

高增益空间功率合成天线的研究

张荣幸, 谢泽明, 褚庆昕

华南理工大学, 电子与信息学院, 广东 广州 510640

eezmxie@scut.edu.cn

摘要: 分别用扇形喇叭线阵, 角锥喇叭线阵, 功分喇叭线阵作为偏馈抛物柱面天线的馈源实现空间功率合成, 在喇叭路数相同的情况下, 角锥喇叭线阵作为馈源比扇形喇叭线阵作为馈源的天线增益提高 2dB, 天线的方向图中出现栅瓣。用功分喇叭线阵作馈源能克服角锥喇叭线阵作馈源产生栅瓣的缺点, 天线增益再提高 0.5dB, 天线的口径利用效率由 69% 提高到 77%。

关键字: 空间功率合成, 高增益, 功分喇叭

Study of High Gain Spatial Power Combining Antenna

Rong-Xing Zhang, Ze-Ming Xie, Qing-Xin Chu

School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology

Guangzhou, Guangdong, 510640, China

Email: eezmxie@scut.edu.cn

Abstract: An offset parabolic cylindrical reflector antenna fed with a sector horn array, a pyramidal horn array, a power dividing horn array respectively is study in this paper. The gain of the antenna fed with the pyramidal horn array is 2dB higher than that of the antenna fed with the sector horn array. The grating lobes which produced by the pyramidal horn array can overcome by using the power dividing horn array and the gain of the antenna can be increased by 0.5dB. The aperture efficiency of the antenna fed with power dividing horn array is 77% when that of the antenna fed with pyramidal horn array is 69%.

Key Words: spatial power combining, high gain, power dividing horn

1 引言

在通信对抗领域, 要获得很大的微波干扰功率有两种方法: 一是采用固态功率合成技术, 但研制超大功率受到高压电源和高功率器件等因素的限制; 二是利用空间功率合成技术大幅度提高干扰功率, 这能突破功率器件的制约, 得到更强大的干扰功率[1]。利用多个天线单元发射频率相同、相位符合特定关系的电磁波, 使之在空间传播过程中相互叠加合成, 从而在一定方向上形成电磁波束的技术称为空间功率合成技术[2]。空间功率合成的各路功放并行工作, 各路信号通过低耗波导传播到空中进行合成, 具有较高的合成效率, 因而得到了广泛的应用[3]。

本文主要研究在不增加喇叭路数(即不增加大功

率微波功放的数量, 这是控制系统成本常常需要考虑的问题)情况下, 如何进一步提高喇叭线阵偏馈抛物柱面型空间功率合成天线的增益。在保持喇叭路数不变的情况下, 用角锥喇叭代替扇形喇叭作为馈源单元, 线阵的长度增大, 抛物柱面的口径同时增大, 天线增益提高, 但过大的阵元间距会使天线方向性图出现栅瓣[4], 导致非干扰方向出现功率泄漏。本文提出用功分喇叭作为线阵单元, 使抛物柱面天线的口面场分布更均匀, 提高了抛物柱面天线的口径利用效率, 克服角锥喇叭线阵馈源产生栅瓣的缺点, 进一步提高了空间功率合成天线的增益。

2 天线结构描述

抛物柱面空间功率合成天线包括多个天线单元组成的线性馈源阵列和抛物柱面反射板。空间功率合

成的原理示意图和偏馈抛物柱面天线结构如图1所示。微波信号经过分路器分成若干路依次接上移相器和功放通过波导对喇叭单元进行馈电。为了实现水平极化,16路喇叭E面水平放置以D为阵元中心间距组成阵列放在抛物柱面的焦线位置作为馈源,微波信号由喇叭发射经过抛物柱面反射后在空中进行高功率合成。抛物柱面天线的俯视图和侧视图如图2所示,天线采用偏馈的形式,为了避免了抛物柱面反射波对馈源的影响,截去抛物柱面张角小于 $\Psi_0=5^\circ$ 的部分。抛物柱面夹角为 $\Psi=55^\circ$,最大张角为 $\Psi_0+\Psi=60^\circ$,喇叭的照射角度为 $\Psi_m=32.5^\circ$, Ψ_m 为抛物柱面夹角的平分线指向。抛物柱面的水平投影宽度为T。抛物柱面的高度为H,为了减少抛物柱面的后向辐射,H比喇叭阵列的垂直面总高度两边分别多留出 $H_0=0.625\lambda$ 的高度,抛物柱面的有效口径尺寸为 $T*H$ 。抛物面的焦距为 $F=12.5\lambda$ 。

抛物柱面天线的水平面尖锐波束通过抛物面反射形式形成,垂直面尖锐波束通过喇叭组阵的方式形成。水平面和垂直面的波束宽度可独立调整,通过移相器对馈电相位的调整,合成波束可在垂直面进行电扫描。不失一般性,本文所有频率对工作的中心频率 f_0 归一化,所有尺寸为电尺寸,其中 I 为 f_0 对应空气中的波长。

本文比较了不同馈源的三副空间功率合成天线,天线一用E面扇形喇叭线阵作为馈源,天线二用角锥喇叭线阵作为馈源,天线三用功分喇叭线阵作为馈源,抛物柱面的焦距和张角保持不变,抛物面高度H随着喇叭的H面口径作相应的调整。三副天线对应的馈源阵列示意图如图3所示。图3(a)为馈源一的H面示意图,图3(b)为其E面示意图,矩形波导口径尺

寸 $a=0.794 I$, $b=0.397 I$,波导工作于 TE_{10} 模,喇叭E面口面场为均匀分布,H面口面场为余弦分布。D1为馈源一的阵元中心间距,馈源一对应的抛物柱面天线高度 $H=16*D1+2*H_0$ 。 $C=1.979 I$ 为喇叭的长度, $A1=a$ 为喇叭的H面口径尺寸,调整喇叭的E面口径尺寸B1,当抛物柱面天线的增益最高时确定B1取值。天线二对应的馈源二的示意图和尺寸如图3(c),(d)所示,馈源二是张开馈源一中E面扇形喇叭的H面口径形成角锥喇叭,喇叭H面口径为 $A2$,喇叭的单元间距加大为 $D2$,此时抛物柱面高度 $H=16*D2+2*H_0$ 。调整喇叭的E面口径 $B2$,当抛物柱面天线的增益最高时确定 $B2$ 取值。天线三对应的馈源三的示意图和尺寸如图3(e),(f)所示,馈源三是延长馈源二中的角锥喇叭的张口,并在口面中间加水平金属劈来改变喇叭口面场分布,形成功分喇叭,该喇叭的H面口径 $A3$ 与馈源二中 $A2$ 相等,阵元间距 $D3$ 也与 $D2$ 相等。喇叭的E面口径 $B3$ 确定也以抛物柱面天线增益最高为标准。三副天线的主要参数对比如表I所示。

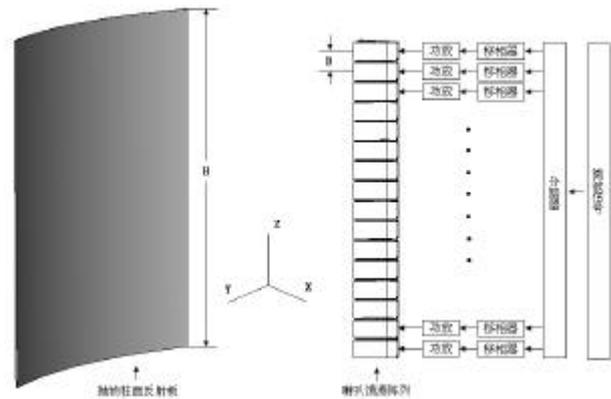
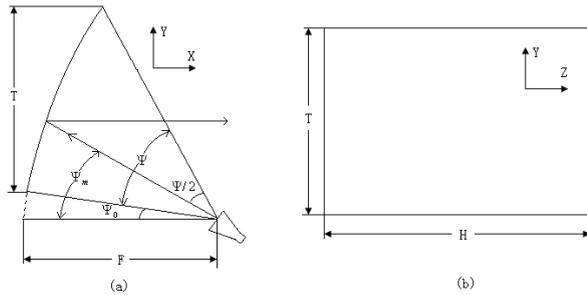


图1 偏馈抛物柱面天线结构示意图

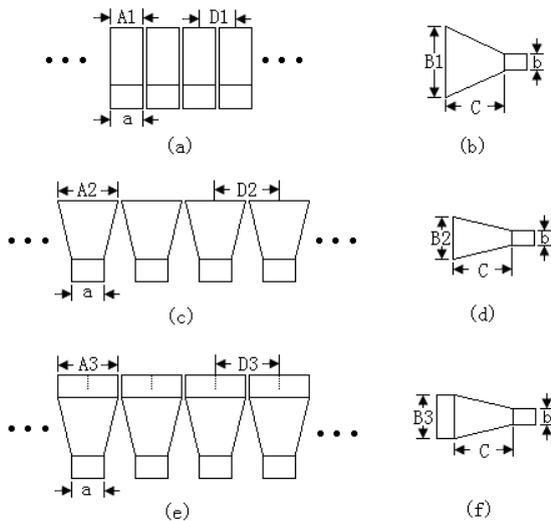
表I 偏馈抛物柱面天线主要参数对比

	馈源喇叭					抛物柱面	
	馈源单元	喇叭路数	E面口径	H面口径	单元间距	投影宽度T	垂直高度H
天线一	扇形喇叭	16	$1.5 I$	$0.794 I$	$0.877 I$	$13.342 I$	$15.283 I$
天线二	角锥喇叭	16	$1.25 I$	$1.417 I$	$1.5 I$	$13.342 I$	$25.25 I$
天线三	功分喇叭	16	$1.167 I$	$1.417 I$	$1.5 I$	$13.342 I$	$25.25 I$



(a) 俯视图, (b) 侧视图

图2 偏馈抛物柱面天线



(a) 扇形喇叭线阵H面, (b) 扇形喇叭E面
(c) 角锥喇叭线阵H面, (d) 角锥喇叭E面
(e) 功分喇叭线阵H面, (f) 功分喇叭E面

图3 喇叭馈源阵列的示意图

3 计算结果

本文用FEKO软件对上述的三副天线进行计算,喇叭馈源部分用矩量法求解,抛物柱面反射板部分用物理光学方法求解,在保证计算准确度的同时,节省计算机内存容量和计算时间。三种馈源喇叭单元的驻波比如图4所示,扇形喇叭,角锥喇叭和功分喇叭的驻波比在工作频带内均小于1.3,三种喇叭的匹配性能良好。三副天线的E面方向性图如图5所示,H面方向性图如图6所示,三副天线的增益、半功率角、口径利用效率如表II所示。

从增益来看,由于天线二张开了天线一的E面扇形喇叭的H面口径,天线二的H面口径较大,故天线二的增益比天线一的增益高出2dB,这证明了在相同的

喇叭路数情况下,用角锥喇叭线阵作为馈源比扇形喇叭线阵作为馈源的抛物柱面天线具有更高的增益。从口径利用效率来看,由于天线二张开了扇形喇叭的H面口径,口径场变得更加不均匀,天线二的口径利用效率下降到68.9%;虽然天线三张开了扇形喇叭的H面口径,但由于金属劈对口面场的分隔作用,口径场变得更加均匀,天线的口径利用效率提升到77%,所以在相同的口径尺寸情况下,天线三比天线二的增益高0.5dB。从波束覆盖范围来看,由于天线增益的提高,天线三和天线二的半功率角都比天线一的更窄。从方向性图来看,天线二的馈源阵元间距大于 λ ,H面方向性图在43度方向出现栅瓣,引起空间功率合成天线在非干扰方向出现大功率泄漏,天线三采用功分喇叭线阵作为馈源,克服了角锥喇叭线阵产生栅瓣的缺点,空间功率合成无大功率泄漏。

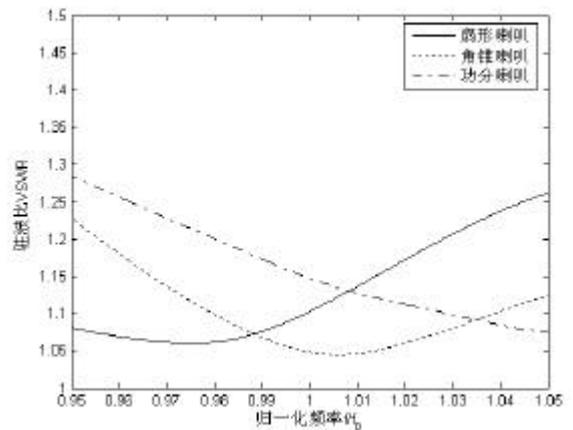


图4 喇叭单元的驻波比

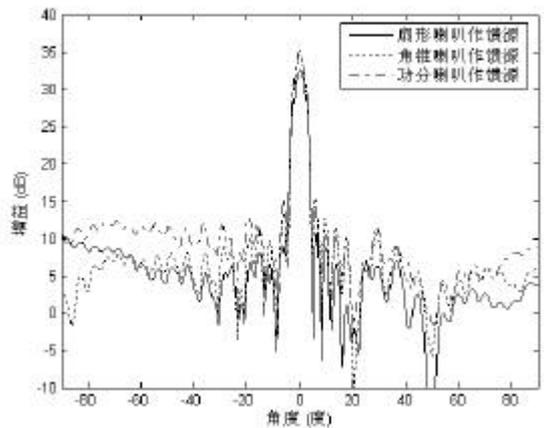


图5 偏馈抛物柱面天线的E面方向性图

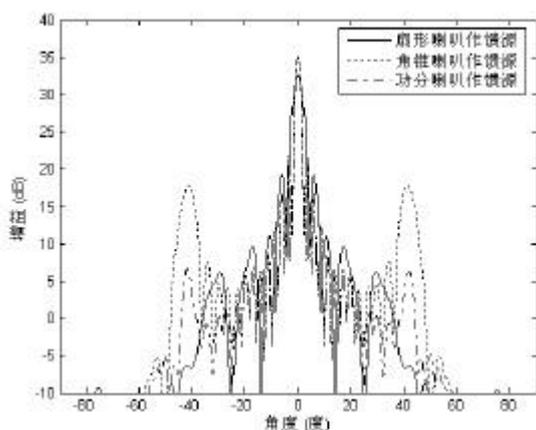


图6 偏馈抛物柱面天线的H面方向性图

表II 偏馈抛物柱面天线的主要性能对比

	天线一	天线二	天线三
馈源单元	扇形喇叭	角锥喇叭	功分喇叭
口面尺寸T*H	$204 I^2$	$337 I^2$	$337 I^2$
增益 (dB)	32.60	34.65	35.13
E面半功率角 (度)	4	3.8	3.8
H面半功率角 (度)	3.6	2.1	2.1
口径利用效率	71.0%	68.9%	77.0%

4 结论

本文研究了分别用E面扇形喇叭线阵, 角锥喇叭

线阵, 功分喇叭线阵作为馈源的偏馈抛物柱面空间功率合成天线。在喇叭路数相同的情况下, 角锥喇叭线阵作馈源的抛物柱面天线增益比E面扇形喇叭线阵作馈源的增益更高, 但口径利用效率下降, 波束覆盖范围变窄, 当角锥喇叭线阵的阵元间距过大时天线的H面方向性图出现栅瓣。与角锥喇叭线阵作馈源的抛物柱面天线相比, 功分喇叭线阵作馈源的天线口面场分布更均匀, 能克服方向性图出现栅瓣的缺点, 口径利用效率提高。在不增加喇叭路数(不增加大功率功放成本)的情况下, 实现更高的空间功率合成天线增益的较好方法是采用功分喇叭线阵作馈源。

参考文献

- [1] 章宇兵, 张浩, 廖桂生, “任意分散布阵短波通信干扰机空间功率合成技术,” 西安电子科技大学学报, 2006, 33(1).
- [2] 齐亚平, 朱林芳, “短波多站空间功率合成通信干扰技术研究,” 电子对抗, 2000, 3.
- [3] DeLisio, M.P., York, R.A. “Quasi-optical and spatial power combining,” IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2002, 50(3): 929-936.
- [4] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design. New York: Harper Row, 1982.

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)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)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),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>