

# Simulation of Electromagnetic Coupling Effect of Antenna on High Frequency Radiation Field Based on SEMBA

Jie Liu<sup>1</sup>, Jianshu Luo<sup>1\*</sup>, Muzhou Hou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>High Technology Research Institute, Hunan Traffic Engineering College, Hengyang Hunan

<sup>2</sup>School of Mathematics and Statistics, Central South University, Changsha Hunan

Email: \*jshluo@126.com

Received: Sep. 4<sup>th</sup>, 2019; accepted: Sep. 19<sup>th</sup>, 2019; published: Sep. 26<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

The purpose of this study is to obtain the estimation of electromagnetic interference caused by the antenna to the given equipment nearby, so as to optimize the design parameters of the antenna, and obtain the estimation of the induced current transfer function in the conductor near the antenna, which may interfere with the connected equipment. In this study, SEMBA electromagnetic simulation software is used to simulate the electric field intensity and current density excited by the antenna composed of horn and waveguide converter under the action of external electromagnetic field. For a given excitation, the wave reaches two line probes at the same time and produces induced current, which is about 1/10 of microampere. The electric probe shows that the electric field is much larger in the waveguide and little energy is transmitted in front of the antenna, which may be due to the mismatch of the transition impedance between different components. For the region with thin wall, the induced current in the solid is also large.

## Keywords

Electromagnetic Coupling, Grid Division, Simulations, Antenna

---

# 基于SEMBA的天线对高频辐射场的电磁耦合效应仿真

刘 杰<sup>1</sup>, 罗建书<sup>1\*</sup>, 侯木舟<sup>2</sup>

<sup>1</sup>湖南交通工程学院, 湖南 衡阳

<sup>2</sup>中南大学数学与统计学院, 湖南 长沙

Email: \*jshluo@126.com

---

\*通讯作者。

收稿日期：2019年9月4日；录用日期：2019年9月19日；发布日期：2019年9月26日

## 摘要

本研究的目的是获得天线附近给定设备内部可能引起的电磁干扰的预估，从而优化天线的设计参数，并获得天线附近导线中感应电流传递函数的估计，该感应电流可能对连接的设备造成干扰。本研究采用 SENMA 电磁仿真软件，模拟了由喇叭和波导转换器组成的天线在受到外部电磁场作用而激发出的电场强度和电流密度。对于给定的激励，该波同时到达两个线探针并产生感应电流，大约为微安的十分之一。电探针显示电场在波导内部大得多，而在天线前面传输很少的能量，这可能是由于不同组件之间的过渡阻抗不匹配。对于壁面较薄的区域，固体内部的感应电流亦较大。

## 关键词

电磁耦合，网格划分，仿真，天线

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

针对高频强场辐射源所形成的复杂电磁环境对电子系统所形成的电磁威胁以及易损性评估，文献[1]强调了数值模拟与仿真的重要性。王鹏等在[2]中提出了针对高功率电磁脉冲环境的系统级电磁效应评估与技术的发展途径。Hu Rui 等在 2017 年的微波、天线、传播与电磁兼容技术国际会议上提出了某导航贴片天线受不同电磁脉冲照射后的输出时域波形信号的仿真数据及其分析结果[3]。Lorena Lozano 等利用电磁仿真工具，基于矩方法(MOM)，模拟了大型商用喷气式飞机和旋翼飞机的机身对航空卫星信道的效应，包括脉冲响应，窄带信号与宽带信号的时间信道变化[4]。Luan Shenshen 等在文献[5]中，关于相控阵雷达的高空核电磁脉冲(HEPM)的防护技术研究，提出了电磁拓扑(EMT)和决策试验与评估(DEMETEL)相结合的方法，降低了确定耦合路径的难度。左超等在解决一箭多星的电磁兼容问题时，通过建立天线模型和透波口模型以及仿真，确定转发天线的最佳架设方位[6]。向振宇等研究了天线耦合干扰对传输线网络的电磁效应，得到一种计算复杂传输线网络终端频域及时域响应的方法[7][8]。本文基于散射电场强度的 Helmholtz 方程，利用时域有限差分方法的 SEMBA 软件，对天馈系统在高频强场源辐射下的耦合效应进行了仿真计算。首先获得相关部件的相关电磁特性，特别是电导率，大多数材料都可以在高频下作为理想导体(PEC)来处理；在本文中，将假设天线就是这种情况。导线的建模需要设定电阻单位( $\Omega/m$ )和电感单位(H/m)，传输线中的负载也必须确定。模型空间采用无限元域截断，由于完整天线包括网格数巨大，在五百万单元左右，因此计算量巨大。这里的结果只能证明能够实现对波导天线进行仿真，与实验数据的比较需要更详尽的分析。

## 2. 几何模型

### 2.1. AutoCAD 图片导入 GiD 模拟

AutoCAD.dwg 格式是一种仅由 Autodesk 程序处理的闭二进制格式。为了使用其他工具，需要将其转

换成其他格式。有几种转换工具可用。我们采用 DWG DXF 转换器，该转换器可以免费下载：<http://anydwg.com/dwg-dxf/>。

## 2.2. 基于 GiD-SEMBA 建模

转化后的 dxf 文件格式可以导入 GiD，并且保持所提供单元(mm)的原始尺寸。然而，它们将是 3D 建模的部分草图。下面小节介绍了对提供的两个部分的操作的一些步骤：喇叭天线和从圆形波导到矩形波导的适配器。为这个例子创建的 3D 模型作为单独的示例提供。

### 2.2.1. 喇叭天线

将 DXF 文件导入 GiD 提供程序草图(图 1)。必须处理此几何图形以生成(图 2)所示的 3D 模型。为了获得该模型，关键步骤是生成相应的线，当在 GiD 中旋转表面并激活时产生正确的表面。

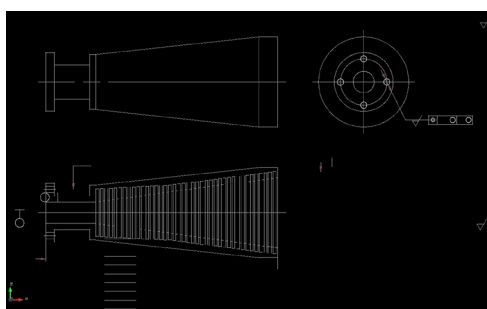


Figure 1. GiD view after importing DXF corresponding to the horn antenna

图 1. 导入与喇叭天线对应的.dxf文件后的 GiD 视图

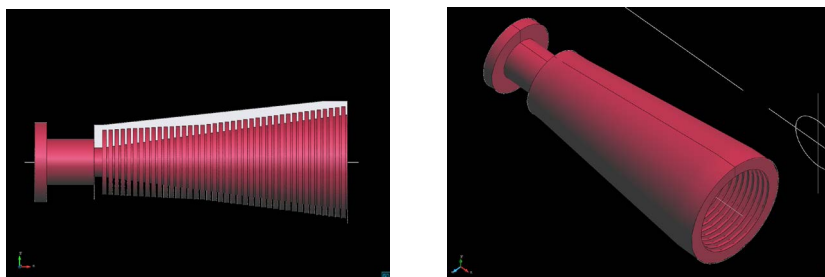


Figure 2. 3D model of the horn antenna. For the lateral view (upper image) the external surface was removed

图 2. 喇叭天线的 3D 模型，(上部图像)是去除外表面的侧视图

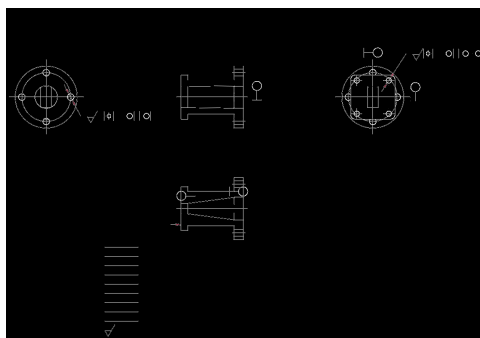
### 2.2.2. 圆形到矩形波导适配器

正如在 2.2.1 节中描述的情况一样，将 DXF 文件导入 GiD 提供程序草图(图 3)。必须处理此几何图形以生成(图 4)所示的 3D 模型。为了获得该模型，关键步骤是在两个波导段之间产生正确的过渡。这是通过包含在圆形波导上的八个引导点来实现的。

## 3. 基于 GiD-SEMBA 的问题定义及网格剖分

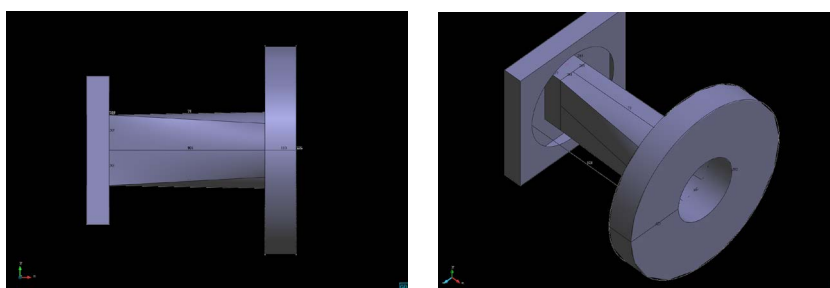
### 3.1. 问题定义

在第 2 章中介绍生成的不同的 GiD 模型生成均可以导入，移动和旋转，使它们的不同部分匹配。此外，我们还在天线前面增加了一个矩形波导过渡和一个导线，所得到的模型的图像如图 5 所示。



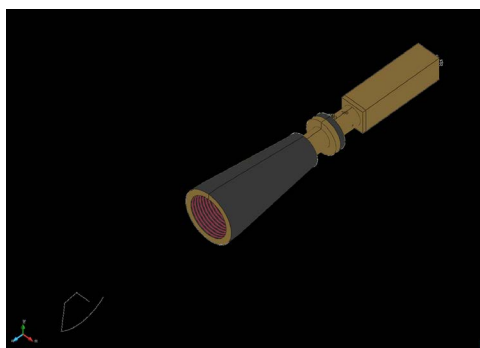
**Figure 3.** GiD view after importing DXF corresponding to the circular to rectangular waveguide adapter

**图 3.** 对应于圆形到矩形波导适配器的导入.dxf 文件后的 GiD 视图



**Figure 4.** 3D model of the horn antenna. For the the external surface was removed to appreciate the inner of the waveguide.

**图 4.** 喇叭天线的 3D 模型，删除外部表面来观察波导内部



**Figure 5.** Microwave circuit incorporating the horn antenna and the adapter models. A wire has been modeled in front of the antenna. Computational domain box is not shown

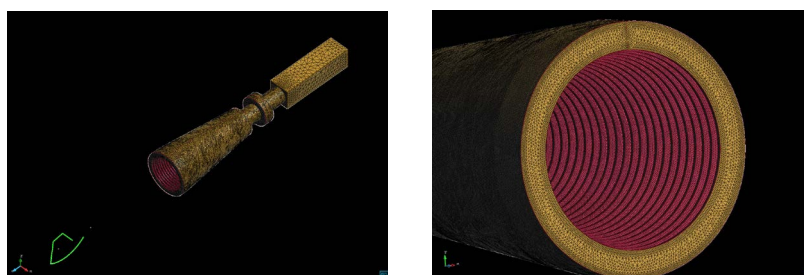
**图 5.** 结合喇叭天线和适配器模型的微波电路，导线在天线的前面，计算域未显示

将 SEMBA 问题类型加入到 GiD 中后，可以设置不同的条件和材料：

- 所有 UGRFDTD 选项都设置为默认值，网格剖分设置为 ZMesher。模型单位设置为 mm。
- 在结构周围画出一个框，给出了每个方向上单元距离为 0.5 mm 的网格条件。
- 所有天线表面都被设置为 PEC，导线的半径为 10 mm，电阻为 50  $\Omega$ /m。
- 矩形波导端口设置在矩形波导的开头，所有选项设置为默认值。
- 两个电探针被设置在天线内和前面的点上。两个电流探针位于导线的不同点。

### 3.2. 几何网格剖分

在所有的电磁条件都被定义之后(3.1 节), 下一步生成由点、线和三角形组成的几何网格, 这些网格充分地再现了问题的几何结构。为此, 我们注意到几何中包含许多曲面和几个直线曲面。只用两个三角形就足够可以模拟一个矩形平面表面。另一方面, 我们需要许多三角形来充分地建模具有足够精度的几何形状。为了满足所有这些要求, 可以方便地选择 Mesh Sizes by chordal error, 并将最大 chordal error 设置为 0.005。现在我们可以使用显著更大的元平均值来生成网格。使用 50 的平均尺寸我们得到图 6 所示的网格, 其中包含大约 130 万个元。在 Intel(R)Core(TM)i7-3960X CPU@3.30 GHz 桌面计算机中, 获得几何网格大约需要两分钟。

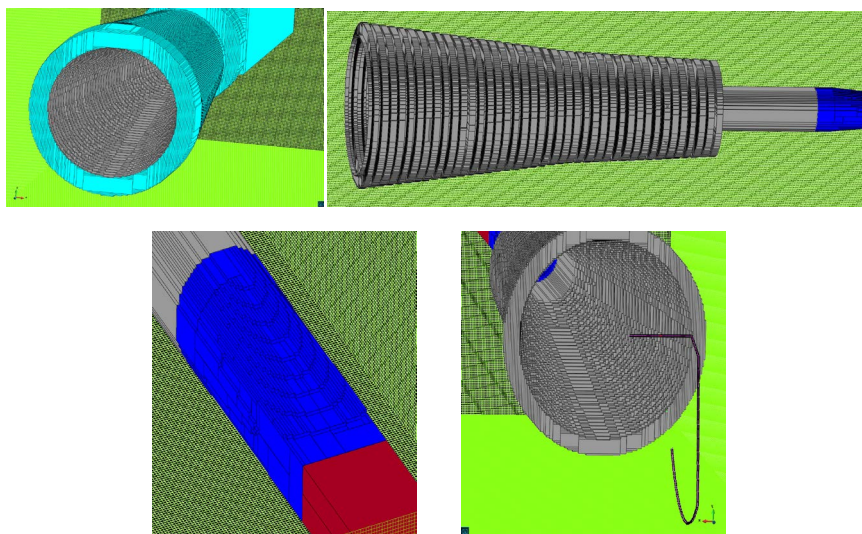


**Figure 6.** Geometric mesh for the microwave circuit. Curved surfaces need more elements to be adequately reproduced

**图 6.** 微波电路的几何网格, 需要足够的单元生成曲面

### 3.3. FDTD 网格剖分

我们可以使用 SEMBA 来获得用来仿真的 FDTD 网格。建议检查所获得的网格, 以便确定一切是否正确。在图 7 中, 网格的一些细节被高亮显示。最终网格包含  $267 \times 267 \times 1200$  个单元。



**Figure 7.** FDTD mesh details

**图 7.** FDTD 网格细节

## 4. 仿真及结果分析

一旦获得 FDTD 网格 nfile 文件可作为 UGRFDTD 求解器的输入。该模拟大约消耗 5 GB 的 RAM,



在 Intel(R)Core(TM)i7-3960X CPU@3.30 GHz 桌面计算机上运行大约需要三个小时。经过仿真，结果在 SEMBA 在 GiD 项目文件夹内创建的 ugrfddd 文件夹中：microwave\_circuit.gid。在这个文件夹中，出现了几个 dat 文件，其中包含与创建的输出请求相对应的信息。

这些文件是 plain-ascii 格式，可以使用许多不同的程序进行操作。在我们的例子中，我们准备了一个 Python 2.7 脚本(plot.py)，当从项目文件夹复制和运行时，它会生成图 8 所示的图。

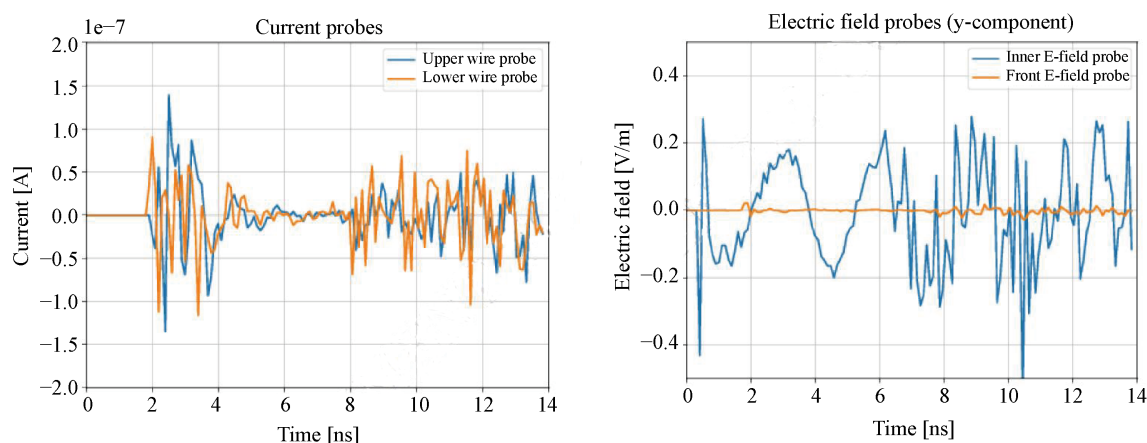


Figure 8. Graphs of different probes generated by plot.py Pypython script

图 8. plot.py Pypython 脚本生成的不同探针的图形

我们可以观察到，对于给定的激励，该波同时到达两个线探针并产生感应电流，大约为微安的十分之一。电探针显示电场在波导内部大得多，而在天线前面传输很少的能量，这可能是由于不同组件之间的过渡阻抗不匹配。

本文介绍了基于 SEMBA 电磁仿真软件的天线对高频强场电磁效应的仿真的几何建模与计算方法。仿真结果表明，利用 SEMBA 软件能够实现对波导天线电磁效应的仿真。

## 参考文献

- [1] 乔登江. 高功率电磁脉冲、强电磁效应、电磁兼容、电磁易损性及评估概论[J]. 现代应用物理, 2013, 4(3): 219-223.
- [2] 王鹏, 李万玉. 高功率电磁效应及防护技术研究概述[J]. 火控雷达技术, 2012, 41(1): 81-83.
- [3] Hu, R., Wen, Y.H., Cao, H.F. and Wang, Z.L. (2017) Radiation Simulation on Satellite Navigation Antenna by Strong Electromagnetic Pulse. 2017 7th IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies (MAPE), Xi'an, 24-27 October 2017, 216-219. <https://doi.org/10.1109/MAPE.2017.8250840>
- [4] Lozano, L., Algar, M.J., Gonzalez, I., Somolinos, A., Cátedra, F., Prieto-Cerdeira, R. and Burzigotti, P. (2012) Electromagnetic Simulations for Aeronautical Satellite Communications Channel Model. 2012 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Prague, 26-30 March 2012, 3145-3148. <https://doi.org/10.1109/EuCAP.2012.6206362>
- [5] Luan, S.S. and Wei, Y. (2018) A Joint Method of EMT and DEMATEL in Analyzing HEMP Coupling Effect of Phased Array Radar Antenna System. 2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and 2018 IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC), Singapore, 14-18 May 2018, 369-372. <https://doi.org/10.1109/ISEMC.2018.8393800>
- [6] 左超, 王好清, 张妍, 曾杰, 李成娟. 系统抗同频干扰的电磁仿真研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(4): 5-8.
- [7] 向振宇, 谭志良. 天线耦合干扰对系统电磁效应的电磁拓扑分析. 装备环境工程, 2010, 7(5): 111-114.
- [8] Parmantier J.-P., Junqua, I., Bertuol, S. and Schickele, P. (2016) Effects of Distributed Sources on Transmission Line Model: Low Frequency Approximations. *Interaction Notes*, **628**, 1-26.