

小型化短波天线及其频带扩展方法

邱景辉, 吕延明, 陈立甲, 杨彩田

(哈尔滨工业大学 电子与信息工程学院, 150001 哈尔滨)

摘要: 为了克服短波天线小型化引起的带宽变窄的问题,提出了一种类似于电偶极子的新型小型化半球线栅结构的短波天线. 该天线结构简单,馈电方便. 最大尺寸 3.6 m,是低频波长的 3.6%,高频波长的 36%. 利用 CST MWS 软件进行仿真并制作了缩比模型. 仿真和测试结果表明,该天线能够在不加载、不用匹配网络的情况下相对阻抗带宽达到 40%,并且兼顾了增益与效率. 继而研究了通过加载集总元件扩展天线频带的方法,并进行了仿真和实验验证.

关键词: 短波天线;小型化;集总加载;阻抗带宽

中图分类号: TN822 + .3

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2013)01-0046-04

A miniaturized HF antenna and a method of broadening the frequency range

QIU Jinghui, LÜ Yanming, CHEN Lijia, YANG Caitian

(School of Electronic and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, 150001 Harbin, China)

Abstract: The bandwidth will get narrow when the size of HF antenna is small. To overcome this problem, a novel miniaturized HF antenna composed of hemispherical wire grids with performance similar to the electric dipole is presented in this paper. The antenna has simple structure and is easy to feed. The largest dimension of this antenna is 3.6 m, which is 3.6% of its lowest frequency wavelength, and 36% of its highest frequency wavelength. The antenna is simulated with the help of CST MWS. A 1/5 scale model is manufactured and measured. The results demonstrate that the relative impedance bandwidth is 40% without loading or external matching networks while maintaining acceptable performance. A method of broadening frequency range by loading lumped elements is further discussed, and simulation and test verification have been done. The designed antenna can be widely used in HF communication system, over-the-horizon radar and so on.

Key words: HF antenna; miniaturization; lumped loading; impedance bandwidth

短波频率范围为 3~30 MHz(波长 10~100 m). 短波通信广泛应用于军事、海事、航空系统以及全球广播. 如果不用昂贵的地面和卫星设施,那么短波通信就是唯一能够覆盖全球的通信方式. 短波通信还是高纬度地区通信的可靠性方法,包括与移动物体通信例如追踪飞机航迹^[1]. 短波天线不仅固定架设在地面上,而且安装在移动设备上,如机载、车载、舰载^[2]. 工作在短波波段的天线一般尺寸在 7 m 左右,对于天线的制作、安装、运输和

隐蔽都不利,物理尺寸是短波天线发展的一个主要障碍^[3]. 因此研究短波天线的小型化方案是当今国内外相关领域的热点之一. 由于天线性能与自由空间波长紧密联系^[4],天线的工作波长越长,要求对应的物理尺寸就越大. 因此天线的小型化将带来其他指标如带宽、增益等的牺牲^[5]. 如何在兼顾其他指标的情况下尽量减小天线的物理尺寸是国内外天线小型化研究的一个重点方向^[6]. 本文提出了一种新型宽带小型化非对称半球线栅偶极短波天线,该天线结构简单,最大尺寸 3.6 m,可以用 50 Ω 同轴线直接馈电而不需要馈电匹配网络. 利用 CST MWS 软件对天线建模和仿真分析,并制作了天线的 1:5 缩比模型进行实

收稿日期: 2012-01-09.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61171063).

作者简介: 邱景辉(1960—),男,教授,博士生导师.

通信作者: 邱景辉, qiuqh@hit.edu.cn.

际测试. 仿真和实测结果表明,该天线虽然是电小天线,但是 -10 dB 阻抗相对带宽达到 40% ;若对其加载集总元件,则在 $3\sim 30\text{ MHz}$ 频段内驻波比小于 2.5 . 满足小型化的同时兼顾了增益和效率,在短波通信、超视距雷达等领域有很好的应用前景.

1 天线设计

文献[7-8]设计了一种新型半圆盘超宽带全向天线,对此天线的结构做修改,并将尺寸放大到米级,用金属丝代替金属圆盘以减轻加大尺寸引起的质量加重并提高其抗风能力. 据此得到本文设计的短波天线,其立体结构如图 1 所示.

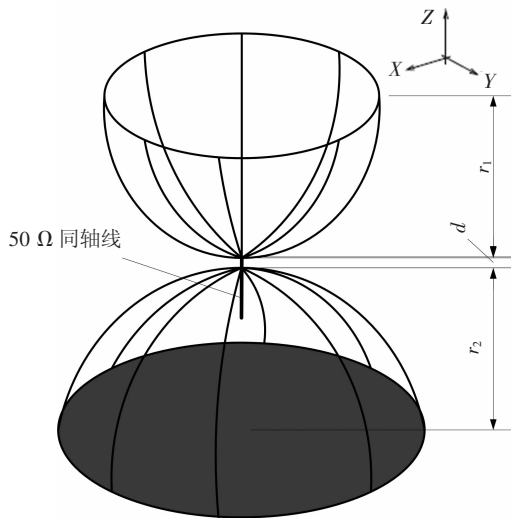


图 1 新型短波天线立体结构

由直径 3 mm 铜丝弯折而成的 8 根半圆环组成天线的上下半球体结构. 上半部分由 4 根半圆环在空间共圆心并相互交叉构成一个立体半球, 圆环之间交角 45° , 与上方水平圆环相接并将其 8 等分, 垂直半圆环与水平圆环的半径都是 $r_1 = 1\,500\text{ mm}$. 下半部分与上半部分结构相同, 只是尺寸略大并在交叉圆环底部与一个厚度为 1 mm 的铁皮剪成的地板相连接, 下方半圆环和地板的半径均为 $r_2 = 1\,800\text{ mm}$. 天线绕 Z 轴旋转对称, 但是对于 XY 平面不对称, 采用同轴线馈电, 同轴线外导体外表面与下半球 4 个环的连接处紧密相接, 内导体插入上半球 4 个环的连接处, 能够保证电流在天线竖直方向流向一致, 馈电间距 $d = 20\text{ mm}$.

2 仿真和实验结果

在 CST MWS 中建立天线模型并仿真, 得到反射损耗曲线如图 2 所示. 可以看出天线在 $20\sim$

30 MHz 频段内反射损耗小于 -10 dB , 谐振频率为 23 MHz , 阻抗相对带宽达到 40% . 而具有相同谐振频率的半波振子, 其长度约为 6.5 m , 相对带宽却不超过 10% . 新型短波天线的高度只有 3.3 m , 其辐射体为上下两组半球线栅, 仿真得到的 E 面和 H 面方向图与短偶极子一致, 而且 H 面辐射有很好的全向性, 在 -10 dB 阻抗带宽内增益大于 1.65 dB , 效率高于 90% .

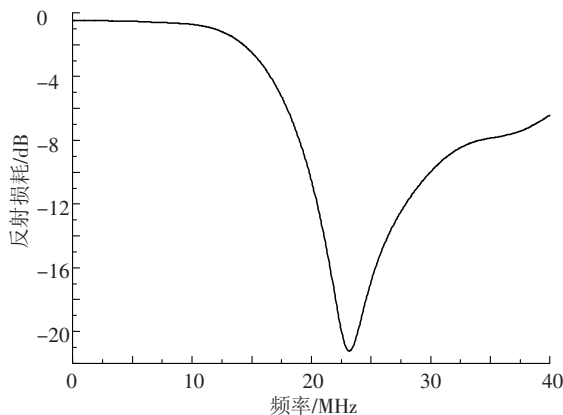


图 2 天线反射损耗仿真曲线

即使天线的尺寸只有 3 m 多, 但是加工制作也很麻烦, 因此根据缩比原理手工制作了 $1:5$ 缩比模型天线, 实物如图 3 所示.

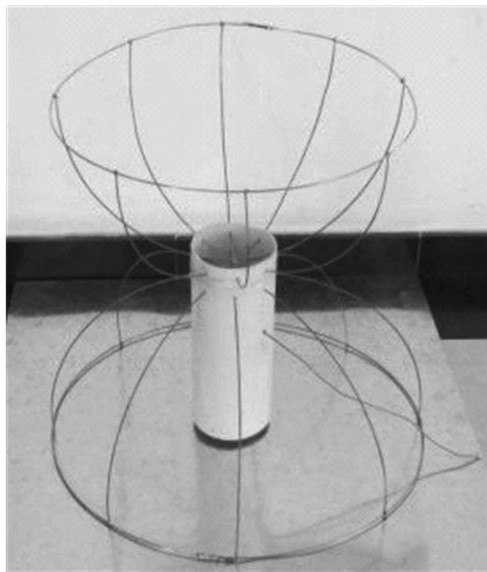
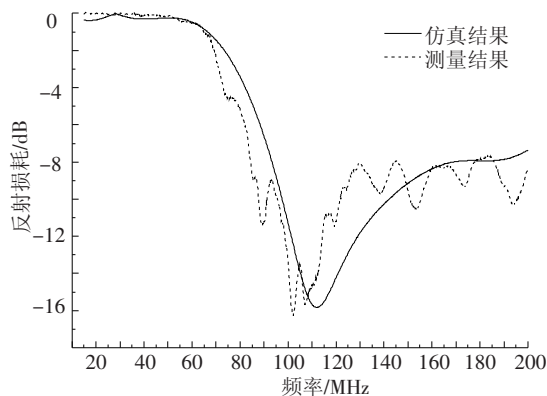


图 3 缩比模型天线实物

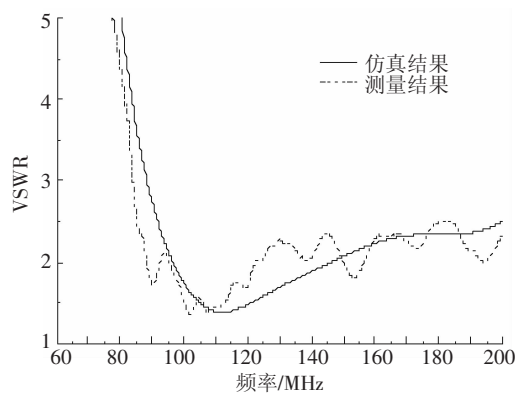
其中上下圆环插入 PVC 管中进行固定. 使用安捷伦公司的 E8363B 型矢量网络分析仪测量了缩比模型的反射损耗曲线和驻波比 VSWR 曲线, 并与其仿真结果做比较, 如图 4 所示.

可以看出天线实物的谐振频率比仿真结果的谐振频率略低, 这是由于手工制作中半圆环的长度与弯曲情况存在误差, 实际测试环境非自由空间(周围物体吸收功率)也有一定影响. 两者反射

损耗曲线和 VSWR 曲线走势基本一致, -10 dB 阻抗带宽基本相同, 缩比天线实测 VSWR 在 $84 \sim 200$ MHz 范围内小于 3, 根据缩比原理, 这种 3.3 m 高的天线若制作成实物也将满足 $17 \sim 40$ MHz 范围内 VSWR 小于 3, 对于短波天线来说具有很好的宽带特性.



(a) 反射损耗曲线



(b) VSWR 曲线

图 4 缩比模型天线仿真结果和实测结果对比

3 用集总加载的方法展宽天线频带

在天线上某处或多处接入某种元件或网络, 能够改变天线上的电流分布, 继而改善天线电特性, 这种方法就是天线的加载^[9]. 如果加载后的天线电流更接近行波分布, 那么就可以展宽天线的工作带宽^[10]. 集总加载工艺简单, 实现容易, 本文也采用此方法.

从仿真结果的史密斯圆图发现天线输入阻抗的虚部多为负值, 也就是说输入阻抗在工作频带内基本呈容性. 因此采用简单的电阻-电感串联电路, 将其并联在靠近天线馈电部分的上下半圆环上, 如图 5 所示.

通过计算选择加载电阻 $R = 51 \Omega$, 加载电感 $L = 1.05 \mu\text{H}$. 加载电路在水平方向上与同轴馈线的距离为 x , 在 CST MWS 中对加载位置 x 进行仿

真扫描, 发现不同加载位置对驻波比基本没有影响. 因此选择在缩比模型中距馈电点水平方向 $x = 30$ mm 处并联电阻-电感串联电路, 并使用矢量网络分析仪测量 VSWR 曲线, 测量结果和仿真结果如图 6 所示. 可以看出, 天线在 $15 \sim 200$ MHz 范围内 VSWR 小于 2.5, 测量结果和仿真曲线基本一致, 验证了本文提出的加载方法能够扩展天线阻抗带宽. 根据缩比原理, 若原始尺寸天线使用此加载方法, 就能够在 $3 \sim 30$ MHz 范围内与同轴馈线良好匹配.

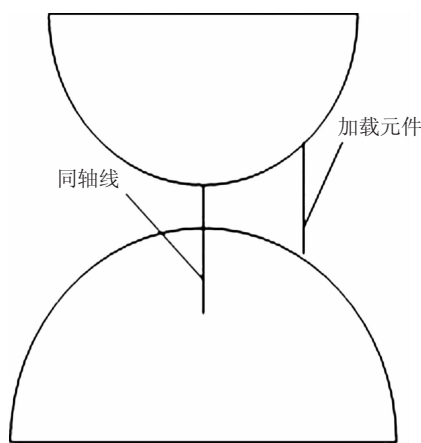


图 5 天线加载示意图

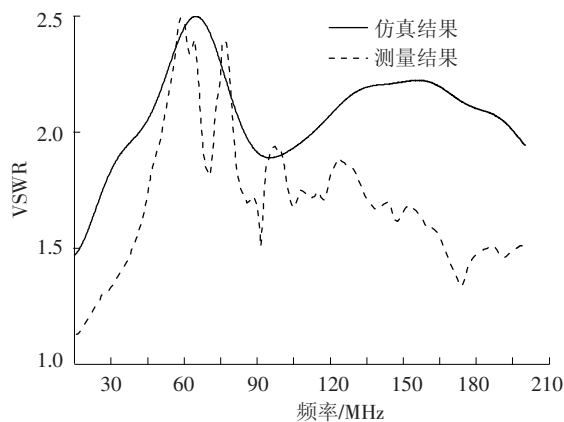


图 6 缩比模型加载后仿真和测量的 VSWR 曲线

4 结 论

本文在之前设计出的超宽带半圆片天线基础上, 设计了一种新型宽带小型化短波天线, 仿真并加工测试了 $1:5$ 缩比模型. 结果证明该天线结构简单, 馈电方便, 无需加载、不用匹配网络就可以使阻抗相对带宽达到 40%, 同时具有很高的增益和效率. 讨论了通过并联加载电阻-电感串联电路的方法来展宽天线频带, 使 VSWR 在 $3 \sim 30$ MHz 范围内小于 2.5, 并进行了实验验证. 这种短波天线在短波通信、超视距雷达等领域都有良好的应用前景.

参考文献

[1] HORACIO T F, ARMANDO H, CESAR A D. Critical analysis for design of HF radio link in Brazil [C]// Proceedings of 17th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications. Piscataway: IEEE, 2008: 1-4.

[2] 李高飞. 短波天线的小型化研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.

[3] LIM S, ROGERS R L, HAO Ling. A tunable electrically small antenna for ground wave transmission [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2006, 54 (2): 417-421.

[4] SKRIVERVIK A K, ZURCHER J F, STAUB O, *et al.* PCS antenna design: the challenge of miniaturization [J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2001, 43(4): 12-27.

[5] Hosung C, Rogers R, HAO Ling. Design of electrically small wire antennas using genetic algorithm taking into consideration of bandwidth and efficiency [C]// Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 2002. Piscataway: IEEE, 2002: 330-333.

[6] HARMOUCH A, SHEIKH A. Miniaturization of the folded-dipole antenna [J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2009, 51(1): 117-123.

[7] 陈立甲, 张鹏宇, 邱景辉. 半圆盘超宽带全向天线小型化及频带扩展方法的研究[C]//2011 年全国微波毫米波会议论文集. 青岛: 中国电子学会, 2011: 700-703.

[8] ZHANG Pengyu, CHEN Lijia, QIU Jinghui. Design of a novel UWB omnidirectional semicircular disk antenna [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2011, 53(11): 2497-2501.

[9] 张鹏宇. 超宽带半圆片全向天线的设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.

[10] SIMPSON T L. The disk loaded monopole antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2004, 52(2): 542-550.

(编辑 张 宏)