

# 新型宽带 U 型缝贴片天线阵

柴雯雯<sup>①②</sup> 张晓娟<sup>①</sup>

<sup>①</sup>(中国科学院电子学研究所高功率微波与电磁辐射重点实验室 北京 100080)

<sup>②</sup>(中国科学院研究生院 北京 100039)

**摘要:** 该文介绍了一种性能优良的四元 U 型缝贴片天线阵。该阵面由一新型的宽带匹配网络馈电, 能量通过地板上的馈电缝耦合到上面的 U 型缝贴片上。这种类型的天线阵可以在 10.4-16.7GHz 的频率内工作, 阻抗带宽达 46.5%, 最大增益为 15dBi, 增益在 13dBi 以上的频率范围达 30%, 交叉极化电平在整个频带内均小于-18dB。

**关键词:** 微带天线; 宽频带天线; 天线阵; U 型缝; 馈电网络

中图分类号: TN823

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)03-0756-03

## Ultra Wideband Antenna Design Using U-slot

Chai Wen-wen<sup>①②</sup> Zhang Xiao-juan<sup>①</sup>

<sup>①</sup>(The key laboratory of high power microwave and electromagnetic radiation, Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

<sup>②</sup>(Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** A new antenna array consisting of U-slot microstrip patches is introduced. The array is fed by a novel wideband matching network and the energy is coupled to the U-slot patches through the feed slot on the ground. The operating frequency range of antenna array is from 10.4 to 16.7GHz, corresponding to an impedance bandwidth of 46.5%. The gain is above 13dBi from 11-15GHz.

**Key words:** Microstrip antenna; Wideband antenna; Antenna array; U-slot; Feeding network

### 1 引言

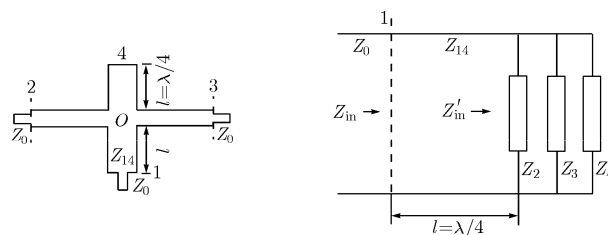
微带天线是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新型天线。由于微带天线具有体积小、重量轻、剖面低、能与载体共形、制造简单、成本低等特点<sup>[1, 2]</sup>, 同时该种天线又可与一些微带集成电路一起构成小型化的系统, 因此, 在通信、雷达、测高以及现代小型化技术领域得到了广泛的应用。

在实际中, 往往要求天线具有高增益、方向性强及定向辐射等特点, 单个微带天线辐射元的增益及方向性均难达到要求, 而天线阵则可获得上述特性<sup>[3]</sup>。一个完整的阵面包括阵元和馈电网络两部分<sup>[4]</sup>。对于阵元来说, 一般的微带天线带宽很窄, 微带天线的窄频带特性成了限制其广泛应用的主要障碍, 目前主要有两种方法可以克服这个问题: (1)采用多贴片谐振<sup>[5-8]</sup>; (2)利用具有特殊形状的辐射元<sup>[9, 10]</sup>或者具有不同形状缝隙的矩形贴片元<sup>[2]</sup>。第1种方法会复杂化天线的结构使得天线阵的尺寸变大成本变高; 故在此选用第2种方法, 采用开有U型缝的矩形贴片, 该种天线元不但结构简单且带宽较大。本文从耦合原理出发改变文献<sup>[2]</sup>中所采用的同轴馈电结构, 从而将U型缝贴片天线的带宽从30%提高到了50%, 增益也进一步增加。另一方面, 对于馈电网络, 其设计的关键在于功率分配器, 目前较常用的是采用  $\lambda_g/4$  阻抗变换器

的功分器。该类功率分配器可以是等功率分配器, 也可以是不等功率分配器<sup>[11]</sup>。 $\lambda_g/4$  阻抗变换器是针对中心波长而设计的, 所以当波长偏离中心波长时, 匹配性能会下降, 即频带较窄。若要求频带宽些, 则可采用多节级联的功率分配器, 但这样就增加了设计的复杂性。本文从传输线理论出发, 分析一宽带功分器模型, 并利用该模型实际设计出了宽频带的微带功率分配网络, 利用此功分网络为四元U型缝贴片元馈电得到了性能优良的宽频带天线阵。

### 2 馈电系统设计

宽带功分器的模型如图 1 (a)所示, 1, 2, 3 端口均接负载  $Z_0$ , 4 端口短路。1, 4 端口的传输线特性阻抗为  $Z_{14}$ 。从中心 O 向 2, 3, 4 端口看过去的阻抗分别为  $Z_2, Z_3, Z_4$ , 中心处总的阻抗为  $Z'_{in}$ , 从 1 端口看过去的输入阻抗为  $Z_{in}$ 。



(a) 宽带功分器的模型

(b) 功分器等效传输线模型

图 1

其等效传输线模型如图1(b)所示。假设该功分器的功分比为1:k, 由传输线原理推导如下。

中心处的总输入阻抗为

$$\frac{1}{Z_{in}'} = \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_4} \quad (1)$$

用导纳可表示为

$$Y_{in}' = Y_2 + Y_3 + Y_4 \quad (2)$$

从中心O看过去4端口的输入阻抗为  $Z_4 = Z_{14} \frac{Z_L + jZ_{14} \text{tg}(\beta l)}{Z_{14} + jZ_L \text{tg}(\beta l)}$ ,

其中  $Z_L = 0$ , 故可简化  $Z_4 = jZ_{14} \text{tg}(\beta l)$ , 即

$$Y_4 = -jY_{14} \text{ctg}(\beta l) \quad (3)$$

令  $Y_2 = Y_0$ , 由于2, 3端口的功分比为1:k, 则  $Y_3 = kY_0$ , 将这些参数和式(3)一并代入式(2)得到

$$Y_{in}' = (1+k)Y_0 - jY_{14} \text{ctg}(\beta l) \quad (4)$$

将导纳对  $Y_0$  进行归一化, 得到

$$y_{in}' = (1+k) - jy_{14} \text{ctg}(\beta l) \quad (5)$$

从1端口看过去的总的输入导纳为

$$y_{in} = y_{14} \frac{y_{in}' + jy_{14} \text{tg}(\beta l)}{y_{14} + jy_{in}' \text{tg}(\beta l)} = y_{14} \frac{(1+k) + j(\text{tg}(\beta l) - \text{ctg}(\beta l))y_{14}}{2y_{14} + j(1+k)\text{tg}(\beta l)} \quad (6)$$

若要在中心频率时满足输入端口匹配, 则需  $y_{in} = 1$ , 将其代入式(6), 得到

$$y_{14} = \sqrt{1+k} \quad (7)$$

将式(7)代入式(6)整理得

$$y_{in} = \frac{(1+k) + j(\text{tg}(\beta l) - \text{ctg}(\beta l))\sqrt{1+k}}{2 + j\sqrt{1+k}\text{tg}(\beta l)} = 1 + \frac{k - 3 - j[(k-1)\sqrt{1+k}\text{tg}(\beta l) + 2\sqrt{1+k}\text{ctg}(\beta l)]}{4 + (1+k)\text{tg}^2(\beta l)} \quad (8)$$

从式(8)可以看出, 当偏离中心频率时, 由于  $\beta l \rightarrow \pi/2$ , 则  $\text{ctg}(\beta l) \rightarrow 0$ ,  $\text{tg}(\beta l) \rightarrow \infty$ , 尤其功分比  $k$  为1时, 分母为高次项, 所以在一定频率范围内, 仍能保证式(8)的值趋近于1, 即与主臂匹配。故从理论上分析, 这种模型完全可以实现宽带的匹配馈电网络。将调节好的功率分配器采用混馈方式连接可得到宽带的匹配馈电网络。

### 3 天线阵设计以及测量结果

天线元的结构和具体尺寸如图2所示, 从图中可看出该天线元具有4个介质层, 顶层介质和底部两层馈电介质具有相同的介电常数和厚度, 中间为厚度1.6mm介电常数接近1的泡沫材料, 其被用作天线的支撑部分且可减少介质层间激励起的表面波。顶层介质为一覆盖层, 其底部为U型缝贴片。两馈电介质层间印有特性阻抗为50Ω的带状线, 其外部接SMA连接器, 能量将通过地板上的馈电缝耦合到上面的贴片。天线背面装有一大的反射板从而避免后向辐射。

对于单个功分器来说, 本文将  $k$  选为1,  $Z_0$  选为50Ω, 1, 4端口间的传输线特性阻抗为35.4Ω, 宽度为2.12mm, 2, 3端口间传输线的特性阻抗为50Ω, 宽度为1.32mm。4端口

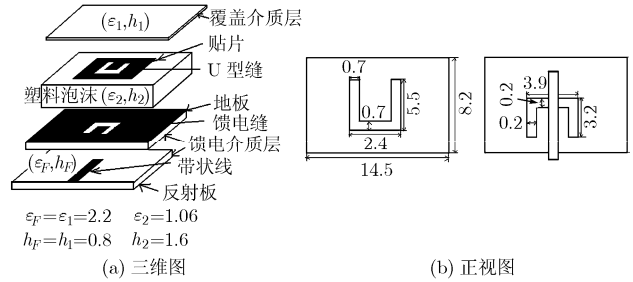


图2 阵元模型

的短路是通过介质打孔焊接铜线实现。将这3个功分器直接用混馈的方式相连得到馈电网络, 其结构如图3所示, 整个匹配网络被印刷在底部介质层的上面。图4对新型匹配网络和利用  $\lambda_g/4$  阻抗变换器所得的传统馈电网络的return loss特性进行了比较, 该图验证了宽带自适应馈电网络的可行性。图5为测得的天线阵的驻波比曲线, 从图中可以看出天线阵的阻抗带宽(驻波比 ≤ 2)为46.5%, 工作频段为10.4~16.7GHz。

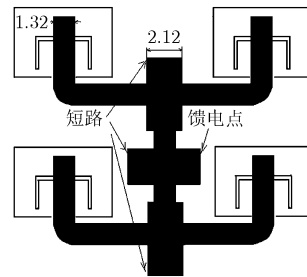


图3 天线阵面中馈电网络分布

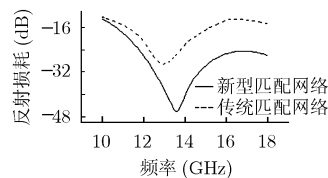


图4 匹配网络的return loss特性曲线

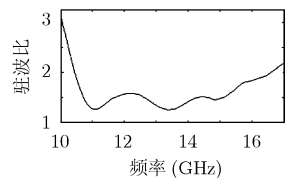


图5 天线阵的驻波比曲线

图6, 图7为天线阵在几个工作频点的辐射方向图。由图可知: 在整个频带内天线阵的共极化方向图都比较稳定, 在12GHz, 16GHz时, 天线H平面内的交叉极化分别为27dB, 18dB。测得的天线阵增益随频率的变化曲线如图8所示, 增益在11~15GHz的范围内均大于13dBi, 最高增益达15dBi。

### 4 结束语

本文设计和分析了新型的功分网络馈电的四元宽带U型缝贴片天线阵。该天线具有46.5%的阻抗带宽, 15dBi的最大增益, 中心频点处的交叉极化电平小于-25dB, 辐射方向图特性在整个工作频带内都比较稳定。这些结果表明, 这种阵列设计是实用的, 并将是低造价的。

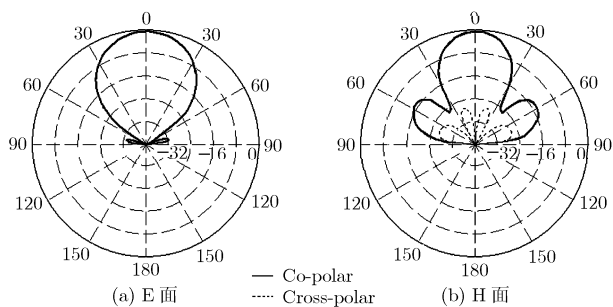


图6 天线阵在12GHz时的辐射方向图

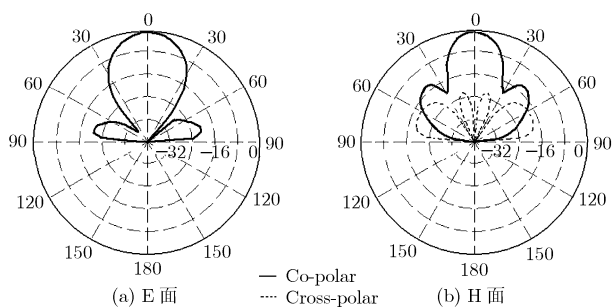


图7 天线阵在16GHz时的辐射方向图

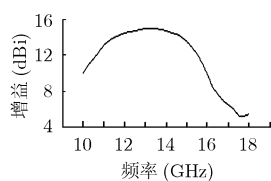


图8 天线阵增益随频率的变化曲线

### 参考文献

- [1] James J R, Hall P S, and Wood C. Microstrip Antenna Theory and Design. London: Peter Peregrinus LTD, 1981: 101-103.
- [2] Huynh T and Lee K F. Single layer single patch wideband microstrip antenna. *Electronics Letters*, 1995, 31(16): 1310-1312.

- [3] Oh Soonsoo, Seo Seongho, and Yoon Mikyoung. A broadband microstrip antenna array for LMDS applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2002, 32(1): 35-37.
  - [4] Garg R and Bhartia P. Microstrip Antenna Design Handbook. Artech House, 2001: 875.
  - [5] Nishiyama E, Aikawa M, and Egashira S. Stacked microstrip antenna with wide bandwidth and high gain. *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, 2004, 151(2): 143-148.
  - [6] Deshmukh A A and Kumar Girish. Compact broadband stacked microstrip antennas. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2005, 48(1): 93-96.
  - [7] Kushwas R P S, Dubey M, and Singhal P K. Design of a triple layer microstrip patch antenna. 2006 IEEE International Workshop on Antenna Technolog : Small Antennas and Novel Metamaterials, 2006: 49-52.
  - [8] Clenet M and Shafai L. Wideband single layer microstrip antenna for arra applications. *Electronic Letters*, 1999, 35(16): 1292-1293.
  - [9] Yang F, Zhang X X, and Samii Y. Wide-band E-shaped patch antennas for wireless communications. *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, 2001, 49(7): 1094-1100.
  - [10] Wong K L and Hsu W H. A broad-band rectangular patch antenna with a pair of wide slits. *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, 2001, 49(9): 1345-1347.
  - [11] 张均. 微带天线理论与工程. 北京: 国防工业出版社, 1988: 50-58.
- Zhang J. Theory and engineering of microstrip antennas. Beijing: National Defence Industry Press, 1988: 50-58.

柴雯雯: 女, 1983年生, 硕士生, 研究方向是天线以及天线馈线的设计.

张晓娟: 女, 1964年生, 副研究员, 主要研究方向是微波遥感、天线、计算电磁学、电磁散射与逆散射.