

文章编号:1671-6833(2006)03-0126-03

等离子体天线的发射特性

刘平, 刘黎刚, 邓记才, 贾琦

(郑州大学信息工程学院, 河南 郑州 450052)

摘要: 采用自行设计的高频发射机(10~20 MHz), 对环天线和线天线进行了激发实验. 结果表明: 直接耦合环形天线在射频(RF)功率大于10 W时, 可激发天线中的气体形成等离子体, 射频功率降到5 W时, 等离子体仍可维持. 对于线天线, 直接耦合时射频功率达到20 W时可激发产生等离子体; 电容耦合时射频功率达到30 W时可激发产生等离子体, 射频功率降至10 W时, 两种耦合方式均可维持等离子体. 用环形金属天线作接收天线, 测量了环状和线状等离子体天线在直接耦合方式和电容耦合方式时的发射性能, 结果表明: 等离子体天线与普通金属天线一样具有辐射性能, 接收到的信号电平随发射信号电平增大而增大, 呈近似线性关系. 因此, 等离子体天线可以用于高频无线电通信.

关键词: 等离子体; 天线; 发射

中图分类号: TN 136; TN 82

文献标识码: A

0 引言

金属天线发展到今天, 其技术已日臻完善. 但是, 金属天线也有自身难以克服的缺点: 存在一定的雷达散射截面(RCS), 在军事上使天线暴露于敌方的监视之下^[1]. 而等离子体天线^[2]与金属天线不同, 它在工作时与普通金属天线一样具有辐射能力, 但在不工作时它的 RCS 比金属天线小很多, 等同于天线玻璃管的 RCS. 因此, 等离子体天线具有良好的隐身性能^[3], 研究开发具有隐身功能的军用天线和轻便快速的民用通讯天线是目前等离子体天线研究的主要方向. G. G. Borg 等 1999 年研究了线天线的效率和等离子体密度的关系^[4], 2000 年又研究了线状等离子体天线的效率, 给出了效率的计算方法^[5]. 笔者对等离子体的射频激发做了定量研究, 并且对等离子体天线进行了连续波发射实验.

1 等离子体天线的工作原理及等离子体的激发

对冷等离子体表面波的研究已经有较长的历史, 冷等离子体的相对介电常数可表示为

$$\epsilon_p = 1 - \omega_p^2 / \omega^2,$$

其中: ω 为波的角频率, 而 ω_p 为等离子体角频率.

研究表明, 当波的角频率远低于等离子体角频率时, 等离子体的介电常数为负值, 在等离子体与介质的界面上产生表面波, 此时的波在等离子体中的传播方式与在金属中的传播方式类似.

要使等离子体天线发射或接收电磁波, 必须首先建立等离子体. 激发等离子体的方法有多种例如直流、工频、射频、微波、激光等等. 本文采用自行研制的大功率射频源(高频发射机)来激发等离子体, 发射机的输出信号如图 1 所示.

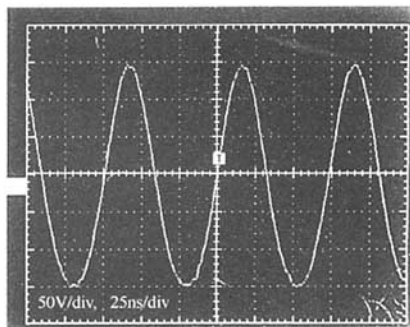


图 1 射频发生器的输出信号(13.5 MHz)

Fig.1 Output of RF Generator

本文采用的等离子体天线用玻璃管制成, 如图 2 所示. 环天线环直径为 260 mm, 玻璃管直径为 16 mm. 线天线长度为 1 200 mm, 直径 25 mm. 发射天线采用等离子体天线, 接收天线采用环形金

收稿日期: 2006-04-05; 修订日期: 2006-05-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(10275021)

作者简介: 刘平(1957-), 男, 河北邯郸人, 郑州大学教授, 博士生导师, 主要从事等离子体及射频电路方面的研究.

属天线,分别采用直接耦合与电容耦合方式进行实验.直接耦合是将发射机输出端直接连接在等离子体天线的电极上,电极直接与玻璃管内气体相连;电容耦合^{[4][6]}是在天线玻璃管一端包上

金属套,发射机的输出端连在导体套上,由导体套与等离子体之间的电容将射频能量耦合进玻璃管中,由高频电磁场将气体电离,形成等离子体.

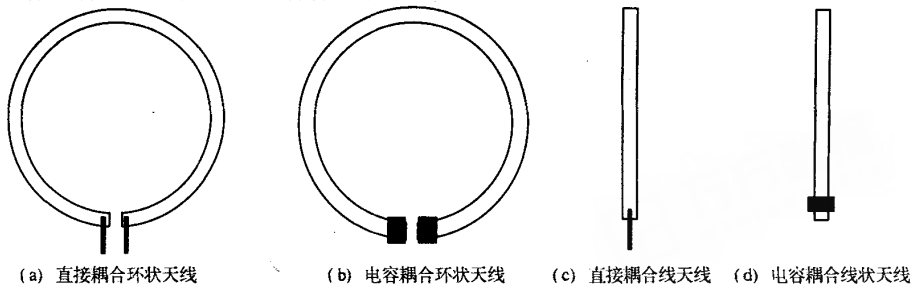


图2 等离子体天线的结构及耦合方式
Fig.2 Structure of Plasma Antennas and Couple Methods

环形天线直接耦合在射频功率大于10 W时即可激发天线中的气体,形成等离子体.射频功率增加时,等离子体能量和密度增加.等离子体形成后,当射频功率降到5 W时,等离子体仍可维持,但距耦合电极较远处等离子体密度明显降低.电容耦合是在环形天线的两端包上20 mm宽的导体套,将射频传输线的两端与两个导体套连接,利用导体套与玻璃管内等离子体的电容将射频能量耦合进等离子体中.实验结果与直接耦合类似.

线天线直接耦合时射频功率达到20 W时可激发产生等离子体,射频功率降到10 W时等离子体仍可维持.电容耦合时,将线天线一端包上宽40 mm的导体套,射频传输线内导体与导体套连接,外导体接地.射频功率达到30 W时可激发等离子体,射频功率降至10 W时,等离子体仍可维持.实验数据表明利用射频能量直接耦合和电容耦合激发等离子体是可行的,而且维持等离子体

需要的能量小于激发所需要的能量.

2 连续波发射接收实验

利用无调制的连续射频波加在等离子体发射天线上,用金属环天线作为接收天线,在收发天线相距15 m处,以最佳接收状态,分别测试了环天线和线状天线在直接耦合与电容耦合方式时发射信号和接收信号的幅度数据(如表1所示).发射信号的电压幅度与接收端信号电压幅度的关系曲线如图3所示.

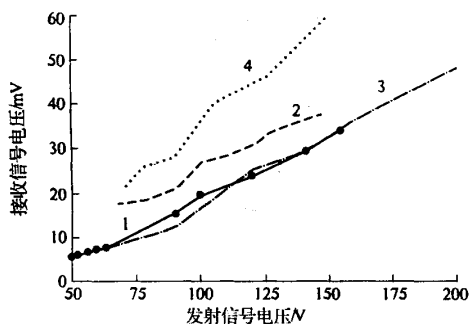
曲线表明,发射天线上电压较低时,有一段死区(等离子体未能有效激发).在死区之外,等离子体天线与金属天线相似,可以有效辐射电磁波,而且接收信号电平随发射信号电平增大而增大,呈近似线性关系.

从曲线图还可以看出,对于同一天线在相同输入功率时,直接耦合时的接收信号电平低于电

表1 环天线和线天线在不同耦合方式时的发射实验数据

Tab.1 Emission data of loop antenna and wire antenna with different couple methods

环天线(18.7 MHz)				线天线(13.5 MHz)			
直接耦合		电容耦合		直接耦合		电容耦合	
发射电压	接收电压	发射电压	接收电压	发射电压	接收电压	发射电压	接收电压
V_{pp}/V	V_{pp}/mV	V_{pp}/V	V_{pp}/mV	V_{pp}/V	V_{pp}/mV	V_{pp}/V	V_{pp}/mV
142	29.4	148	37.6	200	48	150	60
120	23.5	140	35.8	160	36	140	54
100	19.2	130	34.2	145	30	126	46
90	15.2	120	30.5	120	25	105	40
63	7.4	110	28.3	90	12	90	28
60	7.2	100	26.7	79	10	78	26.0
56	6.5	90	20.7	66	8	70	20.7
52	6.0	80	18.7				
50	5.2	68	17.3				



1—直接耦合环天线;2—电容耦合环天线;

3—直接耦合线天线;4—电容耦合线天线

图3 天线的接收信号与发射信号的关系曲线

Fig.3 Relationship of Received Signals and Emittted Signals
容耦合时的接收信号电平(曲线1低于2,曲线3低于4).这说明,电容耦合方式比直接耦合方式效率高,即电容耦合时阻抗匹配的效果更好.

对于金属天线,相同长度的小环天线比相同长度的线天线辐射能力小.本文实验中使用的环天线周长比线天线的长度小,如果是金属天线,环天线的辐射能力应小于线天线的辐射能力.本文电容耦合时的实验结果与金属天线相似,等离子体天线比环天线的辐射能力强.但是,直接耦合的环天线与直接耦合的线天线在相同的输入时辐射能力几乎相同(几乎在同一条直线上),这与上述理论不符.考虑天线的不同耦合方式,直接耦合时线天线与环天线辐射能力相近是直接耦合方式时线天线效率很低造成的.

3 结论

等离子体激发实验表明,大功率高频发射机达到一定的输出功率时可以直接激发产生等离子

体,维持等离子体只需要较小的功率.连续波发射实验表明,可以将充满等离子体的玻璃管用作天线来辐射(或接收)电磁波,而且接收信号和发射信号强度呈近似线性关系.这说明:接收信号中包含发射信号的幅度信息,证实了等离子体天线可以实现无线电高频通信功能.

连续波发射实验还表明,不同的耦合方式对天线的辐射性能有很大的影响,环天线与线天线在电容耦合时的辐射强度均高于其在直接耦合时的辐射强度.这是因为电容耦合与直接耦合的匹配状态不同造成的.

综上所述,使用大功率射频信号发射机可以激发产生等离子体,等离子体天线可以发射射频电磁波,实现高频无线电通信功能.

参考文献:

- [1] 张德文.一种新型的防反舰导弹天线[J].舰船电子对抗,2001,(2):21~24.
- [2] 张德文.等离子体天线[J].航天电子对抗,1997,(4),42~44.
- [3] 曾淳,常文蔚,袁建民.等离子体隐身技术浅析[J].国防科技参考,1999,(4):46~48.
- [4] BORG G G, HARRIS J H, MILJAK D G, et al. Application of plasma columns to radiofrequency antennas[J]. Applied physics letters, 1999, 74(22): 3272~3274.
- [5] BORG G G, HARRIS J H, MARTIN N M, et al. Plasmas as antennas: theory, experiment and applications[J]. Physics of Plasma, 2000, 7(5): 2198~2202.
- [6] SHINDO H, KUDO D, FUJII S. A study of capacitively coupled plasma generation in single-loop antennas[J]. Japanese journal of applied physics, 2002, 41(8): 956~959.

Research on Emission Characteristics of Plasma Antennas

LIU Ping, LIU Li-gang, DENG Ji-cai, JIA Qi

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: Loop antenna and wire antenna were excited using self-made HF generator (10~20 MHz). It shows that the directly coupled loop antenna can be excited to produce plasmas when RF power came up to 10W and plasmas can be maintained with more than 5W. For the wire antenna, plasmas can be produced when RF power came up to 20W for directly coupled antenna or 30W for capacitively coupled antenna, and plasmas can be maintained with more than 10W. Emission characteristics of plasma antennas (loop antenna and wire antenna) were also researched using metal loop antenna as receiving antenna. It was found that plasma antennas could emit RF wave as well as metal antennas and received signal level was linear with the emitted signal level, so that plasma antennas can be used to HF communications.

Key words: plasma; antenna; emission