

等离子体天线辐射特性研究

曹立辉，郑龙根，张志刚，王鹏飞

(海军工程大学 电子工程学院，武汉 430033)

摘要：用环形荧光灯制作了两幅等离子体天线，等离子体激励源分别为 220 V 交流电压和射频信号。测量了两种等离子体天线的电压驻波比和远区辐射场强，并与周长相同的方框金属天线的特性进行了对比。结果表明，等离子体天线的增益较金属天线平均低 5 dB 左右；在试验频率低端，220 V 电源预激励方式下等离子体天线增益比 RF 直接激励要高 2~4 dB，随着频率增加，两者增益差变小。

关键词：等离子体天线；辐射场强；驻波比；天线增益

中图分类号：TN826

文献标志码：A

文章编号：1009-3486(2009)01-0032-03

Radiation characteristics of plasma antenna

CAO Li-hui, ZHENG Long-gen, ZHANG Zhi-gang, WANG Peng-fei

(College of Electronic Engineering, Naval Univ. of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: The radiation characteristics of plasma antenna were studied. The plasma antenna was an annular fluorescent lamp which could be driven by either 220V AC or RF signal. A metallic antenna was used as a reference. The distant field strength and VSWR of these three antennas were measured. The relative gains of these antennas were obtained. The gain of a plasma antenna is found to be less than that of a metallic one at an average of 5 dB; At the lower end of experiment frequency band, the gain of a 220V AC pre-driven plasma antenna is 2~4 dB higher than that of a RF-driven plasma antenna. At other frequencies, the gain difference between these two plasma antennas is quite small.

Key words: plasma antenna; field strength; VSWR; antenna gain

传统金属天线的雷达散射截面(RCS)很大，这已成为系统隐形设计中的技术难点。等离子体天线利用等离子体的导电特性辐射电磁波，气体被电离后它是天线，可以辐射电磁波；电离源关闭后，导电的等离子体气体退变为中性气体，相当于普通的玻璃管，其雷达反射面积极小，这对于需要进行隐身设计的飞机和舰船有重要意义^[1]。相对于传统的金属天线，等离子体天线极好的隐形性、可动态重构、天线之间互耦效应小等许多优点^[2]很早就受到了世界各国学者的关注。因此，研究等离子体天线具有很好的科学和军事价值。

刘平等^[3]对环直径 260 mm 环形等离子体天线在频率 18.7 MHz 做了接收实验，测量了接收信号电平，实验结果表明等离子体天线能辐射电磁波；其他学者如赵国伟^[4]以及国外 Moisan^[5]等对单极型等离子体天线也做了输入阻抗、场强和方向图的测试，但都还没有对天线增益作出测量。文中用环形荧光灯管作为等离子体天线，采用 220 V 交流预激励和射频信号直接激励两种方式激励起等离子体，测试了等离子体天线的电压驻波比和远区场强，通过测量参考金属天线的辐射场强，推算出等离子体天线的

收稿日期：2008-07-17；修回日期：2008-09-10。

基金项目：国家 863 计划资助项目。

作者简介：曹立辉(1982—)，男，硕士生，主要研究方向为等离子体天线，E-mail: af2sf@163.com；

郑龙根(1965—)，男，副教授，博士，主要研究方向为天线设计，E-mail: zhenggen@jsmail.com.cn。

增益。

1 实验方案

实验用等离子体天线为周长 100 cm、管直径 1 cm 的环形荧光灯管。采用荧光灯管的好处是当激励起等离子体后,可以通过灯管发光的区域推算出天线的有效长度^[6]。等离子体天线作发射天线,接收天线采用周长为 100 cm 的方框金属天线,天线相距约 700 m,用场强计记录接受天线的信号强度收发,同时用驻波比-功率计测量发射天线的驻波比和前向功率,等离子体天线采用以下两种激励方式。

方式 1: 220 V 交流电压预激励(见图 1)。电源导线串接多个铁氧体磁环组用以减小这些导线的天线效应。

方式 2: 采用射频信号直接激励(见图 2)。

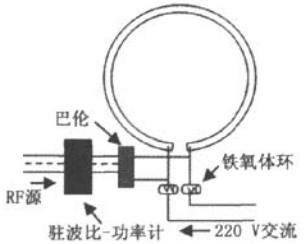


图 1 220 V 电压预激励等离子体天线示意图
Fig. 1 220 V AC-driven plasma antenna

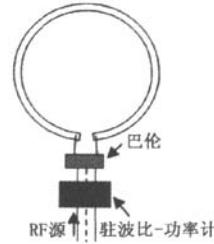


图 2 RF 激励等离子体天线示意图
Fig. 2 RF-driven plasma antenna

当采用 220 V 电流预激励时,环形灯管发光,此时激励起来的等离子体比较均匀,电子密度较大,具有较好的传导效应。

当采用约 40 W 的 RF 直接激励时,可以看到不同频率的射频信号激励起来的等离子体长度不同。当激励射频信号在 150~170 MHz 频段,灯管完全变亮,亮度较大且比较均匀(见图 3);当激励射频信号在 370~390 MHz 频段,灯管下半部分被激励而发光,且关于信号注入点对称,上半部分未被激励,不发光(见图 4)。

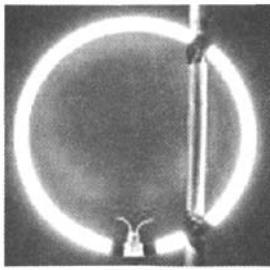


图 3 完全激励的等离子体天线
Fig. 3 Fully driven plasma antenna

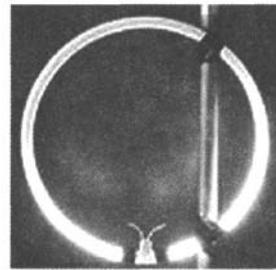


图 4 未完全激励起的等离子体天线
Fig. 4 Partially driven plasma antenna

为了进行场强对比,用相同尺寸的空心金属管天线作为参考天线做相同的测量实验。

采用比较法测量天线之间的相对增益,场强和增益的关系为

$$E_{\max} = \sqrt{60P_{in}G}/r. \quad (1)$$

其中: E_{\max} 为最大辐射方向上的电场强度, V/m; P_{in} 为天线输入功率, W; G 为增益系数; r 为发射天线与接收天线之间的距离, m。式(1)用分贝表示为

$$E_{\max} (\text{dB}_{\mu}\text{V/m}) = P_{in} (\text{dBW}) + G(\text{dB}) + A(\text{dB}). \quad (2)$$

其中: A 为包含距离信息的不变因子。为了比较不同天线的增益, 这里将入射功率 P_{in} 归一化为 0 dBW, 有:

$$E_{max,0 \text{ dBW}} (\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) = E_{max} (\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) - P_{in} (\text{dBW}) = G(\text{dB}) + A(\text{dB}) \quad (3)$$

在输入功率 0 dBW 下, 远区场强能反映不同天线的相对增益特性。

2 测量结果

采用驻波比-功率计测量了 3 种天线的驻波比, 驻波比值由前向功率和后向功率得到。从图 5 可看出: 金属天线谐振频率在 320 MHz 左右, 220 V 交流电源预激励时谐振在 230 MHz 左右, 射频激励时谐振频率大约在 390 MHz。

测量了两种激励方式等离子体天线和金属参考天线的远区场强, 归算到 0 dBW 输入功率的场强及相对增益如图 6 和表 1 所示。在较低频段, 由于远离谐振区, 3 种天线的增益都较低, 且相差不大; 在高频段, 金属参考天线仍是一良导体, 而等离子体天线由于电子碰撞频率较高, 能量损耗过多, 导致增益急剧下降。在整个实验频段, 金属天线的增益要比等离子体天线的增益高; 在 110 MHz 时, 220 V 激励比 RF 激励的天线增益高约 4 dB, 这说明 RF 直接激励时, 消耗了较多的 RF 能量, 采用 220 V 交流电源预激励后可以有效提高天线增益。

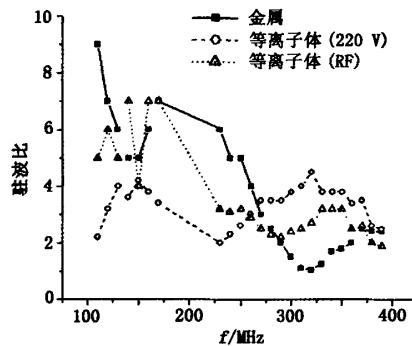


图 5 三天线驻波比曲线图
Fig. 5 VSWR of three antennas

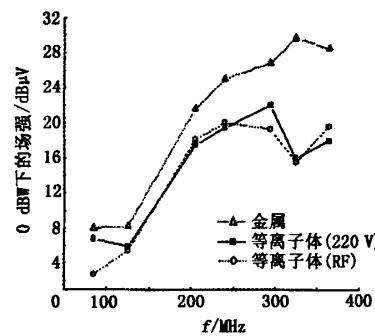


图 6 三天线场强曲线图
Fig. 6 Field strength of three antennas

表 1 0 dBW 入射功率时场强与相对增益值
Tab. 1 Field strength and relative gains when power input is 0 dBW

	f/MHz	f/MHz						
		110	150	230	265	320	350	390
220 V 激励		7.77	6.95	18.49	20.44	23.01	16.98	18.95
场强/dB μ V	RF 激励	3.73	6.44	19.09	21.02	20.29	16.52	20.65
	参考天线	9.03	9.28	22.63	26.04	27.84	30.73	29.52
相对增益/dB	220 V 激励相对参考天线	-1.26	-2.34	-4.13	-5.6	-4.83	-13.75	-10.57
	RF 激励相对参考天线	-5.29	-2.84	-3.54	-5.02	-7.55	-14.21	-8.88
	220 V 激励相对 RF 激励	4.03	0.51	-0.6	-0.58	2.72	0.46	-1.69

3 结束语

等离子体天线的增益较相同尺寸的金属天线要低, 采用 220 V 预激励只能在小部分频率点上显著提高等离子体天线的增益系数。必须深入研究等离子体参数与增益的关系。只有提高了等离子体天线的增益才能使等离子体天线走向应用化。

(下转第 72 页)

该算法结合了 NSCT 的多尺度、多方向细节图和多任务学习的整体预测精度较高的优点。在该方法中,如何选择恰当的参数来准确描述任务之间的关系是一个有待解决的问题。

参考文献(References):

- [1] HUANG T S, TSAI R Y. Multi-frame image reconstruction and registration [J]. *Adv. Comput. Vis. Image Process*, 1984(1), 317—339.
- [2] BAKER S, KANADE T. Limits on super-resolution and how to break them [J]. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(9): 1 167—1 183.
- [3] LIU X, ORCHARO M T. New edge-directed interpolation [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2001, 10(10): 1 521—1 527.
- [4] BATTIATO S, GALLO G, STANCO F. A locally-adaptive zooming algorithm for digital images [J]. *Image Vision and Computing Journal*, 2002, 20(11): 805—812.
- [5] BATTIATO S, GALLO G, STANCO F. Smart interpolation by anisotropic diffusion [C]// Int. Conf. Image Analysis and Processing. Mantova: IEEE, 2003.
- [6] ZHOU J P, CUNHA A L, DO M N. Nonsubsampled contourlet transform: Construction and application in enhancement [J]. *IEEE International Conference on Image Processing*, 2005(1): 469—472.
- [7] EVGENIOU T, MICCHELLI C, PONTIL M. Learning multiple tasks with kernel method [J]. *Journal of Machine Learning Research*, 2005(6): 615—637.

(上接第 34 页)

参考文献(References):

- [1] 高丛春, 杨振山, 李万博, 等. 等离子体在直升机隐形上的应用探讨 [C]// 第 21 届全国直升机年会论文集. 天津: 中国民航学院, 2005.
- [2] 寇艳玲, 刘志勇. 等离子体天线的发展概况 [J]. 测控与通信, 2006, 114(3): 56—64.
KOU Yan-ling, LIU Zhi-yong. Survey of the development of plasma antenna [J]. Measure and Communications, 2006, 114(3): 56—64. (in Chinese)
- [3] 刘平, 刘黎刚, 邓记才. 等离子天线发射特性 [J]. 郑州大学学报, 2006, 27(3): 126—128.
LIU Ping, LIU Li-gang, DENG Ji-cai. Radiation characteristics of plasma antenna [J]. Transaction of the Zhengzhou University, 2006, 27(3): 126—128. (in Chinese)
- [4] XU Jie, ZHAO Guo-wei, LIANG Zhi-wei. Measurement of column plasma radiation input impedance [J]. *Radio Engineering*, 2007, 37(8): 32—34.
- [5] MOISAN M, ZAKRZEWSKI Z. Plasma sources based on the propagation of electromagnetic surface waves [J]. *Phys. D: Appl. Phys.*, 1991, 24(7): 1 025—1 045.
- [6] RAYNER J P, WHICHELLO A P, DESMOND A. Physical characteristics of plasma Antennas [J]. *IEEE Trans. on Plasma Science*, 2004, 32(1): 269—281.

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)，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>