

文章编号: 0490-6756(2008)02-0327-04

新型紧凑电磁带隙结构在微波合路器中的应用

赵国华, 刘长军

(四川大学电子信息学院, 成都 610064)

摘要: 讨论了一种新型微带线电磁带隙(Electromagnetic Band-Gap, EBG)结构. 该结构具有良好的阻带特性和极小的通带波纹. 与通常的 EBG 结构相比, 该结构具有小型化和结构紧凑的特点. 应用该电磁带隙结构设计了一个微波合路器, 包括两个 EBG 结构带阻滤波器和一个 T 型分支线, 可以将两路频率不同的微波信号进行功率合成. 微波合路器计算仿真和实验测量结果吻合很好. 这种 EBG 结构在中小功率微波系统中具有良好的应用价值.

关键词: 微波技术; 微带; 带阻滤波器; 功率合成

中图分类号: TN803.5

文献标识码: A

Novel compact electromagnetic band-gap structure and its applications in a microwave combiner

ZHAO Guo-Hua, LIU Chang-Jun

(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: A novel compact electromagnetic band-gap (EBG) structure, which exhibits a remarkable stop-band characteristic with small pass-band ripples, is presented in this paper. Compared with normal EBG structures, this novel design is easy for miniaturization and integration. Moreover, a compact microwave combiner is designed with the EBG structure, which contains two bandstop filters and one “T” junction. The combiner can synthesize microwave powers of two signals at difference frequencies. The measured results of the combiner agree well with the simulated results. It demonstrates good performances and has potential applications in microwave systems.

Key words: microwave technology, microstrip, bandstop filter, power combine

1 引言

电磁带隙结构起源于光学领域, 可以追溯到 1987 年由 E. Yablonovitch 教授首次提出的光子晶体概念(PBG)^[1]. 在微波领域将类似光子晶体的结构称为电磁带隙结构. 它是一种周期性结构, 可以阻止一定频率的微波在某些方向上的传播, 呈现良好的带阻特性^[2]. 电磁带隙结构具有独特的选频特性, 且结构简单易于实现, 可以用于微波滤波器

设计^[3,4]、微带天线表面波抑制^[5]、天线辐射性能改进^[5]、功率放大器输出高次谐波抑制等方面^[6].

目前, 报道的电磁带隙结构包括: 接地板周期打孔^[5-7]、介质基板周期打孔^[5-7]、周期性间隔在微带线上加载微带单元^[4]及周期排列的金属阵列^[8]等. 接地板打孔带来了封装问题, 打孔接地板必须远离金属面以保证开孔起作用, 且开孔处存在电磁辐射故能量损耗较大; 介质基板打孔制造工艺复杂; 周期间隔加载微带单元克服了上述缺陷并容

收稿日期: 2007-04-09; 修回日期: 2007-06-11

基金项目: 国家自然科学基金(60301004)

作者简介: 赵国华(1982—), 男, 在读硕士研究生, 从事射频电路方面的研究. E-mail: guohuascu@163.com

易与系统整合。

文中采用一维周期间隔加载微带单元的方法,设计了新型“山”字形微带单元加载的 EBG 结构,并分析了插入损耗及通带波纹与“山”字型单元的关系,此结构克服了一般 EBG 结构滤波器在低频段带阻性能下降的缺点,结构也更加紧凑。设计了工作于 915 MHz 和 2500 MHz 的两个 EBG 带阻滤波器,二者组合改进后的微波合路器实验测量结果很好。传统的微波合路器采用带通滤波电路实现,无论使用发卡微带线结构或者平行耦合微带线结构,都有较高的插入损耗并且体积较大^[7]。当微波功率提高时,插入损耗还会导致介质板温度不断升高。本文使用 EBG 结构构造带阻滤波微带电路,实现接近于零的滤波器插入损耗,构造的微波功率合路器具有较宽的功率和频率适用范围。

2 新型微带 EBG 结构的设计

由于电磁带隙结构源于光子晶体理论,一般近似采用光学的 Bragg 反射条件来分析^[9]

$$\beta \times t = \pi$$

其中 $\beta = \frac{\pi}{\lambda_g}$ 为电磁波的传播常数, t 为周期结构的间隔周期, λ_g 为和 EBG 结构阻带中心频率 f_0 对应的导波波长。通常满足条件 $t = \frac{\lambda_g}{2}$, 即 EBG 结构的周期近似为阻带导波波长的一半。图 1 是微带线加载旁路单元实现的 EBG 结构。周期加载单元起着谐振电路特性,等效于微带线上的集总电抗。通常 EBG 结构的等效模型如图 2 所示。

图 1(a)~(e)为一些工作频率相同的 EBG 结构,(f)是在它们的基础上演化改进后提出的新型 EBG 结构。图 1(a)是矩形贴片加载,贴片面积越大,阻带越深,阻带宽度越大,插入损耗也会越大。图 1(b)是渐变 EBG 结构,单元渐变尺寸比例是根据切比雪夫函数得到^[10]。此结构可以减小通带插损。图 1(c)~(e)中的“三角形”、“倒三角”、“T”字形贴片加载 EBG 结构是(a)中结构的演化。

图 1(f)中的新型 EBG 结构可获得最小的插入损耗,尺寸也有很大减小。前面几种 EBG 结构设计的带阻滤波器,高频段可以得到良好的阻带特性,但是当频率降到 2 GHz 以下时,性能就出现恶化,在阻带内呈现杂乱的频响特性,而(f)结构很好的克服了以上问题。并且此结构能提高有效传播常数 β_{eff} ,使导波波长减小。 β_{eff} 具体数值由等效电抗决

定,与加载单元的具体形状和尺寸有关,本文通过数值计算获得。因此本文采用此 EBG 结构设计了微波功率合路器。

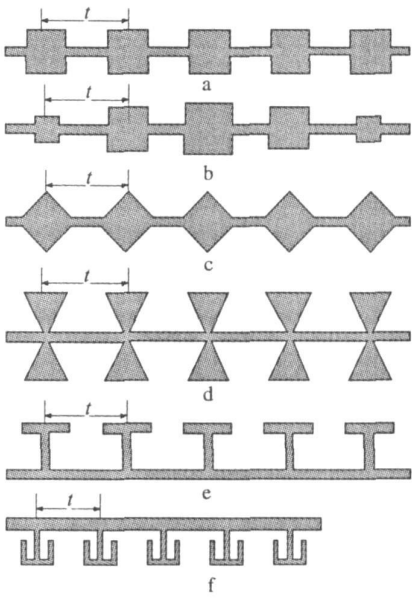


图 1 微带单元加载 EBG 结构
Fig. 1 EBG structure with loaded cells

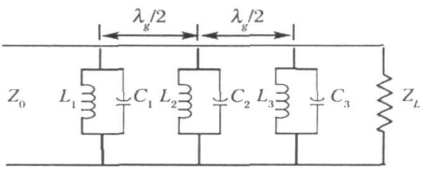


图 2 EBG 结构的等效电路
Fig. 2 Equivalent circuit model of EBG structure

3 EBG 带阻滤波器的设计

本文中采用相对介电常数为 2.65 的介质基板,介质厚度为 1.5 mm。采用基于矩量法的软件进行仿真分析^[11]。测量仪器采用安捷伦 E8362B 微波矢量网络分析仪。使用图 1(f)的结构,首先设计阻带中心频率为 2500 MHz 的带阻滤波器,加载周期 t 和单元尺寸取决于中心频率。散射参数 S_{21} 如图 3(a)中所示。当减少加载单元,阻带深度和宽度变小,波纹变平滑,插损变小;当 t 固定而修改加载单元线长 L_{s1} 、 L_{s2} 、 L_{s3} ,可以调整中心频点;当减小加载单元线宽 W_1 ,可以改进插损和波纹。

类似地设计了 915 MHz 的带阻滤波器,仿真结果如图 3(b)所示。采用本文提出的“山”字形加载结构设计的带阻滤波器具有良好的频率特性,为

微波功率合路器设计奠定了基础.

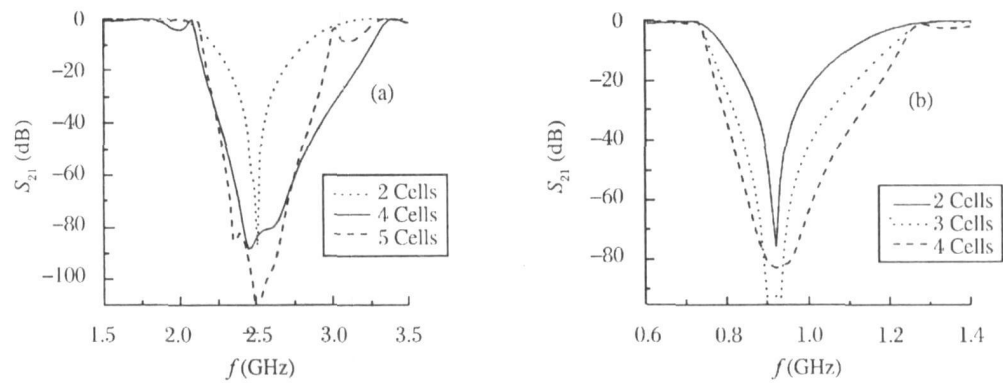


图 3 EBG 带阻滤波器散射参数的仿真结果
Fig. 3 Simulated S parameters of EBG band-stop filter

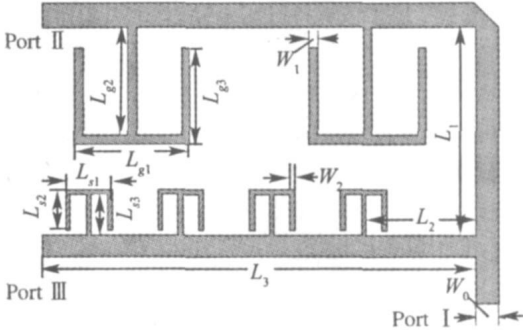
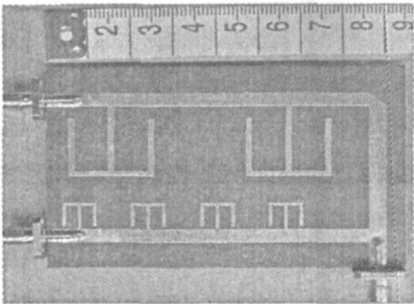
4 微波功率合路器的设计

选取同样的介质基板材料,采用工作于 915 MHz 和 2500 MHz 的两个带阻滤波器来设计微波合路器,如图 4(a)和(b)所示. 915 MHz 带阻滤波器采用两个加载单元,2500 MHz 带阻滤波器采用四个加载单元. 当 915 MHz 和 2500 MHz 的微波信号分别从端口Ⅲ和端口Ⅱ输入,在端口Ⅰ可以得到两个频率微波信号的合成. 两个带阻滤波器输出端到 T 型接头的距离是设计中的一个关键,必须分别保证 2500 MHz 和 915 MHz 带阻滤波器分支在 T 型结点处对相应频率的微波呈现开路. 在 2500 MHz 时,端口Ⅲ所在的滤波器分支对于端口Ⅱ和端口Ⅰ是隔离的,合路器呈现从端口Ⅱ到端口Ⅰ的两端口互易网络特性;同样对于 915 MHz,端口Ⅱ所在的滤波器分支对于端口Ⅰ和端口Ⅲ隔离,合路器呈现从端口Ⅲ到端口Ⅰ的两端口互易网络特性. 本文通过电磁仿真精确设计了它们的距离,当图 4(b)中 $L_1=36.8\text{ mm}$, $L_2=19.2\text{ mm}$ 时,可

使两个输入端口隔离最好. 其他尺寸为: $L_3=76.5\text{ mm}$, $L_{g1}=20\text{ mm}$, $L_{g2}=17.2\text{ mm}$, $L_{g3}=19.5\text{ mm}$, $L_{s1}=8\text{ mm}$, $L_{s2}=7\text{ mm}$, $L_{s3}=7\text{ mm}$, $W_0=4\text{ mm}$, $W_1=1.4\text{ mm}$, $W_2=0.8\text{ mm}$. 电路面积仅为 $80\times52\text{ mm}^2$,仅相当于单个 3 阶 2500 MHz 平行耦合微带线滤波器尺寸的 80%.

图 4(c) 为合路器在 2500 MHz 处传输特性 S_{21} 的仿真与实测结果,端口Ⅱ到端口Ⅰ插损实测为 0.107 dB,0.5 dB 插损带宽为 22%. 图 4(d) 为 915 MHz 传输特性 S_{31} 仿真与实测结果,插损实测为 0.043 dB,0.5 dB 插损带宽 24%. 图 4(e) 为各端口回波损耗实测结果,915 MHz 频带内,端口Ⅲ的回波损耗大于 16 dB;2500 MHz 频带内,端口Ⅱ的回波损耗大于 14 dB,端口Ⅰ在两个频带内的回波损耗均大于 17 dB. 图 4(f) 为端口Ⅱ和端口Ⅲ间的隔离度,实测结果在两个频带内均大于 45 dB.

仿真和实测结果吻合很好,两个阻带处频率微小偏移主要是由于加工误差及微带引入的附加损耗. 功率合路器总体表现出了优良的频率特性.



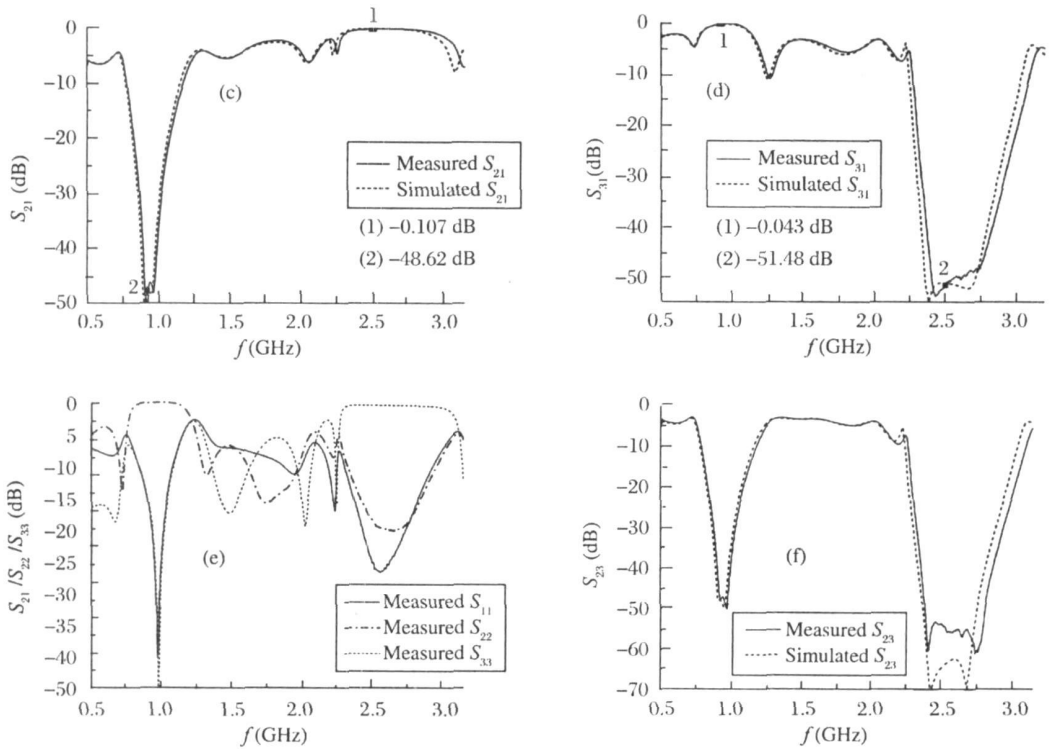


图 4 合路器的结构图以及仿真和测试结果
Fig.4 Picture of combiner and Comparison of measured and simulated S parameters

5 结 语

我们介绍了一种新型电磁带隙结构,通过周期性间隔地加载“山”字形微带单元实现.此 EBG 结构避免在接地板或介质上打孔,且很大地缩小了电路板面积,容易与系统进行整合.采用该 EBG 结构设计带阻滤波器不仅高频段性能优良,在低至 L 波段也具有良好特性.此结构成功应用于由两个带阻滤波器构成的微波功率合路器中,以较小的电路面积获得优良的频率特性,具有接近于零的插入损耗.该 EBG 结构在中小功率微波合成系统中具有良好应用前景.

参考文献:

[1] Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics [J]. Phys Rev Lett, 1987, 58(20): 2059.
[2] Shawn Y L, Chow E, Hietala V, et al. Experimental demonstration of guiding and bending of electromagnetic waves in a photonic crystal [J]. Science, 1998, 282: 274.
[3] 刘长军, 徐兰, 赵翔. 一种分层介质低通滤波器的设计 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 已录用.

[4] Hossein M, Kamal S. A compact wide-band EBG structure utilizing embedded resonant circuits [J]. IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2005, 4(1): 5.
[5] Rahman M, Stuchly M A. Modelling and application of 2D photonic band gap structures [J]. Aerospace Conf IEEE Proceedings, 2001, 2(3): 893.
[6] Radisic V, Qian Y, Coccioli R, et al. Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines [J]. IEEE Microw Guid Wave Lett, 1998, 8(2): 69.
[7] 刘长军, 黄卡玛, 闫丽萍. 射频通信电路设计[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
[8] 许小玲, 刘长军, 钟淑蓉, 等. 一种二维金属 EBG 结构传输特性的研究[J]. 信息与电子工程, 2006, 4(2): 126.
[9] Falcone F, Lopetegi T, Sorolla M. 1-D and 2-D photonic bandgap microstrip structures [J]. Microwave Opt Technol Lett, 1999, 22(6): 411.
[10] Huang S Y, Lee Y H. Compact U-shaped dual planar EBG microstrip low-pass filter [J]. IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(12): 3802.
[11] 刘长军, 徐兰, 闫丽萍, 等. 一种波导同轴转换器特性的数值模拟[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2006, 43(5): 1027.