

一种适用于定频波束扫描微带漏波天线 小型化的仿真研究*

郭铭承, 刘菊华, 龙云亮, 蒋鸿雁
(中山大学电子与通信工程系, 广东 广州 510275)

摘要: 提出了一种新型的双层介质基板的微带漏波天线结构。通过在接地板开缝隙把上层的微带漏波天线的部分能量耦合到背面的微带天线阵, 可以有效地减小微带漏波天线开口端反射回来的能量, 抑制微带漏波天线的反射波瓣; 充分利用了上层微带漏波天线和背面微带天线阵的辐射, 实现了在 H 面上上下空间两个波束的扫描, 并把上半空间微带漏波天线的旁瓣电平, 和下半空间微带天线阵的旁瓣电平都抑制到 -8dB 以下。

关键词: 微带漏波天线; 小型化; 定频波束可调

中图分类号: TN820.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579(2009)02-0041-04

The Simulation Study on the Minimization for Frequency-fixed Beam-scanning Microstrip Leaky-wave Antenna

GUO Mingcheng, LIU Juhua, LONG Yunliang, JIANG Hongyan
(Department of Electronics and Communication Engineering,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: A novel microstrip leaky-wave antenna with two layers of substrate has been developed. Through the slot-aperture in the ground plane, part of energy of the microstrip leaky-wave antenna above the ground plane is coupled to the microstrip antenna array on the backside of the ground plane. The reflected energy from the open terminal of the microstrip leaky-wave antenna decreases and the side lobes of the microstrip leaky-wave is suppressed. Two scanned beams, in the above half-space and backside half-space, are gained from the antennas above and under the ground plane. The side-lobes of the antennas on the above half-space and back-side half-space are suppressed below -8dB.

Keywords: microstrip leaky wave antenna; minimization; frequency-fixed beam-scanning

微带漏波天线是一种重要的微带行波天线。W. Menzel^[1]在1979年首先指出了微带在高阶模时的泄漏特性可以用来制造天线, 并制造出了第一个实用微带漏波天线。微带漏波天线的优点有: 结构简单, 低剖面, 带宽大, 波束宽度窄, 主波束方向可调, 易于耦合等。

传统微带漏波天线的一个主要的缺点是尺寸太大, 一般需5个波长才能把90%的能量辐射出去。较短的微带漏波天线会由于天线末端开口不匹配而引起较大的反射波瓣。一般可通过在开口端加载的方法抑制反射波, 实现小型化, 但这种方法会降

低微带漏波天线的辐射效率。最近的研究表明, 还有一些办法可降低微带漏波天线长度或抑制反射波, 如使用天线阵^[2], 或在微带漏波天线的背面加上缝隙耦合的微带天线或微带天线阵^[3], 但这种方法天线结构和馈电系统都比较复杂。

微带漏波天线一般用于频率控制波数扫描, 但是这在工作频带很窄的情况会限制该天线波束扫描特性的应用。而定频波束扫描的微带漏波天线是一种比较好的替代。在微带漏波天线定频波束可调的研究方面, Luxey在文献[4]指出加载感性负载时会使复传输系数产生变化, 进而实现主波束方向

* 收稿日期: 2008-07-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60571036)

作者简介: 郭铭承(1983年生), 男, 硕士; 通讯作者: 龙云亮; Email: issly@mail.sysu.edu.cn

角的调整;李元新在文献 [5-8] 中通过多端口馈电,或利用输入电流激励相位的变化,实现了工作频率固定下的微带漏波天线主波束扫描。刘菊华在文献 [9-10] 中使用加载等效微带电感的方法实现定频波束可调。

本文提出一种新型的双层介质微带漏波天线结构,该天线在接地板上层使用微带漏波天线,接地板下层使用微带天线阵。通过在接地板中间开缝,把上层的微带漏波天线贴片的部分能量耦合到底层的微带振子天线阵列中去,从而减少了微带漏波天线的反射能量,从而抑制微带漏波天线的旁瓣。而通过调整底层的微带振子天线阵列的排列,可抑制背面微带天线阵的旁瓣,从而取得 H 面上的较理想的方向图。仅用约 2 个波长的微带漏波天线,可抑制反射波瓣达到 -8 dB,比传统微带漏波天线的旁瓣电平小 6 dB。而且充分利用了上层微带漏波天线和背面微带天线阵的辐射,实现了在 H 面上上下空间两个波束的扫描,并把上半空间微带漏波天线的旁瓣,和下半空间微带天线阵的旁瓣电平都抑制到 -8 dB 以下。通过控制微带电感与微带漏波天线通断的方式可实现在频率为 10.5 GHz,天线上下两个主波束约 30° 的扫描。

1 小型化微带漏波天线的设计与仿真

本文的天线三维立体结构如图 1 所示。该天线为一种两层介质基板的微带漏波天线结构,而传统的微带漏波天线为一单层结构 [1]。该天线的分层结构图如图 2 所示。两层介质基板的厚度均为 0.508 mm,介电常数均为 $\epsilon_r = 2.2$ 。如图 2 所示,介质基板的最上层为一个普通的微带漏波天线贴片,馈电微带线的宽度为 $W_m = 1.57$ mm,长 $L_m = 25$ mm,漏波天线的长度 $L = 60$ mm (在频率 10.5 GHz 情况下约两波长),宽度为 $W = 11$ mm,其中有 8 条沿 x 轴方向排列的缝隙,每条缝隙的长和宽分别为 7 mm 和 0.5 mm,缝隙之间相隔 5 mm。

两介质基板之间的一层为接地板,中间缝隙长 $L_{ap} = 60$ mm,宽 $W_{ap} = 0.8$ mm。

介质基板的最下层为振子天线阵列,振子天线的数量为 30 个。按照对数周期排列,有

$$\tau = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{l_{n+1}}{l_n} \quad (1)$$

其中 d 为两微带振子之间的距离, l 为微带振子的长, τ 为一比例因子。

把微带振子天线上 30 条窄边及下面 30 条窄边的中点连成线,这两条线的交点与 l_{30} 纵向中轴

线的距离取为 a ,其中第 1 个和第 30 个微带振子的间隔为 58 mm,可得

$$\frac{1}{\tau} = \left(\frac{58}{a} + 1\right)^{\frac{1}{29}} \quad (2)$$

$$d_{29} = 58 * \left(1 - \frac{1}{\tau}\right) / \left(1 - \frac{1}{\tau^{29}}\right) \quad (3)$$

$$d_n = \frac{1}{\tau^{29-n}} d_{29} \quad (4)$$

取 $b = l_{30}$, 则得

$$l_n = b \frac{1}{\tau^{30-n}} \quad (5)$$

在本设计中,取 $a = 400$ mm, $b = 7.4$ mm。

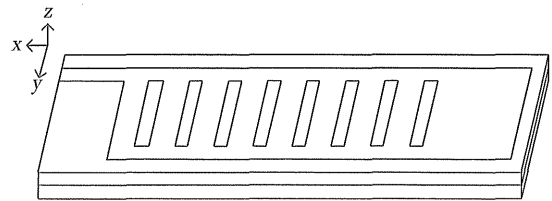
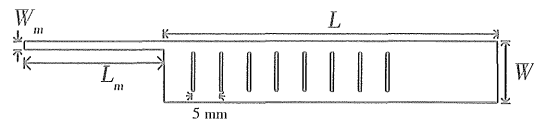
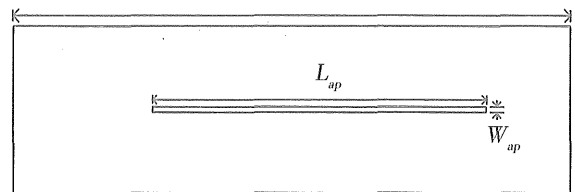


图 1 新型微带漏波天线三维结构图

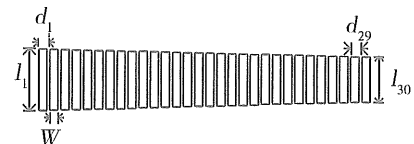
Fig. 1 The layout of the proposal MLWA



(a)、上层微带漏波天线的贴片示意图



(b)、接地板的结构示意图



(c)、底层微带振子天线阵列示意图

图 2 新型微带漏波天线分层结构图

Fig. 2 The detail of the proposal MLWA

该解释的是,顶层的微带漏波天线贴片横向开缝隙是为了截断部分沿 x 轴方向的电流流向,从而在一定程度上抑制主模;另一方面,沿 y 轴方向的电流没有受影响,从而有效地激励第一高阶模。中间接地板纵向开缝是为了使微带漏波天线的部分能量馈送到下面的振子天线阵列。而底层的振子天线阵列把耦合下来的能量再辐射出去。按这样的结

构,在H面(xoz 面)的远场方向图中将出现两个主波束,其中一个在上侧,一个在下侧。

本文使用 HFSS 对这种结构的微带漏波天线进行仿真。首先使用 HFSS 仿真传统的微带漏波天线[3]。传统的微带漏波天线尺寸与本文提出的接地板上层的微带漏波天线相同,但传统的微带漏波天线使用的是单层介质板。当天线工作在 10.5 GHz,使用 HFSS 仿真传统微带漏波天线所得的远场方向图如图 3 所示。由图 3 可见, HFSS 的仿真结果与实验结果很相近;而且传统的微带漏波天线的旁瓣电平只有 -2 dB 左右。

使用 HFSS 对本文结构的微带漏波天线进行仿真,得到 H 面远场归一化方向图,如图 4 所示。由图 4 可见,本文提出的两层介质板微带漏波天线结构在 H 面上形成了上下侧的两个主波束。其中两个主波束方向角分别为 48° 和 312° ,它们的旁瓣电平分别为 -10.46 dB 和 -8.09 dB。

由于本文结构的微带漏波天线约 2 个波长就达到很好抑制反射波瓣的效果,因此成功地实现了小型化,对比传统微带漏波天线的单主波束,本文天线方向图中出现了上下侧两个主波束,且两旁瓣电平都达到了 -8 dB 以下,比传统微带漏波天线的旁瓣电平低 -6 dB。

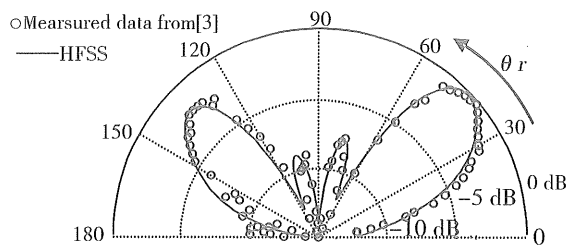


图 3 传统微带漏波天线方向图
Fig. 3 The pattern of a traditional MLWA

2 小型化微带漏波天线的定频扫描特性

微带漏波天线的一大优点是可以波束扫描。而本文使用的天线结构,因为接地板背面的微带天线阵带宽很窄,所以很难利用微带漏波天线的频率控制波束扫描特性。这里利用[9]中使用加载电感的方法实现定频波束扫描。介质基板上层的微带漏波天线贴片添加了一些末端短路的短微带线,这些短微带线与微带漏波天线连接或断开由一些电子元件控制,如图 5 中用小交叉所示。其中短微带线的长度 $l = 3.6$ mm, 宽为 1 mm, 其末端通过短路探针与接地板连通。短路探针半径为 0.2 mm, 高为 0.508 mm, 两相邻微带振子之间的距离 $s = 6$ mm。

这些短微带线实现了微带电感的功能。

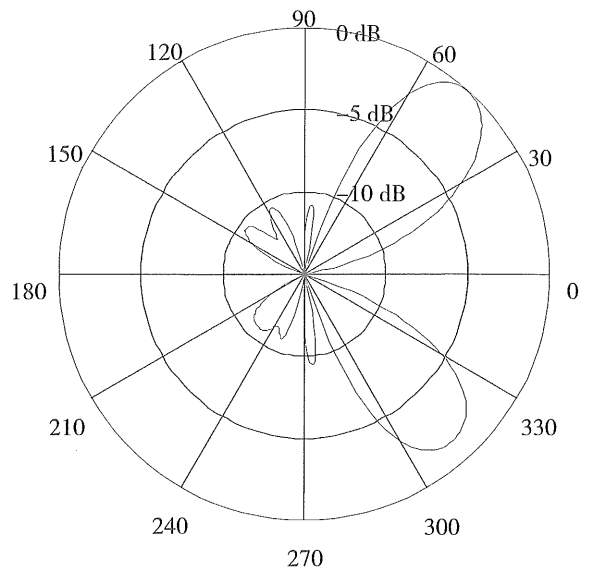


图 4 新型微带漏波天线方向图
Fig. 4 The pattern of the proposal MLWA

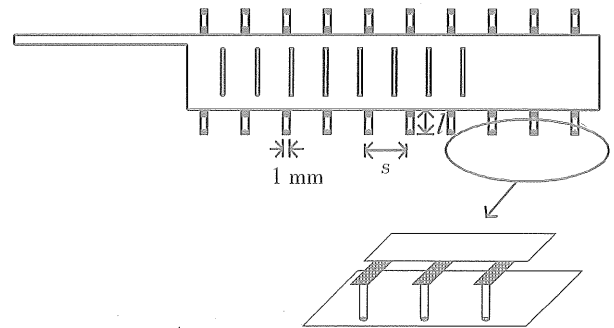


图 5 微带漏波天线的加载微带电感分布方式
Fig. 5 The microstrip inductors loaded on MLWA

通过电子元件控制短微带线与微带漏波天线通断时,可得 5 种微带电感加载分布情况(图 6)。

对图 6 所示的 5 种情况分别进行仿真,其 H 面归一化远场方向图如图 7 所示。由图 7 可见该天线在以上 5 种情况下都实现了两个 -8 dB 以下的旁瓣电平,而扫描角度上,实现了上侧主波束从 48° 到 77° ,下侧主波束从 312° 到 284° ,各约 30° 的波束扫描。可见本文小型化后的微带漏波天线仍具有波束可调的优良特性。

3 小结

由上文可见,通过接地板中间开缝把能量耦合到天线背面微带天线阵的方式,可以很大程度上减小微带漏波天线的反射能量,从而实现微带漏波天线的小型化。本文仅用约 2 个波长的微带漏波天线,可实现旁瓣电平 -8 dB 以下,比传统微带漏波

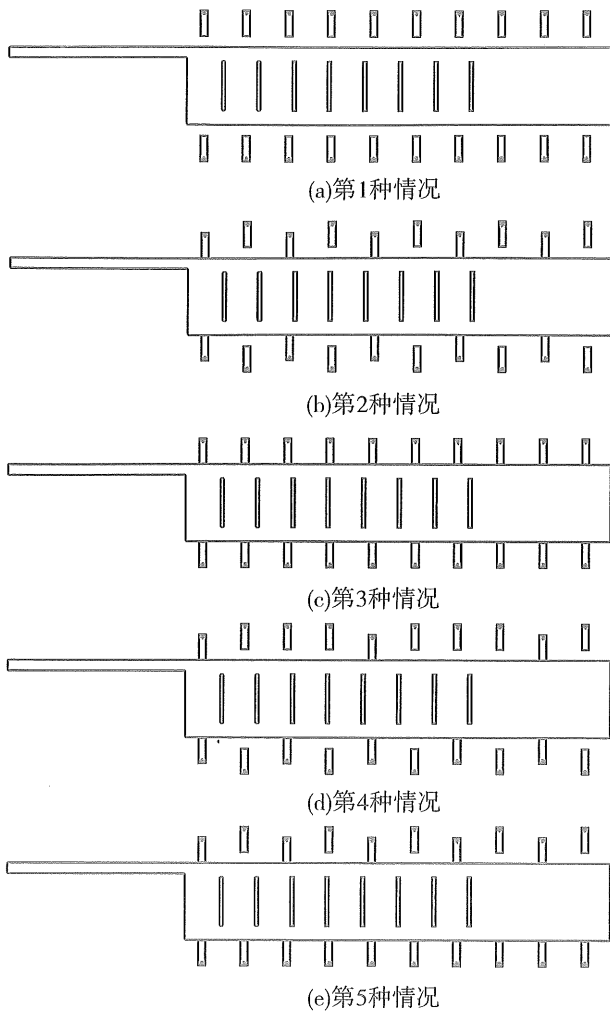


图 6 五种微带电感分布情况
Fig. 6 Five cases of the loaded microstrip inductors

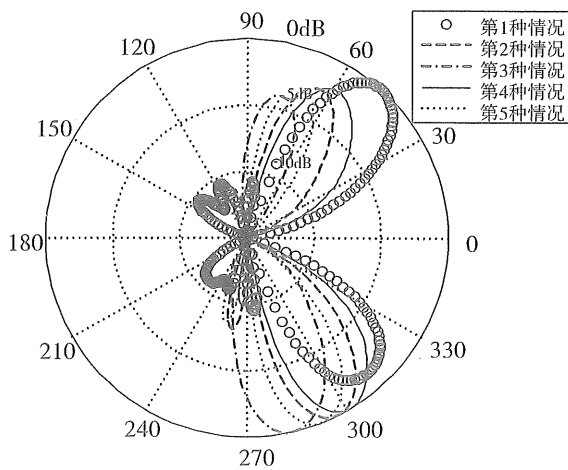


图 7 新型微带漏波天线波束扫描特性
Fig. 7 The beam scanning of the proposal MLWA when frequency fixed

天线的旁瓣电平小 6 dB, 通过控制短微带线与微带漏波天线连接的方式可实现两个主波束各约 30°

的扫描。由此可见本文小型化后的微带漏波天线仍具有波束可调的良好特性。

参考文献:

[1] MENZEL W. , A new traveling-wave antenna in microstrip[J], AEU, 1979, 33(4): 137 - 140.

[2] WANG C J , JOU C F , WU J J , et al. Radiation characteristics of active frequency-scanning leaky-mode antenna arrays[J] . IEICE Trans. Electron, 1999, E82-C:1223 - 1228.

[3] CHEN Iyu, WANG Chienjen, GUAN Hualin, et al. Studies of suppression of the reflected wave and beam-scanning features of the antenna arrays[J]. IEEE Trans. AP, 2005, 53 (7): 2220 - 2225.

[4] LUXEY C, LAHEURTE J M. Effect of reactive loading in microstrip leaky wave antennas [J]. Electronics Letter, 2000, 36(15): 1259 - 1260.

[5] 李元新, 龙云亮. 双端口馈电微带漏波天线的仿真研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2003, 42(5): 122 - 124.

LI Yuanxin, LONG Yunliang. Simulation of a microstrip leaky-wave antenna with two-terminal feeding [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2003, 42 (5); 122 - 124.

[6] 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[J]. 微波学报, 2003, 19(4): 67 - 69.

LI Yuanxin, LONG Yunliang. A novel frequency-fixed beam-scanning microstrip leaky-wave phased antenna [J]. Journal of Microwaves, 2003, 19(4): 67 - 69.

[7] LI Y X, XUE Q , YUNG E K N, et al. Fixed-frequency dual-beam scanning microstrip leaky wave antenna [J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2007, 6: 444 - 446.

[8] LI Y X, XUE Q, YUNG E K N, et al. Dual-beam steering microstrip leaky wave antenna with fixed operating frequency [J]. IEEE Trans. on AP, 2008, 56 (1): 248 - 252.

[9] 刘菊华, 郭建炎, 龙云亮. 一种新型定频波束扫描微带漏波天线的仿真研究 [J]. 电波科学学报, 2008, 23 (4): 694 - 698.

LIU Juhua, GUO Jianyan, LONG Yunliang. Simulation of a novel frequency-fixed beam-steering microstrip leaky-wave antenna [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 23 (4): 694 - 698.

[10] LIU J H, LONG Y L. Analysis of a microstrip leaky-wave antenna loaded with shorted stubs [J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2008, 7: 500 - 503.