

超宽带电阻加载 Vivaldi 天线的仿真与设计

Simulation and Design of the Ultra-broadband Resistive Loaded Vivaldi Antenna

总装工程兵科研一所 伊洋 吴坚业 王海燕 张拴勤

摘要

根据应用于隐藏目标探测的冲击脉冲雷达系统对天线的特殊要求,设计并优化出满足要求的收发天线;在分析 Vivaldi 宽带天线设计方法的基础上,结合冲击脉冲雷达的特点设计了 Vivaldi 天线,分析了其时域性能及频域性能,并基于遗传算法,研究了一种加载 Vivaldi 天线形式,有效地抑制了脉冲信号的拖尾,有利于提高目标检测能力。

关键词

冲击脉冲雷达;Vivaldi 天线;电阻加载;脉冲拖尾

Abstract

According to the special demand of antennas for the impulse radar in detecting the concealed target, the transmitted-received antennas have been designed and optimized. The Vivaldi antennas are designed based on the analysis and the summary of the traditional Vivaldi antenna's design method. And in the time and frequency domain they are analyzed and evaluated combined with the needs of impulse radar. A new model of Vivaldi antenna using certain loading form is designed based on the genetic algorithm. This new model can strongly support the experiment for detecting the concealed targets with an efficient inhibition of the pulse tail.

Keywords

impulse radar; Vivaldi antenna; resistive loaded; pulse tail

引言

天线作为冲击脉冲雷达系统的一个关键部件,主要完成电磁波的有效辐射和接收。我们研究小组已经设计了耦合型 Vivaldi 宽带天线和对极型 Vivaldi 宽带天线,并定义了天线时域性能新参量,为时域天线的设计与性能评估建立了依据。本文在原有 Vivaldi 天线研究的基础上,结合遗传算法对耦合型微带线馈入型 Vivaldi 宽带天线进行了优化设计,通过对其进行离散电阻加载,使带宽达到 0.2~4 GHz,更好地抑制了脉冲拖尾,有力地保证了冲击脉冲雷达系统对隐藏目标的探测成像。

1 Vivaldi 天线

Vivaldi 天线是由 Gibson 在 1979 年提出的一种非周期、渐变、端射行波天线,如图 1 所示。

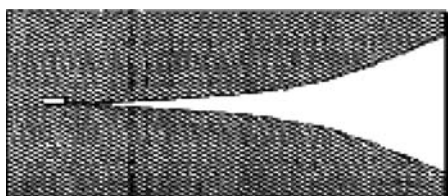


图 1 Vivaldi 天线原型

Vivaldi 天线是由较窄的槽线过渡到较宽的槽线构成的,槽线呈指数规律变化,将介质板上的槽线宽度向外

逐渐加大,形成喇叭口向外辐射或向内接收电磁波,主要有三种馈电结构:同轴线-槽线、共面波导-槽线馈电、微带线-槽线馈电。Vivaldi 天线是一些具有非周期结构连续逐渐变化的天线,因此理论上,它有很宽的频带,这种天线是一种高增益,线极化,可以做成随频率变化具有恒定增益的天线。对于某特定频率,天线的槽线宽度与波长相近,向空间形成有效的辐射。相比于双锥天线等,Vivaldi 天线有良好的时域特性,具有非色散特性,有更好的高斯脉冲响应。Vivaldi 天线可以看成是 Lewis 在 1974 年提出的线性渐变槽天线的一种改进形式。

通常,Vivaldi 天线的馈电为微带线-槽线耦合馈电,由于受到微带线-槽线变换的限制,可在 5:1 的频带范围内实现 $VS_{WR} < 2$ 。该天线的几何参数多,特别是馈电结构的设计是技术难点,但由于其结构简单、成本低、频带宽、带内增益平坦等优点,在卫星通信、冲击脉冲雷达、微波成像及测量,宽带相控阵雷达等领域有广泛的应用。

2 天线电阻加载技术

天线加载是在天线的适当位置插入某种元件或网络,以改变天线中的电流分布,从而改善天线的电特性。按照天线加载元件类型,将加载天线分成无源和有源加载天线;按照加载元件接入特点,将加载天线分为串联加

载和并联加载天线;按照加载形态,将加载天线分成分布式加载、集中式加载和混合式加载。最早采用的天线电阻加载技术是于 1961 年提出来的针对偶极子天线的电阻加载技术:在离开偶极子的末端 $\lambda/4$ 处接入一个适当大小的电阻,使由馈电点到负载之间的电流为行波,这样即可获得宽带特性。负载到天线末端虽为驻波,但因电流比较小,故影响不大。

在 1965 年, Wu.T.T 和 King.R.W.P 推导出了针对中心馈电的细长圆柱天线,能近似获得行波电流的内阻抗加载公式:

$$Z^i(z) = \frac{60\psi}{L-|z|} \quad (1)$$

式中, L 为圆柱天线长度的一半; z 为加载阻抗的位置。 ψ 由式(2)确定:

$$\psi = \frac{1}{I(0)} \int_{-L}^L I(z') \frac{e^{-jkR}}{R} dz', \quad R = \sqrt{z'^2 + a^2} \quad (2)$$

$$\psi \cong 2[\text{arsh}(L/a) - C(2ka, 2kL) - jS(2ka, 2kL)] + \frac{j}{kL}(1 - e^{-2kL}) \quad (3)$$

式中, a 为圆柱天线的半径, $C(\alpha, x)$ 和 $S(\alpha, x)$ 分别是广义余弦和广义正弦积分。定义为:

$$C(\alpha, x) = \int_0^x \frac{1 - \cos \sqrt{u^2 + a^2}}{\sqrt{u^2 + a^2}} du \quad (4)$$

$$S(\alpha, x) = \int_0^x \frac{\sin \sqrt{u^2 + a^2}}{\sqrt{u^2 + a^2}} du \quad (5)$$

计算结果表明, ψ 随频率变化是缓慢的,因此这种内阻抗连续加载天线具有宽带特性。

实际应用的连续加载天线是取 ψ 的绝对值,为电阻性加载,即

$$R^i(z) = \frac{\eta\alpha}{L-|z|} \quad (6)$$

式中, $\alpha = |\psi|/2\pi$ 是标志加载程度的无量纲参数。上式的加载分布如图 2 所示,到两个端点,单位长度电阻量达到无穷大。但加载电阻太大,对效率是不利的。

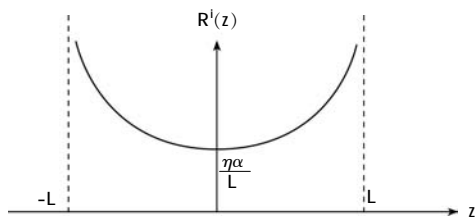


图 2 无反射天线的电阻加载分布

根据无反射加载的思想,又推导出 V 型天线的电阻加载公式和领结型天线的加载公式等。总之,电阻加载技术

可以最大限度地展宽天线带宽,但天线辐射效率会降低。

3 Vivaldi 天线的电阻加载设计

虽然目前有针对很多天线形式的行波加载公式,但是对于 Vivaldi 天线,并没有严格的理论模型和等效电路,因此并没有该天线形式的行波加载公式。目前,使用较多的电阻加载方式是在天线的末端用一个或多个一定阻值的电阻与地相连。但这种方式对末端电流的吸收作用有限,因而对改善天线的行波电流分布作用有限。本文借鉴领结天线的离散电阻加载,将切角后的耦合型 Vivaldi 天线的辐射区域末端分段截断,并在中间加入一定阻值的电阻,以此来改善天线电流分布,吸收末端反射电流,达到较好的行波特性。

由于该天线没有理论模型和加载公式,因此,我们使用电磁场全波仿真软件 HFSS 对该天线进行建模仿真和分析设计。在进行天线加载中,包含了十个变量,如果仅用手动调试的话将耗费大量的时间,我们选取遗传算法来进行优化设计。选取阻值作为待优化变量,主要考察的是天线的阻抗带宽,目标函数为整个工作频带内的 S_{11} 的最大值。模型如图 3 所示。

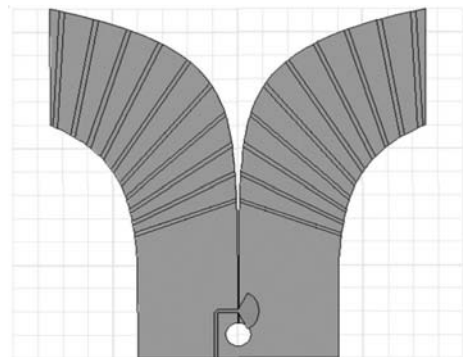


图 3 加载 Vivaldi 天线模型

群体大小设为 60,变异强度 0.005,交叉概率为 0.7,目标函数收敛值设为 -10 dB,经过三十余代的优化,达到目标,频段内 S_{11} 最大值小于 -10 dB,目标函数收敛,退出优化程序。优化后阻值变量的值见表 1,综合考虑工程应用,精确到小数点后一位,从上到下分别为 R_1, R_2, \dots, R_{11} ,左右为对称分布,对应的电阻值相等。

从仿真结果图 4 可看出,优化后的天线在 0.2~4 GHz 的频率范围内 $S_{11} < -10$ dB,达到了设计要求,对 Vivaldi 天线性能有了很大的改进。

超宽带天线时域特性,即波形的保真性是我们更加关心的参数。经过电阻加载,天线的拖尾将会减小,有较好的波形保真性,对天线的性能会有较好的提升。经过加工,天线实物形式如图 5 所示。

在微波暗室中,测得该天线的馈入端匹配情况如图 6

表 1 优化后加载电阻值表

优化变量	最小值/ Ω	最大值/ Ω	优化结果/ Ω
R_1	10	15	10.8
R_2	10	15	11.2
R_3	10	15	12.4
R_4	10	15	10.6
R_5	10	15	11.8
R_6	10	15	12.9
R_7	10	15	13.5
R_8	10	15	14.4
R_9	10	15	11.0
R_{10}	10	15	11.7

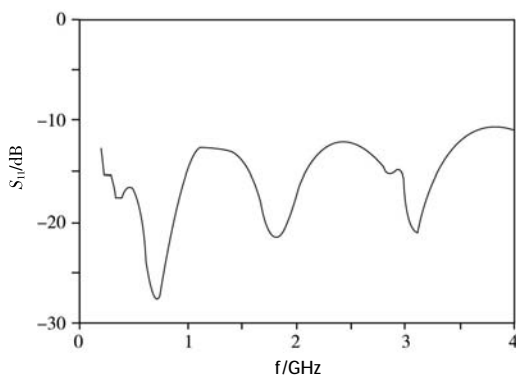
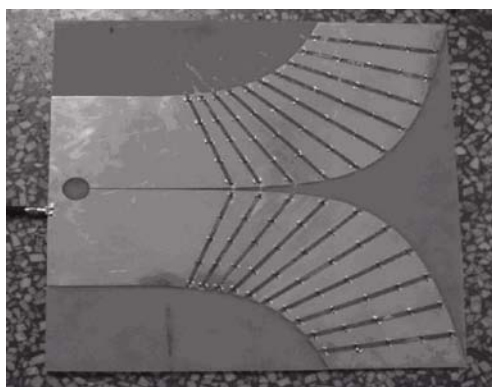
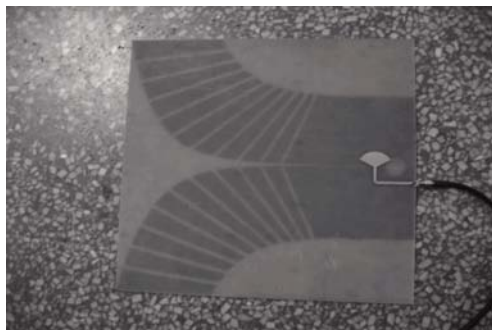


图 4 优化后 S_{11} 仿真结果



(a) 天线(正面)



(b) 天线(背面)

图 5 电阻加载 Vivaldi 天线实物图

所示,实测结果与仿真结果比较吻合,在 0.2~4 GHz 的频率范围内 S_{11} 小于 -10 dB,为进行冲击脉冲雷达成像系统的研究提供了有力的保证,并将对其时域特性进行实测和分析。

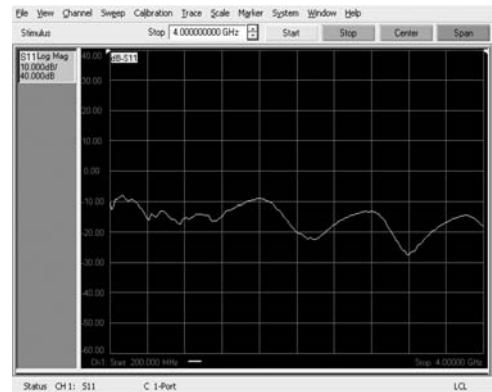


图 6 加载 Vivaldi 天线实测 S_{11} 结果

在微波暗室中,我们通过性能相同的两个 Vivaldi 天线,在相距 1 m 的距离对接,经过收发天线的微分效应,通过示波器采样,接收天线在最大辐射方向上的时域接收波形如图 7 所示,加载 Vivaldi 天线对于拖尾的抑制有了明显的改善,约为 12%左右,接收到了比较理想的时域波形,峰峰值为 1.1846 V,峰峰值之间时间间隔 1.24 ns,周期为 2.56 ns。

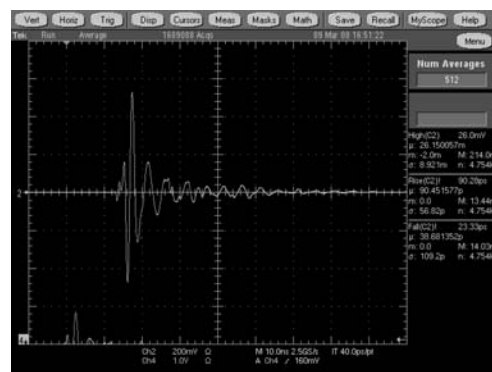


图 7 加载 Vivaldi 天线的接收电压时域波形图

4 结论

在 0.2~4 GHz 的频率带宽内, $S_{11} < -10$ dB。通过该天线的时域测试结果可见,该天线对 0.5 ns 的脉冲波形保形很好,其拖尾电平幅度 < 20%,达到了预期的指标要求。

参考文献

- [1] Gazit. E. Improved Design of the Vivaldi Antenna[J]. IEE Proceedings, 1988, 135(2): 89-92.
- [2] Altshuler. E. The traveling-wave linear antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1961, 9(4): 324-329.

(下转第 107 页)


滤波器用灌封材料

斯巴克 黑胶

美国独资上海斯巴克科技实业有限公司, 采用美国先进技术工艺, 在中国生产新型灌封材料——黑胶。

黑胶可广泛应用于滤波器, 电源模块, 荧光灯、金卤灯电子或电感镇流器, 霓虹灯变压器等照明电器产品及真空断路器、电缆接头等电力产品的灌封。

环保无污染

率先通过美国 BELMONT  实验室及 SGS 实验室检测, 环保无污染, 完全符合 RoHS 要求。

散热性能好

能降低产品工作温升 10~20℃, 大大延长了元器件和整机使用寿命。

绝缘强度高

介电强度大于 23 kV/1.8 mm, 可用于高压产品的灌封。

灌封效率高

固化速度快, 可用手工或斯巴克生产的黑胶机灌封, 适合流水线操作。

适用范围广

冻裂点低于零下 50℃, 防潮防盐雾, 耐候性能好, 适用于多种领域。

不易老化

避免了环氧树脂等塑基类材料在固化后几年就易老化开裂的现象发生。

价格低廉

仅为环氧树脂的几分之一, 并可省去多余散热片。

防水阻燃

防震降噪

已获 UL 认证

收缩率、应力极小, 有效保护元器件

我们热忱欢迎您的垂询。

电话 021-6485-4557, 6495-3190
传真 021-6495-2621
Email ssti@sh163.net 广告编号: 2010-06-17

紧凑型荧光灯和高强度气体放电灯的最低能效标准、测试程序、抽样和标签的要求。以下灯具不包括在此提案的范围内:

- (1) 紫外光灯、红外线除虫灯、集成泛光灯、运输或交通用灯, 或用于信号、采矿、植物栽培、防破、娱乐、医疗或治疗活动的灯具。
- (2) 40 W 或以下, 仅用于烤箱、微波炉、冰箱、电风扇、抽油烟机上的白炽灯。
- (3) 24 V 或以下的左旋螺纹和灯丝加强灯具。
- (4) 40 W 或以下的装饰用白炽灯。
- (5) 长度小于 50 cm、显色指数大于等于 90、色温高于 7 000 K 并且设计为低温下使用的条形荧光灯。
- (6) 不带集成镇流器的圆形荧光灯和紧凑型荧光灯。
- (7) 低压钠气灯。
- (8) 双端金卤灯。

如果此提案在未经修改的情况下通过, 从 2011 年 12 月 31 日起, 墨西哥将会禁止销售功率 100 W 或以上、能效低于 20.68 lm/W (或用改进后光谱 15.53 lm/W) 的一般用途白炽灯, 在 2012 年 12 月 31 日禁止销售功率 75 W 或以上并且能效低于 19.81 lm/W (或用改进后光谱 14.86 lm/W) 的白炽灯, 在 2013 年 12 月 31 日禁止销售 13.09 lm/W (或用改进后光谱 14 lm/W) 的白炽灯。

欧盟将出台电池容量标签规定

2010 年 11 月, 欧盟理事会通过了电池容量标签草案, 该草案一旦获欧洲议会通过, 可携式电池、汽车电池及蓄电池的准入门槛将大幅提高。该草案要求, 标签须根据国际电工标准清楚注明容量水平且须按固定的大小和位置列示, 容量计量单位为“安培·时”或“毫安·时”。其中, 可携式电池及蓄电池的容量级别将以指定数字字样显示, 使用数字字样的准则将取决于电池或蓄电池内的物质及其用途。汽车电池及蓄电池方面, 容量标签的内容包括容量级别及冷启动性能。该草案规定了 18 个月的限期, 18 个月后投放市场的可携式电池、汽车电池及蓄电池, 将正式接受规例内的规定监管。检验检疫部门在工作中发现, 电池出口仍存在标签大小和位置不规范、电池未标注容量级别等问题, 在出口中, 标签问题已成为继电池环保不过关之后的另一卡壳问题。

《高速数字系统的信号完整性和辐射发射》中文版出版

《高速数字系统的信号完整性和辐射发射》中文版于 2010 年 11 月由机械工业出版社正式出版, 该书的英文原版为 Wiley 公司出版的“Signal Integrity and Radiated Emission of High-Speed Digital Systems”, 详细讲述了高速数字系统信号完整性和辐射发射的基本理论, 总结了设计中得到的实际经验。该书的主要内容包括高速数字器件、电感、电容、信号线上的反射、串扰、有耗传输线、 ΔI 噪声、PCB 的辐射发射、PCB 中的接地、测量和建模以及差分信号传输和 PCB 中不连续的建模等。

书号: ISBN 978-7-111-31272-7

作者: (意) Spartaco Caniggia Francescaromana Maradei

译者: 崔强 蔡华强 靳冬 陈迪

定价: 88 元

(上接第 77 页)

- [3] Wu. T. T., and King. R. W. P. The cylindrical antenna with none-reflecting resistive loading[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1965, 13(2): 369-373.
- [4] 潘锦, 聂在平. V型天线的行波加载公式[J]. 电波科学学报, 1996, 11(2): 81-85.
- [5] 魏福显, 王春和. 电阻加载蝶形天线的性能研究[J]. 物探与化探, 2006, 30(5): 427-429.
- [6] Lestari. A. A., Yarovoy. A. G., and Ligthart. L. P. RC-loaded bow-tie antenna for improved pulse radiation[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2004, 52(10): 2555-2563.
- [7] 龙小专. 隐藏目标探测冲击脉冲雷达的时域超宽带天线的设计与研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2008.

编辑: 王淑华 E-mail: wangsh@cesi.ac.cn