

新型微带馈电线缝隙天线阵的设计^{*}

龙云亮¹, 林嘉伟², 容启宁²

(1. 中山大学电子与通信工程系, 广东 广州 510275;

2. 香港城市大学电子工程系, 香港)

摘要: 设计了一个用于无线移动通信的波束可调 4 缝隙漏波天线阵。通过简单地改变天线阵缝隙间馈电线的长度, 很容易得到所需要的主波瓣方向。采用了大漏波缝隙以提高天线的增益。实测数据与数值仿真结果吻合较好, 显示了该天线阵具有良好的辐射效率。

关键词: 漏波天线; 缝隙天线阵; 微带

中图分类号: TN820.1⁺5 文献标识码: A 文章编号: 0529-6579 (2002) 03-0016-03

随着无线本地网 (WLAN) 和点对点微波通信服务 (如 LMDS 和 MMDS) 等以飞快的速度增长, 对低成本、易于制造和安装调校的天线的需求也越来越大。在目前的无线通信应用中, 室内移动通信是一个较难解决的问题。由于建筑物结构的多样性和空间分隔, 对室内天线有更多的需求, 一个现代化的大型建筑物内常常需安装数十甚至数百的各类天线。天线一般安装于室内墙顶或墙壁上, 为了易于安装和美观, 最好是小型平面天线, 同时为了安装时便于调试, 天线应该具有方便的波束可调性。从另一角度来说, 波束可调技术也可以帮助设计覆盖室内特定区域的天线从而避免对工作人员的电磁伤害。

漏波天线 (LWA) 具有频扫, 低剖面 and 易于制造的特性, 近年来得到人们极大的关注^[1-3]。本文在漏波天线的基础上, 提出一种简单的方法, 通过改变漏波缝隙 (天线阵元) 间微带馈电线的距离从而改变天线的主波瓣方向。该天线阵由 4 个缝隙构成, 排列成一条直线, 形成漏波天线。同时采用大漏波缝隙以增强天线的辐射效率和增益。该天线与众不同的地方在于采用了弯曲的微带馈电线 (见图 1), 有别于常用的直形微带馈电线, 从而达到方便地改变天线主波瓣方向的目的。

1 天线阵设计

在本天线阵的设计过程中, 由于既要满足天线的波束可调性, 又要获得尽可能大的天线增益, 因此缝隙尺寸的大小是首先需要考虑的。我们从两个

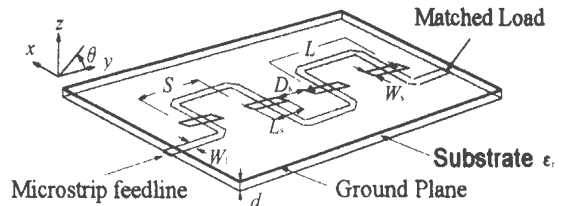


图 1 缝隙天线阵结构示意图

Fig. 1 Layout of the slot array antenna

方面来讨论这个问题。

第一, 为满足天线的波束可调性, 天线阵缝隙的尺寸大小应如何改变。我们知道, 天线阵 H 面 (Y 向, 见图 1) 的主瓣方向角 θ 由下式确定^[4]

$$\cos \theta = \alpha / (\beta_0 S) \quad (1)$$

这里 α 和 S 分别是相邻天线阵元的相位差和距离, β_0 是电磁波在自由空间中的相位常数。由漏波天线的特点, 有 S 等于 $\lambda_0/4$, 代入式 (1) 得到

$$\cos \theta = 2\alpha/\pi \quad (2)$$

因此, 如果令 $\alpha = \pi/2$, 即相邻缝隙间的微带馈电线的长度是 $\lambda_g/4$, 则 $\theta = 0$ 。这里 λ_0 是电磁波在自由空间的波长, λ_g 是电磁波在微带馈电线中的波长。如果我们想要天线阵的主波瓣稍微倾斜一点, 也就是稍微改变 θ , 则相位差 α 应该改变一点, 比如说变为 $\pi/2 - \delta$ 从而 θ 相应地变为 $\cos^{-1}(1 - 2\delta/\pi)$ 。这会导致一个问题: 从理论上说, 天线的后向场不能相互抵消^[5]。因此, 在天线的实际设计中, 我们考虑通过改变缝隙的大小, 从而改变从

* 收稿日期: 2001-12-13

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (001171); 教育部高校骨干教师资助项目; 香港政府科研基金资助项目

作者简介: 龙云亮 (1963-), 男, 博士, 教授; E-mail: isslyl@zsu.edu.cn

缝隙中耦合出来的电场的大小来尽可能减小缝隙的后向场。通过简单的数学推导，可以得到，当

$$E_{b2}/E_{b1}=\cos\delta\tag{3}$$

时，后向电场 E_b 最小

$$E_b=\sqrt{E_{b1}^2-E_{b2}^2}\tag{4}$$

这里 E_{b1} 是某个缝隙的后向电场的大小， E_{b2} 是紧邻下一个缝隙的后向电场的大小。因为 $\cos\delta$ 小于 1，式(3)意味着每个缝隙的尺寸均应比其前一个缝隙稍小。

第二，从另一方面来看，为了增大天线的辐射，应采用大尺寸的缝隙。但大尺寸缝隙会使天线方向图中出现大的后瓣。这是由于大尺寸缝隙导致小场强近似不再成立。但是，这种大后瓣现象是可以通过改变缝隙的尺寸（每个缝隙的尺寸均比前一个缝隙的尺寸稍大）而得以改善的。

从上述讨论得出的相反的结论可看出，由于相差的改变和采用大尺寸缝隙作为天线阵元而导致的影响总体上是可以相互抵消的，因此，在该波束可调缝隙漏波天线阵的设计中，所有的缝隙尺寸相等。

如图 1 所示，4 缝隙漏波天线蚀刻在一厚度 $d=1.524\text{ mm}$ 的介质基板上，基板的介电常数 $\epsilon_r=2.94$ 。基板的下面是一 $50\text{ }\Omega$ 的微带馈电线，宽度 $W_f=3.89\text{ mm}$ ，上平面是接地面，上有 4 个缝隙，其尺寸为 $L_s\times W_s=40\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 。每个缝隙间的距离 $S=67\text{ mm}$ ，前向波同相而加强，后向波反相因而相互抵消^[5]。槽间距离 $D_s=27\text{ mm}$ 。为了控制主波瓣方向，我们设计了 2 种长度 $L=0.75\lambda_g$ ， $L=0.85\lambda_g$ 。一具匹配负载连在微带馈电线的终端，吸收馈电线中的能量以防止反射。

2 设计结果与讨论

按照上述的设计思路，我们制造了一个天线样品并在微波暗房进行了测量，天线的设计中心工作频率是 5.6 GHz 。数值仿真用的是 ENSEMBLE 6.0 软件^[6]，该软件采用的是一种基于矩量法的全波分析法。测量及仿真结果示于图 2 和图 3 中。与长度 $L=0.75\lambda_g$ 和 $L=0.85\lambda_g$ 对应的实测天线阻抗带宽分别为 12.9% 和 11% 。图 4 显示的是天线工作于 5.6 GHz 时的实测及数值仿真 H 面方向图。测量所得相应 $L=0.75\lambda_g$ 和 $L=0.85\lambda_g$ 的主瓣方向角分别为 5° 和 10° （侧射），相应的 3 分贝波束宽度分别为 14° 和 12° ，与仿真结果相差无几。实测结果显示主波瓣方向可通过调整缝隙间微带馈电线的长度而加以控制。图 5 显示的是能量损失和增益随频率的变化情况。我们可以看到，在图 5 中也可观察到导体损耗。在 5.6 GHz 时测量到天线的最大增益约为 9 dB 。

从图 2 至图 5 可以看出，实测数据与数值仿真结果吻合良好，证明我们的设计思路是正确的，该天线已达到我们的设计目的。由于该天线具有较高的增益和主波束方向角度易于调校的特点，其在无线移动通信，特别是在室内移动通信方面具有较大的应用前景。

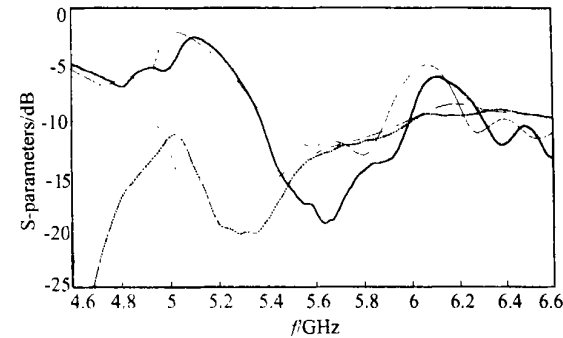


图 2 $L=0.75\lambda_g$ 时天线的反射及插入损耗的实测与仿真结果
Fig 2 Measured and simulated return and insertion loss of the 4-slots LWA with $L=0.75\lambda_g$

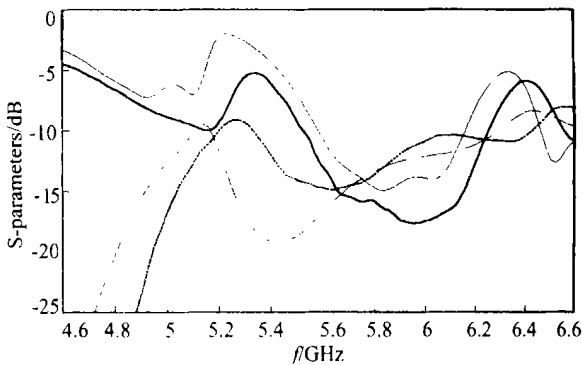


图 3 $L=0.75\lambda_g$ 时天线的反射及插入损耗的实测与仿真结果
Fig 3 Measured and simulated return and insertion loss of the 4-slots LWA with $L=0.85\lambda_g$

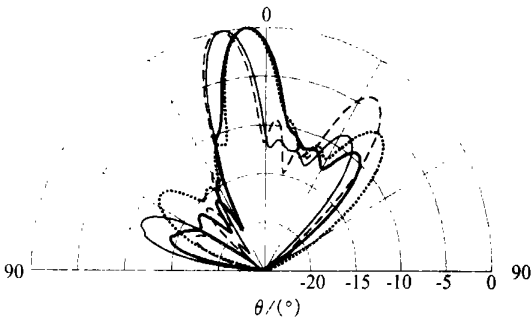


图 4 天线的 H 面方向图的实测与仿真结果
Fig 4 Measured and simulated H-plane radiation pattern of the 4-slots LWA

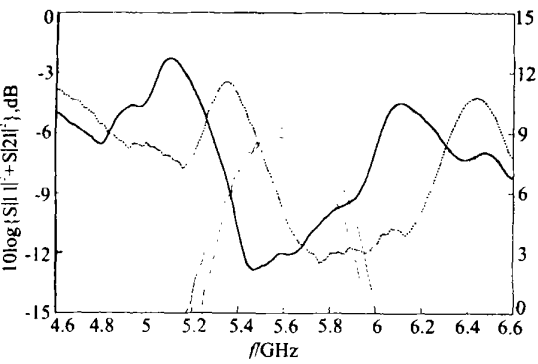


图 5 天线能量损耗和增益随频率的变化

Fig. 5 Power dissipation and gain against the frequency of the 4-slots LWA

参考文献:

[1] HU C C, JOU C F, WU J J. A two-dimensional beam-scanning linear active leaky-wave antenna array[J] . Ieee Microwave and Guided Wave Letters, 1999, 9(3): 102—104.

[2] WANG G J, SHI Y C, JOU C F. Beam-switchable scanning leaky-wave antenna[J] . Electronics Letters, 2000, 36(7): 596—597.

[3] LUXEY C, LAHEURTE J M. Effect of reactive loading in microstrip leaky wave antennas[J] . Electronics Letters, 2000, 36(15): 1359—1260.

[4] SAINATI R A. CAD of microstrip antennas for wireless applications[M] . Norwood: Artech House, 1996.

[5] POZAR D M. Microwave Engineering[M] . 2nd Edi. New York: Addison-Wesley Publishin Company, 1998.

[6] ENSEMBLE. Version 6. 0[M] . USA: Ansoft Corp, 1999.

Design of a Slot Antenna Array with New Microstrip Feedline

LONG Yun-liang¹, LAM K W², YUNG Edward K N²

(1. Department of Electronice & Communication Engineering,

Sun Yat-sen (Zhongshan) University, Guangzhou 510275, China;

2. Department of Electronic Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong, China)

Abstract: Beam steerable 4-slots leaky wave antenna (LWA) array is presented for wireless communications. With a simple design technique of changing the length (L) of microstrip feed line between two slots, the desired scanning angle range can be achieved. Wide slots are used to enhance the radiation of the array. Power dissipation is investigated, showing that the antennas are radiating effectively. Compared with simulated results, experimental results are demonstrated good agreement.

Key words: leaky wave antenna (LWA); slot antenna array; microstrip