

# 电路分析实验指导书

深圳大学生物医学工程教学实验中心  
2024 年 3 月



# 目 录

实验一	实验仪器的使用及元器件的测量.....	1
实验二	基尔霍夫定律的验证.....	5
实验三	电路定理的验证 I—叠加定理.....	9
实验四	电路定理的验证 II—戴维南定理.....	13
实验五	一阶 RC 电路的响应测试.....	18
实验六	R、L、C 元件在正弦电路中的特性实验.....	24
实验七	R、L、C 谐振电路的研究.....	28
附录 I	VC980 系列数字万用表使用说明.....	30

# 电路分析实验指南

## 1. 预习方法

预习是做好实验的基础，是提高实验效率的有效方法。首先要认真了解各个实验的具体要求，然后根据具体要求进行电路参数的设计，并设计好实验数据记录表格，最后是根据实验步骤的要求做好预习报告。

## 2. 注意事项

- ① 实验前必须做好充分的预习。
- ② 连接实验电路前，必须先用仪器检测电路元器件，例如电阻、电容元件，从而保证不会出现因元器件本身故障而影响实验效果的情况。
- ③ 各实验仪器与被测实验电路之间的连接要可靠、牢固，避免接触不良。
- ④ 调整实验电路参数时，必须先关闭电源，然后再调整，调整完毕后再接通电路继续测试，严禁在通电的情况下直接更换电路元器件（这样做容易损坏元器件）。
- ⑤ 每次使用示波器之前，先使用一下示波器的自检功能，检测一下探头、通道是否能够正常工作，并作适当的校正，从而为正确测试电路波形奠定良好的基础。
- ⑥ 在使用万用表等仪器测量时，应先将量程适当调大，然后再逐渐调小量程来测量，万用表使用完毕应关闭电源。
- ⑦ 稳压源的输出不允许短路，恒流源的输出不允许开路。
- ⑧ 电压表应与电路并联使用，电流表应与电路串联使用，并且都要注意极性与量程的合理选择。

## 3. 报告要求

- ① 必须包括预习情况——电路参数设计过程、实验数据记录表格、预习思考题等；
- ② 如实记录实验实测量值以及参数调整过程；
- ③ 分析实际测量值与理论计算值之间差异产生的原因——误差分析。

## 实验一 实验仪器的使用及元器件的测量

### 一. 实验目的

1. 熟悉实验箱
2. 学习使用万用表
3. 掌握用万用表测量电阻、电容元件性能的好坏

### 二. 实验原理

1. 数字万用表可用来测量直流电压和交流电压、直流电流和交流电流、电阻、电容、二极管、三极管、通断测试及频率等参数。通过拨动档位开关来切换测试功能和量程。

最大显示值位 $\pm 19999$ ，超量程时显示“1”或“- 1”，内部电池电压过低时有显示标志提醒更换电池。

使用时应注意正确地选择量程及表笔插孔，对未知大小的电量进行测试时，应把量程调到最大，然后从大向小调，直到合适为此。若出现“1”，则表示超出量程（过载），应当调大量程来测量。不测量时，应关断万用表的电源开关。当测量电流时切忌过载，否则万用表容易损坏。**特别注意的是，绝对禁止使用电阻档或电流档测量电压。**

关于数字万用表的使用可以参考附录 I。

#### 2. 直流电源

直流电源有正、负两个电极，正极的电位高，负极的电位低，当两个电极与电路连通后，能够使电路两端之间维持恒定的电位差，从而在外电路中形成由正极到负极的电流。实验箱上有两个可调直流电压源（ $0\sim +12\text{V}$  和  $0\sim -12\text{V}$ ），两个不可调直流电压源（ $+12\text{V}$  和  $-12\text{V}$ ）以及一个可调直流电流源（ $0\sim 10\text{mA}$ ）。

#### 3. 固定电阻

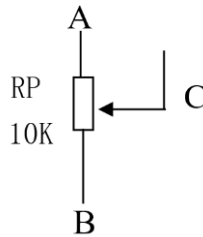
固定电阻的测量，可以根据电阻标称值选用万用表适当的电阻档量程来直接测量。

#### 4. 电位器

电位器是具有三个引出端、阻值可按某种变化规律调节的电阻元件。电位器通常由电阻体和可移动的电刷组成。当电刷沿电阻体移动时，在输出端即获

得与位移量成一定关系的电阻值或电压。

尽管电位器种类规格极多，但在电路中的符号都是一样的，都用下图所示的符号来表示，其文字符号用“RP”，符号旁标出的阻值为电位器的最大阻值。



普通电位器符号

电位器的测量分两步。首先根据其标称值，用万用表选取适当的电阻档量程来直接测量其两定点 A、B 之间的电阻值。然后用万用表一个表笔接触电位器两个定点的其中一个 A 或 B，再用万用表另一个表笔接触电位器的动接点 C，观察此时万用表显示的电阻值是否小于电位器标称值，再将动接点从一个定点移动到另一个定点，观察万用表显示的电阻值有否相应变化，正常情况下应从 0 增加到标称值或从标称值减少到 0。

## 5. 电容

电容器也是电子设备中常用基本元件。电容器是储存电荷的容器，简称电容，文字符号用 C 表示。能储存电荷数量的本领叫电容量，电容量的单位是法拉（简称法），常用符号 F 表示，由于法拉这一单位太大，实际上使用的单位是微法（ $\mu\text{f}$ ，简写  $\mu$ ）和皮法（pF 简写 p）。其换算关系如下：

$$1\text{F（法拉）} = 10^6\mu\text{F（微法）} = 1000000\mu\text{F（微法）}$$

$$1\mu\text{F（微法）} = 10^6\text{pF（皮法）} = 1000000\text{pF（皮法）}$$

电容的测量，可将电容两引脚直接插入万用表电容测试插座中，然后根据其标称值选取适当的电容档量程来测量。当被测量电容标称值大于最大测量时（本实验用万用表为  $20\mu\text{F}$ ），可用万用表电阻档定性测量该电容的好坏。方法如下，先将待测电容两极短路（使电容放电），然后选择合适的电阻档量程（如  $50\mu\text{F}$  用 200K 档），测电容两极之间电阻，若万用表上显示的电阻读数开始时很小（相当于短路），然后电容充电，读数逐渐增大，最后读数变为“1”（相当于开路），则说明该电容是好的，否则电容已坏（开路或短路）。

## 三. 实验内容

### 1. 直流电压源及直流电流源的测量

分别用万用表、实验箱上的电流表和电压表，适当调节量程，测量实验箱上电压源与电流源。上述电压（红表笔接正，黑表笔接负），将测量数据记录如表 1-1，

表 1-1 测量直流电压

	电压源		电流源
标定值	$0\sim+12\text{V}$	$0\sim-12\text{V}$	$0\sim10\text{mA}$
万用表测量值			
电流表测量值	——	——	
电压表测量值			——

### 2. 电阻的测量

在实验箱上任意选择 3 个电阻，用万用表测量并将数据记录如表 1-2，

表 1-2

次数	电阻标称值	实测值	相对误差
1			
2			
3			

### 3. 电位器的测量

在实验箱上任意选择 3 个电位器，用万用表测量电位器的标称值，并检测当转动其动点时，能否改变动点与定点之间的电阻值，并将数据记录如表 1-3，

表 1-3

次数	标称值	实测值	动点与定点电阻可调否	综合判定电位器良好否
1				
2				
3				

### 4. 电容的测量

在实验箱上任意选择 2 个电容，用万用表测量并将数据记录如表 1-4，

表 1-4

次数	标称值	实测值	电容良好否
1			
2			

#### 四. 预习思考题

1. 测量电阻、电容、电感等元器件时，是否需要将实验箱的电源打开？
2. 电位器是什么元件，有何作用？

#### 五. 实验报告

1. 实验的目的；
2. 实验内容各个数据记录表格及误差分析；
3. 在测量过程中，如果万用表的屏幕显示“1”时应如何处理？
4. 实验中碰到哪些问题，如何解决的，实验结论。



## 实验二 基尔霍夫定律的验证

### 一. 实验目的

1. 验证基尔霍夫定律的正确性，加深对基尔霍夫定律的理解。
2. 学会用万用表测量各支路电压和电流。

### 二. 原理说明

基尔霍夫定律是电路的基本定律。测量某电路的各支路电流及每个元件两端的电压，应能分别满足基尔霍夫电流定律（KCL）和电压定律（KVL）。即对电路中的任一个节点而言，应有  $\Sigma I=0$ ；对任何一个闭合回路而言，应有  $\Sigma U=0$ 。

运用上述定律时必须注意各支路或闭合回路中电流的正方向，此方向可预先任意设定。

### 三. 实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	直流稳压电源	0~±12V		
2	直流电压测量表	0~3V/0~30V		
3	直流电流测量表	0~1mA/0~20mA		
4	万用表			
5	叠加定理实验模块			

#### 四. 实验内容

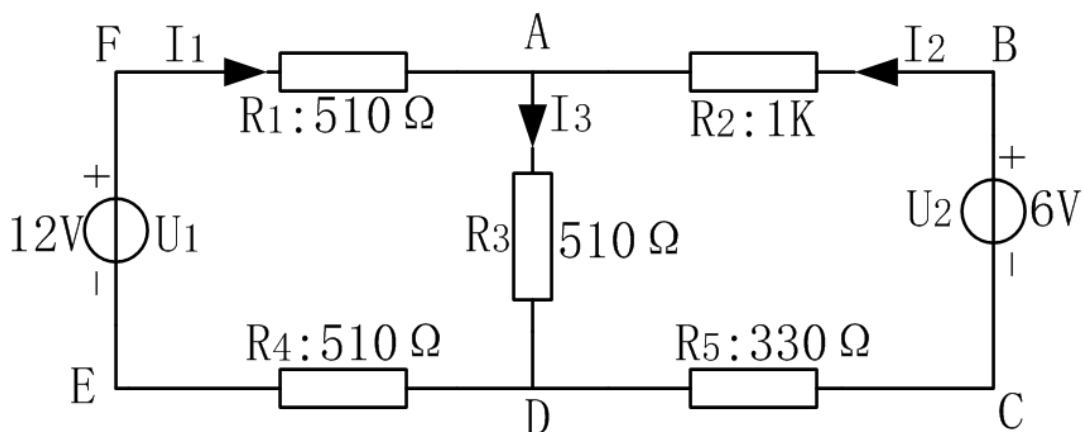


图 2-1

1. 实验前先任意设定三条支路和三个闭合回路的电流正方向。图 2-1 中的  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  的方向已设定。三个闭合回路的电流正方向可设为 ADEFA、BADCB 和 FBCEF。
2. 分别将两路直流电压源接入电路，令  $U_1=12V$ （可以使用实验箱右上方 12V 电压源）， $U_2=6V$ （可以使用 12V 可调电压源）。
3. 用万用表分别测量三条支路的电流，读出并记录电流值。
4. 用万用表分别测量两路电源及电阻元件上的电压值，记录如表 2-1（注意电压电流的方向）。

表 2-1

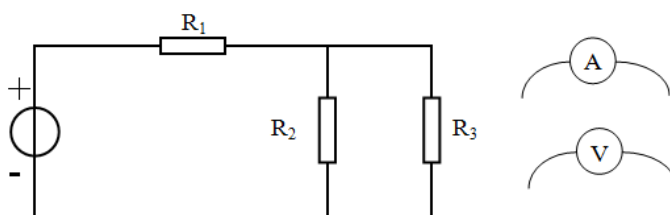
被测量	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$U_1$	$U_2$	$U_{FA}$	$U_{AB}$	$U_{AD}$	$U_{CD}$	$U_{DE}$
	(mA)	(mA)	(mA)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
计算值										
测量值										
相对误差										

## 五. 实验注意事项

1. 所有需要测量的电压值，均以电压表测量的读数为准。 $U_1$ 、 $U_2$  也需测量，不应取电源本身的显示值。所有电阻值也应以测量值为准。
2. 在实验过程中防止将电压源两个输出端碰线短路。
3. 用指针式电压表或电流表测量电压或电流时，如果仪表指针反偏，则必须调换仪表极性，重新测量。此时指针正偏，可读得电压或电流值。若用数显电压表或电流表测量，则可直接读出电压或电流值。但应注意：所读得的电压或电流值的正确正、负号应根据设定的电流参考方向来判断。

## 六. 预习思考题

1. 根据图 2-1 的电路参数，计算出待测的电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  和各电阻上的电压值，记入表中，以便实验测量时，可正确地选定电流表和电压表的量程。
2. 实验中，若用指针式直流表测各支路电流，在什么情况下可能出现指针反偏，应如何处理？在记录数据时应注意什么？若用万用表进行测量时，则会有什么显示呢？
3. 如何测量下图中电阻  $R_3$  两端的电压  $V_3$  和流经  $R_3$  的电流  $I_3$ ，分别画出连接示意图。



4. 在使用万用表测量直流电压和直流电流时，万用表的设置有何不同？

## 七. 实验报告

1. 根据实验数据，选定实验电路中的任一个节点，验证 KCL 的正确性。
2. 根据实验数据，选定实验电路中的任一个闭合回路，验证 KVL 的正确

性。

3. 分析误差，讨论误差的可能来源。
4. 根据误差大小等相关数据，给出你的实验结论。
5. 如何使用万用表判断电路中电流的方向？

### 实验三 电路定理的验证 I—叠加定理

#### 一. 实验目的

验证线性电路叠加原理的正确性，加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。

#### 二. 原理说明

叠加原理指出：在有几个独立源共同作用下的线性电路中，通过每一个元件的电流或其两端的电压，可以看成是由每一个独立源单独作用时在该元件上所产生的电流或电压的代数和。

线性电路的齐次性是指当激励信号（某独立源的值）增加或减小  $K$  倍时，电路的响应（即在电路其他各电阻元件上所建立的电流和电压值）也将增加或减小  $K$  倍。

#### 三. 实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	直流稳压电源	0~±12V		
2	直流电压测量表	0~3V/0~30V		
3	直流电流测量表	0~1mA/0~20mA		
4	万用表			
5	叠加定理实验模块			

四. 实验内容

实验线路如图 3-1 所示：

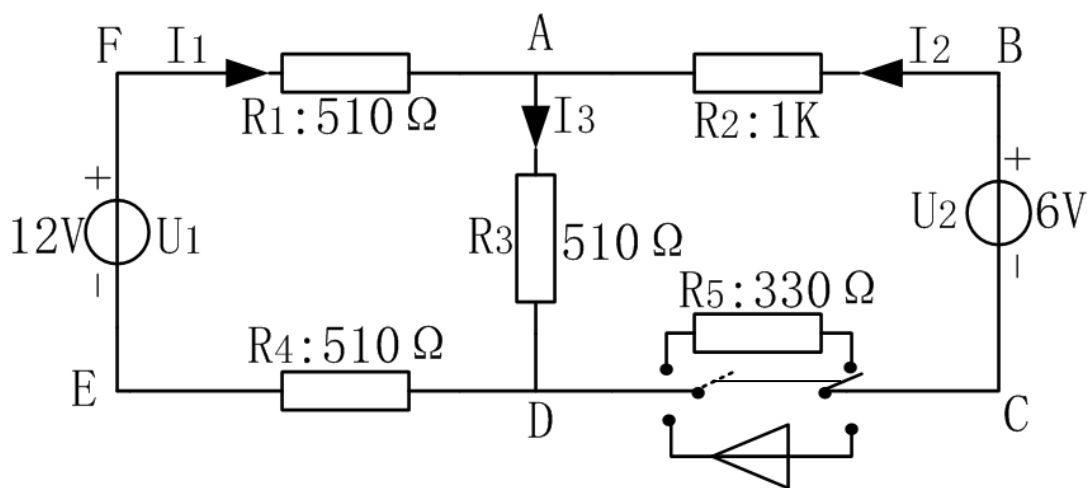


图 3-1

- 1. 按图 3-1 ,  $U_1=12V$ （可以使用实验箱右上方 12V 电压源）， $U_2=6V$ (可以使用 12V 可调电压源)。
- 2. 令  $U_1$  单独作用时(将开关  $S_1$  推向  $U_1$  侧，开关  $S_2$  推向  $U_2$  短路侧)，用万用表测量各支路电流及各电阻元件两端的电压，记入表格 3-1。

表 3-1

测量项目	$U_1$	$U_2$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$U_{AB}$	$U_{CD}$	$U_{AD}$	$U_{DE}$	$U_{FA}$
实验内容	(V)	(V)	(mA)	(mA)	(mA)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
$U_1$ 单独作用										
$U_2$ 单独作用										
$U_1, U_2$ 共同作用										
$2U_2$ 单独作用										

- 3. 令  $U_2$  单独作用（将开关  $S_1$  推向  $U_1$  短路侧，开关  $S_2$  推向  $U_2$  侧），重

复实验步骤 2 的测量和记录。

4. 令  $U_1$  和  $U_2$  共同作用（开关  $S_1$  和  $S_2$  分别推向  $U_1$  和  $U_2$  侧），重复测量各支路电流及各电阻元件两端的电压，记入表格。

5. 将  $U_2$  的数值调至  $+12V$ ，重复上述 3 项的测量并记录。

6. 将  $R_5$  换成一只二极管 1N4007,重复 1~5 的测量过程,数据记入表 3-2。

表 3-2

测量项目 实验内容	$U_1$ (V)	$U_2$ (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$U_{AB}$ (V)	$U_{CD}$ (V)	$U_{AD}$ (V)	$U_{DE}$ (V)	$U_{FA}$ (V)
U1 单独作用										
U2 单独作用										
U1,U2 共同作用										
2U2 单独作用										

## 五. 实验注意事项

1. 用万用表测量各支路电流时，应注意仪表的极性，及数据表格中“+、-”号的记录。

2. 注意仪表量程的及时更换。

## 六、预习思考题

1. 叠加原理中  $U_1$ 、 $U_2$  分别单独作用，在实验中应如何操作？可否直接将不作用的电源（ $U_1$  或  $U_2$ ）置零（短接）？

2. 二极管是什么，特性是怎样的？实验电路中，若有一个电阻改为二极管，试问叠加原理的迭加性与齐次性还成立吗？为什么？

## 七. 实验报告

1. 根据实验数据表格,进行分析、比较、归纳、总结实验结论,即验证线性电路的叠加性与齐次性。
2. 各电阻器所消耗的功率能否用叠加原理计算得出? 试用上述实验数据,进行计算并作结论。
3. 分析误差,讨论误差的可能来源。
4. 通过实验步骤 6 及分析数据表格 3-2,能得出什么样的结论?



## 实验四 电路定理的验证 II—戴维南定理

### 一. 实验目的

1. 验证戴维南定理的正确性，加深对该定理的理解。
2. 掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法。

### 二. 原理说明

1. 任何一个线性含源网络，如果仅研究其中一条支路的电压和电流，则可将电路的其余部分看作是一个有源二端网络（或称为含源一端口网络）。

戴维南定理指出：任何一个线性有源网络，总可以用一个等效电压源来代替，此电压源的电动势 $E_S$ 等于这个有源二端网络的开路电压 $U_{OC}$ ，其等效内阻 $R_0$ 等于该网络中所有独立源均置零（理想电压源视为短接，理想电流源视为开路）时的等效电阻。 $U_{OC}$ ， $E_S$ 和 $R_0$ 称为有源二端网络的等效参数。

#### 2. 有源二端网络等效参数的测量方法

##### (1) 开路电压、短路电流法

在有源二端网络输出端开路时，用电压表直接测其输出端的开路电压 $U_{OC}$ ，然后再将其输出端短路，用电流表测其短路电流 $I_{SC}$ ，则内阻为

$$R_0 = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$$

##### (2) 伏安法

用电压表、电流表测出有源二端网络的外特性如图4-1所示。根据外特性曲线求出斜率 $\tan\varphi$ ，则内阻

$$R_0 = \tan\varphi = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$$

用伏安法，主要是测量开路电压及电流为额定值 $I_N$ 时的输出端电压值 $U_N$ ，则内阻为

$$R_0 = \frac{U_{OC} - U_N}{I_N}$$

若二端网络的内阻值很低时，则不宜测其短路电流。

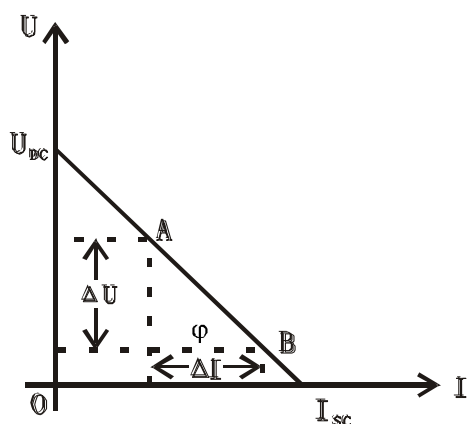


图4-1 有源二端网络的外特性

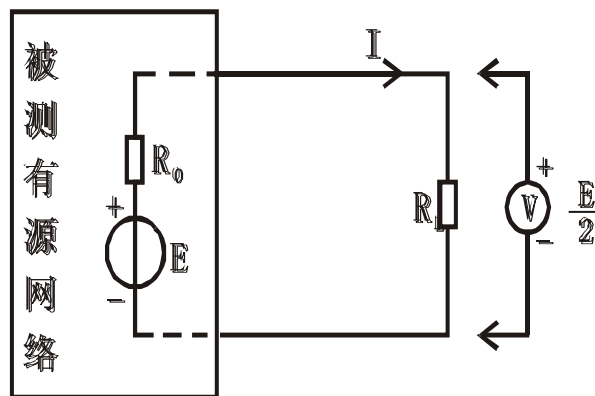


图4-2 半电压法测 $R_0$

### (3) 半电压法

如图4-2所示，当负载电压为被测网络开路电压一半时，负载电阻(由电位器的读数确定)即为被测有源二端网络的等效内阻值。

### (4) 零示法

在测量具有高内阻有源二端网络的开路电压时，用电压表进行直接测量会造成较大的误差，为了消除电压表内阻的影响，往往采用零示测量法，如图4-3所示。

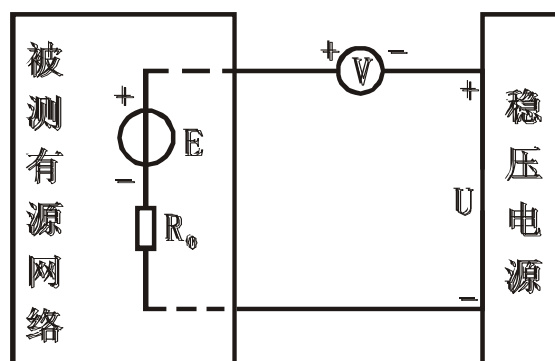


图4-3 零示法测 $U_{OC}$

零示法测量原理是用一低内阻的稳压电源与被测有源二端网络进行比较，

当稳压电源的输出电压与有源二端网络的开路电压相等时，电压表的读数将为“0”，然后将电路断开，测量此时稳压电源的输出电压， 即为被测有源二端网络的开路电压。

### 三. 实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	直流稳压电源	0~±12V		
2	直流电压测量表	0~3V/0~30V		
3	直流电流测量表	0~1mA/0~20mA		
4	万用表			
5	戴维南定理实验模块			

### 四. 实验内容

被测有源二端网络如图4-4(a)所示。

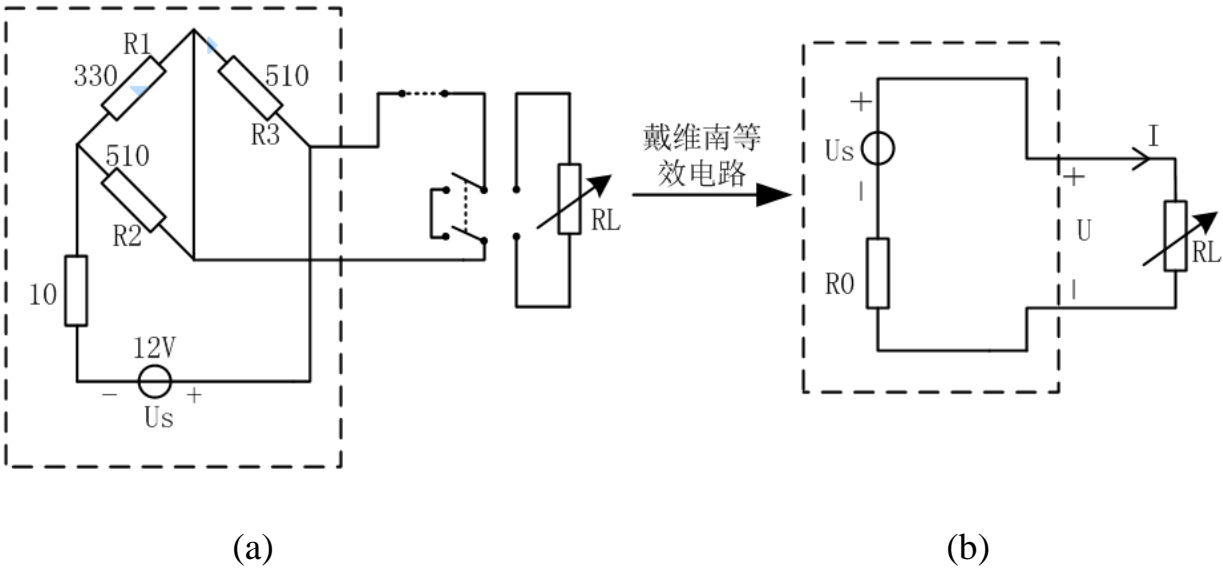


图4-4 戴维南定理测量电路及等效电路

1. 用开路电压、短路电流法测定该网络戴维南等效电路的 $U_{oc}$ 和 $R_0$ 。

表4-1戴维南等效电路参数

$U_{OC}(V)$	$I_{SC}(mA)$	$R_0=U_{OC}/I_{SC}(\Omega)$

## 2. 负载实验

按图4-4(a)连接电路，改变 $R_L$ 阻值，测量有源二端网络的外特性。

表4-2 负载实验数据记录

$R_L(\Omega)$	200	400	600	800	1000	1200
$U(V)$						
$I(mA)$						

## 3. 验证戴维南定理

在实验箱上选择一只合适的电位器 $R_L$ ，按照图4-4(b)所示连接电路，仿照“负载实验”测量二端网络的外特性，对戴维南定理进行验证，并与负载实验的数据进行比较。

表4-3 戴维南定理实验数据验证

$R_L(\Omega)$	200	400	600	800	1000	1200
$U(V)$						
$I(mA)$						

4. 测定有源二端网络等效电阻(又称入端电阻)的其它方法：将被测有源网络内的所有独立源置零(电压源短路，电流源开路)，然后用伏安法或者直接用万用电表的欧姆档去测定负载 $R_L$ 开路后输出端两点间的电阻，此即为被测网络的等效内阻 $R_0$ 或称网络的入端电阻 $R_i$ 。

5. 用零示法测量其开路电压 $U_{OC}$ 。

6. 用半电压法测量被测网络的等效内阻 $R_0$ 。

## 五. 实验注意事项

1. 注意测量时，电流表量程的更换。
2. 步骤“4”中，电压源短路时禁止直接将电压源正负极短接。
3. 用万用电表直接测 $R_0$ 时，网络内的独立源必须先置零，以免损坏万用电表。
4. 改接线路时，要关掉电源。

## 六. 预习思考题

1. 用短路电流法测 $I_{sc}$ 的条件是什么？在本实验中可否直接作负载短路实验？请实验前对线路4-4(a)预先作好计算，以便调整实验线路及测量时可准确地选取电表的量程。
2. 说明测有源二端网络开路电压及等效内阻的几种方法，并比较其优缺点。

## 七. 实验报告

1. 根据步骤2和3，分别绘出曲线，验证戴维南定理的正确性，并分析产生误差的原因。
2. 根据步骤1、4、5、6各种方法测得的 $U_{oc}$ 与 $R_0$ 与预习时电路计算的结果作进行比较和分析。
3. 分析误差，讨论误差的可能来源。
4. 归纳、总结实验结果。

## 实验五 一阶 RC 电路的响应测试

### 一. 实验目的

1. 初步掌握用示波器观察电信号波形，定量测出正弦信号和脉冲信号的波形参数。
2. 测定 RC 一阶电路的零输入响应、零状态响应及完全响应。
3. 学习电路时间常数的测量方法。
4. 掌握有关微分电路和积分电路的概念。
5. 进一步学会用示波器观测波形。

### 二. 示波器和信号发生器的使用

1. 信号发生器是一种用于产生波形等函数信号的电子测试设备，按信号波形可分为正弦信号、函数（波形）信号、脉冲信号和随机信号发生器等四大类。正弦交流信号和方波信号是常用的电激励信号，可由信号发生器提供。正弦信号的波形参数是幅值  $U_m$ 、周期  $T$ （或频率  $f$ ）和初相，方波信号的波形参数是幅值  $U_m$ 、周期  $T$ （或频率  $f$ ）及脉宽  $t_k$ 。关于信号发生器的使用可以参考附录 II。

2. 示波器是一种能够显示电压信号动态波形的电子测量仪器。它能够将时变的电压信号，转换为时间域上的曲线，原来不可见的电气信号，就此转换为在二维平面上直观可见光信号，因此能够分析电气信号的时域性质。更高级的示波器，甚至能够对输入的时间信号，进行频谱分析，反映输入信号的频域特性。一台双通道数字示波器可以同时观察和测量两个信号的波形和参数。

### 三. 原理说明

1. 动态网络的过渡过程是十分短暂的单次变化过程。要用普通示波器观

察过渡过程和测量有关的参数,就必须使这种单次变化的过程重复出现。为此,我们利用信号发生器输出的方波来模拟阶跃激励信号,即利用方波输出的上升沿作为零状态响应的正阶跃激励信号;利用方波的下降沿作为零输入响应的负阶跃激励信号。只要选择方波的重复周期远大于电路的时间常数  $\tau$ , 那么电路在这样的方波序列脉冲信号的激励下, 它的响应就和直流电接通与断开的过渡过程是基本相同的。

2. RC 一阶电路的零输入响应和零状态响应分别按指数规律衰减和增长, 其变化的快慢决定于电路的时间常数  $\tau$ 。

3. 时间常数  $\tau$  的测定方法:

用示波器测量零输入响应的波形如图 6-1(a)所示。

根据一阶微分方程的求解得知  $U_c = U_m e^{-t/RC} = U_m e^{-t/\tau}$ 。当  $t = \tau$  时,  $U_c(\tau) = 0.368U_m$ 。此时所对应的时间就等于  $\tau$ 。亦可用零状态响应波形增加到  $0.632U_m$  所对应的时间测得, 如图 6-1(c)所示。

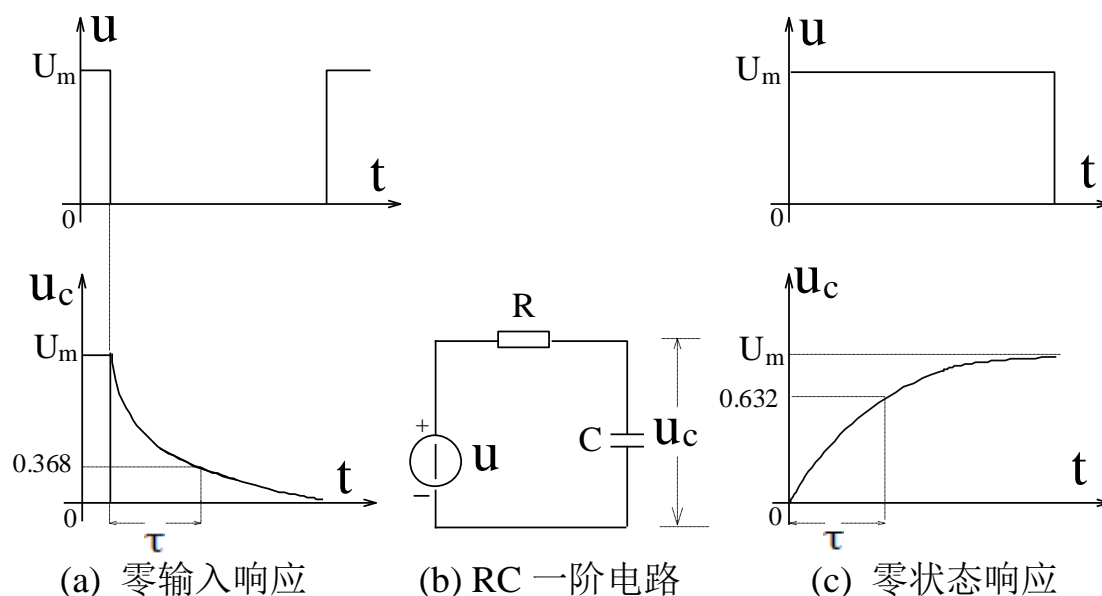


图 6-1

4. 微分电路和积分电路是 RC 一阶电路中较典型的电路, 它对电路元件参

数和输入信号的周期有着特定的要求。一个简单的 RC 串联电路，在方波序列脉冲的重复激励下，当满足  $\tau=RC\ll\frac{T}{2}$  时（T 为方波脉冲的重复周期），且由 R 两端的电压作为响应输出，则该电路就是一个微分电路。因为此时电路的输出信号电压与输入信号电压的微分成正比。如图 6-2(a)所示。利用微分电路可以将方波转变成尖脉冲。

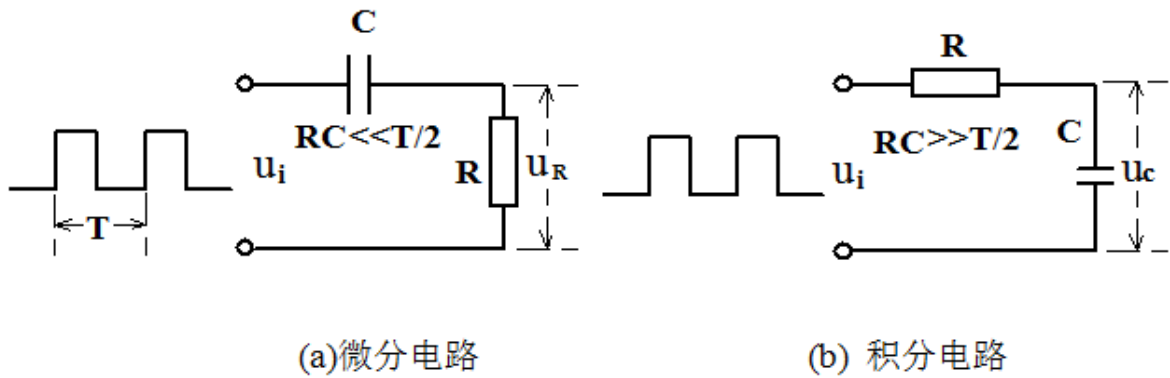


图 6-2

若将图 6-2(a)中的 R 与 C 位置调换一下，如图 6-2(b)所示，由 C 两端的电压作为响应输出，且当电路的参数满足  $\tau=RC\gg\frac{T}{2}$ ，则该 RC 电路称为积分电路。因为此时电路的输出信号电压与输入信号电压的积分成正比。利用积分电路可以将方波转变成三角波。

从输入输出波形来看，上述两个电路均起着波形变换的作用，请在实验过程仔细观察与记录。

#### 四. 实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	数字示波器	TDS1012C-SC		
2	双通道函数/任意波形发生器	DG1022		
3	一阶二阶动态电路实验模块			



## 五. 实验内容

### 1. 示波器功能检查

(1)打开示波器电源。按下默认设置按钮。系统会将探头选项默认的衰减设置为 10X。

(2)取出示波器探头，将探头的衰减设置为 X10，探头连接到示波器上的通道 1。要进行此操作，请将探头连接器上的插槽对准 CH 1 BNC 上的凸键，按下即可连接，然后向右转动将探头锁定到位。将探头端部和基准导线连接到“探头补偿”终端上。

(3)按下“自动设置”按钮。几秒钟后，可看到显示一条约 5V 峰-峰值的 1 kHz 方波。

(4)完成示波器功能检查后，需要将衰减调整到 1 倍，示波器设置过程如下：“探头 1X Voltage” - “电压” - “衰减 1X”，将探头的衰减设置为 X1。

### 2. 观察波形及对电压和频率的测量

(1)用信号发生器分别产生如下电信号，并将所观察到的正弦波和方波按比例绘出。

(2)电压和频率测量数据记录于表 5-1。

表 5-1 电压和频率数据表

信号发生器参数设置		示波器观测数据					
电压 $V_{P-P}$	频率 $f(\text{Hz})$	V/div	垂直格数	$V'_{P-P}$	Time/div	水平格数	$f'(\text{Hz})$
200mV	100						
500mV	1k						
1V	10k						
3V	100k						

3. 从如图 6-3 所示电路板上选  $R=10\text{K}\Omega$ ， $C=3300\text{pF}$  组成如图 6-1(b)所示的 RC 充放电电路（请认清 R、C 元件的布局及其标称值，各开关的通断位置等）。 $U_i$  为脉冲信号发生器输出的  $U_m=3\text{V}$ 、 $f=1\text{kHz}$  的方波电压信号，并通过

两根同轴电缆线，将激励源  $U_i$  和响应  $U_C$  的信号分别连至示波器的两个输入口  $Y_A$  和  $Y_B$ 。这时可在示波器的屏幕上观察到激励与响应的变化规律，请测算出时间常数  $\tau$ ，并用方格纸按 1:1 的比例描绘波形。

改变电容值或电阻值，定性地观察对响应的影响，记录观察到的现象。

4. 令  $R=10K\Omega$ ， $C=0.1\mu F$ ，观察并描绘响应的波形，继续增大  $C$  之值，定性地观察对响应的影响。

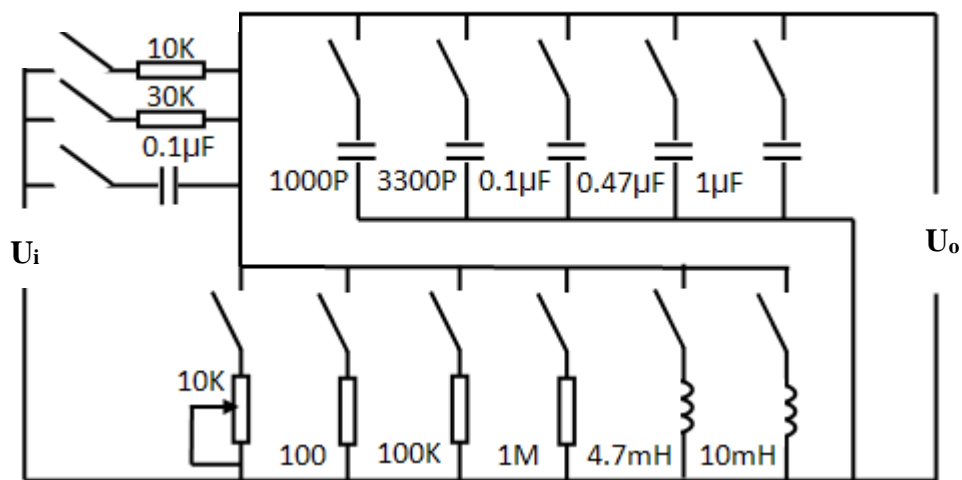


图 6-3 动态电路

5. 令  $C=0.01\mu F$ ， $R=100\Omega$ ，组成如图 6-2(a)所示的微分电路。在同样的方波激励信号（ $U_m=3V$ ， $f=1KHz$ ）作用下，观测并描绘激励与响应的波形。增减  $R$  之值，定性地观察对响应的影响，并作记录。当  $R$  增至  $1M\Omega$  时，输入输出波形有何本质上的区别？

## 六. 实验注意事项

1. 调节电子仪器各旋钮时，动作不要过快、过猛。实验前，需阅读示波器的使用说明书。
2. 信号源的接地端与示波器的接地端要连在一起（称共地），以防外界干扰而影响测量的准确性。

## 七. 预习思考题

1. 示波器面板上“t/div”和“V/div”的含义是什么？

2. 应用示波器观察到如图 5-1 所示的两个波形， $Y_A$  和  $Y_B$  轴的“V/div”的指示均为 0.5V，“t/div”指示为 20 $\mu$ S，试写出这两个波形信号的波形参数。

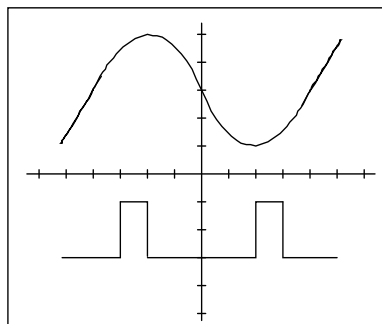


图 5-1

3. 什么样的电信号可作为 RC 一阶电路零输入响应、零状态响应和完全响应的激励源？

4. 已知 RC 一阶电路  $R=10K\Omega$ ， $C=0.1\mu F$ ，试计算时间常数  $\tau$ ，并根据  $\tau$  值的物理意义，拟定测量  $\tau$  的方案。

5. 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？这两种电路有何功用？

6. 预习要求：熟读仪器使用说明，回答上述问题，准备方格纸。

## 八. 实验报告

1. 根据实验观测结果，在方格纸上绘出 RC 一阶电路充放电时  $U_C$  的变化曲线，由曲线测得  $\tau$  值，并与参数值的计算结果作比较，分析误差原因。

2. 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。

3. 心得体会及其他。

## 实验六 R、L、C 元件在正弦电路中的特性实验

### 一. 实验目的

1. 验证电阻、感抗、容抗与频率之间的关系，测定  $R \sim f$ 、 $X_L \sim f$  与  $X_C \sim f$  特性曲线。
2. 加深理解 R、L、C 元件电压与电流的相位关系。

### 二. 原理说明

1. 在正弦交变信号作用下，R、L、C 电路元件在电路中的抗流作用与信号的频率有关，它们的阻抗频率特性  $R \sim f$ 、 $X_L \sim f$ 、 $X_C \sim f$  曲线如图 7-1 所示。
2. 元件阻抗频率特性的测量电路如图 7-2 所示。

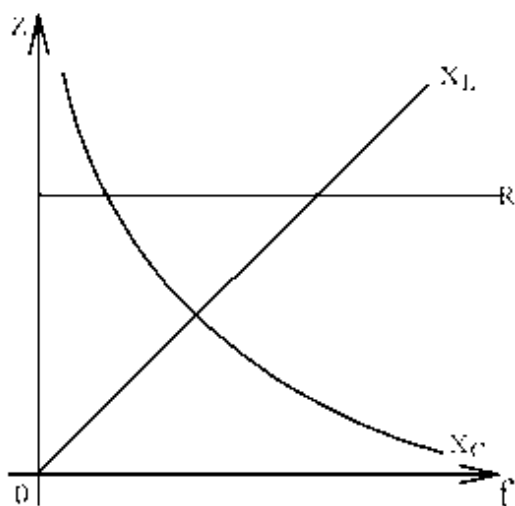


图 7-1

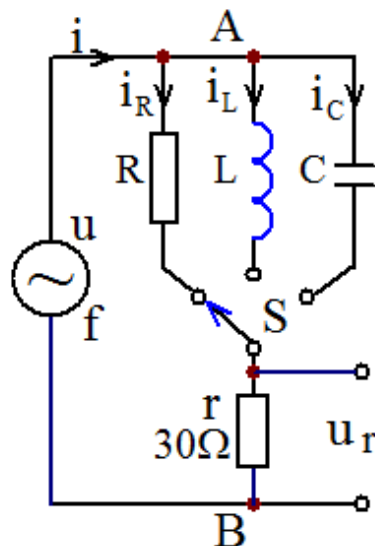


图 7-2

图中的  $r$  是提供测量回路电流用的标准小电阻，由于  $r$  的阻值远小于被测元件的阻抗值，因此可以认为 AB 之间的电压就是被测元件 R、L 或 C 两端的电压，流过被测元件的电流则可由  $r$  两端的电压除以  $r$  所得。

若用示波器同时观察  $r$  与被测元件两端的电压，亦就展现出被测元件两端的电压和流过该元件电流的波形，从而可在荧光屏上测出电压与电流的幅值及它们之间的相位差。

3. 将元件 R、L、C 串联或并联相接，亦可用同样的方法测得  $Z_{串}$  与  $Z_{并}$  的

阻抗频率特性  $Z \sim f$ ，根据电压、电流的相位差可判断  $Z_{串}$  或  $Z_{并}$  是感性还是容性负载。

4. 元件的阻抗角（即相位差  $\varphi$ ）随输入信号的频率变化而改变，将各个不同频率下的相位差画在以频率  $f$  为横坐标、阻抗角  $\varphi$  为纵坐标的坐标纸上，并用光滑的曲线连接这些点，即得到阻抗角的频率特性曲线。

用示波器测量阻抗角的方法如图 7-3 所示。从荧光屏上数得一个周期占  $n$  格，相位差占  $m$  格，则实际的相位差  $\varphi$ （阻抗角）为

$$\varphi = m \times \frac{360^\circ}{n} \text{ (度)}。$$

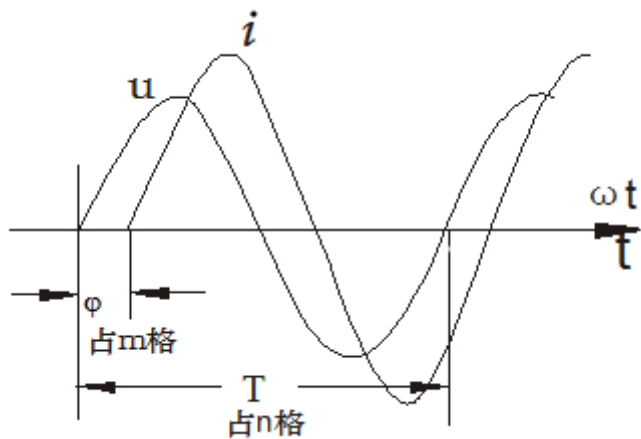


图 7-3

本实验可采用示波器光标功能分别测出  $m$  和  $n$  所对应的时长  $m'$  和  $n'$ ，直接根据上式算出两波形相位差（因为数格子人为误差较大，**本实验推荐使用示波器的光标功能进行测量**）。

三. 实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	数字示波器	TDS1012C-SC	1	
2	双通道函数/任意波形发生器	DG1022	1	
3	实验电路元件	$R=1K\Omega$ $C=0.01\mu f$ $L=10mH$	1	

#### 四. 实验内容

##### 1. 测量 R、L、C 元件的阻抗频率特性

通过电缆线将信号发生器输出的正弦信号接至如图 7-2 的电路，作为激励源 U，将输出电压幅值设置为  $U=3V_{rms}$ 。

使信号源的输出频率从 200Hz 逐渐增至 5KHz（用频率计测量），并使开关 S 分别接通 R、L、C 三个元件，用示波器测量  $U_r$ ，并计算各频率点时的  $I_R$ 、 $I_L$  和  $I_C$ （即  $U_r/r$ ）以及  $R=U/I_R$ 、 $X_L=U/I_U$  及  $X_C=U/I_C$  之值，记录表中。

频率 f (KHz)							
R	$U_R$ (mV)						
	$I_R$ (mA)						
	$R$ (K $\Omega$ )						
L	$U_L$ (mV)						
	$I_L$ (mA)						
	$X_L$ (K $\Omega$ )						
C	$U_C$ (mV)						
	$I_C$ (mA)						
	$X_C$ (K $\Omega$ )						

2. 用示波器观察在不同频率下各元件阻抗角的变化情况，按图 5-3 记录 n 和 m，算出  $\varphi$ 。

3. 测量 R、L、C 元件串联的阻抗角频率特性。

频率 $f$ (KHz)							
$n$ (格)							
$m$ (格)							
$\varphi$ (度)							

## 五. 实验注意事项

1. 信号源的接地端与示波器的接地端要连在一起（称共地），以防外界干扰而影响测量的准确性。

## 六. 思考题

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小电阻？它对实验中测得的数据有何影响？可否用一个小电感或大电容代替？为什么？

## 七. 实验报告

1. 根据实验数据，绘制  $R$ 、 $L$ 、 $C$  三个元件的阻抗频率特性曲线，从中可得出什么结论？

2. 根据实验数据，绘制  $R$ 、 $L$ 、 $C$  三个元件串联的阻抗角频率特性曲线，并总结、归纳出结论。

3. 心得体会。

## 实验七 R、L、C 谐振电路的研究

### 一. 实验目的

1. 学习用实验方法测试 RLC 串联谐振电路的幅频特性曲线。
2. 加深理解电路发生谐振的条件、特点，掌握电路品质因数  $Q$  的物理意义及其测定方法

### 二. 实验原理

1. 在图 7-1 所示的 R、L、C 串联电路中，当正弦交流信号源的频率  $f$  改变时，电路中的感抗、容抗随之而变，电路中的电流也随  $f$  而变。取电阻  $R$  上的电压  $U_0$  作为响应，当输入电压  $U_i$  的幅值维持不变时，在不同频率的信号激励下，测出  $U_0$  之值，然后以  $f$  为横坐标，以  $U_0/U_i$  为纵坐标（因  $U_i$  不变，故也可直接以  $U_0$  为纵坐标），绘出光滑的曲线，此即为幅频特性曲线，亦称谐振曲线，如图 7-2 所示。

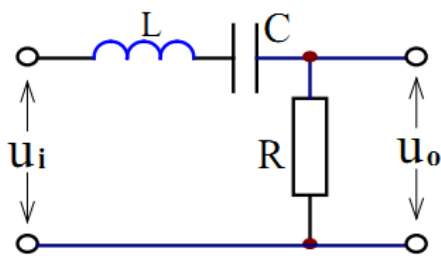


图 7-1

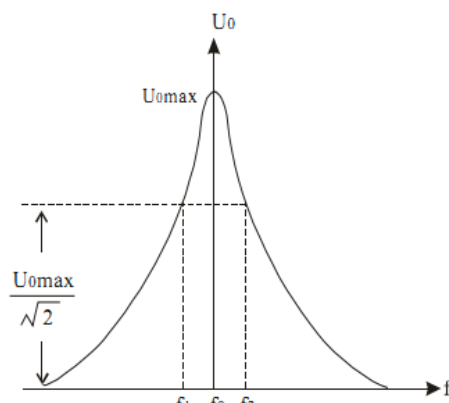


图 7-2

2. 在  $f = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  处（ $X_L = X_C$ ）时，即幅频特性曲线尖峰所在的频率点，该频率称为谐振频率，此时电路呈纯阻性，电路阻抗的模为最小，在输入电压  $U_i$  为定值时，电路中的电流达到最大值，且与输入电压同相位，从理论上讲，此时  $U_i = U_R = U_0$ ,  $U_L = U_C = QU_i$ 。式中的  $Q$  为电路的品质因数。

3. 电路品质因数的两种测量方法

① 根据公式  $Q = \frac{U_L}{U_0} = \frac{U_C}{U_0}$  测定

$U_C$  与  $U_L$  分别谐振时电容器  $C$  和电感线圈  $L$  上的电压

② 通过测量谐振曲线的通频带宽度

$$\Delta f = f_h - f_l$$



再根据  $Q = \frac{f_0}{f_h - f_l}$  求出 Q 值。

$f_0$  为谐振频率,  $f_h$  和  $f_l$  是失谐时, 幅度下降到最大值的 0.707 倍时的上、下限频率。

Q 值越大, 曲线越尖锐, 通频带越窄, 电路的选择性越好, 在恒压源供电时, 电路的品质因数、选择性与通频带只决定于电路本身的参数, 而与信号源无关。

### 三. 实验内容

1. 设计串联谐振电路以及电路参数。
2. 设计测量谐振电路参数（谐振频率、品质因素、通频带宽等）的实验方案。
3. 根据实验观测数据, 绘出不同 Q 值时的两条幅频特性曲线。
4. 计算出通频带与 Q 值, 说明不同 R 值时对电路通频带与品质因数的影响。
5. 对两种不同的测 Q 值的方法进行比较, 分析误差原因。
6. 给定条件:  
电感: 10mH、100mH。  
电容: 任选。  
其他元件: 从实验箱内自选。  
实验仪器: 示波器、信号发生器、万用表。

### 四. 实验设计任务

1. 写清楚实验原理及其运算公式。
2. 设计实验步骤。
3. 比较测量结果, 对测量误差进行分析。

### 五. 实验数据及处理要求

1. 记录相关数据, 自拟表格。
2. 分析理论与实际误差。
3. 通过本实验, 总结、归纳串联谐振电路的特性。

## 附录 I

### VC980 系列数字万用表使用说明

VC980 系列数字万用表是一种操作方便、读数准确、功能齐全、体积小巧、携带方便、用电池作电源的手持袖珍式大屏幕液晶显示数字万用表。可用来测量直流电压 / 电流；交流电压 / 电流，电阻，电容等。

VC980 系列数字万用表如图所示。

#### 一、使用方法

##### 1、直流电压测量

(1) 将黑色表笔插入 **COM** 插孔，红色表笔插入 **V/Ω/Hz** 插孔。

(2) 将功能开关置于 **DCV** 量程范围，并将表笔并接在被测负载或信号源上。在显示电压读数时，同时会指示出红表笔的极性。

##### (3) 注意事项

1) 在测量之前不知被测电压的范围时应将功能开关置于高量程挡后逐步调低。

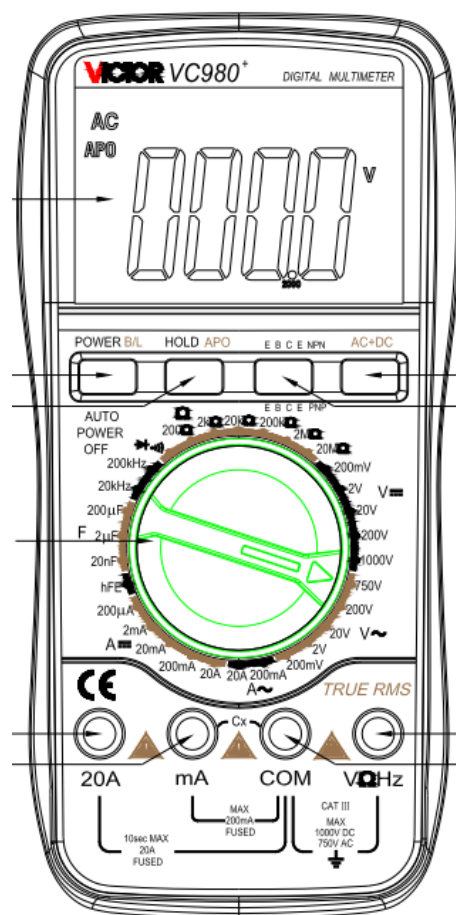
2) 仅在最高位显示“1”时，说明已超过量程，须调高一挡。

3) 不要测量高于 1000V 的电压，虽然有可能读得读数，但可能会损坏内部电路。

4) 特别注意在测量高压时，避免人体接触到高压电路。

##### 2、交流电压测量

(1) 将黑表笔插入 **COM** 插孔，红表笔插入 **V/Ω/Hz** 插孔。



(2) 将功能开关置于 **ACV** 量程范围，并将测试笔并接在被测量负载或信号源上。

### (3) 注意事项

1) 同直流电压测试注意事项 1)、2)、3)。

2) 不要测量高于 **750V** 有效值的电压，虽然有可能读得读数，但可能会损坏万用表内部电路。

## 3、直流电流测量

(1) 将黑表笔插入 **COM** 插孔,红表笔插入 **mA** 插孔中(最大为 **200mA**)，或红表笔插入 **20A** 中(最大为 **20A**)。

(2) 功能开关置于 **DCA** 量程范围，测试笔串入被测电路中。红表笔的极性将由数字显示的同时指示出来。

### (3) 注意事项

1) 如果被测电流范围未知，应将功能开关置于高档后逐步调低。

2) 仅最高位显示“1”说明已超过量程，须调高量程挡级。

3) 最大输入电流为 **200mA** 或者 **20A** (视红表笔插入位置而定)，过大的电流会损坏 **mA** 档的保险丝,使用 **20A** 档位时每次测量时间不得大于 **10** 秒，过大的电流将使得电路发热，甚至损坏仪表。

## 4、交流电流测量

测试方法和注意事项类同直流电流测量。

## 5、电阻测量

(1) 将黑表笔插入 **COM** 插孔，红表笔插入 **V/ $\Omega$ /Hz** 插孔。将功能开关置于所需  **$\Omega$**  量程上，将测试笔跨接在被测电阻上。

### (2) 注意事项

1) 当输入开路时，会显示过量程状态“1”。

2) 如果被测电阻超过所用量程，则会指示出量程“1”须换用高档量程。当被测电阻在  $1\text{M}\Omega$  以上时，本表须数秒后方能稳定读数。对于高电阻测量这是正常的。

3) 检测在线电阻时，须确认被测电路已关去电源，同时电容已放电完毕。方能进行测量。

## 6、电容测量

(1) 将黑表笔插入 **COM** 插孔，红表笔插入 **mA** 插孔。

(2) 将功能开关置于相应的电容量程上，然后将测试笔跨接在被测电容上。

### (3) 注意事项

1) 请在测试电容之前，对电容应充分地充放电，以防止损坏保险管和仪表。