

文章编号:1005-6122(2003)04-0067-03

# 一种新型频率固定相控波束扫描的微带漏波天线\*

李元新 龙云亮

(中山大学电子与通信工程系, 广州 510275)

**摘要:** 提出了一种崭新的带移相器双端口馈电微带漏波天线。通过控制微带漏波天线末端馈电端口移相器, 其输入电流激励相位发生变化, 成功地实现了工作频率固定下的微带漏波天线主波束扫描。当工作频率为7GHz时, 微带漏波天线主波束扫描范围可以达到约21°。

**关键词:** 微带漏波天线, 频率固定, 波束扫描

7N > 2 A

## A Novel Frequency-Fixed Beam-Scanning Microstrip Leaky-Wave Phased Antenna

Li Yuanxin, Long Yunliang

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

**Abstract:** A novel frequency-fixed beam-scanning microstrip leaky-wave phased antenna has been developed. Through a new feeding construction with phase-shifter, the main lobe of the pattern of the microstrip leaky-wave antenna can scan at a fixed frequency. When the working frequency is 7GHz, the main lobe may scan from 41° to 63°.

**Key words:** Microstrip leaky-wave antenna, Frequency-fixed, Beam-scanning

## 1 引言

微带漏波天线近年来在通信领域越来越受到重视。微带漏波天线具有低剖面、重量轻、电控波束扫描等优点, 在微波通信以及雷达防撞等领域得到了广泛的应用。微带漏波天线工作于第一高阶模时, 产生空间漏波辐射, 其主波束方向依赖于工作频率, 具有电控频扫特性。微带漏波天线频扫特性在于当工作频率改变的时候, 微带天线的电长度也随之改变, 从而使微带线上各点相位发生变化, 形成的主波束发生偏转。但是, 对于个人通信系统而言, 工作频率是固定的, 无法利用微带漏波天线的频扫特性。本文提出了一种崭新的带有移相器的双端口微带漏波天线, 实现了频率固定下的相控波束扫描。

文献[1,2]提出了如何在微带漏波天线上实现双波束扫描, 由[2]可知, 微带漏波天线可通过在微带线上多端口馈电实现微带漏波天线主波束为双波束形式。文献[3~5]介绍了使用阵列天线原理, 把

微带漏波天线准E平面上的扇形波束调整为窄波束, 以及如何实现此波束扫描, 在[5]中此波束扫描角可以达到23°。但以上研究都只是立足于微带漏波天线固有的频扫特性, 通过改变工作频率实现微带漏波天线的波束扫描。本文则运用阵列天线原理, 提出了一种崭新的双端口馈电结构, 在微带漏波天线某一馈电端口上添加移相器, 成功地实现了频率固定下微带漏波天线主波束的扫描。

## 2 微带漏波天线辐射原理

微带漏波天线辐射特性可以用漏波传输常数  $k_z = \beta_z - j\alpha_z$  来说明, 其中  $\beta_z$  为漏波相位常数,  $\alpha_z$  为漏波衰减常数。当  $\beta_z$  满足  $\beta_z < k_0$  时, 微带漏波天线工作于第一高阶模, 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(侧射方向)可由下式给出:

$$\sin\theta = \frac{\beta_z}{k_0} \quad (1)$$

\* 收稿日期:2003-02-25;定稿日期:2003-08-11

基金项目:广东省自然科学基金资助项目(001171)

天线辐射主波束方向随着工作频率的增大向端射方向偏移。

由文献[1]可知,对于双端馈电的微带漏波天线,其远场区的表达式为:

$$E_\varphi = f(r, \theta, \varphi) \left[ \frac{\exp[-jZ_1 L] - 1}{Z_1} + \frac{\exp[-jZ_2 L] - 1}{Z_2} \right] \quad (2)$$

$$f(r, \theta, \varphi) = \frac{k_0 E_0 \exp(-jk_0 r)}{\pi r} \times \sin \theta \cos \left( k_0 \frac{W}{2} \sin \theta \cos \varphi \right) \quad (3)$$

$$Z_1 = k_z - k_0 \cos \theta \quad (4)$$

$$Z_2 = k_z + k_0 \cos \theta$$

其中;  $k_0 = 2\pi/\lambda_0$  为波数;  $\varphi = 90^\circ$ ;  $L$  为微带漏波天线贴片长度;  $f(r, \theta, \varphi)$  为方向函数。

此式未考虑微带开口效应导致的反射波影响。

### 3 天线结构设计及说明

本文利用相控阵天线的原理在微带漏波天线上实现了频率固定相控波束扫描。由于微带漏波天线本身就具有电控波束扫描特性,在 H 面上波束较窄,不需要考虑波束成形问题,在实现波束可调方面具有先天的优越性,可以用少量的天线阵元实现波束可调。图 1 说明了此微带漏波天线结构。

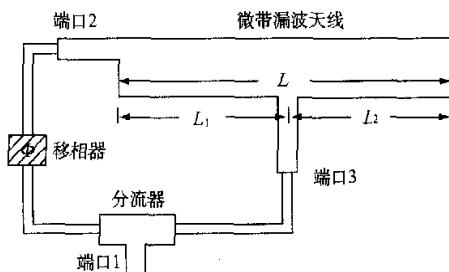


图 1 微带漏波天线结构

此天线系统主要包括分流器以及双端口微带线。电流由端口 1 输入,分流器把输入电流分成两路同相电流,分别馈电于端口 2 和端口 3。为了在微带漏波天线上激励第一高阶模,端口 3 的电流强度应比端口 2 略大。微带线为本系统的辐射单元,分别在微带线末端端口 2 以及中部端口 3 馈电,其中,末端馈电端口 2 带有移相器,用以改变端口 2 输入电流的激励相位。为了满足微带漏波天线特定的工作条件,在微带线上激励第一高阶模,选取微带天线结构参数为:  $W = 15\text{mm}$ ;  $L = 92.57\text{mm}$ ,  $L_1 =$

53.14 mm,  $L_2 = 39.43\text{mm}$  ( $L_1 + L_2 = L$ );  $h = 0.794\text{mm}$ ;  $\epsilon_r = 2.32$ 。工作频率为 7GHz。

根据阵列天线原理,有限个同类型、同取向天线产生的波束叠加后的主波束将会受到阵列单元总数、各阵元空间分布、激励幅度函数以及激励相位函数的影响,可以通过适当调整上述参数使阵列方向图扫描或者具有其他特殊的性能。对于分别在微带线末端以及中部馈电的两个馈电端口而言,可以看作为同类型、同取向的两个天线阵元。微带线末端端口 2 和中部馈电端口 3 分别产生的波束叠加后形成微带漏波天线主波束。改变末端馈电端口 2 输入电流的激励相位,亦即改变末端馈电端口 2 与中部馈电端口 3 间的相位差。根据相控阵天线原理,由两个馈电端口产生波束叠加,形成的微带漏波天线主波束的方向会随着末端馈电端口 2 输入电流激励相位的变化而发生扫描。

### 4 天线仿真原理及其结果

根据阵列天线方向图相乘原理,可有:

$$F = fS \quad (5)$$

$f$  为阵列单元的方向图函数,  $S$  为阵列的阵因子。

从而可得图 1 所示结构微带漏波天线远场区表达式:

$$E_\varphi = f(r, \theta, \varphi) \left[ \frac{\exp[-jZ_1 L_2] - 1}{Z_1} + \frac{\exp[-jZ_2 L_1] - 1}{Z_2} \times \exp(j(kL_1 \cos \theta + \alpha)) + \frac{\exp[-jZ_2 L_1] - 1}{Z_2} \right] \quad (6)$$

$$Z_1 = k_z - k_0 \cos \theta \quad (7)$$

$$Z_2 = k_z + k_0 \cos \theta$$

$\alpha$  即为阵列天线阵元间激励相位间的递增相位;  $L_1$ ,  $L_2$  含义见图 1,  $L_1 + L_2 = L$ ,  $L$  为微带漏波天线贴片长度。

下面使用此公式对本文提出的结构进行仿真。 $L_1$  和  $L_2$  的长度选择(即微带线长度以及中部馈电端口位置的选择)对于微带漏波天线主波束扫描特性有较大的影响。 $L_1$  或  $L_2$  过小会使微带漏波天线主波束出现较大瓣,或者使微带漏波天线主波束在扫描过程中衰减严重。 $L_1$  或  $L_2$  过大则在工程上不合适。通过对微带漏波天线主波束扫描范围大小在  $L_1$  (40~60mm) 和  $L_2$  (20~70mm) 区间内变化的研究,发现微带漏波天线主波束扫描范围与微带线总长以及中部馈电端口 3 的位置有很大的关系(见图 2)。从中选取使微带漏波天线上波束扫描范

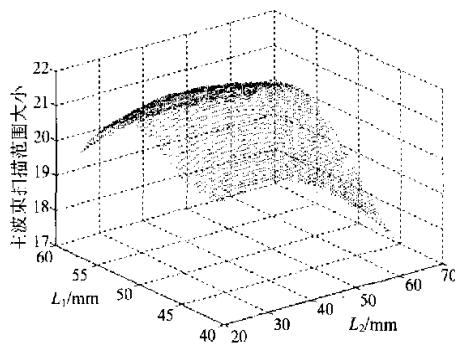


图2 主波束扫描范围大小与微带线结构长度间关系

围最大的  $L_1$  和  $L_2$ ;  $L_1 = 53.14\text{mm}$ ,  $L_2 = 39.43\text{mm}$  ( $L_1 + L_2 = L$ )。

图3为微带漏波天线主波束方向角与末端馈电端口2激励相位间关系;图4为微带漏波天线主波束相对幅度与末端馈电端口2激励相位间关系。由图3可见,末端馈电端口2输入电流激励相位与微带漏波天线主波束方向角之间存在线性关系,当激励相位在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之间连续变化时,微带漏波天线主波束方向角也随之连续变化。由图4可见,末端馈电端口2输入电流激励相位变化时,微带漏波天线主波束方向图幅度变化不超过最大值的9%。

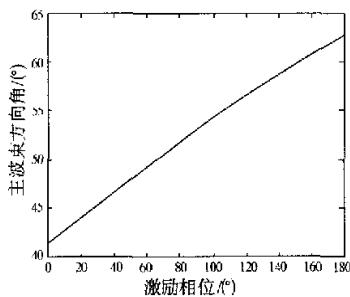


图3 主波束方向角与激励相位间关系

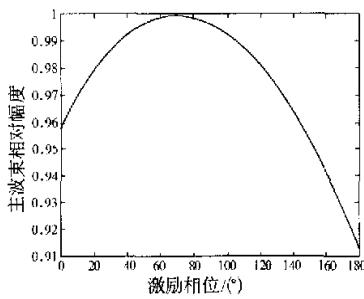


图4 主波束相对幅度与激励相位间关系

图5说明了当工作频率为7GHz时,末端馈电端口2输入电流在不同激励相位下微带漏波天线主波束归一化方向图。当末端馈电端口2输入电流激励相位为 $0^\circ$ 时,微带漏波天线主波束方向角为 $41.316^\circ$ ;当末端馈电端口2输入电流激励相位为 $90^\circ$ 时,微带漏波天线主波束方向角为 $53.016^\circ$ ;当末端馈电端口2输入电流激励相位为 $180^\circ$ 时,微带漏波天线主波束方向角为 $62.682^\circ$ 。成功地实现了频率固定下微带漏波天线主波束相控扫描。微带漏波天线主波束扫描范围约为 $21^\circ$ 。

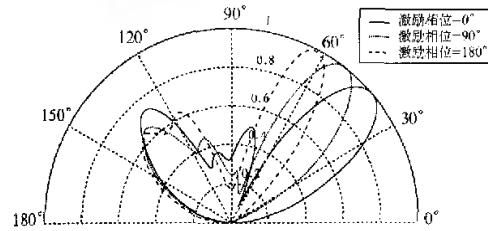


图5 不同激励相位下主波束归一化方向图

## 5 结论

本文提出了一种新型带移相器的双端口馈电微带漏波天线结构,成功地实现了频率固定下主波束的扫描,仿真结果与预期一致。通过控制微带漏波天线末端馈电端口激励相位的大小,实现了微带漏波天线主波束扫描约 $21^\circ$ 。提出了一种实现频率固定下微带漏波天线波束可调的方法,仿真结果证明了此方法的可行性。由于实验条件所限,文中未给出实验数据,相关的实验验证工作是我们下一步的研究重点。由于该微带漏波天线具有频率固定时波束扫描的特性,有望在移动通信中得到广泛应用。同时,由于定频波束扫描技术在成本上远低于直接使用频扫特性实现主波束扫描的微带漏波天线,因此可以大大降低汽车防撞雷达等系统的成本。

## 参 考 文 献

- [1] C Luxey, et al. Simple design of dual-beam antennas in microstrips. IEE Proceeding of microwave Antenna & Propagation, 1997, 144(6): 397 ~ 402
- [2] C J Wang, et al. A novel two-beam scanning active leaky-wave antenna, IEEE AP, 1999, 47(8): 1314 ~ 1317
- [3] C J Hu, et al. Microstrip leaky-mode antenna array. IEEE AP, 1997, 45(11): 1698 ~ 1699

(下转第78页)

## 5 结论

本文计算了 NEMP 对人体模型的作用, 并在此基础上分析了 NEMP 对人体的潜在危害, 得出如下结论:

1) 在宽频带 HIPEMP 对人体的作用中, 色散效应非常严重, 不同波形产生的效果差别显著, 色散明显加强了人体对电磁能量的吸收。

2) NEMP 对人体有很强的穿透能力, 体内脉冲峰值保持了入射脉冲的 40% 以上, 进入体内的强电场对生物分子的作用一般远大于分子的热运动, 其潜在的生物效应值得重视。

3) 人体对 NEMP 的吸收比较均匀, 在本文的计算中没有看到吸收相对加强的区域。在脉冲频率较低的情况下, NEMP 产生的热效应很小。

4) NEMP 在体内产生了峰值很高的瞬变电流, 其潜在效应值得进一步研究。

下一步的工作有望将计算模型推广到三维真实人体模型。

## 参 考 文 献

- [1] 高本庆. 时域有限差分法. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- (上接第 61 页)
- [6] K H Awadalla, T S M Macleun. Input impedance of a monopole antenna at the center of a finite ground plane. *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, 1978, 26(3): 244 ~ 248.
- [7] A W C Chu, S A Long, D R Wilton. The radiation pattern of a monopole antenna attached to a conducting box. *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, 1990, 38(12): 1907 ~ 1912.
- [8] C T P Song, *et al.* Sierpinski monopole antenna with controlled band spacing and input impedance. *Electron. Lett.*, 1999, 35(13): 1036 ~ 1037.
- [9] K L Wong, Y F Lin. Stripline-fed printed triangular monopole. *Electron. Lett.*, 1997, 33(17): 1428 ~ 1429.
- (上接第 69 页)
- [4] C Luxey, *et al.* Dual-beam array of microstrip leaky-wave antennas. *Electronics Letters*, 1998, 34(11): 1041 ~ 1042.
- [5] C J Hu, *et al.* A two-dimensional beam-scanning linear active leaky-wave antenna array. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 1999, 9(3): 102 ~ 104.
- [2] Hurt W D. Multiterm Debye dispersion relations for permittivity of muscle. *IEEE Trans. on BME*, 1985, 32(1): 60 ~ 64.
- [3] Luebbers R J, Hunsberger F P, Kunz K S, *et al.* A frequency-dependent finite-difference time-domain formulation for dispersive materials, *IEEE Trans. on EMC*, 1990, 32(3): 222 ~ 227.
- [4] J A Roden, S D Gedney. Convolutional PML (CPML): an efficient FDTD implementation of the CFS-PML for arbitrary media. *Microwave Opt. Technol. Lett.*, 2000, 27: 334 ~ 339.
- [5] Yee K S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equation in isotropic media. *IEEE Trans. on AP*, 1996, 14(5): 302 ~ 307.
- [6] 乔登江. 核爆炸物理概论. 北京: 原子能出版社, 1990.
- [7] 金钦汉, 等. 微波化学. 北京: 科学出版社, 1999.
- [10] J M Johnson, Y Rahmat-Samii. The tab monopole. *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, 1997, 45(1): 187 ~ 188.
- 程崇虎 1962 年生, 博士, 毕业于东南大学无线电工程系, 主要从事电磁散射与逆散射、天线理论与设计等方面的研究工作。
- 吕文俊 1978 年生, 南京邮电学院通信工程系博士生, 现从事微波有源与无源器件、天线设计等方面的研究工作。
- 程 勇 1970 年生, 南京邮电学院通信工程系博士生, 现从事电磁理论计算方法、天线理论与设计等方面的研究工作。
- 曹 伟 1939 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事电磁理论计算方法、天线理论等方面的研究工作。
- 李元新 男, 1979 年生。现正在中山大学无线电物理专业攻读博士学位。
- E-mail: lipbn@163.net
- 龙云亮 男, 1963 年生, 中山大学电子与通信工程系教授, 博士生导师, IEEE 高级会员, 中国电子学会微波学会委员会委员。研究方向为天线理论与设计、复杂环境中的电波传播理论和电磁数值计算等。

## 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>