

文章编号:1671-6833(2014)01-0120-04

# 小型化超宽带(UWB)功分器的模拟与设计

惠晓威, 姜 瀚

(辽宁工程技术大学 电信学院 辽宁 葫芦岛 123000)

**摘 要:**对 UWB 功分器进行了研究,研制了一个工作频段在 3.75~9.5 GHz 的宽带功分器,该功分器通过安装一对双阶梯阻抗和平行耦合线为对称的两个输出端.实现了功分器频带的展宽.这种功分器只有一个隔离电阻,减少了隔离电阻对功分器隔离度的影响.仿真结果表明,功分器在如此宽的频带范围内仍能满足良好的性能指标,在 3.75~9.5 GHz 频带范围内,隔离度均在 -10 dB 以下,输入、输出端口均达到良好的匹配.实现 UWB 的小型化,提高了频带的展宽,降低了加工难度.

**关键词:**宽带 Wilkinson 功分器,隔离阻抗,串联阻抗变换器.

**中图分类号:** TM351 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.01.028

## 0 前言

功分器是一个在许多微波电路和子系统上使用的关键元件.用的最多的功分器是威尔金森功分器,有两个输出端口之间的隔离电阻<sup>[1]</sup>,但是它带宽很窄.随着短距离无线通信快速增长,需要使用超宽带元器件,要求是工作频段在 3.1~10.6 GHz.为了满足其在超宽带范围内工作,科研工作者做了大量的探索,研制了很多种宽带功分器<sup>[2-7]</sup>.通常,宽带功分器可以通过多段级联来实现,但是,这种方法需要多个电阻隔离.根据分析,至少采用三段  $\lambda/4$  和三个隔离电阻才能实现.文献[8]提出 UWB 功分器在两个输出端口处引入了平行耦合线段和阶梯阻抗组成的传输线来实现功分器的宽带特性,这种功分器只有一个隔离电阻,减少了隔离电阻对功分器隔离度的影响,但是它的每一个支节的长度为半波长,而且末端耦合线段之间的间距只有 0.06 mm,增大了实现和加工的难度.文献[9]提出采用分形理论来加工耦合线,达到更好的耦合效果,实现了滤波器小型化.笔者提出把分形理论加工耦合线的方法引入到功分器的制作,使耦合间距达到 0.1 mm,实现 UWB 的小型化,提高频带的展宽,降低功分器的加工难度.笔者设计的 UWB 功分器采用 RT/迪鲁

瓦 6010 为基板板,介电常数为 10.2,厚度为 0.635 mm.

## 1 功分器的原理及设计

如图 1 所示,表示超宽带功分器的示意图.端口 1 作为一个信号端口,可以满足在高频条件下,把功率等分给端口 2 和端口 3.传统的 UWB 功分器采用三节  $\lambda/4$  和三个隔离电阻组成,一对平行耦合线和阶梯阻抗是在传统的 UWB 功分器的基础上做出的改进,达到了功分器小型化的目的.文献[10]提到,在 UWB 工作频带中,可以产生多个传输极点.

此外,为了达到更好的隔离度效果,减少端口 2 和端口 3 之间的信号传输,安装一个电阻  $R$ .基于偶数和奇数模式分析,它的超宽带特性可以用  $S$  参数分析<sup>[11]</sup>.

图 2 显示了两个端口电路模型为图 1 中的 UWB 功分器的奇模激励条件下.端口 1 可以被简单地视为短路,自这个端口的带状导体接地.

所以,该模型为一个端口网络,端口 2 输入阻抗的计算公式为

$$Z_{in2}^o = \frac{2Z_+ \cot(\theta) + jY_t^o Z_-^2 \csc^2(\theta) - jY_t^o Z_+^2 \cot^2(\theta)}{4j + 2Y_t^o Z_+ \cot(\theta)} \quad (1)$$

收稿日期:2013-09-03;修订日期:2013-10-06

作者简介:惠晓威,(1958-),男,辽宁阜新人,辽宁工程技术大学教授,研究生导师,研究方向为信号与信息系统.

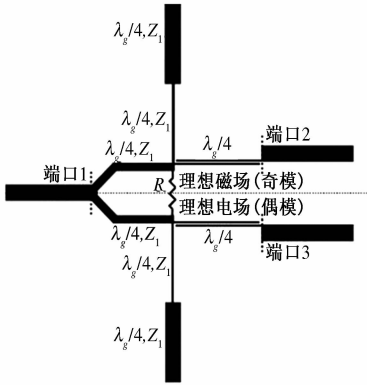


图 1 超宽带功分器示意图

Fig. 1 Schematic of the proposed UWB power divider on microstrip line

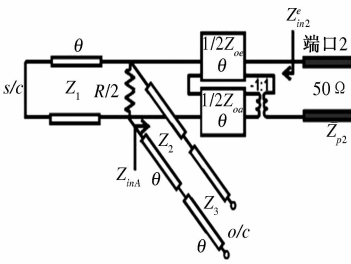


图 2 偶模状态

Fig. 2 Odd-mode circuit model

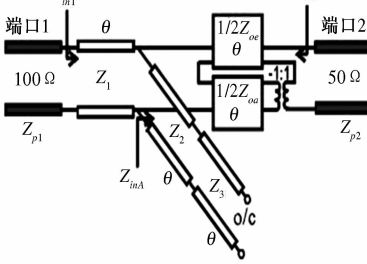


图 3 奇模状态

Fig. 3 Even-mode circuit model

满足

$$Z_{-} = Z_{oe} - Z_{oo}, Z_{+} = Z_{oe} + Z_{oo};$$
$$Z_{inA} = jZ_2(Z_2 \tan(\theta) - Z_3 \cot(\theta)) / (Z_2 + Z_3).$$

式中: $Z_{oe}, Z_{oo}$  分别是偶模和奇模阻抗的耦合线。

在图 2 和图 3 中, $Z_{p1}, Z_{p2}$  分别表示位于端口 1 和端口 2 的特性阻抗。

在端口 2 中, $Z_{in2}^o = Z_{p2} = 50 \Omega$ , 在  $\theta = \pi/2$  的约束下,公式(1)可简化为

$$R = \frac{Z_{-}^2}{2Z_{p2}}. \tag{2}$$

这提供了一个简单的指标关于选择  $R$ . 例如,如果选择的  $R = 100 \Omega$ ,则  $Z_{-} = 100 \Omega$ . 偶模激励下,图中的功分器可以表示为一个二端口网络,如图 3. 形成一个理想的且对称平面磁场和特性阻抗在 1 端口是双  $Z_{p1}$ ,或  $100 \Omega$ . 因此,在端口 1 和端口 2 的输入阻抗可以推导出。

$$Z_{in1}^e = Z_1 \frac{1 + jY_{t1}^e Z_1 \tan(\theta)}{Y_{t1}^e Z_1 + j \tan(\theta)}. \tag{3}$$

$$Z_{in2}^e = \frac{2Z_{+} \cot(\theta) + jY_{t2}^e Z_{-}^2 \csc^2(\theta) - jY_{t2}^e Z_{+}^2 \cot^2(\theta)}{4j + 2Y_{t2}^e Z_{+} \cot(\theta)}. \tag{4}$$

另外

$$Y_{t1}^e = \frac{4jZ_{p2} + 2Z_{+} \cot(\theta)}{2Z_{p2}Z_{+} \cot(\theta) + jZ_{-}^2 \csc^2(\theta) - jZ_{+}^2 \cot^2(\theta)}$$
$$+ \frac{1}{Z_{inA}} Y_{t2}^e = \frac{Z_1 + jZ_{p1} \tan(\theta)}{Z_1(Z_{p1} + jZ_1 \tan(\theta))} + \frac{1}{Z_{inA}}$$

良好的阻抗特性在端口 1 和端口 2 匹配的约束下,可以满足  $Z_{in1}^e = Z_{p1}, Z_{in2}^e = Z_{p2}$ . 一个可以简化(3)和(4)作为一个统一的表达  $\theta = \pi/2$ .

$$Z_1^2 = \frac{Z_{p1} Z_{-}^2}{4Z_{p2}}. \tag{5}$$

由于  $Z_{p1} = Z_{-} = 100 \Omega$  和  $Z_{p2} = 50 \Omega$ ,从公式(5)可以确定  $Z_1 = 70.7 \Omega$ . 可以得出结论,(2)和(5)是唯一能够准确的  $\theta = \pi/2$ ,它们会随着  $\theta$  的衰减偏离  $\pi/2$ . 另一方面,安装的阶梯阻抗和耦合线如图 1 所示,可以产生 4 个传输极点,每边两个  $\theta = \pi/2$ . 因此,如果这些极点达到合理分配,良好的阻抗匹配可以做到在整个 UWB 范围内实现。

3 个输入阻抗来自(1),(3)和(4). 因此, $S_{11}$  和  $S_{22}$  可以简单计算. 为了证明超宽带分压器性能,上/下截止频率的通带可以导出在定义的  $-3\text{dB}$   $S_{11}$  和  $S_{22}$  大小. 这两个截止频率被发现上升和下降,分别为比率  $Z_2/Z_3$ ,从 0.6 增加到 9. 图 4 绘制确定分频器的工作带宽满足  $Z_2/Z_3 = 2.25 (a - a')$ . 如果  $Z_2 = 90 \Omega$ ,则  $Z_3 = 40 \Omega$  [8].

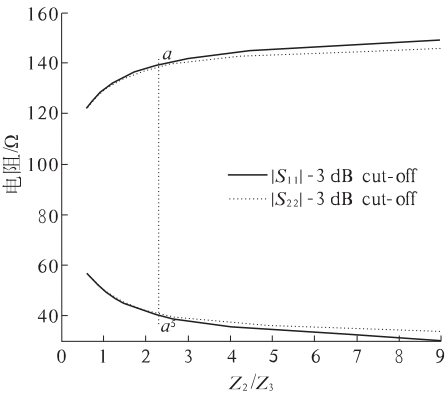


图 4 开路短截线上/下 -3 dB 电长度截止频率与阻抗比

Fig. 4 Electrical length ( $\theta$ ) of open-circuited stubs at the lower/upper -3 dB cut off frequencies against impedance ratio

2 新型 Koch 岛分形结构的设计

分形理论是由德布罗特于 1975 年首次提出. 目前分形理论广泛用于天线设计和耦合线设计. 分形是一种具有自相似特性的现象、图像或者物理过程. 常用的分形结构有科赫雪花型分形结构、Cantor 分集、Sierpinski 垫片和 Hilbert 分形结构等<sup>[9]</sup>.

通常情况下,凡是具有分形结构的物体都有比例自相似性和空间填充性这两大特点,因此,如

果把分形的这两大特点应用到耦合线设计上,能够达到提高耦合性能,使功分器结构更加紧凑等效果,从而促进功分器的性能提高和尺寸小型化,降低加工难度.

笔者提出的新型 Koch 岛分形结构如图 5 所示,水平方向的截去长度为 0.25 倍的  $l$ ,垂直方向的截去长度为 0.2 倍的  $l$ ,截去的三角形的宽度均为 0.3 倍的  $l$ . 迭代次数为 0,1,2 次的迭代示意图如图 5 所示,其中 Koch0 表示第 0 次迭代,Koch1 表示第 1 次迭代.Koch2 表示第 2 次迭代.

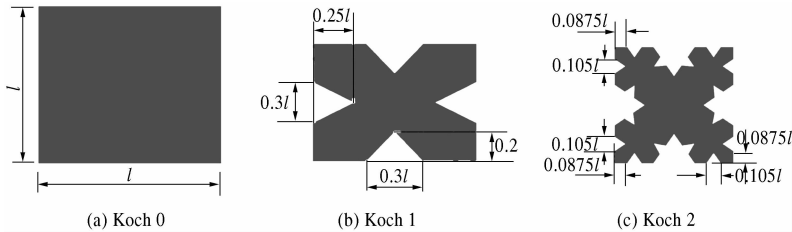


图 5 新 Koch 岛分形结构示意图  
Fig.5 Koch island type

根据图 1,把该结构应用于耦合微带线上,可以得出相应的基于 Koch 岛分形结构的耦合微带

线,其单节结构如图 6 所示.

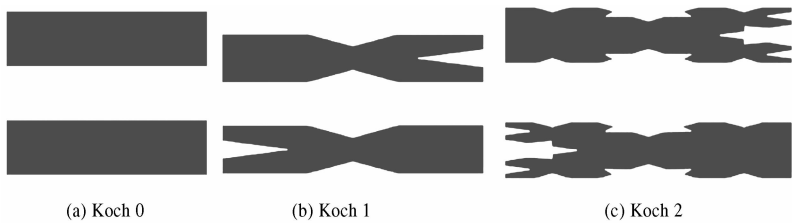


图 6 基于 Koch 岛分形结构的耦合微带线  
Fig.6 Koch island type couped line

把分形理论应用到功分器的耦合线,HFSS 仿真如图 7,根据分形理论,制作的 KOCH 岛型耦合线如图 8 所示.

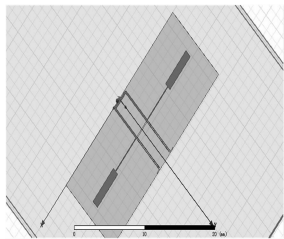


图 7 功分器整体仿真图像  
Fig.7 Ensemble simulation picture

3 仿真结果

在 3.75 ~ 9.5 GHz 的范围内,在测得的  $S_{11}$  小于 10 dB 时, $S_{21} = -3$  dB. 特别是,在模拟图像中,能看得非常明显. 在推出了两个截止频率附近的波形有着明显的表现. 相比较文献[8]里面的提到的功分器,笔者用分形理论可以实现把耦合线

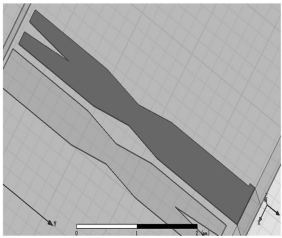


图 8 科赫岛型耦合线仿真图  
Fig.8 Koch island tupe carpet coupet line simulation

之间的间距从 0.06 mm 提高到 0.1 mm,极大程度上降低了加工难度. 图 9(b) 显示仿真的  $S_{22}$ 、 $S_{23}$ . 图像显示  $S_{22}$  在 4 ~ 9 GHz 之间小于 -10 dB. 在隔离度上, $S_{32}$  低于 -10 dB.

4 结论

笔者对 UWB 功分器进行了研究,所设计的功分器采用单节  $\lambda/4$  阻抗和一个电阻并设计了工作频带在 3.75 ~ 9.5 GHz 的宽带功分器. 仿真数据表明,采用分形理论加工耦合线是可行的. 在加

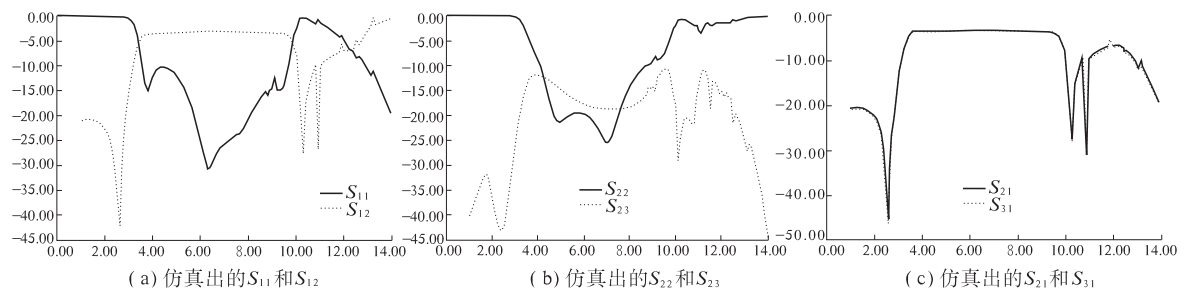


图 9 仿真结果  
Fig.9 Simulation result

大耦合间距的同时,功分器的幅度、隔离度、驻波等指标可以完全达到要求.实现了 UWB 的小型化,提高了频带的展宽,又降低了加工的难度.

参考文献:

[1] WILKINSON E. An N-way hybrid power divider [J]. IRE Trans on Microwave Theory and Techniques, 1960,8(1):116 – 118.

[2] LEE S W, KIM C S. A general design formula of multi-section power divider based on singly terminated filter design theory [J]. IEEE MTT-S Int, 2001, 12 (2):1297 – 1300.

[3] CHIU L, YUM T Y, CHAN C H. A wideband compact parallel-strip 180 Wilkinson power divider for push – pull circuitries [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2006,16(1):49 – 51.

[4] SHARIFI H O. Design and optimization of broadband asymmetrical multisection wilkinson [J]. IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques, 2006,54 (5): 2220 – 2231.

[5] BIALKOWSKI M E, ABBOSH A M. Design of a compact UWB out-of-phase power divider [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2007, 17

(4):289 – 291.

[6] ABBOSH A M. A compact UWB three-way power divider [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2007, 17(8):598 – 600.

[7] SHAMAN H, HONG Jia-sheng, A novel ultra-wide-band (UWB) bandpass filter (BPF) with pairs of transmission zeroes [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2007, 17(2):121 – 123.

[8] WONG Sai-wai, ZHU Lei. Ultra-Wideband Power Divider With Good In-Band Splitting and Isolation Performances [J]. IEEE Micro-wave and Wireless Components Letters, 2008, 18(8):518 – 520.

[9] 李天鹏,王光明,梁建刚. 新型 Koch 岛分形耦合微带线带通滤波器 [J]. 电讯技术, 2011, 51 (3):21 – 25.

[10] ZHU Lei, SUN Sheng. Ultra-wideband (UWB) band pass filters using multiple-mode resonator [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2005, 15 (11):796 – 798.

[11] ZYSMAN G I, JOHNSON A K. Coupled trans-mission line networks in an inhomogeneous dielectric medium [J]. IEEE Trans on Micro-wave Theory and Techniques, 1969, 17(10): 753 – 759.

Simulation and Design of Miniaturized UWB Power Divider

HUI Xiao-wei, JIANG Han

(Electronic Information Engineering College, Liaoning Project Technology University, HuLuDao 123000, China)

**Abstract:** This paper introduces a novel method of broadening the frequency range of a power divider. A power divider with the frequency range from 3.75 GHz to 9.5 GHz is designed. This divider is formed by installing a pair of stepped-impedance open-circuited stubs and parallel-coupled lines to two symmetrical output ports. This power divider is only one isolation resistance, and reduces the isolation resistance effect of isolation on power, The performance of the power divider over the a wide band is simulated. produces satisfactory results of more than 10 dB isolation between two output ports and a good match at both input and output ports. To achieve the miniaturization of UWB can reduce the processing difficulty.

**Key words:** broadband Wilkinson power divider; cascaded impedance convertor; isolation resistance