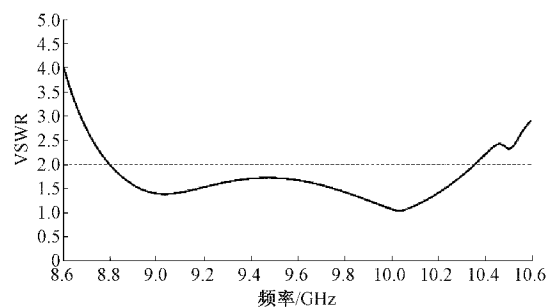


图2 天线的VSWR曲线

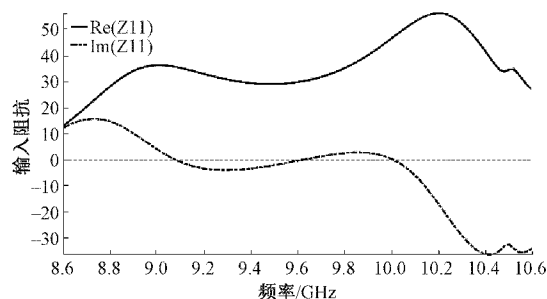


图3 天线的输入阻抗曲线

天线阵元的工作频率为9.6 GHz,辐射方向图如图4所示,可以看到在垂直方向上,E面和H面的交叉极化比达到了33.2 dB,其余方向都超过了20 dB。

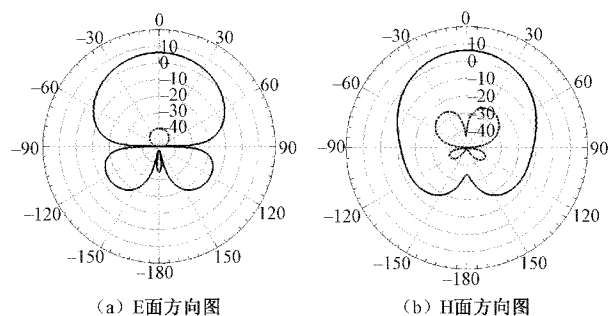


图4 天线方向图

2 PIFA 天线的设计与仿真

2.1 结构设计

在上述天线的基础上,在贴片中线加入短路墙,形成镜像结构,天线的体积缩小了 1/2。其结构示意图如图 5 所示,设计参数如表 2 所示。

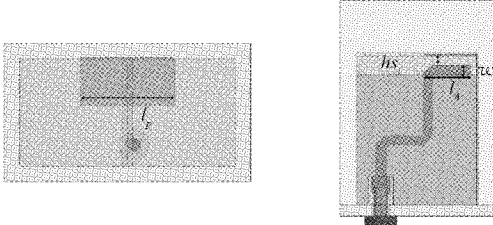


图 5 PIFA 天线侧视图与俯视图

表 2 PIFA 天线参数

参数名称	l_p	l_4	w_4	h_{s1}
数值/mm	9.3	4.2	0.9	0.8

2.2 仿真结果分析

根据 hfss 的仿真结果分析,得到天线的 VSWR 随频率变化曲线如图 6 所示,输入阻抗曲线则如图 7 所示,可以看到天线 VSWR < 2 的带宽达到了 19.1%。

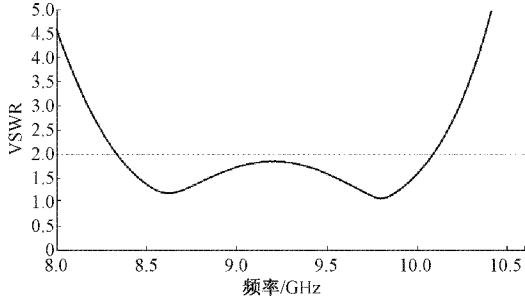


图 6 PIFA 天线的 VSWR 曲线

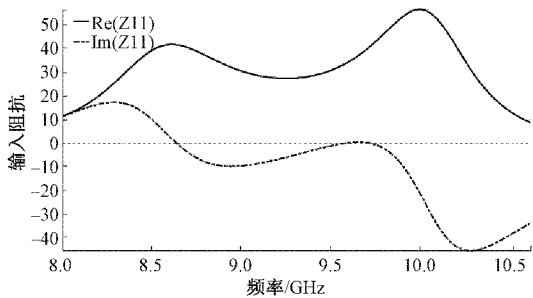


图 7 PIFA 天线的输入阻抗曲线

PIFA 天线的方向图如图 8 所示,可以看到,在 E 面和 H 面的垂直方向上交叉极化比都为 45.3 dB,相比之前提出的微带贴片天线结构增加了超过了 10 dB。但是由于缺少对 H 面的交叉极化场的抑制,导致 H 面除垂直方向以

外的点交叉极化分量较大。不过全向的交叉极化比在 20 dB 以上。

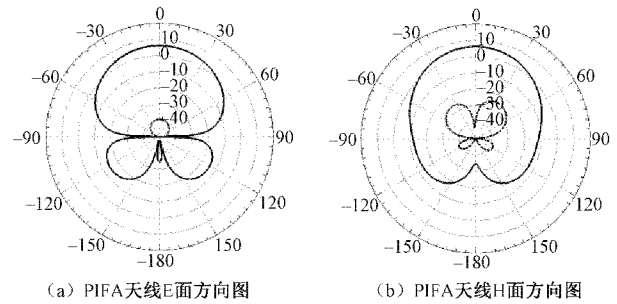


图 8 PIFA 天线的方向图

2.3 参数对抗匹配的影响

根据如图 5 所示的天线结构,在同轴线连接的部分存在一个带状线与微带线相转化的部分,根据理论计算,当与底部 50 Ω 同轴馈线相连接时,若微带线与带状线的特征阻抗都是 50 Ω ,且天线终端的输入阻抗也是 50 Ω ,则阻抗完全匹配,带状线以及微带线的宽度并不需要再次调整。基于此计算的微带线宽度约为 1.6 mm,带状线宽度为 0.87 mm。但由于本设计为电磁耦合馈电,引入额外的谐振回路,需对一些设计参数进行调整。本文主要通过调整带状线最顶部一段,也就是探针的横向部分的长度 l_4 以及宽度 w_4 和贴片与馈线的距离 h_{s1} 来进行阻抗匹配,这些参数对输入阻抗的影响是相互独立的。

1) l_4 对抗匹配的影响

首先考察带状线最后部分的长度 l_4 对抗匹配情况的影响, l_4 的长度决定了输入阻抗的大小,其长度变化与 VSWR 的关系如图 9 所示。在 $l_4 = 4.2$ mm 的时候匹配程度较好,如图 9 中加粗黑实线所示。

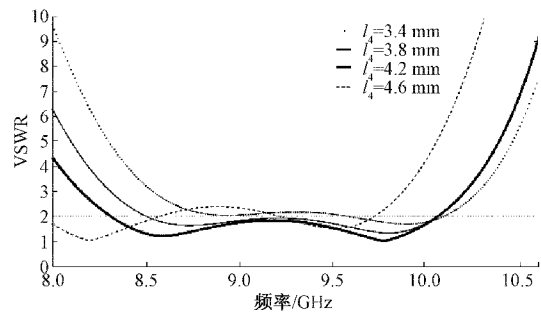


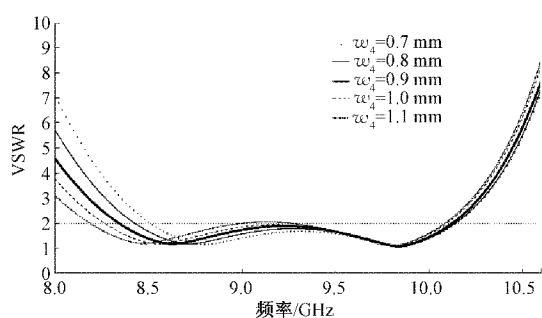
图 9 l_4 对 VSWR 的影响

2) w_4 对抗匹配的影响

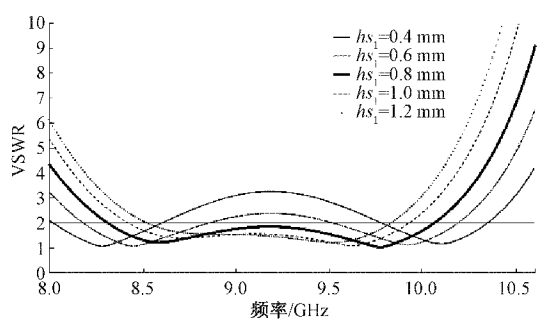
通过调整最后一段的宽度 w_4 ,可以进一步可以进行阻抗匹配。随着线宽的的改变,由端口看进去的输入阻抗也会随之改变,当输入阻抗接近外部馈线的特征阻抗的时候会出现谐振点,最终选择 $w_4 = 0.9$ mm。其 VSWR 曲线如图 10 中加粗黑实线所示。

3) h_{s1} 对抗匹配的影响

馈线与贴片之间的距离 h_{s1} 对带宽展宽也有影响,当

图10 线宽 w_1 对VSWR的影响

h_{s1} 增大的时候,带宽会稍微变宽,但是电容的增大会使得阻抗失配,使得驻波变大,需要在二者之间取得平衡, h_{s1} 对 VSWR 的影响如图 11 所示。最终选择 $h_{s1} = 0.8$ mm, 其 VSWR 曲线如图 11 中加粗黑实线所示。

图11 h_{s1} 对VSWR的影响

3 结 论

本文首先设计了一种基于带状线馈线结构的天线阵元,相对带宽在 16.30%左右,交叉极化比超过了一 30 dB。具有体积较小,结构简单易于加工的优点。在这个天线的基础上设计了类似结构的 PIFA 天线,对天线带宽有一定提升的同时,使得贴片垂直方向的交叉极化比提升超过了 10 dB。

在实际应用方面,这种天线由于极化隔离度较好,则不容易受到其他天线的干扰,具有一定的应用价值。

参考文献

- [1] 邱玲,姚振东,刘语嫣. 宽带微带天线阵的研究与设计[J]. 电子测量技术,2016,39(9):26-30.
- [2] 李迎松,杨晓冬,刘乘源,等. 共面波导馈电的超宽带天线研究[J]. 电子测量与仪器学报,2010,24(9):819-823.
- [3] GUO Y X, LUK K M, LEE K F. L-probe proximity-fed short-circuited patch antennas [J]. Electronics Letters,1999,35(24):2069-2070.
- [4] KOVITZ J M, RAHMAT-SAMII Y. Using thick substrates and capacitive probe compensation to enhance the bandwidth of traditional CP patch antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014,

62(10):4970-4979.

- [5] 尤伟. 宽频带高增益天线的设计与实现[D]. 苏州:苏州大学,2010.
- [6] YANG S S, LUK K M. A wideband L-probe fed patch antenna for pattern reconfiguration [C]. 2005 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Washington, DC:IEEE,2005: 581-584.
- [7] 叶剑锋,国强,王玉峰. L形探针耦合馈电E形层叠微带天线[J]. 哈尔滨理工大学学报,2013,18(4):94-97.
- [8] EL-HASSAN M A, HUSSEIN K F A, FARAHAT A E, et al. Performance assessment of straight and L-shaped probe fed U-slotted patch antenna arrays for SAR applications [C]. 2017 Intl Conf on Advanced Control Circuits Systems(ACCS) Systems & 2017 Intl Conf on New Paradigms in Electronics & Information Technology, Alexandria, Egypt: IEEE,2017: 232-238.
- [9] LIU W E I, CHEN Z N, QING X. Broadband low-profile l-probe fed metasurface antenna with TM leaky wave and TE surface wave resonances [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2020, 68(3):1348-1355.
- [10] LIU W E I, CHEN Z N, QING X. Broadband circularly polarized metasurface antenna fed by a rotated l-shaped probe [C]. 2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Copenhagen, Denmark:IEEE,2020: 1-4.
- [11] OOIB L, LEE C L, KOOI P S, et al. A novel F-probe fed broadband patch antenna[C]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Boston, MA, USA:IEEE,2001: 474-477.
- [12] JIN Y Y, DU ZH W. Broadband dual-polarized F-probe fed stacked patch antenna for base stations [J]. IEEE Antennas and Propagation Letters, 2015, 14(1):1121-1124.
- [13] MAK C L, LEE K F, LUK K M. Broadband patch antenna with a T-shaped probe[J]. IEE Proceedings-Microwaves, Antennas and Propagation,2000,147(2): 73-76.
- [14] LAI H W, LUK K M. Wideband stacked patches antenna fed by a meandering probe[C]. The European Conference on Wireless Technology, Paris: IEEE, 2005: 75-78.
- [15] LAI H, LUK K. Dual polarized patch antenna fed by meandering probes[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation,2007,55(9):2625-2627.
- [16] MAK K M, GAO X, LAI H W. Low cost dual polarized base station element for long term evolution [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014,

- 62(11):5861-5865.
- [17] XUE Q, LIU Y F, SHUM K M. Printed L-probe antenna on multi-layered PCB[C]. IEEE Antennas and Propagation Society Symposium, 2004, Monterey, CA, USA;IEEE,2004: 2281-2284.
- [18] LU J, KUAI Z, ZHU X. A novel co-planar L-probe designed to feed patch antenna[C]. 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), Spokanc, WA;IEEE,2011: 3103-3105.
- [19] LU J, KUAI Z, ZHU X. Broadband suspended patch antenna fed by co-planar double L-probes[C]. 2012 IEEE International Workshop on Antenna Technology (iWAT), Tucson, AZ, USA;IEEE,2012: 80-83.

作者简介

陈蓬旭,在读研究生,主要研究方向为微带贴片天线的设计。

E-mail:chenpengxu2@163.com

李建新,工学硕士,研究员,主要研究方向为相控阵天线和反射面天线。

E-mail:13851480503@139.com