

HFSS9.0 在喇叭天线设计中的应用

安叶 杜起飞 顾伟

北京理工大学微波电路实验室 100081

【摘要】 本文简要介绍了喇叭天线的理论，并利用 Ansoft 公司的电磁场仿真软件 HFSS9.0 对喇叭天线的特性进行了较为详细的仿真。得到了良好的结果，对较宽频带喇叭天线的设计具有良好的指导意义。

关键词： 喇叭天线，电磁场仿真，HFSS9.0

一. 概述

喇叭天线是一种应用广泛的微波天线，其优点是结构简单，频带较宽，功率容量大，调整与使用方便。合理的选择喇叭尺寸，可以取得良好的辐射特性：相当尖锐的主瓣，较小副瓣和较高的增益。因此喇叭天线在军事和民用上应用都非常广泛，是一种常见的测试用天线。

传统的天线设计方法总是由设计师根据天线的分析理论以及自己的经验通过编程进行数值计算的方法来确定天线的各参数，由于一般的书本理论均建立在近似分析的基础上，故设计初只能得到计算理论上的模型，而后根据实际实验进一步调整设计，这样做不仅花费了大量的时间和精力，而且费用昂贵。因此采用现代计算机为基础的电磁场数值仿真、优化分析方法必将成为设计师的首要选择。

Ansoft 公司的 HFSS 高频三维仿真软件应用切向矢量有限元法来求解任意三维射频器件的电磁场分布，可直接得到特征阻抗，传播系数，S 参数，辐射场，天线方向图等结果。自适应网格抛分技术，快速扫频，全波 spice 技术以及大矩阵快速压缩算法技术的应用大大提高了求解精度和速度。特别是 HFSS9 与 HFSS8 相比不仅界面更加人性化，建模更加简单，而且仿真、优化功能上也有较大的改进。本文就是利用 HFSS9 软件对喇叭天线进行仿真和优化。

二. 设计原理

本文介绍的喇叭天线是角锥喇叭，它是 H-面和 E-面均扩展而成。如图 1 所示。这种形状将在两个主平面均产生窄波瓣，因而形成笔状波瓣。

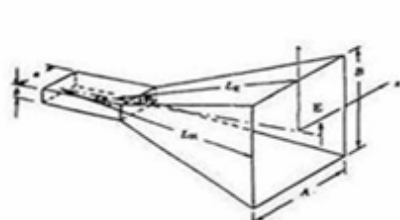


图 1-a 喇叭天线外形

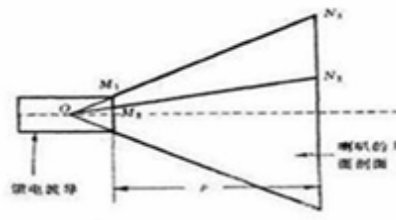


图 1-b 喇叭天线 E 面及坐标系

假定波导只是单模传播，即只有 TE₁₀ 波，不考虑绕射。采用几何光学近似，喇叭口径场同馈电波导口面场一样，只是有个相位差 δ。角锥喇叭的口径场为：

$$E_y(x, y, 0) = E_0 \cos\left(\frac{\pi}{A}x\right) e^{-jk(\delta_x + \delta_y)} \quad (1)$$

这里， $k=2\pi/\lambda$ ， δ_x 和 δ_y 分别是喇叭口径到波导口面场的相位差在 x 方向和 y 方向的值，对于 E 面就相当于图 1-b 的 M₂N₂-M₁N₁，得到：

$$\delta_x + \delta_y = P \left[\sqrt{1 + 4tg^2\theta_1 \frac{x^2}{A^2} + 4tg^2\theta_1 \frac{y^2}{B^2}} - 1 \right] \quad (2)$$

喇叭远场为：

$$\begin{cases} E_{\theta} = j \frac{k E_0 e^{-jkr}}{4\pi r} [\sin\varphi(1 + \cos\theta) \cdot I] \\ E_{\varphi} = j \frac{k E_0 e^{-jkr}}{4\pi r} [\cos\varphi(1 + \cos\theta) \cdot I] \\ E_r = 0 \end{cases} \quad (3)$$

其中:

$$I = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} \int_{-\frac{A}{2}}^{\frac{A}{2}} \cos\left(\frac{\pi}{A}x\right) e^{-jk(\theta_x + \theta_y)} \cdot e^{jk(x\sin\theta\cos\varphi + y\sin\theta\sin\varphi)} dx dy \quad (4)$$

轴向远场方向性系数为: $D = D_0 L_{EH}$, 其中, $D_0 = 32AB / (\pi \lambda^2)$, L_{EH} 为相位差造成的增益修正项损耗。由于角锥喇叭天线损耗很小, 方向性系数可看作其增益。

$$L_{EH} = \left[\frac{2\pi}{AB} \int_0^{\frac{B}{2}} \int_0^{\frac{A}{2}} \cos\left(\frac{\pi}{A}x\right) e^{-jk(\theta_x + \theta_y)} dx dy \right]^2 \quad (5)$$

三. 建立模型

仿真设计首先要建立模型, 可以直接在 HFSS9 的编辑环境中建模, 也可以在 AutoCAD 中完成导入, 同时设置材料特性, 然后定义端口, 设置边界条件, 这些在此不在详述, 值得说明的是, 在建模的过程中, 特别是当对模型进行修改的时候, HFSS9 相对于 HFSS8 来讲, 充分展现了它方便, 灵活的一面。

该喇叭天线的结构示意图如图 1 所示。

四. 仿真结果

笔者在 2GHZ-13GHZ 的宽频带内对此喇叭天线进行仿真, 因频带较宽, 所以这里只罗列几个典型的频率点的方向图如下:

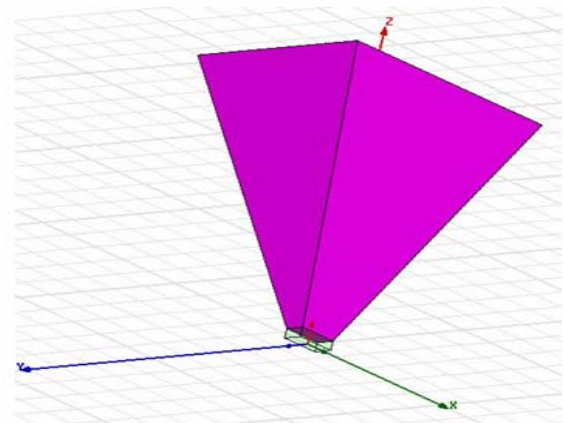
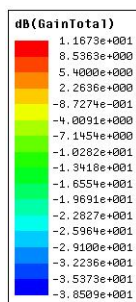
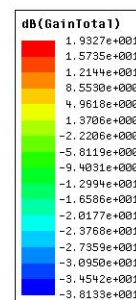
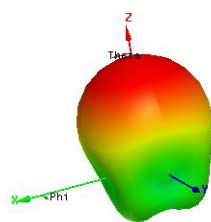


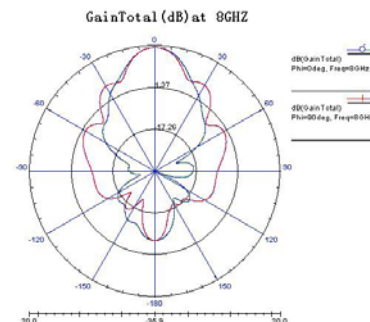
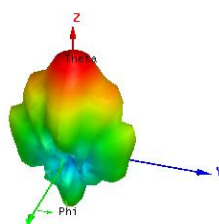
图 1 喇叭天线结构示意图



GainTotal (dB) at 3GHz



GainTotal (dB) at 8GHz



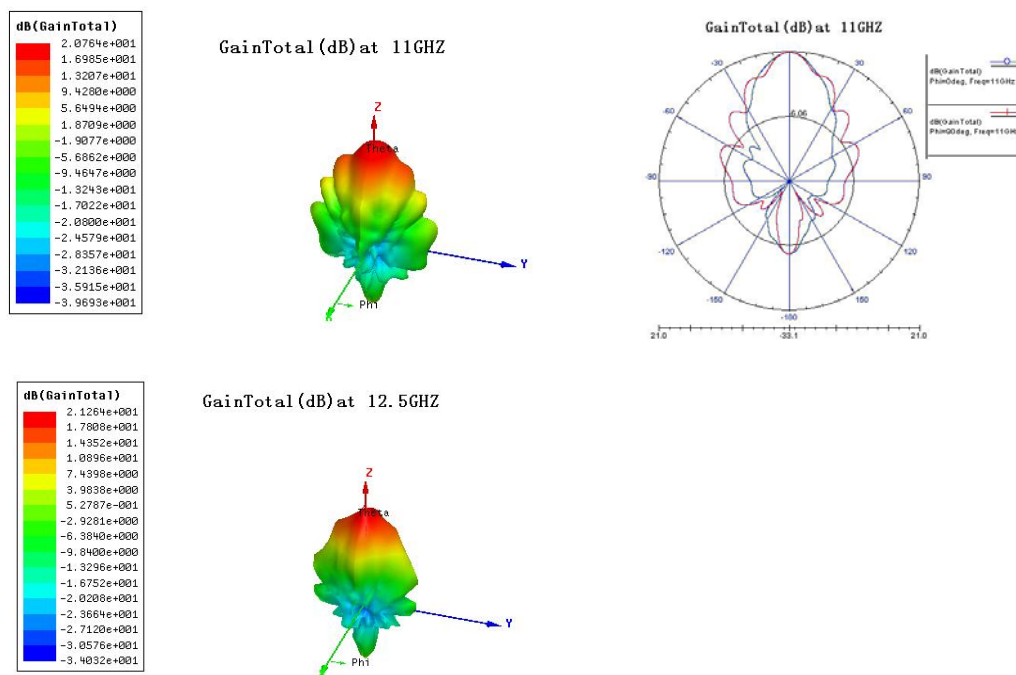


图 2 仿真方向图

仿真的驻波曲线如图 3 所示:

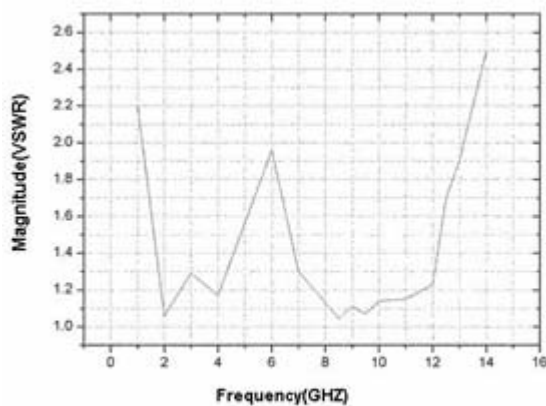


图 3 驻波曲线

由以上的仿真结果可以看出, 在 3-12.5GHz 的宽频带范围内, 天线增益>10dB, 最高可达 22dB, VSWR<2, 得到了较为理想的结果。

五. 结论和体会

通过利用 Ansoft 公司的三维电磁仿真软件 HFSS9 对喇叭天线的仿真, 我们可以看到 HFSS9 灵活的建模功能, 强大的分析能力, 高精度的仿真结果, 已经成为微波产品设计人员不可缺少的工具。

参考文献

- [1] 康行健 《天线原理与设计》
- [2] 马汉炎 《天线技术》
- [3] 林昌禄 《近代天线设计》
- [4] <http://www.ansoft.com>