

文章编号:1001-9014(2006)05-0368-04

新型的平面双模椭圆函数带通滤波器

李素萍, 王子华, 李英, 李淑娟

(上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072)

摘要:根据传统的方形贴片双模滤波器,提出了一种新颖的带有两个切角的平面双模带通滤波器结构.该结构使用单个贴片谐振器并且没有耦合缝隙,通带两端各有一个衰减极点,有效减小了滤波器的辐射损耗.对该滤波器结构进行改进,又提出了一种带有两个相互正交、长度不等槽线的双模椭圆函数带通滤波器结构.该滤波器在中心频率1.8GHz处,回波损耗达到31.53dB,通带内最小插损达到0.01dB,3dB相对带宽为19.44%.采用Ansoft公司的Ensemble 8.0仿真软件进行的仿真研究.仿真结果表明该结构可以更加有效地减小辐射损耗,增加带宽,且体积比传统滤波器减小了约40%,有利于小型化.

关键词:贴片谐振器;双模滤波器;辐射损耗;衰减极点

中图分类号: TN713 **文献标识码:** A

NOVEL BANDPASS FILTERS OF PLANAR DUAL-MODE ELLIPTIC-FUNCTION

LI Su-Ping, WANG Zi-Hua, LI Ying, LI Shu-Juan

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: A novel planar dual-mode bandpass filter with double-corner cuts was proposed on the basis of traditional square patch dual-mode filter. The proposed structure has single patch resonator without coupling gaps, and two attenuation poles can be implemented on both sides of passband. The filter can also provide a low loss. An improved novel dual-mode elliptic-function passband filter with a pair of unequal crossed slots was also proposed. The return loss of this filter is 31.53dB at the center frequency of 1.8GHz, and the minimum insertion loss in passband is 0.01dB, and the 3dB relative bandwidth is 19.44%. The results show that this filter can reduce loss effectively, and its size is reduced about 40% compared with the traditional filter. It makes miniaturization easy. The bandwidth is also greatly increased. The proposed filters are simulated by Ansoft Ensemble 8.0 software.

Key words: patch resonator; dual-mode filter; radiation loss; attenuation pole

引言

微带线^[1,2]是微波集成电路中应用最广泛的传输线,微带贴片谐振器由于其易于设计、容易加工制作、造价低、可以大批量生产等优点而在实际中被广泛地用来设计天线^[3]和滤波器^[4,5].

双模是圆环的一个特性,第一次是 Wolff^[6]在70年代初用来设计和制作带通滤波器.后来有些研究工作是利用薄膜技术制作双模贴片滤波器^[7],这些滤波器电导损失小,品质因数高,带通滤波器的带宽窄.然而,这些滤波器一般需要两个贴片谐振器,

两个耦合传输线,都是采用具有两个缝隙的边和边耦合的方式.这样的滤波器体积比较大,不利于小型化,性能上插入损耗也不太理想.近年来,不少学者对低成本、高性能的双模带通滤波器越来越感兴趣,提出了在单个微带贴片谐振器上挖出两条对称的相互正交的槽线而构成贴片双模滤波器^[4].这种滤波器虽然体积可以减小,但是仍然有两个耦合缝隙存在.之后,又提出一种没有耦合缝隙的双模椭圆函数带通滤波器^[8].这种滤波器两个输入输出馈线深入到了贴片谐振器的内部,直接和贴片连接,采取的是直接耦合的方式,而不是原来的缝隙耦合.该结构使

收稿日期:2005-12-10,修回日期:2006-06-30

Received date: 2005-12-10, revised date: 2006-06-30

基金项目:上海市重点学科建设项目资助(T0102).

作者简介:李素萍(1978-),女,河南睢县人,上海大学通信学院,硕士,主要从事射频电路、微波滤波器等方面的研究.

滤波器的辐射损耗有了某些改善,但仍然不是十分理想。

为了满足现代通信系统对滤波器小型化、高性能化的要求,本文设计出两种结构简单新颖、性能优良的方形贴片双模椭圆函数滤波器。这两种结构均使用单个贴片谐振器,没有耦合缝隙,结构简单,易于设计,使辐射损耗明显降低,且第二种还可以有效减小滤波器的体积,更有利于小型化。

1 带有两个切角的双模带通滤波器

在微波电路中,双模一般是由不对称的馈线、开槽、或销钉等微扰激励起的两个简并模。利用双模间的耦合可以制作带通滤波器。与传统的单模滤波器相比,双模滤波器具有损耗低、体积小、椭圆函数响应、重量轻等诸多优点。

在文献[8]提出的滤波器结构的基础上,在方形贴片谐振器的一条对角线上切掉两个小的方形切角,就得到了一种新型的平面双模椭圆函数带通滤波器,如图1所示。该结构是由一个带有两个切角的方形贴片、输入馈线(port1)和输出馈线(port2)组成,结构非常简单。这种双模滤波器的损耗主要来自两个方面:一方面是由于导体带条窄而引起的导体损耗;另一方面是由于贴片谐振器开路而引起的辐射损耗。在该结构中,输入输出馈线通过两个开槽与贴片谐振器连接,深入到了贴片谐振器的内部,采取的是直接耦合的方式,而不是缝隙耦合,减小了辐射损耗,提高了制作过程的精确度。插入馈线的深度影

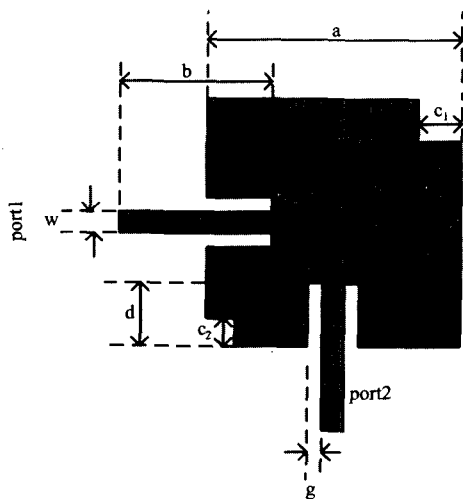


图1 带有两个切角的方形贴片带通滤波器结构的俯视图

Fig. 1 Top view of the designed square patch bandpass filter with double-corner cuts.

响滤波器的输入阻抗,馈线两边的槽可以近似看作小的电容,馈线两边槽的尺寸变化会轻微地影响中心频率。方形切角充当了微扰源,能够激励起简并模并使它们耦合。即输入馈线的入射波通过方形切角激起的简并模与另一模发生电磁耦合,从而在输出端产生较理想的传输响应,通带两侧产生两个较大的衰减极点。简并模之间的耦合强弱一般依赖于微扰的物理尺寸,耦合越强,带通滤波器的带宽越窄,带内插入损耗越大。所以一般都是采用弱耦合以降低滤波器的插入损耗。

图1中介质基片的厚度为1.27mm,采用相对介电常数 $\epsilon_r = 10.2$ 的RT/Duroid。方形贴片谐振器的尺寸为 $a = 17.395\text{mm}$ 。为了匹配,选取馈线的特性阻抗为 50Ω ,宽度 $w = 1.191\text{mm}$,长度 $b = 10.5\text{mm}$;开槽的尺寸为 $d = 4.5\text{mm}$, $g = 1\text{mm}$;两个方形切角的尺寸分别为 $c_1 = 3\text{mm}$, $c_2 = 2\text{mm}$ 。

应用美国著名的Ansoft公司的全波电磁场仿真软件Ensemble 8.0对其进行了仿真并优化。图2给出了该滤波器的S参数的频率响应的仿真结果,其中 S_{11} 是反射系数, S_{21} 是传输系数。从图中可以看出该滤波器中心频率为2.34GHz,通带内最小插入损耗为0.35dB,最大回波损耗为23.9dB,滤波器的3dB带宽为0.15GHz,相对带宽6.4%。在2.31~2.41GHz之间回波损耗大于10dB,在2.33~2.39GHz之间回波损耗大于20dB,在2.31~2.41GHz之间插入损耗小于1dB。简并模之间的耦合使通带两侧的带外衰减都很理想,通带两侧各有一个衰减极点,在2.13GHz处衰减为56.27dB,在2.6GHz处衰减为45.09dB,两个衰减极点都离通带很近。仿真结果表明该结构和文献[8]结构相比,在相同体积的情况下,减小了辐射损耗,同时通带两侧的衰减也变得更好。

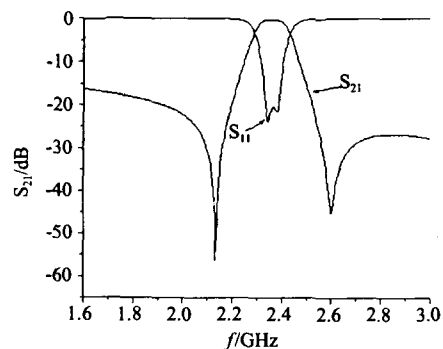


图2 带有两个切角的方形贴片带通滤波器的频率响应

Fig. 2 Simulated frequency response of the square patch bandpass filter with double-corner cuts.

2 带有相互正交槽线的双模椭圆函数带通滤波器

为了进一步提高滤波器的性能,并有利于小型化,在上面提出的滤波器结构的基础上,在贴片谐振器上挖两条相互正交但长度不等的窄槽线,又得到了一种新型的双模椭圆函数带通滤波器结构,如图3所示.相互正交的槽线起到了加载电感的作用,槽线充当微扰源,激起简并模,它们之间的交叉耦合产生良好的衰减极点,并且谐振频率明显降低,于是减小了滤波器的体积;研究表明槽线的存在也使辐射损耗和插入损耗明显降低,使滤波器的性能得到很大的提高,为设计低损耗的双模滤波器提供了一种有效的方法.

图3中两条相互正交、长度不等的槽线长度分别为 $l_1 = 17\text{mm}$, $l_2 = 12\text{mm}$, 宽度 $e = 0.4\text{mm}$, 其它参数和图1相同.

图4是该滤波器的频率响应曲线.从图中可以看出该滤波器的中心频率为 1.8GHz .在 1.8GHz 处回波损耗为 31.53dB , 通带内最小插入损耗达到 0.01dB , 3dB 带宽为 0.35GHz , 相对带宽 19.44% .通带两侧各有一个衰减极点,其坐标分别为 $(1.33\text{GHz}, 63.92\text{dB})$ 和 $(2.09\text{GHz}, 49.76\text{dB})$.在 $1.75 \sim 1.84\text{GHz}$ 之间回波损耗大于 30dB , 在 $1.72 \sim 1.87\text{GHz}$ 之间插入损耗小于 0.1dB , 该结构和文献[8]的结构相比,在谐振器边长保持不变时谐振频率由 2.34GHz 降到 1.8GHz , 即在频率不变时滤波

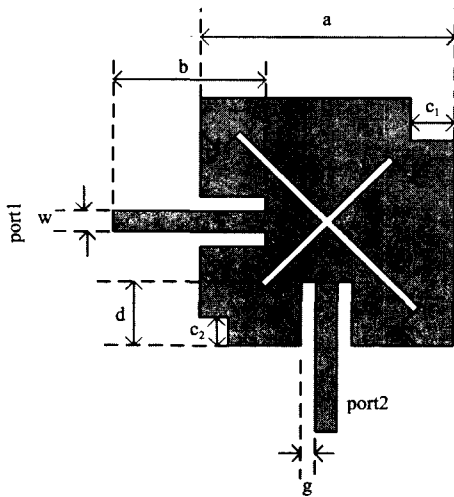


图3 带有相互正交槽线的双模带通滤波器结构的俯视图
Fig. 3 Top view of the designed dual-mode bandpass filter with a pair of crossed slots

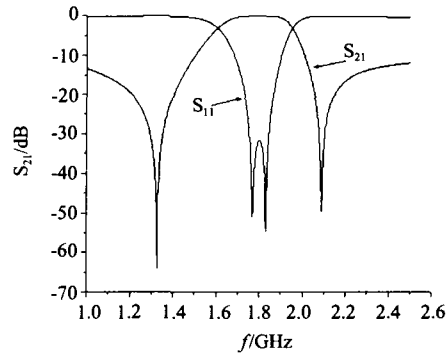


图4 带有相互正交槽线的双模带通滤波器的频率响应
Fig. 4 Simulated frequency response of the dual-mode bandpass filter with a pair of crossed slots

器的体积减小了 40% 左右,有利于小型化;插入损耗也显著降低,同时增加了滤波器的相对带宽.

滤波器结构参数的变化将会对滤波器的性能产生影响.图5是滤波器其它参数不变的情况下,相互正交槽线的宽度变化时,双模带通滤波器的频率响应.从图中可以看出,当槽线宽度 e 变化时,对滤波器通带内的回波损耗影响较大,对中心频率略有影响,而对滤波器的其他指标影响很小.随着槽线宽度的增加,通带内回波损耗增大,滤波器的中心频率降低,通带两侧的衰减极点略微向左移动,衰减极点的大小、带外衰减以及带宽几乎不变.

图6是两条两相互正交的槽线长度的差值变化时,滤波器的频率响应,其中两槽线长度的差值为 $\Delta l = l_1 - l_2$.从图中可以看出,当 Δl 变化时,对通带左侧的衰减极点、插入损耗、回波损耗等几乎没有影响.随着 Δl 的增大,通带右侧的衰减极点向右移动,中心频率升高,通带内回波损耗增大,带宽增加.

图7表示的是介电常数 ϵ_r 变化时滤波器 S 参

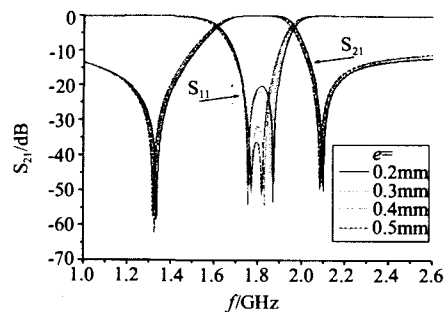


图5 e 变化时双模带通滤波器的频率响应
Fig. 5 Simulated frequency response of the dual-mode bandpass filter for different values of e .

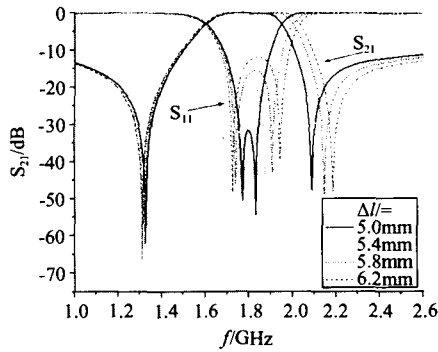


图6 Δl 变化时双模带通滤波器的频率响应
Fig. 6 Simulated frequency response of the dual-mode bandpass filter for different values of Δl .

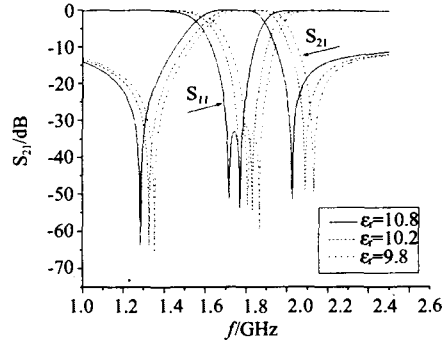


图7 ϵ_r 变化时双模带通滤波器的频率响应
Fig. 7 Simulated frequency response of the dual-mode bandpass filter for different values of ϵ_r .

数的频率响应. 从图中可以看出: 当基片的介电常数变化时, 滤波器的频率响应曲线形状变化很小, 只是整体移动. 也就是介电常数只对滤波器的中心频率有影响, 随着介电常数的减小, 滤波器的中心频率升高. 由图7所得出的结论与文献[5]完全一致. 从而可以进一步证明本文计算结果的正确性.

3 结论

在传统的方形贴片双模滤波器的基础上, 本文设计了一种新型的带有两个切角的平面双模椭圆函数带通滤波器, 和一种改进的带有两个相互正交但长度不等的槽线的新型双模椭圆函数带通滤波器, 并对其进行了电磁仿真, 得到比较好的结果. 这两种结构都使用单个贴片谐振器, 且无耦合缝隙, 通带两端各有一个衰减极点, 可以有效减小滤波器的辐射损耗. 它们具有结构简单、新颖, 易于设计, 性能优越等突出优点. 第二种结构在显著降低了滤波器的插入损耗的同时, 降低了谐振频率, 即在频率不变时滤波器的体积减小40%左右, 更有利于小型化, 便于在微波集成电路中使用. 还研究了该滤波器结构参数的变化对其性能的影响, 对实际设计这种滤波器有着重要的意义. 总之, 该结构大大提高了滤波器的性能, 同时工作频率在1.8GHz, 可用于移动通信系统.

REFERENCES

- [1] 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. 一种新颖的蝴蝶形缺陷地结构微带线. *红外与毫米波学报*, 2004, 23(6): 431—435.
- [2] LIU Hai-Wen, SUN Xiao-Wei, LI Zheng-Fan. Low-pass filters of wide stop-band based on photonic band-gap structures [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (刘海文, 孙晓玮, 李征帆. 一种基于光子带隙结构的宽阻带低通滤波器. *红外与毫米波学报*, 2004, 23(2): 135—138.
- [3] Iwasaki H. A circularly polarized small-size microstrip antenna with a cross slot [J]. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 1996, 44(10): 1521—1528.
- [4] Zhu L, Wecowaki P M, Wu K. New planar dual-mode filter using cross-slotted patch resonator for simultaneous and loss reduction [J]. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1999, 47(5): 650—654.
- [5] Strassner B, Chang K. New wide-band DC-Block cymbal bandpass filter [J]. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 2002, 50(5): 1431—1432.
- [6] Wolff I. Microstrip bandpass filter using degenerate modes of a microstrip ring resonator [J]. *Electronics Letters*, 1972, 8(12): 302—303.
- [7] Cassinè A, Andreone A, Barra M, *et al.* Dual mode superconducting planar filters based on slotted square resonators [J]. *IEEE Trans. Applied Superconductivity*, 2001, 11(1): 473—476.
- [8] Hsieh L H, Chang K. Dual-mode elliptic-function bandpass filter using one single patch resonator without coupling gaps [J]. *Electronics Letters*, 2000, 36(24): 2022—2023.