文章编号：1673–1522（2010）03-0289–03

K 波段基片集成波导带通滤波器的设计

李尚生[1]，陈佳林[1]，于　晶[1]，杜　磊[2]，陈如山[2]

（1. 海军航空工程学院 电子信息工程系，山东 烟台 264001；2. 南京理工大学 通信工程系，南京 210094）

摘　要：基片集成波导（Substrate Integrated Waveguide，SIW）是一种低插损、低辐射、高品质因素的导波结构。文章利用基片集成波导技术设计了一种 K 波段带通滤波器，其中心频率为 19.4 GHz，相对带宽为 7.48%，插损小于 1 dB，该滤波器具有体积小、重量轻、易于加工和集成等优点。

关键词：基片集成波导（SIW）；K 波段；滤波器

中图分类号：TN713　　**文献标志码：**A

微波滤波器是微波系统中的重要元件之一，是用来分离或组合各种不同频率信号的重要元件[1]。用传统的金属波导设计滤波器具有体积大、价格昂贵、制作难度高等缺点。基片集成波导，作为一种新型的导波结构，具有与传统波导相似的传输特性，同时具有低插损、低辐射、高品质因素、易于加工和集成等显著优点[2-3]。本文基于基片集成波导设计的 K 波段带通滤波器，仿真结果显示了其优良特性。

1 基片集成波导理论

基片集成波导是由两排金属通孔和介质基片的上下金属面构成的类似普通矩形波导的结构[4-5]，如图 1 所示，金属通孔的直径为 d，孔间距为 S，两排金属通孔的中心距离为 w，介质基片的厚度为 h，介电常数为 ε_r。

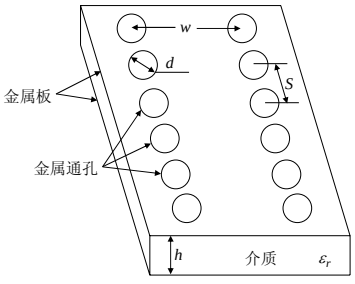


图 1　基片集成波导结构

在满足 $S/d<2$、$d/w<1/8$ 下，基片集成波导的能量辐射损耗非常小，将基片集成波导等效为传统的矩形金属波导，其等效宽度可用下式近似表示[6]：

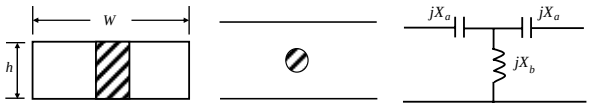
$$w_{eff} = w - 1.08\frac{d^2}{S} + 0.1\frac{d^2}{w}。\quad (1)$$

大量仿真实验表明，基片集成波导仅传播 TE_{n0} 模式的电磁波[4, 7]。

2 带通滤波器的设计

在微波系统中，电抗元件的基本结构都是利用微波传输线中结构尺寸的不连续性组成的。传统的金属矩形波导的不连续性通过电容膜片、电感膜片、谐振窗、销钉、螺钉等来实现。随着基片集成波导技术的发展，对基片集成波导不连续性问题的研究也在深入。基片集成波导滤波器的设计是基片集成波导的不连续性研究的一部分。可以通过在基片集成波导中加载金属通孔、金属膜片、介质通孔来实现滤波器的设计[8-10]。

本文设计的带通滤波器是通过在 SIW 上加载金属通孔实现的，基本结构和等效电路如图 2 所示。



a）截面图　　b）俯视图　　c）等效电路

图 2　金属通孔结构及其等效电路

2.1 带通滤波器的设计过程

和传统的金属矩形波导带通滤波器的设计方法类似，根据设计指标要求，需要把带通滤波器转化

收稿日期：2009-12-28

作者简介：李尚生（1965–），男，教授，硕士。

到低通等效模型来设计。整个设计方法分为[11]：

1）带通滤波器模型到低通等效原型的转换

$$\frac{\omega'}{\omega_1'}=\frac{2}{W_\lambda}\left(\frac{\lambda_{g0}-\lambda_g}{\lambda_{g0}}\right), \tag{2}$$

式中：λ_{g0}、λ_{g1}、λ_{g2}、λ_g 是频率在 ω_0、ω_1、ω_2、ω 上的波导波长，$\lambda_{g0}=\dfrac{\lambda_{g1}+\lambda_{g2}}{2}$，$\lambda_g=\dfrac{\lambda}{\sqrt{1-(\lambda/2a)^2}}$；$W_\lambda$ 是滤波器的相对带宽，$W_\lambda=\dfrac{\lambda_{g1}-\lambda_{g2}}{\lambda_{g0}}$。

2）阻抗变换器的计算

将带通滤波器的模型转换为低通等效原型以后，可以求出该滤波器的归一化阻抗变换器的大小。

$$\frac{K_{01}}{Z_0}=\sqrt{\frac{\pi W_\lambda}{2g_0g_1\omega'}}, \tag{3}$$

$$\left.\frac{K_{i,i+!}}{Z_0}\right|_{i=1,\cdots,n-1}=\frac{\pi W_\lambda}{2\omega'}\sqrt{\frac{1}{g_kg_{k+1}}}, \tag{4}$$

$$\frac{K_{n,n+1}}{Z_0}=\sqrt{\frac{\pi W_\lambda}{2g_ng_{n+1}\omega'}}。 \tag{5}$$

3）通孔结构尺寸的计算

得到阻抗变换器的值以后，通过下列计算式可以求出基片集成波导中的金属通孔的尺寸。

$$\frac{K}{Z_0}=\left|\tan(\frac{\phi}{2})+\tan^{-1}\frac{X_b}{Z_0}\right|, \tag{6}$$

$$\phi=-\tan^{-1}(\frac{2X_a}{Z_0}+\frac{X_b}{Z_0})-\tan(\frac{X_b}{Z_0})。 \tag{7}$$

由于一定尺寸的金属通孔对应着固定的 X_a 和 X_b 的值，因此在求得归一化阻抗变换器的值后，可很方便地计算出金属通孔的尺寸和谐振腔的长度。

各谐振腔的长度为

$$l_i=\frac{\lambda_{g0}}{2\pi}(\pi+\frac{1}{2}(\phi_{i-1,i}+\phi_{i,i+1})),i=1,2,\cdots。 \tag{8}$$

4）利用仿真软件对设计结果作进一步的优化。

2.2 设计实例

设计目标：中心频率为 19.4 GHz，相对带宽为 7.48%，插入损耗小于 1 dB。

材料选择：介质基片选用聚四氟乙烯材料（介电常数 $\varepsilon_r=2.55$，其损耗角正切为 0.001，介质厚度 $h=0.5$ mm）。

根据基片集成波导和滤波器的设计原则，按上述步骤设计并优化，得到设计参数：$w=7.2$ mm，$S=2.0$ mm，$d=1.2$ mm，$l_1=6.34$ mm，$l_2=7.08$ mm，$o_1=2.0$ mm，$o_2=1.2$ mm，如图 3 所示。

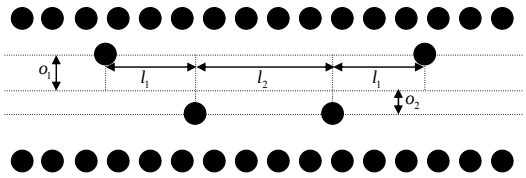


图 3 基片集成波导带通滤波器结构

根据以上设计的滤波器的尺寸，用 Ansoft 公司的 HFSS11 软件进行数值计算，得到带通滤波器的 S 参数，如图 4 所示。

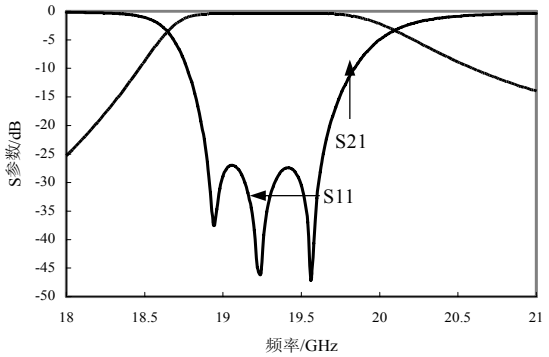


图 4 带通滤波器的 S 参数

从仿真结果可知，中心频率为 19.4 GHz；在 18.9 GHz 到 19.6 GHz 频率范围内，回波损耗均小于−26 dB；在 18.9 GHz 到 19.7 GHz 频率范围内，插损均小于 1dB。滤波器的计算结果与设计目标吻合良好。

3 结束语

将金属通孔加载到基片集成波导所设计的 K 波段带通滤波器，具有体积小、重量轻，易于加工和集成等优点。仿真结果说明了这种设计滤波器的方法是可行的，在实际应用中，要想得到更理想的结果，除了设计的精确以外，还要保证加工的精度。

参考文献：

[1] 盛振华. 电磁场微波技术与天线[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995:146-157.

[2] DESLANDES D, WU K. Integrated microstrip and retangular wave-guide in planar form[J]. IEEE Microwave Guided Wave Letters, 2001,11(2):68-70.

[3] WU K. Integration and interconnect techniques of planar and nonplanar structures for microwave and millimeter-wave circuits—Current status and future trend[C]//2001 Asia-Pacific Microwave Conf. Taipei, 2001:411-416.

[4] XU F, WU K. Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide[J]. IEEE Trans. On Microwave Theory and Technique, 2005,53(1):66-73.

[5] DESLANDES D, WU K. Accurate modeling, wave mechanisms, and design considerations of a substrate integrated waveguide[J]. IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 2006,54(6):2516-2526.

[6] CASSIVI Y, PERREGRINI L, ARCIONI P, et al. Dispersion characteristics of substrate integrated rectangular waveguide[J]. IEEE Trans. on Microwave and Wireless Components Letters, 2002,12(9):333-335.

[7] XU FENG, ZHANG YU-LIN, HONG WEI, et al. Finite-different frequency-domain algorithm for modeling guide-wave properties of substrate integrated waveguide[J]. IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 2003,51(11):2221-2226.

[8] XIAOPING CHEN, WEI HONG, TIEJUN CUI, et al. Substrate integrated waveguide linear phase filter[J]. IEEE Trans on Microwave and Wireless Components Letters, 2005,15(11):787-789.

[9] 陈飞, 袁学松, 刘盛纲. 基片集成波导带通滤波器的设计与实现[J]. 真空电子设计, 2008(6):27-29.

[10] 谌正艮, 吴先良, 丁让箭. 基于介质销钉的基片集成波导带通滤波器的设计[J]. 安徽建筑工业学院学报, 2007,15(1):59-61.

[11] 甘本祓. 现代微波滤波器的结构与设计[M]. 北京: 科学出版社, 1973.

Design of a K-Band Substrate Integrated Waveguide Bandpass Filter

LI Shang-sheng[1]，CHEN Jia-lin[1]，YU Jing[1]，DU Lei[2]，CHEN Ru-shan[2]

（1．Department of Electronic and Communication Engineering，NAAU，Yantai Shandong 264001，China；
2．Department of Communication Engineering，Nanjing University of Science and Technology，Nanjing 210094，China）

Abstract: Substrate integrated waveguide is a waveguide structure with low loss，low radiation and high quality factor. In this paper, a K-Band substrate integrated waveguide bandpass filter was designed. The filter was designed at the center frequency of 19.4GHz,the fractional bandpass width was 7.48%,and the insertion loss was less than 1dB.The filter has the advantage of small size, light weigh, be prone to be processed and be integrated.

Key words: substrate integrated waveguide (SIW); K-band; filter

（上接第 254 页）

Simulation on Terminal Weaving Maneuvering Penetration Effect for Anti-Ship Missiles

BI Lan-jin[1]，LI Yao-yang[2]，WU Zhi-dong[1]

（1．Department of Control Engineering，NAAU，Yantai Shandong 264001，China；
2．Military Representatives Office Navy in No.1 Institute of ASTG，Beijing 100076，China）

Abstract: Terminal weaving maneuver is one of effective penetration ways of anti-ship missile. Based on adjoint technique, simplified penetrating interception model was adopted. Miss distance of intercepting-missile caused by anti-ship missile's weaving maneuver was obtained. Then a study was made on the miss distance trendline for each impacting factors. This research provided theory reference for using anti-ship missile in combat and making decisions on terminal maneuvering penetration tactics.

Key words: anti-ship missile; terminal weaving maneuver; penetration effect