

# 中部开周期性缝隙的微带漏波天线及其在微带漏波天线小型化中的应用

李 峰, 魏 亮, 刘菊华, 龙云亮

(1. 中国飞行试验研究院, 陕西省西安市 710089;  
2. 中山大学电子与通信工程系, 广东省广州市 510275)

**摘要:** 传统的微带漏波天线在长度较短的情况下性能较差, 主要表现为反向波束较大。1979年, 由 W. Menzel 首先提出的微带漏波天线长为  $10 \text{ cm} (2.23\lambda_0)$ , 为获得更好的性能, 天线的长度要增大到 4 至 5 个波长。增大天线的长度可以改善天线的性能, 但会影响到它在很多领域的应用。当微带漏波天线的中部开周期性的缝隙后, 天线表面的电流分布会改变, 天线的性能将随之改变。分析了周期性缝隙的各个参数对微带漏波天线主波束方向角和主波束增益的影响, 以及这种方法在微带漏波天线小型化中的应用。

**关键词:** 微带漏波天线; 缝隙; 小型化

**中图分类号:** TN822<sup>+</sup>.6

## 0 引言

1979年, W. Menzel 首先指出了可以利用微带在高阶模时的泄漏特性制造天线<sup>[1]</sup>, 他设计和制作的微带漏波天线工作于第1高阶模<sup>[2]</sup>。但此时对微带漏波天线的理论研究还处于起步阶段。直到1987年, A. A. Oliner<sup>[3]</sup>完整地阐述了微带在第1, 2, 3高阶模下的电波传播特性, 并使用横向谐振法计算了微带漏波天线不同高阶模的漏波传输系数, 微带漏波天线的理论体系才得以完善。

微带漏波天线作为一种有效的微带天线, 由于其具有结构简单、低剖面、波束方向频控可调、易于耦合等优点, 近年来越来越受到人们的重视。智能天线技术是第3代移动通信系统中的关键技术, 该技术要求天线的主波束方向角可以随着移动终端位置的改变而改变。但是普通的智能天线结构、馈电等均比较复杂。而根据微带漏波天线的工作原理, 在频率固定时仍有其他的参数可以改变微带漏波天线的主波束方向角。随着对微带漏波天线研究的深入, 其在微波通信、移动通信、雷达防撞和汽车定位等方面将得到广泛的应用<sup>[3]</sup>。但是, 微带漏波天线长度的制约影响了它在很多领域的应用, 本文介绍一种新的方法, 解决这一问题。

收稿日期: 2007-12-18; 修回日期: 2008-01-21。

基金项目: 国家自然科学基金(60571036); 广东省自然科学基金(04009740)。

## 1 中部开周期性缝隙的微带漏波天线的结构

微带漏波天线的工作特性可以用漏波传输系数  $k_z = \beta - j\alpha$  来说明<sup>[3]</sup>, 其中  $\beta$  为漏波相位系数,  $\alpha$  为漏波衰减系数。当  $\beta$  满足  $\beta < k_0$  ( $k_0 = 2\pi/\lambda_0$  为自由空间波数) 时, 微带漏波天线工作于第1高阶模, 能量以空间波的形式向外辐射。微带漏波天线的主波束方向角  $\theta_r$  由  $\theta_r = \sin^{-1}(\beta/k_0)$  给出。微带漏波天线频扫特性在于当工作频率改变时, 微带漏波天线的电长度也随之改变, 从而使微带漏波天线上各点相位发生变化, 形成的主波束发生偏转。一般把主波束开始扫描的频率点到  $\sin \theta_r = \beta/k_0 = 1$  频率点间的区域称为漏波区, 即微带漏波天线的工作区域。

微带漏波天线作为漏波天线的一种具有波束方向随频率变化的特性, 但对微带漏波天线主波束方向角的调节并不仅仅限于改变天线的工作频率这一种方法。C. Luxey 在文献[4]中采用谐振腔模型法给出了  $\beta$  的解析表达及明确的物理解释。该文给出天线的复传输系数为:

$$k_z = \beta - j\alpha = (\omega^2 \mu \epsilon_r - k_x^2)^{1/2} \quad (1)$$

式中:  $k_x$  可由下面的超越方程求得:

$$\exp(jk_x W) = - \frac{k_x - \omega \mu \gamma_\omega}{k_x + \omega \mu \gamma_\omega} \quad (2)$$

式中:

$$\gamma_\omega = \frac{h}{120\lambda} + j \frac{k_0 \epsilon_r \Delta L}{120\pi} \quad (3)$$

$\Delta L$  为微带漏波天线的等效延伸, 可由以下经验公式求出:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\varepsilon_r + 0.3)(\frac{w}{h} + 0.264)}{(\varepsilon_r - 0.258)(\frac{w}{h} + 0.8)} \quad (4)$$

式中:  $\varepsilon_r$  为微带漏波天线的等效介电常数;  $w$  为贴片的宽度;  $h$  为介质基板的厚度。

由此可以看出, 可以通过改变  $\Delta L$  的值来改变微带漏波天线的漏波传输系数, 从而改变天线的辐射方向角。文献[5]中给出了主模受到较好抑制时的微带漏波天线表面的电流分布。

可以设想, 当对天线的中部开周期性的缝隙后, 天线表面的电流必然受到影响, 天线内部电磁场的分布在缝隙处变化, 同时, 远场的分布也会随之变化。缝隙沿  $z$  轴周期性分布, 将会截断部分  $z$  轴方向的电流, 即可在一定程度上对主模进行压制, 更好地激励起第 1 高阶模。由电流分布图可发现天线电流的分布也具有周期性, 这个周期性与传输系数  $\beta$  相关。当微带贴片表面的连续结构被破坏后, 电流分布的周期性也将变化, 由此引起的传输系数  $\beta$  的变化又与微带漏波天线的主波束辐射方向角直接相关。可见, 天线中部的周期性缝隙必然会影响天线主波束的辐射方向角。

本文分析一种如图 1 所示的微带漏波天线。天线结构基于文献[1]中 W. Menzel 最早提出的微带漏波天线结构, 介质基板的厚度为 0.794 mm, 介电常数  $\varepsilon_r = 2.32$ , 馈电微带线宽度为  $W_m = 2.3$  mm, 馈电微带线长度为 30 mm。微带漏波天线长度为  $L = 100$  mm, 宽度为  $W = 15$  mm, 工作频率为 6.7 GHz。本文中的数据由 FDTD(时域有限差分法)求得。

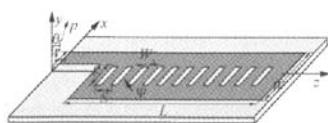


图 1 微带漏波天线模型

由 FDTD 算出的当  $\psi = 90^\circ$  时天线内部电场  $E$ , 分量的分布图如图 2 所示。

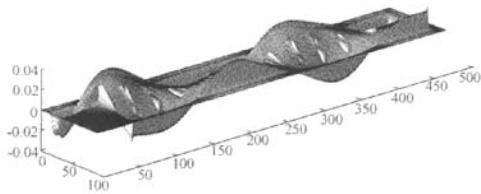


图 2 天线内部电场分布

由图 2 可以看出, 中部开周期性缝隙的微带漏波天线正向波的衰减较小, 即漏波衰减系数  $\alpha$  值较小, 这会影响到天线主波束的增益。

## 2 缝隙参数对微带漏波天线性能的影响

下面分析图 1 中周期性缝隙的各个参数对微带漏波天线主波束方向角的影响。

天线主波束方向角及增益与缝隙间距  $s$  的关系如图 3 所示。

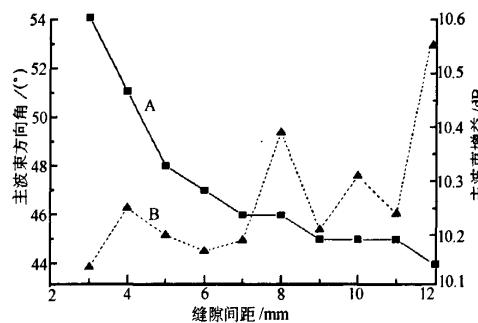


图 3 主波束方向角与缝隙间距  $s$  的关系

由图 3 可以看出, 当天线上缝隙的密度较大时(对应 A 曲线左端), 主波束方向角  $\theta_r$  可达  $54^\circ$ 。当缝隙密度减小, 即缝隙的间距增大时, 天线的主波束方向角  $\theta_r$  减小, 即主波束向  $y$  轴偏转。间距增大至 12 mm 时,  $\theta_r$  减小至约  $44^\circ$ 。可见, 当缝隙间距增大时, 天线的主波束方向角逐渐接近 Menzel 天线的方向角。由图 3 中 B 曲线可以看出, 当缝隙的间距变化时, 天线主波束的增益变化并不显著, 但仍有一定的规律性, 当缝隙的间距持续增大时, 主波束的增益呈上升趋势。

微带漏波天线主波束方向角随倾角  $\psi$  的变化关系给出如图 4 所示。

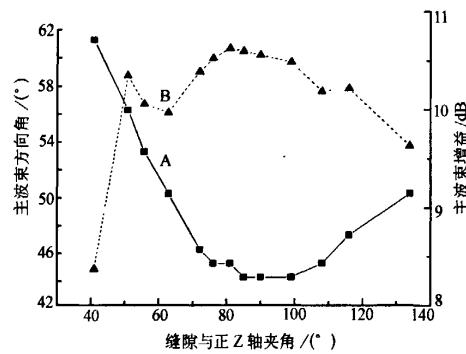


图 4 主波束方向角与倾角  $\psi$  的关系

由图4中曲线A可以看出,当缝隙与正z轴的夹角较小时( $41^\circ$ ),主波束方向角 $\theta_r$ 较大( $61^\circ$ )。当夹角逐渐增大时,方向角逐渐减小,即方向角向y轴方向偏转。当夹角增大到 $90^\circ$ 时,方向角 $\theta_r$ 达到最小值 $44^\circ$ 。这时继续增大夹角,主波束方向角会重新开始增大,如图中所示,曲线A最右侧点的坐标为( $134^\circ, 50^\circ$ )。由图4中曲线B可以看出,天线主波束的增益也几乎是关于倾角为 $90^\circ$ 时左右对称,当倾角从 $90^\circ$ 增大或者减小时,增益均会减小。可见当倾角从 $90^\circ$ 增大或者减小时,天线的方向性都会减弱。这种方向性的减弱主要是由于反向波瓣的增大而引起的。

图1中缝隙高度 $g$ 对微带漏波天线的主波束方向角影响较小,仅对增益有一定的影响。当缝隙的高度由2 mm增大到10 mm的过程中,主波束的增益变化小于1 dB。

图1中缝隙宽度 $W_g$ 对天线主波束方向角的影响也较小。 $W_g$ 主要会对天线的增益产生影响,当 $W_g$ 减小时,天线主波束的增益会增大,反向波束的增益会减小,微带漏波天线的性能由此得到改善。

### 3 微带漏波天线的小型化

文献[6]指出微带漏波天线宽度逐渐减小时反射损耗会减小,即反向波束会减小,但同时会对天线的主波束方向产生较大的影响。因此可以想到在宽度逐渐减小的微带漏波天线上开周期性的缝隙,得到一种主波束方向与Menzel天线大致相同但反向波束明显减小的新型微带漏波天线。考虑如图5所示的微带漏波天线结构。

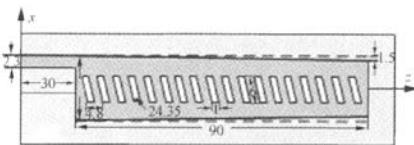
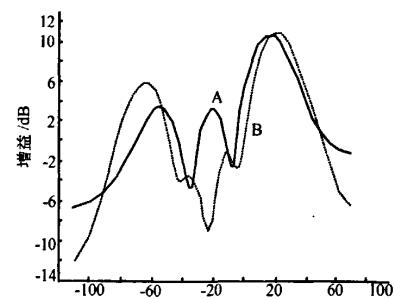


图5 缩小尺寸后的微带漏波天线

微带漏波天线所有的参数如图5所示,长度的单位为mm。图5所示天线的H面增益方向图如图6所示。

由图6可以看出,天线的主波束宽度及增益均与文献[1]中天线相当,但反向波束明显减小。图5所示天线的主波束与反向波束的增益差值为7.05 dB,大于文献[1]中天线正反波束约5 dB的差值,因此,图5所示微带漏波天线对Menzel天线进行了有效的小型化。



A为图5所示天线的H面增益方向图;  
B为文献[1]中天线的H面增益方向图

图6 图5所示天线的H面增益方向图

### 4 结语

本文较全面地分析了中部周期性缝隙的各个参数对微带漏波天线性能的影响,着重分析了缝隙的倾角与缝隙的密度等参数对天线主波束方向角及主波束增益的影响。这种方法具有普遍的适用性,可以在微带漏波天线的设计中用于改变天线主波束的方向角及主波束的增益。将这种方法应用于宽度逐渐减小的微带漏波天线可以有效地使天线小型化,尺寸比原有天线减小10%,达到 $1.91\lambda_0$ 。

### 参 考 文 献

- [1] MENZEL W. A new traveling-wave antenna in microstrip [M]. AEÜ, 1979, 33(4): 137-140.
- [2] OLINER A A, PENQ S T. A new class of leaky modes on open dielectric waveguides [C]//Proceedings of IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Apr 30-May 2, 1979, Orlando, FL, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 1979: 569-571.
- [3] OLINER A A. Leakage from higher modes on microstrip line with application to antenna [J]. Radio Science, 1987, 22(5): 907-912.
- [4] LUXEY C, LAHEURTE J M. Effect of reactive loading in microstrip leaky wave antennas [J]. Electronics Letters, 2000, 36(15): 1259-1260.
- [5] LUXEY C, LATHEURTE J M. Simple design of dual-beam leaky-antenna in microstrips [J]. IEE Proceedings: Micro-waves, Antennas and Propagation, 1997, 144(6): 397-402.
- [6] HONG Wanchu, CHEN Tai Lee, CHENG Chi Yang, et al. Broadband tapered microstrip leaky-wave antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 51(8): 1922-1928.

李峰(1981-),男,硕士研究生,主要研究方向为微带天线。

(下转第17页)

#### 4.2 测试条件

测试温度为26℃,信号发生器为EE1643C型,标准示波器为TDS1200B型,示波器显示终端为TDS1200B型。

#### 4.3 测试结果

##### 1) 垂直灵敏度测试

选择标准正弦信号作为测试信号。该示波器很好地完成了1V/div、0.1V/div挡的切换,同时也完成了2V/div挡的功能。

##### 2) 扫描速度测试

选择正弦信号,幅度为1V作为输入信号,该数字示波器很好地完成了3挡扫描速度的切换。

##### 3) 存储显示功能

按下“存储”按键能够完成对当前波形的存储,按下“显示”键能够完成存储信号的显示。

##### 4) 小信号放大电路测试

小信号放大电路最小能够放大2mV电压。

#### 5 结束语

由测试结果可知,本设计能够很好地实现示波器的功能,具体测试指标如扫描速度测试,整体性能稳定良好。在2mV/div挡测信号时,测量的误差较大,在频率较高时误差进一步加大,主要是当输入信号很小时,信号很容易受噪声信号的干扰,由于在频率较高时放大器的非线性失真比较严重。

#### 参 考 文 献

- [1] 夏宇文. Verilog 数字系统设计 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [2] 全国大学生电子设计竞赛委员会. 电子系统设计实践 [M]. 武汉:华中科技大学出版社,2005.
- [3] 康华光. 电子技术基础 [M]. 北京:高等教育出版社,2005.

周金刚(1984-),男,主要研究方向为电力系统自动化。

## The Digital Memory Oscilloscope Based on FPGA

ZHOU Jingang, ZUO Chao, CUI Changsheng

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The digital oscilloscope consists of programmable amplification circuit, sampling holding circuit, high speed data acquisition, oscilloscope display module. The control core part is FPGA, the wave datas are storaged in in-line RAM of FPGA. Terminal displays by X and Y axes, in the low frequency area we use real time sampling, while in the high sampling area, we choose 200 MHz equivalent sampling, the clock of equivalent sampling comes from PLL. The divided-frequency arithmetic is very precision by optimization, the wave frequency rang is from 20 Hz to 10 MHz, there is no distinct distortion.

**Keywords:** digital memory oscilloscope; FPGA; equivalent sampling

(上接第9页)

## A Microstrip Leaky-wave Antenna with Periodic Slots in Center Part and Its Use for Minimizing the Length of Microstrip Leaky-wave Antenna

LI Feng<sup>1</sup>, WEI Liang<sup>1</sup>, LIU Juhua<sup>2</sup>, LONG Yunliang<sup>2</sup>

(1. Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China; 2. Department of Electronics and Communication Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** The traditional Microstrip Leaky-Wave Antenna has poor performance when it is short because it has a large backward beam. When its length increases, its performance becomes better. But the long length will make it unsuitable in some applications. When open periodic slots along the MLWA are cut, the current distribution as well as the performance will change. This paper analyzes the influence of slots' parameters to the main beam and gain direction of MLWA. Finally, this method is used to minimize the length of MLWA.

**Keywords:** microstrip leaky-wave antenna; slots; size minimization

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>