

# 一种新型短微带漏波天线的仿真研究

刘菊华 刘鹏 王剑莹 龙云亮

中山大学电子与通信工程系 广州 510275

**摘要:** 本文提出了一种新型的短微带漏波天线。通过在微带漏波天线的宽边上加载矩形微带天线阵,可提高微带漏波天线的辐射效率,降低微带漏波天线由于末端开口不匹配而引起的反射波瓣。应用时域有限差分(FDTD)和HFSS仿真软件对这种新型微带漏波天线进行了仿真分析。仿真结果显示,在频率为10.5GHz,应用60mm长的新型微带漏波天线就可把反射波瓣降低到约-9dB,比传统微带漏波天线的反射波瓣减小了约7dB;同时,新型微带漏波天线的增益比传统微带漏波天线的增益提高了约4dB。本文FDTD法的仿真结果与HFSS仿真结果吻合得很好。  
**关键字:** 微带漏波天线, 反射波瓣, 增益

## Simulation of a novel short microstrip leaky-wave antenna

Liu Juhua, Liu Peng, Wang Jianying, Long Yunliang

Dept. of Electronics & Communication Engineering, Sun Yat-Sen University  
Guangzhou, 510275, China

**Abstract:** This paper has proposed a novel short microstrip leaky-wave antenna (MLWA). By loading rectangular microstrip antenna arrays along MLWA, the radiation efficiency of MLWA is improved, which results in the decrease of back lobe of MLWA. The back lobe of MLWA is owing to the mismatch of the open end of MLWA. The finite difference time domain (FDTD) method and the simulation software HFSS were used to analyze this new MLWA. The simulation results show that the back lobe of this novel MLWA with 60mm length is suppressed about -9dB at 10.5GHz. The back lobe of this new MLWA is -7dB lower than the traditional MLWA with the same length. Besides, the gain of this new MLWA increases 4dB as compared with traditional MLWA. The simulation results with FDTD method agree well with those from HFSS simulation.

**Key Words:** microstrip leaky-wave antenna, back lobe, gain

### 1 引言

微带漏波天线不但有微带天线剖面低、重量轻、易于加工的优点,还具有带宽较宽,波束宽度较窄的优点,特别是具有波束随频率扫描的特性[1-3],已被成功地应用于汽车防撞雷达和车辆定位系统等[3]。但是,传统微带漏波天线一个很大的问题是天线尺寸太长。这是因为尺寸较短的微带漏波天线会有较大的反射波瓣[1-6],微带漏波天线的反射波瓣是由于微带漏波天线末端开口的不匹配引起的,较大的反射波瓣不但会减低辐射效率,还会引起射频信号间的干扰。1979

年, Menzel[1]首先利用微带工作于第一高阶模的泄漏特性制造出微带漏波天线,该微带漏波天线长度为10cm( $2.23\lambda_0$ ),其反射波瓣较大,天线的辐射效率只有65%,若要使天线的90%能量被辐射出去,需把天线长度增加到21.7cm( $4.85\lambda_0$ )[2]。

根据最近的研究报告,有几种办法可以在使用较短的微带漏波天线的同时抑制反射波瓣。文献[4]提出使用多个微带漏波天线作为天线阵可以抑制反射波瓣,实验表明使用1×2或1×4的微带漏波天线阵,其反射波瓣比使用单个微带漏波天线的反射波瓣小5.5dB和10dB。文献[5]通过在微带漏波天线末端加回馈电路把多余的能量回馈到激励端,可大大抑制反射波瓣,只使用 $2.48\lambda_0$ 长的微带漏波天线就可把反射波瓣抑制到-15dB。但是以上办法均需要较复杂的馈电电路来支

基金项目:

国家自然科学基金(60571036)

广东省自然科学基金(04009740)

持。文献[6]在微带漏波天线的背部加上缝隙耦合的微带天线阵，把微带漏波天线末端多余的能量通过缝隙耦合到背部的微带天线或微带天线阵，只需使用60mm(2λ)长度的微带漏波天线就可把反射波瓣抑制到-8dB，而且还实现正面为H面、背面为E面的二维扫描。但是微带漏波天线[6]需要使用双层的介质基板，这在制造上可能会限制这种微带漏波天线的应用。

本文提出在微带漏波天线贴片的宽边上加载矩形微带天线阵，使得单位长度的微带漏波天线有更多的能量被辐射出去，其效果是提高了天线的辐射效率，降低了微带漏波天线的反射波瓣，而且还提高了微带漏波天线的增益。

## 2 工作原理

微带漏波天线工作于第一高阶模，属于行波天线[1]，如图1所示。微带漏波天线辐射特性可以用漏波传播常数 $k_z = \beta_z - j\alpha_z$ 来说明，其中 $\beta_z$ 为漏波相位常数， $\alpha_z$ 为漏波衰减常数。当微带漏波天线满足 $\beta_z < \beta_0$ 时，其能量在沿传输线传输（有部分能量以表面波的形式在介质内部传输）的同时还会有能量泄漏到空中[2]。微带漏波天线的主波束方向角 $\theta_m$ 由相位常数 $\beta_z$ 决定，其关系为 $\sin\theta_m = \beta_z / \beta_0$ [2]。微带漏波天线的远场区场强可以用以下表达式计算[9]

$$E_\varphi = f(r, \theta, \varphi) \left\{ \frac{\exp[-j(k_z - \beta_0 \cos\theta)L] - 1}{k_z - \beta_0 \cos\theta} - \exp(-2jk_z L) \frac{\exp[-j(k_z + \beta_0 \cos\theta)L] - 1}{k_z + \beta_0 \cos\theta} \right\} \quad (1)$$

$$E_\theta = 0 \quad (2)$$

$$f(r, \theta, \varphi) = \frac{\beta_0 U \exp(-j\beta_0 r)}{\pi r} \sin\theta \cos\left(\beta_0 \frac{W_{eff}}{2} \sin\theta \cos\varphi\right) \quad (3)$$

式中 $L$ 为微带漏波天线的长度， $W_{eff}$ 为微带漏波天线的等效宽度。

微带漏波天线反射波瓣是由于微带漏波天线末端开口不匹配引起的。由(1)-(3)可以看出，微带漏波天线反射波瓣强度由漏波衰减常数 $\alpha_z$ （ $k_z$ 虚部的相反数）和微带漏波天线的长度 $L$ 决定。若在微带漏波天线末端加载匹配负载，或增大微带漏波天线长度 $L$ 都有利于减小反射波瓣。但是加载匹配负载会降低微带漏波天线的辐射效率，增大微带漏波天线长度往往会给实际应用带来麻烦。

还有一种办法是增大漏波衰减常数 $\alpha_z$ ，使单位长度的微带漏波天线有更多的能量泄露到空中，这样微带漏波天线末端反射回来的能量就会减小很多，反射波瓣也就可以得以抑制。如图2所示，在微带漏波天线宽边上加载矩形微带天线阵作为辐射元件，就可借用矩形微带天线使得单位长度的微带漏波天线有更多能量辐射到空中，等效于增大漏波衰减常数 $\alpha_z$ ，提高微带漏波天线的辐射效率，从而可以减小反射波瓣。

## 3 天线设计

本文提出的新型微带漏波天线是在传统微带漏波天线贴片上加载微带天线阵构成的，如图2所示，在传统微带漏波天线的宽边上加载4个矩形微带天线。其中微带漏波天线长为 $L=60\text{mm}$ ，宽为 $W=11\text{mm}$ ；矩形微带天线长为 $L_{patch}=9.3\text{mm}$ ，宽为 $W_{patch}=13\text{mm}$ 。图中在微带天线和微带漏波天线上刻槽是为了阻抗匹配。介质基板使用RT/Duroid材料，其相对介电常数为 $\epsilon_r=2.2$ ，介质基板的厚度为 $h=0.508\text{mm}$ 。

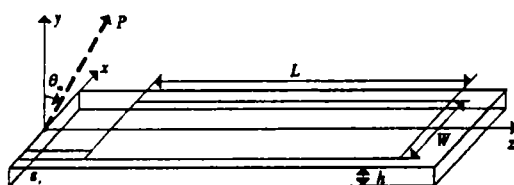


图1 传统微带漏波天线的结构图

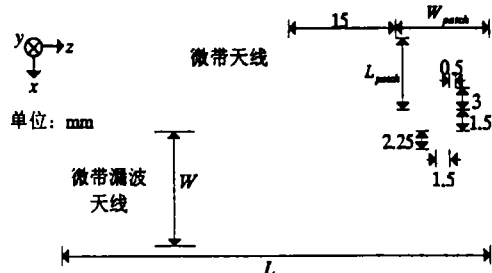


图2 新型微带漏波天线贴片的结构图

## 4 天线仿真

本文应用基于有限元法的仿真软件HFSS和FDTD法对微带漏波天线进行数值仿真，其中FDTD的吸收边界使用完全匹配层（PML）吸收边界。为验证本文FDTD程序的正确性，这里先用该FDTD代码仿真传统微带漏波天线[10]（传统微带漏波天线[10]与本文没有加载矩形微带天线阵的微带漏波天线相同），仿真得到的H面（yoz面）的电场方向图如图3所示。由图3可以看到，FDTD仿真结果不仅与仿真软件HFSS的仿真数据，还和[10]提供的测试数据吻合得很好（[10]

中的角度是波束方向与z轴的夹角,这里的角度是波束方向与y轴的夹角),由此可见本文使用的FDTD程序还是比较精确可靠的。图3的结果显示,传统短微带漏波天线的反射波瓣比主波瓣只小2dB。

应用FDTD法和HFSS仿真如图2所示的新型微带漏波天线。其中应用FDTD法仿真所得的新型微带漏波天线的电场场强图如图4所示。应用FDTD法和HFSS仿真得到的新型微带漏波天线H面的电场方向图如图5所示。由图5可见用HFSS仿真的新型微带漏波天线反射波瓣为-9dB,比传统的微带漏波天线低了7dB;用FDTD仿真的新型微带漏波天线电场方向图与HFSS的结果比较吻合,反射波瓣为-8.7dB。

应用FDTD法和HFSS分析新型微带漏波天线的极化特性。仿真得到微带漏波天线H面的 $E_\theta$ 和 $E_\phi$ 方向图如图5所示。由图5可见,新型微带漏波天线仍属于线极化天线,在H面 $E_\phi$ 要远大于 $E_\theta$ 。微带漏波天线E面(xoy面)的方向图如图6所示。由图6可见,新型微带漏波天线 $E_\theta$ 的波束宽度比传统微带漏波天线的 $E_\theta$ 波束宽度变窄了,这使得新型微带漏波天线的方向性变强了。

图8为应用HFSS仿真新型微带漏波天线得到的H面的增益方向图,图中并给出了传统微带漏波天线的增益方向图(HFSS仿真)。由图8可见,新型微带漏波天线的增益比传统微带漏波天线的增益要大4dB。

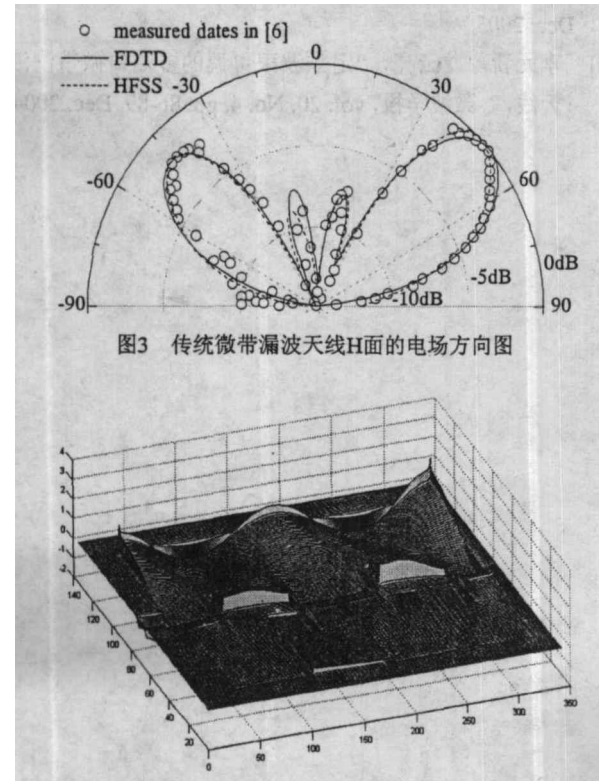


图3 传统微带漏波天线H面的电场方向图

图4 新型微带漏波天线的电场场强图

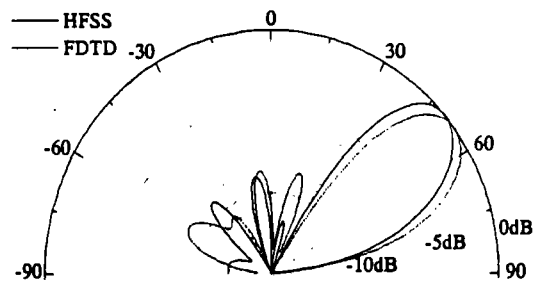


图5 新型微带漏波天线H面的电场方向图

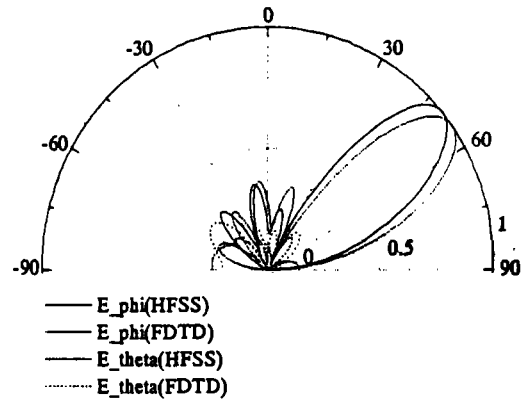


图6 新型微带漏波天线H面的 $E_\phi$ 和 $E_\theta$ 方向图

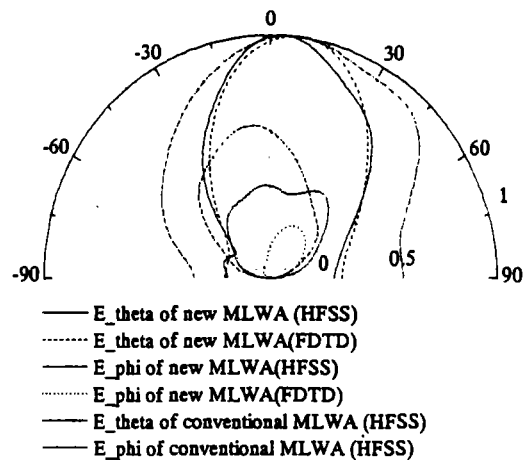


图7 新型微带漏波天线E面的 $E_\theta$ 和 $E_\phi$ 方向图

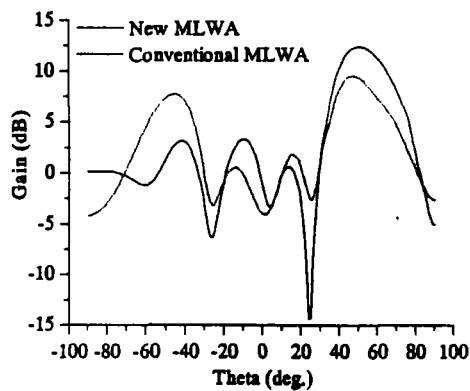


图8 新型微带漏波天线H面的增益方向图

## 5 结论

本文提出了在微带漏波天线贴片宽边上加载微带天线阵,提高了微带漏波天线的辐射效率,减小了微带漏波天线由于末端开口不匹配引起的反射波瓣。本文应用FDTD法和HFSS软件对这种新型的微带漏波天线进行仿真分析。仿真结果显示,这种新型微带漏波天线不但反射波瓣比传统微带漏波天线减小了7dB,而且增益比传统微带漏波天线提高了4dB。

文献[6]使用与本文长度相同的微带漏波天线,通过在微带漏波天线的末端应用缝隙把能量耦合到背部的微带天线阵,可抑制与本文相当的反射波瓣。但是微带漏波天线[6]使用的是双层的介质基板,而本文使用的是单层的介质基板,这在制造上本文的微带漏波天线会简单很多。而且,本文使用的微带漏波天线增益提高了很多。

因为矩形微带天线的阻抗带宽较窄,所以本文提出的新型微带漏波天线抑制反射波瓣的效果只在一个比较窄的频带里起作用,因而这种新型微带漏波天线比较适用于微带漏波天线的定频波束扫描[7-10]。另外,由图4可见,矩形微带天线的电场强度比微带漏波天线的电场强度要小很多,其原因是微带漏波天线与矩形微带天线之间的阻抗匹配不够好。若能解决好微带漏波天线与矩形微带天线之间的阻抗匹配问题,就可使微带漏波天线的反射波瓣得到更好的抑制,微带漏波天线的长度可进一步减小。本文的研究为实现微带漏波天线的小型化提供了一种新的方法。

## 参考文献

- [1] W. Menzel, "A new traveling-wave antenna in microstrip," *Archiv. Elektronik. Ubertrag Tech.*, band 33, pp. 137-140, Apr. 1979.
- [2] A. A. Oliner, "leakage from higher modes on microstrip line with application to antennas," *Radio Science*, vol. 22, No. 6, pp. 907-912, Nov. 1987.
- [3] C. Luxey and J. M. Laheurte, "Simple design of dual-beam leaky-wave antennas in microstrips," *IEE Proc. -Microw. Antennas Propag.*, vol. 44, no. 6, pp. 397-401, Dec. 1997.
- [4] C. J. Wang, C. F. Jou, J. J. Wu, and S. T. Peng, "Radiation characteristics of active frequency-scanning leaky-mode antenna arrays," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E82-C, pp. 1223-1228, July 1999.
- [5] Ying-Chou Shih, Shing-Kwang Chen, Cheng-Chi Hu and C.F Jou, "Active feed back microstrip leaky wave antenna-synthesiser design with suppressed back lobe radiation", *Electronic Letters*, vol. 35, pp. 513-514, April.1999.
- [6] I-Yu Chen, et al., "Studies of suppression of the reflected wave and beam-scanning features of the antenna arrays," *IEEE trans. AP*, vol. 53, No. 7, pp. 2220-2225, Jul. 2005.
- [7] C. Luxey and J.-M. Laheurte, "Effect of reactive loading in microstrip leaky wave antennas," *Electronics Letters*, vol. 36, no. 15, pp. 1259-1260, Jul. 2000.
- [8] Chih-Chiang Chen, Ching-Kuang C. Tzuan, "Phase-shifterless beam-steering micro-slotline antenna," *Electronics letters*, vol. 38, No. 8, pp. 354-355, Apr. 2002.
- [9] 李元新, 龙云亮, "一种新型频率固定相控波束扫描的微带漏波天线," *微波学报*, vol. 19, No. 4, pp. 67-69, Dec. 2003.
- [10] 李元新, 龙云亮, "定频波束可调的多端口微带漏波天线," *微波学报*, vol. 20, No. 4, pp. 86-89, Dec. 2004.

[1] W. Menzel, "A new traveling-wave antenna in microstrip,"