



**華東理工大學**  
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

# 《 电路及测试基础实验 》

## 实验报告本

班 级： \_\_\_\_\_  
学 号： \_\_\_\_\_  
姓 名： \_\_\_\_\_  
指导教师： 常青

信息科学与工程学院  
2020 年 12 月



班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验一 电流定律和电压定律的自主仿真实验研究

### 自习与思考

- ① Multisim 电路仿真软件具有哪些基本功能？搭建一个电路进行仿真分析的基本步骤有哪些？
- ② 电路分析中为什么要设定电流、电压的参考方向或极性？
- ③ 在实际测试中如何判断电流、电压的实际（真实）方向或极性？
- ④ 电荷守恒和能量守恒是自然界的两个基本法则，在集中（总）参数电路中如何分别体现为流入任一节点各电流的线性约束和任一回路中各电压的线性约束？

### 一、实验目的

学习用 Multisim 仿真软件进行电路仿真测试实验；自行设置电路元件参数进行各支路电压、电流的测量；根据测试数据归纳、总结电流定律和电压定律满足的约束关系。

### 二、实验装置

计算机(安装 Multisim 电路仿真软件) 1 台

### 三、实验内容

#### (1) 支路电流的仿真测试

按实验教程书上图 4-7 和图 4-8 所示的两个测试电路，建立测量支路电流的仿真实验电路接线图。设测试电路 1 中电压源  $U_{s1}=15V$ ， $U_{s2}=12V$ ，电阻  $R_1=R_2=R_3=3\Omega$ ；测试电路 2 中电

压源  $U_{s1}=12V$ ， $U_{s2}=20V$ ，电阻  $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=R_6=2\Omega$ 。

表 4.1.1 测试电路 1 的电流测量值与规律总结

测量值 电路参数	$i_1$	$i_2$	$i_3$	总结 流出（或流入）节点 <b>b</b> 的所有支路电流之代数和
$R_1=R_2=R_3=3\Omega$ $U_{s1}=15V$ $U_{s2}=12V$				$\sum_{k=1}^3 i_k =$
第2组参数(自设)				$\sum_{k=1}^3 i_k =$
第3组参数(自设)				$\sum_{k=1}^3 i_k =$

注:设电流参考方向流出节点取正、流入节点取负，则由图 4-6 可得  $\sum_{k=1}^3 i_k = -i_1 + i_2 + i_3$

表 4.1.2 测试电路 2 的电流测量值与规律总结

测量值 电路参数	$i_1$	$i_2$	$i_3$	$i_4$	$i_5$	$i_6$	总结 电流定律 流出（或流入）任一节点 的所有支路电流之代数和
$R_1=R_2=R_3=2\Omega$ $R_4=R_5=R_6=2\Omega$ $U_{s1}=12V$ $U_{s2}=20V$							
第2组参数(自设)							

(2) 支路（元件）电压和两点间电压的仿真测试

表 4.1.3 测试电路 1 的电压测量值与规律总结

测量值 电路参数	$u_1$	$u_2$	$u_3$	总结 沿任一回路(abda、bcdab、abceda) 所有支路（元件）电压之代数和
$R_1=R_2=R_3=3\Omega$ $U_{s1}=15V$ $U_{s2}=12V$				
第2组参数(自设)				
第3组参数(自设)				

注:电压参考方向与回路绕行一致者取正，相反者取负，则由图 4-6 可得沿回路顺时针方向，

所有支路（元件）电压之代数和表达式为  $\sum u_k = -u_{s1} + u_1 + u_3$

自行完成图 4-6 所示测试电路 2 的电压测量仿真实验接线图，将测量值填入表 4.1.4 中，并根据测量数据进行规律总结。

表 4.1.4 实验电路 2 的电压测量值与规律总结

测量值 电路参数	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$	$u_6$	总结电压定律 沿任一路所有支路(元件) 电压之代数和
$R1=R2=R3=2\Omega$ $R4=R5=R6=2\Omega$ $u_{s1}=12V$ $u_{s5}=20V$							
第2组参数(自设)							

(3) 节点电位和两点间电压的仿真测试

表 4.1.5 相对于不同参考点的各节点电位和两点间电压  $u_{fc}, u_{bf}, u_{eb}$  测量值

测量值 电路参考点	$u_a$	$u_b$	$u_c$	$u_d$	$u_f$	$u_e$	$u_{fc}$	$u_{bf}$	$u_{eb}$
<b>a</b>									
<b>b</b>									
<b>e</b>									

#### 四、实验报告要求

(1) 根据表 4.1.1 和 4.1.2 所测数据和电流的参考方向分别计算流出各节点电流之代数和, 并总结在参考方向下, 流出(或流入)任一节点各支路电流所必须满足的约束方程, 说明方程中正、负号与电表读数中正、负号的意义, 确定各电流的实际方向。

(2) 根据表 4.1.3 和 4.1.4 所测数据和电压的参考方向计算图 4-6 所示 3 个回路电压降之代数和; 并总结在参考极性下, 任一回路中各支路(元件)电压所必须满足的约束方程, 说明方程中正、负号与电表读数中正、负号的意义, 确定各电压的实际极性。

(3) 根据表 4.1.5 所测数据, 总结在电压参考极性下, 任两个节点间的电压计算公式。

(4) 根据表 4.1.5 所测节点电位数据计算两点间电压数据, 并与所测数据比较, 归纳电位和电压之异同点。

(5) 总结节点电流约束方程和回路电压约束方程是否与元件参数、电路结构有关?

(6) 心得体会。

实验一成绩: \_\_\_\_\_

教师签名: \_\_\_\_\_



班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验二 电路元件伏安特性的测绘

### 预习与思考

① 线性电阻与非线性电阻的概念是什么？白炽灯属于线性还是非线性电阻？

② 硅二极管的正向压降一般在什么范围？图 3.2.3 中二极管的实验线路中  $1K\Omega$  有什么作用？

③ 稳压二极管与普通二极管的伏安特性有何区别？

### 一、实验目的

学会识别常用电路元件的方法；掌握元件伏安特性的逐点测试法；熟练掌握实验台上直流电工仪表和设备的使用方法。

### 二、实验装置

- |              |     |
|--------------|-----|
| (1) 可调直流稳压电源 | 1 台 |
| (2) 可调直流恒流源  | 1 台 |
| (3) 指针式万用表   | 1 只 |
| (4) 数字式万用表   | 1 只 |
| (5) 直流电路元件箱  | 1 个 |

### 三、实验内容

(1) 测定线性电阻器的伏安特性

按图 3-6 接线，调节稳压电源的输出电压  $U_S$ ，从 0 伏开始缓慢地增加，一直到 10V，

记下相应的电压表和电流表的读数  $U_R$ 、 $I$ 。

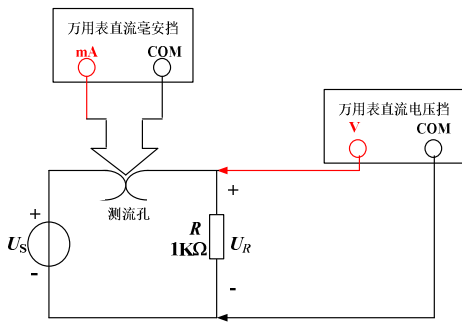


图 3-6 电阻元件的实验线路

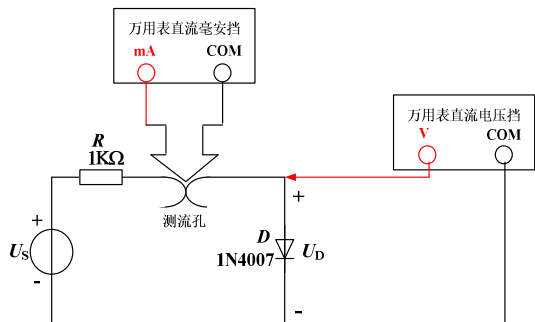


图 3-7 二极管的实验线路

表 3.2.1 线性电阻器伏安特性数据

$U_R$ (V)	0	2	4	6	8	10
$I$ (mA)						
$R=U_R/I$ ( $\Omega$ )						

(2) 测定非线性灯泡的伏安特性

将图 3-6 中的  $R$  换成一只 12V, 0.1A 的灯泡，重复 1 的测量。 $U_L$  为灯泡的端电压。

表 3.2.2 非线性灯泡伏安特性数据

$U_L$ (V)	0.1	0.5	1	2	3	4
$I$ (mA)						
$R_L=U_L/I$ ( $\Omega$ )						

(3) 测定半导体二极管的伏安特性

按图 3-7 接线， $R$  为限流电阻器，二极管的型号为 1N4007。测二极管的正向特性时，其正向电流不得超过 35mA，二极管  $D$  的正向压降  $U_D$  可在 0~0.75V 之间取值， $U_D$  值可按实际调试值填入表格。在 0.5~0.75V 之间应多取几个测量点。测反向特性时，只需将图 3-7 中的  $U_s$  反接。（注：由于 1N4007 反向耐压为 1000V，所以实验中无法做到反向击穿）。

表 3.2.3 正向特性实验数据

$U_D$ (V)								0.75
$I$ (mA)								

表 3.2.4 反向特性实验数据

$U_D$ (V)	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
$I$ (mA)							

(4) 测定稳压二极管的伏安特性

① 正向特性：将图 3-7 中的二极管换成稳压二极管 2CW51，重复实验内容 3 中的正向测量。 $U_D$  为 2CW51 的正向压降。



表 3.2.5 正向特性实验数据

$U_D$ (V)									0.75
I (mA)									

- ② 反向特性：将图 3-7 中的  $R$  换成  $510\Omega$ ， $U_S$  反接，测量 2CW51 的反向特性。稳压电源的输出电压  $U_S$  从  $0\sim 30V$ ，测量 2CW51 二端的电压  $U_D$  及电流  $I$ ，由  $U_D$  可看出其稳压特性。

表 3.2.6 反向特性实验数据

$U_S$ (V)	0	-5	-10	-15	-20	-30
$U_D$ (V)						
I (mA)						

#### 四、实验报告要求

- (1) 根据各实验结果数据，分别在方格纸上绘制出光滑的伏安特性曲线。（其中二极管和稳压管的正、反向特性均要求画在同一张图中，正、反向电压可取为不同的比例尺）。
- (2) 根据不同的伏安特性曲线的性质区分它们为何种性质的元件？
- (3) 通过元件伏安特性曲线分析欧姆定律对哪些元件成立？哪些元件不成立？
- (4) 心得体会。

实验二成绩：\_\_\_\_\_ 教师签名：\_\_\_\_\_



班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验三 等效电源定理的实验研究

### 自习与思考

- ① 端口特性相同的含源线性一端口网络对外电路而言可否互为等效？
- ② 计算电路图 4.3.3AB 端口的开路电压，短路电流和等效电阻。
- ③ 在求含源线性一端口网络等效电阻  $R_{eq}$  时，如何理解“原电路中所有独立电源为零值”？实验中怎样将独立电源置零？

### 一、实验目的

掌握含源一端口网络等效参数及外特性的一般测量方法；根据测试数据总结、归纳实际电压源模型和实际电流源模型的等效变换条件，建立对等效电源定理的感性认识。

### 二、实验装置

- |              |     |
|--------------|-----|
| (1) 可调直流稳压电源 | 1 台 |
| (2) 可调直流恒流源  | 1 台 |
| (3) 指针式万用表   | 1 只 |
| (4) 数字式万用表   | 1 只 |
| (5) 直流电路元件箱  | 1 个 |
| (6) 可调电阻箱    | 1 个 |

### 三、实验内容

#### 内容

被测含源一端口网络如图 4.3.3 所示，按图连接线路。

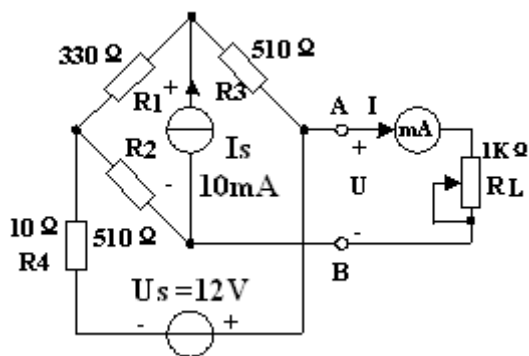


图 4.3.3 含源线性一端口实验电路

- (1) 测量图 4.3.3 电路的开路电压  $U_{OC}$ 、短路电流  $I_{sc}$
- 在电路图 4.3.3 中，接入稳压电源  $U_s = 12V$ ，恒流源  $I_s = 10mA$ ，不接入  $R_L$ 。分别测定开路电压  $U_{OC}$  和短路电流  $I_{sc}$ ，并计算出  $R_{eq}$  填入表 4.3.1。

表 4.3.1 开路电压、短路电流和等效电阻的测算值

$U_{OC}$ (V)	$I_{sc}$ (mA)	$R_{eq} = U_{OC} / I_{sc}$ ( $\Omega$ )

- (2) 含源一端口网络等效电阻  $R_{eq}$ （又称入端电阻）的直接测量

在图 4.3.3 中，将被测含源一端口网络内的所有独立源置零（去掉电流源  $I_s$  和电压源  $U_s$ ，并在原电压源所接的两端点用一根短路导线相连），然后用伏安法或者直接用万用表的欧姆档去测定负载  $R_L$  开路时 A、B 两点间的电阻，此即为被测网络的等效内阻  $R_{eq}$ 。

- (3) 含源一端口网络的外特性测试

按图 4.3.3 接入可变电阻箱  $R_L$ 。改变  $R_L$  阻值，测量  $R_L$  的端电压  $U$  和流过的电流值  $I$ ，将测试数据填入表 4.3.2，并据此画出含源一端口网络的外特性曲线。再根据外特性曲线在电流坐标轴、电压坐标轴上的截距和斜率测算得出开路电压、短路电流和等效电阻填入表 4.3.3，并与表 4.3.1 数据进行比较。

表 4.3.2 含源一端口网络的外特性数据表

$R_L(\Omega)$	50	80	100	120	150	180	200	250	300
U(V)									
I(mA)									

表 4.3.3 由外特性测算的开路电压、短路电流和等效电阻

$U_{OC}$ (V)	$I_{sc}$ (mA)	$R_{eq}$ ( $\Omega$ )

- (4) 电压源形式（ $U_{OC}$  与  $R_{eq}$  串联）电路的外特性测试

用多圈电位器取得按表 4.3.1 所得的等效电阻  $R_{eq}$  之值，然后令其与直流稳压电源（调到表 4.3.1 中的开路电压  $U_{oc}$  之值）相串联，负载  $R_L$  用可变电阻箱，如图 4.3.4(a)所示，仿照表 4.3.2 测其外特性，将测试数据记录在表 4.3.4 中。

表 4.3.4 电压源形式电路的外特性数据表

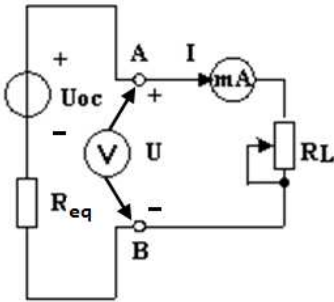
$R_L(\Omega)$	50								300
U(V)									
I(mA)									

(5) 电流源形式（ $I_{sc}$  与  $R_{eq}$  并联）电路的外特性测试

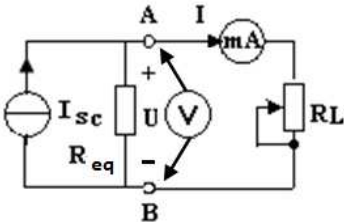
用多圈电位器取得表 4.3.1 所得的等效电阻  $R_{eq}$  之值，然后令其与直流电流源（使得电流源的输出电流调到表 4.3.1 测得的短路电流  $I_{sc}$  之值）相并联，负载  $R_L$  用可变电阻箱，如图 4.3.4(b)所示，仿照表 4.3.2 测其外特性，在表 4.3.5 中记录测量数据。

表 4.3.5 电流源形式电路的外特性数据表

$R_L(\Omega)$	50								300
U(V)									
I(mA)									



(a) 电压源形式



(b) 电流源形式

图 4.3.4 含源线性一端口网络等效电源外特性测试

#### 四、实验报告要求

- (1) 根据表 4.3.2、表 4.3.4 和表 4.3.5 的数据，分别绘出相应电路的外特性曲线，总结实验结果，归纳含源线性一端口网络与两种电源形式的等效关系。
- (2) 根据表 4.3.1 所测算出的含源线性一端口电路的等效电阻  $R_{eq}$  和表 4.3.3 所测算出的等效电阻  $R_{eq}$ ，分析两者的关系和产生误差的原因。
- (3) 总结、归纳实际电压源模型和实际电流源模型的等效变换条件。
- (4) 心得体会。

实验三成绩：\_\_\_\_\_ 教师签名：\_\_\_\_\_



班级：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_

## 实验四 电路叠加性、齐次性的实验研究

自习与思考

- ① 数学中函数和自变量之间满足的可加性和齐次性是如何表述的？
- ② 将线性电路中的响应和激励分别视为数学中的函数和自变量，其可加性和齐次性如何表述？
- ③ 当线性电路中只有一个电源时，响应与激励之间具有什么样的关系？

### 一、实验目的

进一步熟练用 Multisim 仿真软件进行电路仿真测试实验；自行设置电路元件参数进行相关电压、电流的测量；根据测试数据归纳、总结电路的叠加性、齐次性和互易性。

### 二、实验装置

计算机(安装 Multisim 电路仿真软件) 1 台

### 三、实验内容

线性电路中激励和响应之间线性关系的测试

#### 1) 叠加性的测试

建立如实验图 4.2.3 所示的仿真电路。电源及接地符号取自电源/信号源零件库中 DC\_POWER，单元值可双击修改。电阻取自基本元件库。电压表和电流表取自 Indicators 库。启动仿真开关后，用电压表和电流表分别测出  $U_1$ 、 $U_2$  单独作用（双击改值即可，不作用的电压源设为 0V）和共同作用时各支路的电压和电流值，填入表 4.2.1 中，归纳叠加性在线性电路中的体现。

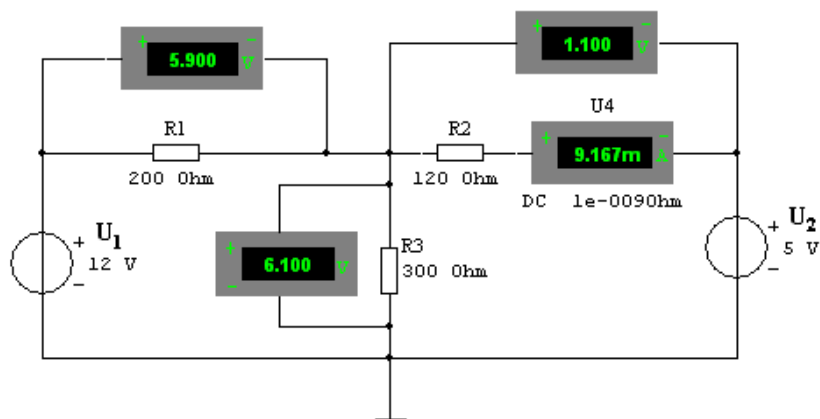


图 4.2.3 线性电路叠加性的仿真测试电路

表 4.2.1 线性电路叠加性的测试

	$U_{R1}(\text{V})$	$U_{R2}(\text{V})$	$U_{R3}(\text{V})$	$I_{R2}$ (mA)
$U_1$ 单独作用				
$U_2$ 单独作用				
$U_1$ 和 $U_2$ 共同作用				

## 2) 齐次性的测试

建立如实验图 4.2.3 所示的仿真电路，自行设定比例系数  $k_1$  和  $k_2$ ，将各电表数据填入表 4.2.2 中，归纳齐次性在线性电路中的体现。

表 4.2.2 线性电路齐次性的测试

	$U_{R1}(\text{V})$	$U_{R2}(\text{V})$	$U_{R3}(\text{V})$	$I_{R2}$ (mA)
$U_1$ 和 $U_2$ 共同作用				
$k_1 U_1$ 和 $k_1 U_2$ 共同作用				
$k_2 U_1$ 和 $k_2 U_2$ 共同作用				

## 3) 线性关系的测试

建立如实验图 4.2.3 所示的仿真电路，自行设定比例系数  $k$ ，将各电表数据填入表 4.2.3 中，归纳叠加性和齐次性在线性电路中的体现。

表 4.2.3 线性电路叠加性和齐次性的测试

	$U_{R1}(\text{V})$	$U_{R2}(\text{V})$	$U_{R3}(\text{V})$	$I_{R2}$ (mA)
$k U_1$ 单独作用				
$k U_2$ 单独作用				
$k U_1$ 和 $k U_2$ 共同作用				

## 四、实验报告要求

(1) 数学中的可加性和齐次性在线性电路中分别体现为叠加定理和齐次定理，试根据表 4.2.1 和 4.2.2 的测试数据进行归纳和表述。



- (2) 根据表 4.2.3 的测试数据对包含叠加性和齐次性的线性关系进行总结和概述。
- (4) 通过自主实测数据归纳客观规律的心得体会。

实验四成绩：\_\_\_\_\_ 教师签名：\_\_\_\_\_



班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验五 二端口网络的参数测试

### 预习与思考

① 二端口网络的参数与外加电压或流过网络的电流是否有关？

② 二端口网络的双口同时测量法有哪些测量步骤？

③ 试述双口同时测量法与单口分别测量法的特点及其适用情况。

### 一、实验目的

学习无源线性二端口网络的参数测定方法；根据测试参数计算传输参数  $A$ ，并验证级联二端口网络传输参数之间的关系；深入理解二端口网络的互易特性。

### 二、实验装置

- |              |     |
|--------------|-----|
| (1) 可调直流稳压电源 | 1 台 |
| (2) 直流数字电压表  | 1 只 |
| (3) 直流数字毫安表  | 1 只 |
| (4) 直流电路元件箱  | 1 个 |

### 三、实验内容

二端口网络实验线路如图 3.4.3 所示。将直流稳压电源输出电压调至 6V，作为二端口网络的输入。

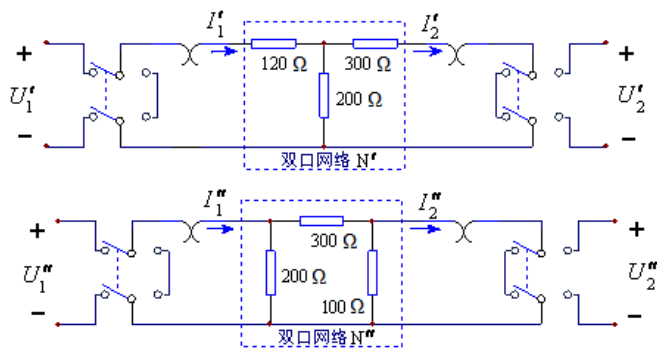


图 3.4.3 二端口网络的实验线路图

(1) 按“双口同时测量法”分别测定两个二端口网络  $N'$  和  $N''$  的传输参数  $a'_{11}$ 、 $a'_{12}$ 、 $a'_{21}$ 、 $a'_{22}$  和  $a''_{11}$ 、 $a''_{12}$ 、 $a''_{21}$ 、 $a''_{22}$ ，并列它们的传输参数方程，将测量值和计算值分别填入表 3.4.2 和表 3.4.3（可设定输 1 端口入电压为 6V）。

表 3.4.2 二端口网络  $N'$  的传输参数测试与计算结果

二 端 口 网 络 $N'$	输出端开路 $I'_2=0$	测 量 值			计 算 值		
		$U'_{10}$ (V)	$U'_{20}$ (V)	$I'_{10}$ (mA)	$a'_{11}$	$a'_{21}$	$a'_{11}a'_{22} - a'_{12}a'_{21}$
		6					
	输出端短路 $U'_2=0$	$U'_{1S}$ (V)	$I'_{1S}$ (mA)	$I'_{2S}$ (mA)	$a'_{12}$	$a'_{22}$	
		6					

表 3.4.3 二端口网络  $N''$  的传输参数测试与计算结果

二 端 口 网 络 $N''$	输出端开路 $I''_2=0$	测 量 值			计 算 值		
		$U''_{10}$ (V)	$U''_{20}$ (V)	$I''_{10}$ (mA)	$a''_{11}$	$a''_{21}$	$a''_{11}a''_{22} - a''_{12}a''_{21}$
		6					
	输出端短路 $U''_2=0$	$U''_{1S}$ (V)	$I''_{1S}$ (mA)	$I''_{2S}$ (mA)	$a''_{12}$	$a''_{22}$	
		6					

(2) 将两个二端口网络级联后，用“单口分别测量法”测量级联后的复合二端口网络的传输参数  $a_{11}$ 、 $a_{12}$ 、 $a_{21}$ 、 $a_{22}$ ，按级联次序分别为先  $N'$  后  $N''$  和先  $N''$  后  $N'$  填入表 3.4.4 和表 3.4.5，并验证复合二端口网络的传输参数与级联的两个二端口网络传输参数之间的关系（可设定单口输入电压为 6V）。

表 3.4.4 复合二端口网络  $N$  的传输参数测试与计算结果（级联次序为先  $N'$  后  $N''$ ）

输出端开路 $I_2=0$			输出端短路 $U_2=0$			计 算 传输参数
$U_{10}$ (V)	$I_{10}$ (mA)	$R_{10}$ (kΩ)	$U_{1S}$ (V)	$I_{1S}$ (mA)	$R_{1S}$ (kΩ)	

6			6			$a_{11} =$
输入端开路 $I_1 = 0$			输入端短路 $U_1 = 0$			$a_{12} =$
$U_{20}(\text{V})$	$I_{20}(\text{mA})$	$R_{20}(\text{k}\Omega)$	$U_{2S}(\text{V})$	$I_{2S}(\text{mA})$	$R_{2S}(\text{k}\Omega)$	$a_{21} =$
6			6			$a_{22} =$

表 3.4.5 复合二端口网络 N 的传输参数测试与计算结果（级联次序为先 N 后 N'）

输出端开路 $I_2 = 0$			输出端短路 $U_2 = 0$			计 算 传输参数
$U_{10}(\text{V})$	$I_{10}(\text{mA})$	$R_{10}(\text{k}\Omega)$	$U_{1S}(\text{V})$	$I_{1S}(\text{mA})$	$R_{1S}(\text{k}\Omega)$	
6			6			$a_{11} =$
输入端开路 $I_1 = 0$			输入端短路 $U_1 = 0$			$a_{12} =$
$U_{20}(\text{V})$	$I_{20}(\text{mA})$	$R_{20}(\text{k}\Omega)$	$U_{2S}(\text{V})$	$I_{2S}(\text{mA})$	$R_{2S}(\text{k}\Omega)$	$a_{21} =$
6			6			$a_{22} =$

#### 四、实验报告要求

- （1）列写 N'、N'' 和两者级联而成的复合二端口网络 N 的传输参数方程。
- （2）总结级联后等效二端口网络的传输参数矩阵与级联的两个二端口网络传输参数矩阵之间的关系。
- （3）总结、归纳二端口网络的测试技术及其实测体会。

实验五成绩：\_\_\_\_\_ 教师签名：\_\_\_\_\_



班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验六 运算放大器及其受控电源的构建

### 预习与思考

① 学习运算放大器及受控源的有关理论知识，说明受控源和独立源相比有何异同点？

② 四种受控源中的  $\mu$ 、 $g_m$ 、 $r_m$  和  $\beta$  的意义是什么？

### 一、实验目的

通过构建受控源和测试受控源的外特性及其转移参数，进一步理解受控源的物理概念，加深对受控源的认识和理解。

### 二、实验装置

- |               |     |
|---------------|-----|
| (1) 可调直流稳压电源  | 1 台 |
| (2) 可调直流恒流源   | 1 台 |
| (3) 直流数字电压表   | 1 只 |
| (4) 直流数字毫安表   | 1 只 |
| (5) 综合设计电路元件箱 | 1 个 |

### 三、实验内容

(1) 运算放大器必须接上工作电源才能正常工作，LM324 的 4 脚接+12V，11 脚接-12V。实验中的  $u_1$  直流输入由稳压电源提供，其读数应以精度较高的万用表电压档测量为准。

(2) 按实验教程书上图 3-12 所示电路接线，并测定电压控制型电压源的特性。

给定  $R_1=2k\Omega$ ， $R_2=1k\Omega$ ，按照表 3.3.1 测定 VCVS 性能，在方格纸上绘出电压转移特性曲线  $u_2=f(u_1)$ ，并在其线性部分求出转移电压比  $\mu$ 。

表 3.3.1 测定 VCVS 数据表

给定值		$u_1 / V$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	$R_1=2k\Omega$ , $R_2=1k\Omega$
VC VS	理论值	$u_2 / V$						理论值 $\mu =$
	测试值	$u_2 / V$						平均值 $\bar{\mu} =$
	计算值	$\mu$						

(3) 按图 3-13 所示电路接线，并测定电压控制型电流源的特性。

给定  $R=1k\Omega$ ， $R_L=2k\Omega$ ，按照表 3.3.2 测定 VCCS 性能，实验中  $i_2$  的值通过测量  $R_L$  的端电压计算得到，绘制  $i_2=f(u_1)$  曲线，并由其线性部分求出转移电导  $g_m$ 。

表 3.3.2 测定 VCCS 数据表

给定值		$u_1 / V$	1	1.5	2	25.	3	$R=1k\Omega, R_L=2k\Omega$
VCCS	理论值	$i_2 / mA$						理论值 $g_m =$
	测试值	$i_2 / mA$						平均值 $\overline{g_m} =$
	计算值	$g_m / mS$						

(4) 按图 3.3.5 所示电路接线，并测定电流控制型电压源的特性

给定  $R=2k\Omega$ ， $i_1$  输入电流由直流数显恒流源提供，测定电流控制型电压源性能，绘制  $u_2 = f(i_1)$  曲线，并由其线性部分求出转移电阻  $r_m$ 。

表 3.3.3 测定 CCVS 数据表

给定值		$i_1 / mA$	0.5	1	1.5	1.8	2	$R = 2k\Omega$
CCVS	理论值	$u_2 / V$						理论值 $r_m$
	测试值	$u_2 / V$						平均值 $\overline{r_m} =$
	计算值	$r_m / k\Omega$						

(5) 按图 3.3.6 所示电路接线，并测定电流控制型电流源的特性。

给定  $R_1=R_2=R_L=1k\Omega$ ， $i_1$  输入电流由直流数显恒流源提供，实验中  $i_2$  的值通过测量  $R_L$  的电压计算得到，绘制  $i_2 = f(i_1)$  曲线，并由其线性部分求出电流增益  $\beta$ 。

表 3.3.4 测定 CCCS 数据表

给定值		$i_1 / mA$	0.5	1	1.5	1.8	2	$R_1 = R_2 = R_L = 1k\Omega$
CCVS	理论值	$i_2 / mA$						理论值 $\beta =$
	测试值	$i_2 / mA$						平均值 $\overline{\beta} =$
	计算值	$\beta$						

#### 四、实验报告要求

(1) 根据实验数据，在方格纸上分别绘出四种受控源的转移特性曲线，并求出相应的转移参量，并填入表格。

(2) 对实验的结果作出合理的分析和结论，总结对四种受控源的认识和理解。

(3) 电压控制型电压源电路中的  $R_1$  和电流控制型电压源中的  $R$  对受控电源的参数起着什么作用？

(4) 心得体会。

实验六成绩：\_\_\_\_\_

教师签名：\_\_\_\_\_



班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验七 一阶电路的瞬态响应测试

### 预习与思考

- ① 已知  $RC$  一阶电路  $R=10K\Omega$ ,  $C=6800pf$ , 试计算时间常数  $\tau$ , 并指出  $\tau$  值的物理意义, 拟定测定  $\tau$  的方案。
- ② 何谓积分电路和微分电路, 它们必须具备什么条件? 它们在方波序列脉冲的激励下, 其输出信号波形的变化规律如何?

### 一、实验目的

测定  $RC$  一阶电路的零输入响应、零状态响应及完全响应; 学习电路时间常数的测量方法; 掌握有关微分电路和积分电路的概念; 进一步学会用示波器观测波形。

### 二、实验装置

- |             |     |
|-------------|-----|
| (1) 函数信号发生器 | 1 台 |
| (2) 双踪示波器   | 1 台 |
| (3) 动态电路元件箱 | 1 个 |

### 三、实验内容

- (1) 观察  $RC$  电路充、放电过程及时间常数的测定

从电路板上选择  $R=10K\Omega$ ,  $C=6800pF$  组成

如图 3.6.4 所示的  $RC$  充放电电路,  $u_s$  为函数信号发生器输出的方波电压信号, 取电压值  $U_{p-p}=6V$ ,  $f=1KHz$ , 并通过两根同轴电缆线, 将激励  $u_s$  和响应  $u_c$  的信号分别连至示波器的两个输入通道 CH1 和 CH2, 示波器的地与此实验电路的地相连, 这

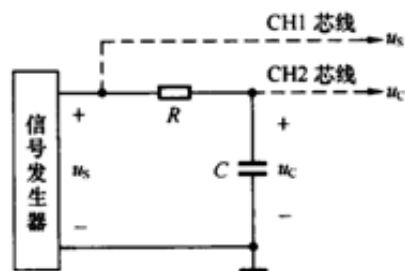


图 3.6.4  $RC$  实验电路

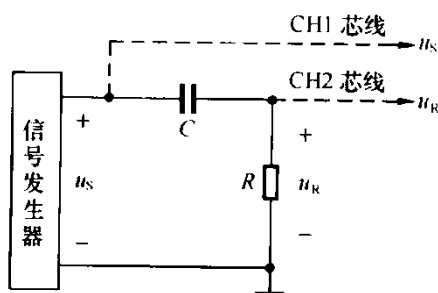
时可在示波器的屏幕上观察到激励与响应的变化规律, 从示波器荧屏上读出时间常数  $\tau$ ; 用坐标纸按 1:1 的比例描绘激励  $u_s$  和响应  $u_c$  的信号波形。改变电路参数, 并将不同数值  $R$ 、 $C$  相串联的时间常数  $\tau$  的测量值、 $u_c$  的信号测试波形填入表 3.6.1。

表 3.6.1 一阶 RC 电路时间常数的测定

元件参数值 ( $R, C$ )	时间常数 $\tau$ ( $\tau = \text{占有水平格数} \times \text{标尺系数 } t/\text{div}$ )	$u_c$ 信号波形 (一周)
$R = 10\text{K}\Omega$ , $C = 6800\text{pF}$		
$R = 10\text{K}\Omega$ , $C = 0.01\mu\text{F}$		
$R = 3\text{K}\Omega$ , $C = 0.01\mu\text{F}$		

## (2) 观察 RC 积分电路的波形

在图 3.6.4 所示的实验电路中, 选择  $R = 10\text{K}\Omega$ ,  $C = 0.01\mu\text{F}$ ,  $u_s$  为函数信号发生器输出的方波电压信号, 取电压值  $U_{p-p} = 6\text{V}$ ,  $f = 1\text{KHz}$ , 用示波器观察激励  $u_s$  和响应  $u_c$  的信号波形, 并用坐标纸按 1: 1 比例描绘出来; 继续增大电容  $C$  值, 定性观察对响应的影响, 记录观察到的现象。



3.6.5 RC 实验电路

## (3) 观察 RC 微分电路的波形

选择动态板上  $R, C$  元件, 令  $R = 1\text{K}\Omega$ ,  $C = 0.01\mu\text{F}$ , 组成如图 3.6.5 所示微分电路。在同样的方波激励信号 ( $U_{p-p} = 6\text{V}$ ,  $f = 1\text{KHz}$ ) 作用下, 用示波器观察激励  $u_s$  和响应  $u_c$  的信号波形, 并用坐标纸按 1: 1 比例描绘出来; 增加  $R$  值, 定性观察对响应的影响, 并作记录; 当  $R$  增至  $1\text{M}\Omega$  时, 定性观察输入输出波形有何本质上的区别, 并作记录。

## 四、实验报告要求

- (1) 由  $RC$  一阶电路充电或放电曲线, 从示波器荧屏上测出时间常数  $\tau$  值, 并与理论计算结果作比较, 分析误差原因。
- (2) 根据实验观测结果, 在坐标纸上绘出  $RC$  一阶电路充放电、积分电路和微分电路的激励和响应的变化曲线。
- (3) 根据实验曲线的结果, 说明电路参数变化对  $RC$  电路充电或放电时电压  $u_c$  变化规律的影响。
- (4) 根据实验观测结果, 归纳、总结积分电路和微分电路的形成条件, 阐明波形变换的特征。

实验七成绩: \_\_\_\_\_

教师签名: \_\_\_\_\_

班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验八 二阶电路的响应研究

### 预习与思考

- ①根据二阶电路实验电路元件的参数，计算出处于临界阻尼状态的  $R$  的值。
- ②在示波器荧光屏上，如何测得二阶电路零输入响应欠阻尼状态的衰减常数  $\alpha$  和振荡角频率  $\omega_d$ ？

### 一、实验目的

通过观察二阶电路过阻尼、临界阻尼和欠阻尼三种情况下的响应波形，研究  $R$ 、 $L$ 、 $C$  串联电路的电路参数与其暂态过程的关系；利用所测响应波形，计算二阶电路暂态过程的有关参数；掌握观察动态电路状态轨迹的方法。

### 二、实验装置

- |             |     |
|-------------|-----|
| (1) 函数信号发生器 | 1 台 |
| (2) 双踪示波器   | 1 台 |
| (3) 动态电路元件箱 | 1 个 |

### 三、实验内容

#### (1) 测试二阶电路三种情况下的响应波形

将电阻，电容，电感串联成如图 3.11.4 所示的接线图， $U_s = 1V$ ， $f = 1.5k$ ，调节实验箱上的  $10K$  电位器  $R_p$ ，通过示波器观察电容两端的电压波形，并记录在表 3.11.1 中。

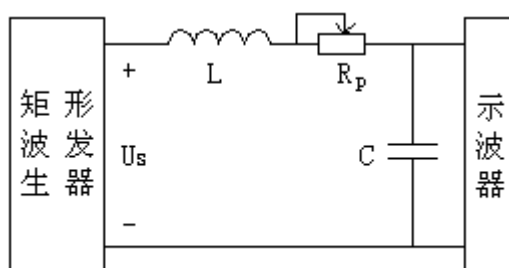


图 3.11.4 二阶 RLC 串联电路

表 3.11.1 二阶电路响应波形

参数	$L=10\text{mH}$	$C=0.022\mu\text{F}$	$f_0=1.5\text{KHz}$
----	-----------------	----------------------	---------------------

条件	$R_P > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$	$R_P = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$	$R_P < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$
响应波形			

(2)测量不同参数下的衰减系数  $\alpha$  和振荡角频率  $\omega_d$

保证电路一直处于欠阻尼状态，取三个不同阻值的电阻，用示波器测量输出波形，并计算出衰减系数和振荡角频率，将数据填入表 3.11.2。

表 3.11.2 欠阻尼状态下的波形参数测量数据

参数		$L=10\text{mH}$	$C=0.022\mu\text{F}$	$f_0=1.5\text{KHz}$
电阻参数		$R_1=51\Omega$	$R_2=100\Omega$	$R_3=200\Omega$
测量值	$U_{m1}$			
	$U_{m2}$			
	$T_d$			
计算值	$\alpha$			
	$\omega_d$			

(3)测定临界电阻值  $R_0$

调节电位器  $R_p$ ，使得响应出现振荡和非振荡的临界状态，在断电情况下用万用表测出此时的电位器值  $R_p$ ，即为临界电阻值  $R_0$ 。与计算出的理论值进行比较。

#### 四、实验报告要求

(1) 根据观测结果，在方格纸上描绘二阶电路过阻尼、临界阻尼和欠阻尼的响应波形。

(2) 测算欠阻尼振荡曲线上的  $\alpha$  与  $\omega_d$ ，根据表 3.11.2 数据，分析理论值与实际测算值误差的原因。

(3) 归纳、总结电路元件参数的改变对响应变化趋势的影响。

实验八成绩：\_\_\_\_\_

教师签名：\_\_\_\_\_

班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验九 $R$ 、 $L$ 、 $C$ 元件阻抗的频率特性的自主测定

### 自习与思考

① 测量  $R$ 、 $L$ 、 $C$  各个元件的阻抗角时，为什么要与它们串联一个阻值小的电阻？可否用一个小电感或大电容代替？为什么？

② 如何用交流毫伏表测定电阻、感抗和容抗？它们的大小和频率有何关系？

③ 什么是频率特性？ $RC$  串联电路构成的高通滤波器、低通滤波器的幅频特性有何特点？如何测量？

### 一、实验目的

自主测定  $R \sim f$ 、 $X_L \sim f$  及  $X_C \sim f$  特性曲线，归纳电阻、感抗、容抗与频率的关系；

自主测定  $RC$ 、 $RL$  串联电路响应信号的相频特性，总结不同频率下阻抗角的变化情况；

通过测试  $RC$  串联电路不同输出响应信号的幅频特性建立对滤波的感性认识。

### 二、实验装置

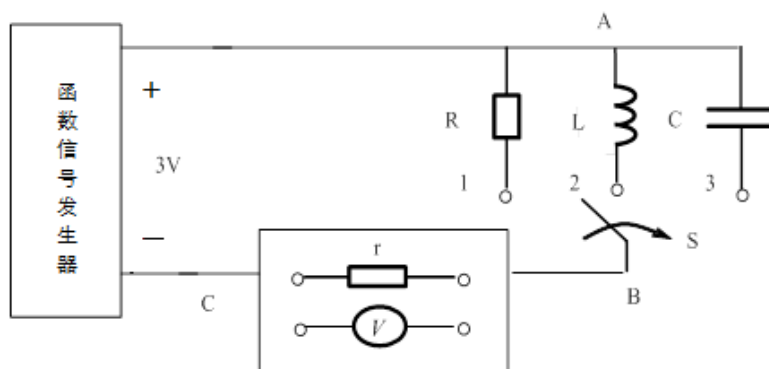
(1)	函数信号发生器	1 台
(2)	交流毫伏表	1 台
(3)	双踪示波器	1 台
(4)	动态电路元件箱	1 个

### 三、实验内容

(1) 如图 4.4.2 所示，给定  $R=1k\Omega$ ， $C=1\mu F$ ， $L=10mH$  和  $r=200\Omega$ ，自主设计实验线路连接方法，通过测量采样电阻  $r$  的电压  $U_r$  来计算阻抗元件电流。然后，调低频信号发生器、双踪示波器在所要求的工作状态下，通过电缆线将低频信号发生器输出的正弦信号接至电路图 4.4.2 中作为激励源  $U=3V$ ，并保持不变。改变信号源的输出频率，从  $200Hz$  逐渐增至  $5kHz$ ，并使开关  $S$  分别接通  $R$ 、 $L$ 、 $C$  三个元件，用交流毫伏表分别测量元件电压  $U_R$ 、 $U_L$ 、 $U_C$ 、 $U_r$ ，计算各频率点的阻抗值。并将测试数据填入表 4.4.1 中。

表 4.4.1  $R$ 、 $L$ 、 $C$  元件阻抗幅频特性测试

频率 $f$ (kHz)		0.2	0.5	0.8	1	1.5	2	2.5	3	4	5
项 目	$R$										
项 目	$L$										
项 目	$C$										

图 4.4.2  $R$ 、 $L$ 、 $C$  阻抗幅频特性测试电

(2) 给定  $R=1\text{k}\Omega$ ,  $C=0.1\mu\text{F}$ ,  $L=10\text{mH}$ 。按图 4.4.3 搭建  $RC$  和  $RL$  串联电路, 激励仍采用低频信号发生器, 改变信号源的输出频率, 从  $200\text{Hz}$  逐渐增至  $20\text{kHz}$ , 首先用图 4.4.1 的双踪示波器测量方法, 记录  $T$  和  $\Delta t$ , 测算出阻抗角  $\varphi$ ; 然后用相量公式法计算阻抗角  $\varphi$ , 并将测试数据和计算结果填入表 4.4.2 中。

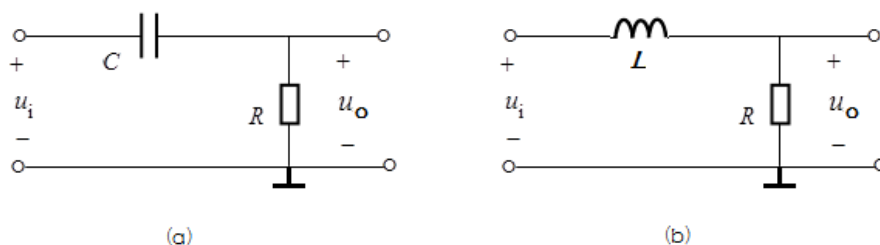
图 4.4.3 (a)  $RC$  串联电路 (b)  $RL$  串联电路

表 4.4.2  $RC$  和  $RL$  串联电路阻抗角参数测试

频率 (kHz) 被测参数	$RC$ 串联			$RL$ 串联		
	0.2	2	20	0.2	2	20
周期 $T$						
相位差 $\Delta t$						
阻抗角 $\varphi$ 测算值						
$R$						
$X_L$						
$X_C$						
阻抗角 $\varphi$ 计算值						

#### 四、实验报告要求

- (1) 根据表 4.4.1 实验测试数据，在方格纸上绘制  $R$ 、 $L$ 、 $C$  三个元件的幅频特性曲线，并从中归纳特点与结论。
- (2) 根据表 4.4.2 实验测试数据，以频率为横坐标、阻抗角为纵坐标，在方格纸上用光滑的曲线连接测量点，分析  $RL$  和  $RC$  串联电路的阻抗角频率特性曲线，并归纳出结论。
- (3) 从表 4.4.2 中测试数据得到的阻抗角频率特性曲线来观察电压、电流的超前滞后关系及其相位差，判断此时的阻抗是感性负载，还是容性负载。
- (4) 根据表 4.4.3 实验测试数据，在方格纸上绘制  $RC$  串联电路不同输出响应的幅频特性曲线，从曲线上说明各电压幅值随信号频率变化具有什么特点，归纳总结其高通滤波和低频滤波特性。

实验九成绩：\_\_\_\_\_

教师签名：\_\_\_\_\_





班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验十 $RLC$ 谐振电路的实验研究

### 自习与思考

- ①  $RLC$  串联谐振电路的谐振频率由哪些元件参数决定？电阻  $R$  的数值是否影响谐振频率？完成实验电路谐振频率的理论值计算。
- ② 判断电路处于谐振状态有哪些方法？
- ③ 发生串联谐振时，电感电压  $U_L$  与电容电压  $U_C$  是否相等？其相量关系是什么？
- ④ 发生并联谐振时，各电流相量关系是什么？

### 一、实验目的

自行用实验方法测试并绘制  $RLC$  串联/并联电路的频率特性曲线，观察和分析电路发生谐振的特点，掌握电路品质因数（ $Q$  值）的测定方法及其物理意义。

### 二、实验装置

- |     |           |     |
|-----|-----------|-----|
| (1) | 函数信号发生器   | 1 台 |
| (2) | 交流毫伏表     | 1 台 |
| (3) | 双踪示波器     | 1 台 |
| (4) | 动态电路实验元件箱 | 1 个 |

### 三、实验内容

实验电路如图 4.5.3 组成，取  $R=300\Omega$ ， $L=0.1H$ ， $C=0.1\mu F$ 。实验中用交流毫伏表监测信号源电压值，使  $U_s=1V$  保持不变。

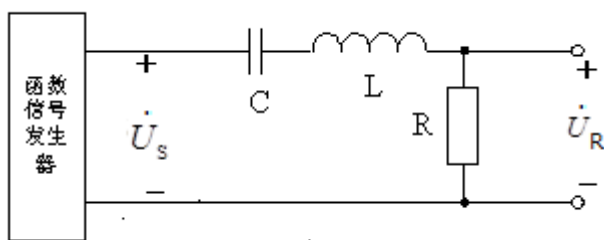


图 4.5.3 RLC 串联谐振实验线路图

(1) 观察并测试谐振点参数

先估算出谐振频率  $f'_0$ ，并将毫伏表接在  $R$  两端，令信号源的频率在  $f'_0$  左右由小逐渐变大（注意要维持信号源的输出电压幅度不变），当  $U_R$  的读数为最大时，读取的频率值即为实际的谐振频率  $f_0$ ，同时测出谐振时的  $U_{RO}$ 、 $U_{CO}$  与  $U_{LO}$  之值（注意及时更换毫伏表的量限），同时测算谐振电流  $I_0$  和电路的品质因数  $Q$ ，数据记入表 4.5.1 中。

表 4.5.1 谐振点测试

$R(\Omega)$	$f'_0(\text{Hz})$	$f_0(\text{Hz})$	$U_{RO}(\text{V})$	$U_{LO}(\text{V})$	$U_{CO}(\text{V})$	$I_0(\text{mA})$	$Q$
300							
1000							

(2) 测定通用谐振曲线 1 及其品质因数  $Q_1$

当  $R=300\Omega$  时，在谐振点  $f_0$  两侧，按频率递减或递增依次各取 8 个测量点( $f_0$  附近多取几点)，逐点测出  $U_R$  值，计算出响应的电流值，数据记入表 4.5.2 中。

表 4.5.2 谐振曲线 1 的测试

测算值 \ $f(\text{kHz})$	...		$f_1$			$f_0$			$f_2$		...
$U_R(\text{V})$											
$I=U_R/R(\text{mA})$											
$Q_1 = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$											

(3) 测定通用谐振曲线 2 及其品质因数  $Q_2$

改变电阻值，取  $R=1\text{k}\Omega$ ，重复上述步骤测量过程，数据记入表 4.5.3 中。

表 4.5.3 谐振曲线 2 的测试

$f(\text{kHz})$											
测算值	...		$f_1$			$f_0$			$f_2$		...
$U_R (\text{V})$											
$I=U_R/R (\text{mA})$											
$Q_1 = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$											

#### 四、实验报告要求

- (1) 根据测试数据，在同一坐标中绘出不同  $Q$  值时的两条电流通用谐振曲线  $I/I_0=f(f)$ 。
  - (2) 计算出通频带与  $Q$  值，说明不同的  $R$  值对电路通频带与品质因数的影响。
  - (3) 对  $Q$  值的两种不同的测试方法进行比较，分析误差原因。
  - (4) 发生串联谐振时，比较电阻电压  $U_R$  与输入电压  $U_S$  是否相等？试分析原因。
- 通过分析本次实验测试数据，总结、归纳串联/并联谐振电路的特性。

实验十成绩：\_\_\_\_\_ 教师签名：\_\_\_\_\_



班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验十一 交流电路中元件参数的测量

### 预习与思考

- ① 在 50Hz 的交流电路中，测得一只铁芯线圈（带线圈内阻  $R_L$ ）的  $P$ 、 $I$  和  $U$ ，如何算得它的内阻值  $R_L$  及电感量  $L$ ？
- ② 如何用并联电容的方法来判别阻抗的性质？
- ③ 对于某元件  $G+jB$  来说， $G$ 、 $B$  为元件的电导和电纳，当  $B<0$  时，该元件是感性的；当  $B>0$  时，该元件是容性的。试说明原因。
- ④ 说明自耦调压器的操作注意点。

### 一、实验目的

学习用相位法或功率法测量电感线圈、电阻器、电容器的参数；学会根据测量数据计算出串联参数  $R$ 、 $L$ 、 $C$  和判别负载性质；正确掌握单相电量仪、自耦调压器的使用方法。

### 二、实验装置

- |           |     |
|-----------|-----|
| (1) 单相电量仪 | 1 台 |
| (2) 万用表   | 1 台 |
| (3) 自耦调压器 | 1 只 |

- (4) 电感线圈(镇流器)      1 个
- (5) 电容器                      1 组
- (6) 白炽灯                      1 只
- (7) 可变电阻器                1 个

### 三、实验内容

- (1) 用一个白炽灯泡和电容  $3.7\mu\text{F}$  组成如图 3.7.4 所示的实验电路, 调节调压器至 220 V, 将测量值填入表 3.7.1 中, 验证电压三角形关系。

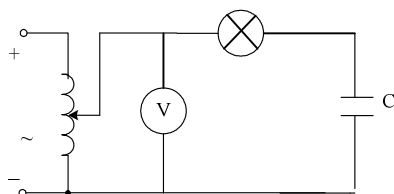


图 3.7.4 RC 串联电路

- (2) 分别测量 15W 白炽灯( $R$ ), 20W 日光灯镇流器( $L, R_L$ ) 和  $3.7\mu\text{F}$  电容器( $C$ )的各参数, 求出电路等效参数。

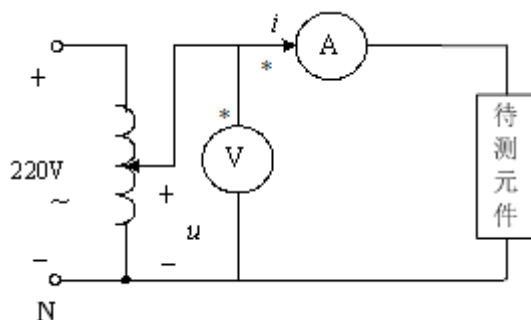


图 3.7.8 测量二端元件参数线路图

按图 3.7.8 接好线路后, 可直接由单相电量仪的三排显示窗口分别读出有功功率  $P$ 、电压  $U$  和电流  $I$  的测量值, 然后按切换键 SET 可读出电路的相位角  $\varphi$  ( $\varphi$  角为电压超前电流的相位差), 进而求出电路等效参数  $R$ 、 $R_L$ 、 $L$ 、 $C$ , 填入表 3.7.2。

表 3.7.2 各元件的参数测量

被测阻抗	测量值				计算值		电路等效参数		
	$U$ (V)	$I$ (mA)	$P$ (W)	$\varphi$	$ Z $ ( $\Omega$ )	$\cos\varphi$ $=P/UI$	$R$ ( $\Omega$ )	$L$ (H)	$C$ ( $\mu\text{F}$ )
15W 白炽灯 $R$	220								
镇流器( $L, R_L$ )	100								
电容器 $C$	100								

注意: 整流器 (电感线圈) 中流过电流不得超过 100mA。

- (3) 测量  $R$ 、 $L$ 、 $C$  串联后的等效参数。

将图 3.7.8 中待测元件换为 15W 白炽灯 ( $R$ )、电感线圈 ( $L, R_L$ ) 和电容  $C=3.7\mu\text{F}$  的串联, 可得如图 3.7.9 所示的具体测试电路接线图, 其中调压器输出调为 100V。按图 3.7.9

接好线路后,可直接由单相电量仪的显示窗口读出电压和电流的测量值,然后按切换键 SET 可读出电路的有功功率和功率因数值  $\cos\varphi$  (注意此时电压表必须接在总电压上,否则测出的不是整个电路的功率因数),进而求出电路等效参数  $R$ 、 $R_L$ 、 $L$ 、 $C$ ,填入表 3.7.3。

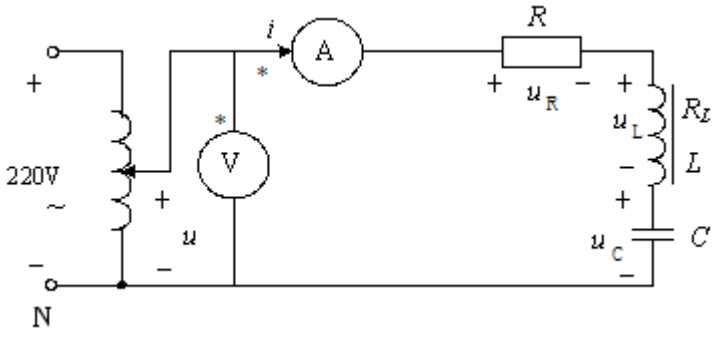


图 3.7.9 RLC 串联电路的交流参数测量接线图

表 3.7.3 RLC 串联电路的交流参数

$U$ (V)	$U_R$ (V)	$U_L$ (V)	$U_C$ (V)	$I$ (mA)	$P$ (W)	$\cos\varphi$	$R$ ( $\Omega$ )	$R_L$ ( $\Omega$ )	$L$ (H)	$C$ ( $\mu\text{F}$ )
100										

(4) 验证用并联试验电容法判别负载性质的正确性。

实验线路如图 3.7.10 所示,第一组负载为镇流器( $L$ ,  $R_L$ );第二组负载为电容器  $C=3.7\mu\text{F}$ ;第三组负载为图 3.7.9 所示实验电路的  $R$ 、( $L$ ,  $R_L$ )、 $C$  串联负载。调节调压器至 100 V,按表 3.7.4 内容进行测量和记录。

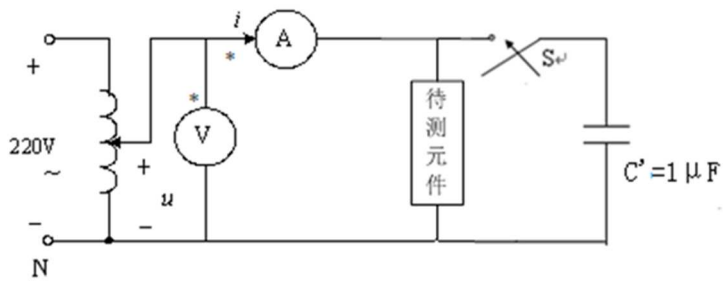


图 3.7.10 判别负载性质的并联电容法接线图

表 3.7.4 判别负载性质

负载 (被测元件)	$U$ (V)	负载并联 $1\mu\text{F}$ 电容		负载性质
		并前电流 $I$ (mA)	并后电流 $I'$ (mA)	
镇流器( $L$ , $R_L$ )	100			
$C=3.7\mu\text{F}$	100			
$R$ 、( $L$ , $R_L$ )、 $C$ 串联	100			

#### 四、实验报告要求

- (1) 根据实验内容(1)测量数据，绘出电压相量图，验证相量形式的基尔霍夫定律。
- (2) 按表 3.7.2 要求，计算电阻器阻值、电容器的电容量、电感器的内阻和电感量。
- (3) 根据实验内容(3)测量所得的数据，画出  $U$ 、 $U_R$ 、 $U_C$ 、 $U_L$  与  $I$  的相量图，并说明如何体现电压三角形和阻抗三角形？
- (4) 分析实验内容(4)的测试结果，阐述其实验原理。

实验十一成绩：\_\_\_\_\_ 教师签名：\_\_\_\_\_



班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验十二 感性电路的测试及功率因数的提高

### 预习与思考

① 预习日光灯启辉的原理及感性负载提高功率因数的有关理论知识。

② 在日常生活中，当日光灯上缺少了启辉器时，人们常用一根导线将启辉器的两端短接一下，然后迅速断开，使日光灯点亮；或用一只启辉器去点亮多只同类型的日光灯，这是为什么？

③ 为了提高电路的功率因数，常在感性负载上并联电容器，此时增加了一条电流支路，试问电路的总电流是增大还是减小，此时感性元件上的电流和功率是否改变？

④ 提高线路功率因数，所并的电容器是否越大越好？为什么？

### 一、实验目的

通过日光灯线路的接线，研究正弦稳态交流电路中电压、电流相量之间的关系；理解改善电路功率因数的意义并掌握其方法。

### 二、实验装置

(1) 单相电量仪	1 台
(2) 万用表	1 只
(3) 自耦调压器	1 个
(4) 日光灯电路板	1 个

- (5) 补偿电容板 1 个
- (6) 电流插座板 1 个

### 三、实验内容

#### (1) 日光灯线路接线与测量

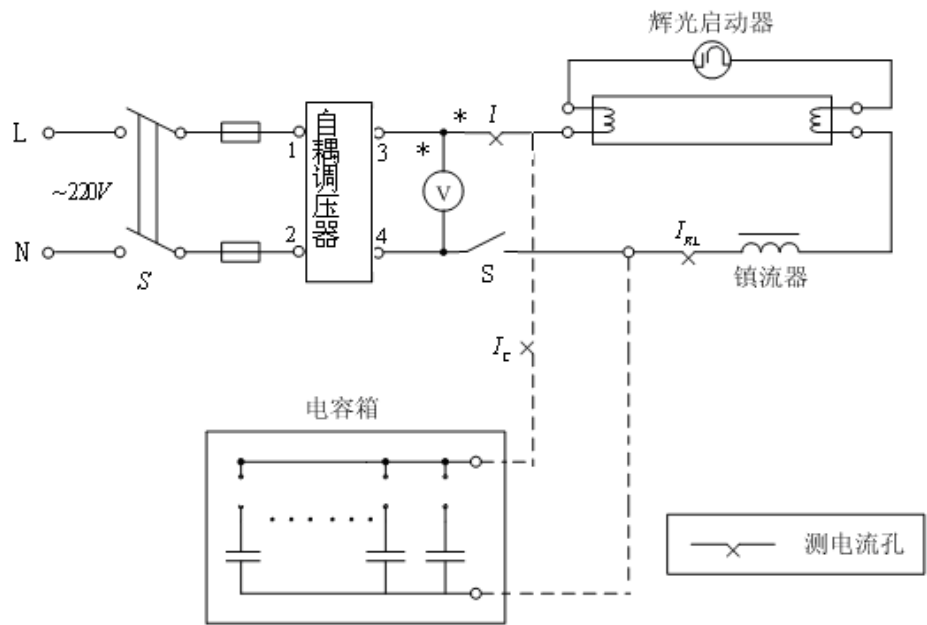


图 3.8.3 日光灯电路及功率因数提高的实验线路

利用实验装置中 20W 日光灯实验器件，按图 3.8.3 接线，此时电容箱不接。经指导教师检查后接通实验台电源，调节自耦调压器的输出，使其输出电压缓慢增大，直到日光灯刚启辉点亮为止，利用电量仪测量电压  $U$ 。然后将电压调至 220V，利用电量仪测量表 3.8.1 中各正常工作值，将电压  $U$ 、 $U_L$ 、 $U_R$ 、有功功率  $P$  和功率因数  $\cos\varphi$  测量值填入表中，计算灯管电阻  $R$  和镇流器内阻  $R_L$  及电感值  $L$ ，并验证电压、电流相量关系。

表 3.8.1 日光灯电路的测量数据表

测 量 数 值							计算值		
	$P(W)$	$\cos\varphi$	$I(mA)$	$U(V)$	$U_L(V)$	$U_R(V)$	$R(\Omega)$	$R_L(\Omega)$	$L(H)$
正常工作值									

#### (2) 电路功率因数的改善

日光灯电路两端并联电容，接线如图 3.8.3。经指导老师检查后，接通实验台电源，将自耦调压器的输出调至 220V，逐渐加大电容量，每改变一次电容量，都要测量端电压  $U$ ，总电流  $I$ ，日光灯电流  $I_{RL}$ ，电容电流  $I_C$  以及总功率  $P$  之值，记录于表 3.8.2 中。

表 3.8.2 验证日光灯电路功率因数的提高

$C(\mu F)$	1	2	3	3.47	3.7	4.7	5.7
------------	---	---	---	------	-----	-----	-----

$I_{RL}(\text{mA})$							
$I_C(\text{mA})$							
$I(\text{mA})$							
$P(\text{W})$							
$\varphi$							
$\cos\varphi$							
计算值							
$\cos\varphi' = P/UI$							

#### 四、实验报告要求

- (1) 完成数据表格中的计算，进行必要的误差分析。
- (2) 利用表 3.8.1 的实测数据，画出日光灯电路中各电压和电流的相量图。
- (3) 并联电容后，利用表 3.8.2 的实验数据，画出有补偿电容（ $C=3\mu\text{f}$ ）时，电路中各电流的相量图。
- (4) 根据表 3.8.2 中的实验数据，画出功率因数与并联电容  $C$  的关系曲线，并加以分析讨论。

实验十二成绩：\_\_\_\_\_ 教师签名：\_\_\_\_\_



班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验十三 三相交流电路的电压、电流及功率测量

### 预习与思考

① 列写对称三相负载星形联接及三角形联接时的线、相电压及线、相电流之间关系式。

② 了解三相功率测量方法，弄清三瓦计法、二瓦计法测量三相功率的原理。

③ 三相对称负载作 $\Delta$ 形联接时，负载相电压和线电压什么关系？380V/220V 供电系统能否直接用来做此实验？

### 一、实验目的

掌握三相负载作星形联接、三角形联接的方法，并验证这两种接法下线、相电压及线、相电流之间的关系；掌握三相功率的测量方法；充分理解三相四线供电系统中线的作用。

### 二、实验装置

- |            |     |
|------------|-----|
| (1) 三相断路器板 | 1 块 |
| (2) 三相熔断器板 | 1 块 |
| (3) 三相负载板  | 1 块 |
| (4) 单相电量仪  | 1 个 |
| (5) 三相功率表  | 1 个 |
| (6) 电流插孔板  | 1 块 |

### 三、实验内容

(1) 测量三相四线制电源的相、线电压。

	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$U_{AN}$	$U_{BN}$	$U_{CN}$
220 伏电源						

注意：通常，三相四线制供电系统提供的三相线电压为 380V，相电压为 220V。本实验中三相线电压降为 220V，相电压为 127V。

(2) 三相负载星形联接（三相四线制供电）

表 3.10.1 三相负载星形联接下电压与电流测量值

测量数据 负载情况		开灯盏数			线电流(mA)			相电压 (V) (负载侧)			中线 电流 (mA)	中点 电压 (V)	灯亮度 变化
		A 相	B 相	C 相	$I_A$	$I_B$		$U_{AN'}$	$U_{BN'}$	$U_{CN'}$	$I_N$	$U_{NN'}$	
负载 对称	有中线	2	2	2									
	无中线	2	2	2									
负载 不对称	有中线	1	2	2									
	无中线	1	2	2									

(3) 负载三角形联接（三相三线制供电）  
按图 3.10.6 改接线路，经指导教师检查后接通三相电源，按数据表格的内容进行测试。

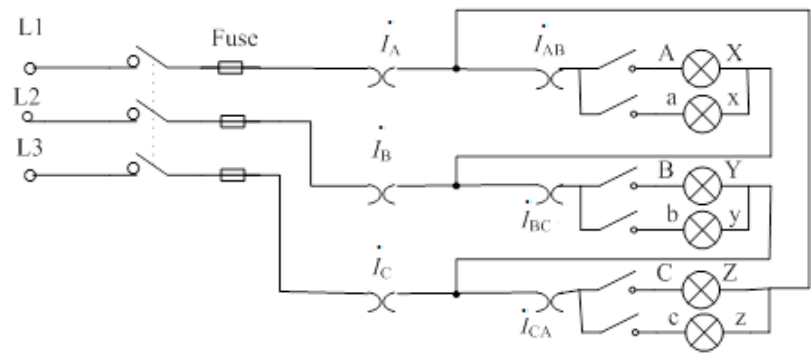


图 3.10.6 三相负载三角形联接线路

表 3.10.2 三相负载三角形联接下电压与电流

测量数据 负载情况		开 灯 盏 数			线电压=相电压(v)			线电流(mA)			相电流(mA)		
		A-B 相	B-C 相	C-A 相	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_{AB}$	$I_{BC}$	$I_{CA}$
$\Delta$ 接三相 对称		2	2	2									
$\Delta$ 接三相 不对称		1	2	2									

(4) 三相电路的功率测量  
按表 3.10.3 所示内容进行有中线星形对称/不对称负载和无中线星形对称/不对称负载的三相功率测量，所测数据计入表 3.10.3 中。  
有中线星形对称/不对称负载情况的三相功率可采用单瓦计法或三瓦计法原理测量。在使用单相电量仪测任一单相电路的功率时，电量仪上的  $\text{V}$  两端并联在所测相/线和中点之间， $\text{A}$  两端串联在该相/线中，注意  $\text{V}$  与  $\text{A}$  标识“\*”的同名端应联接在同一端子，如图 3.10.7 所示。

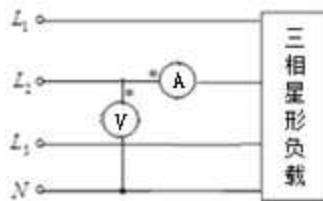


图 3.10.7 采用单相电量仪测量单相功率的接线示意图

无中线星形对称/不对称负载情况的三相功率可采用二瓦计法测量。三相功率表实际上是根据“二瓦计”原理制成的，所以工程上三相三线制线路常用三相功率表直接测量三相功率。如图 3.10.8 所示三相功率表上的“ $U_A$ ”，“ $U_B$ ”，“ $U_C$ ”直接与三相电源上的  $L_1$ ， $L_2$ ， $L_3$  端线连接。“ $I_A$ ”插孔串入  $L_1$  端线；“ $I_C$ ”插孔串入  $L_3$  端线。此时相当于以  $L_2$  端线为基线的两瓦计法。

注意：两瓦计法对于有中线情况，功率表的读数没有任何意义。

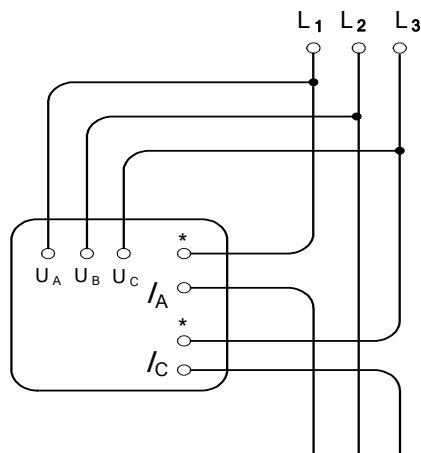


图 3.10.8 用三相功率表测量功率的接线示意图

表 3.10.3 测量三相负载功率

负载情况	开灯盏数			各相功率测量值			三相总功率
	A 相	B 相	C 相	$P_A(W)$	$P_B(W)$	$P_C(W)$	$P (W)$
有中线 Y 形 对称负载 (单瓦计法)	2	2	2				
有中线 Y 形 不对称负载 (三瓦计法)	1	2	2				
无中线 Y 形 对称负载 (两瓦计法)	2	2	2				
无中线 Y 形 不对称负载 (两瓦计法)	1	2	2				

#### 四、实验报告要求

(1) 在星形连接负载不对称有中线时, 各灯泡亮度是否一致? 断开中线各灯泡亮度是否一致? 为什么?

(2) 用实验测得的数据验证对称负载星形联接时线/相电压和三角形联接时线/相电流的  $\sqrt{3}$  关系。

(3) 根据不对称负载三角形联接时的相电流值作相量图, 并求出线电流值, 然后与实验测得的线电流作比较分析。

(4) 总结、分析三相电路功率测量的方法与结果。

实验十三成绩: \_\_\_\_\_ 教师签名: \_\_\_\_\_



班级：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_

## 实验十四 移相器的研究与设计

### 预习与思考

- ① 参阅课外资料，学习移相器的相关理论，了解各类移相器的工作原理。
- ② 完成实验任务的理论计算、设计和仿真实验。
- ③ 对所设计的移相器预定测试方案，并能依据测试波形和记录的各项参数进行理论证明和设计结果验证。

### 一、实验目的

移相器在雷达、通信、仪器仪表、控制系统、电力电子等领域中有着广泛的应用前景。本实验要求掌握移相器的设计与测试方法，在研究本实验提示内容的基础上，设计并实现满足性能指标要求的移相器，加深对“移相”概念和移相器工作原理的理解。

### 二、实验装置

- (1) 函数信号发生器
- (2) 双踪示波器
- (3) 综合设计电路元件箱

### 三、实验内容

#### 1. $90^\circ$ 移相器的设计与实现

如图 5.1.3 所示  $90^\circ$  移相器常用于雷达指示器电路中。其中节点 1 和节点 3 之间输入信号源  $u_i$  为正弦电压源。若电路元件参数  $R$ 、 $C$  和信号源角频率  $\omega$  满足某一关系，则 1、2、3、4 各电位点对 0 点的输出信号  $u_{10}$ 、 $u_{20}$ 、 $u_{30}$ 、 $u_{40}$  的相位将依次移后  $90^\circ$ ，且其有效值均为信号源  $u_i$  有效值的一半。

试利用现有实验仪器设备设计电路元件参数，从而实现如图 5.1.3 所示的  $90^\circ$  移相器。保持正弦电压信号源  $u_i$  的频率和幅值不变，用双踪示波器测量并记录电压  $u_i$  和  $u_{23}$ 、 $u_i$  和  $u_{43}$  的波形，并进行理论分析和验证设计结果。

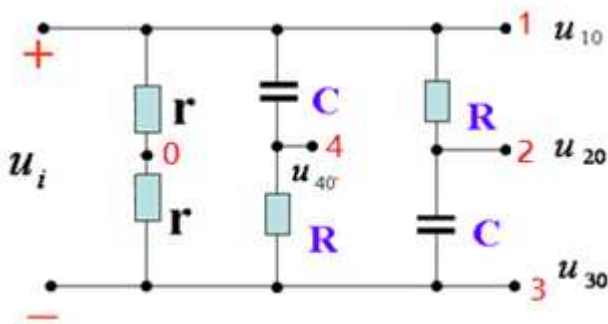


图 5.1.3  $90^\circ$  移相器示意图

#### 2. $0 \sim 180^\circ$ 移相器的设计与实现

参照图 5.1.2 (a)，设计一个  $0 \sim 180^\circ$  移相电路，要求输出信号的相位可在  $0 \sim 180^\circ$  之间变化，而输出幅度保持不变，用双踪示波器测量输出信号相移为  $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $150^\circ$ 、 $180^\circ$  时对应的某测试电压波形图和记录移相器相应的元件参数值，并进行理论分析和验证设计结果。

### 3.\* 0 ~ 360° 有源移相器的设计与实现

如图 5.1.4 为由运算放大器和  $R$ 、 $C$  元件构成的有源移相器电路，其电压转移函数为

$$\frac{\dot{U}_{out}}{\dot{U}_{in}} = \frac{j\omega CR_3 - \frac{R_2}{R_1}}{j\omega CR_3 + 1}$$

由上式可见，通过调节  $R_3$  的大小，能实现输入信号 0 ~ 360° 范围内的相移而不衰减信号幅度。

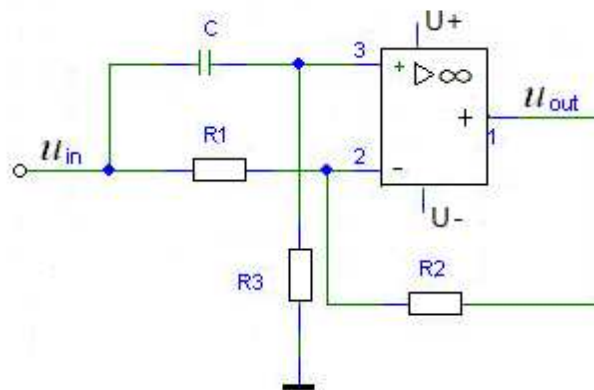


图 5.1.4 有源移相器电路图

设输入信号  $u_{in} = \sin(2\pi \times 1000t)$  V，电容  $C = 0.47\mu\text{F}$ 。试设计并实现对输入信号在 0 ~ 360° 范围内进行移相的电路，要求输出幅度保持不变，用双踪示波器测量输出信号相移为 45°、135°、225°、315° 时对应的输入、输出测试电压波形图和记录移相器相应的元件参数值，并进行理论分析和验证设计结果。

## 四、实验报告要求

1. 对电路设计方案进行仿真实验论证；
3. 画出 90° 移相器对应的相量图，详述设计原理及实验过程；
4. 介绍 0 ~ 180° 移相器的测试方案及实验过程；
5. 对各移相器的实现与测试结果进行分析和总结。

实验十四成绩：\_\_\_\_\_ 教师签名：\_\_\_\_\_

班级：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_姓名：\_\_\_\_\_

## 实验十五 二阶 $RC$ 网络频率特性的测试

### 自习与思考

- ① 复习交流电路频率特性理论知识，自行推导实验电路的幅频、相频特性的表达式。
- ② 什么是  $RC$  串、并联电路的选频特性？当频率等于谐振频率时，电路的输出、输入有何关系？

### 一、实验目的

熟悉文氏电桥电路的结构特点及其应用，自行测定文氏电桥电路的幅频特性和相频特性；自主测定双  $T$  带阻网络的幅频特性和相频特性；根据测试特性总结、归纳文氏电桥电路与双  $T$  电路在幅频特性和相频特性的异同点。

### 二、实验装置

- |             |     |
|-------------|-----|
| (1) 函数信号发生器 | 1 台 |
| (2) 双踪示波器   | 1 台 |
| (3) 动态电路元件箱 | 1 个 |

### 三、实验内容

#### (1) 文氏电桥幅频特性的测试

实验电路如图 4.6.1 所示，其中  $RC$  网络按照图 4.6.1 连接，其参数选择为： $R=1k\Omega$ ,  $C=0.022\mu F$ ，信号源输出正弦波电压作为电路的输入电压  $u_i$ ，调节信号源输出电压幅值，使  $U_i = 2V$ 。

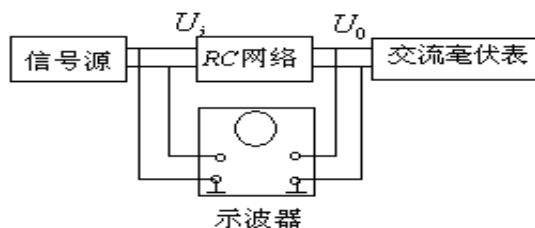


图 4.6.1  $RC$  网络频率特性测试框

改变信号源正弦波输出电压的频率  $f$ （由频率计读得），并保持  $U_i = 2V$  不变（用交流毫伏表监视），测量输出电压  $U_o$ （可先测量  $A = \frac{1}{3} U_i$  时的频率  $f_0$ ，然后再在  $f_0$  左右选几个频率点进行测量），将数据记入表 4.6.1 中。

在图 4.6.1 的  $RC$  网络中，选取另一组参数： $R = 200\Omega$ ， $C = 2.2\mu F$ ，重复上述测量，将数据记入表 4.6.1 中。

表 4.6.1 幅频特性测试数据

$R=1k\Omega$ $C=0.022\mu F$	$f(Hz)$					$f_0$				
	$U_o(V)$									
$R = 200\Omega$ $C=2.2\mu F$	$f(Hz)$									
	$U_o(V)$									

## （2）文氏电桥相频特性的测试

按实验原理中相频特性的说明，使用双踪示波器测量信号源周期  $T$ 、 $u_o$  与  $u_i$  之间的时延  $\Delta t$  及其相位差  $\varphi$ ，将测试数据记入表 4.6.2 中。

表 4.6.2 相幅频特性测试数据

$R=1k\Omega$ $C=0.022\mu F$	$f(Hz)$					$f_0$				
	$T(ms)$									
	$\Delta t(ms)$									
	$\varphi$									
$R = 200\Omega$ $C=2.2\mu F$	$f(Hz)$					$f'_0$				
	$T(ms)$									
	$\Delta t(ms)$									
	$\varphi$									

## 四、实验报告要求

（1）根据表 4.6.1 和表 4.6.2 实验数据，绘制文氏电桥电路的两组幅频特性和相频特性曲线，找出谐振频率和幅频特性的最大值，并与理论计算值比较。

（2）根据实验测试数据和频率特性曲线，分析文氏电桥电路的选频特性，总结文氏电桥电路的幅频特性和相频特性随参数的变化情况。

实验十五成绩：\_\_\_\_\_ 教师签名：\_\_\_\_\_