

东南大学微波与射频电路实验

实 验 报 告

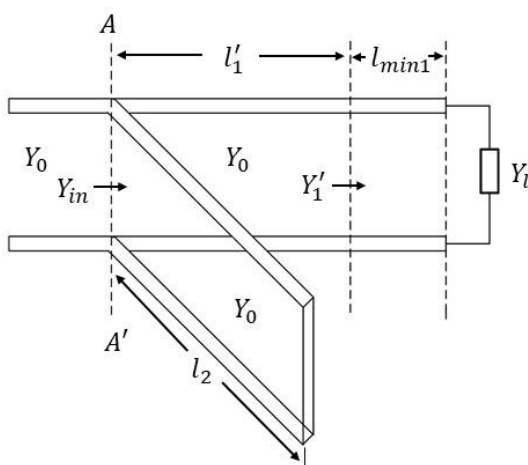
学号：04022212 姓名：钟源 2024 年 11 月 9 日

实验三 并联单分支匹配电路的计算机仿真分析

一、实验目的

掌握传输线端接任意负载时的并联单分支匹配电路设计。利用匹配基本公式或匹配基本原理，通过 matlab 进行编程分析，并作图输出。

二、实验原理



已知无耗传输线特性导纳为 Y_0 ，终端负载导纳为 Y_l ，长度为 l_2 的终端短路的单支节调配器并联于离负载 l_1 处，其特性导纳也为 Y_0 。

1. 写出第一电压波节点的位置 l_{min1} 的表达式，以及该点向负载看去的输入导纳 Y'_1 的表达式（需同时写出中心频点 和 与电长度 $(\theta$ 或 βl)相关的）。

$$\text{负载处反射系数 } \Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{Y_0 - Y_L}{Y_0 + Y_L} = |\Gamma_L| e^{j\phi_L}$$

$$\text{距负载最近的电压波节点位置 } l_{\min} = \frac{\lambda}{4\pi} \phi_L + \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda_0 f_0}{4\pi f} \phi_L + \frac{\lambda_0 f_0}{4f}$$

$$\text{该点向负载看去的输入导纳 } Y'_1 = \rho Y_0 = \frac{1 - |\Gamma_L|}{1 + |\Gamma_L|} Y_0$$

2. 写出终端短路的并联支节调配器的输入导纳 Y_{in2} ，以及参考面 AA' 处的输入导纳表达式（需同时写出中心频点 和 与电长度（ θ 或 βl ）相关的）。

$$Y_{in2} = -jY_0 \cot(\beta l_2) = -jY_0 \cot(\theta_2 \cdot \frac{f}{f_0})$$

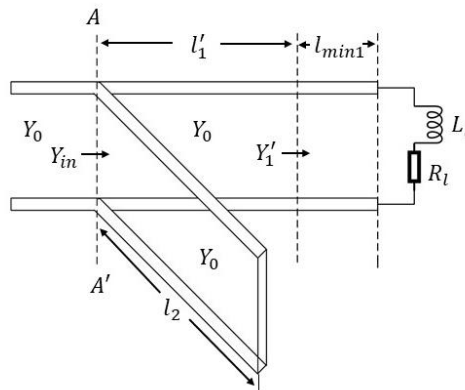
$$Y_{in(AA')} = Y_0 \frac{\rho Y_0 + jY_0 \tan(\beta l'_1)}{Y_0 + j\rho Y_0 \tan(\beta l'_1)} - jY_0 \cot(\beta l_2)$$

$$= Y_0 \frac{\rho Y_0 + jY_0 \tan(\theta'_1 \cdot \frac{f}{f_0})}{Y_0 + j\rho Y_0 \tan(\theta'_1 \cdot \frac{f}{f_0})} - jY_0 \cot(\theta_2 \cdot \frac{f}{f_0})$$

3. 写出 l'_1 和 l_2 的表达式。

$$\begin{aligned} \text{第一组解: } & \begin{cases} l'_1 = \frac{\lambda}{2\pi} \arctan \frac{1}{\rho} \\ l_2 = \frac{\lambda}{4} - \frac{\lambda}{2\pi} \arctan \frac{1-\rho}{\rho} \end{cases} \\ \text{第二组解: } & \begin{cases} l'_1 = -\frac{\lambda}{2\pi} \arctan \frac{1}{\rho} \\ l_2 = \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2\pi} \arctan \frac{1-\rho}{\rho} \end{cases} \end{aligned}$$

三、实验内容



实验任务：已知特性阻抗 $Z_0 = 50 \Omega$ 的均匀无耗传输线，终端接有一个电阻 $R_l = 10 \Omega$ 和一个电感 $L_l = 10 \text{ nH}$ ，工作频率为 0.6GHz 到 1.4GHz。

1. 根据匹配基本公式和匹配基本原理，采用 **matlab** 软件分别计算两个解的并联单分支线的长度 l_2 ，和串联传输线长度 l_1 ($l_1 = l'_1 + l_{min1}$)。

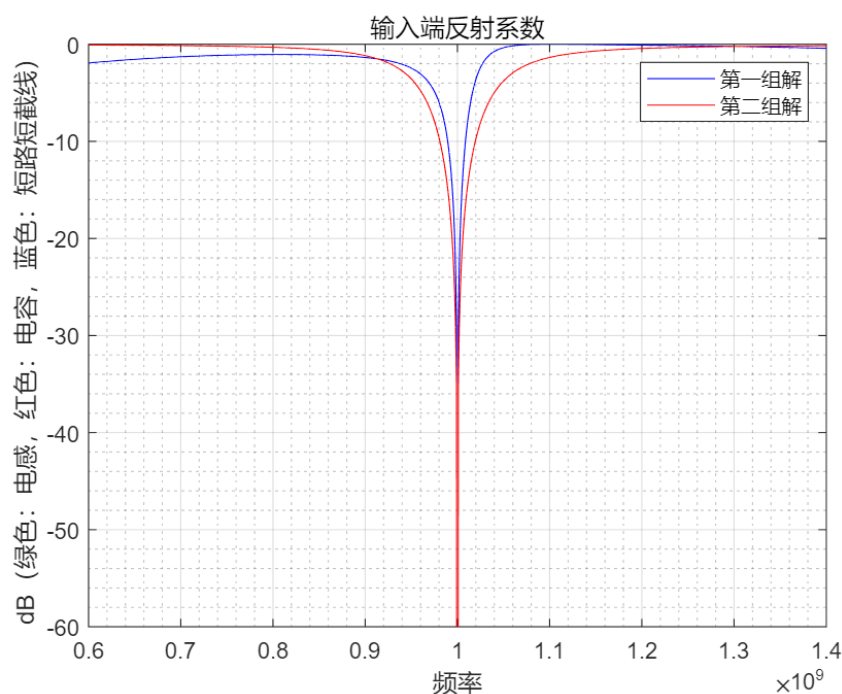
```
L11norm = 0.3988
L21norm = 0.45358276986746659531490877270699
L12norm = 0.3127
L22norm = 0.04642
```

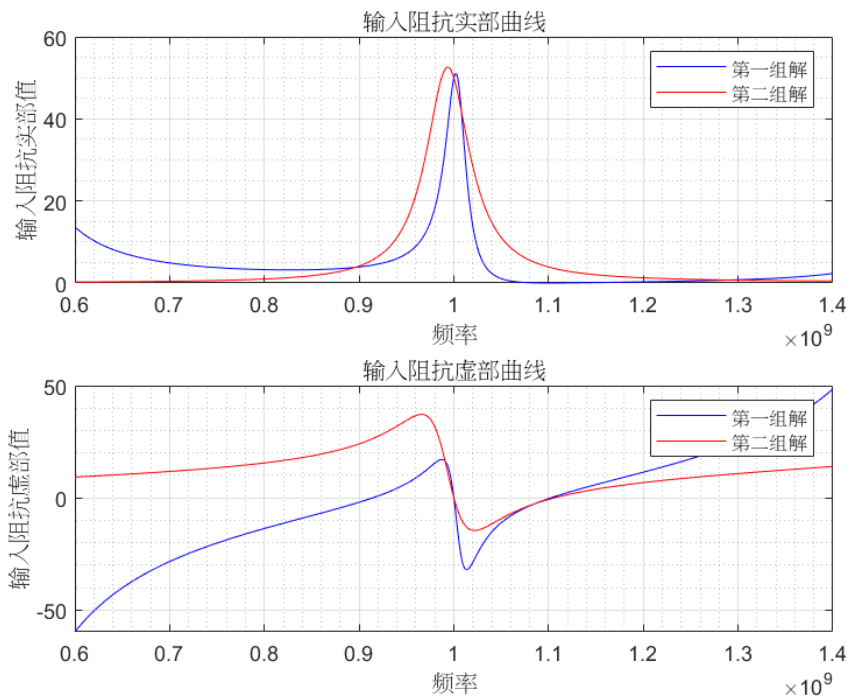
经 matlab 计算，得

第一组解： $l_{11} = 0.3988\lambda$ $l_{21} = 0.4536\lambda$

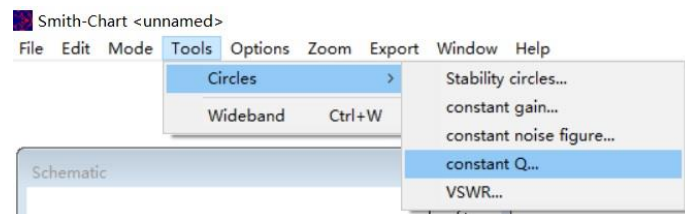
第二组解： $l_{12} = 0.3127\lambda$ $l_{22} = 0.0464\lambda$

2. 根据设计的匹配电路，利用 **matlab** 软件绘制两个解在参考面 AA' 处的输入阻抗 Z_{in} 的实部、虚部以及电压反射系数随频率变化的曲线。(频率间隔取 1MHz)



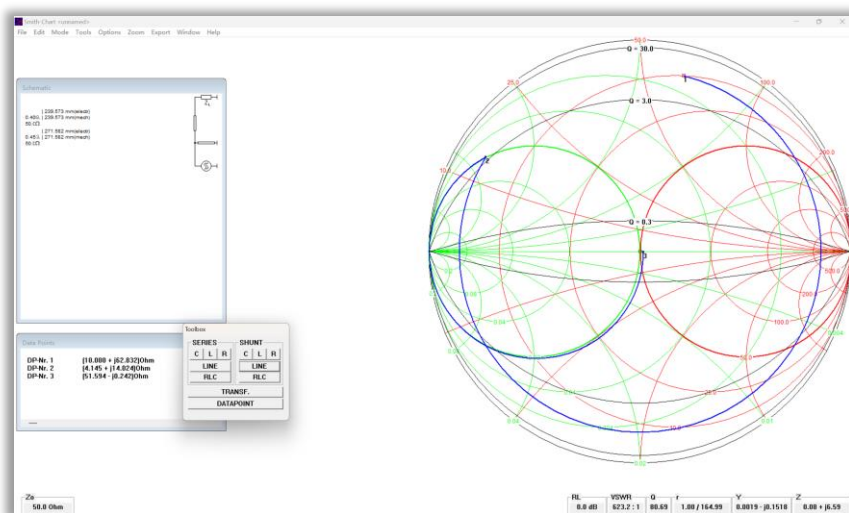


3. 利用 smith 圆图软件，绘制两个解在中心频点阻抗变换的轨迹，并指出两个解中的并联分支等效为电感还是电容。绘制曲线前请显示三个等 Q 曲线 ($Q=0.3$ 、 $Q=3$ 和 $Q=30$)。

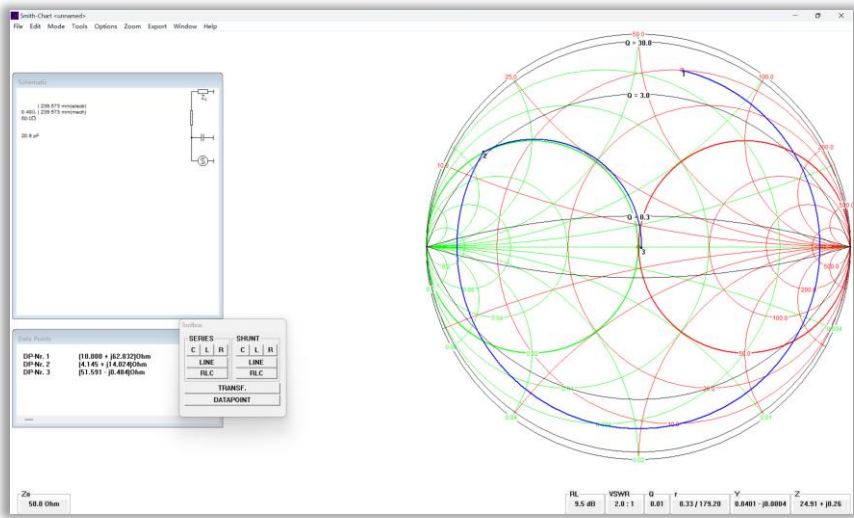


1) 在第一组解中，并联的分支等效为电容。

并联传输线：

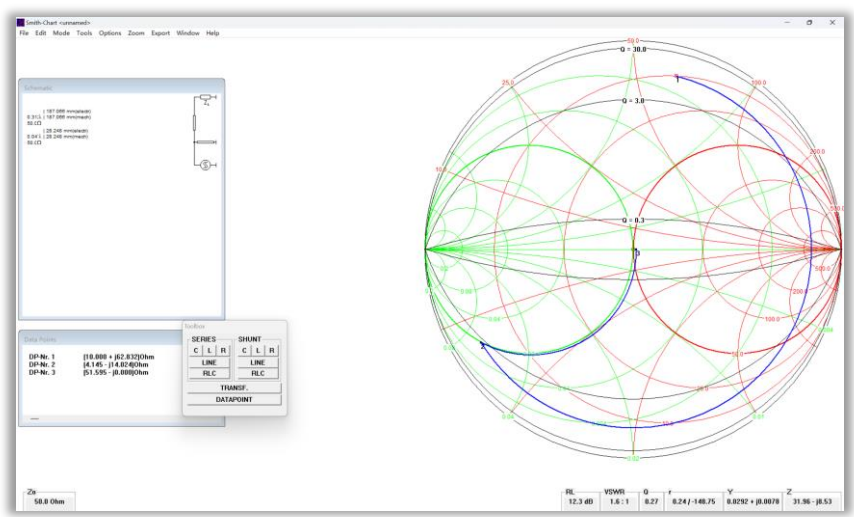


并联等效电容：

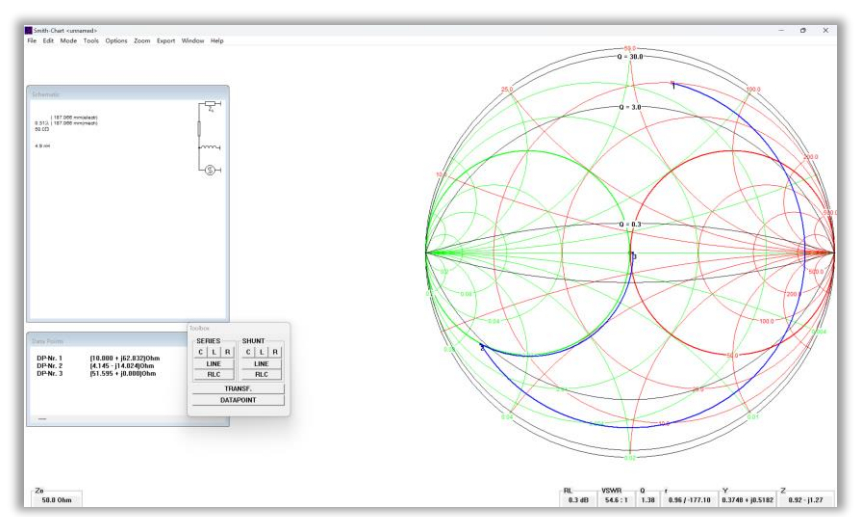


2) 在第二组解中，并联的分支等效为电感。

并联传输线：



并联等效电感：



四、实验结果分析与总结

1. 在实验结果分析中，发现第一组解的传输线长度相较于第二组解的对应传输线更长。然而，当频率发生偏移时，第二组解的反射系数模值增长速率较慢。这一现象表明，在较宽的频率范围内，第二组解的反射波幅度较低，从而展现出更优异的宽带特性，这使得第二组解更适合于宽带传输应用。

2. 对于任意给定负载，可以通过以下步骤优化传输线配置：首先，通过串联一段传输线，使得输入电抗的实部与传输线的特性电导相等（可能存在多种配置）。其次，为了抵消输入电抗的虚部，可以并联一段传输线。并联传输线的末端可以是开路或短路，两种配置所需的传输线长度相差四分之一波长。在串联和并联传输线的选择过程中，应优先考虑长度较短的配置，以增强传输线的带宽特性。

五、附件（程序清单）

```
clear;clc;
%%%%%%%%%%实验条件%%%%%%%%%%
Rl=10;
Ll=0.00000001;
f0=100000000;
Z0=50;
Y0=1/50;
%%%%%%%%%%公式代入%%%%%%%%%%
Zl0=Rl+Ll*f0*2*pi*1i;
Yl0=1/Zl0;
gamma_l0=(Zl0-Z0)/(Zl0+Z0);
rou=(1+abs(gamma_l0))/(1-abs(gamma_l0));
%%%%%%%%%%计算两组解%%%%%%%%%%
[L11norm,L21norm,L12norm,L22norm] = matching_sstub(Z0,Zl0)%调用
matching_sstub
%%%%%%%%%%计算频率范围与中心频点%%%%%%%%%%
f=f0.*(0.6:0.001:1.4);
theta1=L11norm.*2.*pi.*(f./f0);
theta2=L21norm.*2.*pi.*(f./f0);
theta3=L12norm.*2.*pi.*(f./f0);
theta4=L22norm.*2.*pi.*(f./f0);
%%%%%%%%%%输入阻抗初始化%%%%%%%%%%
Zin1=zeros(1,801);
Zin1=zeros(1,801);
Zin12=zeros(1,801);
Zin2=zeros(1,801);
%%%%%%%%%%获得不同频率下的各参数%%%%%%%%%%
```

```

Zl=Rl+1i*Ll.*2.*pi.*f;
for j=1:801
    Zin11(j)=add_serline(Z0, theta1(j), Zl(j));
    Zin1(j) = add_parsstub(Z0, theta2(j), Zin11(j));
    Zin12(j)=add_serline(Z0, theta3(j), Zl(j));
    Zin2(j) = add_parsstub(Z0, theta4(j), Zin12(j));
end
gamma1=(Zin1-Z0)./(Zin1+Z0);
gamma2=(Zin2-Z0)./(Zin2+Z0);
amp1=20*log10(abs(gamma1));
amp2=20*log10(abs(gamma2));
%% 反射系数频率响应曲线绘制
err = 1e-9;
%单分支并联短截线的两个解
figure(1);
plot(f,20*log10(abs(gamma1)+err),'b'); %第一解反射系数曲线模值频率特性
hold on;
plot(f,20*log10(abs(gamma2)+err),'r'); %第二解反射系数曲线模值频率特性
hold on;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
title('输入端反射系数');
legend("第一组解","第二组解");
xlabel('频率');
ylabel('dB (绿色: 电感, 红色: 电容, 蓝色: 短路短截线) ');
ylim([-60 0]);
grid on; grid minor;
%% 输入阻抗频率响应曲线绘制
figure(2);
subplot(2,1,1);
plot(f,real(Zin1),'b'); %输入阻抗实部频率特性
hold on
plot(f,real(Zin2),'r');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
title('输入阻抗实部曲线');
legend("第一组解","第二组解");
xlabel('频率');
ylabel('输入阻抗实部值');
grid on; grid minor;
subplot(2,1,2) %输入阻抗虚部频率特性
plot(f,imag(Zin1),'b');
hold on
plot(f,imag(Zin2),'r');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
title('输入阻抗虚部曲线');
legend("第一组解","第二组解");
xlabel('频率');
ylabel('输入阻抗虚部值');
grid on; grid minor;

```

- 函数 **matching_sstub**

```
function [L11norm,L21norm,L12norm,L22norm] = matching_sstub(Z0,Zl0)
syms x1 x2;
gamma_0=(Zl0-Z0)/(Zl0+Z0);
phase=angle(gamma_0);
length_0=phase/4/pi+1/4;%负载与第一个波节点的距离（归一化波长）
rou=(1+abs(gamma_0))/(1-abs(gamma_0));
eq1=(x1-rou.^2.*x1)./(1+rou.^2.*(x1.^2))-x2;
eq2=(rou+rou.*(x1.^2))./(1+rou.^2.*(x1.^2))-1;
[x1,x2]=solve(eq1,eq2,x1,x2);
x3(1)=vpa(x1(1),4);
x3(2)=vpa(x1(2),4);
x4(1)=vpa(x2(1),4);
x4(2)=vpa(x2(2),4);
L11norm=length_0+atan(x3(1))/2/pi;
L21norm=acot(x4(1))/2/pi;
L12norm=length_0+atan(x3(2))/2/pi;
L22norm=acot(x4(2))/2/pi;
L11norm=vpa(L11norm,4);
L12norm=vpa(L12norm,4);
L21norm=vpa(L21norm,4);
L22norm=vpa(L22norm,4);
if L11norm>=0.5 L11norm=L11norm-0.5;
end
if L12norm>=0.5 L12norm=L11norm-0.5;
end
if L21norm>=0.5 L21norm=L11norm-0.5;
end
if L22norm>=0.5 L22norm=L11norm-0.5;
end
if L11norm<0 L11norm=L11norm+0.5;
end
if L12norm<0 L12norm=L12norm+0.5;
end
if L21norm<0 L21norm=L21norm+0.5;
end
if L22norm<0 L22norm=L22norm+0.5;
end
end
```

- 函数 **add_serline**

```
function Zin = add_serline(Z0, theta, ZL)
Zin=Z0.*(ZL.*cos(theta)+Z0.*sin(theta)*1i)./(Z0.*cos(theta)+ZL.*sin(theta)*1i);
end
```


- 函数 **add_parsstub**

```
function Zin = add_parsstub(Z0, theta, ZL)
Zin1 = Z0.*1i.*tan(theta);
Zin = Zin1.*ZL./(Zin1 + ZL);
end
```