

浙江大学

射频电路与系统



题目 宽频比双频 Wilkinson 功分器设计

姓名

学号

目录

实验目的.....	3
实验原理.....	3
偶模分析.....	4
奇模分析.....	4
实验步骤.....	5
原理图仿真.....	5
版图仿真.....	7
思考题	8

实验目的

随着现代电子和通信技术的飞速发展，信息交流越发频繁，各种各样的电子电气设备品经大大影响到各个领域，无论哪个频段工作的电子设备，都需要各功能的元器性，既有如电容、电感、电阻、功分器等无源器件，以实现信号匹配、分配、滤波等；又有有源器件共同作用，微波系统同样包含了各种无源、有源器件，它们的功能是对微波信号进行必要的处理和变换，现代无源器件中，高性能、小体积的微带线功分器的设计变得日益重要，功分器是将输入信号分成相等或者不等的几路功率输出的一种多端口微波网络，常见的功分器主要有3种: Ratrace 型, Vbranchline 型和 Wilkinson 型。因 Wilkinson 型功分器具有无过多隔离端口、结构简单、易于微带实现等优点，在工程中应用广泛。

本实验目的在于针对一种小型双频功分器的仿真验证。对于传统的 Wilkinson 功分器而言，只能工作在某一频率及该频率的奇次谐波上，不能满足通信系统工作在任意双频的需求；而超宽带设计的实现方式会导致功分器增加节数、尺寸变大。而本实验需要验证的功分器设计是基于耦合线的新型结构，采用三端口阻抗变换，满足如下设计指标：

- (1) 同时在 2.4 GHz 和 5.8 GHz 下正常工作；
- (2) 输入输出驻波 $VSWR \leq 1.5$ ；
- (3) 插入损耗 $\leq 2.5\text{dB}$ ；
- (4) 输入输出隔离度 $\geq 7\text{dB}$ 。

实验原理

本实验要验证的小型双频 Wilkinson 功分器的结构如图 1。

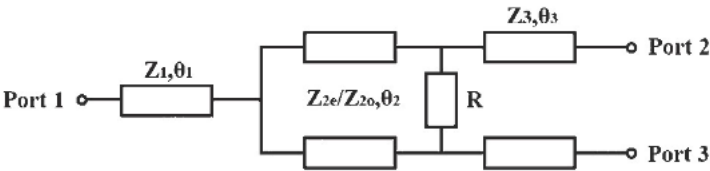


图 1 双频功分器结构

该结构由三部分组成：一段耦合线（奇模阻抗为 Z_{2o} 、偶模阻抗 Z_{2e} ，电长度为 θ_2 ）、输入输出端口连接的三段传输线（特征阻抗为 Z_1 和 Z_3 ，电长度为 θ_1 和 θ_3 ）以及隔离电阻（阻值为 R ）。下面采用奇偶模分析法分析该电路：

奇偶模等效电路分别如图 2、3 所示。

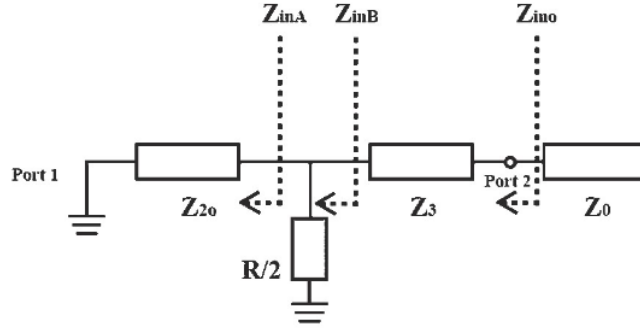


图 2 奇模等效电路

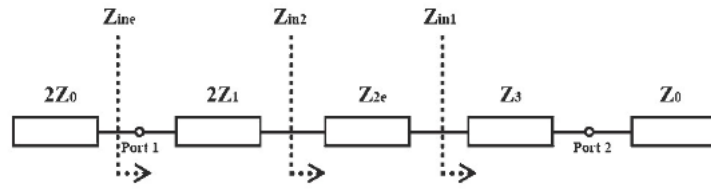


图 3 偶模等效电路

偶模分析

设图 3 的偶模等效电路中各节传输线的输入阻抗分别是 Z_{in1} 、 Z_{in2} 和 Z_{ine} ，其中 Port 1 的归一化阻抗为 2，耦合线的偶模阻抗为 Z_{2e} 。根据传输线理论，各处输入阻抗为：

$$\begin{aligned} Z_{in1} &= Z_e \frac{1 + jZ_3 \tan \theta}{Z_3 + j \tan \theta} \\ Z_{in2} &= Z_{2e} \frac{Z_{in1} + jZ_{2e} \tan \theta}{Z_{2e} + jZ_{in1} \tan \theta} \\ Z_{ine} &= 2Z_1 \frac{Z_{in2} + j2Z_1 \tan \theta}{2Z_1 + jZ_{in2} \tan \theta} = 2 \end{aligned}$$

将 Z_{in1} 和 Z_{in2} 代入 Z_{ine} 的表达式，得：

$$\begin{cases} Z_{2e}Z_3 - 2Z_3^2 \tan^2 \theta - \frac{Z_{2e}Z_3^2}{Z_1} \tan^2 \theta - \frac{Z_{2e}^2 Z_3}{Z_1} \tan^2 \theta + Z_{2e}^2 \tan^2 \theta + 2Z_1 Z_{2e} \tan^2 \theta + 2Z_1 Z_3 \tan^2 \theta = 0 \\ 2Z_{2e} + 2Z_3 + \frac{Z_{2e}Z_3}{Z_1} - \frac{Z_{2e}^2}{Z_1} \tan^2 \theta - Z_{2e}Z_3^2 - Z_{2e}^2 Z_3 - 2Z_1 Z_{2e} Z_3 + 2Z_1 Z_3^2 \tan^2 \theta = 0 \end{cases}$$

奇模分析

设图 2 的奇模等效电路中各节传输线的输入阻抗分别是 Z_{inA} 、 Z_{inB} 和 Z_{ino} ，其中，Port 2 的归一化阻抗为 1，耦合线的奇模阻抗为 Z_{2o} 。根据传输线理论，各处输入阻抗为：

$$Z_{inA} = jZ_{2o} \tan \theta$$

$$Z_{inB} = \frac{Z_{inA}R/2}{Z_{inA} + R/2}$$
$$Z_{ino} = Z_3 \frac{Z_{inB} + jZ_3 \tan \theta}{Z_3 + jZ_{inB} \tan \theta} = 1$$

将 Z_{inA} 和 Z_{inB} 代入 Z_{ino} 的表达式，得：

$$\begin{cases} Z_{2o}R + Z_3R - 2Z_{2o} = 0 \\ 2Z_{2o}Z_3 \tan^2 \theta - 2\frac{Z_{2o}R}{Z_3} \tan^2 \theta + R = 0 \end{cases}$$

设功分器的两个频率点分别为 f_1 、 f_2 ($f_2 = mf_1$, $m > 1$)，为了使其在两个频率同时工作，可得每节传输线在 f_1 、 f_2 的电长度为：

$$\begin{cases} \theta_{f_1} = \frac{\pi}{1+m} \\ \theta_{f_2} = \frac{m\pi}{1+m} \end{cases}$$

由于耦合线奇模阻抗小于偶模阻抗，所以设耦合系数为：

$$Z_{2o} = kZ_{2e}, k < 1$$

令该双频功分器的工作频率为 2.4GHz 和 5.8GHz，则频率比 m 为 2.42，则初始特征阻抗如表 1 所示。

参数	值
Z_1	15.58Ω
Z_3	20.27Ω
θ	53.49°
Z_{2e}/Z_{2o}	34.55/17.28Ω
R	54Ω

表 1 功分器设计参数

实验步骤

下面对该设计进行 ADS 仿真验证。

原理图仿真

取 FR4 介质基板（板厚 0.8mm，介电常数 4.4）。按照电路图绘制原理图并设置参数，示意图如图 4。

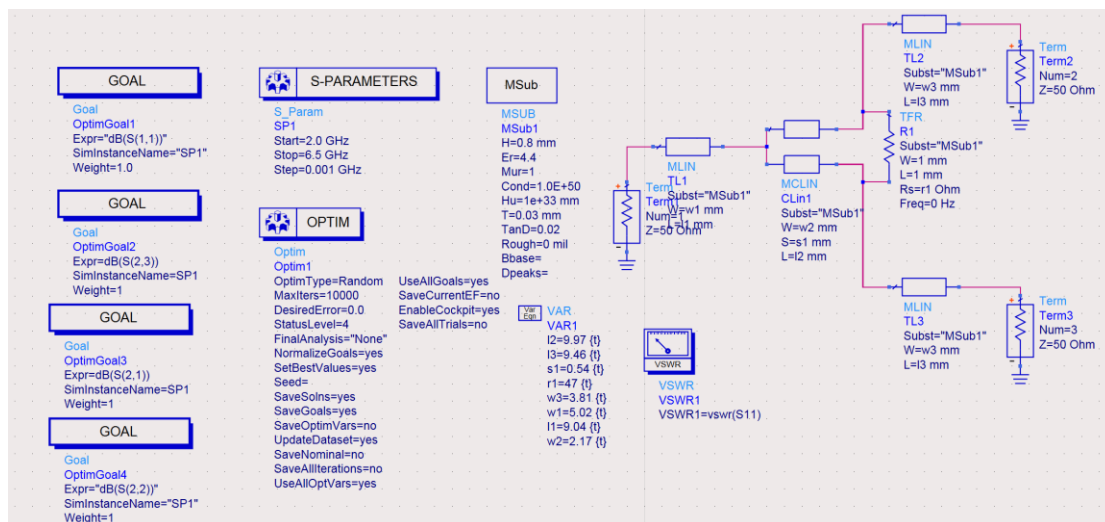
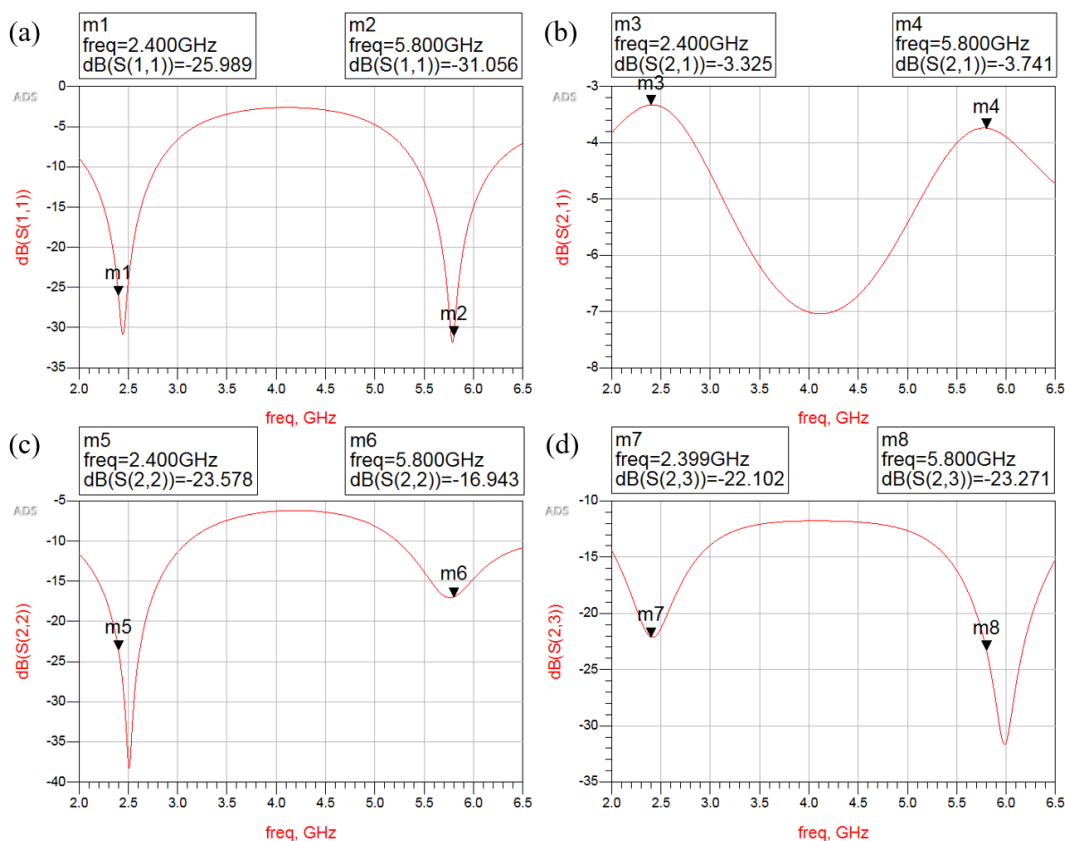


图4 功分器原理图

得到的仿真结果如图5。由图（a）可见，当功分器工作频率在 2.4 GHz 和 5.8 GHz 时，两个频率的 S_{11} 均小于 -20dB ；由图（b）可见，当功分器工作频率在 2.4 GHz 和 5.8 GHz 时，插入损耗分别为 -3.325dB 、 -3.741dB ，小于 2.5dB ，符合指标；由图（c）可见，2.4 GHz 的 S_{22} 参数为 -23.578dB ，5.8 GHz 为 -16.943dB ；由图（d）可见，2.4 GHz 的隔离度为 -22.102dB ，5.8 GHz 的隔离度为 -23.271dB ，符合要求；由图（e）可见，2.4 GHz 的驻波比为 1.106，5.8 GHz 的隔离度为 1.058，符合要求。



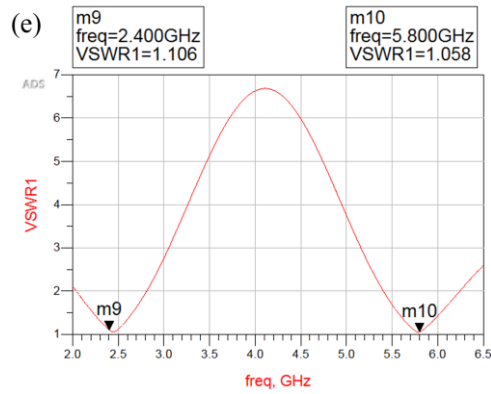


图 5 （a）S(1,1)参数图 （b）S(2,1)参数图 （c）S(1,2)参数图 （d）S(2,3)参数图 （e）VSMR 参数图

原理图仿真符合要求。下面进行版图仿真。

版图仿真

自动生成版图，并进行电气连接如图 6。

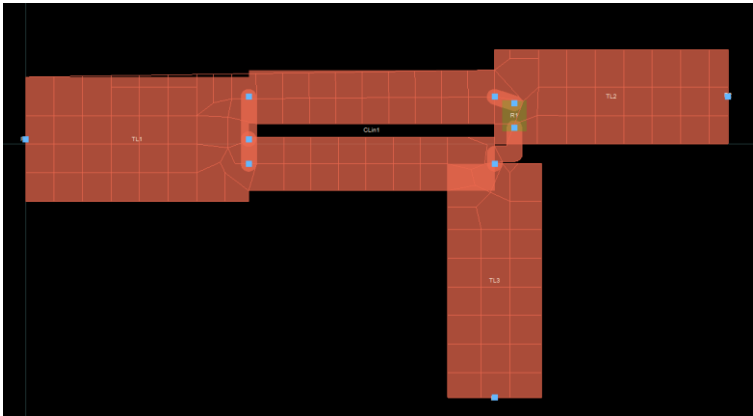


图 6 功分器版图

根据 MSUB1 设置衬底参数如图 7:

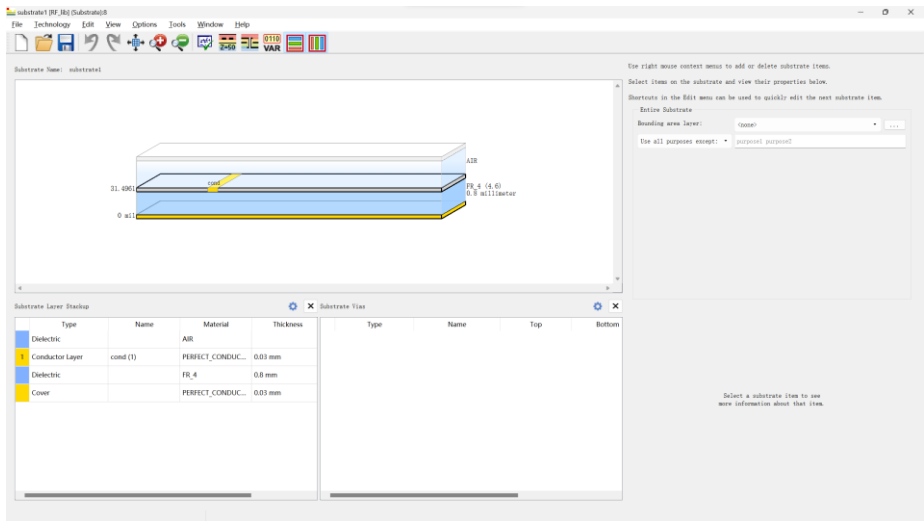


图7 衬底设置

最终得到的版图仿真如下,总体比较符合设计指标,曲线与原理图仿真得到的基本吻合,但向低频段有所偏移,可能是版图的一些寄生参数导致;另外,还可能与版图设计的细节有关,本实验的参照的电路最终的版图 port 2 和 port 3 与 port 1 是垂直的,而且也不是完全的矩形,因此猜测还可能与版图的结构不同有关。

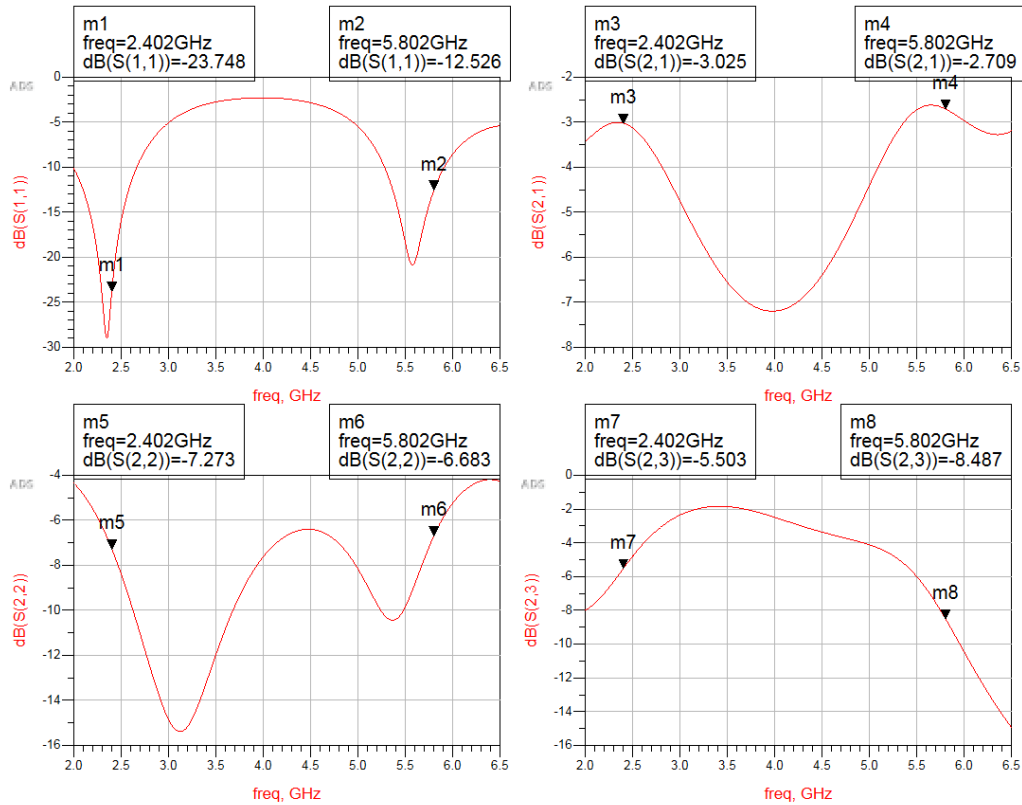


图8 (a) S(1,1)参数图 (b) S(2,1)参数图 (c) S(1,2)参数图 (d) S(2,3)参数图

思考题

1. 当这种形式的功分器作为功率合成器使用时,如何测试各项指标?

功分器在作为功率合成器时,其性能指标需要经过一系列测试来评估。以下是测试功分器作为功率合成器时的一些关键指标:

- (1) 功率分配均匀性: 确保功率在各个输出端口上均匀分配。这涉及将功分器连接到测试设备,并测量不同输出端口上的功率水平。各端口输出功率应尽可能接近。
- (2) 频率响应: 测试功分器在工作频率范围内的性能。这包括频率范围内各端口的插入损耗、相位平衡和幅度平衡等参数。
- (3) 插入损耗: 测试功分器在信号通过时引入的损耗。需要测量输入和输出端口之间的

损耗，并确保它在可接受范围内。

- (4) 相位平衡和幅度平衡： 确保各输出端口的相位和幅度是平衡的。这些测试涉及测量不同端口之间的相位差和幅度差异。
- (5) 隔离度： 测试功分器内部不同端口之间的隔离程度。需要确定当一个端口输出信号时，其他端口的信号受到的影响程度。

这些测试可以通过使用网络分析仪、功率计、频谱分析仪等专业测试设备来完成。对于功率合成器的要求往往更为严格，因此测试过程需要确保所有指标符合所需的规格和标准。

2. 如果技术指标难以达到，如何修改电路拓扑结构？另外还有哪些电路拓扑形式可以采用？

修改电路拓扑的方式：

- (1) 优化布局和尺寸： 通过改变元件的布局和尺寸来调整性能。优化传输线长度、宽度、元件之间的间距等可以改善功分器的性能。
- (2) 改变分支网络结构： 考虑修改功分器内部的分支网络结构。例如，调整分支网络中的衔接方式、线宽、线长等参数。
- (3) 使用补偿网络： 引入补偿网络来修正性能。这可以是电容、电感或者其他网络元件的组合，用于调整相位平衡、幅度平衡等参数。
- (4) 采用不同的材料或工艺： 更换材料或采用不同的工艺流程可能有助于改善性能。选择不同的介质材料或工艺可以影响传输线特性等。

如上文提到的 Ratrace 型，Vbranchline 型功分器。