

文章编号:1001-9014(2006)05-0393-04

一种新型毫米波微带均衡器的设计与实现

张毅, 牛忠霞, 周东方, 任修坤

(解放军信息工程大学信息工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:分析了平面回音壁模介质谐振器的特点及其与微带线耦合产生均衡的原理,并在此基础上给出了一种新型的毫米波均衡器子结构.仿真分析证明,这种结构具有良好的Q值和耦合度可调性.最后,用此子结构级联设计出新型毫米波均衡器,并且呈现良好的特性.

关键词:微波均衡器;介质谐振器;耦合;回音壁模

中图分类号:TN929 **文献标识码:**A

DESIGN AND REALIZATION OF A NOVEL MILLIMETER WAVE MICROSTRIP EQUALIZER

ZHANG Yi, NIU Zhong-Xia, ZHOU Dong-Fang, REN Xiu-Kun

(Institute of Information Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A novel substructure of millimeter wave equalizer was designed which was based on the analysis of the characteristic of the planar whispering-gallery modes dielectric resonator and the basis equalizing theory when it coupled with the microstrip line. The simulation shows that the quality factor and the coupling can be easily tuned by changing the parameters of the substructure. At last, a novel millimeter wave equalizer was fabricated by cascading this substructure. And it displays good performance.

Key words: microwave equalizer; dielectric resonators; coupling; whispering-gallery modes

引言

微波幅度均衡器是将微波放大器件的输出功率调整到微波管要求功率电平的微波器件^[1].目前有文献报道的微波均衡器的工作频带大多在微波低频段,例如文献[2]报道了工作于C波段的多同轴谐振腔并联于同轴传输线结构的均衡器.文献[3]中报道了宽带(8~18GHz)微带谐振器并联于微带的均衡器.然而,在毫米波段,由于谐振器工作波长很小,因此均衡器对结构尺寸的要求很高,例如我们在采用探针耦合同轴谐振腔时发现,探针耦合的同时也存在孔耦合,使得在工作频带内出现了由两种耦合方式引起的两个谐振频率,这给调试带来了很大的不确定性^[4].同时,在毫米波段,工作于TE、TM或混合模式的低模式介质谐振器,由于其辐射和材料损耗很大,使得Q值大大降低,其尺寸也变得极

小,使得毫米波均衡器实现起来较为困难.

本文针对上述问题对平面回音壁模介质谐振器进行了研究,首次在毫米波均衡器中成功的引入了平面回音壁模介质谐振器^[5,6].文中第二部分分析了均衡器设计原理并重点分析了谐振器与主传输线之间的耦合.研究表明:这种平面回音壁模介质谐振器特别适用于毫米波均衡器,它除了可获得较高的Q值和结构尺寸比较大易加工外,还具有其它独特的优点,如具有良好的寄生模抑制,辐射损耗比低模小等.最后本文还给出了一个毫米波均衡器的设计实例,并取得了符合设计要求的频率曲线.

1 平面回音壁模介质谐振器

早期的回音壁模介质谐振器是两端小中间大的介质柱构成的^[6](如图1(a)所示),它虽然能成功的激励起回音壁模介质谐振器,但是由于它在均衡

收稿日期:2005-12-28,修回日期:2006-06-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(656071031)

作者简介:张毅(1980-),男,安徽桐城人,解放军信息工程大学电磁场与微波技术专业硕士研究生,目前主要从事微波网络互联与均衡技术方向的研究.

Received date: 2005-12-28, revised date: 2006-06-18

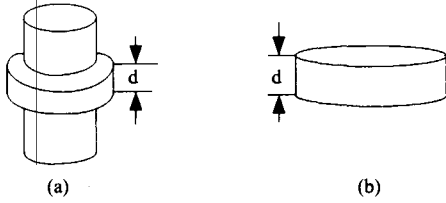


图1 回音壁模谐振器 (a)圆柱型 (b)平面型
Fig. 1 The whispering-gallery modes dielectric resonator (a) the cylinder shape (b) the planar shape

器中不便于和微带线之间的耦合. 因此,人们提出了一种新型的平面结构的回音壁模介质谐振器(图1(b)),它特别适用于与平面电路的耦合^[5].

回音壁模的特性不同于TE、TM或混合模式,它是沿介质边界的内侧进行传播,大部分能量集中在边界和焦散面之间,在边界外和焦散面内场是衰减的(图2所示).回音壁模沿轴向的传输很小.

回音壁模按场结构特征可以分为 WGE_{nmi} 和 WGH_{nmi} ,其中 WGE_{nmi} 模的电场主要为径向, WGH_{nmi} 模的磁场主要为径向.下标 n 为角向模数,因为回音壁模为高次角向模,因此 n 为较大的整数. m 为径向模数, $m=0$ 为基模, $m \neq 0$ 时统称为寄生模式, i 为轴向模数, $i=0$ 为基模, $i \neq 0$ 而时为寄生模.

2 基本原理

微波幅度均衡器有电调衰减式和微波网络式两种.其中微波均衡网络式微带均衡器和带阻滤波器有着相似之处,是由多个谐振子结构级联而构成的,以构成较为复杂的目标衰减曲线.均衡器的每一段子结构在某子频带上产生一定的衰减幅度,即它具有一定的带阻特性^[5].下面说明回音壁模介质谐振器和微带耦合能够实现带阻的基本原理.

图3为平面回音壁模介质谐振器和微带线之间的耦合示意图.谐振器放在微带线的介质基片上,激励是通过磁环进行的.这种情况下产生的模式显然是 WGE_{nmi} .由上面的描述可知,回音壁模可以看成

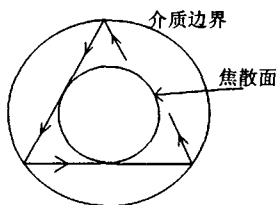


图2 平面回音壁模传输
Fig. 2 The transmission of the the planar whispering-gallery modes

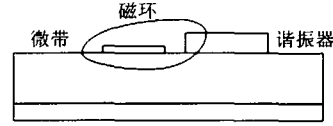


图3 微带和回音壁模介质谐振器耦合
Fig. 3 The coupling of the microstrip and the whispering-gallery modes dielectric resonator

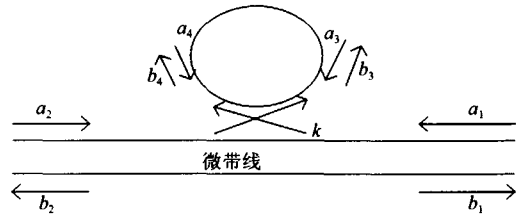


图4 微带和谐振器耦合信号流图
Fig. 4 The coupling signal flowing chart of the microstrip and the resonator

沿介质内壁和焦散面之间传播的行波,因此它可以由微带线来激励.图4中所示的为信号流图,设谐振器和微带线之间的耦合系数为 k .因此我们可以得到该模型的散射矩阵为

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & \sqrt{1-k^2} & 0 & jk \\ \sqrt{1-k^2} & 0 & jk & 0 \\ 0 & jk & 0 & \sqrt{1-k^2} \\ jk & 0 & \sqrt{1-k^2} & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$[b] = [S][a], \quad (2)$$

$$\text{其中 } [b] = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix}, [a] = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}$$

式中 a_i, b_i 分别是耦合面的归一化入射波和反射波振幅.设 α, φ 为等效行波环的总衰减和总相移,则有

$$\begin{aligned} a_3 &= b_4 \exp -(\alpha + j\varphi) \\ a_4 &= b_3 \exp -(\alpha + j\varphi) \end{aligned}, \quad (3)$$

当端口1作为输入端和源相接,端口2和匹配负载相接且都匹配时,有

$$\begin{aligned} b_1 &= 0 \quad b_2 = \frac{\sqrt{1-k^2} - e^{-(\alpha + j\varphi)}}{1 - \sqrt{1-k^2} e^{-(\alpha + j\varphi)}} \cdot a_1 \\ b_3 &= 0 \quad b_4 = \frac{jk}{1 - \sqrt{1-k^2} e^{-(\alpha + j\varphi)}} \cdot a_1 \end{aligned}, \quad (4)$$

由上式可以看出当 $\varphi = 2n\pi$ 时发生谐振,选择合适的 k 使得

$$\sqrt{1-k^2} = e^{-\alpha}, \quad (5)$$

此时 b_4 为极大值, $b_2 = 0$ 为极小值. 因此, 我们可以通过调节耦合系数 k 来调整谐振器吸收的功率, 在端口 2 就可以得到所需的衰减幅度.

3 均衡器子结构电路设计与实现

对均衡器而言, 最重要的指标是谐振频率、 Q 值和衰减幅度是否能够方便地改变. 为此, 我们根据以上的分析设计了微带型平面回音壁模谐振器的均衡器子结构电路. 微带线介质基片的选定为 Duroid5880, 相对介电常数为 $\epsilon_r = 2.22$, 厚度为 0.254mm , 导带为光刻镀银条, 宽度为 0.76mm (特性阻抗为 50Ω). 为了得到平面回音壁模谐振器的谐振频率, 我们利用电磁场高频仿真软件 CST 仿真了几种不同的介电常数的谐振器材料, 且考虑了在不同的半径以及与导带之间不同距离的情况下 S_{21} 的曲线. 如下图(5)、(6)、(7)所示.

图 5 为平面回音壁模介质谐振器的半径不同时的 S_{21} 的曲线图. 回音壁模介质谐振器的相对介电常数为 9.6 , 厚度均为 1.5mm , 谐振器的离导带的距离均为 0.5mm . 由图可以看出当半径减小时, 谐振器的谐振频率升高, 衰减幅度减小. 同时当半径减小时模式纯度降低. 图 6 显示的是不同的介电常数对曲线的影响. 当介电常数减小时谐振频率也增大, 但同时模式纯度降低. 从图 7 可以看出, 耦合距离对谐振频率没有影响, 只对 Q 值和衰减幅度有影响. 且从仿真分析中看出, 平面回音壁模介质谐振器的厚度对以上参量几乎没有影响, 为节省篇幅仿真图不再给出.

4 设计实例

根据以上论述, 利用子结构级联的思想, 我们设计了一个回音壁模介质谐振器的 Ka 波段微带均衡器. 它是由 8 个回音壁模介质谐振器分别对称分布

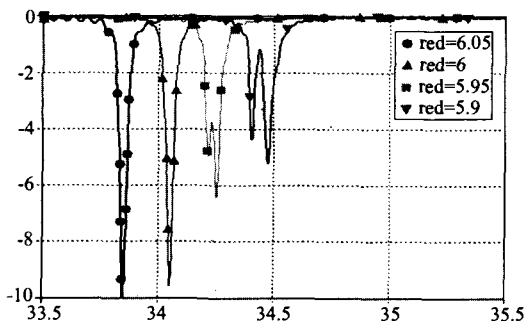


图 5 半径不同时的曲线图

Fig. 5 S_{21} curve when the radius is different

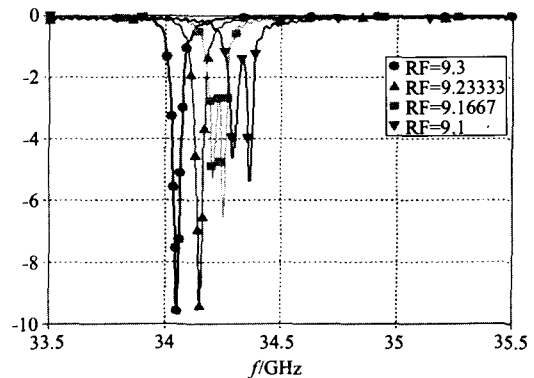


图 6 介电常数不同时的曲线图

Fig. 6 S_{21} curve when the dielectric capacity is different

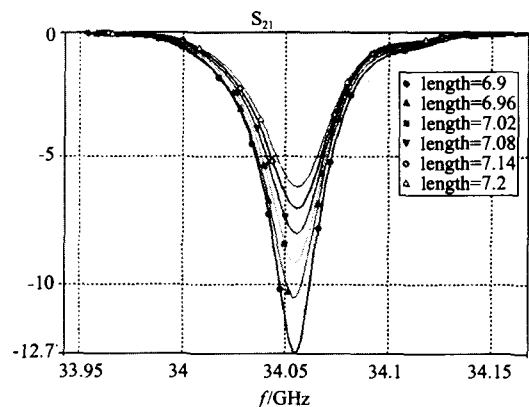


图 7 耦合距离不同时的曲线图

Fig. 7 S_{21} curve when the coupling distance is different

在导带的两侧构成的, 同侧两个相邻的谐振器之间的距离相距为 14mm . 谐振器的半径和材料的选择根据谐振频率的要求来选择. 图 8 给出了实际要求曲线和测试曲线的比较 ($\Delta f = 1\text{GHz}$). 由图可以看出, 它们具有良好的一致性.

应该指出, 均衡器制作好后, 由于各种因素 (如加工等), 会使得频率曲线的要求并不满足要求, 这时我们可以在回音壁模介质谐振器的上方加上微调螺钉或衰减棒来进行微调以达到要求.

5 结论

本文对回音壁模介质谐振器进行了研究, 讨论了它用于毫米波均衡器中的优点. 仿真实验证明, 通过调节谐振器的半径、耦合距离和选择不同介电常数的谐振器材料可以改变谐振频率、 Q 值和衰减幅度. 利用该形式的回音壁模介质谐振器对具体的频

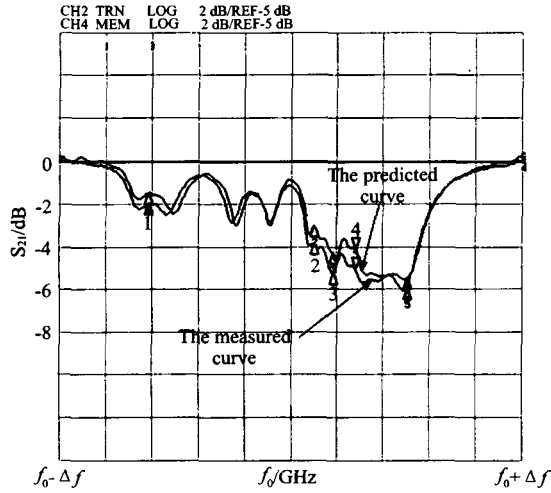


图8 测试曲线和实际要求曲线比较

Fig. 8 The comparison between the predicted and the measured curves

率要求设计制作了一个毫米波均衡器,得到了较好的频率曲线.实验结果证明,即使在毫米波段该谐振器仍具有较高的 Q 值和模式纯度,同时尺寸也可以满足要求,因此它为毫米波均衡器设计提供了一种新的途径.

致谢 作者衷心感谢张德伟博士在制作微带电路方面给予的帮助,感谢孙广祥教授在理论上提供的指导.

REFERENCES

- [1] Barbara R G. Coaxial resonators precisely adjust equalization curves [J]. *Microwave & RF*, 1988, 5:184—192.
- [2] Sathir V. Broadband MIC equalizers TWTA output response [J]. *Microwave & RF*, 1993, 10:102—105.
- [3] LU Xin. The study, the design and the realization of the millimeter-wave equalizer with the coaxial resonators [D]. *PLA Information Engineering University* (卢欣. 同轴谐振腔毫米波均衡器的理论研究、设计和实现. 解放军信息工程大学), 2005.
- [4] Xiao Hu Jia, Pierre Guillon, Luis A Bermudez, et al. Whispering-gallery modes of dielectric structures. Applications to millimeter-wave bandstop filter [J]. *IEEE Trans, MTT-35*, 1987, 12:1169—1175.
- [5] SATO Yosuke, KOGAMI Yoshinori, MATSUMURA Kazuhito. An analysis of coupled whispering gallery mode resonator and its application to millimeter wave filter [C]. 14th Int. Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, 2002:620—623.
- [6] Cros D, Tronche C, Guillon P, et al. W band whispering gallery dielectric resonator mode oscillator [J]. *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, 1991, 6:929—932.
- [7] LIU Hai-Wen, LI Zheng-Fan, SUN Xiao-Wei, et al. Novel butterfly shape defected ground structure for microstripline [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (刘海文, 李征帆, 孙晓玮, 等. 一种新颖的蝴蝶结形缺陷接地结构微带线. *红外与毫米波学报*), 2004, 23(6):431—435.
- [8] WANG Huan-Qing, LV Ming-Yun, WU Zhe. Experimental on the influence of dielectric loading on transmission properties of frequency selective surfaces [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (王焕青, 吕明云, 武哲. 介质加载对频率选择表面传输特性影响的实验研究. *红外与毫米波学报*), 2005, 24(1):27—30.