

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |           |      |    |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------|------|----|--------|
| 课程设计题目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      | 微波技术及应用实践 |      |    |        |
| 学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 通信工程 | 专业        | 通信工程 | 年级 | 2013 级 |
| <p>设计要求:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>1、微带低通滤波器<br/>通带频率: 2.2GHz<br/>止带频率: 4.3GHz<br/>通带波纹: 0.5dB<br/>输入输出阻抗: <math>50\Omega</math><br/>衰减&gt;40 dB</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>2、微带功分器<br/>工作中心频率: 2.2GHz<br/><math>P_2:P_3=1:1</math></p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>3、微带带通滤波器<br/>带内波纹: 0.1dB<br/>中心频率: 3GHz<br/>下边频: 2.5GHz<br/>上边频: 3.5GHz<br/>在 4.5GHz 频率点衰减&gt;30dB</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>4、射频放大器<br/>工作频率: 2.7GHz<br/>增益: &gt;15dB<br/>带宽: &gt;150MHz<br/>噪声系数: &lt;3dB</p> </div> </div> |      |           |      |    |        |
| <p>学生应完成的工作:</p> <p>分别完成微带低通滤波器、功率分配器、带通滤波器和放大器的一系列工作</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 电路原理图设计;</li> <li>2) 进行相应的仿真和调试;</li> <li>3) 进行相应的 Layout 图的设计;</li> <li>4) 进行电磁能量图仿真</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |           |      |    |        |
| <p>参考资料:</p> <p>《微波技术基础》廖承恩 编著 西安电子科技大学出版社</p> <p>《微波技术及光纤通信实验》韩庆文 主编 重庆大学出版社</p> <p>《射频电路设计——理论与应用》Reinhold Ludwig Pavel Bretchko 编著 电子工业出版社</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |           |      |    |        |
| <p>课程设计工作计划:</p> <p>设计分两周进行:</p> <p>第一周完成切比雪夫低通滤波器和威尔金森功分器的设计</p> <p>第二周完成微带滤波器和放大器的设计</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |           |      |    |        |
| <p>任务下达日期____年____月____日 完成日期____年____月____日</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |           |      |    |        |
| <p>指导教师_____ (签名)                      学生_____ (签名)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |           |      |    |        |

## 摘要

本次主要涉及了低通滤波器，功分器，放大器和带通滤波器，用到了 AWR, MATHCAD 和 ADS 软件。

**低通滤波器：**根据设计的要求利用 MATHCAD 得到阶数  $N=5$ ，并得到原型中的元件值  $g$  和串  $L$  并  $C$  型的电容电感值。然后用 ADS 软件进行理论电路原理图的仿真与分析，然后用 Kuroda 规则进行微带线串并联互换，反归一化得出各段微带线的特性阻抗，之后在 ADS 软件中用 LineCalc 算出各条微带线的长宽，进而画出微带线电路图并进行仿真分析以及 EM 板仿真与验证。

**功分器：**根据威尔金森功率分配器的结构原理以及所要求的功率分配比，计算出各部分的阻抗值，然后设置合理的微带线基板参数再利用 ADS 软件中用 LineCalc 就可以求出各微带线的实际长宽值。之后利用 ADS 进行微带线电路图的仿真分析并结合 EM 版图分析验证功率分配情况，经验证设计是满足设计要求的。

**放大器：**一是根据要求，选择合适的管子，需在选定的频率点满足增益，噪声放大系数等要求。二是设计匹配网络，采用了单项化射界和双边放大器设计两种方法。具体是用 ADS 中的 Smith 圆图工具 SmitChaitUtility 来辅助设计，得到了微带线电长度，再选定基板，用 ADS 中的 LineCalc 计算微带线的长和宽。最后在 ADS 中画出原理图并进行仿真，主要是对  $S$  参数的仿真。为了达到所要求的增益，采用两级放大。

**带通滤波器：**首先根据要求选定低通原型，算出耦合传输线的奇模，偶模阻抗，再选定合适的基板参数，用 ADS 的 LineCalc 计算耦合微带线的长和宽，最后画出微带线原理图并进行仿真分析与验证。

**关键词：**低通原型，Kuroda 规则，功率分配比，匹配网络，微带线

## 课程设计正文

### 1. 切比雪夫低通滤波器的设计

#### 1.1 设计要求:

五阶微带低通滤波器:

截止频率 2.2GHz

止带频率: 4.3GHz

通带波纹: 0.5dB

止带衰减大于 40dB

输入输出阻抗: 50 欧

#### 1.2 设计原理:

切比雪夫低通滤波器具有陡峭的通带——阻带过渡特性，且陡峭程度与带内波纹有关。一般来说波纹越大，通带——阻带过渡越陡峭。在通带外，切比雪夫低通滤波器衰减特性较其他低通滤波器提高很多倍。切比雪夫低通滤波器在过渡带比巴特沃斯滤波器的衰减快，但频率响应的幅频特性不如后者平坦。切比雪夫滤波器和理想滤波器的频率响应曲线之间的误差最小，但是在通频带内存在幅度波动。为了将低通原型的截止频率从 1 变换到  $\omega_c$ ，需要乘以因子  $1/\omega_c$  来确定滤波器的频率，这是通过  $\omega/\omega_c$  来代替  $\omega$  的。

$$\omega = \Omega \omega_c \rightarrow \Omega = \frac{\omega}{\omega_c}$$

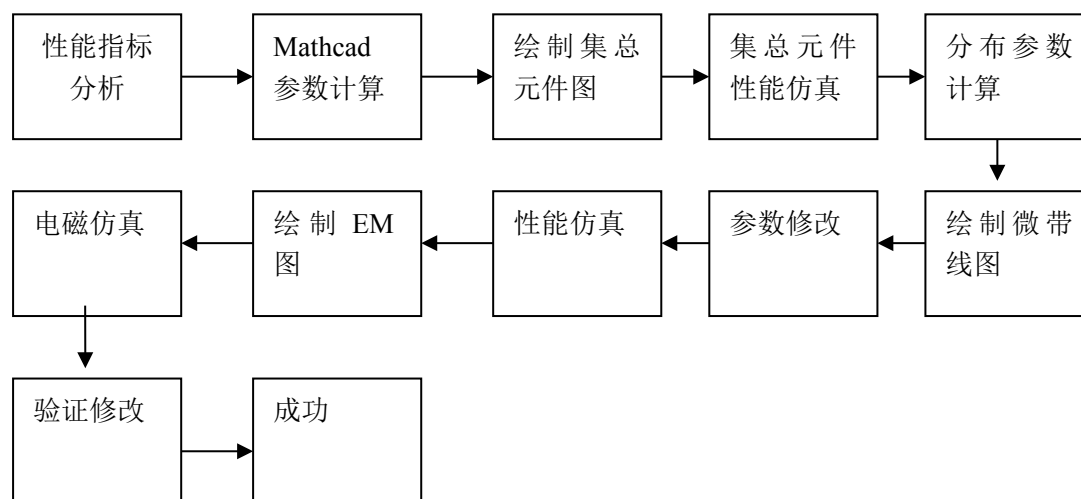
对于低通原型中的串联电感  $jX_L$ ，并联电容  $jX_c$  变换为低通滤波器中的感抗，容

抗，可通过下面的公式来计算：

$$jX_L = j\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)L = j\omega L \rightarrow L' = \frac{L}{\omega_c}$$

$$jX_C = \frac{1}{j\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)C} = \frac{1}{j\omega C} \rightarrow C' = \frac{C}{\omega_c}$$

### 1.3 设计流程图：



### 1.4 设计步骤：

步骤 1：利用 MATHCAD 进行参数计算：

#### Tchebyshev I型 低通滤波器原型

通带纹波 (dB)

$$r_p := 0.5$$

$$M := 10^6$$

截至频率 (Hz) :

$$f_c := 2200 \cdot M$$

$$\omega_c := 2 \cdot \pi \cdot f_c$$

止带的衰减 (dB) :

$$A_s := 40$$

止带频率 (Hz) :

$$f_x := 4300 \cdot M$$

$$\omega_x := 2 \cdot \pi \cdot f_x$$

原型中的元件值

$$g_1 := \frac{2 \cdot A_1 \cdot \alpha}{\gamma}$$

$$g_n := \frac{4 \cdot A_{n-1} \cdot A_n \cdot \alpha^2}{B_{n-1} \cdot g_{n-1}}$$

$$g_k =$$

|       |
|-------|
| 1.807 |
| 1.302 |
| 2.691 |
| 1.302 |
| 1.807 |

(B) 串L并C型

$$C_{p_o} := \frac{g_o}{\omega c \cdot Z_o}$$

$$L_{s_e} := \frac{g_e \cdot Z_o}{\omega c} +$$

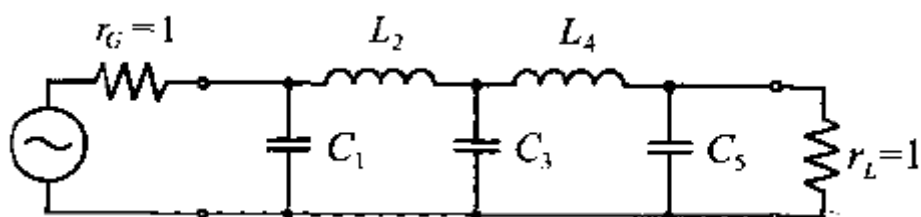
$$o = C_{p_o} =$$

|   |                          |
|---|--------------------------|
| 1 | $2.61470 \cdot 10^{-12}$ |
| 3 | $3.89470 \cdot 10^{-12}$ |
| 5 | $2.61470 \cdot 10^{-12}$ |

$$e = L_{s_e} =$$

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 2 | $4.71170 \cdot 10^{-9}$ |
| 4 | $4.71170 \cdot 10^{-9}$ |

画出归一化低通原型的电路图如图一所示：

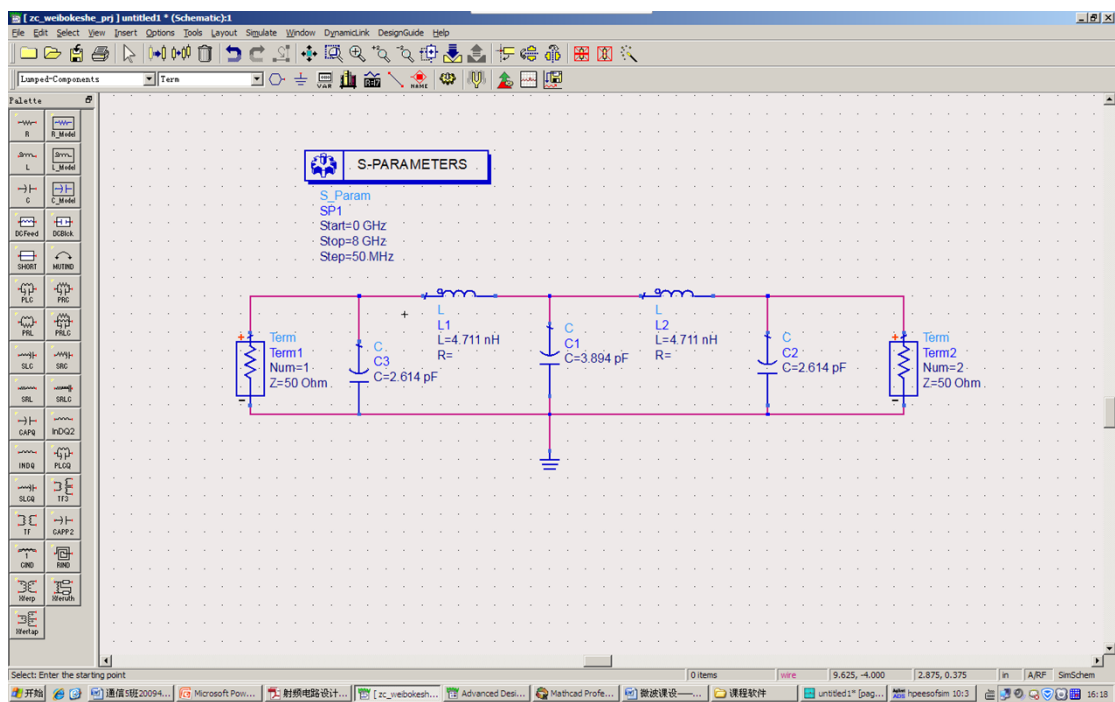


图一 集总参数模型图

步骤 2：集总元件的绘制与仿真

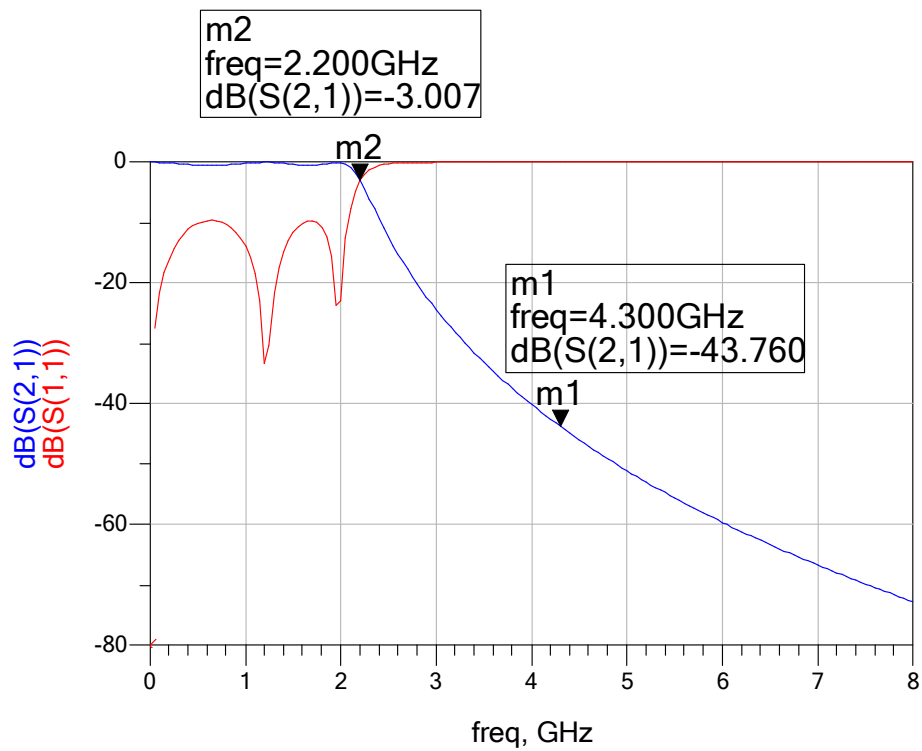
由于输入输出阻抗为 50 Ohm，用原型值进行阻抗变换，得到各组件的真实值，

用 ADS 软件画出相应的电路图如图二所示：



图二 集总参数原理图

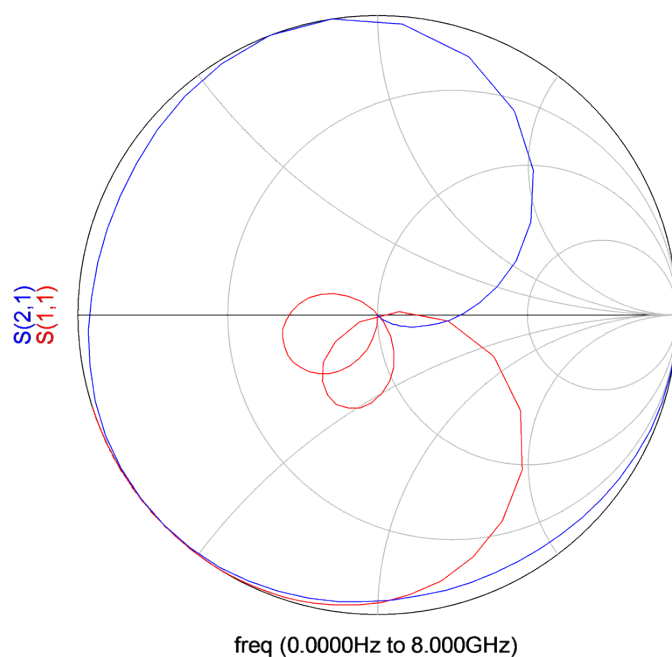
得到相应的 S 参数仿真图：



图三 低通原型 S 参数仿真图

从  $s_{11}$  参数仿真图可以看出, 0 到 1GHz 左右的范围内衰减为 0, 在频率为 2.2GHz 处, 其衰减刚好为 3dB. 在止带频率 4.3GHz 处, 其衰减接近 40dB, 通带——阻带过渡陡峭, 低通特性良好, 满足设计要求。

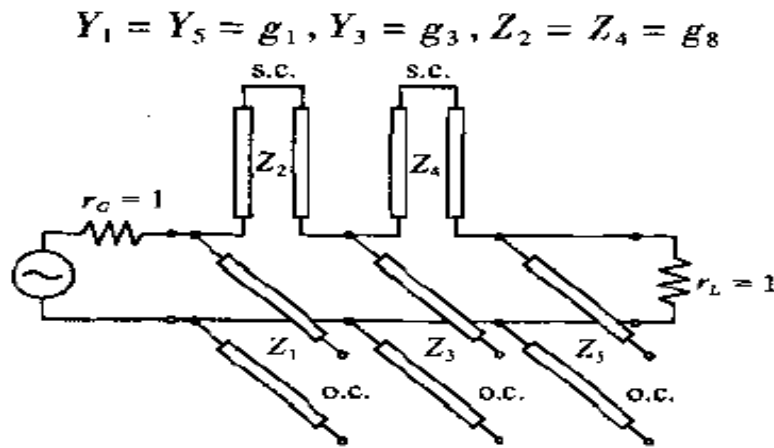
Smith 圆图仿真:



从图中可以看到: 仿真轨迹最终到达匹配点  $Z=1$ , 可知输入输出带到了匹配。

### 步骤 3: 分布元件参数的计算

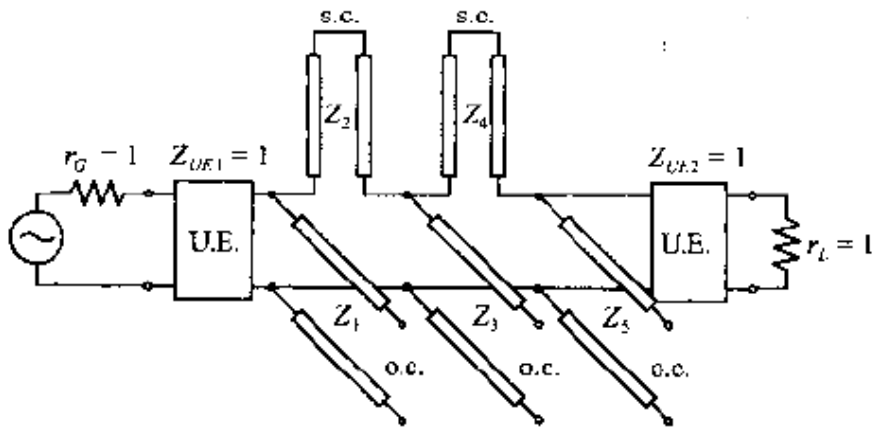
用图二中开路, 短路的并联, 串联微带线替换图一中的电容和电感, 只需直接运用 Richards 变换即可得到微带线的特性阻抗和特性导纳为:



图四 用串联并联微带线代替电感器和电容器

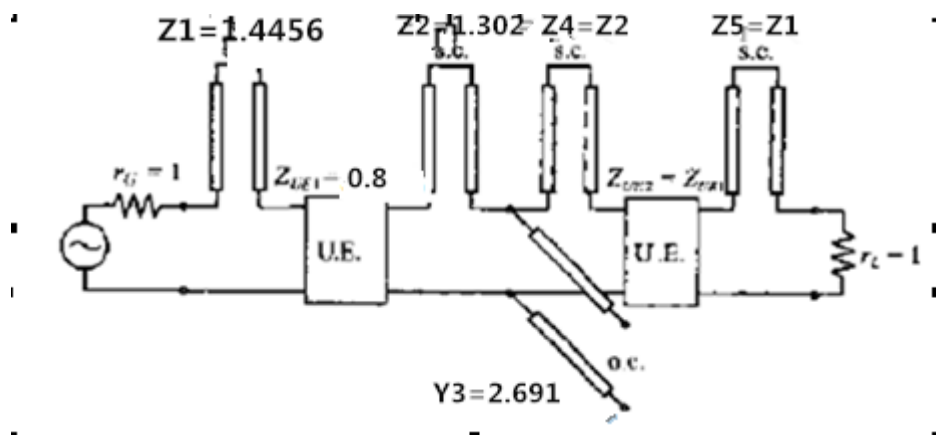
为了在信号端和负载端达到匹配并使滤波器容易实现,需要引入单元组件以便能够应用第一和第二个 Kuroda 规则,从而将所有串联线段变为并联线段。由于这是一个五阶低通滤波器,我们必须配置总共 4 个单位组件以便将所有串联短路线变为并联开路线段。

首先,在滤波器的输入,输出端口引入两个单位元件:



图五 配置第一套单位元件

因为单位元件与信号源及负载的阻抗都是匹配的,所以引入它们并不影响滤波器的特性。对于第一个并联短线和最后一个并联短线应用 Kuroda 准则后的结果如图所示:



图六 将并联线变换为串联线

因为这个电路有四个串联短线，所以仍然无法实现。如果要将它们变换成并联形式，还必需再配置两个单位元件。如图七所示：

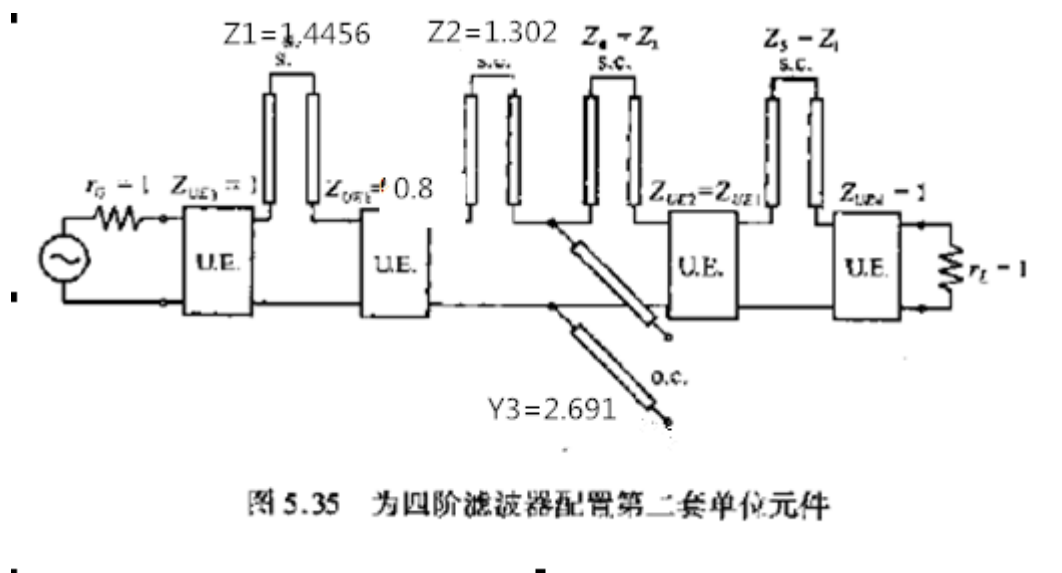
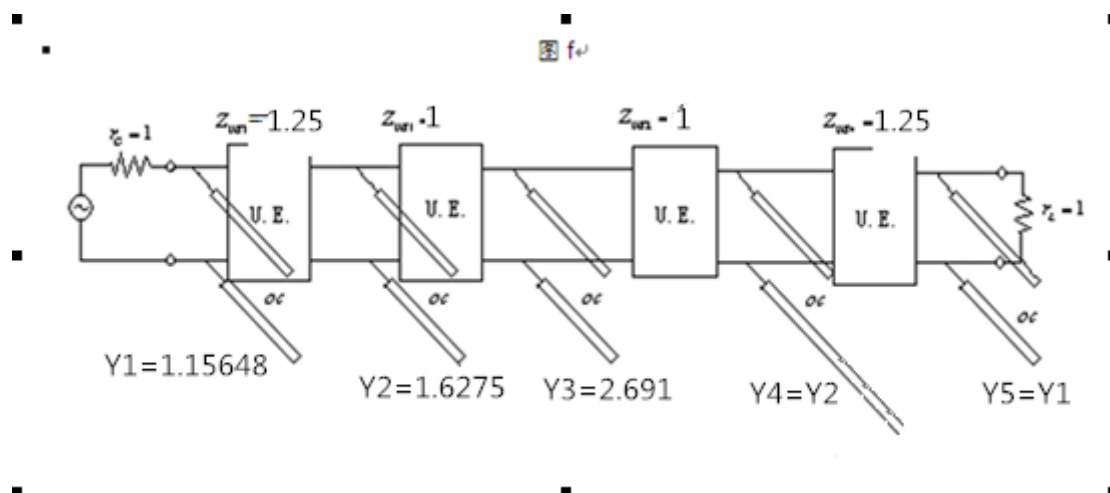


图 5.35 为四阶滤波器配置第二套单位元件

图七 配置第二套单元元件

因为单元元件与信号源及负载的阻抗相匹配，所以引入他们并不影响滤波器的特性。对于图七中的电路应用 Kuroda 法则，则可以得到如图八所示的电路，真正能够实现的滤波器设计结果：



图八 利用 Kuroda 法则将串联短路线变为并联短路线的滤波器电路

对应的阻抗值为：

经计算后得到的各个值为：

|             |                     |             |                     |       |
|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------|
| $Z_1 = Z_5$ | $Z_{UE3} = Z_{UE4}$ | $Z_2 = Z_4$ | $Z_{UE1} = Z_{UE2}$ | $Z_3$ |
| 2.553       | 1.644               | 0.442       | 1.644               | 0.372 |

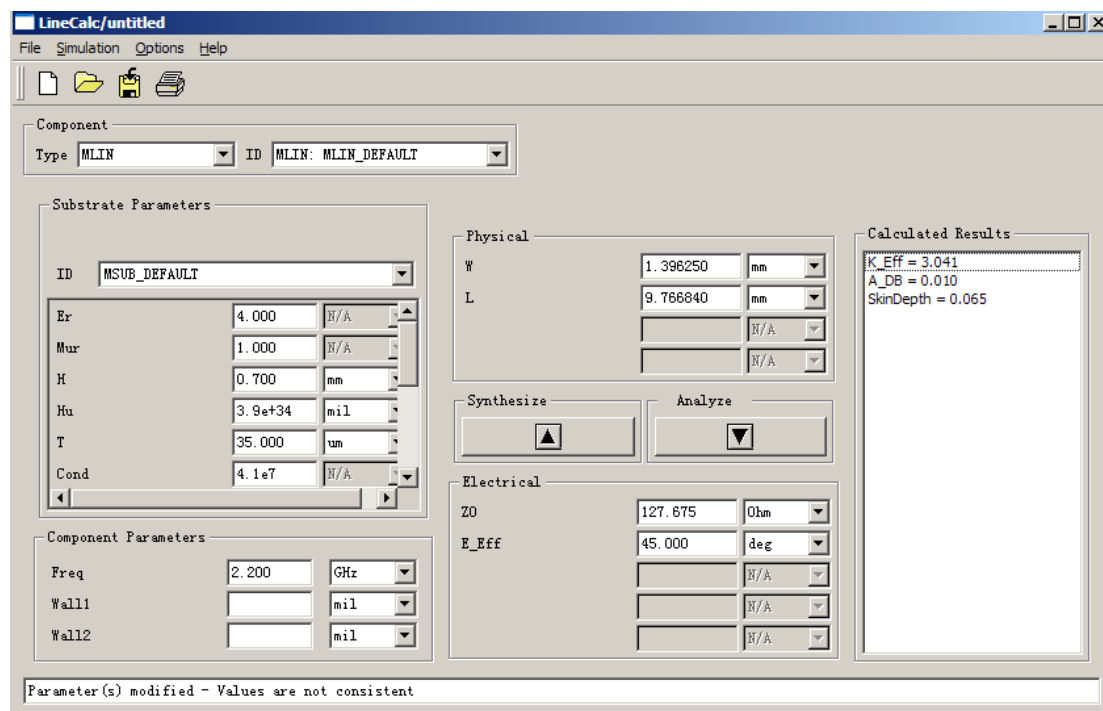
**步骤四：**反归一化。将单位元件的输入，输出阻抗变成 50 欧的比例变换。得到实际阻抗的值。

反归一化后得到的值：

|             |                     |             |                     |       |
|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------|
| $Z_1 = Z_5$ | $Z_{UE3} = Z_{UE4}$ | $Z_2 = Z_4$ | $Z_{UE1} = Z_{UE2}$ | $Z_3$ |
| 127.675     | 82.185              | 22.12       | 82.545              | 18.58 |

通过使用 ADS 软件对所设计的滤波器的微带线尺寸进行调整，最终基本达到设计的要求。

利用 ADS 的 LineCalc 工具计算出微带线的长度与宽度。

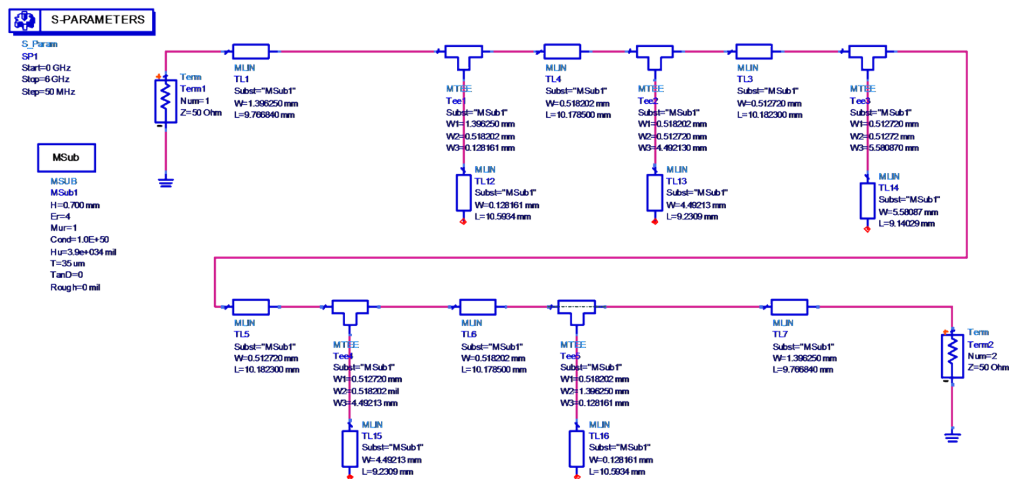


在基板参数设置为:  $\epsilon_r=4.000$ ,  $H=1.5\text{mm}$ ,  $T=35.000\mu\text{m}$ ,  $\text{Freq}=2.2\text{GHz}$ ,  $E_{\text{Eff}}=45.000\text{deg}$  条件下, 计算后得到的长度, 宽度值:

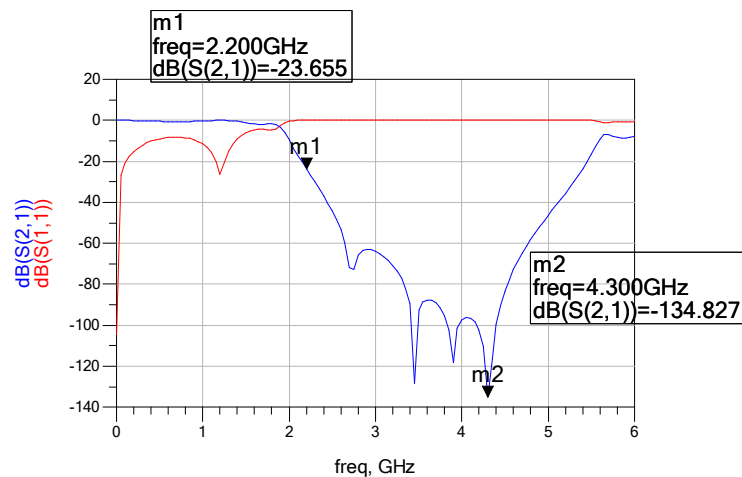
|                     | 阻抗值 (Ohm) | L 微带线长度(mm) | W 微带线宽度(mm) |
|---------------------|-----------|-------------|-------------|
| Z0                  | 50        | 9.766840    | 1.396250    |
| $Z_1=Z_5$           | 127.675   | 10.593400   | 0.128161    |
| $Z_{UE3} = Z_{UE4}$ | 82.185    | 10.178500   | 0.518202    |
| $Z_2 = Z_4$         | 22.12     | 9.230900    | 4.492130    |
| $Z_{UE1} = Z_{UE2}$ | 82.545    | 10.182300   | 0.512720    |
| $Z_3$               | 18.58     | 9.140290    | 5.580870    |

#### 步骤五: 绘制微带线原理图并仿真

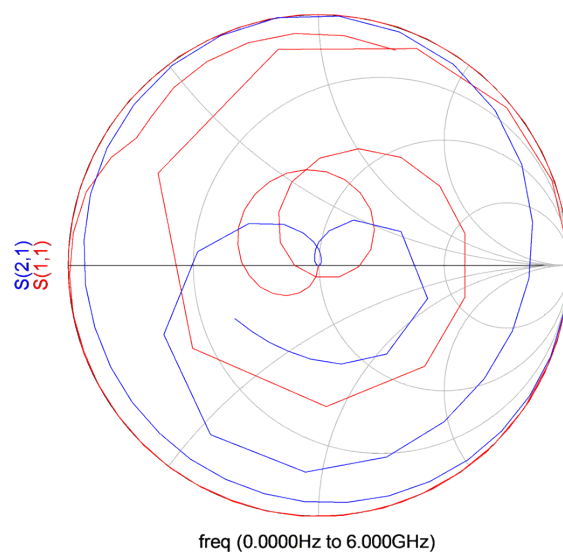
1. 用 ADS 软件画出微带线原理图如下图:



2. 对微带线原理图进行仿真得到 S 参数仿真图:

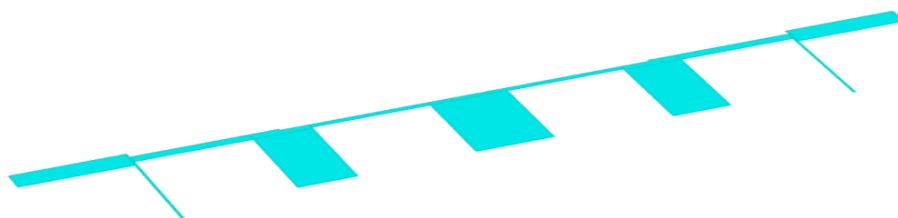


从 s 参数仿真图可以看出, 0 到 2GHz 范围内衰减为 0, 由于是用微带线设计的滤波器, 在截止频率为 2.2GHz 处, 其衰减为 23dB. 在止带频率 4.3GHz 处, 其衰减大于 134dB, 其衰减大于 40dB. 通带——阻带过渡陡峭, 低通特性良好, 满足设计要求。然后对微带线原理图用 Smith 圆图进行仿真, 如下图:

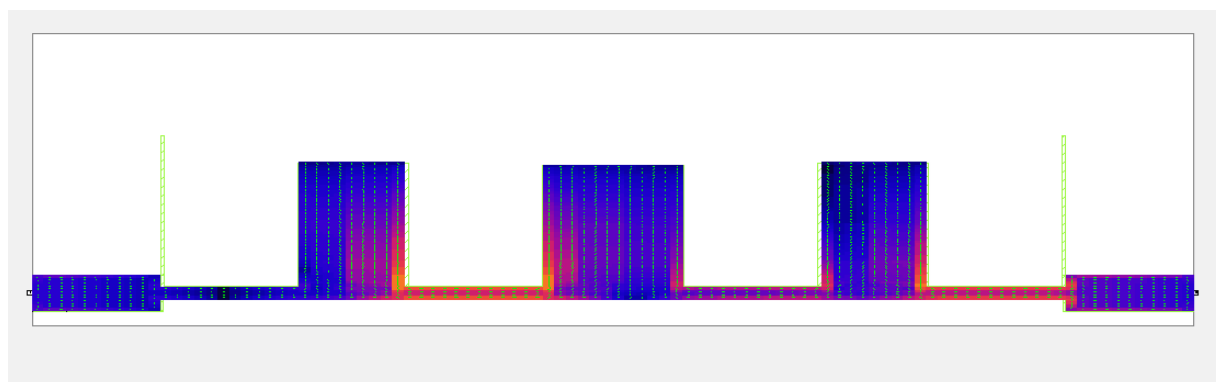


在 0——8GHz 范围内的仿真结果，从图中可以看出，当 0GHz 时，从匹配点开始反射系数增大，当频率在 0 到 2.2GHz 的变化过程中，仿真轨迹均在  $Z=1$  这个匹配点附近移动，因此，能量大部分可以传输出去。当频率大于 2.2GHz 时，我们发现轨迹点迅速失配，移向 Smith 圆图的最外圈，能量将不能从此滤波器传输出去，因此，该滤波器从总体上达到了设计上的要求。

**步骤五：**绘制 EM 图

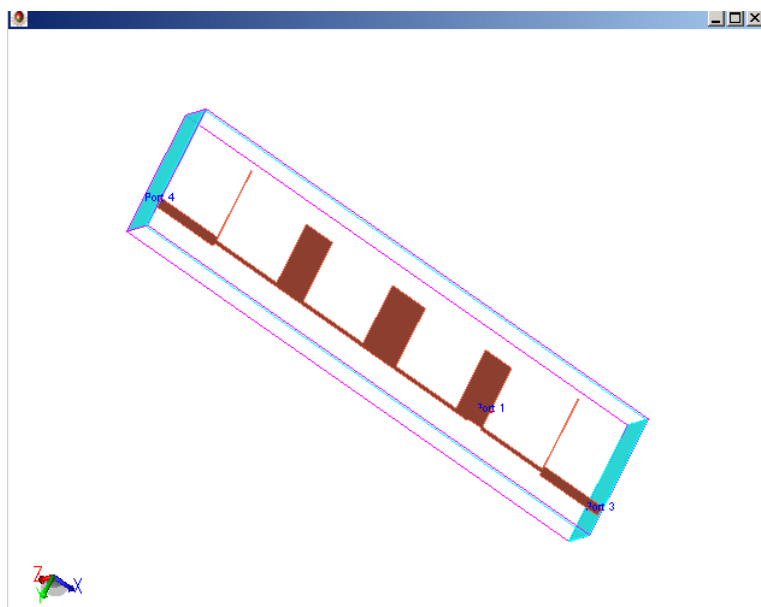


仿真得出 EM 板电磁流图如下图所示：



从图中可以清楚的观察到,滤波器中的电磁能量在输入输出端口不停的流动,表现为箭头不时的向某个方向流动,由黄色部分可以看出电磁能量在整个滤波器中流通,说明了成功的设计了低通滤波器。

使用 3Dview, 可得到:



## 2. 功分器的设计

### 2.1 设计要求

工作频率: 2.2GHz

功率分配比:  $P_1:P_2=1:1$

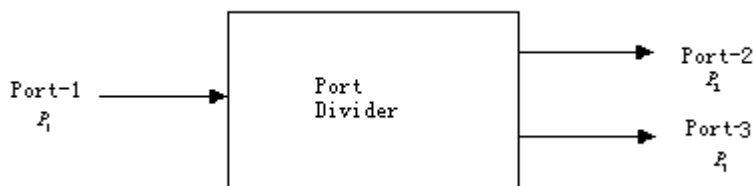
输入输出阻抗: 50 Ohm

### 2.2 设计原理

1. 在微波系统中,有时需要将传输功率分几路传送到不同的负载中去,或将几路功率合成为一路功率,以获得更大的功率。此时便需要应用三端口功率分配/合成元件。对这种元件的基本要求是损耗小、驻波比小、频带宽。

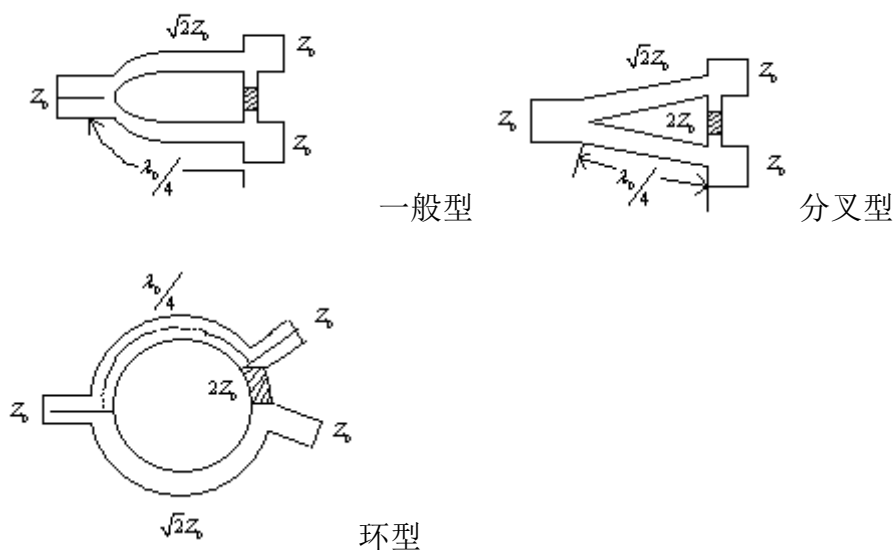
2. 功分器是三端口网络,信号输入端(PORT-1)的输入功率为  $p_1$ , 其他两个输出端(PORT-2 及 PORT-3)的输出功率分别为  $P_2$  及  $P_3$ 。由能量守恒定律知  $p_1 = P_2 + P_3$ 。

$$P_2 + P_3。$$



功分器大致可分为等分型 ( $P_2 = P_3$ ) 和比例型 ( $P_2 = K * P_3$ )。

常用的功分器有：

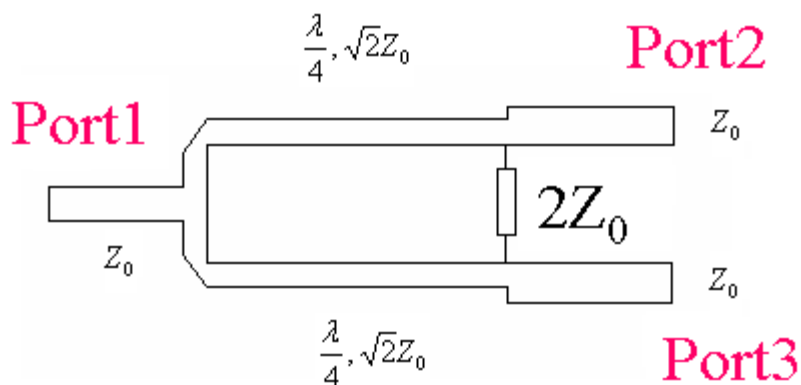


3. 威尔金森功分器是功分器的一种，可以做到完全匹配而且输出端口之间具有完全隔离的三端口网络，它可以实现任意的功分配比。可以很方便的用微带线或带状线来做，广泛应用于阵列天线馈电网络。

### 2.3 设计步骤：

**步骤一：** 等分威尔金森功分器的参数计算

等功分威尔金森功率分配器的模型如下图所示：



根据功率关系可求得如下设计方程：

$$Z_{03} = Z_0 \sqrt{\frac{1+K^2}{K^3}} = 70.7$$

$$Z_{02} = K^2 Z_{03} = Z_0 \sqrt{K(1+K^2)} = 70.7$$

$$R = Z_0 \left( K + \frac{1}{K} \right) = 100$$

$$R1=R2=50$$

其中  $K=1$ ， $Z_0=50 \text{ Ohm}$ ；

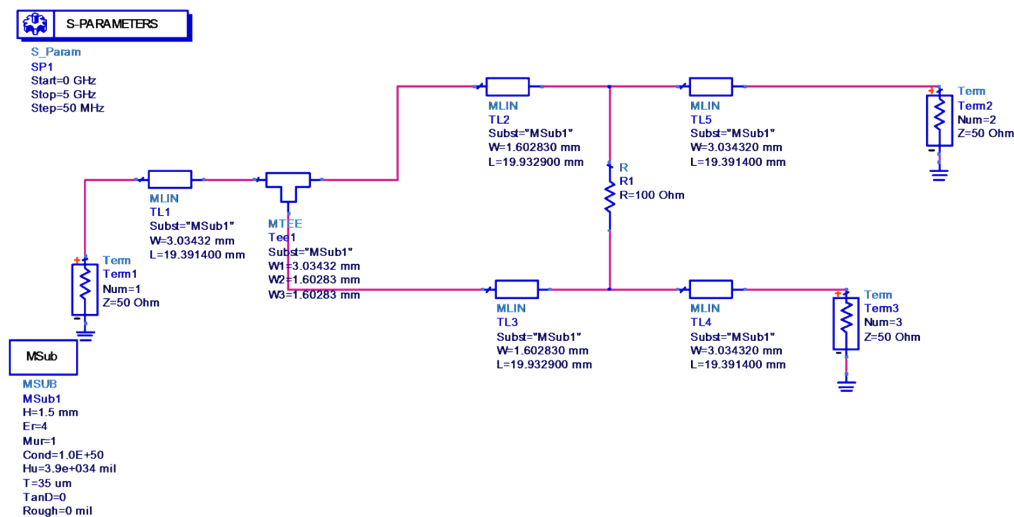
**步骤二：**用 ADS 软件计算微带线长度和宽度，画出原理图

将图中的  $R$ ,  $Z_{02}$ ,  $Z_{03}$  数据用 LineCalc 将相应的电阻值等效为微带线。

$\epsilon_r=4.000$ ， $H=1.5\text{mm}$ ， $T=35.000\mu\text{m}$ ， $\text{Freq}=2.2\text{GHz}$ ， $E_{\text{Eff}}=90.000\text{deg}$

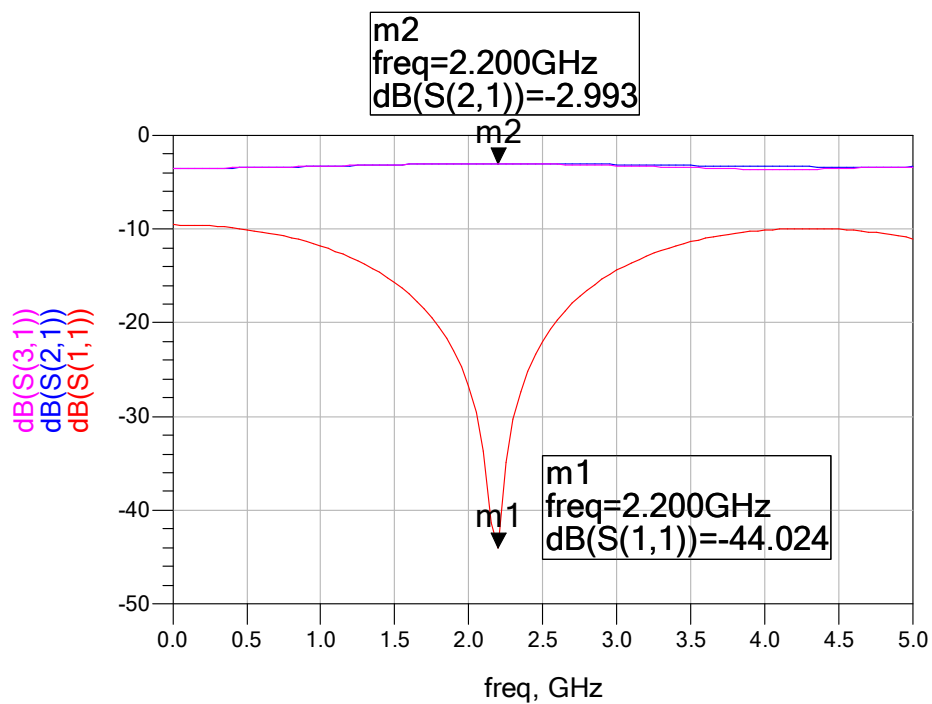
|                 | 阻抗值 (Ohm) | L 微带线长度 (mm) | W 微带线宽度 (mm) |
|-----------------|-----------|--------------|--------------|
| $Z_0$           | 50        | 19.391400    | 3.034320     |
| $Z_{02}/Z_{03}$ | 70.7      | 19.932900    | 1.602830     |

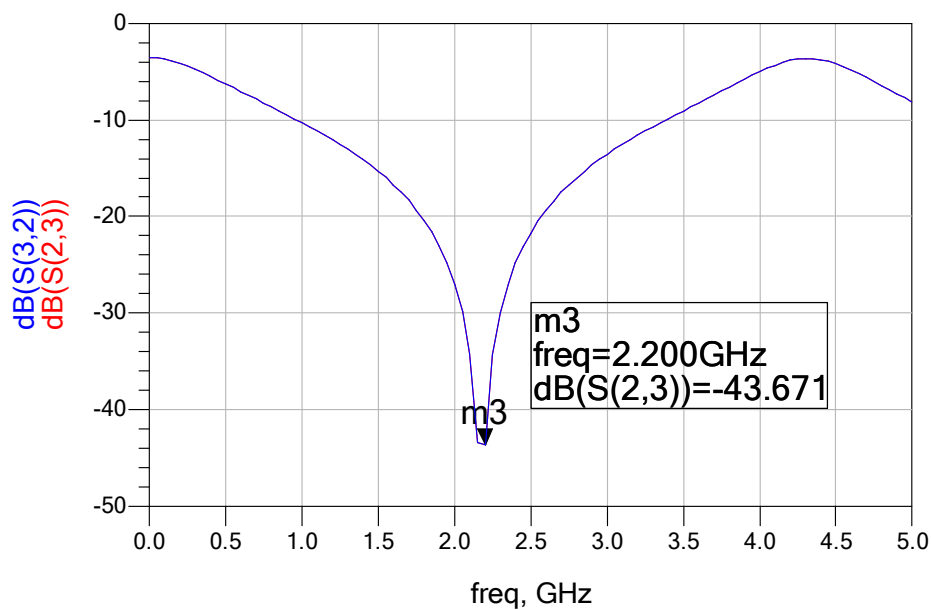
根据威尔金森功分器的结构绘制相应的原理图：



### 步骤三：对威尔金森功分器进行仿真

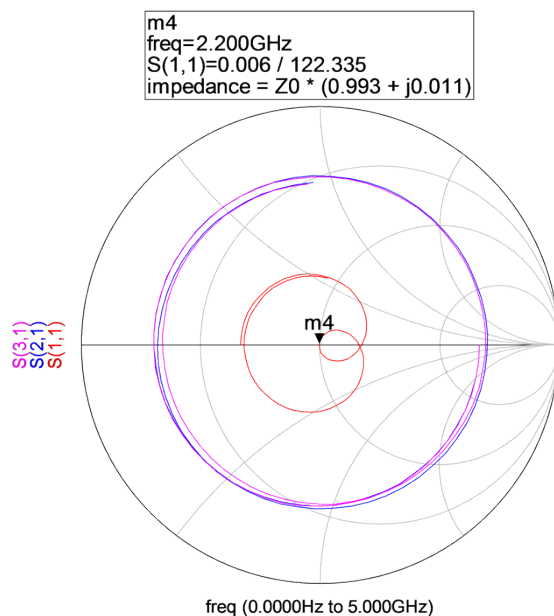
#### 1. S 参数仿真





从图中可以看出：在频率为 2.2GHz 的时候，S11 达到最小为-44.024dB，即在工作频率时输入端的反射系数最小，同时 S21=S31 左右，可以知道，设计的功分器刚刚好达到 1:1 的功分比，故设计初步达到要求。

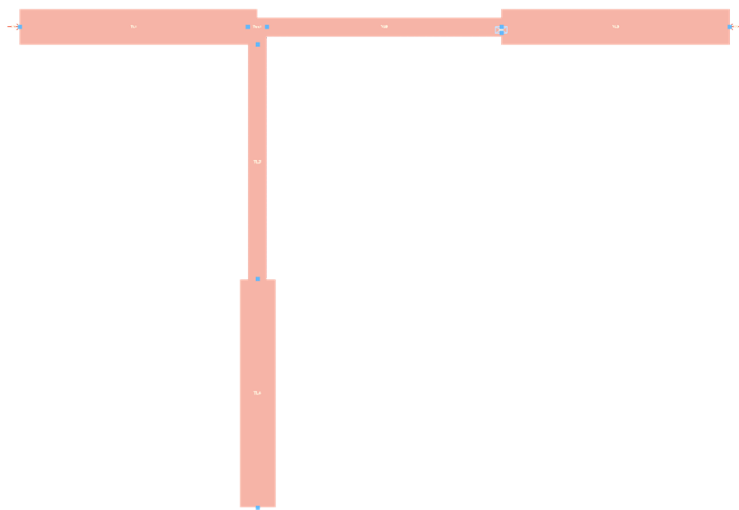
2. Smith 圆图仿真：



从图中可以观察到：在频率为 2GHz 的时候，输入输出端口刚好达到匹配。

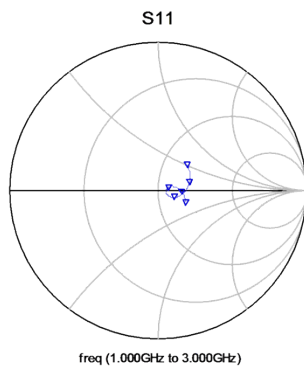
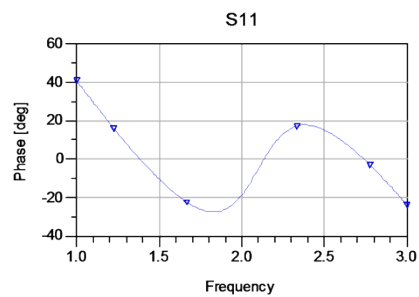
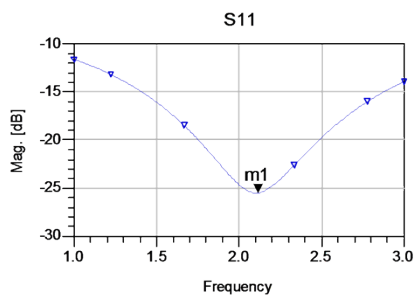
#### 步骤四：绘制 EM 图

1. 用快捷键 layout，得到 EM 板的平面图。



m1  
freq=2.115GHz  
dB(gonglvfenpei\_mom\_a..S(1,1))=-25.486

Wed Sep 07 2016 - Dataset: gonglvfenpei\_mom\_a



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/858063064104006062>