

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 16 日

实验四 采用集总参数元件实现阻抗匹配的原理与仿真实验

一、实验目的

理解采用 Smith 圆图进行阻抗匹配的基本原理；利用 Smith 圆图软件，掌握采用集总参数元件（L、C）进行阻抗匹配的基本方法。

二、实验原理

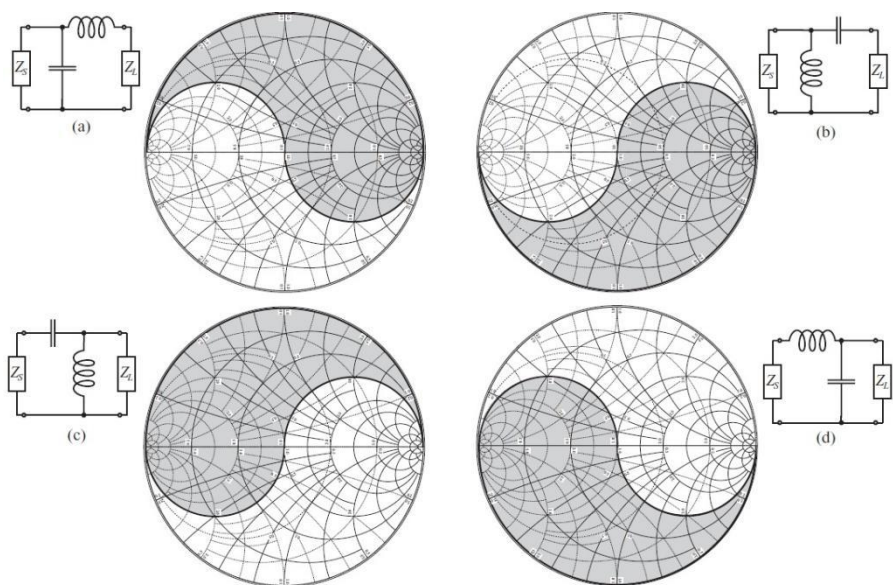
识别 Smith 圆图中的等电阻圆和等电导圆（特别是 $r=1$ 的等电阻圆和 $g=1$ 的等电导圆，理解其在集总参数元件匹配电路中的作用。

1. 串联电抗，沿等电阻圆移动。顺时针（电抗代数值增大）逆时针（电抗代数值减小）。

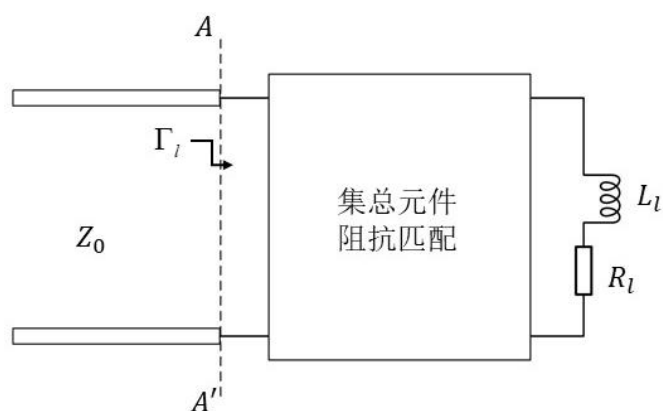
2. 并联电纳，沿等电导圆移动。顺时针（电纳代数值增大）逆时针（电纳代数值减小）。

3. 阻抗点向上半平面移动，电感性增强，向下半平面移动，电容性增强。

4. 匹配禁区：如果源阻抗 $Z_s=Z_0$ ，当负载 Z_L 落入灰色区域（死区），相应的 L 型电路不能完成匹配，即从 Z_L 到 Z_s^* 的变化。



三、实验内容

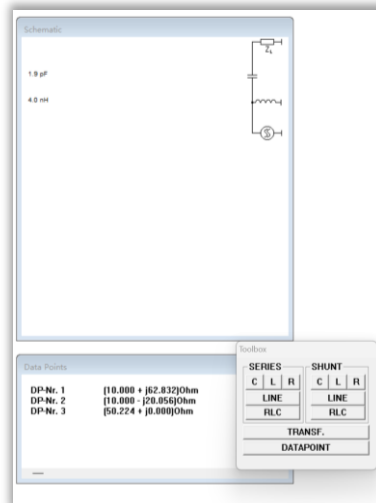


实验任务：已知特性阻抗 $Z_0 = 50 \Omega$ 的均匀无耗传输线，终端接有一个电阻 $R_l = 10 \Omega$ 和一个电感 $L_l = 10 \text{ nH}$ ，工作频率为 0.6GHz 到 1.4GHz。

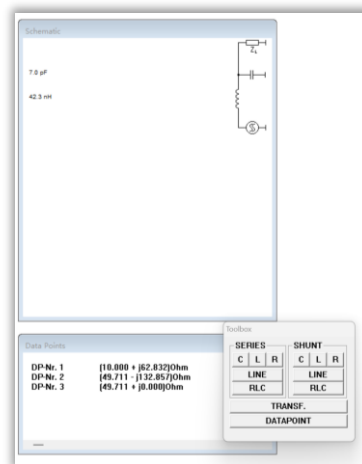
1. 利用 Smith 圆图软件，在中心频点，采用集总元件（L、C）设计两种阻抗匹配电路。

画出这两种电路拓扑结构，并给出元件值；

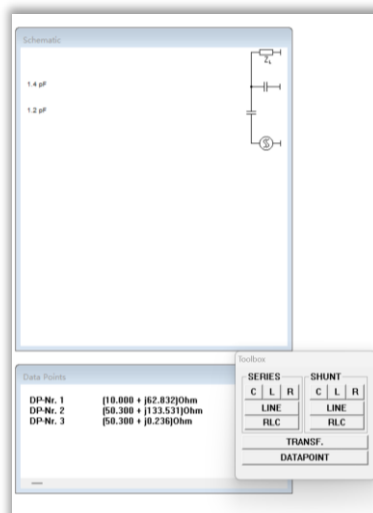
结构一（先串电容，再并电感）：



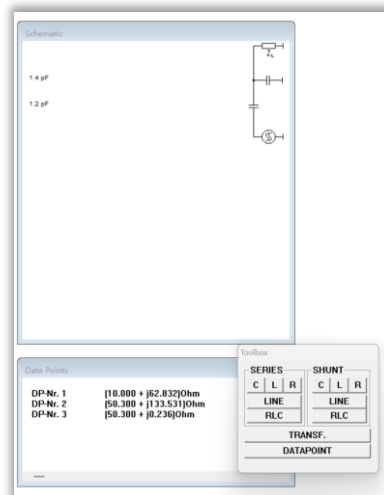
结构二（先并电容，再串电感）：



结构三（先串电容，再并电容）：



结构四（先并电容，再串电容）：



写出这两种电路在参考面AA'处的输入阻抗 Z_{in} 和反射系数 Γ_{in} 的表达式

结构一（先串电容，再并电感）：

$$Z_{in} = \left[Z_L + \left(\frac{1}{j\omega C_1} \right) \right] \parallel (j\omega L_1)$$

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

结构二（先并电容，再串电感）：

$$Z_{in} = \left[Z_L \parallel \left(\frac{1}{j\omega C_2} \right) \right] + (j\omega L_2)$$

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

结构三（先串电容，再并电容）：

$$Z_{in} = \left[Z_L + \left(\frac{1}{j\omega C_3} \right) \right] \parallel \left(\frac{1}{j\omega C_4} \right)$$

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

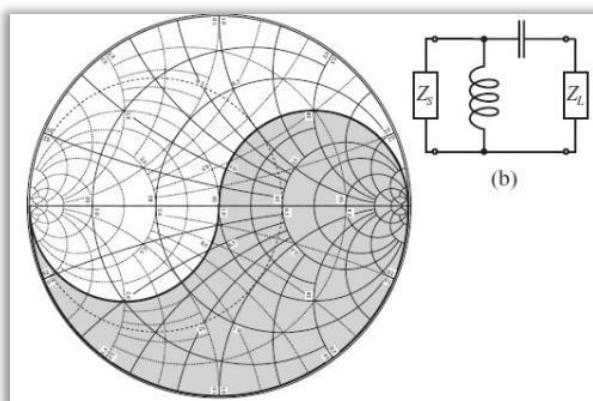
结构四（先并电容，再串电容）：

$$Z_{in} = \left[Z_L // \left(\frac{1}{j\omega C_5} \right) \right] + \left(\frac{1}{j\omega C_6} \right)$$

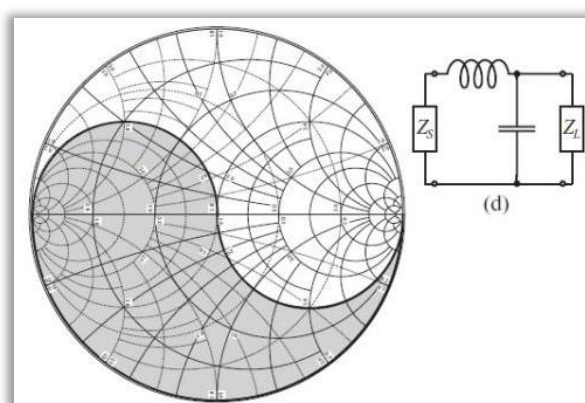
$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

画出这两种电路的匹配禁区（死区）图

结构一（先串电容，再并电感）：

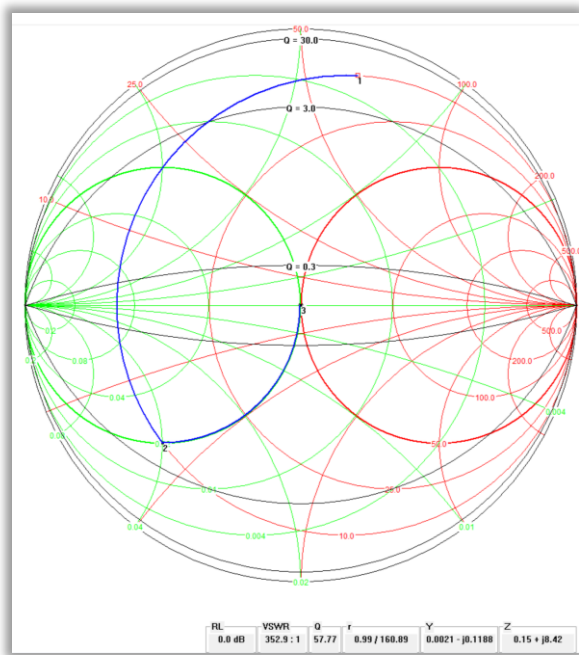


结构二（先并电容，再串电感）：

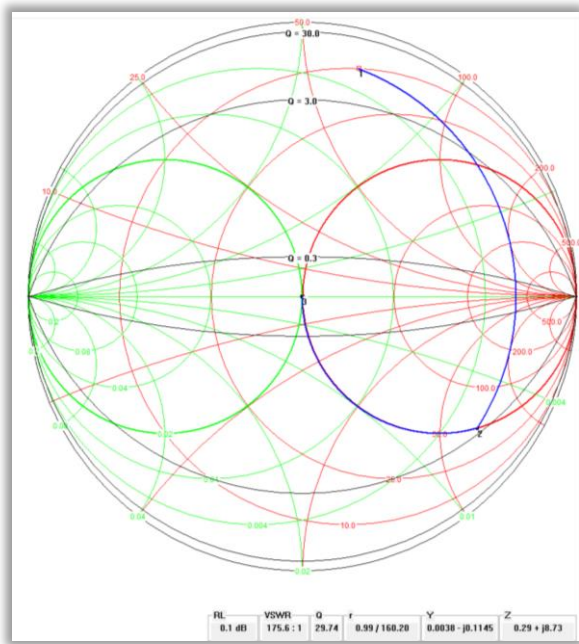


绘制两种电路在中心频点阻抗变换的轨迹，绘制曲线时要显示三个等 Q 曲线（Q=0.3、Q=3 和 Q=30）。

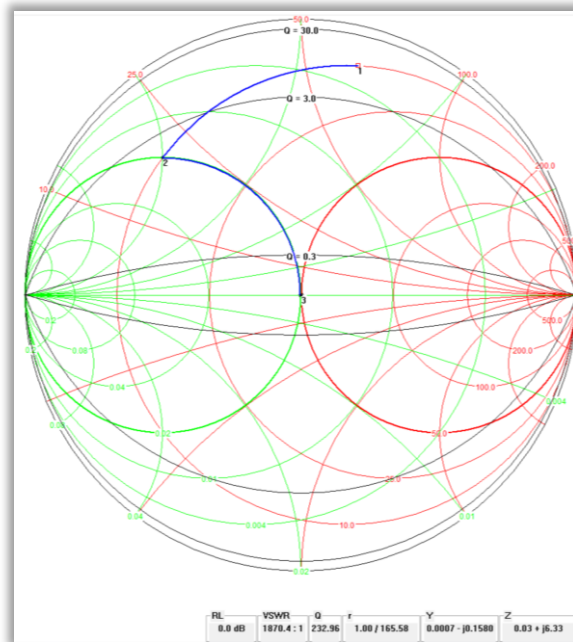
结构一（先串电容，再并电感）：



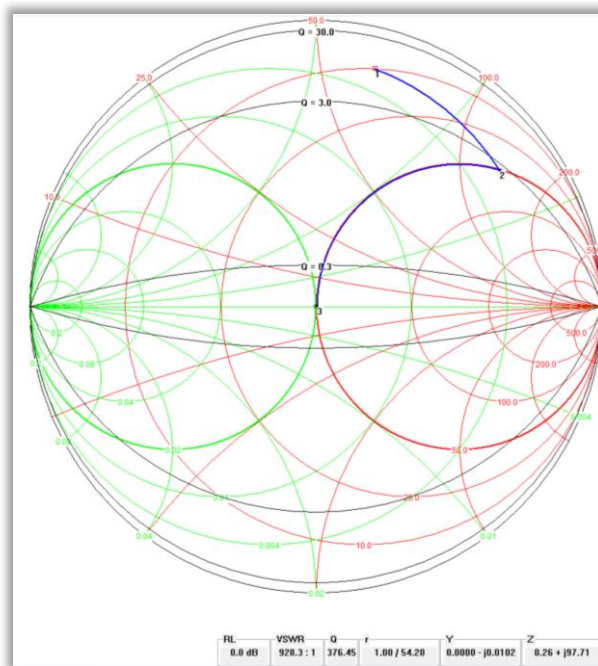
结构二（先并电容，再串电感）：



结构三（先串电容，再并电容）：

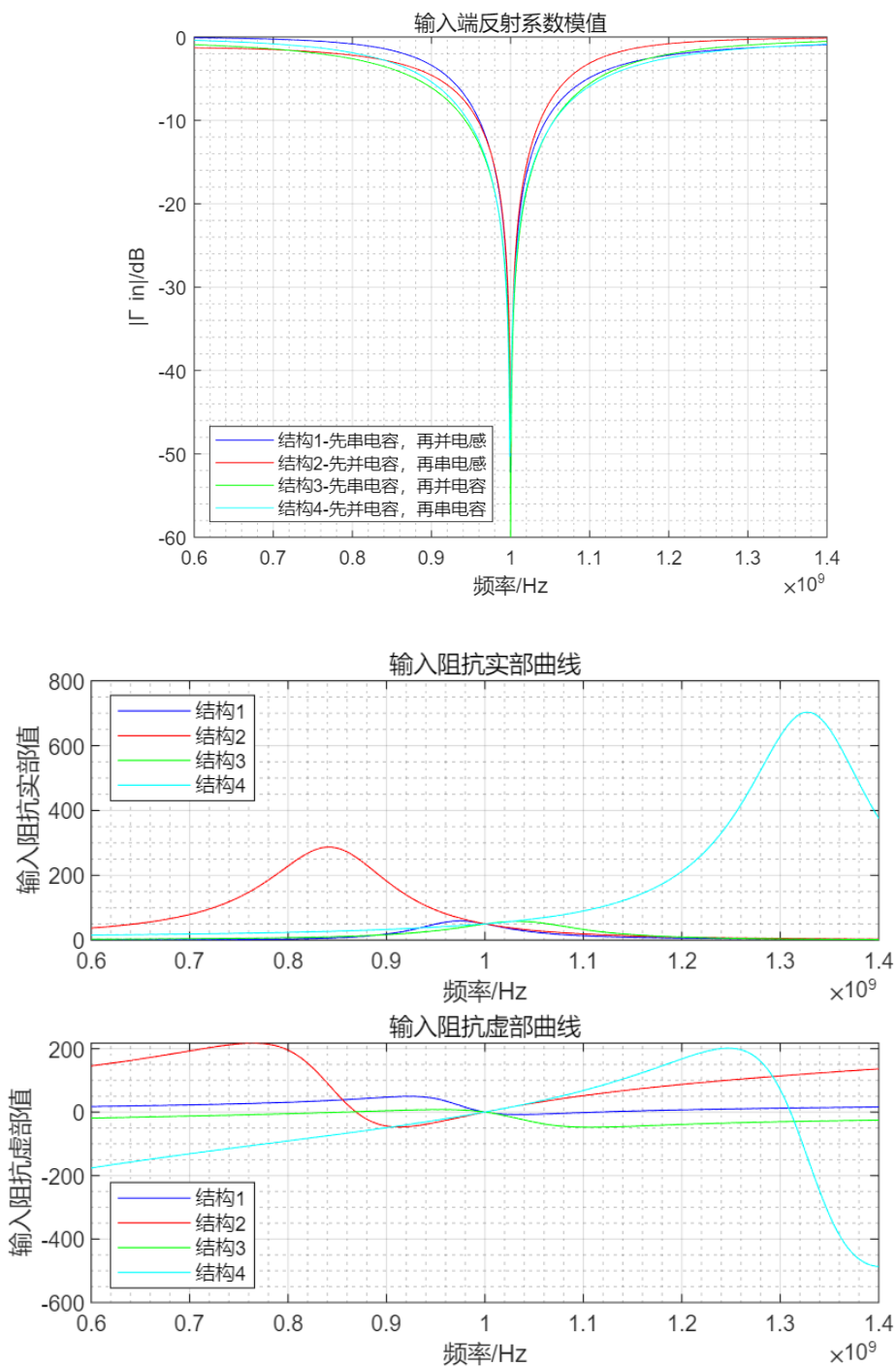


结构四（先并电容，再串电容）：



- 根据设计的匹配电路，利用 matlab 软件绘制参考面AA'处的输入阻抗 Z_{in} 的实部、虚部以及电压反射系数模值随频率变化的曲线。（频率间隔取 1MHz）。

请采用前期实验的绘图语句



四、实验结果分析与总结

简述本次实验匹配的原理过程。结合两个解在圆图上的阻抗轨迹，比较两个解的带宽，简要分析原因。

1. 实验原理简述：

得到原始阻抗点 Z_L 后

- 1) 先串电容，沿等电阻圆逆时针旋转到 $0.02S$ 等电导圆上，再并电感，沿 $0.02S$ 等电导圆逆时针旋转到匹配点；
- 2) 先并电容，沿等电导圆顺时针旋转到 50Ω 等电阻圆上，再串电感，沿 50Ω 等电阻圆顺时针旋转到匹配点；
- 3) 先串电容，沿等电阻圆逆时针旋转到 $0.02S$ 等电导圆上，再并电容，沿 $0.02S$ 等电导圆顺时针旋转到匹配点；
- 4) 先并电容，沿等电导圆顺时针旋转到 50Ω 等电阻圆上，再串电容，沿 50Ω 等电阻圆逆时针旋转到匹配点。

2. 带宽特性比较：

首先串联电容器后并联电感器的电路配置（方案一）所展现的带宽较之于先串联电容器再并联电容器的配置（方案三）为宽，然而与先并联电容器后串联电感器的配置（方案二）相比，其带宽则相近。

进一步分析表明，方案三在 Smith 圆图上的路径长度较方案一和方案二为短，而方案一和方案二在 Smith 圆图上的路径长度则较为接近。在电路理论中，路径长度的长短直接影响电路中的电抗或电纳值，进而影响电路的带宽。具体而言，路径越长，所需的串联电抗或并联电纳值越大，这将导致电路带宽的减小，即在反射系数低于某一特定值时，对应的频率范围也随之缩小。

五、附件（程序清单）

```
clear;clc;
```

- 实验计算

```
%%%%%%%%%%实验条件%%%%%%%%%%  
f0=1000000000;  
Z0=50;
```

```

omega0=2*pi*f0;
L=0.00000001;
ZL0=10+1i*2*pi*f0*L;
%%%%%%%%%频带（转成数组形式）%%%%%%%%%
alpha=0.6:0.001:1.4;
f=f0.*alpha;
omega=2.*pi.*f0.*alpha;
ZL=10+1i.*2.*pi.*f.*L;
%%%%%%%%%由圆图得到电路设计%%%%%%%%%
%结构1-先串电容，再并电感
C1=1.920*10^(-12);
L1=3.986*10^(-9);
Zin1=add_sericap(C1, omega, ZL);
Zin2=add_parind(L1,omega,Zin1);
gamma1=(Zin2-Z0)./(Zin2+Z0);
%结构2-先并电容，再串电感
C2=3.5140*10^(-12);
L2=21.252*10^(-9);
Zin3=add_paricap(C2, omega, ZL);
Zin4=add_serind(L2, omega, Zin3);
gamma2=(Zin4-Z0)./(Zin4+Z0);
%结构3-先串电容，再并电容
C3=3.714*10^(-12);
C4=6.370*10^(-12);
Zin5=add_sericap(C3, omega, ZL);
Zin6=add_paricap(C4,omega,Zin5);
gamma3=(Zin6-Z0)./(Zin6+Z0);
%结构4-先并电容，再串电容
C5=1.427*10^(-12);
C6=1.194*10^(-12);
Zin7=add_paricap(C5,omega,ZL);
Zin8=add_sericap(C6, omega, Zin7);
gamma4=(Zin8-Z0)./(Zin8+Z0);

```

- 绘制图像

```

%% 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;
plot(f,20*log10(abs(gamma3)+err),'g'); %第一解反射系数曲线模值频率特性
hold on;
plot(f,20*log10(abs(gamma4)+err),'c'); %第二解反射系数曲线模值频率特性
hold on;
%%%%%%%%%

```

```

title('输入端反射系数模值');
lgd=legend("结构 1-先串电容, 再并电感","结构 2-先并电容, 再串电感","结构 3-先
串电容, 再并电容","结构 4-先并电容, 再串电容");
lgd.Location = 'southwest';
xlabel('频率/Hz');
ylabel('| $\Gamma_{in}$ |/dB');
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(Zin2),'b'); %输入阻抗实部频率特性
hold on
plot(f,real(Zin4),'r');
hold on
plot(f,real(Zin6),'g');
hold on
plot(f,real(Zin8),'c');
%%%%%%%%%%%%%%
title('输入阻抗实部曲线');
lgd=legend("结构 1","结构 2","结构 3","结构 4");
lgd.Location = 'northwest';
xlabel('频率/Hz');
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(Zin2),'b');
hold on
plot(f,imag(Zin4),'r');
hold on
plot(f,imag(Zin6),'g');
hold on
plot(f,imag(Zin8),'c');
%%%%%%%%%%%%%%
title('输入阻抗虚部曲线');
lgd=legend("结构 1","结构 2","结构 3","结构 4");
lgd.Location = 'southwest';
xlabel('频率/Hz');
ylabel('输入阻抗虚部值');
grid on; grid minor;

```

- 函数 add_parcap, 阻抗 Z_L 串联电感 L

```

function [Zin] = add_parcap(cap, omiga, ZL)
    Z_temp=-1i./cap./omiga;
    Zin=Z_temp.*ZL./(Z_temp+ZL);
end

```

- 函数 **add_parind**, 阻抗 **Z_L** 串联电容 **C**

```
function [Zin] = add_parind(ind, omiga, ZL)
    Z_temp=1i.*ind.*omiga;
    Zin=Z_temp.*ZL./(Z_temp+ZL);
end
```

- 函数 **add_sericap**, 阻抗 **Z_L** 并联电感 **L**

```
function [Zin] = add_sericap(cap, omiga, ZL)
    Zin = ZL - 1i./omiga./cap;
end
```

- 函数 **add_serind**, 阻抗 **Z_L** 并联电容 **C**

```
function [Zin] = add_serind(ind, omiga, ZL)
    Zin = ZL + 1i.*omiga.*ind;
end
```