

# 螺旋谐振腔滤波器分析

更高的性能加上更小的尺寸要求开发用于高级无线系统的新型滤波器。

作者: SERGEI P. YUSHANOV、JEFFREY S. CROMPTON 和 KYLE C. KOPPENHOEFER (ALTASIM TECHNOLOGIES)

对于先进无线系统的需求日益增长, 迫使我们采用能够同时满足多种工作和性能标准的新型设计。实现高数据速率传输要新型微波滤波器设计, 使之可以装入更小体积中, 从而可以在更紧凑的无线系统中集成多个滤波器。此外, 必须在系统的几何和拓扑约束内实现滤波器的特定通带频率和品质因子。螺旋谐振腔滤波器提供了一种选择, 与传统的环形谐振腔相比, 它的尺寸显著减小。螺旋谐振腔阵列可以直接印刷在印制电路板上, 由于它们的响应特性, 可以设计为最小的体积占用。

为了描述这些器件的操作, 名为散射矩阵

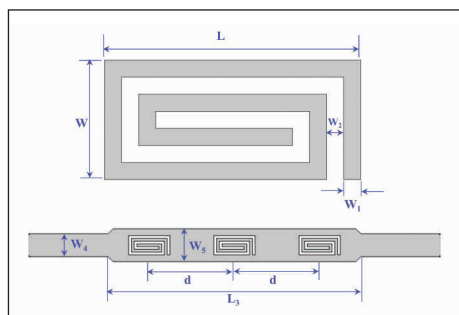


图 1: 基于蚀刻在微带中心线上的矩形螺旋谐振腔的微带滤波器。

( $S$  矩阵) 的数学概念常常被用来描述 RF 信号如何与器件相互作用。信号可能会发生反射、从其它端口出射和以热或电磁辐射耗散;  $S$  矩阵代表其中每个信号路径。该矩阵的阶次为  $n \times n$ ,  $n$  等于系统内的端口数量; 因此,  $S_{ij}$  代表  $j$  输入端口在  $i$  输出端口的散射,  $S_{11}$  表示从端口 1 上输入的信号在端口 1 上的反射比率,  $S_{21}$  表示从端口 1 上输入的信号在端口 2 上产生的响应。

## 螺旋谐振腔仿真

我们设计了一种使用螺旋谐振腔的紧凑型微带滤波器(见图 1), 谐振频率为 7.2GHz (Lim) 等。

使用 COMSOL Multiphysics 设置了一个模型(见图 2), 在该模型中, 微带线以介质基片上的完美电导体 (PEC) 表面表示, 该基片底部的另一个 PEC 表面用作接地平面。两个集总端口为两个矩形面, 它们接合每个端口处的接地平面和微带线 PEC 面之间的间隙。添加

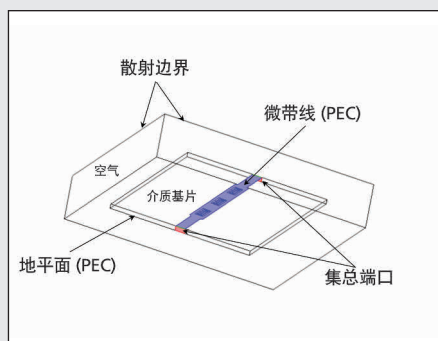


图 2: 带阻谐振腔滤波器的模型。为了方便可视化, 去除了一些外部的面。

了一个以散射边界 (SBC) 为表面的小空气域, 以避免辐射场产生回波, 并减小建模域的大小。该模型包含了介质基片, 它被定义为一个具有相对介电常数的介质域。

图 3 显示了感兴趣的频率范围的实验和仿真结果; 其中  $S_{11}$  表示从端口 1 上输入的信号在端口 1 上的反射比率,  $S_{21}$  表示从端口 1 上输入的信号在端口 2 上产生的响应。

仿真结果与出射和反射信号的实验数据良好吻合, 并显示了对于所需截止频率之外频率

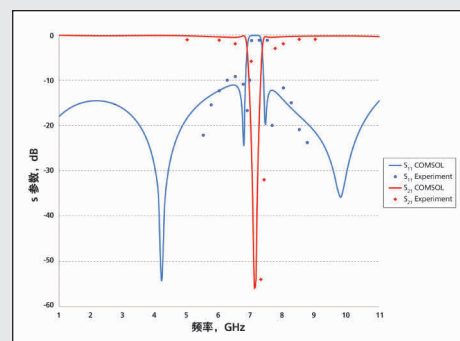


图 3: 带阻螺旋谐振腔滤波器的频率响应: 实验测量 (Lim) 与 COMSOL 仿真进行比较。

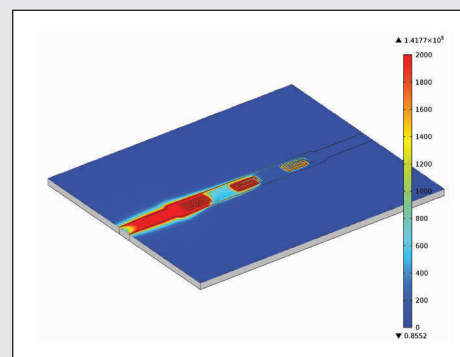
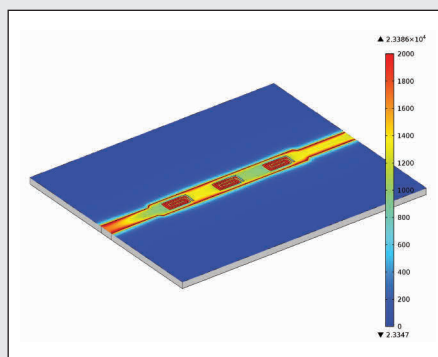


图 4: 电场 (左) 和共振频率 (右)。

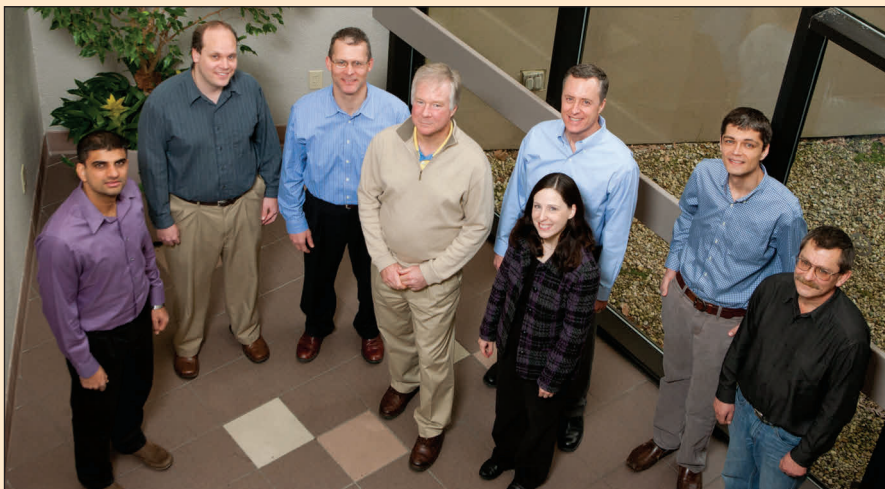
的抑制作用。谐振频率为 7.2 GHz，阻带带宽为 0.5 GHz (7.1-7.6 GHz)，参考级别为  $|S_{21}| = -10$  dB。谐振频率处获得了一个具有陡峭截止频率的深阻带 ( $S_{21} > -50$  dB)；其余频率可以看到一个平坦的通带 ( $S_{21} < 1.2$  dB)，这表明该螺旋滤波器设计具有低插入损耗，因此在集成到电路中时，会限制电路的信号传输作用。

此外，还可以通过小于等于谐振频率的电场分布来可视化数据。如图 4 所示，小于谐振频率时，将通过器件传输高比率的信号；在 7.2 GHz 的谐振频率下，会衰减高比率的信号，从而表明由滤波器设计所形成的信号选择性程度。

于谐振频率时，信号会被高度衰减，传输极低比率的信号。

### 结论

使用 COMSOL Multiphysics 对螺旋谐振腔滤波器的性能进行了分析，结果显示与实验数据吻合。基于紧凑型微带、谐振频率为 7.2 GHz 的螺旋谐振腔滤波器表现出低插入损耗高级性能，在指定频率范围具有陡峭的截止频率。由两个磁性超材料单元体组成的分形螺旋谐振腔在约 1.3 GHz 谐振频率下工作时，分析也显示了 100 dB/GHz 的高程度选择性。该分析可以拓展，在设计其他滤波器并集成到工作电



AltaSim Technologies 的团队。

### 分形螺旋谐振腔带阻滤波器

图 5 显示了由 Palandöken & Henke 开发的分形螺旋谐振腔。

该滤波器由两个微型电尺寸的人造磁性超材料单元组成，通过直接连接两个同心 Hilbert 分形曲线而构成。其操作基于与馈送线的直接连接来激励两个电耦合的分形螺旋谐振腔。图 6 显示了传输 ( $S_{21}$ ) 和反射 ( $S_{11}$ ) 损失的仿真结果；该滤波器的选择性为 100 dB/GHz，参考插入损耗为 3 dB。

图 7 显示了分形螺旋谐振腔形成的电场分布；小于谐振频率时，信号通过滤波器；处

路之前，可以借助这种分析对这些设计做出评估。

### 参考文献

Ho Lim, Jong-Hyuk Lee, Sang-Ho Lim, Dong-Hoon Shin 和 Noh-Hoon Myung, Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference 2007.

M. Palandöken 和 H. Henke, "Applied Electromagnetics Conference", p. 1-4, 2009.

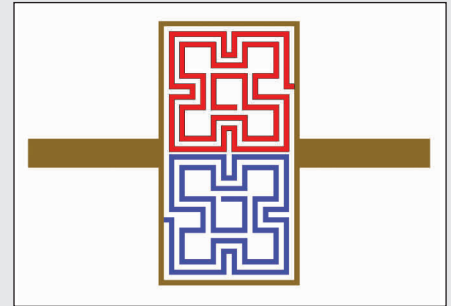


图 5：超材料分形螺旋谐振腔的几何：两个分形谐振腔沿馈送线反对称连接。

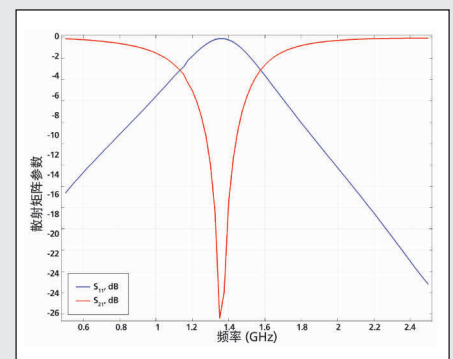


图 6：分形螺旋谐振腔的反射和传输参数。

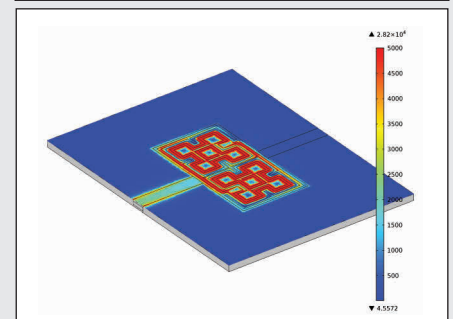
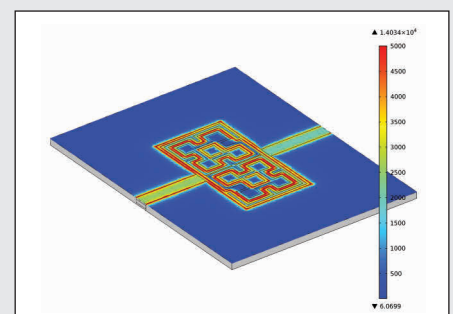


图 7：小于谐振频率时（上）和等于谐振频率时（下）的电场。