

文章编号:1001-893X(2011)01-0093-05

超宽带盘锥天线的设计*

山团彪¹,雷振亚¹,谢拥军^{1,2},邢连发¹,李 平¹

(1.西安电子科技大学 天线与微波技术重点实验室,西安 710071;

2.北京航空航天大学 电磁兼容实验室,北京 100083)

摘 要:介绍了盘锥天线的性能、设计原理,分析了各个参数对天线性能的影响。通过改变天线结构,即在圆盘和下锥体之间引入一个上锥体,将盘锥天线和双锥天线结合起来,既保持了盘锥天线的特性,又减少了圆盘和下锥体的分布电容,从而有效地增加了其带宽。在理论计算的基础上利用 ANSOFT HFSS 软件对设计出的新型盘锥天线进行仿真优化,优化的结果表明天线覆盖了从 300 MHz 到 10 GHz 的频带,在 33:1 的带宽范围内驻波比基本小于 3,该方法有效地展宽了带宽。

关键词:超宽带;盘锥天线;双锥天线;天线仿真

中图分类号:TN015;TN82 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-893x.2011.01.019

Design of an Ultra - Wideband Discone Antenna

SHAN Tuan-biao¹, LEI Zhen-ya¹, XIE Yong-jun^{1,2}, XING Lian-fa¹, LI Ping¹

(1.Key Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China;

2. EMC Lab, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The discone antenna's performance, design principle and the effect of its parameters on the antenna performance are described. Through the introduction of a cone between the plate and the cone below, combining the discone antenna with the biconical antennas, the character of discone antenna remains unchanged. The change of the structure reduces the capacitance between the plate and the cone below, and extends the discone antenna bandwidth. The ANSOFT HFSS software is used to optimize the designed discone antenna based on the theoretical calculation and the result shows the bandwidth covers a 33:1 bandwidth from 300 MHz to 10 GHz, within which the VSWR is almost below 3. With this method the bandwidth is extended effectively.

Key words: ultra - wideband(UWB); discone antenna; biconical antenna; antenna simulation

1 引 言

鉴于超宽带(UWB)技术具有巨大的商业价值和广阔的市场前景,2002 年 2 月 14 日,美国联邦通信委员会(FCC)批准了超宽带(UWB)技术用于短距离无线通信的申请,并开放了 3.1 ~ 10.6 GHz 的频谱资源供其使用^[1]。超宽带天线系统的发展促进了天线宽带技术的快速发展。UWB 天线要求其输入阻抗和相位中心都具有超宽频带不变特性。在已有的 UWB 天线

中,例如双锥天线、盘锥天线、双脊喇叭天线、对数周期天线等,盘锥天线由于其水平全向方向辐射和相对较小的尺寸,被广泛用于 UWB 系统中^[2]。

盘锥天线结构简单,具有良好的宽带特性,垂直线极化,在水平面内全向辐射,且最大辐射方向在水平方向^[2,3]。通常盘锥天线的频带宽度为 8 倍频,工作于 VHF 和 UHF(300 ~ 3 000 MHz)频段^[4]。

盘锥天线优良的阻抗宽频带特性主要得益于其特殊的几何结构。盘锥天线可以看成上锥体半张角

* 收稿日期:2010-10-09;修回日期:2010-11-26

为 $\theta_1 = 90^\circ$ 、下锥体半张角为 θ_0 的双锥天线。盘锥天线保持了双锥天线宽频带的基本特点,其宽频带特性得益于它的非对称激励方式。如果将盘锥结构的盘和下锥体分别看成是两个单极子,则这两个单极子的输入阻抗是不同的,整个天线的输入阻抗可看成是这两个单极子的输入阻抗的串联。只要合理设计,就可以使这两个单极子的输入阻抗随频率变化起互补的作用,且在很宽的频率范围内基本保持稳定。

文献[1]还介绍了盘锥天线其它展宽频带的方法,将母线改为折线、下锥体顶端光滑过渡、圆盘的边缘改为半圆弧的盘锥天线,都可以减少电磁波的反射,从而在一定程度上展宽了阻抗带宽。

2 盘锥天线的理论

盘锥天线是 Kandoian 在 1945 年提出来的。传统的盘锥天线的几何结构如图 1 所示^[5],圆盘与 50 Ω 同轴馈电电缆的内导体相连接,圆锥的锥顶与同轴馈电外导体相连接^[6,7]。

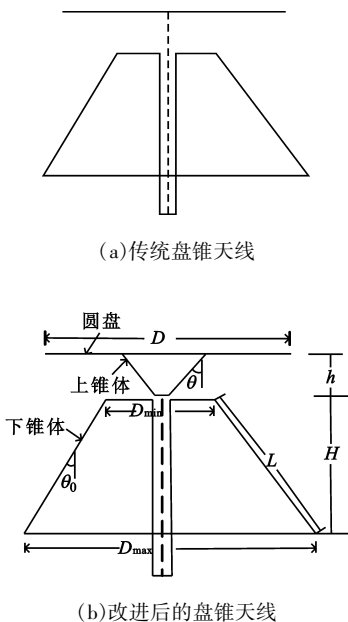


图 1 盘锥天线结构图
Fig.1 Geometry of the discone antenna

图中, D 为圆盘直径, h 为上锥体高度, θ 为上锥体的裙角, $D_{\min}$ 为下锥体上表面直径, $D_{\max}$ 为下锥体下表面直径, H 为下锥体高度, θ_0 为下锥体的裙角, L 为下锥体母线长。

盘锥天线的特性阻抗^[7]近似为

$$Z_0 = 60 \ln \operatorname{ctg}(\theta_0/2) \tag{1}$$

盘锥天线的等效电路如图 2 所示。其中 Z_0 为盘锥天线的特性阻抗, $Y(l) = G + jX$ 为天线辐射导纳。 $Y(l)$ 电抗部分包含圆盘和下锥体之间的电容。由传输线理论,盘锥天线的输入阻抗为

$$Z_{\text{in}} = Z_0 \frac{Z(l) \cos k_0 l + j Z_0 \sin k_0 l}{Z_0 \cos k_0 l + j Z(l) \sin k_0 l} \tag{2}$$

式中, $k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ 是自由空间的波数。由此看到,盘锥天线的输入阻抗是其电长度 $k_0 l$ 的函数。而 Z_{in} 随电长度 $k_0 l$ 变化的快慢程度主要由其终端导纳 $Y(l) = \frac{1}{Z(l)}$ 决定。如果 $Y(l)$ 接近于双锥天线的特性导纳,则天线的输入阻抗几乎不随电长度变化。

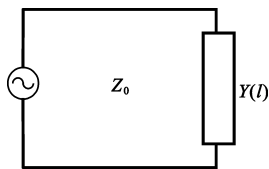


图 2 盘锥天线等效电路模型
Fig.2 Equivalent circuit of the discone antenna

本文在盘和下锥体之间增加了一个圆台结构的上锥体,如图 3 所示。原来的结构使得盘和下锥体之间存在一个电容,使得阻抗的虚部随频率变化非常剧烈。盘锥天线是从双锥天线演化而来,所以可以结合盘锥天线和双锥天线,也就是引入一个上锥体,既增加了盘锥天线的平滑过渡,又不影响盘锥天线的基本特性。相比原来的平板电容,改变后的结构的分布电容是渐变的,电容大小随频率变化相对平缓,通过改变上锥体的裙角 θ ,可以改变此电容的大小,实现和下锥体的阻抗匹配,从而改善盘锥天线的驻波比。改进前后盘和下锥体之间的距离是不变的。除了这个上锥体之外,改进前后盘锥天线的其它尺寸都是一样的。

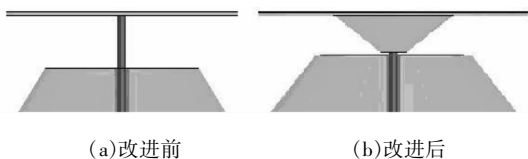


图 3 改进结构前后的盘锥天线模型
Fig.3 The discone antenna model and the improved one

小锥角 ($\theta_0 \leq 20^\circ$) 的盘锥天线, Z_{in} 随电长度 $k_0 l$ 变化剧烈^[7], 所以设计时锥角不能太小。由公式(1)可知, 当 $\theta_0 = 45^\circ$ 时, 盘锥天线的特性阻抗近似为 $53\ \Omega$ 。盘的直径不可太小, 否则辐射电阻小, 电抗分量, 难与馈线良好匹配。通常取盘的直径稍小于下限工作频率对应波长的 $1/4$, 斜高则略长于下限工作频率对应波长的 $1/4$ 。锥角一般取 $30^\circ \sim 60^\circ$ 之间^[8]。上锥的高度会影响到盘与下锥体之间的电容, 进而影响天线的输入阻抗, 合适的上锥体可以部分改善盘锥天线的性能。

3 盘锥天线理论计算与仿真

可以在工作频段的最低工作频率上设计盘锥天线, 圆盘直径 $D \geq 0.15\lambda_{max}$, 天线高度 $(H + h) \geq 0.2\lambda_{max}$, 下锥体的裙角 θ_0 在 $25^\circ \sim 30^\circ$ 之间。典型的中心频率尺寸是: $L = 0.7\lambda$, $D_{max} = 0.6\lambda$, $D = 0.4\lambda$, $\theta_0 = 25^\circ$ 和 $h \ll D$ 。设计中心频率为 1 GHz 时, $L = 21.3\text{ cm}$, $D_{max} = 19.3\text{ cm}$, $\theta_0 = 27^\circ$ 。

按照中心频率在 1 GHz 下计算盘锥天线的各个尺寸, 分别对天线的各个变量进行参数扫描, 在 ANSOFT HFSS 软件里建立多个仿真模型。根据仿真结果, 分析各个参数对天线性能的影响及其最优值范围。从仿真过程中我们可以看到, 圆盘的直径 D 是影响方向图的主要因素, 直径太大, 将使水平方向以上的上半空间的辐射减弱, 尺寸太小则趋向于破坏天线的宽频带特性。上锥体高度 h 对方向图也有较大影响, 对驻波影响也较大, 上锥体的尺寸对盘锥天线性能影响较大, 下锥体的下底面直径 D_{max} 对方向图和驻波比影响较小, 下锥体的锥角 θ_0 对特性阻抗影响很大。如果锥角太小, 则天线阻抗变化很剧烈; 锥角太大, 虽然天线阻抗变化不剧烈, 但是难于与馈线匹配。合适的锥角是设计盘锥天线最重要的一步。锥角太大或太小都会影响天线的带宽。

下面说明下锥角 θ_0 的分析结果。从图 4 中 θ_0 的扫描仿真结果可以看到盘锥天线随 θ_0 的变化不是成线性变化, 而是有个最佳值, 偏离这个最佳值, 结果都会变得很差。

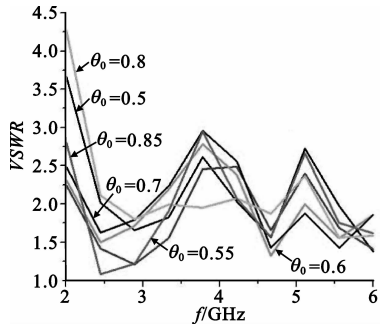
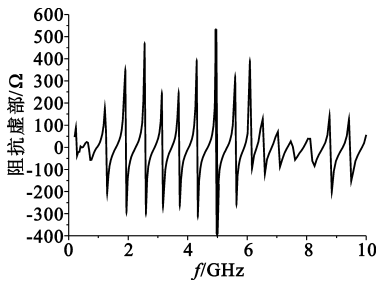


图 4 驻波比随 θ_0 角扫描变化曲线
Fig.4 The variance of the VSWR with θ_0

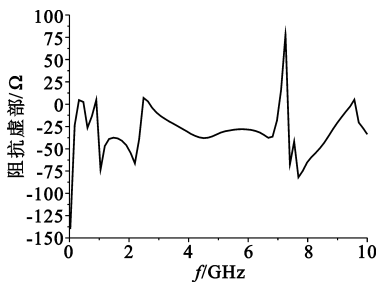
4 仿真结果

利用 ANSOFT HFSS 仿真软件, 添加各个优化变量, 设圆盘的直径、圆盘和下锥体的间距、下锥的高度、下锥的锥角等为优化变量, 设置优化目标为驻波比小于 2.5。经过优化, 得到最后的主要尺寸为: $D_{max} = 360\text{ mm}$, $D_{min} = 36\text{ mm}$, $\theta_0 = 0.55\text{ rad}$, $h = 24\text{ mm}$, $d = 284\text{ mm}$, $H = 235\text{ mm}$ 。

盘锥天线的阻抗虚部如图 5 所示, 从阻抗变化曲线可以看出, 增加了上锥体之后, 改善了盘与下锥体之间的分布电容, 天线的电抗部分有明显的改善, 电抗曲线变化变得平缓。



(a)改进前的电抗部分

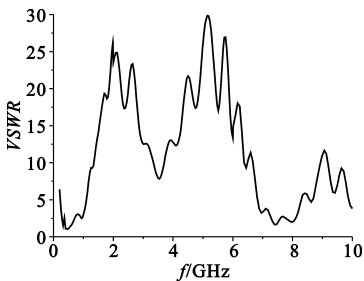


(b)改进后的电抗部分

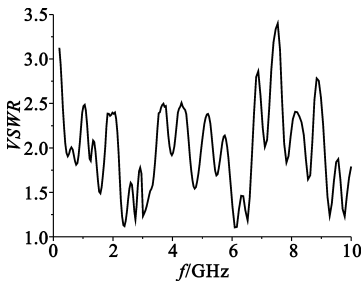
图 5 结构改变前后的阻抗对比

Fig.5 The reactance before and after improving the structure

盘锥天线的驻波比如图 6 所示,从驻波曲线图可以看出此天线覆盖了从 300 MHz ~ 10 GHz 的频段,带宽明显展宽,达到 33 倍频带宽。从图 6 中通过对比可以看出,改进前的盘锥天线的驻波比基本都在 5 以上,改进后的盘锥天线驻波比有很大提高,基本都保持在 3 以下。仿真结果表明引进上锥体有效地降低了天线的驻波比。



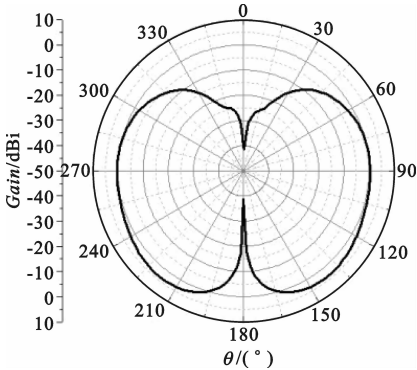
(a)改进前的驻波比



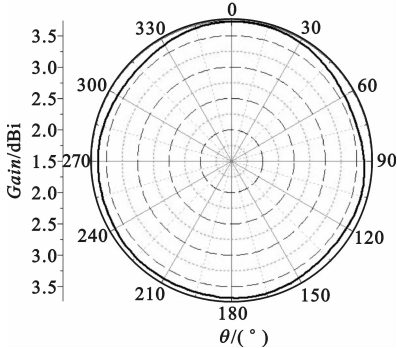
(b)改进后的驻波比

图 6 改进模型前后的驻波比对比
Fig.6 The VSWR before and after improving the structure

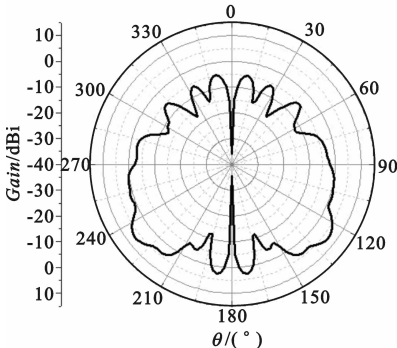
盘锥天线的辐射方向图如图 7 所示,当频率在 0.7 GHz 的时候,此结构小于一个波长,辐射电场方向图接近短振子的辐射方向图,增益最大值为 3.7 dBi。当频率在 4 GHz 的时候,增益最大值为 7 dBi;当频率在 7 GHz 的时候,增益最大值为 5.5 dBi。当频率升高的时候,圆盘的电尺寸增大,由于圆盘的“屏蔽”作用,使最大辐射方向偏离水平方向而向下偏移,辐射波瓣被限制在下半空间,但最大辐射方向基本在 90° ~ 270° 之间。由于圆盘和下锥体的电尺寸增大,超过工作波长,所以形成很多副瓣。从图 7(b)可以看出在水平面上,盘锥天线为全向辐射方向图。在不同的频率下,盘锥天线的增益大小不同。



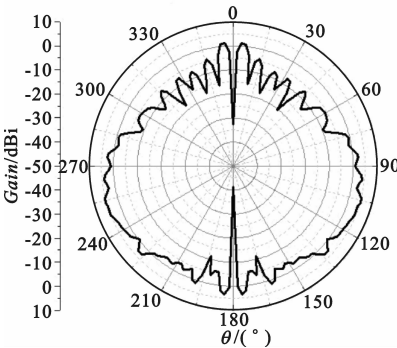
(a)0.7 GHz 时 y - z 平面增益方向图



(b)0.7 GHz 时 x - y 平面增益方向图



(c)4 GHz 时的 y - z 平面增益方向图



(d)7 GHz 时的 y - z 平面增益方向图

图 7 天线的增益方向图
Fig.7 The gain patterns of the antenna

5 结 论

本文将双锥天线和盘锥天线结合起来,在盘锥天线的盘和下锥体之间引入上锥体,从而把盘锥天线和双锥天线结合起来,在保持了盘锥天线基本性能的同时,有效地改善了天线的带宽,减小了天线的尺寸。传统的盘锥天线工作在300 MHz ~ 2.4 GHz,一个典型盘锥天线工作在30 ~ 700 MHz频率时驻波小于3,最大尺寸在2.75 m,而本文改进后的盘锥天线覆盖了300 MHz ~ 10 GHz的带宽,带宽达到33倍频,明显得到了展宽,而最大尺寸在0.36 m,比原先的尺寸要小很多。在这个频率范围内,驻波比基本小于3,但也使天线的最大辐射方向在高频时向下半空间偏移较多。从仿真结果来看,相比没有上锥体的盘锥天线,新增加的上锥体有效地改善了天线的阻抗特性,使得天线和馈线良好匹配,降低了天线的驻波。设计出的天线尺寸大大减小,相比文献中的其它小型化技术容易加工,达到了天线小型化的目的。

参考文献:

- [1] 杜瑞.应用于UWB系统的圆锥天线的分析与设计[D].南京:东南大学,2005:18-41.
DU Rui. Analysis and design of conical antenna applied to UWB systems[D]. Nanjing:Southeast University,2005:18-41. (in Chinese)
- [2] 周朝栋,王元坤,杨恩耀.天线与电波[M].西安:西安电子科技大学出版社,1999:109-110.
ZHOU Chao-dong, WANG Yuan-kun, YANG En-yao. Antenna and Radio[M]. Xi'an: Xidian University Press, 1999:109-110. (in Chinese)
- [3] Jinu Kim, Seong-Ook Park. Novel Ultra-Wideband Discone Antenna[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2004, 42(2):113-115.
- [4] Ki-Hak Kim, Jin-U Kim, Seong-Ook Park. An Ultrawide-Band Double Discone Antenna With the Tapered Cylindrical Wires [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(10):3403-3406.
- [5] Yongwei Zhang. The Discone Antenna in a BPSK Direct-Sequence Indoor UWB Communication System [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, 54(4):1675-1680.
- [6] 卢万铮.天线理论与技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004:113-116.
LU Wan-zheng. Antenna theory and technology[M]. Xi'an: Xidian University Press,2004:113-116. (in Chinese)
- [7] 王元坤,李玉权.线天线的宽频带技术[M].西安:西安

电子科技大学出版社,1995:11-32.

WANG Yuan-kun, LI Yu-quan. The broadband linear antenna technology[M]. Xi'an: Xidian University Press,1995: 11-32. (in Chinese)

- [8] 张斌.短波宽带全向天线技术研究[D].成都:电子科技大学,2003:29-40.

ZHANG Bin. Research on Shortwave Broadband Omnidirectional Antenna Technology[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China,2003:29-40. (in Chinese)

作者简介:

山团彪(1985-),男,陕西西安人,西安电子科技大学电磁场与微波技术专业硕士研究生,主要研究方向为微波射频电路和天线;

SHAN Tuan-biao was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1985. He is now a graduate student in Electromagnetic Field and Microwave Technology at Xidian University. His research interests include microwave RF circuit and antenna.

Email: xddzstb2004@126.com

雷振亚(1960-),男,陕西西安人,1998年获西安电子科技大学电磁场与微波技术专业硕士学位,现为教授、硕士生导师,主要研究方向为微波无源电路、微波有源电路、微波天线及微波系统等;

LEI Zhen-ya was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1960. He received the M. S. degree in Electromagnetic Field and Microwave Technology from Xidian University in 1998. He is now a professor and also the instructor of graduate student. His research interests include microwave passive circuit, active circuit, microwave antennas and microwave system, etc.

谢拥军(1968-),男,安徽滁州人,1996年获西安电子科技大学电磁场与微波技术专业博士学位,现为教授、博士生导师,主要研究方向为微波与计算电磁学、微波通信、电磁兼容及电波传播特性等;

XIE Yong-jun was born in Chuzhou, Anhui Province, in 1968. He received the Ph. D. degree in Electromagnetic Field and Microwave Technology from Xidian University in 1996. He is now a professor and also the Ph. D. supervisor. His research interests include microwave and computational electromagnetism, microwave communication, EMC, microwave antennas and radio waves propagation characteristics, etc.

李平(1987-),男,陕西咸阳人,硕士研究生,主要研究方向为微波滤波器设计及微波有源电路设计;

LI Ping was born in Xianyang, Shaanxi Province, in 1987. He is now a graduate student. His research interests include microwave filter design and microwave active circuit design.

邢连发(1987-),男,云南屏边人,硕士研究生,主要研究方向为空间映射算法。

XING Lian-fa was born in Pingbian, Yunnan Province, in 1987. He is now a graduate student. His research direction is space mapping algorithm.