

带有介质套筒的同轴直流偏置 滤波器的优化设计

陈 墨 吴 涛 徐金平

(东南大学毫米波国家重点实验室, 南京 210096)

摘要：同轴直流偏置滤波器是波导腔结构毫米波固态源的重要组成部分。为了防止直流偏置滤波器内外导体短接而导致固态器件的烧毁，需要在高低阻抗同轴线内外导体之间加上绝缘介质套筒。在现有同轴线滤波器分析与设计方法中，没有考虑介质套筒的影响，这在短毫米波段会对设计精度产生较大的影响。本文利用商用软件对工作在短毫米波段的加载介质套筒的直流偏置滤波器进行了仿真分析，总结了结构和材料参数对滤波器性能的影响。在此基础上优化设计了能在 110GHz 和 220GHz 频段上有效抑制射频泄漏的直流偏置滤波器。

关键词: 直流偏置滤波器; 高阻抗线; 低阻抗线

一、引言

由于同轴滤波器具有体积小、阻带宽、功率容量高等优点，因此在毫米波波导腔固态器件振荡器及功率合成器中，广泛采用这种结构作为直流偏置滤波器^{[1] [2]}。J. E. Carlstrom 等报道了用于 65—115GHz 连续调谐信号源的高性能直流偏置滤波器^[3]。为了避免金属直流偏置滤波器内外导体短路导致器件烧毁，文献[3]中将直流偏置滤波器尾部嵌入硬塑材料套中。在短毫米波段（例如对于 110GHz 的基波信号和 220GHz 的二次谐波信号），为了确保直流偏置滤波器内外导体不发生短接，可在内外导体之间加入一层介质绝缘套筒，如图 1 所示。由于同轴线尺寸小，介质厚度相对较厚，可以预见，直流偏置滤波器在加入介质套筒后的性能将会产生相当大变化。图 2 给出了图 1 所示滤波器结构在未加介质套筒和加入介质套筒以后在 80GHz 至 240GHz 频率范围内 S_{11} 模值的变化曲线。可见介质套筒的影响确实十分明显。

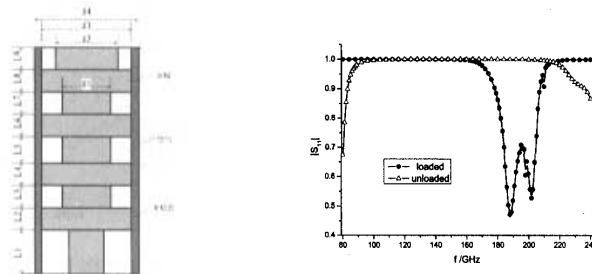


图 1 介质套加载直流偏置滤波器剖面图 图 2 加载介质套筒前后 $|S_{11}|$ 频响特性的对比

对于未加载介质套的高低阻抗线，可以由经典文献上的图表或者拟合曲线得到等效电路参数^[4]，通过电路理论精确地进行优化设计。而介质套加载的高低阻抗线还没有可用的等效电路参数。本文利用HFSS分析总结了加载介质套筒时，高低阻抗线的半径和长度，以及介质套材料参数对直流偏置滤波器性能的影响。在此基础上，优化设计了能在110GHz和220GHz频段上有效抑制射频泄漏的直流偏置滤波器结构，为短毫米波段二次谐波固态源的研制提供了直流偏置滤波器设计方案和设计参数。

二、各参数对滤波器性能影响的分析

加载介质套筒的直流偏置滤波器的设计涉及到高低阻抗线的半径和长度，介质套筒的厚度及其材料参数。下面用HFSS对参数如表1所示的简单结构的反射特性进行了仿真计算，得到了不同参数条件下，主模 S_{11} 的幅度频率响应特性，并分析了各个参数对直流偏置滤波器性能的影响。

参数项	数值	参数项	数值
d1	0.4	L3	0.34
d2	0.5	L4	0.43
d3	0.883	L5	0
d4	0.983	L6	0
d5	0.7	L7	0
L1	0.5	L8	0
L2	0.4	L9	0.6

表1 初始仿真结构参数表 单位：mm

1. 加载介质套的材料

加载介质套的相对介电常数分别为：2.2，3.03，3.64和4.4时，直流偏置滤波器的 S_{11} 幅度频响特性如图3所示。随着相对介电常数的增加，谐振点向低频偏移，谐振带宽减小，谐振点 $|S_{11}|$ 的值变小。当相对介电常数大于3.03时，在240GHz附近出现新的谐振点。

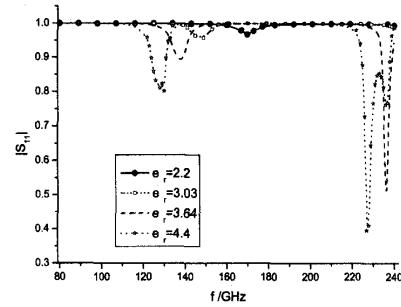


图3 加载不同材料介质套筒时 $|S_{11}|$ 频响特性

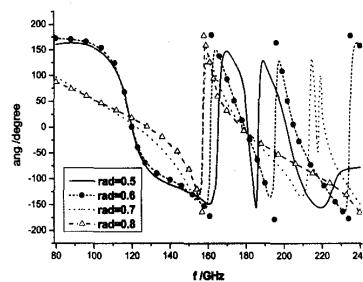
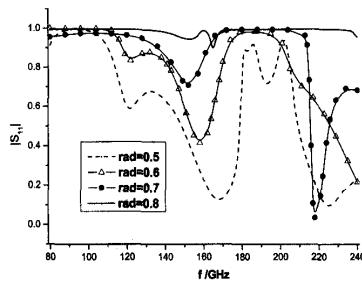


图4 不同低阻抗线半径时 S_{11} 幅度和相位的频响特性

2. 低阻抗线的半径

低阻抗线半径分别为：0.5mm, 0.6mm, 0.7mm, 0.8mm时，直流偏置滤波器 S_{11} 幅度相位频率响应特性如图4所示。可见，低阻抗线半径对直流偏置滤波器的性能影响很大。随着低阻抗线半径的增大，谐振点逐渐减少，谐振带宽变小。低阻抗线半径等于0.8mm时，在80—240GHz频带内 $|S_{11}|$ 的值大于0.8。

3. 低阻抗线的长度

低阻抗线长度分别增加和减少0.1mm和0.15mm时，直流偏置滤波器 S_{11} 幅度频率响应特性如图5所示。由该图可以看出，随着低阻抗线长度的增加，谐振点从210GHz附近偏移到130GHz附近，并且在谐振点处 $|S_{11}|$ 的值逐渐增大。低阻抗线的长度大于0.4mm时，在240GHz附近引入了新的谐振点。

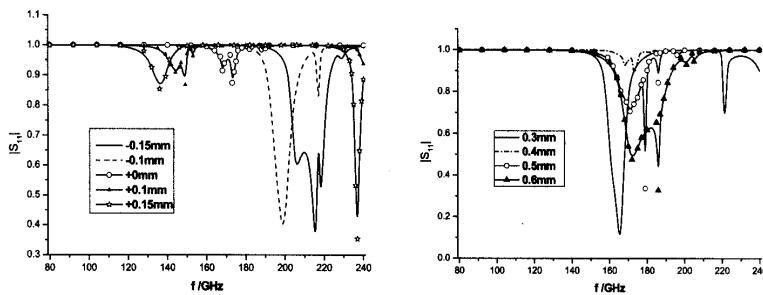


图5 不同低阻抗线长度时 $|S_{11}|$ 频响特性

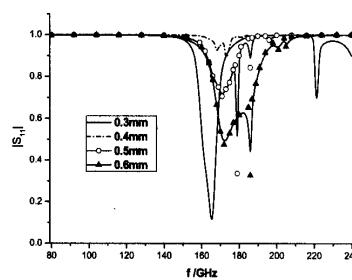


图6 不同高阻抗线半径时 $|S_{11}|$ 频响特性

4. 高阻抗线的半径

高阻抗线半径分别为：0.3mm, 0.4mm, 0.5mm, 0.6mm时，直流偏置滤波器 S_{11} 幅度频率响应特性如图6所示。由图可以看出，随着高阻抗线半径的增加， S_{11} 谐振点的偏移并不明显，谐振带宽先减小后增大，谐振点处 $|S_{11}|$ 的值先增大后减小。

5. 高阻抗线长度

阻抗线长度分别增加和减少0.1mm和0.15mm时，直流偏置滤波器 S_{11} 幅度频率响应特性如图7所示。随着高阻抗线长度的增加， S_{11} 谐振点没有明显的偏移，谐振带宽呈现减小的趋势，谐振点处 $|S_{11}|$ 的值先增大后减小。

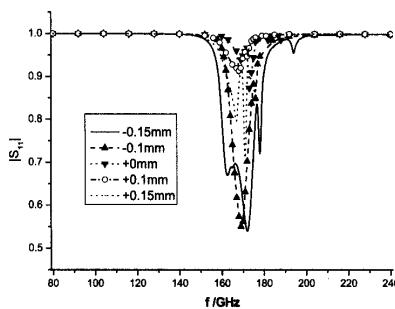


图7 不同高阻抗线长度时 $|S_{11}|$ 频响特性

参数项	数值	参数项	数值
d1	0.4	L3	0.34
d2	0.5	L4	0.53
d3	0.883	L5	0.42
d4	0.983	L6	0.5
d5	0.7	L7	0.375
L1	0.58	L8	0.6
L2	0.5	L9	0.62

表2 优化结构参数表 单位：mm

三、短毫米波段直流偏置滤波器的设计

利用上述结构与材料参数对滤波器性能影响的分析结果，本文优化设计了用于220GHz 二次谐波振荡器（基波频率 110GHz）的直流偏置滤波器。为了有效提取谐波功率，要求在 110GHz 和 220GHz 附近的频带内，直流偏置滤波器不存在寄生谐振，具有优良的射频信号抑制功能。

我们采用聚四氟乙烯 ($\epsilon_r=2.2$) 作为介质套筒的材料。为了加载介质套筒，在直流偏置滤波器的内外导体之间，至少保留 0.1mm 的距离，在短毫米波段，这一距离相对较大，对直流偏置滤波器的性能会产生明显的影响。

经过优化，得到了表 2 中所给出的最终结构参数，相应的 S_{11} 幅度和相位频响特性如图 8 所示。在 80—130GHz 以及 200—240GHz 范围内，没有寄生谐振出现，并且 $|S_{11}|$ 的值基本接近 1，能够在宽频带范围内有效地抑制射频泄漏。

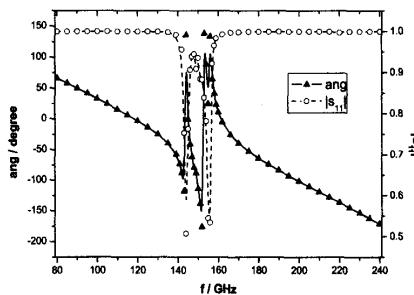


图 8 优化设计直流偏置滤波器的 S_{11} 幅度和相位频响特性

四、结论

本文利用商用软件仿真介质套加载的同轴直流偏置滤波器，总结了加载介质套筒的直流偏置滤波器相关参数对宽频带范围内反射特性的影响。在此基础上，优化设计了能在 110GHz 和 220GHz 频段附近有效抑制射频泄漏的直流偏置滤波器，为短毫米波段二次谐波固态源中直流偏置滤波器的设计提供了良好的方案。

参考文献

- [1] H. Barth, "141GHz Generation by a GaAs Oscillator Up-Converter Chain," IEEE MTT-S Digest, 1982; vol:82(1), pp:364-366
- [2] H. Barth, "A High Q Cavity Stabilized Gunn Oscillator at 94 GHz," IEEE MTT-S Digest, 1986; vol:86(1, 2), pp:179-182
- [3] J. E. Carlstrom, Richard L. Plambeck, D. D. Thornton. "A Continuously Tunable 65-115-GHz Gunn Oscillator," IEEE MTT-S, 1985; vol:33(7), pp:610-619
- [4] 李嗣范, 等. 微波元件原理与设计. 北京: 人民邮电出版社, 1982.

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题，有资深工程师领衔主讲，课程既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，设计原理和设计仿真实践相结合，向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频，专家授课，中文讲解，直观易学；既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程：

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>