

实验报告

第 8 次实验

评定成绩: _____ 审阅教师: _____

一、实验目的

- (1) 运用欧姆定律和元件的阻抗特性解决实际问题。
- (2) 学会根据需要在选择激励源的类型、设定频率的高低，简化测量过程、提高测量精度。
- (3) 尝试从分析任务要求着手，应用已经学习过的知识，寻找解决问题的方法；同时也希望拓宽视野，体验解决问题方法的多样性。学习体验“分析任务-调查研究-设计电路-构建平台-实验测试-总结分析”的科学研究方法。

二、实验原理（预习报告内容，如无，则简述相关的理论知识点。）

- (1) 至少一个电阻条件下，枚举由 R、L、C 所有可能构成的“Y”型网络，分析每种可能网络各端口之间（1-2，2-3，1-3）的直流特性和交流特性（交流阻抗、幅度-频率，相位-频率）；

Y 型	直流	交流	$f- H(j\omega) $	$f-\angle H(j\omega)$
RRL	12: R_1+R_2 13: R_1+R 23: R_2+R	R_1+R_2 $R_1+j\omega L$ $R_2+j\omega L$	无影响 ↑↑ ↓ ↑↑ ↓	无影响 ↑↑ ∠↑ } 电压超前 ↑↑ ∠↑
RRC	12: R_1+R_2 13: ∞ 23: ∞	R_1+R_2 $R_1-j\frac{1}{\omega C}$ $R_2-j\frac{1}{\omega C}$	无 ↑↑ ↓↓ ↑↑ ↓↓	无 ↑↑ ∠↓ } 电压滞后 ↑↑ ∠↓
RL	12: R_1+R_2 13: R_1+R_2 23: R_1+R_2	$R_1+j\omega L_1$ $R_2+j\omega L_2$ $j\omega L_1+j\omega L_2$	↑↑ ↓ ↑↑ ↓ ↑↑ ↓	↑↑ ∠↑ } 电压超前 ↑↑ ∠↑ } 电压超前 电压超前 90°
RCL	12: ∞ 13: ∞ 23: ∞	$R_1-j\frac{1}{\omega C_1}$ $R_2-j\frac{1}{\omega C_2}$ $-j\frac{1}{\omega C_1}-j\frac{1}{\omega C_2}$	↑↑ ↓↓ ↑↑ ↓↓ ↑↑ ↓	↑↑ ∠↓ } 电压滞后 ↑↑ ∠↓ } 电压滞后 电压滞后 90°
RLC	12: ∞ 13: R_1+R 14: ∞	$R_1-j\frac{1}{\omega C}$ $R_1+j\omega L$ $-j\frac{1}{\omega C}+j\omega L$	↑↑ ↓ ↑↑ ↓ ↑↑ ∠	↑↑ ∠↓ } 电压滞后 ↑↑ ∠↑ } 电压超前 ↑↑ 90° } 电压超前 90° -90° 40° 90°

(2) 至少一个电阻条件下, 枚举由 R、L、C 所有可能的“△”型网络, 分析每种可能网络各端口之间(1-2, 2-3, 1-3)的直流特性和交流特性(交流阻抗、幅度-频率, 相位-频率);

	$\begin{array}{l} 12: R_1 \parallel (R_2 + j\omega L_1) \\ 13: R_1 \parallel (R_2 + j\omega L_1) \\ 23: R_2 \parallel (R_1 + j\omega L_1) \end{array}$	$\begin{array}{l} \text{交流} \\ R_1 \parallel (R_2 + j\omega L_1) \\ R_2 \parallel (R_1 + j\omega L_1) \\ R_2 \parallel (R_1 + j\omega L_1) \end{array}$	$\begin{array}{l} + - H \\ + - \angle H \end{array}$
	$\begin{array}{l} 12: R_1 \\ 13: R_2 \\ 23: R_1 + R_2 \end{array}$	$\begin{array}{l} R_1 \parallel (R_2 - j\frac{1}{\omega C_1}) \\ R_2 \parallel (R_1 - j\frac{1}{\omega C_1}) \\ (R_1 + R_2) \parallel (-j\frac{1}{\omega C_1}) \end{array}$	
	$\begin{array}{l} 12: R_1 \\ 13: \infty \\ 23: \infty \end{array}$	$\begin{array}{l} R_1 \parallel (-j\frac{1}{\omega C_1} - j\frac{1}{\omega C_2}) \\ -j\frac{1}{\omega C_1} \parallel (R_1 - j\frac{1}{\omega C_2}) \\ -j\frac{1}{\omega C_2} \parallel (R_1 - j\frac{1}{\omega C_1}) \end{array}$	
	$\begin{array}{l} 12: 0 \\ 13: 0 \\ 23: 0 \end{array}$	$\begin{array}{l} R_1 \parallel (j\omega L_1 + j\omega L_2) \\ j\omega L_1 \parallel (R_1 + j\omega L_2) \\ j\omega L_2 \parallel (R_1 + j\omega L_1) \end{array}$	
	$\begin{array}{l} 12: R_1 \\ 13: R_1 \\ 23: 0 \end{array}$	$\begin{array}{l} R_1 \parallel (j\omega L_1 - j\frac{1}{\omega C_1}) \\ (R_1 + j\omega L_1) \parallel -j\frac{1}{\omega C_1} \\ j\omega L_1 \parallel (R_1 - j\frac{1}{\omega C_1}) \end{array}$	

(3) 复习元件参数测量、三电压法测交流阻抗测量、电路频率响应实验的相关内容;

(4) 复习 RLC 串联谐振相关知识及串联判断测量方法; 查找资料, 了解 RLC 并联谐振相关知识及并联谐振判断测量方法。

RLC 串联谐振是指在一个由电阻 R、电感 L 和电容 C 串联组成的电路中, 当交流电源的频率等于电路的固有频率时, 电路中的电流达到最大值, 电路的阻抗为纯电阻, 电流和电压同相的现象。RLC 串联谐振的条件是 $\omega L = 1/\omega C$, 其中 ω 为角频率, L 为电感, C 为电容。RLC 串联谐振的特点是电路的品质因数 $Q = \omega L/R$, 表示电路的选择性和能量损耗的程度, Q 越大, 电路的选择性越高, 能量损耗越小。RLC 串联谐振的测量方法有以下几种:

电桥法: 利用电桥的平衡条件, 测量电路的谐振频率和品质因数。电桥法的优点是精度高, 缺点是需要调节电桥的平衡, 操作繁琐。

示波器法: 利用示波器显示电路的电压和电流的波形, 测量电路的谐振频率和品质因数。示波器法的优点是直观, 缺点是受示波器的性能和分辨率的影响。

频率计法: 利用频率计测量电路的谐振频率和半功率点的频率, 计算电路的品质因数。频率计法的优点是简单, 缺点是受频率计的精度和稳定性的影响。

RLC 并联谐振是指在一个由电阻 R、电感 L 和电容 C 并联组成的电路中, 当交流电源的频率等于电路的固有频率时, 电路中的电压达到最大值, 电路的阻抗为纯电阻, 电压和电流同相的现象。RLC 并联谐振的条件是 $\omega L = 1/\omega C$, 其中 ω 为角频率, L 为电感, C 为电容。RLC 并联谐振的特点是电路的品质因数 $Q = R/\omega L$, 表示电路的选择性和能量损耗的程度。

耗的程度，Q 越大，电路的选择性越高，能量损耗越小。RLC 并联谐振的测量方法有以下几种：

电桥法：利用电桥的平衡条件，测量电路的谐振频率和品质因数。电桥法的优点是精度高，缺点是需要调节电桥的平衡，操作繁琐。

示波器法：利用示波器显示电路的电压和电流的波形，测量电路的谐振频率和品质因数。示波器法的优点是直观，缺点是受示波器的性能和分辨率的影响。

频率计法：利用频率计测量电路的谐振频率和半功率点的频率，计算电路的品质因数。频率计法的优点是简单，缺点是受频率计的精度和稳定性的影响。

(5) “Y”型连接，假设三个元件分别为 RLC，写出该电路中各元件性质的判断过程和各元件参数计算过程：

为了判断各元件的性质，我们可以利用三电压法测量各端口之间的交流阻抗，即在 1-2、2-3 和 1-3 三个端口之间分别接入电压表，测量不同频率下的电压值，然后根据以下公式计算各端口之间的交流阻抗：

$$Z_{12} = \frac{V_{12}}{I}, \quad Z_{23} = \frac{V_{23}}{I}, \quad Z_{13} = \frac{V_{13}}{I}$$

其中 I 为电路中的电流，V 为电压，Z 为阻抗。由于电路中的电流与电源的电压同相，所以我们可以用电源的电压的幅值和相位来代表电流的幅值和相位，即：

$$I = \frac{V_s}{Z_s} = \frac{V_s}{R_s + j\omega L_s}$$

其中 V_s 为电源的电压， Z_s 为电源的内阻， R_s 为电源的内电阻， L_s 为电源的内电感， ω 为角频率。我们可以根据实验中使用的电源的参数，计算出电流的幅值和相位，然后再计算出各端口之间的交流阻抗的幅值和相位。

为了计算各元件的参数，我们可以利用以下公式，将“Y”型网络转换为等效的“△”型网络：

$$Z_a = \frac{Z_{12}Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}, \quad Z_b = \frac{Z_{12}Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}, \quad Z_c = \frac{Z_{13}Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$$

其中 Z_a 、 Z_b 和 Z_c 分别为等效的“△”型网络中的三个元件的阻抗，如下图所示：

由于我们已知三个元件分别为 RLC，所以我们可以根据以下特征来判断各元件的性质：

电阻的阻抗为纯实数，与频率无关，相位为 0° ；

电感的阻抗为纯虚数，与频率成正比，相位为 90° ；

电容的阻抗为纯虚数，与频率成反比，相位为 -90° 。

因此，我们可以根据各元件的阻抗的实部和虚部的符号和大小，以及相位的正负和大小，来判断各元件是电阻、电感还是电容。例如，如果 Z_a 的实部为正，虚部为负，相位为负，那么 Z_a 就是电容；如果 Z_b 的实部为正，虚部为正，相位为正，那么 Z_b 就是电感；如果 Z_c 的实部为正，虚部为零，相位为零，那么 Z_c 就是电阻。

根据判断的结果，我们可以根据以下公式，计算各元件的参数：

电阻的参数为 $R = |Z|$ ，其中 $|Z|$ 为阻抗的幅值；

电感的参数为 $L = |Z|/\omega$ ，其中 $|Z|$ 为阻抗的幅值， ω 为角频率；

电容的参数为 $C = 1/(|Z|\omega)$ ，其中 $|Z|$ 为阻抗的幅值， ω 为角频率。

(6)“ Δ ”型连接，假设三个元件分别为 RLC，写出该电路中各元件性质的判断过程和各元件参数计算过程；

为了判断各元件的性质，我们可以利用三电压法测量各端口之间的交流阻抗，即在 1-2、2-3 和 1-3 三个端口之间分别接入电压表，测量不同频率下的电压值，然后根据以下公式计算各端口之间的交流阻抗：

$$Z_{12} = \frac{V_{12}}{I}, \quad Z_{23} = \frac{V_{23}}{I}, \quad Z_{13} = \frac{V_{13}}{I}$$

其中 I 为电路中的电流， V 为电压， Z 为阻抗。由于电路中的电流与电源的电压同相，所以我们可以用电源的电压的幅值和相位来代表电流的幅值和相位，即：

$$I = \frac{V_s}{Z_s} = \frac{V_s}{R_s + j\omega L_s}$$

其中 V_s 为电源的电压， Z_s 为电源的内阻， R_s 为电源的内电阻， L_s 为电源的内电感， ω 为角频率。我们可以根据实验中使用的电源的参数，计算出电流的幅值和相位，然后再计算出各端口之间的交流阻抗的幅值和相位。

为了计算各元件的参数，我们可以利用以下公式，将“ Δ ”型网络转换为等效的“Y”型网络：

$$Z_a = \frac{Z_{12}Z_{23} + Z_{23}Z_{13} + Z_{13}Z_{12}}{Z_{12}}, \quad Z_b = \frac{Z_{12}Z_{23} + Z_{23}Z_{13} + Z_{13}Z_{12}}{Z_{23}}, \quad Z_c = \frac{Z_{12}Z_{23} + Z_{23}Z_{13} + Z_{13}Z_{12}}{Z_{13}}$$

由于我们已知三个元件分别为 RLC，所以我们可以根据以下特征来判断各元件的性质：

电阻的阻抗为纯实数，与频率无关，相位为 0° ；

电感的阻抗为纯虚数，与频率成正比，相位为 90° ；

电容的阻抗为纯虚数，与频率成反比，相位为 -90° 。

因此，我们可以根据各元件的阻抗的实部和虚部的符号和大小，以及相位的正负和大小，来判断各元件是电阻、电感还是电容。例如，如果 Z_a 的实部为正，虚部为零，相位为零，那么 Z_a 就是电阻；如果 Z_b 的实部为零，虚部为正，相位为正，那么 Z_b 就是电感；如果 Z_c 的实部为零，虚部为负，相位为负，那么 Z_c 就是电容。

根据判断的结果，我们可以根据以下公式，计算各元件的参数：

电阻的参数为 $R = |Z|$ ，其中 $|Z|$ 为阻抗的幅值；

电感的参数为 $L = |Z|/\omega$ ，其中 $|Z|$ 为阻抗的幅值， ω 为角频率；

电容的参数为 $C = 1/(|Z|\omega)$ ，其中 $|Z|$ 为阻抗的幅值， ω 为角频率。

三、实验内容

四、实验使用仪器设备（名称、型号、规格、编号、使用状况）

SPD3303C

五、实验总结

（实验出现的问题及解决方法、思考题（如有）、收获体会等）

。

六、参考资料（预习、实验中参考阅读的资料）

《电子技术基础实验教程》，李晓峰等编著，高等教育出版社

《电子技术基础》，王晓东等编著，清华大学出版社

《电子技术基础实验指导书》，北京航空航天大学电子信息工程学院