

研究与试制

宽带 Wilkinson 功分器的设计仿真与制作

赵 海, 刘颖力, 张怀武, 胡嵩松

(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: 利用 Ansoft 公司的 HFSS 软件对设计宽带 Wilkinson 功分器模型进行仿真, 制作出了工作频带为 0.8~2.5 GHz, 尺寸为 4.0 cm×3.0 cm×0.5 cm 的宽带功分器并进行了测试, 仿真结果和实物测试结果比较接近。该功分器在整个频带范围内具有良好的性能指标, 传输损耗<0.8 dB, 隔离度>20 dB, 该功分器实现了宽带化以及小型化。由于其工作频率处于 ISM 频段内, 因此可广泛应用于 GPS、蓝牙等通讯系统中。

关键词: Wilkinson 功分器; 宽带; 传输损耗; 隔离度

中图分类号: TN626

文献标识码: A

文章编号: 1001-2028 (2010) 12-0028-03

Design simulation and production of broadband Wilkinson power divider

ZHAO Hai, LIU Yingli, ZHANG Huaiwu, HU Songsong

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

Abstract: By using HFSS software of Ansoft, the designed broadband Wilkinson power divider was simulated, and the divider with the size of 4.0 cm×3.0 cm×0.5 cm was produced and tested, which worked within 0.8~2.5 GHz. The results of the simulation approximately coincide with the divider testing, the broadband divider bears a good performance over the whole frequency band with transmission loss less than 0.8 dB and isolation more than 20 dB. Wide band and miniaturization are realized in the design, and for the divider works within the ISM frequency band, it can be widely used in the communication system of GPS, bluetooth, etc.

Key words: Wilkinson power divider; broadband; transmission loss; isolation

在微波系统中, 需要将发射功率按一定的比例分配到各发射单元, 如相控阵雷达等, 因此功分器在微波电路中有着广泛的应用。它性能的好坏直接影响到整个系统能量的分配和合成效率。随着宽带天线、宽带滤波器等器件的不断发展, 对宽带功分器的要求也越来越高, 需求也越来越大^[1-3]。

对于功分器, 需要在一定的频率范围内, 输出功率按一定的比例分配, 并且要求输出端口相互隔离, 各输入输出端口匹配及传输损耗尽可能小。Wilkinson 功分器不仅具有良好的幅度相位特性而且设计简便, 是功率合成、天线阵列、混频器等微波电路设计中重要的组成部件。由于单节 Wilkinson 功分器的狭窄带宽限制了其在宽带系统中的应用, 为了增加带宽, 实现宽频化, 笔者采用多节 $\lambda/4$ 阻抗

变换器, 采用多节阻抗变换方式设计了宽带 Wilkinson 功分器, 利用 HFSS 软件对物理模型进行了仿真, 并制作出工作频带为 0.8~2.5 GHz, 尺寸为 4.0 cm×3.0 cm×0.5 cm 的二路等分宽带功分器。该功分器在实现宽频带的同时其尺寸也得到了有效的缩小, 并且由于其工作频段处于 ISM 波段内, 因此在 GPS、蓝牙等射频系统中具有实用价值。

1 工作原理

二等分功分器是三端口网络, 普通的无耗互易三端口网络不可能达到完全匹配, 且输出端口间无隔离^[4]。而 Wilkinson 功分器在简单功分器中引入隔离电阻 R, 从而实现各端口的匹配及输出端口间的高度隔离^[5]。引入 R 后, 功分器变为有耗三端口网络,

收稿日期: 2010-07-28 通讯作者: 刘颖力

作者简介: 刘颖力 (1968—), 男, 四川成都人, 教授, 主要从事电子信息材料研究, E-mail: ayuzhaohai@163.com;

赵海 (1986—), 男, 四川成都人, 研究生, 从事电子元件研究, E-mail: ayuzhaohai@163.com。

因此可以实现各端口的匹配以及隔离。图 1 是一个二等分微带 Wilkinson 功分器的示意图。

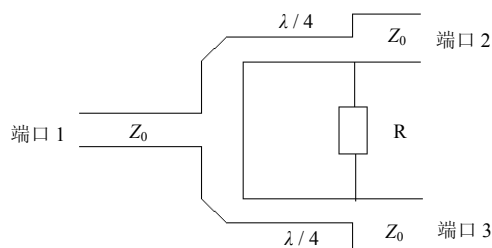


图 1 一分二等分微带 Wilkinson 功分器

Fig.1 One divided two equal portion microstrip Wilkinson power divider

在图 1 中, 输入与输出微带线的特征阻抗都是系统阻抗 Z_0 , 输入与输出端口间的传输线长均为 $\lambda/4$, 特征阻抗为 $\sqrt{2} Z_0$, 从而实现阻抗变换。输出端口 2 和 3 的隔离通过隔离电阻 R 实现。由电路的对称性可知, 当信号从 1 端口输入时, 在 2, 3 端口得到大小相等、相位相同的输出信号。由于电阻 R 两端等电位, 故 R 上没有电流流过, 相当于 R 不起作用。而当 2 端口有信号输入时, 它就分两路到达 3 端口。适当选择电阻以及焊接位置可以使两路信号相互抵消, 从而使 2、3 端口得到隔离^[6], 在二等分功分器中 $R = 2Z_0$ 。

由于单节 Wilkinson 功分器工作带宽较窄, 不能实现器件的宽带化。为了进一步加宽工作频带, 可以用多节的宽频带功分器, 即和其他宽频带器件一样, 可以增加节数, 即增加 $\lambda/4$ 线段和相应的隔离电阻 R 的数目^[7]。图 2 是多节宽频带功分器的结构示意图。

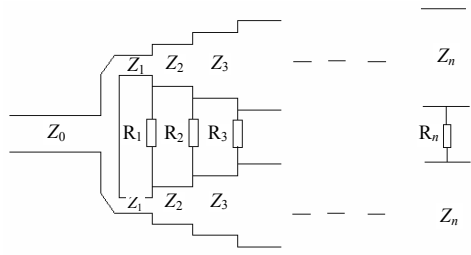


图 2 多节宽频带功分器

Fig.2 Multi-section broadband power divider

图 2 所示的多节宽频带功分器采用了多节阻抗变换器的形式, 每节微带线的特征阻抗分别为 Z_1 、 Z_2 、 $Z_3 \cdots Z_n$, 电阻 R_1 、 R_2 、 $R_3 \cdots R_n$ 分别为每一节的隔离电阻。本文所设计的多节宽频带功分器采用多节 $\lambda/4$ 阻抗变换器, 即各段传输线长度均为 $\lambda/4$ 。在多节阶梯式阻抗变换器中, 若各阶梯阻抗所产生的反射波彼此抵消, 便可以使匹配的频带得以展宽。通常选择的节数越多, 功分器的工作频带越宽, 但同时尺寸也越大, 传输线的损耗也会增加, 所以选择合适的节数是关键。

2 设计与仿真

2.1 设计指标

工作频带: 0.8~2.5 GHz

传输损耗: <0.5 dB

隔离度: >20 dB

电压驻波比 (VSWR): <1.2

2.2 参数计算

设 f_1 、 f_2 分别为功分器的上、下限频率, f_0 为中心频率, W_q 为相对带宽, r 为阻抗变换比。由 $f_1 = 0.8$ GHz, $f_2 = 2.5$ GHz, 得 $f_0 = (f_1 + f_2)/2 = 1.65$ GHz, $W_q = (f_2 - f_1)/f_0 \approx 1$ 。由于 f_1/f_2 约为 3 倍频, 故取节数 $n = 3$ 。根据 $\lambda/4$ 阻抗变换器以及微带电路理论, 由 $r = 2$, $W_q = 1$, $VSWR < 1.2$ 可确定每节微带线归一化特征阻抗分别为 $z_1 = 1.7396$, $z_2 = 1.4142$, $z_3 = 1.1497$, 相应的阻抗值为 $Z_1 = 86.980 \Omega$, $Z_2 = 70.710 \Omega$, $Z_3 = 57.485 \Omega$, 由此算出每节微带线宽度分别为 $b_1 = 0.38$ mm, $b_2 = 0.59$ mm, $b_3 = 0.87$ mm。利用奇偶模分析法, 得到隔离电阻归一化值分别为 $r_1 = 2.1436$, $r_2 = 4.2292$, $r_3 = 8.0000$, 对应的电阻分别为 $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 210 \Omega$, $R_3 = 400 \Omega$ 。采用 S1860 作为介质基板, 其相对介电常数为 3.6, 每节微带线长度 $l = \lambda/4 = 24.00$ mm。这样整个微带功分器的尺寸都得到了。

2.3 仿真及结果

根据以上设计参数, 建立物理模型, 利用 HFSS 软件进行仿真, 如图 3 所示。为使最后设计出的功分器具有良好的特性, 仿真还对参量进行了优化, 最终的仿真结果如图 4、图 5、图 6 所示。

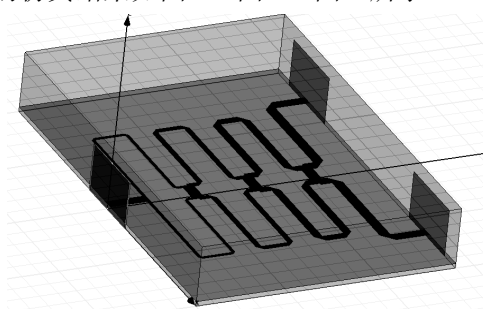


图 3 功分器仿真模型

Fig.3 The model of the power divider simulation

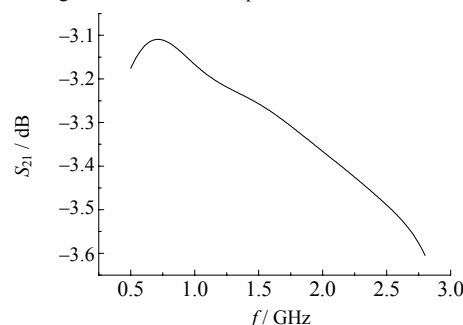


图 4 功分器传输损耗仿真

Fig.4 Simulation of the power divider transmission loss

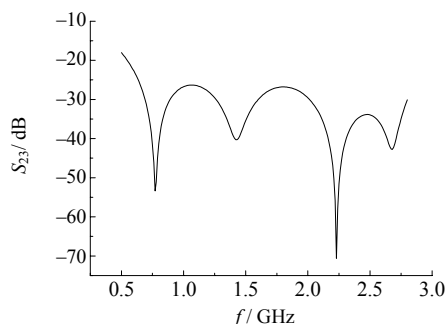


图5 功分器隔离度仿真
Fig.5 Simulation of the power divider isolation

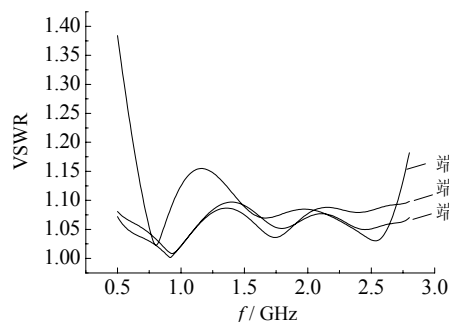


图6 功分器输入输出驻波比仿真

Fig.6 Simulation of VSWR of the power divider input and output

图4与图5分别为 S_{21} 与 S_{23} 的仿真结果,由两图可知,在0.8~2.5 GHz频带内,功分器的传输损耗<0.5 dB,隔离度>25 dB,满足指标要求。图6为输入与输出端口驻波比VSWR的仿真结果,其中端口1为输入端,端口2、3为输出端。由图6可知,在整个频带范围内,功分器的输入端口驻波比VSWR<1.15,输出端驻波比VSWR<1.10,达到设计要求。仿真结果说明,所设计的宽带功分器在0.8~2.5 GHz频带内具有良好的性能指标。

3 实物制作与测试

实物加工采用S1860作为介质基板,相对介电常数为3.6,基板厚0.5 mm,介质损耗为0.008,通过焊接电阻实现端口隔离,外壳腔体采用铝材料。最后加工出的0.8~2.5 GHz宽带功分器样品如图7所示,不含腔体尺寸为4.0 cm×3.0 cm×0.5 cm。

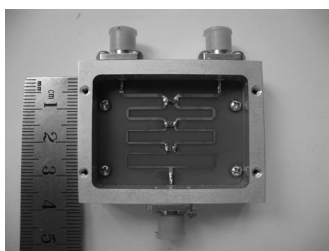


图7 0.8~2.5 GHz宽带功分器实物图
Fig.7 0.8~2.5 GHz broadband power divider

在各端口连接SMA端头,利用Agilent公司型号为E5061A的网络分析仪对样品进行测试,测试结果如图8、图9所示。

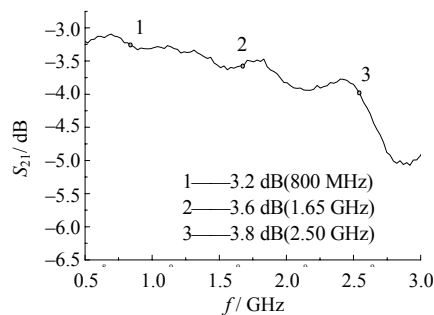


图8 样品传输损耗
Fig.8 Transmission loss of the sample

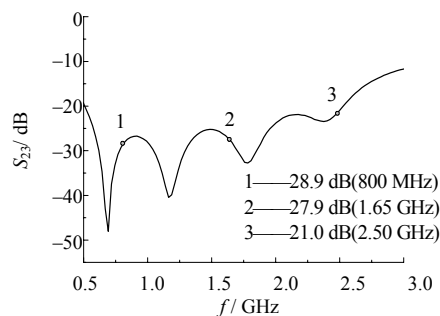


图9 样品隔离度
Fig.9 Isolation of the sample

图8与图9分别为样品的传输损耗与隔离度测试结果,由两图可知,在整个频带范围内传输损耗<0.8 dB,隔离度>20 dB,测试结果与仿真结果略有差别,样品性能出现了一定程度的下降。究其原因,可能是由于实际加工精度偏差以及基板材料相对介电常数不稳定、在一定程度上会随频率变化而变化所造成的。若采用介电性能更加稳定的介质基板并提升加工的精细度,器件性能会得到进一步改善。

4 结论

采用多节 $\lambda/4$ 阻抗变换器的方式设计了一个工作频带为0.8~2.5 GHz宽带功分器,并利用HFSS软件进行了仿真并制作了功分器实物,最终测试结果与仿真结果比较接近,由此证明了设计方法的可行性。所制作出的宽带功分器在0.8~2.5 GHz频带范围内具有良好的性能指标,其传输损耗<0.8 dB,隔离度>20 dB,器件尺寸为4.0 cm×3.0 cm×0.5 cm,同时实现了器件的宽带化以及小型化。

参考文献:

- [1] 李嗣范. 微波元件原理与设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1982.
- [2] 赵兰, 廖斌. 宽带 Wilkinson 功分器的研制 [J]. 材料导报, 2007, 21(11): 195-197.
- [3] 张中雷, 张任. 宽带 Wilkinson 功分器的设计与仿真 [J]. 中国教育技术装备, 2009, (15): 91-92.
- [4] 廖承恩. 微波技术基础 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- [5] POZAR D M. 微波工程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [6] 喻梦霞, 李桂萍. 微波固态电路 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2008.
- [7] 清华大学微带电路编写组. 微带电路 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1976.

(编辑: 陈渝生)