

660-GHz波导SIS混频器的嵌入阻抗仿真

张文 史生才 单文磊

紫金山天文台, 210008

e-mail: zw@mwlabs.pmo.ac.cn 及 scshi@mail.pmo.ac.cn

摘要: 在HFSS电磁场仿真软件的帮助下, 我们采用集总源法和嵌入法彻底的研究了一660GHz波导SIS混频器的嵌入阻抗。同时, 也对馈点偏移和厚度变化所产生的影响进行了验证。

关键词: 嵌入阻抗, SIS混频器, 亚毫米波, 集总源, 嵌入

1. 介绍

众所周知, 在发展超导接收机的过程中, 固定调谐型SIS (超导体/绝缘体/超导体) 混频器对实际的射电天文干涉仪非常重要, 但是该类型接收机却不能得到像理论预测那样好的性能, 在亚毫米波段尤其如此。混频器的嵌入阻抗 (即从SIS结看进去的混频器输入阻抗) 的不准确可能是造成这种差别的主要原因。因此, 探寻一种可靠的方法来刻画混频器的嵌入阻抗是很有必要的。另外, 理解混频器的结构参数怎样影响SIS混频器的嵌入阻抗也是非常重要的, 因为制造好了的SIS混频器 (包括混频器基座和SIS结基片) 常常与设计的模型之间存在轻微的不同。在HFSS[1]电磁场仿真软件的帮助下, 我们完整地研究了一个660-GHz的波导SIS混频器的嵌入阻抗 (即从馈点看进去的阻抗), 如图1、2所示。该混频器是我们实验室与台湾ASIAA研究院的接受机组为SMA (亚毫米波阵) 工程一起联合设计的[2]。在仿真中我们首先采用了集总源端口法得到了混频器的嵌入阻抗, 然后与模仿试验的嵌入法作比较。对亚毫米波导SIS混频器来说, 校准SIS结基片馈点在波导中的位置是非常困难的, 而且SIS结基片上沉积的介质厚度与设计值是有差异的。因此, 研究结的馈点偏移和基片的厚度变化对混频器嵌入阻抗的影响有特别的意义。

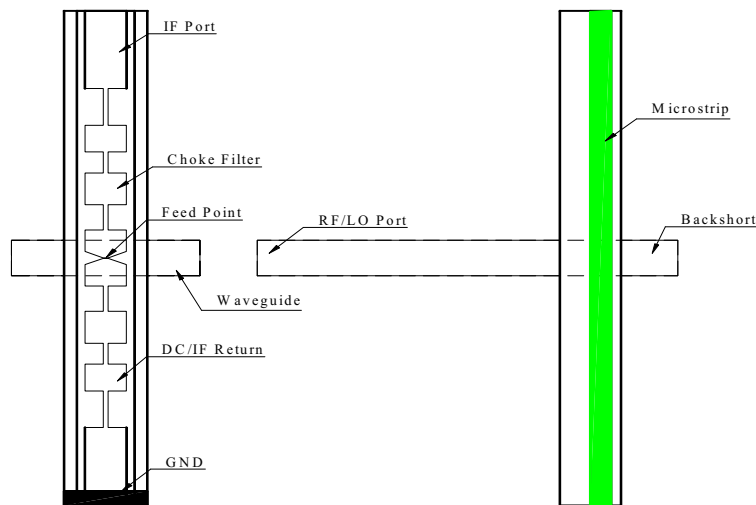


图1 600-720 GHz SIS 混频器基座的结构

2. 仿真方法

HFSS仿真软件能比较容易地处理像波导口和微带口那样的普通端口, 但就660GHz波导SIS混频器结的馈点周围的结构而言, 设置普通端口是不可能的。为了计算混频器的嵌入阻抗 (即从馈点看进去的阻抗, 称为馈点阻抗), 我们将馈点端口设成为集总源端口, 因为馈点宽度和间隙距离都比工作波长小得多, 这与准光学天线的情况相当类似。注意到仿真结果的确随集总源端口的宽度而变化, 在此集总源端口的宽度设为薄膜阻抗变换器的宽度, 而高度与间隙相同。薄膜阻抗变换器直接连到馈点上, 我们认为绝大部分电磁能量集中于此。混频器基座的结构参数简单的与它的原始设计一致[3], 结基片介质 (石英) 的介电常数设为4.45。馈点的复反射系数 Γ 参考任意给定的端口阻抗 Z_0 由HFSS计算出来, 因此馈点阻抗可以表示为 $Z_0 * (1 + \Gamma) / (1 - \Gamma)$ 。

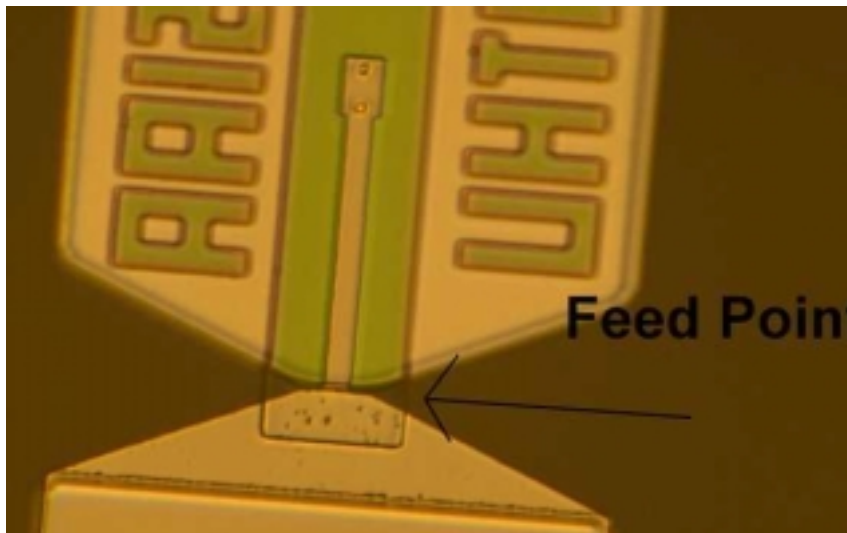


图2 实际的660-GHz SIS混频器结基片的照片（部分）

混频器的嵌入阻抗，可以通过在比例模型的馈点处放置很细的同轴线测量。另一种实验方法（即嵌入法）是在馈点处放置不同的负载（比如开路，短路，任意的电阻），测量混频器波导口的反射系数，然后根据测得的反射系数计算出馈点的嵌入阻抗[4]。很明显，HFSS数值仿真软件模仿该试验是很容易的，能方便的建立不同的馈点负载的模型，计算出混频器波导口的反射系数。我们假设 Γ_s ， Γ_o ，和 Γ_r 分别是混频器馈点短路，开路，和接电阻负载时波导口的反射系数。那么从馈点看进去的嵌入阻抗 Z_{fp} 可以表示为 $Z_{fp}=Z_0*(\Gamma_o-\Gamma_r)/(\Gamma_r-\Gamma_s)$ 。

3. 仿真结果

在HFSS仿真软件的帮助下，将馈点（ $10.56 \times 2.0 \mu\text{m}$ ， $\ll \lambda @ 660\text{GHz}$ ）设成集总源端口，计算出波导SIS混频器（包括中频端和接地端的两阻塞滤波器）的嵌入阻抗。仿真中波导口和中频口是另外的两个端口。为了理解嵌入阻抗对集总源端口尺寸的依赖关系，固定集总源端口的高度为 $2 \mu\text{m}$ ，在 660GHz ，我们首先计算不同的集总源宽度下的嵌入阻抗。如图3所示，馈点阻抗随着集总源端口的宽度而变化。因为场在集总源端口上均匀分布，我们假设它的宽度为阻抗变换器的宽度（ $3.8 \mu\text{m}$ ），而阻抗变换器又连接在馈点和结的调谐电路之间。

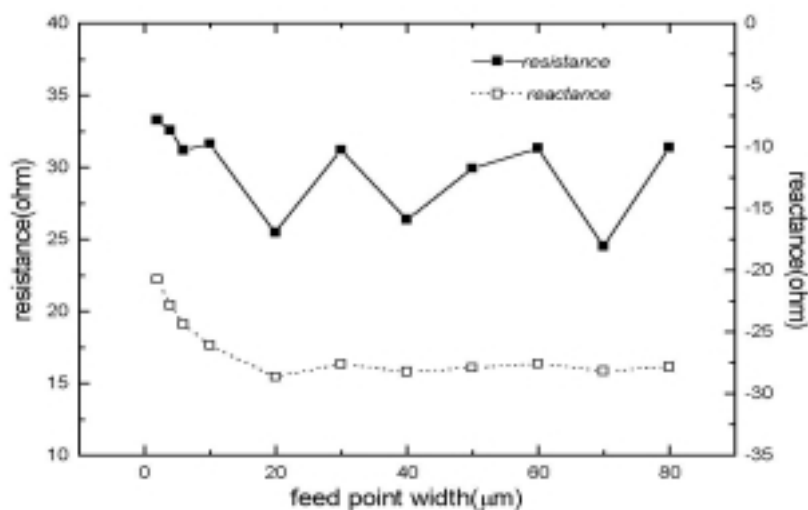


图3混频器嵌入阻抗在660GHz随馈点宽度的变化

我们然后计算出 660GHz 波导SIS混频器的嵌入阻抗对频率的依赖关系。如图4所示，计算出的电阻接近 35Ω ，然而电抗大约为 -20Ω 。为了和集总端口源法得到的结果比较，我们

还用上面介绍的嵌入法计算了混频器的嵌入阻抗。应该指出，当计算混频器波导口的反射系数时，我们把不接任何负载在馈点上看成开路；连接完全导带(3.8x2.0 μm)即为短路，接40 Ω 的有耗导带(3.8x2.0 μm)作为负载。从不同的馈点负载得到的反射系数算出混频器的嵌入阻抗也在图4上以便于比较。可以明显的看出，虽然采用了两种不同的仿真方法，但结果是一致的。

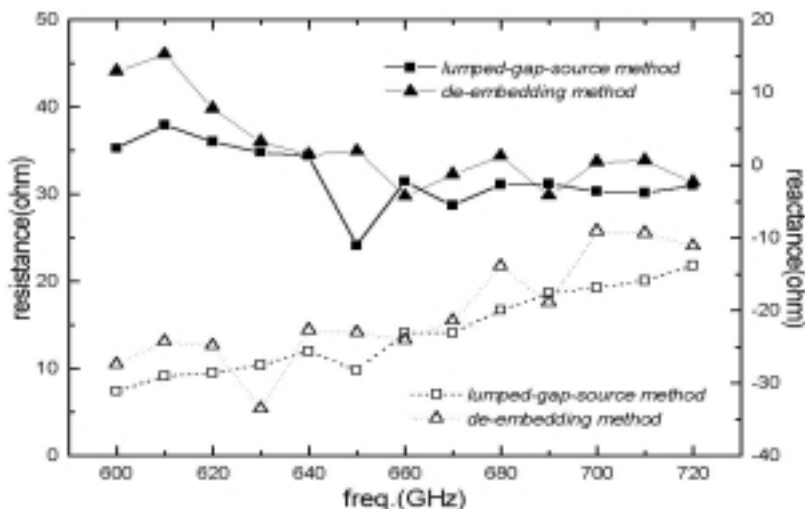


图4 混频器嵌入阻抗的频率依赖性

通过水平和垂直改变馈点在波导中的位置,我们研究了馈点位置对混频器嵌入阻抗的影响。注意两阻塞滤波器也作相应的移动,但混频器其他的结构保持固定。这恰好建立了结基片校准时的模型。仿真的结果如图5所示,其中a)水平移动, b)垂直移动。很明显,混频器嵌入阻抗对馈点的位置移动并不敏感。

我们还计算了混频器嵌入阻抗对不同的结基片的介质厚度的影响。如图6所示,当石英介质厚度从40 μm 减少到30 μm ,嵌入阻抗变化是相当明显的。

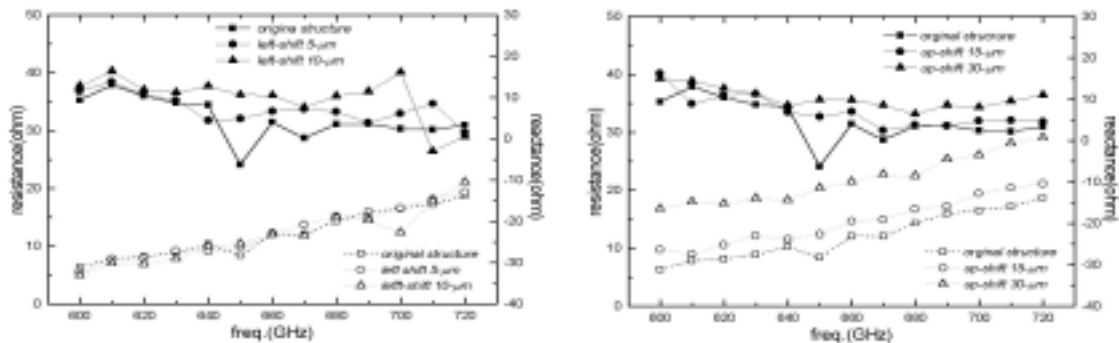


图5 混频器嵌入阻抗对馈点偏移
a) 水平偏移 b) 垂直偏移

4. 总结

我们已经采用了集总源法和嵌入法从数值上研究了660GHz波导SIS混频器的嵌入阻抗。这两种方法得到的结果是一致的。结基片的偏移对混频器嵌入阻抗没有什么影响,但结基片介质厚度的变化影响却大得多。所得到的结果对于亚毫米波导SIS混频器的发展有相当的帮助。

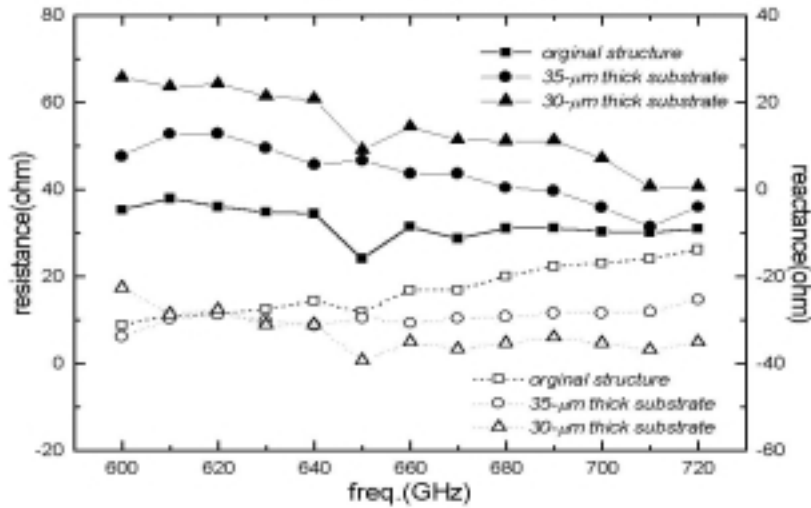


图6 混频器嵌入阻抗对结基片厚度的依赖性

致谢: 该工作通过史生才杰出青年基金得到国家自然科学基金委员会的支持。作者要感谢ASIAA接受机组的钱志聪博士, 王明杰博士, 以及CFA的唐卓裕博士, 在该工作的研究过程中, 与他们进行了卓有成效的讨论。

5. 参考文献

1. Getting Started: *An Antenna Problem*, Ansoft corporation, Oct. 1999.
2. S.C. Shi et al, "Development of a 670-GHz SIS Mixer for SMART," *Proc. 11th Int. Symp. On Space THz Tech.*, San Diego, CA, Feb. 2001.
3. C.E. Tong et al, "A fixed-tuned low noise SIS receiver for the 600 GHz frequency band," in *Proc. 6th Int. Symp. Space THz Tech.*, pp.295-304, Pasadena, CA, Mar. 1995.
4. C.E. Tong, private communication.

SUNSTAR 商斯达实业集团是集研发、生产、工程、销售、代理经销、技术咨询、信息服务等为一体的高科技企业，是专业高科技电子产品生产厂家，是具有 10 多年历史的专业电子元器件供应商，是中国最早和最大的仓储式连锁规模经营大型综合电子零部件代理分销商之一，是一家专业代理和分销世界各大品牌 IC 芯片和电子元器件的连锁经营综合性国际公司，专业经营进口、国产名厂名牌电子元件，型号、种类齐全。在香港、北京、深圳、上海、西安、成都等全国主要电子市场设有直属分公司和产品展示展销窗口门市部专卖店及代理分销商，已在全国范围内建成强大统一的供货和代理分销网络。我们专业代理经销、开发生产电子元器件、集成电路、传感器、微波光电元器件、工控机/DOC/DOM 电子盘、专用电路、单片机开发、MCU/DSP/ARM/FPGA 软件硬件、二极管、三极管、模块等，是您可靠的一站式现货配套供应商、方案提供商、部件功能模块开发配套商。商斯达实业公司拥有庞大的资料库，有数位毕业于著名高校——有中国电子工业摇篮之称的西安电子科技大学（西军电）并长期从事国防尖端科技研究的高级工程师为您精挑细选、量身订做各种高科技电子元器件，并解决各种技术问题。

微波光电部专业代理经销高频、微波、光纤、光电元器件、组件、部件、模块、整机；电磁兼容元器件、材料、设备；微波 CAD、EDA 软件、开发测试仿真工具；微波、光纤仪器仪表。欢迎国外高科技微波、光纤厂商将优秀产品介绍到中国、共同开拓市场。长期大量现货专业批发高频、微波、卫星、光纤、电视、CATV 器件：晶振、VCO、连接器、PIN 开关、变容二极管、开关二极管、低噪晶体管、功率电阻及电容、放大器、功率管、MMIC、混频器、耦合器、功分器、振荡器、合成器、衰减器、滤波器、隔离器、环行器、移相器、调制解调器；光电子器件和组件：红外发射管、红外接收管、光电开关、光敏管、发光二极管和发光二极管组件、半导体激光二极管和激光器组件、光电探测器和光接收组件、光发射接收模块、光纤激光器和光放大器、光调制器、光开关、DWDM 用光发射和接收器件、用户接入系统光收发器件与模块、光纤连接器、光纤跳线/尾纤、光衰减器、光纤适配器、光隔离器、光耦合器、光环行器、光复用器/转换器；无线收发芯片和模组、蓝牙芯片和模组。

更多产品请看本公司产品专用销售网站：

商斯达中国传感器科技信息网：<http://www.sensor-ic.com/>

商斯达工控安防网：<http://www.pc-ps.net/>

商斯达电子元器件网：<http://www.sunstare.com/>

商斯达微波光电产品网：[HTTP://www.rfoe.net/](http://www.rfoe.net/)

商斯达消费电子产品网：<http://www.icasic.com/>

商斯达实业科技产品网：<http://www.sunstars.cn/> 微波元器件销售热线：

地址：深圳市福田区福华路福庆街鸿图大厦 1602 室

电话：0755-82884100 83397033 83396822 83398585

传真：0755-83376182 (0) 13823648918 MSN: SUNS8888@hotmail.com

邮编：518033 E-mail:szss20@163.com QQ: 195847376

深圳赛格展销部：深圳华强北路赛格电子市场 2583 号 电话：0755-83665529 25059422

技术支持：0755-83394033 13501568376

欢迎索取免费详细资料、设计指南和光盘；产品凡多，未能尽录，欢迎来电查询。

北京分公司：北京海淀区知春路 132 号中发电子大厦 3097 号

TEL: 010-81159046 82615020 13501189838 FAX: 010-62543996

上海分公司：上海市北京东路 668 号上海赛格电子市场 D125 号

TEL: 021-28311762 56703037 13701955389 FAX: 021-56703037

西安分公司：西安高新开发区 20 所(中国电子科技集团导航技术研究所)

西安劳动南路 88 号电子商城二楼 D23 号

TEL: 029-81022619 13072977981 FAX:029-88789382