

一种宽带电小天线的研制

邵 羽,陈章友

(武汉大学电子信息学院,湖北武汉 430079)

摘 要: 本文提出了一种天线结构,即用单极子向 Γ 结构进行电磁耦合馈电.仿真和实测结果表明,和普通单极天线相比,该天线能够将高度降低一半,并将相对带宽展宽到 66%,实现了天线的小型化和宽带化.该天线的相频特性为线性,输出信号波形失真较小,可发送宽带信号.经过特殊的设计,还可以改善匹配和增益,使天线在整个工作带宽范围内的驻波比小于 2,增益得到提高.

关键词: 电小天线; Γ 结构; 小型化; 宽带化

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 03-0719-04

Study on a Broadband Electrically Small Antenna

SHAO Yu, CHEN Zhang-you

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430079, China)

Abstract: This paper presents a type of antenna structure, in which a Γ structure is fed by monopole through electromagnetic coupling. Simulation and experimental results show that, compared to the general monopole antenna, the height of this antenna can be cut in half, the relative bandwidth can be broadened to 66%. So this structure achieves miniaturization and broadband of antenna. Signal radiated by this antenna has a linear phase-frequency character and small distortion, so it can be used to send broadband signals. By special designing, we can improve matching and the gain. The VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) is less than 2 in the whole working bandwidth, while the gain increases about 2 dBi at the low frequency of the working bandwidth and 1 dBi at the high frequency.

Key words: electrically small antenna; Γ structure; miniaturization; broadband

1 引言

天线是任何无线通信系统不可缺少的重要组成部分,随着电子线路集成度的日益提高,通信设备的日益小型化,天线小型化和宽带化的需求也日益迫切.特别是对于中短波等波长较长的通信频段,减小天线的尺寸、展宽天线的带宽具有十分重要的意义.可以预见,天线的小型化和宽带化是发展的必然趋势.国内外许多学者在这方面作了深入的研究^[1-3].

Γ 天线(或称倒 L 天线)能够降低普通单极天线的高度,但其输入阻抗难以和 50Ω 的馈线相匹配,因而限制了它的应用^[4].本文提出一种结构,利用单极子通过电磁耦合作用向 Γ 结构馈电,获得小型化和宽带化特性.小型化天线在中短波频段更能体现其优势,但中短波天线尺寸大,不易加工和实测.作为实验,本文使天线工作于 GHz 频段,在该频段内天线尺寸较小,易于加工制作和测量,这并不影响对天线辐射机理的研究和它在中短波频段的应用.

2 天线的辐射机理

Γ 结构通过将单极天线顶部放平,降低了普通单极天线的高度,但它却难以和馈线匹配.本文提出的天线结构如图 1 所示,即馈线和单极子相连接,通过单极子向 Γ 结构进行电磁耦合馈电.

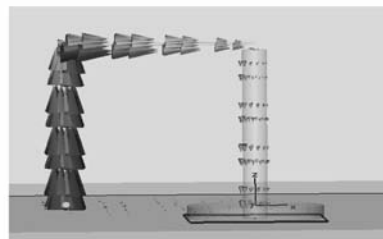


图1 本文天线的结构模型及电流分布示意图

图 1 中同时也显示了天线上的电流分布,可以看出通过单极子的耦合, Γ 结构上有 $1/4$ 波长的电流分布,能够有效地辐射,此时天线的谐振频率主要由 Γ 结构的长度决定,这使得该天线保持了 Γ 结构小型化的优

势,从后面的结果还可知,这种结构可以和 50Ω 的馈线有较好的匹配,从而改进了 Γ 结构的匹配特性.

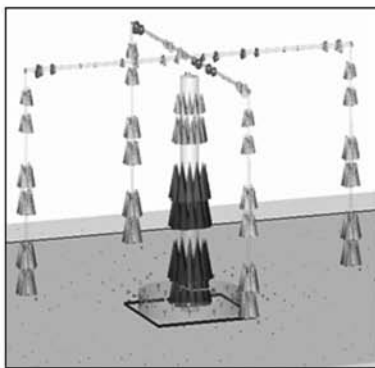
3 天线的仿真和实测

为了使天线有效辐射,并和馈线有较好的匹配,将天线设计为以下结构,如图 2(a)所示,即通过单极子向 4 个 Γ 结构进行电磁耦合馈电,力求在不增加高度的前提下,降低天线的谐振频率,并增加天线的带宽.每个 Γ 结构高度 12mm,水平长度 15mm,4 个 Γ 结构交汇于单极子下方一点,用 CST 电磁仿真软件仿真的结果如图 2(b)所示.

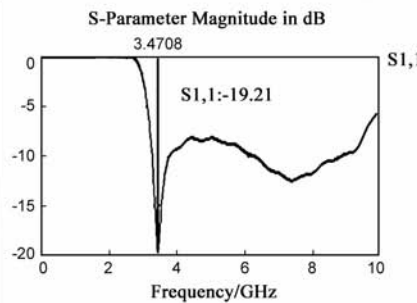
从图 2(b)可以看出, S11 在 3.47GHz 和 7.4GHz 处有两个极小值点,其带宽范围可以认为从 3.3GHz 到

8.8GHz.观察该天线的电流分布和辐射远场,结果如图 2(a)和图 2(c)所示.

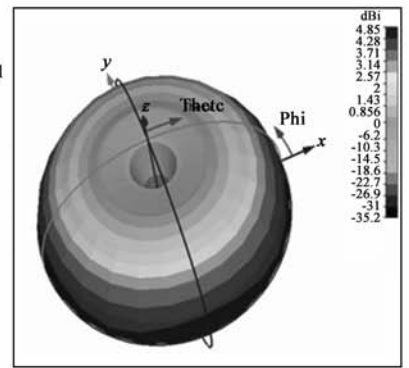
在 3.47GHz 处,天线的电流分布和图 1 类似,此时电流在每个 Γ 结构上分布 1/4 个驻波长,外部 Γ 结构辐射强于内部单极子辐射,该谐振频率主要由外部 Γ 结构长度决定;在 7.4GHz 处,天线的电流分布如图 2(a)所示,可以看出此时内部单极子和外部 Γ 结构同时辐射,电流在单极子上分布了 1/4 个驻波长,且内部单极子辐射强于外部 Γ 结构辐射,该谐振频率主要由内部单极子长度决定.从图 2(c)可以看出,该天线在 3.8GHz 时的最大增益为 4.85dBi,在与振子垂直的方向上全向辐射,方向图形状与普通四分之一波长的单极天线的方向图相似.



(a) 单极子激励4个Γ结构模型及7.4GHz时天线的电流分布示意图



(b) 单极子激励4个Γ结构的S11仿真曲线



(c) 3.8GHz时天线的三维方向图

图2

普通单极天线的高度一般为发射信号波长的 1/4,从以上仿真结果可以看出,该天线谐振于 3.47GHz,该频率对应的波长为 86.46mm,而该天线的高度为 12mm,仅为该波长的 0.13,即该天线的高度比普通单极天线的高度降低一半左右,并且天线的带宽得到了展宽,天线方向图的形状和普通单极天线类似,阻抗匹配状况良好.

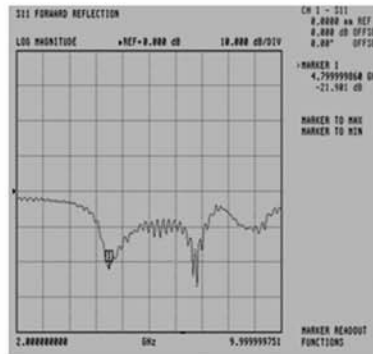
实际加工制作上述天线,如图 3(a)所示,其尺寸与仿真时所用尺寸相同.

实测该天线的回波反射曲线如图 3(b)所示,从图中可以看出, S11 有两个极小值点分别位于 4.8GHz 和 7.4GHz 处, - 10dB 回波损耗带宽从 4.49GHz 到 7.67GHz,相对带宽为 66.3%,在带宽范围内 S11 < - 10dB(即驻波比小于 2),天线匹配情况良好.

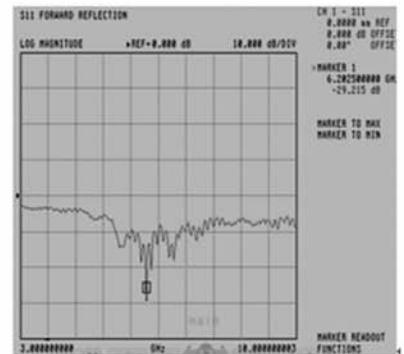
图 3(c)是将上述天线外部的 Γ 结构去掉后(即普通单极天线)的实测 S11 曲线,从图中可见,该单极天线谐振于 6.2GHz,带宽范围从 5.5GHz 到 6.5GHz,相对带宽为 16.1%.



(a) 实际加工的天线模型



(b) 实测天线的S11曲线



(c) 去掉外部Γ结构后的普通单极天线的实测S11曲线

图3

通过上述天线与普通单极天线的实验对比,可以看出,该天线由于有外部 Γ 结构和内部单极子共同辐射,能够降低单极天线的谐振频率,即降低单极天线的高度,并且能够有效展宽带宽.根据以上分析,若将该天线应用于中短波段,例如工作频率为 10MHz,普通四分之一波长的单极天线高度为 7.5m,相对带宽约为 20% 左右,而本文提出的天线结构高度仅为八分之一波长,即 3.75m,相对带宽能达到 60% 左右.

4 天线的时域特性分析

传统的超宽带天线,如对数周期天线和自相似螺旋天线,阻抗带宽和方向图带宽都能达到很宽,但这里的带宽没有考虑瞬态响应过程.这些天线的各个部分并不是同时工作在整个宽频带内,不同频谱分量会从天线的不同部分辐射出去,因此相位中心是随频率变化的,导致了信号时域上的色散^[5-7].本文提出的天线是电小结构,带宽范围内天线的各部分均有辐射,因此相位中心随频率变化不大.

在时域分析方法中,利用信号波形保真度来衡量天线对信号传输的影响.如果两个信号 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 的自相关系数和互相关系数定义为^[8]:

$$\rho_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(t - \tau) f_1(t) dt$$

$$\rho_{22}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_2(t - \tau) f_2(t) dt$$

$$\rho_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(t - \tau) f_2(t) dt$$

那么定义两个时域信号的波形保真度为最大归一化互相关系数:

$$F = \max\left(\frac{|\rho_{12}(\tau)|}{\sqrt{\rho_{11}(0)\rho_{22}(0)}}\right)$$

以下利用 CST 电磁仿真软件,并利用 Matlab 编程计算,研究本文天线的信号时域波形、相位特性和保真度.

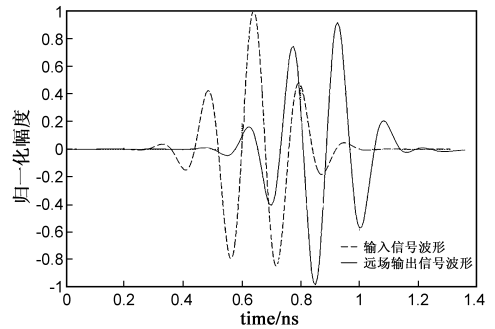
图 4(a)和图 4(b)是本文提出的天线的输入信号波形、远场输出信号波形和相位特性.从图中可以看出,其相位特性在带宽范围内对频率呈线性变化,输出信号有一定拖尾,但失真较小.下表显示了本文提出的天线在不同角度的波形保真度,可以看出其保真度接近 0.9.

表 1 本文天线的保真度

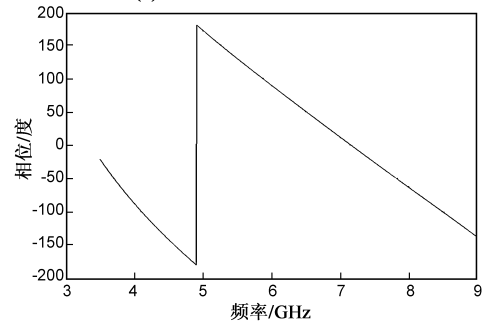
角度 (theta, phi)	(30, 0)	(60, 0)	(90, 0)	(90, 45)	(90, 90)	(90, 135)	(90, 180)
保真度	0.8449	0.8587	0.8684	0.8978	0.8676	0.8978	0.8684

传统的宽带天线由于相频特性是非线性的,如果用其发送脉冲信号等宽带信号就会使信号产生畸变.本文提出的天线是电小结构,在整个带宽范围内,相位

对频率呈线性变化,相频特性良好,波形保真度较高,信号失真较小,可用于发送脉冲信号等超宽带信号.



(a) 本文天线的输入和输出信号波形



(b) 本文天线的相位特性

图 4

5 天线性能的改进

5.1 匹配的改进

通过在单极子外面覆盖介质(即介质套加载),可以有效地改变天线的输入阻抗,即改善天线和馈线的匹配情况.介质套加载模型如图 5(a)所示,图中在单极子外部套上一层介质,介质的介电常数为 4.25,介质套高度为 7mm,介质套的外半径为 4.5mm,其余部分的尺寸如前文所述.

其仿真的 S11 曲线如图 5(b)所示,从图中可以看出,在从 3.3GHz 到 9GHz 的带宽范围内,回波损耗都小于 -10dB,即驻波比都小于 2,在整个带宽范围内天线匹配良好.和图 2(b)对比后可知,振子外覆盖介质有效地改善了天线的匹配.

5.2 增益的改进

以上的天线结构是在单极子周围对称分布了 4 个 Γ 结构,如去掉 1 个 Γ 结构则成为如图 5(c)所示的结构.

由于单极子周围 Γ 结构分布不对称,方向图的形状也不对称,在没有 Γ 结构的方向上辐射最大,天线从原先的全向辐射变成了有向辐射.图 5(d)显示了单极子激励 4 个 Γ 结构和单极子激励 3 个 Γ 结构的增益——频率曲线,从图中可以看出在 3.5 - 9GHz 范围内,改进后的结构比原结构的增益有所提高,在低频段增益增加约 2dBi,在高频段增益增加约 1dBi.

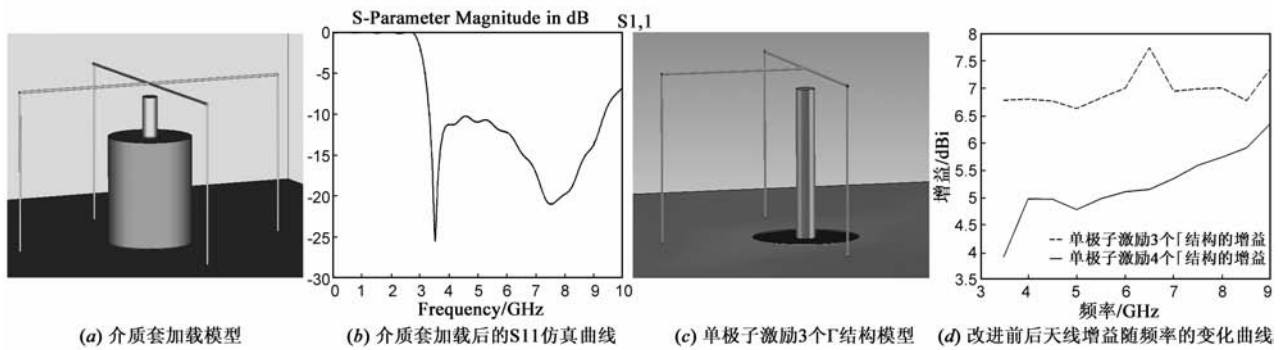


图5

6 结论

本文提出了一种宽带电小天线结构,即通过电磁耦合作用,用单极子向 Γ 结构馈电,该天线能有效激励 Γ 结构,并可使 Γ 结构和单极子同时辐射.仿真和测试结果表明,和普通单极天线相比,该天线能够将高度降低一半,并将相对带宽展宽到66%,实现了天线的小型化和宽带化.由于该天线为电小结构,相位中心随频率变化不大,相频特性为线性,波形保真度较高,输出信号失真较小,可用于发送UWB(Ultra Wide Band)信号.进一步的研究还表明:通过在振子周围覆盖介质,能够改善天线的匹配,使天线在整个带宽范围内驻波比小于2;通过使振子周围 Γ 结构分布不对称,可使天线有向辐射,在整个工作带宽内提高天线的增益.可以预期,通过改变 Γ 结构的形状,该天线的高度有望降低到发射信号波长的1/10,今后的工作将在本文基础上进一步降低天线高度和拓展天线带宽.

参考文献

- [1] Gianvittorio J P, Rahmat-Samii Y. A novel antenna miniaturization technique and applications[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2002, 44(1): 20 - 36.
- [2] Baliarda C P, Romeu J, Cardama A. The koch monopole: A small fractal antenna[J]. IEEE Antenna and Propagation Magazine, 2000, 48(11): 1773 - 1781.
- [3] 王琪,阮成礼,王洪裕. 电小天线传输线补偿电路的优化设计[J]. 电子学报, 2004, 32(6): 1020 - 1022.
WANG Qi, RUAN Chen-li, WANG Hong-yu. Optimizing design for the compensation circuit of electrically small antennas with short-circuited transmission line[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(6): 1020 - 1022. (in Chinese)
- [4] 林昌禄. 天线工程手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002. 182 - 212.
- [5] 张春青. 小型化脉冲及超宽带天线的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.

Zhang Chunqing. Research on the Miniaturized Pulse and Ultra Wideband Antennas[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008. (in Chinese)

- [6] 丁晓磊,王建,林昌禄. 对数周期偶极子天线相位中心的分析和计算[J]. 电子学报, 2003, 31(9): 1375 - 1377.
DING Xiao-lei, WANG Jian, LIN Chang-lu. Analysis and calculation for the phase center of LPDA[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(9): 1375 - 1377. (in Chinese)
- [7] 王楠,薛正辉,杨仕明,刘瑞祥. 天线时域近场测量中的时基及幅度修正技术[J]. 电子学报, 2008, 36(12): 2478 - 2484.
WANG Nan, XUE Zheng-hui, YANG Shi-ming, LIU Rui-xiang. Time base correction technique and amplitude correction technique in antenna time domain near field measurement[J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(12): 2478 - 2484. (in Chinese)
- [8] 朱竹君. 超宽带单极子天线的时域特性研究[D]. 江苏南京: 南京邮电大学, 2008.

作者简介:



邵羽 男, 1987年1月出生于云南省昆明市, 武汉大学电子信息学院硕士研究生, 现主要从事射频电路、微波天线等方面的研究。
E-mail: shaoyu200531200259@163.com



陈章友 男, 1969年12月出生于湖南省澧县, 现为武汉大学电子信息学院副教授, 主要从事射频电路设计, 微波毫米波工程与应用, 天线理论与工程等方面的教学和科研。
E-mail: czy@eis.whu.edu.cn