

1~18 GHz 超宽带功分器的设计

杜姗姗,杨青慧,张怀武

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室,四川 成都 610054)

摘要:分析了1~18 GHz超宽带一分二功分器的制作难点,设计了两种不同结构的威尔逊功分器。通过ADS和HFSS的共同仿真,选择了性能较好的功分器进行加工制作,最后所设计的1~18 GHz超宽带一分二功分器的测试结果表明,在1~18 GHz的整个频带内,功分器的回波损耗都在-15 dB以下,两端口的隔离度大于20 dB,性能良好,可以应用于超宽带系统中。

关键词:威尔逊功分器;超宽带;隔离电阻;HFSS;ADS

中图分类号:TN713 **文献标识码:**A

Design of 1~18 GHz Ultra-wideband Power Divider

DU Shanshan, YANG Qinghui, ZHANG Huaiwu

(State Key Lab. of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: The difficulties of 1~18 GHz ultra-wideband one sub-two power divider were analyzed. The Wilkinson power divider with two different structures were designed in this paper. The power divider with better performance was chosen and fabricated based on the results of co-simulation of ADS and HFSS. The test results of the 1~18 GHz ultra-wideband one sub-two power divider showed that, from the frequency of 1~18 GHz, the port return loss was less than -15 dB, the isolation of the two ports was more than 20 dB. The proposed power divider can be used for the ultra wide band system.

Key words: Wilkinson power divider; ultra wide band; isolation resistance; HFSS; ADS

0 引言

随着我国军事科技的迅速发展,超宽带技术因其隐蔽性好,传输速率高,空间容量大等优良性能,在微波系统中有着广阔的应用前景。超宽带技术对频带的要求高,因此,制作宽频带的微波射频器件成为了研究重点^[1]。

功分器因其既可以将信号多路等功率分配又可以反转作为功率合成器使用,成为了微波发射、接收系统中重要的一部分,在雷达、无线通信、微波测量系统等领域应用普遍。在实际工程中主要使用威尔逊(Wilkinson)功分器,因为它有良好的相位特性和设计简单等优点。超宽带技术的发展,使得低插损、高隔离度、小体积、全带宽覆盖的功分器的需求量也不断增加^[2],但同时由于要求功分器在超宽的带宽内性能要求都要达到,所以功分器的设计制作难度也不断增加。

1 二路微带 Wilkinson 功分器

在之前的功分器的一些电路中,常用到微带T形分支来分配功率,但T型分支却不能使全部端口匹配,并且输出端口之间也未隔离。虽然经改进后的电阻性分配器可以使所有的端口都匹配,但是电阻性的元件会损耗从而使功率也会产生一定的损耗,并且也没有好的隔离效果。Wilkinson功分器可以实现每个端口间的隔离和所有端口都匹配,同时也具有无耗特点^[3]。这种功分器使用较广泛的是微带形式或带状线形式。

图1为等分Wilkinson功分器结构。首先特性阻抗为 Z_C 的微带线分成了两路,这两路微带线的特性阻抗分别为 Z_{C2} 和 Z_{C3} ^[4]。并且长度都为 $\lambda/4$ (λ 为波长),在这两路微带线的末端跨接了一个隔离电阻 R ,对应的功率和电压分别为 U_2 、 U_3 和 P_2 、 P_3 。根据对功分器的要求,有

收稿日期:2016-07-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61021061, 51272036, 51002021, 61131005);国际合作基金资助项目(2012DFR 10730, 2013HH0003)

作者简介:杜姗姗(1993-),女,内蒙古赤峰人,硕士生,主要从事微波器件设计的研究。通信作者:杨青慧(1979-),教授,主要从事液相外延及微波毫米波器件的研究。

$$P_3 = k^2 P_2 \quad (1)$$

或

$$\frac{|U_3|^2}{R_3} = k^2 \frac{|U_2|^2}{R_2} \quad (2)$$

式中 k^2 为功分器的功率分配的比例系数。在功分器正常工作时,跨接的 R 上无电流流过,即 $U_2 = U_3$,由式(1)、(2)可得

$$R_2 = k^2 R_3 \quad (3)$$

如果取 $R_2 = kZ_C$,则 $R_3 = \frac{Z_C}{k}$ 。

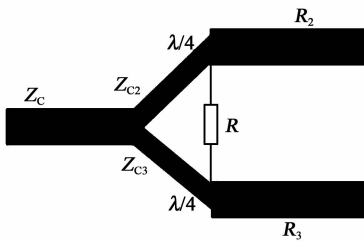


图1 等分 Wilkinson 功分器结构

在功分器输入端口处输入阻抗为

$$\begin{cases} Z_{in2} = \frac{Z_{C2}^2}{R_2} \\ Z_{in3} = \frac{Z_{C3}^2}{R_3} \end{cases} \quad (4)$$

要想使输入端口1处没有反射,则

$$Y_C = \frac{1}{Z_C} = \frac{R_2}{Z_{C2}^2} + \frac{R_3}{Z_{C3}^2} \quad (5)$$

式中 Y_C 为输入端口的特性电导。如果电路无损耗,则

$$\frac{|U_1|^2}{Z_{in3}} = k^2 \frac{|U_1|^2}{Z_{in2}} \quad (6)$$

最后可得

$$Z_{C2} = k^2 Z_{C3} \quad (7)$$

$$\frac{k}{Z_C^2} = \frac{k^2}{Z_{C2}^2} + \frac{1}{Z_{C3}^2} \quad (8)$$

$$\begin{cases} Z_{C2} = Z_C \sqrt{k(1+k^2)} \\ Z_{C3} = Z_C \sqrt{\frac{1+k^2}{k^3}} \end{cases} \quad (9)$$

式(9)是在满足给定功率比时, $\lambda/4$ 微带线具有的特性阻抗。当 $k=1$ 时, $Z_{C2} = Z_{C3} = \sqrt{2}Z_C$ 。

当有信号从端口输入时,输出端口处的负载电阻为 R_2 、 R_3 时,输出端口会出现等电位, R 上无电流通过,相当于功分器的 R 不起任何作用^[5]。当输出端口的任意一个外接负载不等于上述所要求的负载电阻时,负载会产生反射,这是为了使输出端口能相互隔离, R 就必须有一个确定的值,即

$$R = \frac{1+k^2}{k} Z_C \quad (10)$$

为了使跨接到两条微带线之间的电阻的寄生效应能尽量的小,则功分器的两条分支微带线之间的间距不能太大,一般会取 2~3 个微带线宽度, R 可用集成技术制成。二路功分器的频带范围都较窄,只有当工作频率等于中心频率时,才能够得到理想的隔离和匹配^[6]。理论分析认为增加功分器节数可以扩大工作带宽,但引入的插损也会越大,应该根据需要指标,选择合适的功分器的节数^[7]。

2 超宽带功分器的设计

2.1 1~18 GHz 功分器设计与优化

本文设计的工作频带为 1~18 GHz 的超宽带一分二功分器。设计指标为:端口的回波损耗大于 15 dB,输出端口的隔离度大于 20 dB,端口的插入损耗小于 0.7 dB。由于设计的功分器是超宽带滤波器,只有通过增加阶数的方式来展宽带宽,而这样势必会增加功分器的体积,同时要保证在整个频带范围内性能良好也是较难的。

功分器的初始设计可以利用 ADS 里的 design-guide 辅助设计,在原理图设计窗口找到功分器模型,输入所需要的参数^[8]。所有参数输入后,功分器模型自动生成,可以得到功分器的初始尺寸和电路结构。为了使仿真模型较符合实际设计,将得到的电路模型进行修改,根据电路模型自动生成版图。ADS 生成的版图需手动调节每节微带线的位置,使两路微带线之间可以焊接电阻但同时也不能离的太远。最后经过改变微带线形状后的功分器版图导出 DXF 格式的文件,导入 HFSS 里进行仿真。

2.2 功分器的仿真优化

虽然功分器在工作频率较低的情况下,理论分析和实际研制一致,但当工作频率在 10 GHz 以上时,由于微带线尺寸要求更细,加工难度加大,微带线损耗增大等问题,使功分器的仿真优化需要更精细,尤其是本文的 1~18 GHz 的功分器仿真,频带范围大,使得功分器的节数增加,需要调节的参数更多,仿真难度增加。

首先在 ADS 里对功分器的版图进行仿真。仿真时,添加 R ,逐一改变模型里每节微带线的长和宽,同时可以适当调节隔离电阻值,但多节功分器电阻值影响不大,使其输入、输出驻波尽量变小,隔离度变大,尺寸尽可能小。同时在保证功分器性能指标的前提下,尽量减小功分器的节数,使体积尽量小。每节跨接 R 处需留出足够长的微带线以方便焊接电阻,一般长度留为 0.5 mm,焊盘间距为 0.7~0.8 mm 之间即可^[9]。在功分器版图仿真能

得到较好的指标后,由于 ADS 仿真时还存在一定的误差,将 ADS 的版图以 DXF 的格式导进 HFSS 或 CST 里,图 2 为在 HFSS 中功分器版图仿真模型。功分器模型导入 HFSS 后,一般会发生频率向低频偏的情况,主要表现为仿真结果图的低频驻波良好,但高频驻波变差,这时只需要每节微带线等步进地减小长度即可。在 HFSS 仿真时,首先用波端口进行仿真,波端口仿真通过再替换为 SMA 模型仿真,此时结果会有微变,这是由于 SMA 跟铜导体连接处突变所引起的,只需细微调节连接处微带线的宽度,使输入、输出微带线前端微带线宽度窄一些,后端宽一些,即可优化,这样可以防止输入端阻抗变换匹配 50 Ω 时跨度太大^[10]。虽然糖葫芦串结构可缩小功分器的体积,但由于功分器频率高,基板薄,微带线粗,相邻微带线之间易产生耦合,影响功分器性能。



图 2 HFSS 中功分器整体仿真模型图

3 超宽带功分器的加工与测试

超宽带功分器加工时使用的是 Pro/Engineer 软件来设计功分器的腔体,腔体材料为铝,基板为 Rogers5880 板材,厚为 0.508 mm,表面微带线材料为铜,基板尺寸、腔体尺寸和微带线尺寸与仿真模型的尺寸对应。功分器需要接地,所以在装配时,要在基板底部先涂导电银浆,基板上螺纹孔的位置对准腔体下底板的螺纹孔位置并使 5880 基板紧贴在下底板上,拧上螺钉,然后用盖板压紧放进烤箱内烘烤,烘烤后再焊接电阻跟 SMA 进行测试。装配完成的超宽带功分器实物图如图 3 所示。



图 3 实物图

图 4~6 为用矢量网络分析仪所得的功分器实测曲线图。由图可知,超宽带功分器工作频带为 1~18 GHz,回波损耗 -15 dB 以下,除去二路功分器的分配损耗 3 dB,插入损耗范围在 0.8 dB 左右,两个输出端口的隔离度都在 -20 dB 以下,若忽略由于加工误差造成的影响,实测曲线与仿真曲线结果接近,达到了设计要求。但是功分器的插损较大,这是由于超宽带功分器的节数较多,微带线损耗就会增大。

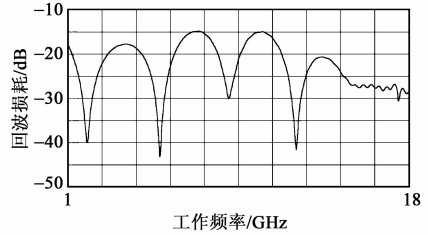


图 4 回波损耗测试图

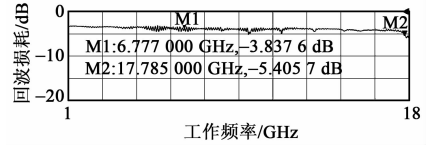


图 5 插入损耗测试图

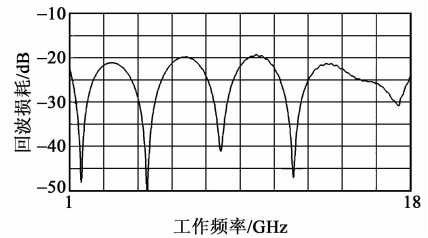


图 6 隔离度测试图

4 结束语

本文通过 ADS 和 HFSS 的联合仿真,设计了一种 1~18 GHz 的一分二超宽带功分器,通过测试结果可看出,在整个宽频带范围内性能良好,这也说明了仿真设计优化的方法是可行的,同时本文的超宽带功分器也能很好的应用在需要超宽带技术的场合中。

参考文献:

- [1] 何猛.超宽带微波功分器的研制[D].成都:电子科技大学,2009.
- [2] 李绪益.微波技术与微波电路[M].广州:华南理工大学出版社,2007:138-140.
- [3] 黄森,谢小强,延波.18~40 GHz 宽带 Wilkinson 功分器设计[C]//上海:电子工业出版社,2011:150-153.
- [4] 李嗣范.微波元件原理与设计[M].北京:人民邮电出版社,1982:1-5.
- [5] 陈伟,项铁铭,骆新江.一种宽带功分器的设计与实现[J].杭州电子科技大学学报(自然科学版),2014,10(6):52-55.
- [6] 魏峰,黄丘林,史小卫.一种新型超宽带带通滤波器的设计与实现[J].微波学报,2010,26(3):48-51.
- [7] 赵海,刘颖力,张怀武,等.宽带 Wilkinson 功分器的设计[J].电子元件与材料,2010,29(12):28-30.
- [8] 顾其净,项家桢,袁孝康.微波集成电路设计[M].北京:人民邮电出版社,1978.
- [9] 王丹阳.双频及宽带功率分配器的研究与设计[D].江苏:南京理工大学,2009.
- [10] 郑强林,梁勤金,石小燕.Wilkinson 型功率分配器设计[J].微波学报,2014,30(6):237-240.