

# 一种倒F振子在共形阵列天线中的应用

蒋永辉, 谢拥军, 徐挺威

(西安电子科技大学 天线与微波技术国家重点实验室 陕西 西安 710071)

**摘要:**提出一种新型的倒F振子天线结构。通过使用圆形金属片电容加载以及短路钉的电感加载,得到宽带小型化天线单元。采用广义传输线理论(GTLM)分析了天线的结构形式,给出设计实例,并介绍了该天线单元在飞行载体上柱面共形阵列天线中的应用。在以往柱面共形阵列天线的研究中,阵列波束大部分为垂直于共形面方向的能量辐射,而这里提出的柱面共形阵列天线设计方案着重于可产生平行于共形面的能量辐射。

**关键词:**倒F天线;加载;共形阵列天线;GTLM

**中图分类号:** TN82

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-373X(2009)21-060-03

## Application of New Type Inverted-F Antenna in Conformal Antenna Array

JIANG Yonghui, XIE Yongjun, XU Tingwei

(National Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an, 710071, China)

**Abstract:** A new type of inverted-F antenna is introduced. The requirement of small size and wide frequency bandwidth are obtained by loading the capacitance elements of circular metallic pans and the inductance elements of shorting stub. Structure of the antenna using GTLM is analysed. An example is presented which is used in the conformal array antenna on the air-plane. In the past research of cylinder conformal array, most of the array beam radiate in the direction of perpendicular to conformal surface, the new scheme of cylinder conformal array can achieve radiate energy parallel to the surface.

**Keywords:** inverted-F antenna; load; conformal array antenna; GTLM

## 0 引言

随着现代无线通讯技术的发展,天线的小型化及宽频带等特性是主要的发展趋势。以飞行载体作为安装平台的天线对以上两种特性具有更为严格的要求,这是因为运载平台受运动力学、电磁兼容等因素的影响,不可能为天线提供较为充足的安装空间;无线通讯中,信道容量不断扩充,必然要求天线的工作频带随之展宽。

倒F天线(IFA)是一种低轮廓、结构简单的天线<sup>[1]</sup>,其辐射电场含有强度较大的垂直极化分量,而垂直极化也是目前无线通讯中的主要极化方式,所以倒F天线有广泛的应用领域。在已有研究倒F天线的文献中,为了提高天线的工作带宽,在天线方向图特性基本不变的前提下,采用的方法形式多样:利用三个寄生的倒L单元拓展带宽<sup>[2]</sup>;使用弯曲的短路线路径获得宽频带<sup>[3]</sup>;通过提高平板高度以及调节馈电点位置提高带宽<sup>[4]</sup>。这些方法均对展宽工作频带有一定作用,不足之处是增大了天线体积及实现难度,不利于天线的小型化和工程化。

本文论述了一种应用于柱面共形阵列天线的平面倒F天线单元。该单元属于一种变形倒F天线,采用

圆形金属薄片式的电容加载,以及短路钉的电感加载,具有较小的体积以及较宽的工作频带。本文应用广义传输线理论,定性地分析了该天线结构,介绍了天线单元在柱面共形阵列天线中的应用,并给出了单元和阵列天线的仿真结果。

## 1 天线结构与等效电路分析

### 1.1 天线形式

倒F天线可以看作倒L天线的变形结构,本设计采用的倒F天线单元结构及具体尺寸如图1和表1所示。

单元主体结构由以下几部分组成:单元介质支撑、馈电支杆、短路支杆、功分网络介质层(与馈电微带线共用)、馈电微带线,具体结构如图1所示。单极子单元的加载电容由单元介质支撑上表面的圆形金属镀层实现,可使用铜镀层加镀锡镀层,此结构可实现加载电容功能,也可便于加工过程中的焊接工作,支撑介质采用接近空气介电常数的泡沫材料加工。短路支杆的作用是为了给单极子加载并联电感,使其与加载电容构成LC谐振电路,短路支杆接地于功分网络接地金属镀层,即与功分网络共地。短路支杆为金属圆柱,一端与单元介质支撑金属镀层焊接,一端与功分网络接地金属镀层焊接,整个短路支杆镶嵌于单元介质支撑中。馈电支杆同

样为金属圆柱,贯穿于单元介质支撑和功分网络介质层,一端与单元介质支撑金属镀层焊接,一端与馈电微带线端口焊接。

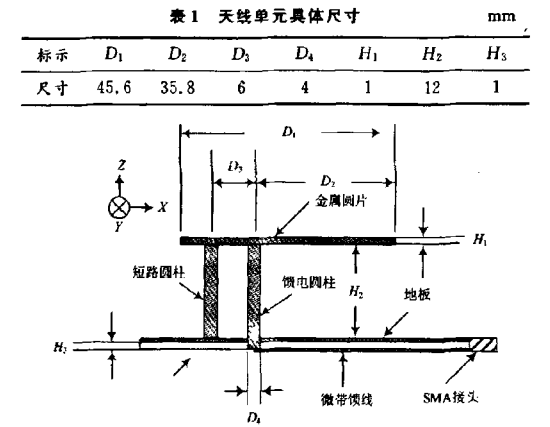


图 1 倒 F 振子单元

1.2 倒 F 阵子的等效分析

已有文献对于倒 F 振子的分析主要有矩量法的数值分析如 FDTD, MoM, 以及其等效分析方法如传输线模型分析方法和腔模法模型分析方法<sup>[5]</sup>, 本文简要介绍传输线模型分析方法。该天线辐射边缝的辐射导纳为  $Y_s = G_s + jB_s$ , 短路支杆的等效电感为  $jB_L$ , 其等效传输线模型如图 2 所示。

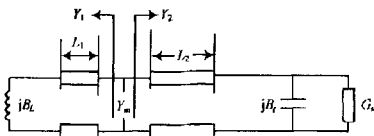


图 2 倒 F 振子单元等效电路图

根据等效模型电路图,设馈电点向短路支杆看去的输入导纳为  $Y_1$ , 向辐射边缝一方看去的输入导纳为  $Y_2$ , 馈电处的总输入导纳为  $Y_{in}$ , 可得:

$$Y_1 = Y_0 \frac{(jB_L) + jY_0 \operatorname{tg}(\beta L_1)}{Y_0 + j(jB_L) \operatorname{tg}(\beta L_1)} \tag{1}$$

$$Y_2 = Y_0 \frac{(G_s + jB_s) + jY_0 \operatorname{tg}(\beta L_2)}{Y_0 + j(G_s + jB_s) \operatorname{tg}(\beta L_2)} \tag{2}$$

$$Y_{in} = Y_1 + Y_2 \tag{3}$$

2 天线单元设计仿真结果及分析

以图 1 的结构参数为基础,利用有限元电磁仿真软件 Ansoft HFSS 可以得到该天线单元的各项电气性能,如图 3 所示。

如图 3 中曲线所示,在 1 GHz 中心频点处回波损耗小于 -10 dB 的带宽大约为 13%,相比于矩形贴片倒 F 振子的最大 5% 带宽<sup>[6]</sup>, 有较大的扩展。另外,在体积上,谐振频率在 1 GHz 左右的矩形贴片倒 F 振子大

小大约为<sup>[7]</sup>, 65 mm×95 mm, 而本天线单元半径为 22.8 mm, 满足天线小型化的要求。

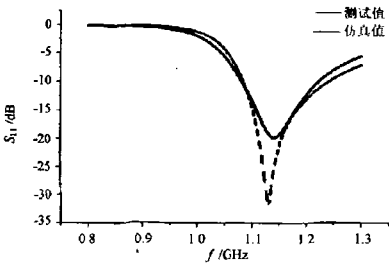


图 3 天线单元回波损耗随频率变化曲线

在共形阵列中,不仅仅需要垂直于共形面方向的能量辐射,某些情况还需要平行于共形面的能量辐射。在图 4 所示天线坐标系下  $f=1 \text{ GHz}$ ,  $\theta=0^\circ$  的切面,可以得出垂直极化辐射方向图,如图 5 所示。

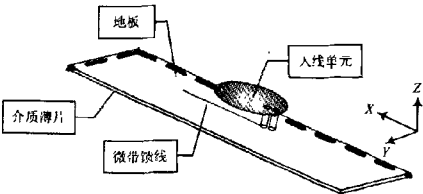


图 4 天线单元坐标示意图

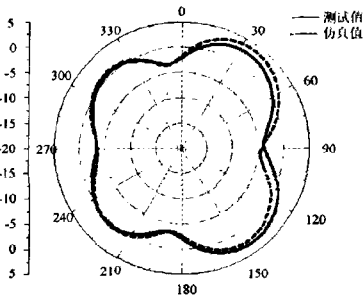


图 5 天线单元垂直极化方向图

3 倒 F 振子在柱面共形阵列天线中的应用

由于该倒 F 振子具有剖面低,体积小,易于馈电等优点,可以组合成与载体平台共形的阵列天线。以下介绍该振子在某柱面平台上构成的共形阵列天线。该柱面为  $\Phi=360 \text{ mm}$  的金属圆柱体的外表面,阵列单元内嵌于柱面凹槽内,凹槽深度为 15 mm,阵列有两列端射线阵组成,每列线阵由两个倒 F 振子单元组成。单元馈电采用威尔金森功率分配器连接馈电微带的形式,功率分配器采用陶瓷片加工,根据单元的结构位置和波束要求进行布局设计。功分网络的底板也是阵列的地板,且为了便于馈电支杆的连接,底板上打有通孔,以使馈电支杆穿过。上述结构极大地缩小了体积并可形成和

差两种波束。该阵列天线简图如图6,图7所示。

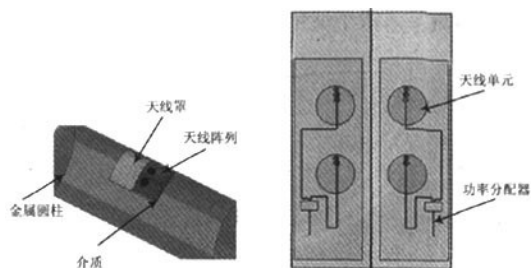


图6 阵列天线外形简图 图7 振子单元及功率分配器透视图

该柱面共形阵列天线的水平面(平行于阵面的切面)垂直极化辐射方向图以及功率分配器端口的回波损耗仿真结果如图8,图9所示。

由图8所示可知,阵列和方向图方向性系数为5.1 dBi,波束宽度为 $68^\circ$ ,差波束零深在-30 dBi以下;在 $74^\circ$ 的波束覆盖范围内,和波束电平大于差波束电平。该天线波束性能在对接天线领域有较大应用,可以较大地提高天线波束搜索范围。

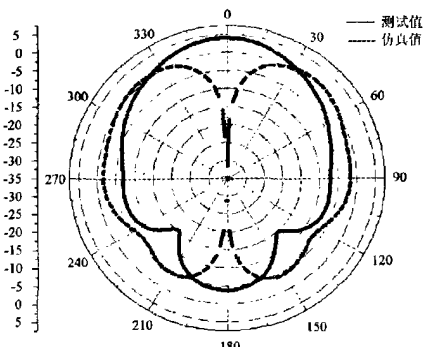


图8 阵列天线和差波束方向图

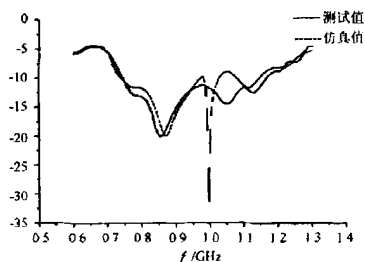


图9 功率分配器端口回波损耗随频率变化曲线

图9是功率分配器端口回波损耗频率响应曲线(因阵列中两个线阵结构完全对称。图中只显示一条曲线)。由曲线可知,由于功率分配器的阻抗匹配作用,回

波损耗在400 MHz的带宽内小于-10 dB,远远优于单元的回波损耗特性;由于阵列单元互耦作用以及环境影响改变了输入阻抗随频率的变化规律,曲线的不规则性比较明显。

#### 4 结 语

本文介绍了一种新型倒F振子天线单元,考察了其电性能指标,并论述了该振子单元在柱面共形阵列天线中的应用。该天线单元具有小型化以及宽频带特性,其组成的柱面共形阵列天线也具备良好的电性能,具有广泛的工程应用前景。

#### 参 考 文 献

- [1] Fujimoto K. 小天线[M]. 俱新德,肖良勇,译. 北京:国防工业出版社,1991.
- [2] Nakano H, Suzuki R, Yamauchi J. Low-profile Inverted-F Antenna with Parasitic Elements on an Infinite Ground Plane Microwaves[J]. Antennas and Propagation, IEEE Proceedings, 1998, 145(4): 321-325.
- [3] Chan P W, Wong H, Yung E K N. Wideband Planar Inverted-F Antenna with Meandering Shorting Strip[J]. Electronics Letters, 2008, 44(6): 395-396.
- [4] Hua-Ming Chen, Yi-Fang Lin. Experimental and Simulated Studies of Planar Inverted-F Antenna Antenna Technology[A]. Small Antennas and Novel Metamaterials, IWAT 2005[C]. 2005: 299-302.
- [5] Zhu Qi, Fu Kan, Liang Tie-zhu. Analysis of Planar Inverted-F Antenna Using Equivalent Models[A]. Antennas and Propagation Society International Symposium[C]. 2005, 3A: 142-145.
- [6] Chen H M, Lin Y F, Cheng P S, et al. Parametric Study on the Characteristics of Planar Inverted-F Antenna[J]. Microwaves, Antennas and Propagation, IEEE Proceedings, 2005: 534-538.
- [7] Duixian Liu, Gaucher B. The Inverted-F Antenna Height Effects on Bandwidth[A]. Antennas and Propagation Society International Symposium[C]. 2005, 2A: 367-370.
- [8] 魏文元, 宫得明, 陈必森. 天线原理[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985.
- [9] 林昌禄. 天线工程手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [10] Tae-Hyun Kim, Sung-Wan Kim, Jae-Deuk Lee, et al. Analysis of Radiation Patterns of Inverted-F Antenna on a Cylindrical Conducting Body like a Satellite Launcher[A]. Microwave Conference Proceedings, APMC 2005[C]. 2005 (2): 4-7.

作者简介 蒋永辉 男, 1979年出生, 硕士研究生。主要从事电磁散射, 微波电路设计等方面的研究。

谢拥军 男, 1968年出生, 教授, 博士生导师。主要研究方向为计算微波与计算电磁学, 微波通信, 电磁兼容及电波传播特性等。

徐挺威 男, 1984年出生, 硕士研究生。主要从事天线工程, 微波电路设计等方面的研究。

## 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,一直致力和专注于微波、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>