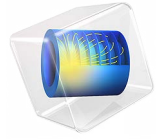


在 COMSOL Multiphysics 6.2 版本中创建



# UHF RFID 标签建模

## 简介

UHF RFID 标签广泛用于识别和跟踪动物。本例模拟超高频范围的无源射频识别 (RFID) 标签。

其中计算了相对于芯片应答器复阻抗的反射系数。这里使用不同于传统散射参数分析法的方法来计算，传统分析法通过实数参考阻抗进行计算。

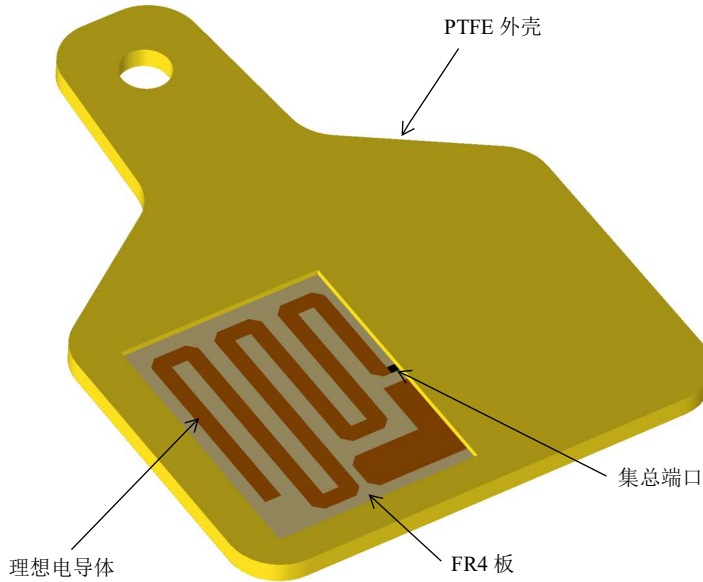


图 1: RFID 标签的几何结构由在 FR4 板上形成图案的铜迹线组成, FR4 板由介电常数较低的 PTFE 外壳包围。此图中不包含仿真所需的周围空气域和完美匹配层。

## 模型定义

本例中, RFID 标签的工作频率为 915 MHz。在此频率下, 虽然 FR4 板上形成图案的铜迹线从几何上看非常薄, 但它们比集肤深度厚得多, 因此 RFID 标签的金属部分可以被模拟为理想电导体 (PEC)。

整个电路板插入无损 PTFE 外壳内。标签在球形空气域中建模, 外侧被完美匹配层 (PML) 包围, 这些层吸收标签发出的所有辐射。

在 RFID 芯片的位置使用一个参考阻抗为  $50 \Omega$  的集总端口, 这样做是为了激励标签并计算标签天线部分的输入阻抗。天线部分被模拟为弯折线, 在其附近放置另一个铜条, 用于控制阻抗。

传统的 S 参数分析法只在实数参考阻抗下适用。然而，当使用复数端口参考阻抗时，RFID 芯片的阻抗值为复数，并且计算的 S 参数没有物理意义。

参考资料 1 中引入了功率波反射系数项，适用于计算 RFID 标签的匹配属性：

$$\Gamma = \frac{Z_l - Z_{\text{ref}}^*}{Z_l + Z_{\text{ref}}}$$

其中  $Z_l$  是复数负载阻抗， $Z_{\text{ref}}$  是复数参考阻抗。

## 结果与讨论

图 2 显示  $xy$  平面上的默认电场模。电场分布图表明电场以对称形式被限制在沿弯折线方向以及弯折线与阻抗匹配带之间的区域。

标签的远场辐射方向图如图 3 所示。值得注意的是，标签的辐射方向图看起来非常类似于半波偶极天线的辐射方向图。

计算的标签阻抗约为  $17 + j124 \Omega$ ，功率波反射系数（单位：分贝）低于  $-15 \text{ dB}$ 。

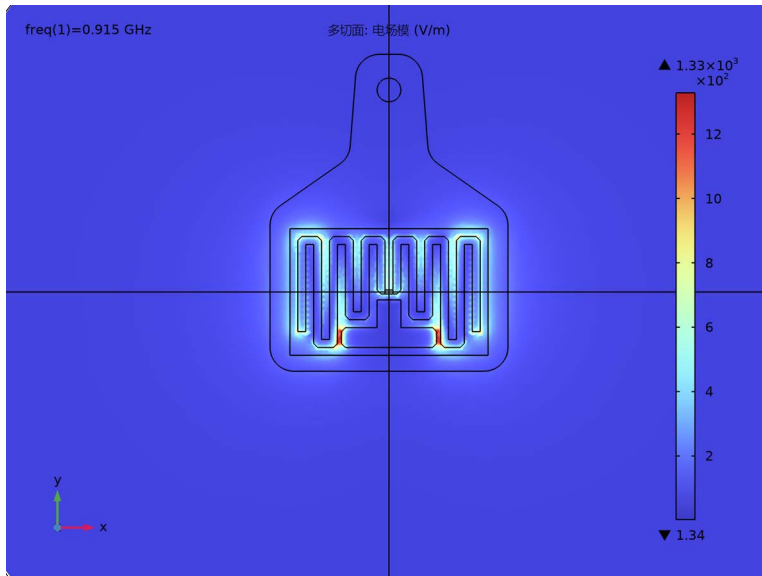


图 2：电场模图显示标签内电场被强烈限制的位置。

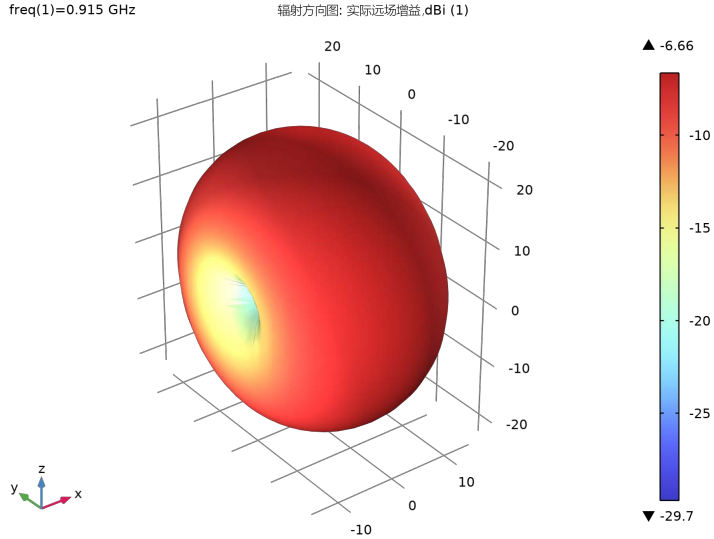


图 3: 远场辐射方向图类似于半波偶极天线。

## 参考资料


1. K. Kurokawa, "Power Waves and the Scattering Matrix," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Volume 13, 1965.

案例库路径: RF\_Module/Antennas/uhf\_rfid\_tag

## 建模操作说明



从文件菜单中选择**新建**。

### 新建

在**新建**窗口中, 单击  **模型向导**。

### 模型向导

- 1 在**模型向导**窗口中, 单击  **三维**。
- 2 在**选择物理场树**中选择**射频 > 电磁波, 频域 (emw)**。

- 3 单击添加。
- 4 单击  研究。
- 5 在选择研究树中选择一般研究 > 频域。
- 6 单击  完成。

## 研究 1

### 步骤 1: 频域

在执行任何频率相关操作（如构建网格）之前，定义研究频率。物理场控制的网格使用指定的频率值。

- 1 在模型开发器窗口的研究 1 节点下，单击步骤 1: 频域。
- 2 在频域的设置窗口中，定位到研究设置栏。
- 3 在频率文本框中键入“915[MHz]”。

## 全局定义

### 参数 1




- 1 在模型开发器窗口的全局定义节点下，单击参数 1。
- 2 在参数的设置窗口中，定位到参数栏。
- 3 在表中输入以下设置：


名称	表达式	值	描述
Zc	$15 - j * 125 [\text{ohm}]$	$(15 - 125i) \Omega$	芯片阻抗

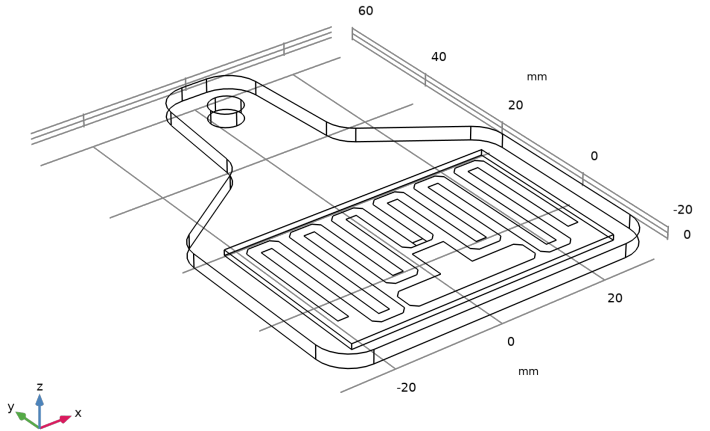
## 几何 1

- 1 在模型开发器窗口的组件 1 (comp1) 节点下，单击几何 1。
- 2 在几何的设置窗口中，定位到单位栏。
- 3 从长度单位列表中选择 mm。

### 导入 1 (imp1)


- 1 在主屏幕工具栏中单击  导入。
- 2 在导入的设置窗口中，定位到导入栏。
- 3 单击  浏览。
- 4 浏览到该 App 的“案例库”文件夹，然后双击文件 uhf\_rfid\_tag.mphbin。
- 5 单击  导入。

6 在图形工具栏中单击  线框渲染按钮。





为 RFID 标签周围的空气域添加一个球体，并添加完美匹配层，稍后将对这些层进行配置。

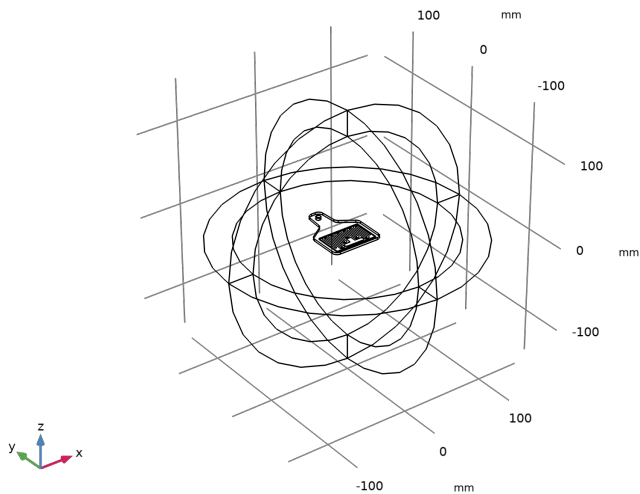
#### 球体 1 (sph1)

- 1 在几何工具栏中单击  球体。
- 2 在球体的设置窗口中，定位到大小栏。
- 3 在半径文本框中键入“150”。
- 4 单击以展开层栏。在表中输入以下设置：

层名称	厚度 (mm)
层 1	30

- 5 单击  构建所有对象。

6 在图形工具栏中单击  缩放到窗口大小按钮。



## 定义

### 变量 1

1 在模型开发器窗口的组件 1 (comp1) 节点下，右键单击定义并选择变量。


定义一个变量，用于计算两个复阻抗之间的反射系数。

2 在变量的设置窗口中，定位到变量栏。

3 在表中输入以下设置：

名称	表达式	单位	描述
Gamma	$(emw.Zport\_1 - conj(Zc)) / (emw.Zport\_1 + Zc)$		用于复阻抗匹配的反射系数

### 完美匹配层 1 (pml1)

1 在定义工具栏中单击  完美匹配层。

2 选择“域”1-4 和 9-12。


这些都是球体的最外层域。

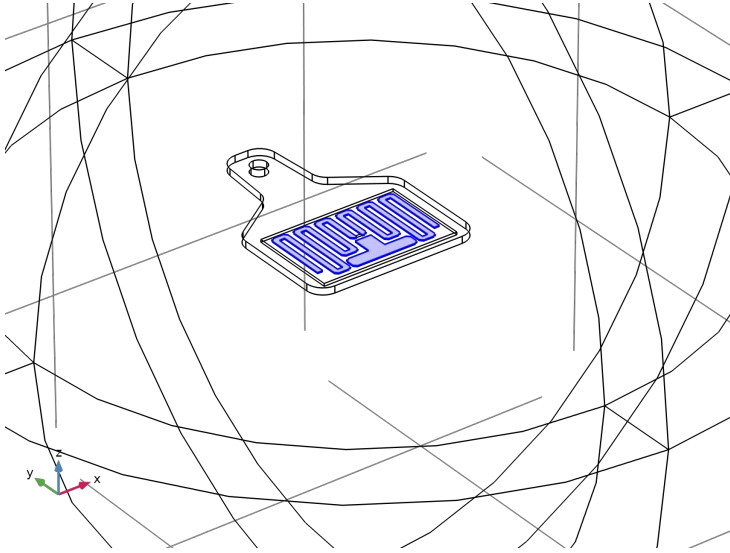
3 在完美匹配层的设置窗口中，定位到几何栏。

4 从类型列表中选择球面。




## 电磁波，频域 (EMW)

### 理想电导体 2

- 1 在模型开发器窗口的**组件 1 (comp1)**下，右键单击**电磁波，频域 (emw)**并选择边界条件**理想电导体**。
- 2 在图形工具栏中单击  **放大按钮**，单击多次可以获得 RFID 标签的清晰视图。
- 3 选择“边界” 25、27 和 54。



### 集总端口 1

- 1 在**物理场**工具栏中单击  **边界**，然后选择**集总端口**。
- 2 选择“边界” 35。  
对于第一个端口，默认情况下，波激励为开。
- 3 在图形工具栏中单击  **缩放到窗口大小按钮**。
- 4 在图形工具栏中单击  **放大按钮**。


### 远场域 1

在**物理场**工具栏中单击  **域**，然后选择**远场域**。

### 添加材料

- 1 在**主屏幕**工具栏中，单击  **添加材料**以打开**添加材料**窗口。
- 2 转到**添加材料**窗口。
- 3 在模型树中选择**内置材料 > Air**。



- 4 单击窗口工具栏中的**添加到组件**。
- 5 在模型树中选择**内置材料 > FR4 (Circuit Board)**。
- 6 单击窗口工具栏中的**添加到组件**。
- 7 在**主屏幕**工具栏中，单击  **添加材料**以关闭**添加材料**窗口。

## 材料

### *FR4 (Circuit Board) (mat2)*

选择“域”7。

### *材料 3 (mat3)*

- 1 在**模型开发器**窗口中，右键单击**材料**并选择**空材料**。
- 2 选择“域”6。
- 3 在**材料**的**设置**窗口中，定位到**材料属性明细**栏。
- 4 在表中输入以下设置：

属性	变量	值	单位	属性组
相对介电常数	epsilon <sub>nr_iso</sub> ; epsilon <sub>r<sub>ii</sub></sub> = epsilon <sub>nr_iso</sub> , epsilon <sub>nr<sub>ij</sub></sub> = 0	2.1	1	基本
相对磁导率	mu <sub>r_iso</sub> ; mu <sub>r<sub>ii</sub></sub> = mu <sub>r_iso</sub> , mu <sub>r<sub>ij</sub></sub> = 0	1	1	基本
电导率	sigma <sub>_iso</sub> ; sigma <sub>mai</sub> = sigma <sub>_iso</sub> , sigma <sub>mai<sub>j</sub></sub> = 0	0	S/m	基本

## 网格 1

在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)**节点下，右键单击**网格 1**并选择**全部构建**。

要查看器件的已划分网格的结构，请从视图中移除部分边界。

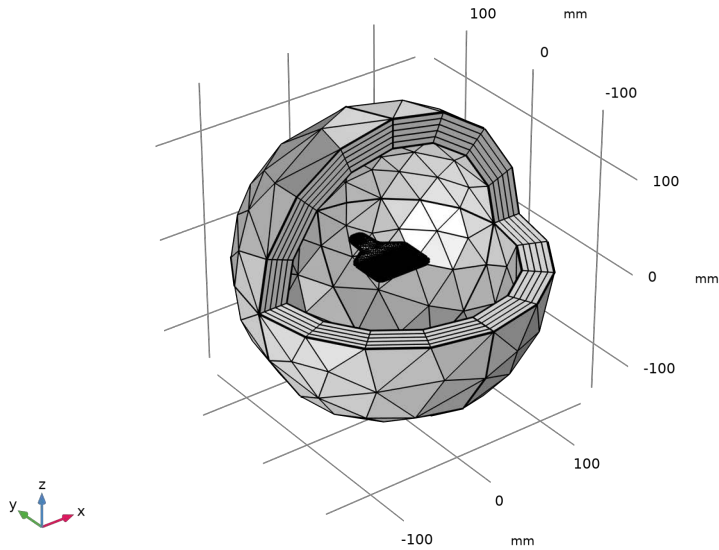
## 定义

### *物理场中隐藏 1*

- 1 在**模型开发器**窗口中，右键单击**视图 1**并选择**物理场中隐藏**。
- 2 在**物理场中隐藏**的**设置**窗口中，定位到**几何实体选择**栏。
- 3 从**几何实体层**列表中选择**边界**。
- 4 选择“边界”6、10、16、37、40和42。


## 网格 1

在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)** 节点下，单击**网格 1**。





## 研究 1

### 步骤 1: 频域

在**主屏幕**工具栏中单击  **计算**。

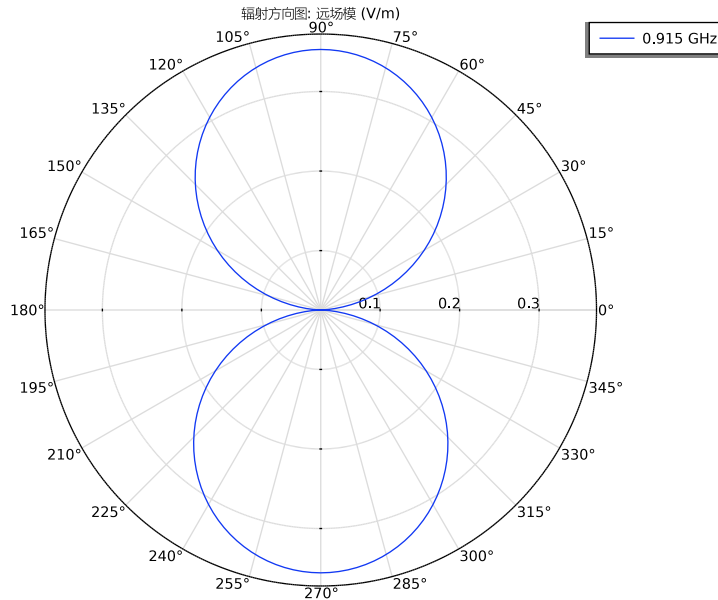
## 结果

### 多切面

- 1 在**模型开发器**窗口中展开**电场 (emw)** 节点，然后单击**多切面**。
- 2 在**多切面**的**设置**窗口中，定位到**多平面数据**栏。
- 3 找到**X 平面**子栏。在**平面数**文本框中键入“0”。
- 4 找到**Y 平面**子栏。在**平面数**文本框中键入“0”。
- 5 在**电场 (emw)** 工具栏中单击  **绘制**。
- 6 在**图形**工具栏中单击  **切换到 XY 平面视图**按钮。  
多次放大以获得 RFID 标签的清晰视图。  
将重现的绘图与图 2 进行比较。


## 二维远场 (emw)

1 在**模型开发器**窗口的**结果**节点下，单击**二维远场 (emw)**。



E 平面辐射方向图类似于偶极天线。

## 辐射方向图 1

- 1 在**模型开发器**窗口中展开**三维远场, 增益 (emw)**节点，然后单击**辐射方向图 1**。
- 2 在**辐射方向图**的**设置**窗口中，定位到**计算**栏。
- 3 找到**角度**子栏。在**方位角数**文本框中键入“40”。
- 4 在**三维远场, 增益 (emw)**工具栏中单击  **绘制**。


## 方向性

1 转到**方向性**窗口。

重现图 3。


## 结果

### 全局计算 2

- 1 在**结果**工具栏中单击  **全局计算**。
- 2 在**全局计算**的**设置**窗口中，单击**表达式**栏右上角的**替换表达式**。从菜单中选择**组件 1 (comp1) > 电磁波, 频域 > 端口 > emw.Zport\_1 - 集总端口 “1” 阻抗 - Ω**。

3 单击  计算。

全局计算 3

- 1 在结果工具栏中单击  全局计算。
- 2 在全局计算的设置窗口中，定位到表达式栏。
- 3 在表中输入以下设置：

表达式	单位	描述
$20 * \log_{10}(\text{abs}(\text{Gamma}))$		

4 单击  计算。