

文章编号: 2095-4980(2015)04-0533-04

0.14 THz 折叠波导行波管中衰减器的设计

雷文强, 蒋 艺, 胡林林, 马国武, 陈洪斌

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621999)

摘 要: 0.14 THz 折叠波导行波管是一种宽频带高增益器件, 容易产生自激振荡, 破坏管子的正常工作。在管内加入衰减器是抑制其振荡的核心技术。本文考虑了衰减材料的配比选择, 以及结构形状的匹配, 运用三维模拟软件对衰减器的吸收和反射特性进行计算, 优化并研制出适合 0.14 THz 行波管使用的衰减器。进行冷测后, 其匹配和吸收特性都满足衰减器需求, 为制作 0.14 THz 行波管放大器奠定了基础。

关键词: 0.14 THz 折叠波导行波管; 自激振荡; 衰减器; 冷测

中图分类号: TN772

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201504.0533

Design of an attenuator for 0.14 THz folded waveguide Traveling-Wave Tube

LEI Wenqiang, JIANG Yi, HU Linlin, MA Guowu, CHEN Hongbin

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: 0.14 THz Folded Waveguide Traveling Wave Tube(FWTWT) is a kind of devices with wide frequency band and high gain. But it tends to produce self-oscillation which will prevent the tube from normal working. Adding an attenuator into the tube is the core technology of suppressing self-oscillation. Considering the choice of the loss materials and the match of the structure, a kind of attenuator for the 0.14 THz FWTWT is optimized and designed with 3D simulation software by calculating the absorbability and reflection of the attenuator. The cold test shows that the match characteristic and the absorbability meet the requirements of the attenuator. It lays a foundation for the manufacture of 0.14 THz FWTWT.

Key words: 0.14 THz Folded Waveguide Traveling Wave Tubes; self-oscillation; attenuator; cold test

随着行波管放大器工作频率的提高,特别是到了太赫兹频段以后,行波管技术的发展面临着越来越多的挑战,衰减器便是其中非常重要的核心部件之一^[1-2]。行波管是一种宽频带高增益器件,频率上升到太赫兹频段后,要求管子输出足够大的功率,这样管子在足够的长度条件下容易产生自激振荡,破坏管子的正常工作。而衰减器的研制是抑制自激振荡研究中的主要内容。

在高增益状态下,管内微小的反射就能引起自激振荡,而行波管输入和输出端的反射一般很难完全消除。因此,为了提高行波管工作的稳定性,充分发挥行波管高增益的优点,必须通过在管内设置集中衰减器和截断的方式,以切断输入和输出的反馈途径^[3-4],使其吸收掉自激产生的杂波和减小不匹配造成的反射波。在行波管中放置的集中衰减器和截断的位置、长度和衰减器的匹配及吸收性能都将会影响行波管的增益以及其他性能,对行波管的最终性能造成影响^[5-6]。

要提高行波管工作的稳定性,充分发挥其高增益的优点,必须将慢波线截断并设置衰减器来切断输入和输出的反馈途径。通过截断和衰减器的方式对波的抑制,也起到了隔离器的作用。在设计和使用过程中,要求在工作频带范围内有足够的衰减量,同时衰减器的两端反射尽量小,特别是 0.14 THz 折叠波导行波管为衰减器预留的空间有限,而在高增益的条件下管内的反射很容易引起自激振荡的产生,这便对衰减器的性能提出了很高的要求。如何在较小的空间里达到良好匹配,同时保证足够的衰减量成为了衰减器设计的关键问题。

本文针对 0.14 THz 折叠波导行波管,利用三维模拟软件 CST 微波工作室进行了氧化铝衰减器的仿真和设计,实现了良好的匹配和足够的衰减量,满足了 0.14 THz 折叠波导行波管研制的需求^[7-8]。

收稿日期: 2014-10-28; 修回日期: 2014-12-24

基金项目: 中国工程物理研究院太赫兹重点实验室基金资助项目(T2014-04-08)

1 材料的选择

在衰减器的设计当中, 衰减材料的选择相当重要, 不同衰减材料制成的衰减器的反射特性和衰减量特性等差异很大。因此对衰减器的材料特性进行仿真, 优化其介电常数和介质的损耗角正切。利用三维模拟软件 CST 微波工作室进行模拟仿真, 建立模型如图 1 所示。

对于不同的材料使用不同的介电常数进行替代(材料 1、材料 2 为不同掺碳比例的氧化铝; 材料 3、材料 4 为掺碳比例不同的氧化铍), 引入到 CST 仿真模型当中进行仿真计算, 计算结果如图 2 所示。通过仿真发现当介电常数为 7, 材料选择氧化铝(材料 2)时, 在需要的工作频带 $f_0 \pm 6$ GHz 内存在 1 个最佳值, 使整个频带内的反射系数小于 0.12。

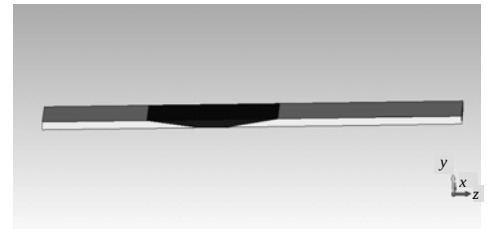


Fig.1 Model of attenuator in CST software
图 1 CST 中的衰减器模型

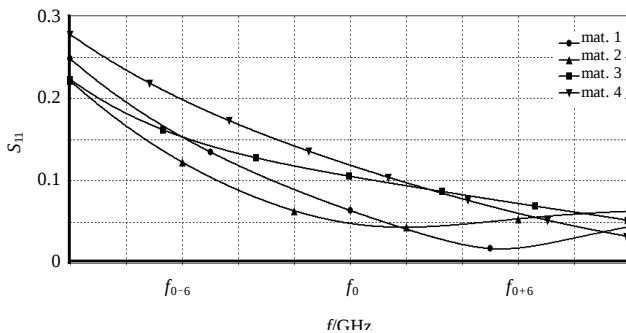


Fig.2 S_{11} parameters of attenuator in different materials
图 2 不同材料衰减器的 S_{11} 参数

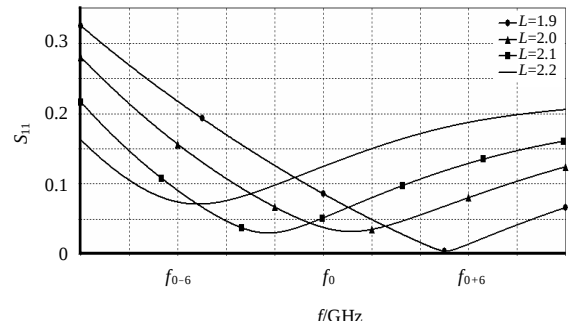


Fig.3 S_{11} parameters of attenuator in different matching lengths
图 3 不同匹配段长度的 S_{11} 参数

2 结构的优化设计

为了实现衰减器的良好匹配和足够的衰减量, 衰减器通常采用 2 段组成, 一段是作为与高频慢波相连接的渐变匹配段, 另一段是为了提高衰减量而引入的衰减段。在设计衰减器形状的时候, 考虑氧化铝衰减器的制作难度和加工工艺的难度, 在衰减器的匹配段采用了直线渐变段的设计方式, 来降低加工工艺的难度。

由于是在管体内部, 衰减器的大小受到较多限制, 通过改变倾斜面长度来进行衰减器的匹配优化。通过模拟仿真, 表明匹配段存在最佳匹配长度为 2 mm~3 mm, 并且在所需要频带内 S_{11} 存在最小值, 并且其最小值所对应的频点随着匹配段长度的增加向低频点移动, 如图 3 所示。考虑实际的工作频带, 匹配段的长度确定为 2.1 mm。将确定好尺寸的衰减器带入到高频结构当中去, 通过仿真计算得到高频的 S_{11} 参数如图 4 所示, 能够满足整管的匹配需求。

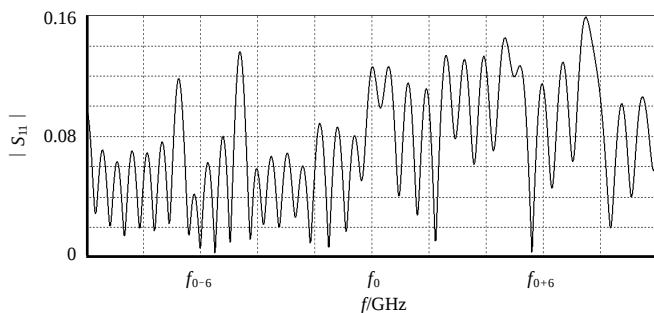


Fig.4 S_{11} parameters of attenuator added in the slow wave structure
图 4 加入衰减器后的高频段的 S_{11} 参数

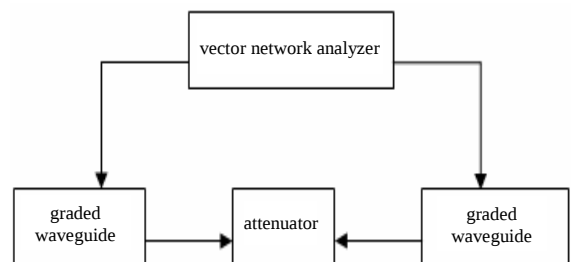


Fig.5 Diagram of attenuator measurement system
图 5 衰减器测试框图

3 冷测实验

对加工好的衰减器进行清洗处理以后,进行了衰减器的尺寸测量,保证测试的衰减器与仿真中的一致。同时进行了测试工装夹具的制作,来保证测试的有效性。利用 2 mm 矢量网络分析仪对装配好的衰减器进行测试,测试框图见图 5,结果发现衰减器的匹配段倾斜面加工好坏对匹配性能的影响较大,衰减器的匹配段倾斜面加工较好的,测试结果也同样较好,如图 6 所示,驻波系数的测试结果和仿真结果基本吻合。

同时对衰减器的传输系数进行了测量,如图 7 所示,发现在所需要的频带内的衰减量基本一致,衰减量为 20 dB 以上,完全能够满足慢波结构的衰减要求。

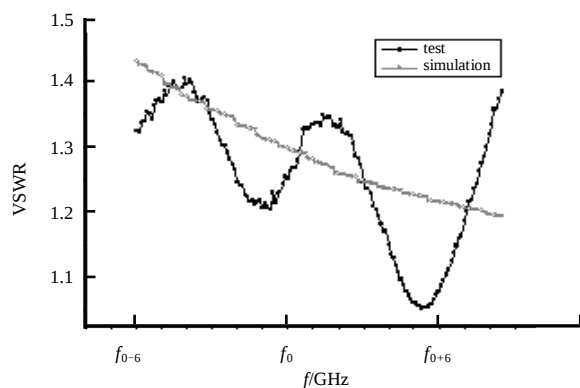


Fig.6 VSWR curves in the cold-test experiment
图 6 冷测实验的驻波曲线

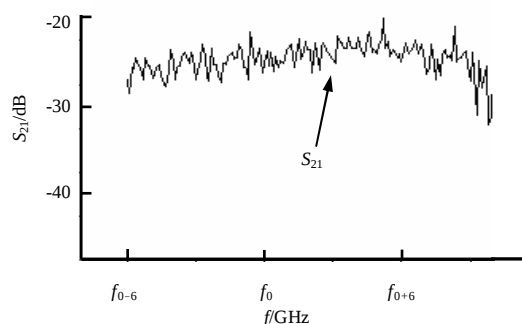


Fig.7 Transmission S_{21} curves in the cold-test experiment
图 7 冷测实验得到的传输系数 S_{21} 曲线

4 结论

本文主要讨论了用于 0.14 THz 折叠波导行波管的氧化铝衰减器,利用三维模拟软件 CST 微波工作室进行模拟计算,选取了有适合的介电常数的衰减材料,优化了衰减器的结构。冷测结果表明在折叠波导行波管所使用的频段范围内,驻波系数小于 1.33,衰减量大于 20 dB,满足了行波管的使用要求。该结果对 0.14 THz 折叠波导行波管的后续工程设计具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 刘盛纲,钟任斌. 太赫兹科学技术及其应用的新发展[J]. 电子科技大学学报, 2009,38(5):481-486. (LIU Shenggang, ZHONG Renbin. Recent development of terahertz science and technology and its applications[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2009,38(5):481-486.)
- [2] 冯进军. 集成真空电子学[J]. 真空电子技术, 2010(2):1-7. (FENG Jinjun. Integrated microwave vacuum electronics[J]. Vacuum Electronics, 2010(2):1-7.)
- [3] 电子管设计手册编委会. 中小功率行波管设计手册[M]. 北京:国防工业出版社, 1976. (Committee of Electron Tubes Design. Design Manual of Middle Small Power Traveling Wave Tubes[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 1976.)
- [4] 刘盛刚,李宏福,王文祥,等. 微波电子学导论[M]. 北京:国防工业出版社, 1985. (LIU Shenggang, LI Hongfu, WANG Wenxiang, et al. Introduction of Microwave Electronics[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 1985.)
- [5] 杜英华,蔡军. W 波段行波管中衰减器的改进[C]// 第 18 届真空电子学会论文集. 湖南张家界:[s.n.], 2011:103-104. (DU Yinghua, CAI Jun. Improvement on the attenuator in W band traveling wave tubes[C]// The Proceeding of the 18th Vacuum Electronics Conference. Zhangjiajie, Hunan, China:[s.n.], 2011:103-104.)
- [6] 巩华荣,宫玉彬,唐涛,等. 折叠波导行波管切断匹配的设计[J]. 强激光与粒子束, 2011,23(2):445-448. (GONG Huarong, GONG Yubing, TANG Tao, et al. Design of sever for folded waveguide traveling wave tubes[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2011,23(2):445-448.)
- [7] 胡林林,陈洪斌,徐翱,等. 0.14 THz 大功率回旋行波管前级激励源粒子模拟研究[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2011,9(3):308-312. (HU Linlin, CHEN Hongbin, XU Ao, et al. Particle simulation of pre-driving source for 0.14 THz high-power gyrotron TWT[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2011,9(3):308-312.)

(下转第 555 页)