

# Ku 波段高增益圆极化宽带微带阵列天线设计

汪江宇<sup>1</sup>, 唐涛<sup>1</sup>, 何胜<sup>2</sup>, 邓彪<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225; 2. 成都拓来微波技术有限公司, 四川 成都 610045)

**摘要:**采用“ㄣ”型开槽耦合馈电的双层微带结构,设计一款工作于 Ku 波段的圆极化宽频微带天线单元,并使用 256 个这样的天线单元组成高增益阵列天线。该阵列天线中心频点为 15.2 GHz, 相对带宽 ( $V_{SWR} \leq 2$ ) 达到 10.8 %。通过设置反射金属板,天线具有很强的定向辐射特性,在中心频点处增益接近 30 dB。

**关键词:** Ku 波段; 宽频带; 高增益; 圆极化; 微带阵列

**中图分类号:** TN82

**文献标志码:** A

## 0 引言

抛物面天线是一种反射面型天线,利用轴对称的旋转抛物面作为主反射面,将馈源置于抛物面的焦点上,馈源通常采用喇叭天线。相较于微带天线阵,抛物面天线的缺点日益明显,如成本高,重量较重,加工复杂,安装困难等。而微带天线具有低剖面、小尺寸、重量轻、易共形、易集成等优点,目前被广泛使用。但是微带天线也有其特性,比如带宽窄,增益低等等。随着天线技术的发展,微带天线的这些缺陷正在通过特别的设计而逐渐克服。比如利用口径耦合馈电、双层微带贴片,金属开口谐振环,缺陷地结构等等增加带宽<sup>[1]</sup>。通过适当调整基板的形状可以得到双极化结构<sup>[2-3]</sup>。为增加天线增益,可以采用多层结构,引入空气介质等方法,或通过微带阵列天线来实现。

阵列天线中,单元之间的互耦将会降低天线辐射性能。为防止组阵时单元之间电磁串扰,也有一些方法,比如在天线单元间增加介质隔板,开缝等方法,增加其隔离度<sup>[4-5]</sup>,还可以利用多输入多输出方式,提供双频点<sup>[6]</sup>。圆极化天线具有较强的抗干扰能力,可很好地应用于电子侦察、电子对抗等领域<sup>[7]</sup>。另外,具有体积小、低剖面、高增益、圆极化等特性的微带阵列天线能够适用于相控阵天线的构建,同时具有取代传统抛物面天线的可能<sup>[8-9]</sup>。

文中使用“ㄣ”型开槽耦合馈电方式,实现天线的圆极化。采用多层微带结构,引入空气介质和金属反射板,实现微带天线的定向辐射特性。提出的天线单元工作于 Ku 波段,具有宽频特性,使用 256 个该天线单元实现具有圆极化、高增益、宽频带特性的微带阵列天线。

## 1 天线单元设计

微带天线的谐振频率由金属贴片的宽度决定的,

其宽度等于谐振频率的  $\lambda/2$ 。谐振频率既中心频率。设计提出的天线介质板采用 Rogers 5880 作为介质板,其相对介电常数  $\epsilon_r = 2.2$ , 损耗角正切  $\tan\delta = 0.0009$ 。根据天线理论微带天线辐射单元初始估算如下<sup>[10]</sup>

$$\frac{2}{3}R_1 \approx \frac{\lambda_{ef_{max}}}{4}, W_r + \frac{2}{3}R_1 \approx \frac{\lambda_{ef_{min}}}{4} \quad (1)$$

式中:  $\lambda_{ef_{max}}$  和  $\lambda_{ef_{min}}$  分别是天线工作的最高工作频率和最低工作频率的有效波长。根据式(1),能够设计出工作在 14.7 ~ 15.7 MHz 频段的微带天线。

大规模微带阵列天线中,复杂的馈电网络将会对阵列性能有所影响。为降低微带馈电网络对阵列天线辐射性能的影响,在天线单元的设计中,采用多层结构,将微带馈线与辐射贴片分开放置。如图 2 所示,馈线位于中间介质板的底层,该介质板上层为缝隙。辐射贴片位于上层介质板的底层,通过开槽与上层贴片的谐振实现耦合馈电。为使天线实现定向辐射,最下面设置金属反射板,金属对电磁波有屏蔽作用,该天线沿-Z 轴辐射的能量会被金属板反射回来与+Z 轴方向的辐射叠加,当金属反射板位置合适时,反射信号与+Z轴辐射信号相位相同,叠加增强,就形成了沿+Z 轴的定向辐射功能,同时也提高天线增益。

微带天线的圆极化可以通过多种方式来实现,设计中采用“ㄣ”型开槽来实现,“ㄣ”型开槽主体的“十”字与馈线成 45° 夹角设置,激励起相互正交的极化波,实现圆极化。多层设计相当于在天线中引入空气介质层,能够降低天线有效介电常数,提高增益,同时也能增加天线工作带宽。

天线各部分的具体尺寸如表 1 所示。天线单元具体结构如图 1,图 2 所示,图 1 为 3D 视图与侧视图,图 2 是中间介质层俯视图、仰视图与辐射贴片所在介质板仰视图。最上层辐射贴片所在介质板和中间馈线所在介质板之间的距离为 2.5 mm,反射板距离中间介质板为 10 mm。

参数	$W_x$	$L_h$	$L_w$	$L_{h2}$	$L_{u2}$	$L_f$	$W_p$	$W_{ls}$	$W_{hs}$	$L_{hs}$	$L_{ls}$	$L_p$
取值/mm	1.6	2.8	0.5	4	1.1	7.6	6.2	8.1	10	10	10.3	5.85

图 1 天线单元

(a) 中间介质层上表面“ㄣ”字开槽

(b) 中间介质层下表面微带馈线

(c) 辐射贴片所在介质板仰视图

图2 天线单元局部视图

天线单元的电压驻波比如图 3 所示,以电压驻波比(VSWR)小于 2 为标准,天线的工作频段宽度为 1.85 GHz(14.15 ~ 16.00 GHz),相对带宽达 12.17%,具有宽频特性。天线的辐射方向图如图 5.6 所示,可

以看到,金属反射板的加入,实现天线沿+Z 轴的定向辐射,同时也提高天线增益。

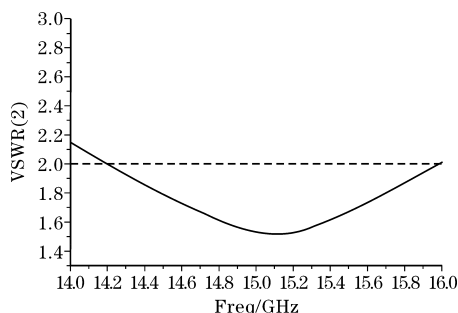


图3 天线单元电压驻波比

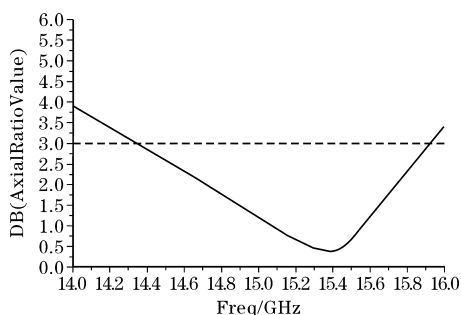


图4 天线单元轴比

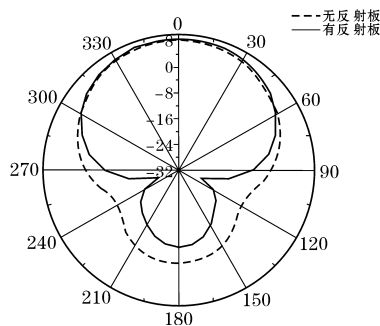


图 5 15.2 GHz 的 E 面方向图

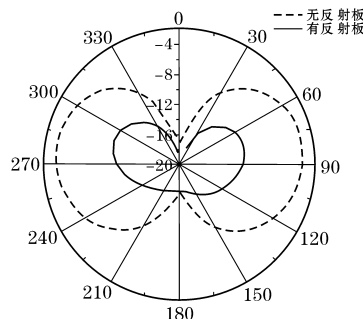


图 6 15.2 GHz 的 H 面方向图

圆极化天线轴比一般要求小于 3 dB, 天线单元的轴比如图 4 所示。天线轴比符合圆极化天线的标准。

## 2 天线阵列设计

由多个微带天线单元可以组成微带阵列天线,通过馈电网络对每一个单元馈电。但是微带馈电网络如果和辐射单元位于相同介质板表面,随着单元数量的增加,庞杂的馈线网络必将影响天线整体辐射性能,馈电网络如图7所示。通过将微带馈线与辐射贴片分层设置可以解决该问题,馈线与辐射单元之间通过缝隙耦合来实现馈电。

使用  $16 \times 16$  天线单元,通过图7给出的馈电网络等幅同相并联馈电,馈电网络每个端口所在介质板的上表面对应图1所示的“卅”型开缝。馈电网络由多个T型功分器连接,其中采用多节  $\lambda/4$  阻抗匹配,中间的阶梯段即为匹配段。最上层介质板上的辐射贴片最小间距取  $d=13.2 \text{ mm}$ ,整个天线阵列的整体尺寸为  $320 \text{ mm} \times 355.2 \text{ mm} \times 13.8 \text{ mm}$ 。

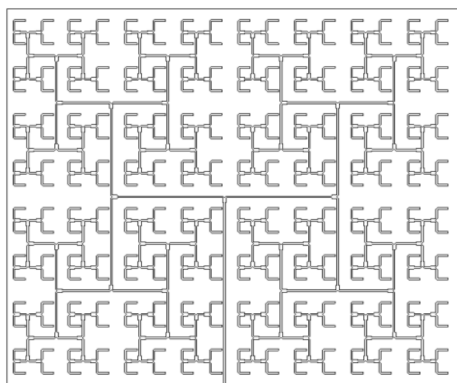


图7 阵列馈电网络

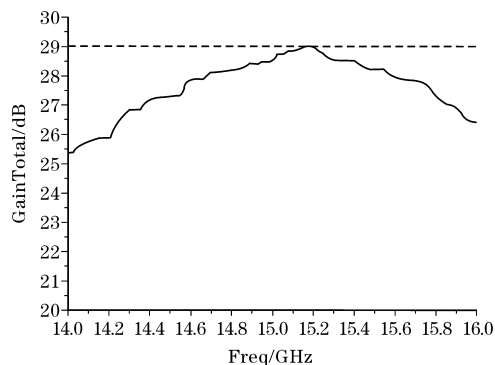


图8 阵列天线增益

对于单个天线单元,相对带宽为12.17%,增益在频带范围内最大达到9.5 dB,对于由该单元组成的  $16 \times 16$  阵列,相对带宽达到10.8%。图8为阵列天线的增益曲线,该阵列在15.2 GHz增益为28.8 dB。

图9,10为15.2 GHz的辐射方向图。可以看到,该天线在中心频点处具有很好的定向辐射特性。

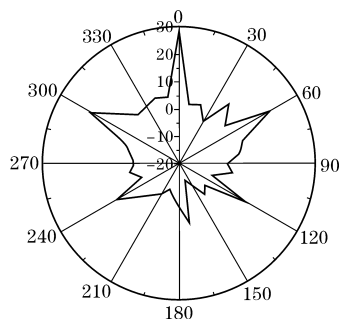


图9 15.2 GHz的E面方向图

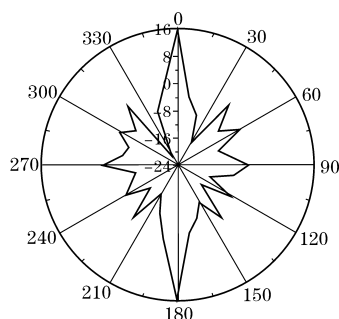


图10 15.2 GHz的H面方向图

## 3 结束语

设计一款具有圆极化、宽频带特性的定向辐射多层微带天线单元,使用256个天线单元,实现高增益圆极化的宽频微带天线阵列。该天线阵列工作在1430~1595 MHz频带,并且在整个频带范围内具有圆极化特性。天线阵列在15.2 GHz增益为28.8 dB,其远场方向图具有良好的定向辐射特性。该阵列天线技术指标已经基本达到相同频段抛物面天线的参数性能,由于微带天线的成本优势,同时相较抛物面天线而言,其结构简单,易于安装集成等特点,能够有效的应用于取代抛物面天线。由于该阵列天线具有的高增益、圆极化和宽频带等优势,为构建相控阵天线和取代传统抛物面天线提供了物理基础。具有较好的应用价值。

## 参考文献:

- [1] 姜兴,向红旗. 64元Ku波段宽频带高增益微带天线阵设计[J]. 微波学报, 2008, 24(z1): 367-369.
- [2] 夏运强,唐涛. 多用途双频双极化双通道MIMO室内基站天线[J]. 微波学报, 2013, 29(4): 53-56.
- [3] 胡志慧,姜永华,凌祥. 新型毫米波宽带圆极化微带天线阵列设计[J]. 微波学报, 2013, 29

- (1):70-73.
- [4] Lin S Y, Liu I. Small Inverted-U Loop Antenna for MIMO Applications [J]. Progress in Electromagnetics Research C, 2013, 34:69-84.
- [5] Zhai G, Chen Z N, Qing X. Enhanced Isolation of a Closely Spaced Four-Element MIMO Antenna System Using Metamaterial Mushroom [J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2015, 63(8):1-1.
- [6] Zhou X, Quan X L, Li R L. A Dual-Broadband MIMO Antenna System for GSM/UMTS/LTE and WLAN Handsets [J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2012, 11(1):551-554.
- [7] Rezaeieh S A, Pouyanfar N. Double channel triple band MIMO antenna with high isolation performance and pattern diversity for wireless applications [J]. Microwave & Optical Technology Letters, 2012, 54(54):2689 - 2691.
- [8] 周栋梁. 新型缺陷地结构定向耦合器的耦合度研究 [J]. 物联网技术, 2012, 2(3):66-68.
- [9] Zuo S, Yin Y Z, Zhang Z Y, et al. Eigenmode Decoupling for MIMO Loop-Antenna Based on  $180^\circ$  Coupler [J]. Pier Letters, 2011, 26:11 - 20.
- [10] 陈利锋. MIMO 终端多天线的研究与设计 [D]. 成都:西南交通大学, 2013.

## Design of Ku-band High Gain Circularly Polarized Wideband Microstrip Antenna Array

WANG Jiang-yu<sup>1</sup>, TANG Tao<sup>1</sup>, HE Sheng<sup>2</sup>, DENG Biao<sup>1</sup>

(1. College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Chengdu Tuolai Microwave Technology Co., Ltd, Chengdu 610045, China)

**Abstract:** A Ku-band circularly polarized and wideband microstrip antenna unite is presented firstly, which consists of bilayer structure with “ $\Gamma$ -shaped” slotted coupling feed. Using 256 unites, a high gain antenna array is designed. The resonant frequency of the antenna array is 15.2 GHz and the relative bandwidth ( $VSWR \leq 2$ ) is 10.8%. A strong directional radiation characteristic is obtained by setting a reflective metal plate. The gain of the array is 28.8 dB at 15.2 GHz.

**Key words:** Ku-band; wideband; high gain; circular polarization; microstrip array