



小型化缝隙加载圆极化及宽带微带贴片天线设计

杨放,卫铭斐,王民,王纯,周军妮

(西安建筑科技大学信息与控制工程学院 西安 710055)

摘要:提出了一种十字形缝隙加载的小型宽带及圆极化微带贴片天线的设计方法。该天线通过在方形贴片上加载一个大尺寸的十字形缝隙实现天线的尺寸缩减,介质基片采用由FR4和空气层组成的层叠结构,在缝隙中嵌入L型枝节,只需通过调整枝节上同轴线馈电点的位置来获得圆极化或宽带阻抗匹配。ANSYS HFSS仿真分析表明,天线的圆极化带宽($AR \leq 3$ dB)为1.7%,阻抗带宽($VSWR \leq 2$)为5.8%,天线在宽带范围内具有稳定的增益,峰值增益为7.8 dB,同时贴片面积缩减了52.3%。改变馈电点的位置可调节两个谐振频率使天线阻抗带宽达到9.4%,比传统的微带贴片天线阻抗带宽提高了114%。

关键词:微带天线;圆极化;宽带天线;缝隙加载;尺寸缩减

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015222

Design of Compact Circularly-Polarized and Broadband Slot-Loaded Microstrip Patch Antenna

Yang Fang, Wei Mingfei, Wang Min, Wang Chun, Zhou Junni

(School of Information and Control Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology,
Xi'an 710055, China)

Abstract: The design method of a compact cross slot broadband or and circularly polarized microstrip patch antenna was presented. A wide cross-shaped slot was embedded on the square patch for size reduction. The substrate was a stacked structure of an FR4 and an air layer. An L-shaped strip was added in the slot and only by changing the feeding point on the strip, circular polarization or broad impedance bandwidth can be obtained. ANSYS HFSS simulation results show that the circular polarization bandwidth ($AR \leq 3$ dB) and impedance bandwidth ($VSWR \leq 2$) were 1.7% and 5.8%, respectively. The antenna had stable power gain within a broad bandwidth and its peak power gain was 7.8 dB. Meanwhile, 52.3% patch area reduction can be achieved. The impedance bandwidth can be improved to 9.4% by varying the feeding location and adjusting the two resonance frequencies of the antenna. Compared with traditional microstrip patch antennas, the impedance bandwidth was improved 114%.

Key words: microstrip antenna, circular polarization, broadband antenna, slot loading, size reduction

收稿日期:2015-06-07;修回日期:2015-09-04

基金项目:陕西省自然科学基金项目(No.2013JQ8003)

Foundation Item: Shaanxi Provincial Natural Science Foundation Project (No.2013JQ8003)

论文引用格式:杨放,卫铭斐,王民等.小型化缝隙加载圆极化及宽带微带贴片天线设计.电信科学,2015222

Yang F, Wei M F, Wang M, *et al.* Design of compact circularly-polarized and broadband slot-loaded microstrip patch antenna. Telecommunications Science, 2015222

1 引言

微带贴片天线具有低剖面、小尺寸、制作成本低、易于与微波电路集成、易于与载体共形及实现圆极化等很多优点,在无线通信、卫星通信中得到了越来越广泛的关注和应用。但是微带贴片天线是一种谐振式天线,带宽很窄,单贴片的微带天线带宽一般都小于 7%,而且增益低,单个天线功率容量小,不能满足很多无线通信系统的需要。为了增大带宽,可采用增大基片厚度、层叠结构增加寄生贴片、缝隙加载、减小介电介电常数、改变贴片形状、采用有耗介质等方法。圆极化微带天线抗干扰和多径反射能力强,对天线指向要求低,是微带天线领域研究的热点。

微带贴片天线常用的单点馈电方式包括同轴线和微带线馈电。实现单点馈电圆极化的方法是通过贴片上切角、非对称的贴片边界形状或者非对称的缝隙加载使天线的基本模式分裂为两个正交模式,当两个模式相位差为 90° 时,形成圆极化辐射。非对称缝隙加载实现圆极化的同时降低了天线的谐振频率,实现了尺寸缩减,但是天线的增益降低,带宽变窄。Nasimuddin 等在参考文献[1]中提出在方形贴片的对角线上加载十字形缝隙实现圆极化和尺寸缩减,表明十字形缝隙加载相对于其他形式的缝隙加载,如方形缝隙、圆形缝隙加载等,是实现天线尺寸缩减的有效方法,但是尺寸缩减使天线的增益下降,带宽减小。当尺寸缩减 10% 时,天线的圆极化带宽小于 1%,增益仅为 3.8 dB。采用环形贴片,如方形环、圆环、三角形环等,可实现天线的尺寸缩减。参考文献[2]提出了工作于基本模式 TM_{11} 模的圆环形微带贴片天线,在环内嵌入一个 L 型枝节,通过调节馈电点的位置形成圆极化,圆极化带宽约为 2%,最小轴比约为 1 dB。参考文献[3,4]提出了 U 型槽加载的微带贴片天线,通过加载 U 型缝隙可以获得宽带阻抗匹配,改变 U 型槽一条臂的长度或者对角线切角可获得圆极化。当介质为空气,介质厚度为中心波长的 8.5% 时,圆极化带宽为 4%。为了获得带宽圆极化,国外很多学者提出了各种不同形式的印刷缝隙天线^[5-9]。这些天线通过在微带线接地板上刻大尺寸的圆型、方型或者环型缝隙,通过 L 型微带线形成带宽圆极化。但是这些天线的辐射是双向的,增益较低,要形成单向辐射需要加反射板,大大增大了天线的轴向尺寸,而且天线的方向图特性差,圆极化特性也比微带贴片天线差。因此,对带宽及圆极化微带贴片天线的研究和设计具有重要的意义。

现有文献中对圆极化微带贴片天线的设计中,很难同时兼顾天线的阻抗带宽、圆极化特性、贴片尺寸、增益等性能指标,而且对加工公差要求高。本文提出在方形微带贴片天线的贴片上加载一个大尺寸的十字形缝隙缩减天线的尺寸,然后在十字形缝隙中嵌入 L 型枝节形成圆极化,通过改变枝节上同轴线馈电点的位置即可实现圆极化,避免了贴片对角线切角、非对称的贴片边界和非对称缝隙加载加工误差对圆极化特性的影响;同时可以通过改变馈电点的位置调节两个谐振频率形成宽带微带天线。介质基板采用 1.6 mm 厚的 FR4 介质板和空气层组成的层叠结构,可以有效降低介电常数,增大天线的带宽,提高天线的增益,而且易于调节介质层的等效介电常数和厚度。

2 天线结构及参数

本文提出的十字形缝隙加载微带天线如图 1 所示。图 1(a)、图 1(b)分别给出了天线的侧视图和顶视图。在普通微带天线贴片的中心刻一个大尺寸的十字形槽达到缩减尺寸的目的。在缝隙中嵌入 L 型枝节,调整枝节上馈电点的位置可形成 x 和 y 方向上两个不同的谐振频率^[2]。当两个谐振频率比较接近时,可形成两个相位差为 90° 的正交

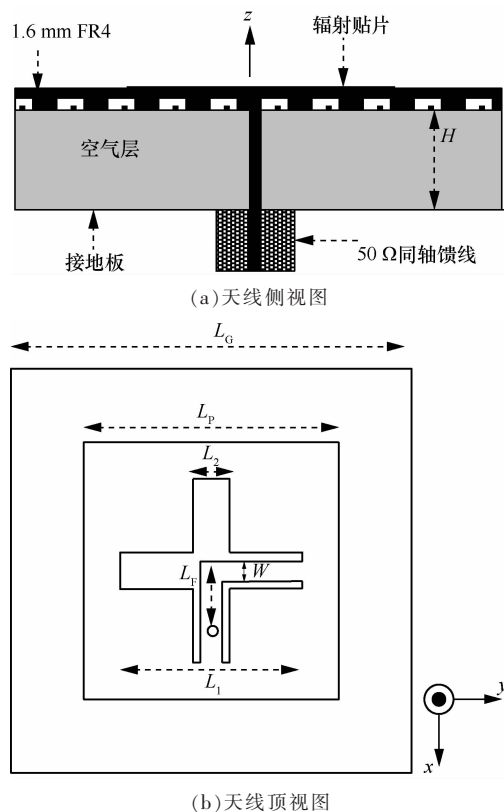


图 1 缝隙加载微带贴片天线



模式,在天线的轴向形成圆极化辐射;当两个方向的谐振频率相差较大时,可形成天线的双频和宽带工作。采用层叠介质一方面可以减小介质的有效介电常数和谐振的品质因数,提高带宽;另一方面可以减小介质损耗,提高天线的辐射效率和增益。

贴片和接地板的边长分别为 L_P 和 L_G , 十字形缝隙的长和宽分别为 L_1 和 L_2 , L 型枝节的宽度为 W , 空气层的厚度为 H , FR4 介质板的厚度为 1.6 mm, 其相对介电常数为 4.4, 损耗正切为 0.02, 馈电同轴探针直径为 0.6 mm, L_F 为馈电点到贴片中心的距离。

经过优化,选择天线的几何参数如下: $L_G=110$ mm, $L_P=56$ mm, $L_1=42$ mm, $L_2=12.6$ mm, $L_F=8.5$ mm (圆极化设计), 14 mm (宽带设计), $W=5$ mm, $H=8$ mm。

3 仿真结果及讨论

3.1 圆极化微带天线设计

本文用 ANSYS 公司开发的基于有限元法的三维电磁仿真软件 HFSS15.0 (high frequency structure simulator) 对天线进行了仿真分析。虽然没有进行天线实物的加工和测试,但是由于 HFSS 计算精度高,其仿真结果也能验证本文提出的设计方案的正确性和有效性。

天线的 Smith 圆图如图 2 所示,轴向增益和轴比随频

率的变化如图 3 所示。可见,天线的阻抗带宽 ($VSWR \leq 2$) 为 91 MHz (1.53~1.621 GHz, 5.8%), 圆极化带宽 (轴比 $AR \leq 3$ dB) 为 26 MHz (1.577~1.604 GHz, 1.7%), 最小轴比为 0.1 dB。天线的最大增益为 7.8 dB, 在宽带范围内具有稳定的增益, 增益变化小于 0.5 dB。图 4 为天线在 1.591 GHz 时的三维增益方向图, 其中图 4(a)、图 4(b) 分别为右旋和左旋圆极化分量。可见, 天线辐射的是右旋圆极化波, 改变 L 型枝节的方向即可改变圆极化波的旋向, 实现左旋圆极化。

由矩形微带贴片天线的经验设计公式^[10]:

$$\text{贴片宽度: } W = \frac{c}{2f} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

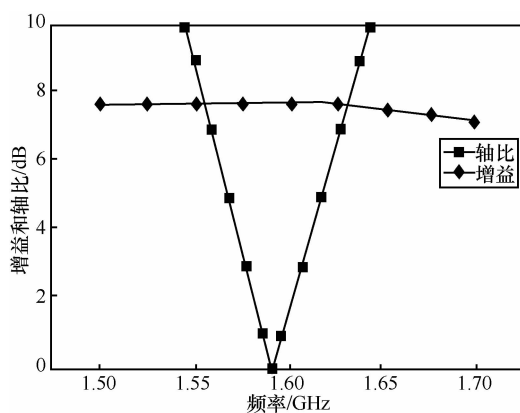


图3 增益和轴比随频率的变化

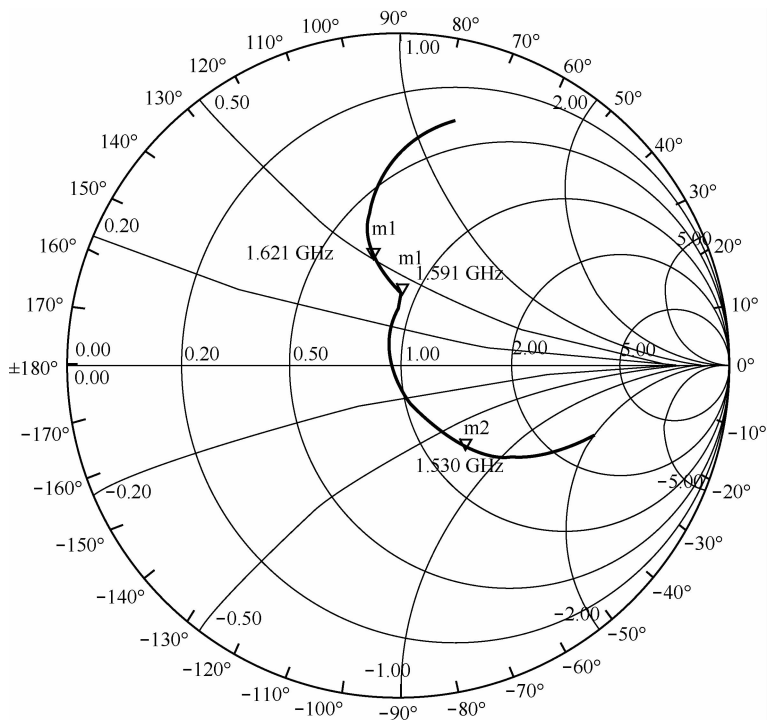


图2 圆极化天线 Smith 圆图

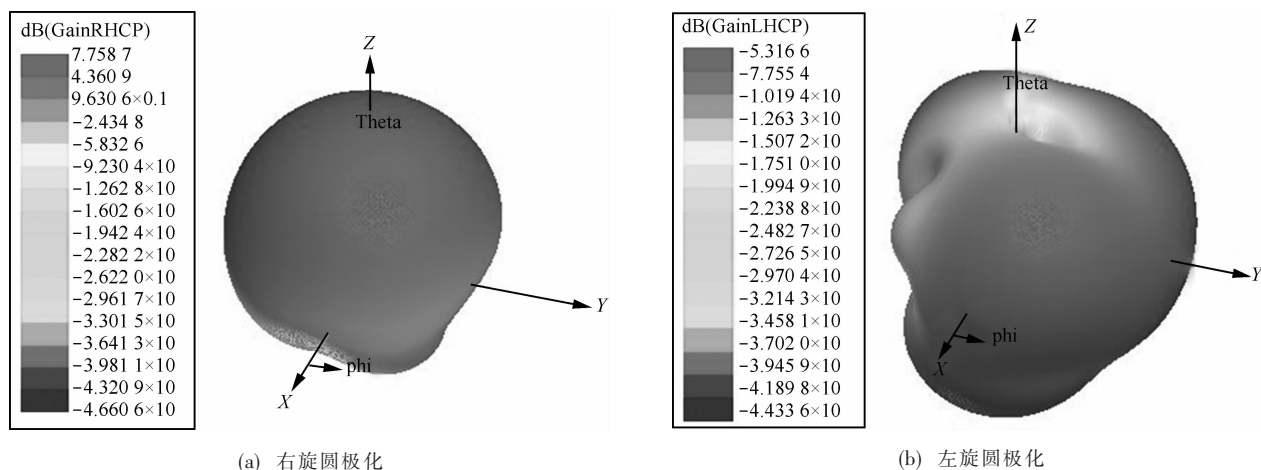


图 4 天线增益方向图

$$\text{贴片长度: } L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} - 2\Delta l \quad (2)$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\Delta l = \frac{0.412h(\epsilon_{\text{eff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.258 \right)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3)$$

其中, h 和 W 为介质厚度和贴片宽度, ϵ_r 为介质的相对介电常数, ϵ_{eff} 为有效介电常数。由式(1)~式(3)可以求

出空气介质微带贴片天线谐振频率为 1.591 GHz 时, 天线的贴片尺寸约为 81.1 mm, 因此本文提出的缝隙加载贴片天线实现了约 52.3% 的贴片面积缩减。

3.2 宽带微带天线设计

改变馈电点位置 L_F 可使天线形成双频谐振从而实现天线双频或者宽带工作。馈电点位置 $L_F=14$ mm 时, 天线的 Smith 圆图如图 5 所示, 图中同时给出了贴片尺寸为 81.1 mm 的空气介质传统微带贴片天线的 Smith 圆图。可见, 改变馈电点位置可使天线高频谐振频率点增大, 从而可以增大天线的阻抗带宽。当 $L_F=14$ mm 时, 天线的阻抗带宽

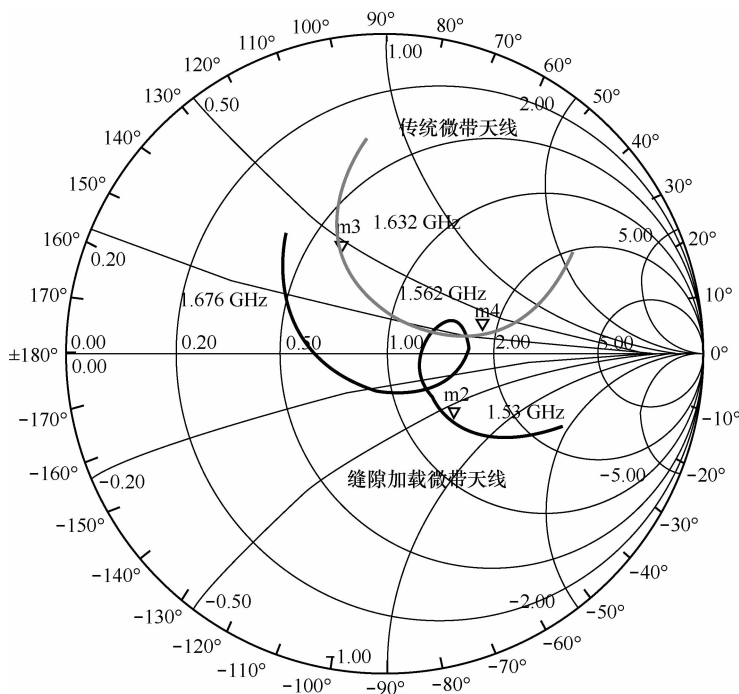


图 5 宽带微带天线及传统微带天线 Smith 圆图



($VSWR \leq 2$) 为 146 MHz (1.53~1.676 GHz, 9.4%)。由图 5 可知,传统微带贴片天线只有一个谐振频率点,其阻抗带宽为 70 MHz (1.562~1.632 GHz, 4.4%)。本文提出的缝隙加载微带贴片天线比传统的微带贴片天线阻抗带宽提高了 114%,而贴片面积缩小了 52.3%。

4 结束语

本文提出了一种带宽及圆极化微带贴片天线。贴片中心加载的大尺寸十字形缝隙实现了天线的尺寸缩减,L型加载的枝节实现了圆极化。只需改变馈电点的位置即可实现天线的宽带阻抗匹配或者圆极化辐射。天线圆极化带宽和阻抗带宽分别为 1.7% 和 9.4%,为小型圆极化及带宽微带贴片天线的设计提供了参考。

参考文献

- 1 Nasimuddin, Chen Z N, Qing X M. A compact circularly polarized cross-shaped slotted microstrip antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2012, 60(3): 1584~1588
- 2 Row J S, Lin K W. Design of an annular-ring microstrip antenna for circular polarization. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2004, 42(2): 156~157
- 3 Lee K F, Yang S L S, Kishk A A, *et al.* The versatile U-slot patch antenna. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 2010, 52(1): 71~88
- 4 Tong K F, Wong T P. Circularly polarized U-slot antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2007, 55(8): 2382~2385
- 5 Tseng L Y, Han T Y. Circular polarization square slot antenna for dual-band operation. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2008, 50(9): 2307~2309
- 6 Tseng C F, Yang P C, Lai C H, *et al.* Printed CP slot antenna design for GPS/WiMAX. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2011, 53(3): 488~491
- 7 Tseng L Y, Han T Y. Microstrip-fed circular slot antenna for circular polarization. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2008, 50(4): 1056~1058
- 8 Row J S, Lin Y D. Miniaturized design of circularly polarized slot antenna. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2014, 56(7): 1522~1526
- 9 Row J S, Wu S W. Circularly-polarized wide slot antenna loaded with a parasitic patch. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2008, 56(9): 2826~2832
- 10 李明洋, 刘敏, 杨放. HFSS 天线设计. 北京: 电子工业出版社, 2011
- Li M Y, Liu M, Yang F. *HFSS Antenna Design*. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011

[作者简介]



杨放,男,博士,西安建筑科技大学信息与控制工程学院副教授,主要研究方向为电磁场理论、微波与天线技术。

卫铭斐,男,西安建筑科技大学信息与控制工程学院讲师,主要研究方向为应用电子技术。

王民,男,西安建筑科技大学信息与控制工程学院教授,主要研究方向为信号与信息处理。

王纯,女,博士,西安建筑科技大学信息与控制工程学院讲师,主要研究方向为阵列信号处理。

周军妮,女,博士,西安建筑科技大学信息与控制工程学院讲师,主要研究方向为数字信号处理及模式识别。