

小型化窄边单脊波导滤波器设计

刘类骥, 邹 骥

(成都天奥电子股份有限公司, 四川 成都 610036)

摘 要:通过仿真分析了窄边单脊波导的基本特性,采用所加脊不贯穿整个波导纵向的形式作为单脊波导谐振器,组成直接耦合的切比雪夫带通滤波器,同时输入、输出采用了同轴馈电的方式,与标准波导滤波器相比,可大幅度减小滤波器的体积。最后得到的测试结果表明,该结构能很好地实现波导滤波器的小型化设计。

关键词:单脊波导;谐振器;带通滤波器;小型化

中图分类号:TM25;TN713

文献标识码:A

Design of a Miniaturized Narrow Side Single-ridge Waveguide Filter

LIU Leiji, ZHOU Ji

(Chengdu Spaceon Electronics co., Ltd, Chengdu 610036, China)

Abstract: In this paper, the basic characteristics of the narrow side single-ridge waveguide is simulated and analyzed. The directly coupling chebyshev band-pass filter is composed of the single-ridge waveguide resonators which use the structure with ridge not throughout the waveguide vertical form. Input and output use coaxial feed. Comparing with standard waveguide, it can significantly reduce the filter volume. The final tested results indicate that this structure can achieve good miniaturization design of the waveguide filter.

Key words: single-ridge waveguide; resonator; band-pass filter; miniaturization

0 引言

自1947年Cohn^[1]开始研究脊波导特性以来,脊波导的研究不断深入,Hofper^[2]和Pyle^[3]分别用横向谐振法和准静态法对脊波导的截止波数进行了计算。和传统矩形波导相比,脊波导具有以下特点:

- 1) 工作频带宽。
- 2) 在同一工作频率下,脊波导的尺寸比矩形波导小。
- 3) 主模截止波长更长。
- 4) 等效特性阻抗比矩形波导低。
- 5) 功率容量比矩形波导低。这使得脊波导在宽带脊波导滤波器、宽带定向耦合器、移相器、双工器、变频器、缝隙天线阵等一些微波和毫米波电路中得到广泛应用。

一直以来,对脊波导的研究多是位于宽边的情况,且大多数的脊波导滤波器均采用波导进行输入、输出馈电,关于脊位于窄边的情况还鲜有报道。现代高性能计算机的发展和三维电磁仿真软件为波导研究提供了新的平台,本文通过三维电磁仿真软件对窄边单脊波导TE₁₀模的传输特性进行了简单的初步研究,并设计了采用同轴进行输入输出馈电的

滤波器。

1 原理

1.1 TE₁₀模的场分量

图1为窄边单脊波导结构。图中, a 为波导宽边长度, b 为窄边长度, t 为脊宽, s 为脊中心到宽边的距离, d 为脊长。设单脊波导内填充空气,且纵向均匀。脊波导内的TE模场结构可通过求解亥姆霍兹方程获得,即

$$\frac{\partial^2 H_z(xy)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_z(xy)}{\partial y^2} + k_c^2 H_z(xy) = 0 \quad (1)$$

k_c 取决于激励条件和边界条件。

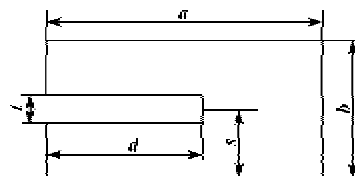


图1 窄边单脊波导结构

以下讨论以BJ-120波导($a=19.05\text{ mm}$, $b=9.52\text{ mm}$)为例,通过三维电磁仿真软件HFSS直观的反映出窄边单脊波导电场和磁场的分布情况。

图2为窄边单脊波导横截面电场分布;图3为

收稿日期:2013-03-20

作者简介:刘类骥(1975-),男,四川内江人,硕士,高级工程师,主要从事频率源及微波器件的设计。邹骥(1976-),男,四川营山人,硕士,高级工程师,主要从事微波电路及器件的设计。

脊波导的纵向场分布。由图 2、3 可知,在脊波导中主模仍是 TE 模,电场没有纵向分量,与标准波导相比,在脊波导中主模的磁场沿脊方向产生了折叠。

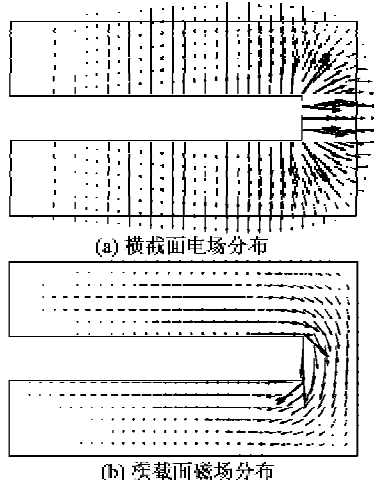


图 2 窄边单脊波导横截面场分布

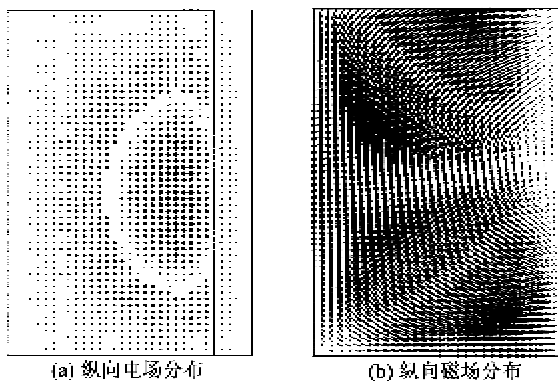


图 3 脊波导的纵向场分布

1.2 截止频率和谐振频率

无耗窄边单脊波导谐振器中的电磁场和矩形腔的场一样,是沿波导正、反两方向传输的行波相叠形成纯驻波。其串联谐振发生在谐振腔长 $l = p\lambda_g/2$ (p 为沿分布的半驻波数) 处, λ_g 为对应于谐振波长 λ_0 的波导波长可得到脊波导谐振器的谐振波长为

$$\lambda_0 = \frac{2}{\sqrt{(2/\lambda_c)^2 + (p/l)^2}} \quad (2)$$

式中 λ_c 为截止波长。

当窄边单脊波导谐振器长度一定时,最低谐振频率对应于 $p=1$,其谐振频率只与截止频率有关,截面 t 、 d 和 s 的变化对截止频率均会产生影响,具体通过 HFSS 场仿真软件分析如下:

1) t 对截止频率的影响。脊处于窄边中间 $s=0.5b$ 处。 $d/a > 0.5$ 时 ($d=12 \text{ mm}$ 不变)。随着 t 增加,脊波导截止频率先降低后升高,变化如图 4 所示,其中 $t=0$ 的曲线表示 BJ-120 标准波导的截止频率, t 与截止频率值的对应关系如表 1 所示。

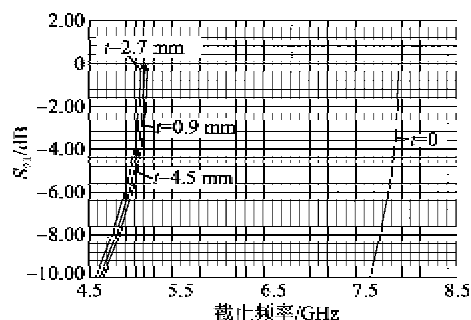


图 4 $d/a > 0.5$ 时, t 与截止频率之间关系

表 1 $d/a > 0.5$ 时, t 与截止频率值的对应关系

t/mm	0	0.9	2.7	4.5
截止频率/GHz	7.87	5.14	5.07	5.11

$d/a < 0.5$ 时 ($d=6 \text{ mm}$ 不变),随着 t 增加,脊波导截止频率一直升高。截止频率变化如图 5 所示,其中 $t=0$ 的曲线表示 BJ-120 标准波导的截止频率, t 与截止频率值的对应关系如表 2 所示。

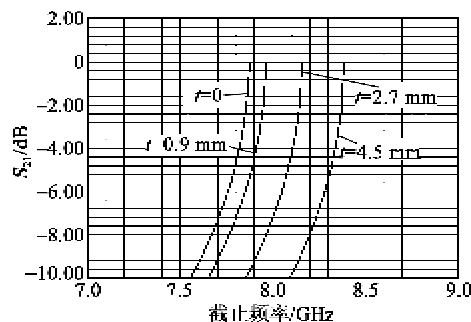


图 5 $d/a < 0.5$ 时, t 与截止频率之间关系

表 2 $d/a < 0.5$ 时, t 与截止频率值的对应关系

t/mm	0	0.9	2.7	4.5
截止频率/GHz	7.87	7.98	8.17	8.39

2) d 对截止频率的影响。脊处于窄边中间 $s=0.5b$ 处。当 t 不变时 ($t=1.8 \text{ mm}$),随着 d 增加,脊波导的截止频率先升高后降低。脊波导截止频率变化如图 6 所示,其中 $d=0$ 的曲线表示 BJ-120 标准波导的截止频率, d 与截止频率值的对应关系如表 3 所示。

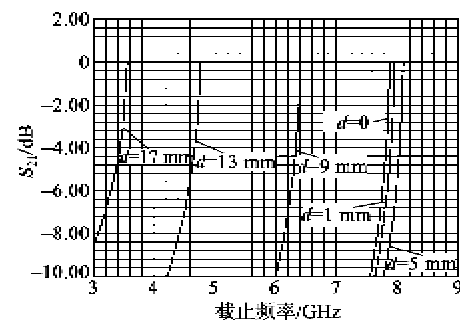
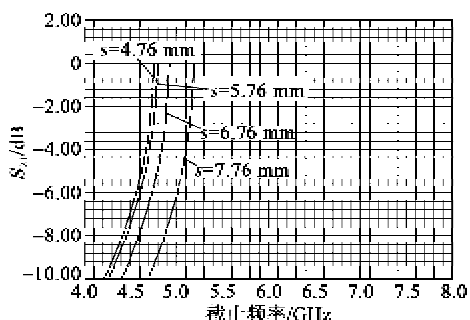


图 6 d 与截止频率之间关系的仿真曲线

表3 d 与截止频率值的对应关系

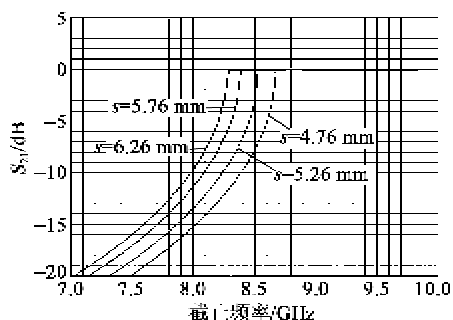
d/mm	0	1	5	9	13	17
截止频率/GHz	7.87	7.95	8.10	6.40	4.75	3.55

3) s 对截止频率的影响。当 $d/a > 0.5$ 时,保持 d 和 t 均不变($d=12\text{ mm}$, $t=1.8\text{ mm}$),随着 s 的增加,脊波导的截止频率会逐渐升高。截止频率变化如图7所示,其中 $s=4.76\text{ mm}$ 的曲线表示脊处于窄边的正中间的截止频率, s 与截止频率值的对应关系如表4所示。

图7 $d/a > 0.5$ 时, s 与截止频率之间关系仿真曲线表4 $d/a > 0.5$ 时, s 与截止频率值的对应关系

s/mm	4.76	5.76	6.76	7.76
截止频率/GHz	4.75	4.80	4.92	5.19

当 $d/a < 0.5$ 时,保持 d 和 t 均不变($d=6\text{ mm}$, $t=6\text{ mm}$),随着 s 的增加,截止频率会逐渐降低。脊波导截止频率变化如图8所示,其中 $s=4.76\text{ mm}$ 的曲线表示脊处于窄边的正中间的截止频率, s 与截止频率值的对应关系如表5所示。

图8 $d/a < 0.5$ 时 s 与截止频率之间关系仿真曲线表5 $d/a < 0.5$ 时 s 与截止频率值的对应关系

s/mm	4.76	5.26	5.76	6.26
截止频率/GHz	8.67	8.53	8.38	8.28

2 窄边单脊波导滤波器设计

窄边单脊波导滤波器设计过程如下:

1) 已知滤波器电性能设计参数,确定低通函数原型,求出级数、外部品质因数 Q_e 、耦合系数 k_{ij} 等参数。

2) 利用滤波器的中心频率 f_0 , 求出 λ_0 。

3) 确定截面尺寸参数 t 、 d 和 s , 利用 HFSS 仿真软件得出 f_c , 求出 λ 。

4) 将 λ_0 和 λ_c 代入式(2), 求出谐振腔长 l 。

5) 利用群时延法获取 I/O 口的尺寸, 本征模法获取 k_{ij} 。

6) 级联仿真。本文采用切比雪夫滤波器形式设计了一个通带频率为 6.93~7.17 GHz 的四级窄边单脊波导滤波器, 输入、输出采用同轴形式馈电, 选取 $a=19.05\text{ mm}$, $b=9.52\text{ mm}$, $t=1.8\text{ mm}$, $d=16\text{ mm}$ 。

波导谐振器等效于一个 π 型谐振器, 级间耦合通过谐振器电感间的互感实现。在滤波器中, 如果窄边所加脊贯穿整个谐振器纵向, 求出本例中的单个 l 为 25 mm, 如果窄边所加脊不贯穿整个谐振器纵向, 则可再次对谐振器中的磁场进行折叠, 使单个 l 为 12 mm, 体积大幅减小。

滤波器仿真模型如图9所示, 输入输出馈电采用同轴形式。如果采用标准的 BJ-70 波导, 谐振频率为 7.05 GHz 的单个谐振腔的体积约为 $34.85\text{ mm} \times 15.80\text{ mm} \times 26.85\text{ mm}$ 。本例中采用的单个谐振腔体积约为 $19.05\text{ mm} \times 9.50\text{ mm} \times 12\text{ mm}$, 与标准的单个 BJ-70 波导谐振腔相比, 体积减小了约 85%。

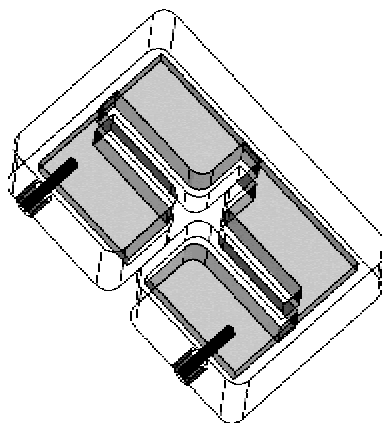


图9 仿真的3D模型

在 HFSS 中对其进行传输模型仿真, 得到仿真曲线如图10所示。图11为滤波器的实测曲线, 对比仿真曲线可看出, 该滤波器设计与仿真结果相吻合, 通带内回波损耗优于 20 dB, 插损 0.35 dB, 实现了最初的设计目标。滤波器的实物照片如图12所示。

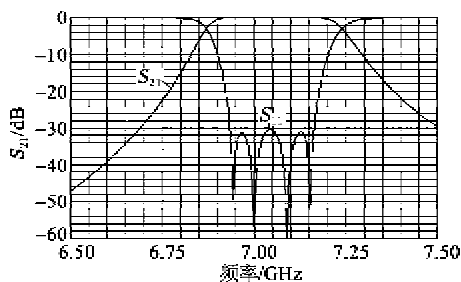


图10 滤波器的仿真曲线

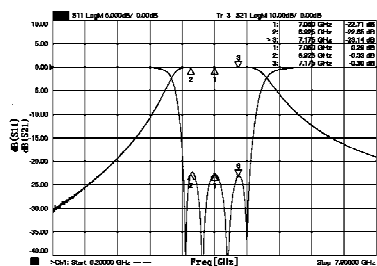


图11 滤波器的实测曲线

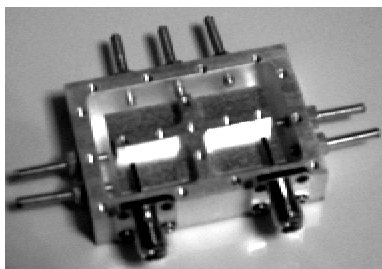


图12 滤波器的实物照片

3 结束语

本文分析了窄边脊波导场结构和窄边脊波导结构参数对截止频率的影响,以窄边脊波导谐振器为基础,采用窄边所加脊不贯穿整个谐振器的形式构成滤波器结构,与标准波导滤波器相比,体积可大幅减小,实现了波导滤波器的小型化设计。实测结果与仿真结果较吻合,表明该结构是切实有效,很好的满足了小型化设计的要求。

参考文献:

(上接第 902 页)

- [1] COHN S B. Properties of ridge waveguide[J]. Proc IRE, 1947, 35(8): 783-788.
- [2] HOPFER S. The design of ridged waveguides[J]. IEEE Transactions on MTT, 1996, 44(5): 20-29.
- [3] PYLE J R. The cutoff wavelength of the TE₁₀ Mode in ridged rectangular waveguide of Any aspect ratio[J]. IEEE Transactions on MTT, 1966, 14(4): 175-183.
- [4] RONG Y, ZAKI K A. Characteristics of generalized rectangular and circular ridge waveguides[J]. IEEE Trans on MTT, 2000, 48(2): 258-265.
- [5] LU M, LEONARD P J. Dependence of ridge position on the cutoff wavelength of the dominant mode in single ridge waveguides[J]. Microwave and Optical Technol Lett, 2002, 34(5): 374-377.
- [5] GIROD L, ESTRIN D. Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing[C]//Maui, USA: Proc of the IEEE/RSJ Int'l Conference on Intelligent Robots and Systems, 2002: 1312-1320.
- [6] 马潇霄, 赵安军, 马光思. 无线传感器网络中的定位算法研究[J]. 计算机应用, 2010, 31(6): 24-26.
MA Xiaoxiao, ZHAO Anjun, MA Guangsi. Research on localization technology of wireless sensor networks[J]. Journal of Computer Applications, 2010, 31(6): 24-26.
- [7] 袁正午, 梁均军. 基于虚拟力的无线传感器网络多跳定位算法[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 22(1): 122-126.
YUAN Zhengwu, LIANG Junjun. Multi-hops localization algorithm based on virtual force for wireless sensor networks[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications; Natural Science Edition, 2010, 22(1): 122-126.
- [8] 周航, 冯新喜. 改进并行集中式数据关联算法[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2012, 24(3): 339-344.
ZHOU Hang, FENG Xinxi. A data association algorithm of improved parallel centralized[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications; Natural Science Edition, 2012, 24(3): 339-344.
- [9] 张佳, 吴延海, 石峰, 等. 基于 DV-Hop 的无线传感器网络定位算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(2): 323-326.
ZHANG Jia, WU Yanhai, SHI Feng, et al. Localization algorithm based on DV-Hop for wireless sensor networks[J]. Journal of Computer Applications, 2010, 30(2): 323-326.