

平行耦合微带线超宽带带通滤波器设计

杜海明, 乔幸帅, 赵红梅

(郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:将平行耦合微带线设计方法与微波仿真软件 ADS2009 相结合, 针对超宽带室内定位系统设计了带通滤波器. 该设计将多级平行耦合微带线进行级联, 解决滤波器频带窄、纹波特性差、插入损耗大等问题. 选取高度、间隔和长度 3 个参数对滤波器进行优化与仿真, 实物测量结果为插入损耗小于 3 dB, 带外抑制高于 10 dB. 与软件仿真结果相比, 该设计结构简单、性能优良, 可满足超宽带室内定位接收系统的需要.

关键词:超宽带; 带通滤波器; 平行耦合微带线

中图分类号: TM571.6 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.2095-476X.2014.03.012

Design of ultra wideband bandpass filter based on parallel coupled microstrip line

DU Hai-ming, QIAO Xing-shuai, ZHAO Hong-mei

(College of Electric Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Combining the design method of parallel coupled microstrip lines with microwave simulation software ADS2009, a bandpass filter was designed for the UWB (ultra wideband) indoor positioning system. By taking advantage of cascading multilevel parallel coupled microstrip lines, some problems of the filter were settled, such as the narrow bandwidth, the bad ripple characteristics and the big insertion loss, etc. The three parameters of height, spacing and length were selected as the object of optimization and simulation of the filter, the measurement results of the material object are as follows: the insertion loss was less than 3 dB, the out band rejection was higher than 10 dB. Comparing the measured results with the simulation results, the design method had the advantages of simple structure and superior performance and met the needs of the UWB indoor positioning system.

Key words: ultra wideband (UWB); bandpass filter; parallel coupled microstrip line

0 引言

近年来,随着无线通信技术的发展,超宽带技

术受到越来越多研究人员的关注.超宽带通信因其所具有的高速率、低功耗、高保密性及其抗干扰能力强等特点^[1],展示出广阔的应用前景.2002年,美

收稿日期: 2014-03-02

基金项目: 河南省基础与前沿技术研究计划项目(112300410144); 郑州轻工业学院青年骨干教师项目(2013XGGJS011); 郑州轻工业学院博士基金项目(2013BSJJ026)

作者简介: 杜海明(1977—),男,河南省灵宝市人,郑州轻工业学院讲师,博士,主要研究方向为信号处理与检测.

通信作者: 赵红梅(1976—),女,河南省辉县人,郑州轻工业学院副教授,博士,主要研究方向为超宽带无线通信技术、阵列信号处理.

国联邦通信委员会(FCC)解除了超宽带技术在民用领域的限制,极大地激发了相关应用的研究和产业化进程,各种超宽带器件的研发也逐渐增加.滤波器作为射频前端关键器件之一,具有选频功能,可分离不同频率的信号,其作用是抑制不需要的频率信号,保证所需频率信号通过.因此,滤波器性能的优劣直接影响通信系统的质量.

要满足超宽带室内定位系统中接收机射频前端的需要,就要设计带通滤波器.在接收机系统中,设置一个带通滤波器在特定频段范围内以极低的损耗对天线的接收信号进行选取,为整个系统提供第一道抗干扰防线,其输出信号进入低噪声放大器.在低噪声放大器后另接一个带通滤波器,主要作用是确保所需频段的选取并抑制镜像频率,充分减小不必要的干扰,使系统性能满足设计要求.

目前针对超宽带定位系统所设计的滤波器,其带宽大多在 FCC 所限定的 3.1 ~ 10.6 GHz 之间^[2-4],不能满足超宽带室内定位系统中接收机的带宽要求,而且结构非常复杂.较为简单的平行耦合结构滤波器^[5-6],其频段主要集中在 2 ~ 3 GHz,但带宽较窄,同样不能够满足要求.鉴于此,本文拟针对超宽带室内定位接收系统的需要,设计一个中心频率为 7.3 GHz、带宽为 1.2 GHz 的带通滤波器,采用微带线工艺,以增强滤波器的高频性能,并提升接收系统的可靠性.

1 平行耦合微带线滤波原理

当频率接近或达到 GHz 时,分立元件已经不再适合构成滤波器,这时滤波器多由分布参数元件构成.

带通滤波器的基本单元是由 2 条相距很近的微带线构成的平行耦合节,如图 1 所示^[5].当 2 条没有屏蔽的传输线紧靠在一起时,由于传输线之间电磁场的互相作用,在传输线之间会产生功率耦合,这种传输线就称为耦合传输线.根据传输线理论,每条单独的微带线都可以等价为小段串联电感和并联电容,当微带线的长度为滤波器中心频率所对应波长的 1/4 时,该结构的微带线便具备了带通滤波器的特性.这种单独耦合节单元虽然具有典型的带通滤波器的特性,但是单个带通滤波单元难以具有良好的滤波器响应及陡峭的通带到阻带的过渡特性.因此,通常将 $N+1$ 个平行耦合节级联来构成更为实用的带通滤波器,如图 2 所示.图中平行耦合的

部分即为级联的耦合节组成的带通滤波器,而两端不参与耦合的单独的微带线是为连接测试用的 SMA 接头所设计的匹配单元,其特性阻抗 $Z_0 = 50 \Omega$,长度同样满足滤波器中心频率所对应波长 $1/4$ 的要求. Z_{0o} 与 Z_{0e} 为微带线的奇模、偶模通过公共接地板发生耦合效应而产生的奇模特性阻抗和偶模特性阻抗^[6],可表示为

$$Z_{0o} |_{i,i+1} = Z_0 [1 - Z_0 J_{i,i+1} + (Z_0 J_{i,i+1})^2] \quad (1)$$

$$Z_{0e} |_{i,i+1} = Z_0 [1 + Z_0 J_{i,i+1} + (Z_0 J_{i,i+1})^2] \quad (2)$$

$$J_{0,1} = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2g_0 g_1}}, J_{i,i+1} = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2g_i g_{i+1}}}, J_{n,n+1} = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2g_n g_{n+1}}}$$

其中, Δ 为带通滤波器的相对带宽, g 为标准低通滤波器参数,下标 i 和 $i+1$ 表示图 2 所示的耦合单元.

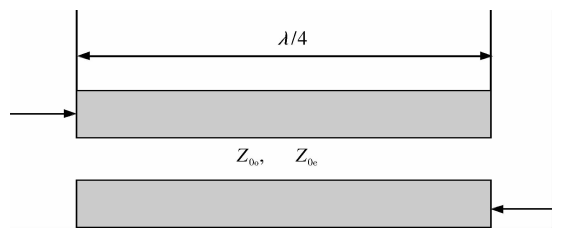


图1 带通滤波器基本单元示意图

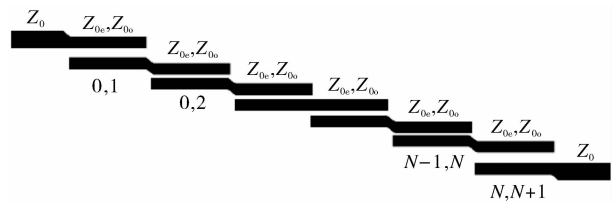


图2 级联耦合微带线带通滤波器示意图

2 平行耦合带通滤波器设计

笔者将平行耦合微带线滤波器设计方法与微波仿真软件 ADS2009 相结合,提出一种更加简捷的带通滤波器的设计方法,并采用参数优化的方法得到符合实际需求的滤波器参数.设计流程如图 3 所示^[7].

2.1 滤波器参数的计算

1) 所设计的滤波器的指标为:中心频率 7.3 GHz,带宽 1.2 GHz,带内衰减小于 3 dB,带内波纹 0.1 dB,微带线特性阻抗 $Z_0 = 50 \Omega$.根据以上参数查“切比雪夫滤波器衰减特性表”可得滤波器级数 N (带通滤波器单元为 $N+1$ 个),由“切比雪夫滤

“器件元件参数表”还可知具有带内波纹 0.1 dB 的 5 阶(6 个带通滤波器单元)切比雪夫标准低通滤波器参数如下: $g_0 = g_6 = 1, g_1 = g_5 = 1.1468, g_2 = g_4 = 1.3712, g_3 = 1.9750$.

2) 由公式①②可计算得到滤波器的奇模和偶模特性阻抗(见表 1),相移都为 90° .

3) 选取电路板材料为 RT/duroid 5880,微带线的参数为:基板的相对介电常数为 2.2,磁导率为 1,封装高度为 1.0×10^{33} mm,基板厚度为 0.787 mm,损耗角正切为 0.0009,表面粗糙度为 0 mm,导体厚度为 0.035 mm,导体电导率为 5.88×10^7 ,计算时采用的频率为 7.3 GHz.

根据表 1 数据与电路板材料及微带线参数,利

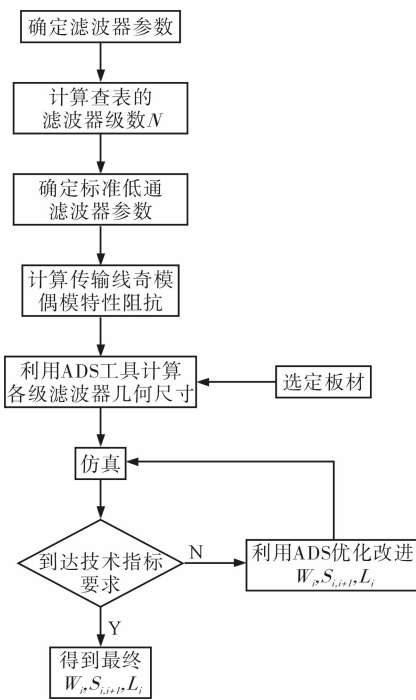


图 3 微带线带通滤波器设计流程

用 ADS 软件的 LineCalc 计算功能^[8],得到各节的物理参数(宽度 W ,间隔 S 和长度 L)见表 2.

2.2 滤波器的仿真与优化

在 ADS 仿真软件中搭建好微带线带通滤波器仿真原理图,如图 4 所示.以表 2 参数设定滤波器尺寸、介质参数和扫频参数,然后进行仿真.仿真结果见图 5.

由图 5 可以看出,中心频率并没有达到设计要求的 7.3 GHz,存在一定的偏移,且通带内的带宽也不满足 1.2 GHz 的要求,这是由于设计时没有考虑边缘场效应的特性而引起的.基于此,笔者利用 ADS 的优化功能,通过优化滤波器各节的 W, S, L 参数来改善滤波器的特性.

首先在 ADS 中建立优化电路,每次优化仿真后记录并分析结果,以便与优化前的结果进行对比.如果优化结果不能满足设计指标的要求,则需要改变优化参数的取值范围,待 S 参数曲线达到设计目标后停止优化.

表 1 奇模和偶模特性阻抗 Ω

耦合节	偶模特性阻抗	奇模特性阻抗
1	84.985	37.535
2	62.415	41.825
3	59.075	43.385
4	59.075	43.385
5	62.415	41.825
6	84.985	37.535

表 2 滤波器各耦合节物理参数 mm

滤波器参数	1	2	3	4	5	6
W	1.4739	2.1405	2.2394	2.2394	2.1505	1.4739
S	0.0999	0.4040	0.6130	0.6130	0.4040	0.0999
L	7.7716	7.5646	7.5292	7.5292	7.5646	7.7716

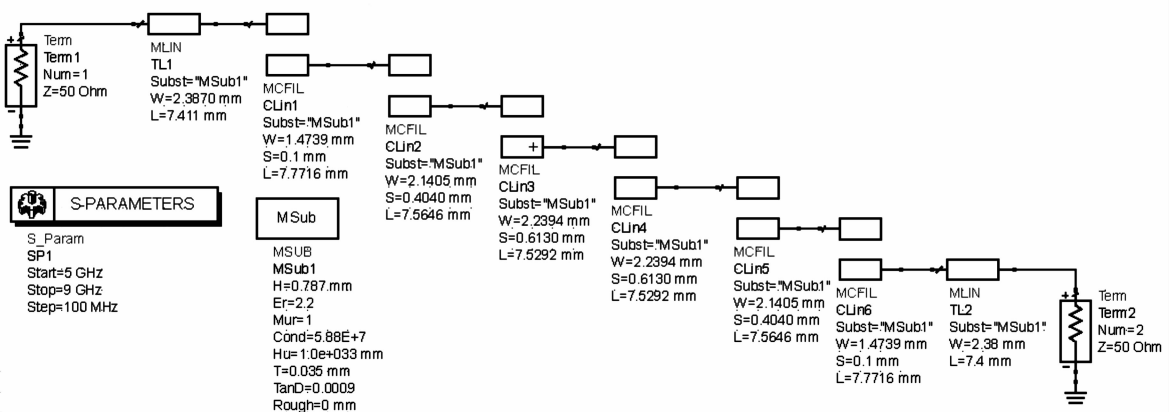


图 4 微带线带通滤波器仿真原理图

在优化过程中可以只对各节耦合微带线的线长、线宽及间隙3个参数进行部分调整,总结出各个参数与滤波器各项性能之间的关系,这样在优化过程中,可以有针对性地调整参数.例如微带线的线长主要影响滤波器的中心频率,在针对中心频率偏移问题时,就可固定其他参数而只针对线长进行优化.同理,对于其他的问题也同样可选取特定参数进行优化.这样不仅降低了优化的复杂度,也节省了优化时间.

经过反复优化后,得到最终参数为: $L_1 = 7.1 \text{ mm}$, $L_2 = 7.1 \text{ mm}$, $L_3 = 7.1 \text{ mm}$, $W_1 = 1.2 \text{ mm}$, $W_2 = 2.15 \text{ mm}$, $W_3 = 2 \text{ mm}$, $S_1 = 0.20 \text{ mm}$, $S_2 = 0.35 \text{ mm}$, $S_3 = 0.65 \text{ mm}$;优化后仿真结果如图6所示.带内的最大衰减为 -1.12 dB ,带内中心频率为 7.3 GHz ,带宽 1.2 GHz ,带外抑制高于 10 dB ,符合设计要求.

优化过程中,滤波器的物理参数与滤波器的特性参数的关系表现为:长度主要影响滤波器中心频率,长度越小中心频率越大,反之中心频率越小;带内衰减主要受间隔的影响,相邻耦合节间的间隔越

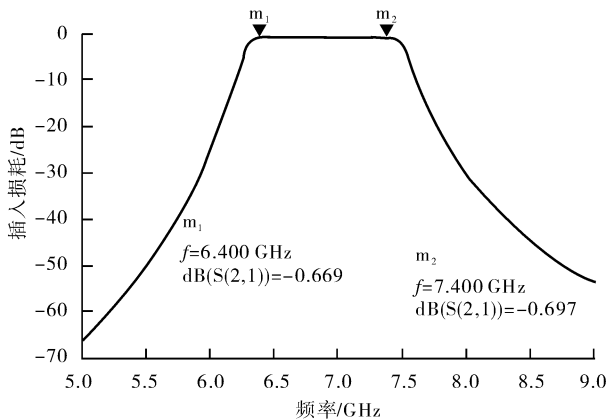


图5 优化前的滤波器仿真结果

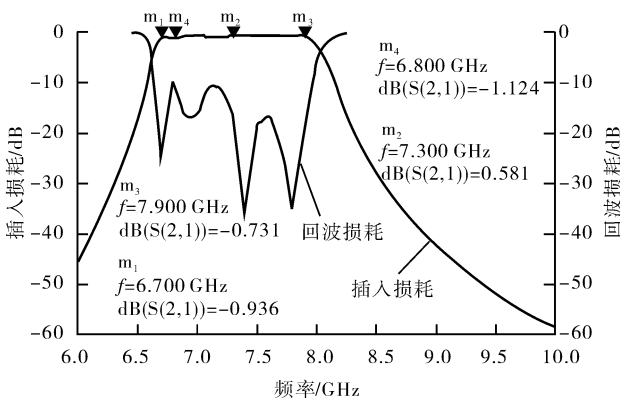


图6 优化后的滤波器仿真结果

大,带内平坦性越好,衰减越小;整个通带的带宽及带外衰减情况,由宽、间隔、长度3个参数共同作用.另外,设计过程中也需要注意一些问题,间隔不能过小,一般不能低于 2 mm ;相邻耦合节的宽度差距不能太大,否则仿真结果会严重恶化,将不再具备带通滤波器的特性.

2.3 滤波器参数实测结果

利用安捷伦矢量网络分析仪 N5230A 对滤波器进行实测,结果见图7和图8.将图7中的测试结果与图6中的仿真结果相比较,可以看出:中心频率和带宽都与仿真时的结果基本吻合,满足设计要求,只有通带内的衰减和仿真结果略有偏差,与要求的 3 dB 有一点差距,这可能与测试环境、制作工艺等有关.因为该滤波器工作频段非常高,很容易受到外界辐射的干扰.在制作工艺方面,由于微带线参数都在 mm 级,要做到特别精确有一定难度,且板材介电系数也可能存在偏差,这些因素都会引起实物测量结果出现偏差.



图7 带通滤波器 S21 参数实测结果

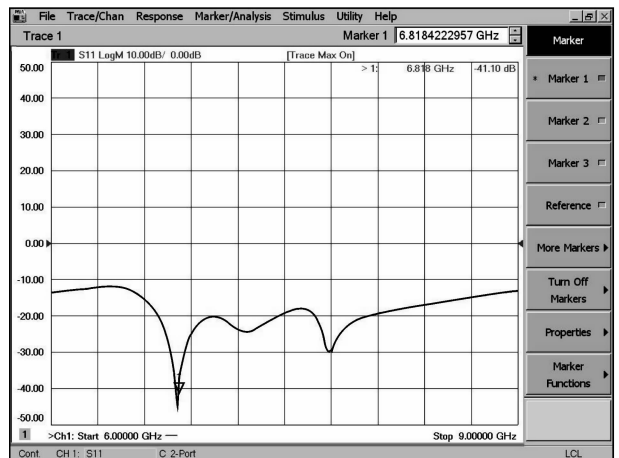


图8 带通滤波器 S11 参数实测结果

3 结论

本文将平行耦合微带线滤波器设计方法和微波仿真软件 ADS2009 相结合,针对 UWB 定位接收系统设计了一个结构简单,中心频率 7.3 GHz,带宽为 1.2 GHz 的平行耦合微带线带通滤波器.通过对该滤波器的仿真和实测,结果为:插入损耗小于 3 dB,带外抑制高于 10 dB.这表明所设计的滤波器可以作为 UWB 定位接收系统射频前端的核心器件,能够有效接收所需频段的信号,降低系统噪声.而且,这种滤波器设计方法简单、快捷,提高了滤波器设计的效率,对其他滤波器的设计有很好的借鉴作用.但在滤波器设计结构简单的同时其抗干扰能力有些削弱,因此,今后研究的重点就是在此方法的基础上设计一种结构不同、性能优良、抗干扰能力强的滤波器.

参考文献:

[1] 张中兆,沙学军.超宽带通信系统[M].北京:电子工

业出版社,2010.

- [2] 官雪辉,陈鹏,刘海文,等.超宽带滤波器的研究现状与进展[J].华东交通大学学报,2011(1):11.
- [3] 郑艺媛.无线通信领域超宽带滤波器的现状和发展趋势[J].微波学报,2012(S2):338.
- [4] 蔡鹏.超宽带带通滤波器的设计理论及其小型化研究[D].上海:上海大学,2006.
- [5] 张福洪,张振强,马佳佳.基于 ADS 的平行耦合微带线带通滤波器的设计及优化[J].电子器件,2010(4):39.
- [6] 李奇威,郭陈江,张兴华.平行耦合微带线带通滤波器的设计与优化[J].电子设计工程,2012(4):18.
- [7] 郑冬,王志刚.基于 ADS 的平行耦合带通滤波器的设计[J].电子产品世界,2010(10):30.
- [8] 黄玉兰.ADS 射频电路设计与典型应用[M].北京:人民邮电出版社,2010.

(上接第 29 页)

glucosylation of hydroxy compounds using glucopyranosyl fluoride[J]. Chem Lett,1981,3:431.

- [21] Tsegay S, Williams R J, Williams S J. Synthesis of glycosyl fluorides from thio-, seleno-, and telluroglycosides and glycosyl sulfoxides using aminodifluorosulfonium tetrafluoroborates[J]. Carbohydr Res,2012,357:16.
- [22] Manabe S, Ito Y. Hafnium(IV) tetratriflate as a glycosyl fluoride activation reagent[J]. J Org Chem,2013,78:4568.
- [23] Sasaki K, Matsumura S, Toshima K. A novel glycosidation of glycosyl fluoride using a designed ionic liquid and its effect on the stereoselectivity[J]. Tetrahedron Lett,2004,45:7043.
- [24] Okada Y, Asakura N, Bando M, et al. Completely β -selective glycosylation using 3,6-O-(*o*-Xylylene)-bridged axial-rich glucosyl fluoride[J]. J Am Chem Soc, 2012, 134:6940.
- [25] Gu X Y, Chen L, Wang X, et al. Direct glycosylation of

bioactive small molecules with glycosyl iodide and strained olefin as acid scavenger[J]. J Org Chem,2014,79:1100.

- [26] Baldoni L, Marino C. Facile synthesis of per-O-tert-Butyldimethylsilyl- β -d-galactofuranose and efficient glycosylation via the galactofuranosyl iodide[J]. J Org Chem, 2009,74:1994.
- [27] Schombs M, Park F E, Du W, et al. One-pot syntheses of immunostimulatory glycolipids[J]. J Org Chem,2010,75:4891.
- [28] Perrie J A, Harding J R, King C, et al. Glycosidation with a disarmed glycosyl iodide: promotion and scope[J]. Org Lett,2003,5(24):4545.
- [29] Ko Y J, Shim S B, Shin J H. Facile synthesis of 2-O-Iodoacetyl protected glycosyl iodides: useful precursors of 1,2-Linked 1,2-trans-glycosides[J]. Org Lett, 2009, 11(3):609.