

《电路分析基础》实验讲义封皮

目录

第一部分 基础型实验	5
实验一 电工仪器仪表的使用	5
一. 实验目的	5
二. 实验原理与说明	5
三. 实验内容及步骤	5
四. 实验仪器	7
五. 实验报告要求	7
实验二 基尔霍夫定律的验证	8
一. 实验目的	8
二. 实验原理	8
三. 实验内容及步骤	8
四. 实验仪器	9
五. 实验报告及要求	9
实验三 戴维南定理的验证	11
一. 实验目的	11
二. 实验原理与说明	11
三. 实验内容及步骤	11
四. 实验仪器	13
五. 实验报告要求	14
六. 思考题	14
实验四 受控源特性的研究	15
一. 实验目的	15
二. 实验原理	15
三. 实验内容及步骤	18
四. 实验设备	19
五. 实验报告要求	20
六. 注意事项	20
实验五 RL 和 RC 串联电路	21
一. 实验目的	21
二. 实验原理	21
三. 实验内容及步骤	23
四. 实验设备	24
五. 实验报告	25
实验六 R、L、C 串联谐振	26
一. 实验目的	26
二. 实验原理与说明	26
三. 实验内容及步骤	27

四. 注意事项	28
五. 实验仪器	28
六. 实验报告要求	28
实验七 一阶电路响应	30
一. 实验目的	30
二. 实验原理与说明	30
三. 实验内容及步骤	31
四. 注意事项	32
五. 实验报告要求	32
六. 思考题	32
七. 实验仪器	32
实验八 二阶电路响应	33
一. 实验目的	33
二. 实验原理	33
三. 实验内容及步骤	34
四. 实验报告要求	34
五. 思考题	34
六. 实验仪器	34
实验九 交流电路参数的测定	35
一. 实验目的	35
二. 实验原理与说明	35
三. 实验内容及步骤	36
四. 注意事项	37
五. 实验仪器	37
六. 实验报告要求	37
实验十 三相电路及功率的测量	38
一. 实验目的	38
二. 实验原理与说明	38
三. 实验任务	39
四. 注意事项	41
五. 实验报告要求	41
六. 实验仪器	41
第二部分 综合设计型实验	43
实验十一 正弦稳态交流电路相量及改善功率因数的研究	43
一. 实验目的	43
二. 实验原理与说明	43
三. 实验内容及步骤	45
四. 思考题	47
五. 注意事项	47

六. 实验报告要求	47
七. 实验仪器	47
实验十二 电阻电路测量与分析综合实验	48
一. 实验目的	48
二. 实验原理	48
三. 实验设备	50
四. 实验内容	50
五. 实验注意事项	54
六. 预习与思考题	55
七. 实验报告要求	56
实验十三 三相电路综合仿真实验	57
一. 实验目的	57
二. 实验要求	57
三. 原理与说明	57
四. 实验内容及参考实验步骤	58
五. 实验报告要求	62
第三部分 研究创新性实验	62
实验十四 电源等效变换设计	62
一. 实验目的	62
二. 实验内容	62
三. 实验报告要求	62
实验十五 一阶 RC 电路的设计	63
一. 实验目的	63
二. 实验内容	63
三. 实验报告要求及注意事项	63

第一部分 基础型实验

实验一 电工仪器仪表的使用

一. 实验目的

1. 学习使用交流电压表、直流电压表、直流电流表、万用表、稳压电源。
2. 掌握电压、电流、电阻及指针式电压表、电流表内阻的测量方法。
3. 熟悉电工实验台的布局及使用。

二. 实验原理与说明

1. 使用电压表测量电压时，应将电压表并联在被测器件两端。直流电压表注意“+”、“-”端钮。

2. 使用电流表测量电流时，应将电流表串联在回路中。直流电流表注意“+”、“-”端钮。

3. 使用万用表时，应注意仪表在测量时，不能旋转开关旋钮，尤其是在高电压、大电流档测试时，以保证开关寿命。

量程的选择范围，应选大于或接近所要测量数值的满刻度量程档，如不知被测电路值的大小时，应先将旋钮指示最高档，再逐档下降，指示到符合上述要求的量程。

用欧姆档测量电阻值时，首先将测试笔短路，指针即从 $\infty \rightarrow 0 \Omega$ 出处，调整“ Ω ”旋钮，使指针准确指 0Ω 点，再将测试笔打开进行电阻的测量。注意：选择测量范围时，应选越接近中心值范围档越好，以保证准确度。测量线路中绝对不能带电，否则将使仪表损坏。如果电路中有电容器时应先将其放电后，才可测量。

4. JWY-30C 型直流稳压电源没有相互独立的两路输出。两路输出的额定电流分别为 3A、1A，并配有电流表可直接读数。

两路电源可同时输出，每组输出电压都从 $0 \sim 30 \text{ V}$ 连续可调，若使用电压较高，两路可串联使用，但电流不得大于 1A。

三. 实验内容及步骤

1. 用交流电压表（450V）测量实验台上三相四线制电压源输出电压，并记录于表

1-1 中。

表 1-1

测量项目	UV	VW	WU	UN	VN	WN
测量值(V)						

2. 用直流电压表测量直流稳压电源的输出电压值。如表格 1-2 所示。

表 1-2

直流稳压电源	5V	10V	15V	20V	25V
实际测量值					

3. 按图 1-1 连线, $U=15V$, 测量在 S_2 开路、短路时的两种情况下的电压及电流值记录于表 1-3 中和表 1-4 中。

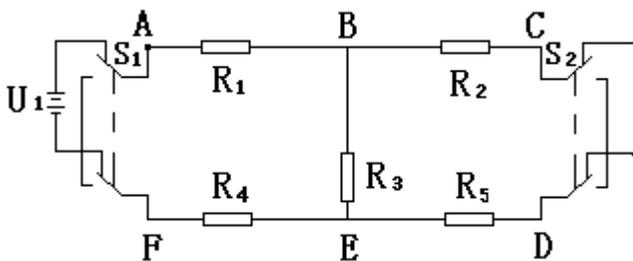


图 1-1

表 1-3

电压 测量	U_{AB}	U_{BC}	U_{CD}	U_{BE}	U_{FE}	U_{AF}
S_2 开路						
S_2 短路						

表 1-4

电流 测量	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)
S_2 开路			
S_2 短路			

4. 用万用表的欧姆档测出直流线路单元板中的电阻值，与标称值比较，并记录于表 1-5 中。

表 1-5

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
标称值					
测量值					

四. 实验仪器

- | | |
|-----------|-----|
| 1. 交流电压表 | 1 只 |
| 2. 直流电压表 | 1 只 |
| 3. 直流电流表 | 1 只 |
| 4. 万用表 | 1 只 |
| 5. 直流稳压电源 | 1 台 |
| 6. 电阻箱 | 1 台 |
| 7. 直流实验板 | 1 块 |

五. 实验报告要求

1. 实验前写出预习报告，写明实验目的、步骤和测量数据。
2. 整理实验测量数据，预习报告附在报告的后边。
3. 回答思考题：

(1)用万用表测量 $2.5\text{K}\Omega$ 电阻时应选用哪一档?为什么?

(2)测量 $25\text{K}\Omega$ 电阻时又应选用哪一档?为什么?

万用表×1 档 欧姆表中心为 $0.2\text{K}\Omega$

万用表×10 档 欧姆表中心为 $2\text{K}\Omega$

万用表×100 档 欧姆表中心为 $20\text{K}\Omega$

万用表×1000 档 欧姆表中心为 $200\text{K}\Omega$

实验二 基尔霍夫定律的验证

一. 实验目的

1. 通过实验验证基尔霍夫电流定律和电压定律，巩固所学理论知识。
2. 加深对参考方向概念的理解。

二. 实验原理

基尔霍夫定律是电路理论中最基本也是最重要的定律之一。它概括了电路中电流和电压分别遵循的基本规律。它包括基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)。

基尔霍夫节点电流定律：电路中任意时刻流进（或流出）任一节点的电流的代数和等于零。即： $\Sigma I=0$

基尔霍夫回路电压定律：电路中任意时刻，沿任一闭合回路，电压的代数和为零。

即： $\Sigma U=0$

此定律阐明了任一闭合回路中各电压间的约束关系。这种关系仅与电路的结构有关，而与构成回路的各组件的性质无关，不论这些组件是线性的或非线性的，含源的或无源的，时变的或时不变的。

参考方向：

KCL 和 KVL 表达式中的电流和电压都是代数量。它们除具有大小之外，还有其方向，其方向是以它量值的正、负表示的。为研究问题方便，人们通常在电路中假定一个方向为参考，称为参考方向。当电路中的电流（或电压）的实际方向与参考方向相同时取正值，其实际方向与参考方向相反时取负值。

三. 实验内容及步骤

1. 验证基尔霍夫电流定律（KCL）

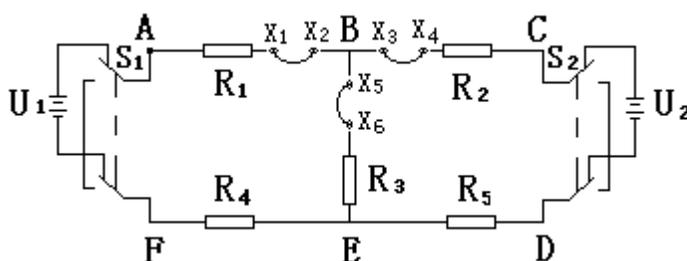


图 2-1

按图 2-1 所示连接电路，分别测出三条支路的电流 I_1 、 I_2 及 I_3 ，记录于表 2-1 中。验证 KCL 定律时，可假定流入节点 (B) 的电流为正 (反之亦可)，并将表笔负极接在节点接口上，表笔正极接到支路接口上。若指针正向偏转，则取为正值，若方向偏转，则倒换电流表表笔正负极，重新读数，其值取负。

表 2-1

被测量	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)	$\Sigma I=$
计算值				
测量值				

2. 验证基尔霍夫回路电压定律 (KVL)。

验证电路按图 2-1 所示。取两个验证回路：回路 1 为 ABEFA，回路 2 为 BCDEB。用电压表分别测量两个回路中各支路电压，将测量结果记录于表 2-2 中。参考方向可选顺时针方向为绕行方向，测量过程中注意电压表指针偏转方向及取值的正与负。

表 2-2

被测量	U_{AB}	U_{BE}	U_{EF}	U_{FA}	回路 ΣU	U_{BC}	U_{CD}	U_{DE}	U_{EB}	回路 ΣU
计算值										
测量值										

四. 实验仪器

- | | |
|-------------|-----|
| 1. 双路直流稳压电源 | 1 台 |
| 2. 直流毫安表 | 1 块 |
| 3. 直流电压表 | 1 块 |
| 4. 直流电路单元板 | 1 块 |
| 5. 指针式万用表 | 1 块 |

五. 实验报告及要求

1. 利用表 2-1 和表 2-2 中的测量结果验证基尔霍夫两个定律。
2. 利用电路中所给数据，通过电路定律计算各支路电压和电流，并计算测量值与计算值之间的误差，分析误差产生的原因。

3. 回答下列思考题:

(1)已知某支路电流约为 3mA ，现有量程分别为 5mA 和 10mA 两只电流表，你将使用哪只电流表进行测量？为什么？

(2)改变电流或电压的参考方向，对验证基尔霍夫定律有影响吗？为什么？

实验三 戴维南定理的验证

一. 实验目的

1. 验证和巩固戴维南定理。
2. 学会测量线性有源二端网络等效电路参数的方法。
3. 验证负载获得最大功率的条件。

二. 实验原理与说明

1. 任何一个有源二端线性网络都可以用一个电动势为 E 的理想电压和内阻 R_0 串联的电源来等效代替图 3-1 所示。等效电源的电动势 E 就是有源二端网络的开路电压 U_{oc} ，即将负载断开后 a、b 两端之间的电压。等效电源的内阻 R_0 等于有源二端网络中所有电源均除去（将各个理想电压源短路，即其电动势为零；将各个理想电流源开路，即其电流为零），后所得到的无源网络 a、b 两端之间的等效电阻。

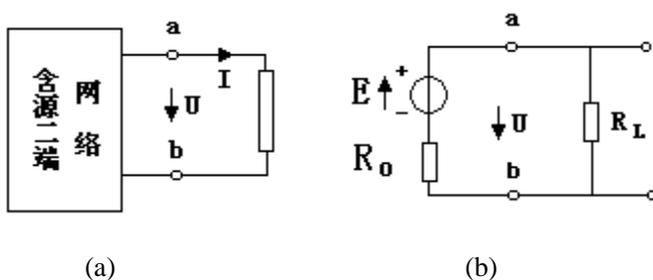


图 3-1 等效电源

2. 二端网络入端等效电阻 R_0 的求法：

(1) 计算法：将二端网络所有独立电源为零，求得无源网络电阻即为入端等效电阻 R_0 。

(2) 测量法：测量含源二端网络的开路电压 U_{oc} 和短路电流 I_{sc} ，则：

$$R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$$

三. 实验内容及步骤

1. 测量含源二端网络的外伏安特性：

实验线路如图 3-2 所示。 $U_1=25V$ ，图中 R_L 为可变电阻，C、D 两端左侧为二端网络。

接通电源后，调节可变电阻 R_L 使其值分别为表 3-1 中所示值，测量其相应的电压、电流值记入表 3-1 中。（ $R_L=0$ 时的电流 I_{SC} 为短路电流）

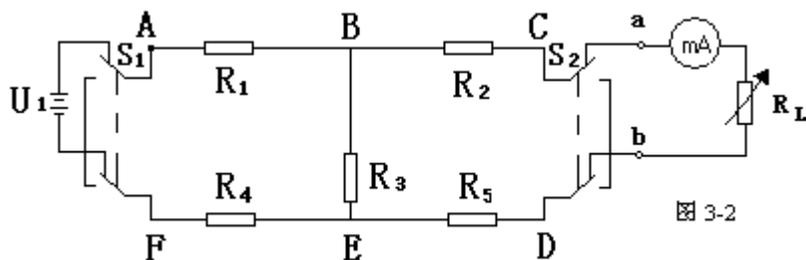


图 3-2

2. 测量含源二端网络的戴维南等效电路参数：

(1) 测量 C、D 两端的开路电压 U_{OC} 。

(2) 直接测等效电阻或 $R_i = R_o = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$

(3) 利用上述测得的 U_{OC} 和 R_o 构成有源二端网络的戴维南等效电路如图 3-3 所示。

R_L 值按表 3-2 中所示，测出相应的电压和电流值填 3-2 中。

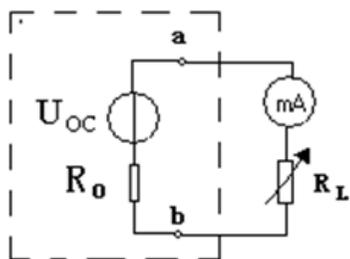


图 3-3 戴维南等效电路

(4) 将表 3-1 和表 3-2 中的资料进行比较，验证戴维南定理。

表 3-1

$R_L(\Omega)$)	0	500	1K	1.5K	2K	2.5K	开路
$I(\text{mA})$							
$U_{ab}(\text{V})$							

表 3-2

$R_L(\Omega)$)	0	500	1K	1.5K	2K	2.5K	开路
$I(\text{mA})$							
$U_{ab}(\text{V})$							

3. 当负载电阻 R_L 等于电源内阻 R_0 时，电源供给负载的功率为最大，也即负载获得

最大功率。其表达式为：
$$P_{\max} = \frac{U_{oc}^2}{4R_0}$$

绘出含源二端网络输出功率 P 与负载电阻 R_L 之间关系的曲线，从而证明负载获得最大功率的条件。

四. 实验仪器

- | | |
|-----------|-----|
| 1. 直流稳压电源 | 1 台 |
| 2. 直流电压表 | 1 只 |
| 3. 直流毫安表 | 1 只 |

4. 直流实验板 1 块

5. 电阻箱 1 只

五. 实验报告要求

1. 在同一坐标平面上作出原含源二端网络和各等效网络的伏安特性曲线，并加以分析比较。

2. 回答思考题。

六. 思考题

在求含源二端网络等效电路中的 R_o 时，如何理解“原网络中所有独立电源为零值”？
实验中怎样将独立电源置零？

实验四 受控源特性的研究

一. 实验目的

1. 通过实验加深对受控源概念的理解。
2. 通过对电压控制电压源（VCVS）和电压控制电流源（VCCS）的测试，加深对两种受控源的受控特性及负载特性的认识。
3. 通过实验熟悉运算放大器的使用。

二. 实验原理

受控源是对某些电路组件物理性能的模拟，反映电路中某条支路的电压或电流受另一条支路的电压或电流控制的关系。测量受控量与控制量的变化而变化，与外接负载无关。

根据控制量与受控量的不同，受控源可分为四种类型。即：电压控制电压源（VCVS）；电流控制电压源（CCVS）、电压控制电流源（VCCS）、电流控制电流源（CCCS）。电路模型如图 4-1 所示。

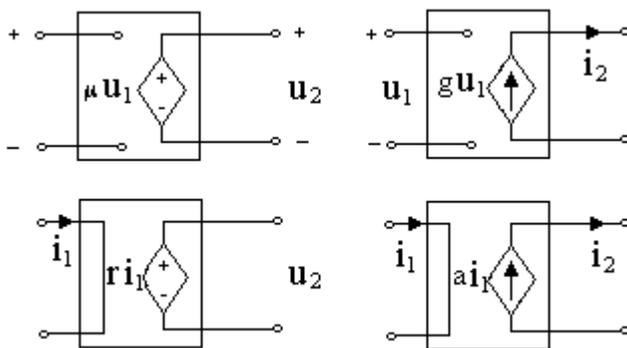


图 4-1

1. 受控源可以用运算放大器来实现。运算放大器是一种高增益，高输入阻抗和低输出阻抗的放大器。常用图 4-2(a)所示电路符号表示，其等效电路模型如图 4-2(b)所示。它有两个输入端、一个输出端和一个对输入和输出信号的参考接地端。两个输入端中一个叫同相输入端，另一个叫反相输入端。所谓同相输入端是指：当反相输入端电压为零时，输出电压的极性和该输入端的电压极性相同，同相输入端在电路符号上用“+”号表示。

所谓反相输入端是指：当同相输入电压为零时，输出电压的极性和该输入端电压的极性相反，反相输入端在电路符号上用“-”号表示。

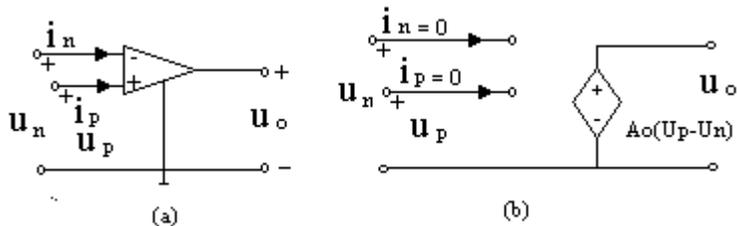


图 4-2

当两输入端同时有电压作用时，输出电压 $U_o = A_0(U_p - U_n)$ ，其中 A_0 称为运算放大器的开环放大倍数。理想情况下 A_0 和输入电阻 R_{in} 为无穷大，因此有：

$$U_p = U_n; \quad i_p = \frac{U_p}{R_{in}} = 0; \quad i_n = \frac{U_n}{R_{in}} = 0$$

上述式子表明：

- (1) 运算放大器“+”端与“-”端可以认为是等电位，通常称为“虚短路”。
- (2) 运算放大器的输入端电流等于零。

此外，理想运算放大器的输出电阻很小，可以认为是零。这些重要性质是简化分析含有运算放大器网络的依据。

除了两个输入端、一个输出端和一个参考接地端以外，运算放大器还有正、负两个电源输入端。运算放大器是有源器件，其工作特性是在接有正、负电源的条件下才具有的。

为保证运算放大器输入信号为零时，输出信号为零，运算放大器外面接有调零电位器。

在运算放大器的外部接入不同的电路组件，可以实现对信号的模拟运算或模拟变换，应用十分广泛。本实验将由运算放大器组成两种受控源电路，通过实验电路研究受控源的受控特性和负载特性。

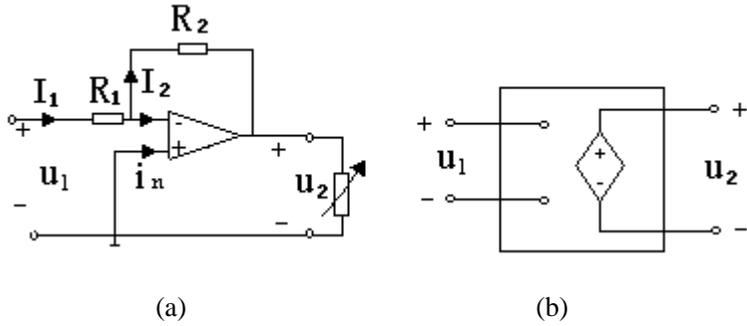


图 4-3 电压控制电压源电路

2. 图 4-3 (a)所示电路是一个由运算放大器构成的电压控制电压源 (VCVS)。由于运算放大器的同相输入端“+”和反相输入端“-”为“虚短路”，所以有：

$$U_1 = I_1 R_1$$

因放大器输入阻抗可认为无限大， $i_n = i_p = 0$ ，故有：

$$I_2 = I_1,$$

$$U_2 = -I_2 \cdot R_2 = -I_1 \cdot R_2 = -\frac{R_2}{R_1} U_1$$

这说明运算放大器的输出电压 U_2 受输入电压 U_1 的控制，它的电路模型如图 4-3(b)所示。其电压比：

$$\mu = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

μ 无量纲，称为电压放大倍数。

3. 图 4-4(a)为一个由运算放大器组成的电压控制电流源。由图可见：

$$I_2 = I_1 = \frac{U_1}{R_1} = g_m U_1$$

上式说明负载电流 I_2 受输入电压 U_1 的控制，其大小与负载电阻 R_L 无关，这种关系说明磁电路的特性是一个电压控制电流源。图 4-4(b)是它的电路模型，其比例系数

$$g_m = \frac{I_2}{U_1} = \frac{1}{R_1}$$

g_m 具有电导的量纲，称为转移电导。

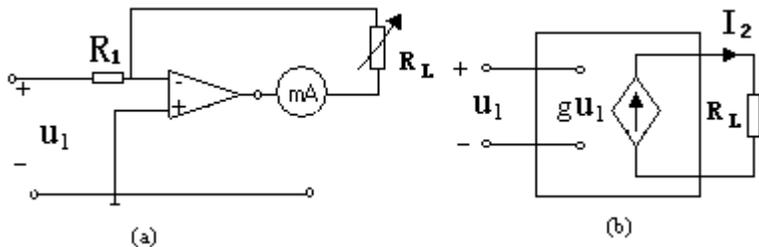


图 4-4 电压控制电流源电路

三. 实验内容及步骤

1. 测试电压控制电压源 (VCVS) 的受控特性和负载特性。

(1) 按图 4-5 接线 (用受控源单元板 TS-B-29) 取 $R_1=1K\Omega$, $R_2=2K\Omega$, $R_L=1K\Omega$ 。

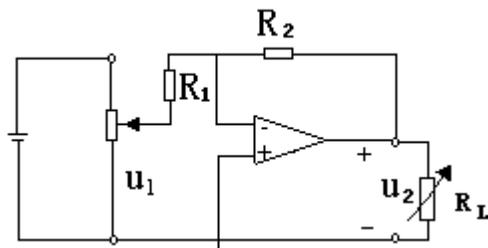


图 4-5 VCVS 特性测试电路

运算放大器是有源器件，它工作所需要的电源由 TS-B-29 单元板上的插头插入 220V 交流电源，单元板中的整流电源就可向运算放大器提供正、负 15V 电源，使运算放大器正常工作。运算放大器调零电位器在单元板侧面顶部。

(2) 测试 VCVS 受控特性：调节电位器，使 U_1 分别为表 4-1 中的数值，测量输出电压 U_2 ，填如表中，并计算电压放大倍数 μ ，填入表 4-1 中。

(3) 测试 VCVS 的负载特性：取 $U_1=3V$ ，改变负载电阻的阻值，分别如表 4-2 中的数值，测量输出电压 U_2 ，将测量结果填入表中。

表 4-1 ($R_1=1K\Omega$ $R_2=2K\Omega$ $R_3=1K\Omega$)

U_1 (V)	1	2	3	4	5
U_2 (V)					
μ					

表 4-2($R_1=1K\Omega$ $R_2=2K\Omega$ $R_3=1K\Omega$)

R_L (k Ω)	1	2	3	4	5
U_2 (V)					

注意：接好电路后，将受控源单元板上的插头，插入 220V 交流电源插座中，以便向运算放大器提供正、负 15V 电源，使运算放大器正常工作。

2. 测试电压控制电流源 (VCCS) 的受控特性和负载特性。

(1) 按图 4-6 接线。取 $R_1=1K\Omega$, $R_L=1K\Omega$ 。

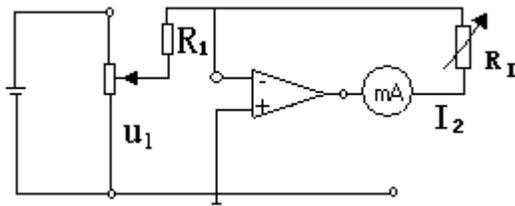


图 4-6 VCCV 特性测试电路

(2) 测试 VCCS 的受控特性：调节电位器使 U_1 分别为表 4-3 中的数值，测量通过负载 R_2 中的输出电流 I_2 ，将测量结果填入表中，并计算转移电导 g_m ，填入表中。

表 4-3($R_1=1K\Omega$, $R_L=1K\Omega$)

U_1 (V)	2	4	6	8	10
I_2 (mA)					
g_m					

(3) 测试 VCVS 的负载特性：取 $R_1=1K\Omega$, 取 $U_1=5V$ ，改变负载电阻 R_L 为表 4-4 中的数值，测量通过负载电阻 R_L 中的电流 I_2 ，将测量结果填入表中。

表 4-4($R_1=1K\Omega$ $U_1=5V$)

R_L (k Ω)	1	2	3	4	5
I (mA)					

四. 实验设备

1. 直流电压表 1 块
2. 直流电流表 1 块

- | | |
|-------------|-----|
| 3. 电阻箱 | 2 只 |
| 4. 直流稳压电源 | 1 台 |
| 5. 受控源实验单元板 | 1 块 |
| 6. 导线若干 | |

五. 实验报告要求

1. 实验目的，电路原理。
2. 根据表 4-1 和表 4-2 中的测试资料，说明电压控制电压源的受控特性是什么？负载特性是什么？
3. 根据表 4-3 和 4-4 的测试资料，说明电流控制电流源的受控特性是什么？负载特性是什么？

六. 注意事项

实验电路在确认无误之后，再接通运算放大器的供电电源，在改变运算放大器外部电路组件时，应事先断开供电电源。

实验五 RL 和 RC 串联电路

一. 实验目的

1. 验证 RL 和 RC 串联电路的电压关系。
2. 加深对交流电路欧姆定律的理解。
3. 学习用交流电压表、交流电流表测量带铁芯电感线圈的等效电阻及电感量的方法。
4. 学习使用单相调压器。

二. 实验原理

1. RC 串联电路的电压关系

在 RC 串联电路中,如图 5-1 所示,当交流电流通过电阻 R 时,在电阻两端产生电压降 U_R ,通过电容 C 时在电容两端产生电压降 U_C ,根据纯电阻电路的欧姆定律有 $U_R = I \cdot R$,且 U_R 与 I 同相位;根据纯电容电路的欧姆定律 $U_C = -jIX_C$,且 U_C 滞后 I 相位 90° 。电源电压等于电阻两端电压降 U_R 与电容两端电压降 U_C 的相量和。即:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_C \quad (5-1)$$

相量图如图 5-2 所示。

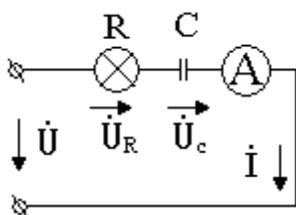


图 5-1 RC 串联电路

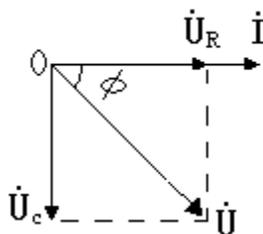


图 5-2 RC 串联电路电压相量图

由图 5-2 可以看出 U 、 U_R 、 U_C 为一直角三角形的三个边。其有效值间的关系为:

$$U^2 = U_R^2 + U_C^2 \quad \text{或} \quad U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \quad (5-2)$$

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{U_C}{U_R} = \text{tg}^{-1} \frac{X_C}{R} \quad (5-3)$$

2. RL 串联电路的电压关系

如图 5-3 所示，在 RL 串联电路中，交流电流通过电感 L ，产生电压降 U_L ，根据纯电阻电路欧姆定律 $U_R=IR$ ，并且 U_R 与 I 同相位；根据纯电感电路欧姆定律 $U_L=jIX_L$ ，并且 U_L 超前 I 相位 90° 。电流电压等于电阻两端电压降与电容两端电压降的相量和，即：

$$U=U_R+U_L \quad (5-4)$$

相量图如图 5-4 所示。

如图 5-4，可以看出 U 、 U_R 、 U_L 为一直角三角形的三边，其有效值间的关系为： $U^2=U_R^2+$

$$U_L^2$$

$$\text{或 } U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} \quad (5-5)$$

$$\phi = \text{tg}^{-1} \frac{U_L}{U_R} = \text{tg}^{-1} \frac{X_L}{R} \quad (5-6)$$

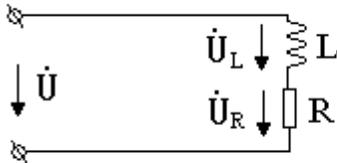


图 5-3 RL 串联电路

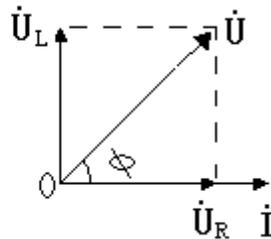


图 5-4 RL 串联电路电压相量图

3. 对于一个实际电感线圈来说，它不是一个纯电感，它除具有电感参量外，还有电阻 r 存在。本实验采用日光灯镇流器作为电感组件。镇流器是一个带铁芯的电感组件。当它被连接到交流电路上时， r 除了有直流电阻外还要考虑铁心损耗。因此， r 是具有两方面因素的一个等效电阻，其值不能直接用欧姆表测量出来。本实验我们用图 5-5 来测量等值电阻 r 和电感 L 。

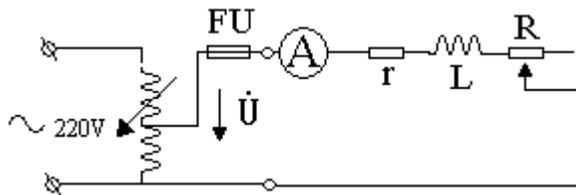


图 5-5 测量电感 L 电路

根据欧姆定律 $I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{X_L^2 + (r + R)^2}}$

$$\text{或 } X_L^2 + (r + R)^2 = \frac{U^2}{I^2} \quad (5-7)$$

实验时，采用保持电路电流 I 不变的方法，使电压 U 随电阻 R 的改变而改变。在 $R = R_1$ 时，电压 $U = U_1$ ，则由 5-7 式可得

$$X_L^2 + (r + R_1)^2 = \frac{U_1^2}{I^2} \quad (5-8)$$

在 $R = R_2$ 时，电压 $U = U_2$ ，有

$$X_L^2 + (r + R_2)^2 = \frac{U_2^2}{I^2} \quad (5-9)$$

由 (5-9) 式减去 (5-8) 式，得

$$r = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2I(R_2 - R_1)} - \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (5-10)$$

将测出的 U_1 、 U_2 、 R_1 、 R_2 代入上式可求出等值电阻 r 值。

将 r 代 (5-8) 式或 (5-9) 式中可求出 X_L 值。

因 $X_L = 2\pi fL$

故 $L = \frac{X_L}{2f\pi} \quad (5-11)$

三. 实验内容及步骤

(一) RC 串联电路的测量

1. 按图 5-6 所示连接电路，使调压器输出端的电压为零后，接通电源，顺时针调节调压器旋柄，使其输出端电压逐渐增大调到 220V，测量 U_R 、 U_C 及 I 值，记录于表 5-1 中。

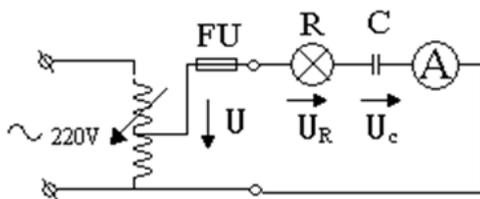


图 5-6

2. 用代数和的方法计算 U_R+U_C ，验证 $U_R+U_C \neq U$ 。
3. 用求向量的方法计算 U_R+U_C ，验证：

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \quad ; \quad \phi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{U_C}{U_R}$$

4. 用作图法，作出 U_R 、 U_C 并求出 U' ，用尺量出 U' 的长度并折算成所表示的数值，与步骤 3 的计算结果相比较。用量角器量出相角 ϕ' ，并与步骤 3 的计算结果进行比较。将以上所测到与计算的结果记录于表 5-1 中。

表 5-1

$R=U/I$	$C(\mu\text{F})$	I	U_R	U_C	U	$\sqrt{U_R^2 + U_C^2}$	U'	ϕ	ϕ'

(二) RL 串联电路的测量

1. 按图 5-5 所示连接电路，滑线变阻器的值调为 100Ω ，即 $R_1=100\Omega$ ，使调压器输出端的电压为零后，接通电源，调节调压器使输出的电压逐渐增大，并使电路中的电流达到 0.4A ，测量此时的电压 U_1 、 U_R 、 U_{rL} ，记录于表 5-2 中。

2. 调压器回零，断开电源。

3. 改变滑线变阻器的阻值为 200Ω ，即 $R_2=200\Omega$ 。接通电源，使电路中的电流仍保持 0.4A ，测量此时的电压，记录于表 5-2 中。

4. 计算 r 和 L 。

表 5-2: $I=0.2\text{A}$

	U	U_R	U_{rL}	U_r	U_L
$R_1=$					
$R_2=$					

四. 实验设备

1. 单相调压器 1 台
2. 交流电流表 1 块

- | | |
|-----------------|-----|
| 3. 交流电压表 | 1 块 |
| 4. 动态电路板或电容组单元板 | 1 块 |
| 5. 镇流器 | 1 块 |
| 6. 滑线变阻器 | 1 块 |
| 7. 万用电表 | 1 块 |

五. 实验报告

1. 实验目的、原理、实验电路、基本公式。
2. 整理资料表格并做相应计算。
3. 做出 RC 及 RL 串联电路相量图。

实验六 R、L、C 串联谐振

一. 实验目的

1. 学习测量 R、L、C 串联电路谐振的频率特性曲线。
2. 加深理解串联谐振电路的特性。
3. 掌握信号发生器的使用方法。

二. 实验原理与说明

1. 在 R、L、C 串联电路中如图 6-1 所示, 当电路中的感抗 X_L 和容抗 X_C 相等, 即: $X_L=X_C$ 时, 电流与总电压同相, 阻抗角 $\phi=0$, 这种现象称为串联谐振。

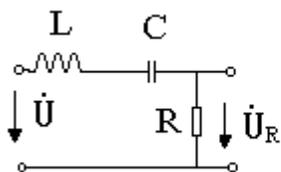


图 6-1 RLC 串联电路

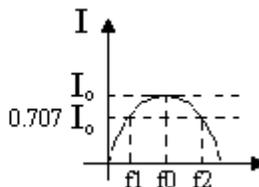


图 6-2 串联电路的幅频特性

产生谐振的条件为 $X_L=X_C$ 即: $\omega L = \frac{1}{\omega C}$

并由此得出谐振频率: $f = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

发生串联谐振时, 电路具有:

- (1) 电流与总电压同相, 电路呈纯阻性;
- (2) 电路的阻抗最小:

$$|Z_0| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$$

$$\text{电流最大: } I_0 = \frac{U}{Z_0} = \frac{U}{R}$$

(3) 串联谐振时, 由于 $X_L=X_C$, 于是 $U_L=U_C$, 两者在相位上相反, 互相抵消, 所以 $U=U_R$, 但是 U_L 和 U_C 的单独作用不可忽视, 因为

$$U_L = L X_L = \frac{U}{R} \cdot X_L = Q U$$

$$U_C = LX_C = \frac{U}{R} \cdot X_C = QU$$

$$\text{即: } U_L = U_C = QU$$

$$\text{其中 } Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} \quad \text{令谐振时的角频率为 } \omega_0$$

$$\text{则: } Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} \quad (Q \text{ 称为电路的品质因子})$$

谐振时, $U_L=U_C=QU>U$, 即电感和电容两端的电压有效值高于外加电源电压 Q 倍, 所以, 串联谐振又称为电压谐振。这一特点在电力工程上应避免发生, 以免由此引起过压现象, 而这一特点在无线电工程上得到了广泛的应用。

2. 从图 6-2 中可看出, 当谐振曲线比较尖时, 稍有偏离谐振频率 f_0 的信号, 就大大减弱。由此看出谐振曲线越尖, 选择性就越强。为了说明选择性的好坏, 通常引用通频带宽度的概念, 这一概念规定, 电流 I 值等于最大值 I_0 的 70.7% (即 $\frac{1}{\sqrt{2}}$) 处频率的上

下限之间宽度称为通频带宽度, 即: $\Delta f=f_2-f_1$

通频带宽度越小, 表明谐振曲线越尖, 电路的频带选择性就越强。谐振曲线的尖或平同 Q 值有关, 如图 6-4 所示。在 L 和 C 一定时, 改变 R 值, R 越小, Q 值越大, 则谐振曲线越尖, 通频带宽度越窄。反之, 电阻 R 越大, Q 值越小, 谐振曲线越平, 通频带宽度越宽。

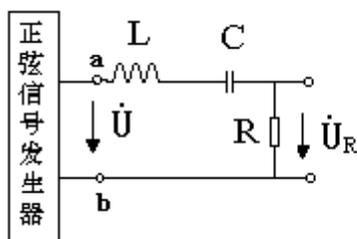


图 6-3 RLC 串联实验电路

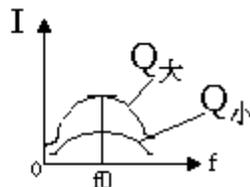


图 6-4 Q 与谐振曲线的关系

三. 实验内容及步骤

1. 实验线路如图 6-3 所示, 其中 $L=33\text{mH}$ 。

$C=0.01$ 时, $R=620\Omega$ (r 为电感线圈的电阻)。调节信号发生器的输出电压, 使 $U_1=3V$ (保持不变) 改变信号源的频率, 观察 R 两端 U_R 的变化, 找到使 U_2 达到最大值时的谐振频率 f_0 , 此频率为电路达到谐振时的谐振频率, 记录下来。在谐振频率的左右选 4~5 个测量点, 将测量各组件上的电压值并记录于表 6-1 中

2. 保持 U_1 及电感 L 和电容 C 值不变, 取 $R=1300\Omega$, 重复上述实验内容, 并将测量结果记录于表 6-2 中。

表 6-1: $R=620\Omega$

$f(\text{kHz})$									
$U_1(\text{V})$									
$U_C(\text{V})$									
$U_L(\text{V})$									

表 6-2: $R=1300\Omega$

$f(\text{kHz})$									
$U_2(\text{V})$									
$U_C(\text{V})$									
$U_L(\text{V})$									

四. 注意事项

1. 每次改变信号发生器的输出频率后, 要调整输出电压, 使其保持为定值 (3V)。
2. 测量 U_C 和 U_L 时, 注意信号发生器和晶体管毫伏表公共地线的接法。

五. 实验仪器

1. 正弦信号发生器 1 台
2. 晶体管毫伏表 1 台
3. 动态线路板 1 块
4. 电阻箱 1 只

六. 实验报告要求

1. 根据测得资料绘制 RLC 串联电路的谐振曲线。

2. 计算二种情况下的电路品质因子 Q 。

3. 回答思考问题。

(1) 实验中如何判断电路是否到达谐振状态。

(2) 当 RLC 串联电路发生谐振时，是否有 $U_R=U$ 和 $U_C=U_L$ 的关系？若等式不成立，请分析原因。

实验七 一阶电路响应

一. 实验目的

1. 学习利用示波器测量脉冲信号的基本参数和一阶电路响应参数。
2. 研究一阶电路响应的基本规律及特点，了解电路参数改变时对响应的影响。

二. 实验原理与说明

1. 含有 LC 储能组件（动态组件）的电路，其响应可以由微分方程求解。凡可用一阶微分方程描述的电路，称为一阶电路，一阶电路通常由一个储能组件和若干个电阻组件组成。

2. RC 串联电路中接入一阶信号，其电容器两端电压的变化规律分别为：

$$U_C(t) = U(1 - e^{-t/\tau})$$

U_C 随时间上升变化规律如图 7-1 所示。

$$U_C(t) = Ue^{-t/\tau}$$

U_C 随时间衰减变化规律如图 7-2 所示。

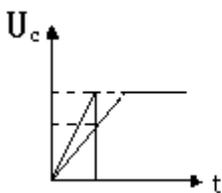


图 7-1 RC 充电过程

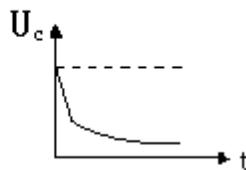


图 7-2 RC 放电过程

式中 $\tau=RC$ ，具有时间的量纲，称为时间常数，它是反应电路过渡过程快慢的物理量。 τ 越小， U_C 上升的越快；反之， τ 越大， U_C 上升的越慢。

3. RL 串联电路输入一阶跃信号，电路电流的变化规律分别为：

$$i(t) = \frac{U}{R}(1 - e^{-t/\tau})$$

$$i(t) = \frac{U}{R}e^{-t/\tau}$$

式中 $\tau=L/R$ ，为电路的时间常数。

4. RC 和 RL 串联电路, 充放电的时间常数 τ 可以从波形中估计出来, 设时间坐标单位 t 确定, 对于放电曲线, 幅值下降到初值的 36.8% 所对应的时间即为一个 τ 如图 7-2 所示。对于充电曲线, 幅值上升到终值的 63.2% 所对应的时间即为一个 τ 如图 7-1 所示。

5. 对于一个电路, 时间常数均较小, 在毫秒甚至微秒级。电路很快达到稳态, 用普通仪表很难观测到电压随时间的变化规律。因此, 本实验采用了示波器来观测。用脉冲信号源作为实验电路的输入信号, 由它产生一个固定频率的方波, 模拟阶跃信号。方波的前沿相当于给电路一个阶跃输入, 其响应就是零状态响应, 电容器通过电阻充电如图 7-1 所示, 方波的后沿相当于在电容具有初始值 $U_C(0)$ 时把电源用短路置换, 电路响应转换成零输入响应, 电容器通过电阻放电如图 7-2 所示。方波周期性重复就可以观察到一阶电路充电、放电的过渡过程曲线。用同样的方法可以观察到 RL 串联电路的响应过程。

三. 实验内容及步骤

1. 用示波器观测出脉冲信号源的方波波形, 调节方波频率为 1KHZ, 幅值为 2.5V, 线路如图 7-3 所示。

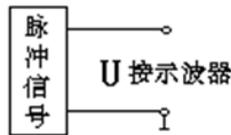


图 7-3 调整方波信号

2. 观察 RC 电路过渡过程

(1) 将调整好的方波信号加入 RC 电路中, 如图 7-4、7-5 所示。图中 $C=0.1\mu\text{F}$, $R=300\Omega$ 。用示波器观察并描绘出 U_C 和 U_R 的变化波形, 从波形上测量出时间常数 τ , 与计算值相比较。

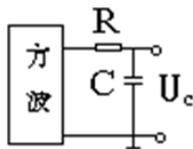


图 7-4 观察电容的过渡过程

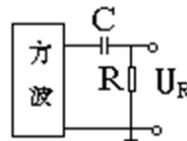


图 7-5 观察电阻 R 上的电压波形

(2) 改变参数 R , 将 $R=800\Omega$, $C=0.1\mu\text{F}$, 重复步骤(1)的实验内容, 从波形上估算时间常数 τ , 看是否随 R 或 C 的变化成正比变化。

3. 观察 RL 电路的过渡过程

(1)将调整好的方波信号加入 RL 电路中,如图 7-6,图 7-7 所示,图中 $R=300\Omega$, $L=22\text{mH}$, 观察并描绘 $U_L(t)$ 和 $U_R(t)$ 的波形变化。

(2)改变参数 R ,将 $R=800\Omega$, $L=22\text{mH}$, 重复步骤(1)的实验内容。

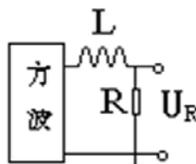
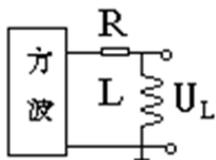


图 7-6 观察电感 $U_L(t)$ 的波形 图 7-7 观察电阻 $U_R(t)$ 的波形

四. 注意事项

1. 整个实验过程中方波的频率不要改变。
2. 实际电路中被测器件一端应与信号源输出端的地相连接。

五. 实验报告要求

1. 用方格纸描绘各种参数下的响应波形。
2. 从波形上估算的时间常数 τ 和计算值相比较, 两者是否一样? 分析误差来源。
3. 回答思考题。

六. 思考题

电路参数的改变, 对响应有何影响?

七. 实验仪器

- | | |
|------------|-----|
| 1. 示波器 | 1 台 |
| 2. 脉冲信号源 | 1 台 |
| 3. 动态电路单元板 | 1 块 |
| 4. 电阻箱 | 1 只 |

实验八 二阶电路响应

一. 实验目的

1. 观察 R、L、C 串联电路的响应。
2. 了解二阶电路参数对响应的影响。
3. 提高和巩固使用示波器和脉冲信号发生器的能力。

二. 实验原理

R、L、C 串联电路如图 8-1 所示，它可以用线性二阶常系数微分方程描述其规律：

$$LC \frac{d^2 U_C}{dt^2} + RC \frac{dU_C}{dt} + U_C = U$$

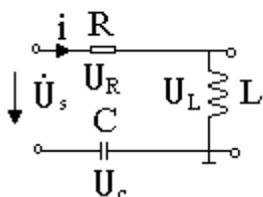


图 8-1

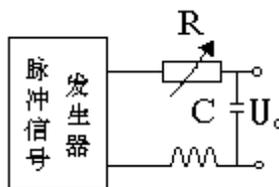


图 8-2

其微分方程的解等于对应的齐次方程的通解 U_C'' 和它的特解 U_C' 之和，即：

$$U_C = U_C' + U_C''$$

其中： $U_C = U$ ； $U_C'' = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$ ，即： $U_C = U + A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$

A_1 和 A_2 是由初始条件决定的常数； p_1 和 p_2 是特征方程的根，由电路的参数决定。

由于电路参数 RLC 之间的关系不同，电路响应会出现下述三种情况：

- (1) 当 $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时，响应是非振荡的，称为过阻尼情况。
- (2) 当 $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时，响应是临界状态的，称为临界阻尼情况。
- (3) 当 $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时，响应是衰减振荡的，称为欠阻尼情况。

三. 实验内容及步骤

1. 用示波器观测出脉冲信号源的输出波形为一方波，后按图 8-2 接线， $C=0.01\mu\text{F}$ ， $L=10\text{mH}$ 可变电阻用电阻箱。

2. 使 R 在 $0\sim 4\text{K}\Omega$ 之间变化，用示波器观察 U_C 和 I 在欠阻尼（衰减振荡）临界阻尼和过阻尼情况下的各种波形，并将其描绘出来。

3. 仔细观察 R 改变时波形的变化，找到临界状态时的波形，记录此时的电阻值，并

与计算值 $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 相比较。

四. 实验报告要求

1. 用坐标纸绘出各种条件参数下的响应波形图。

2. 回答思考题。

五. 思考题

RLC 串联电路产生等幅振荡的条件是什么？

六. 实验仪器

1. 双踪示波器	1 台
2. 脉冲信号源	1 台
3. 动态电路板	1 块
4. 电阻箱	1 只

实验九 交流电路参数的测定

一. 实验目的

1. 学会两种测量交流电路中未知阻抗组件参数的方法。
2. 学习使用功率表。
3. 练习在交流正弦电路中用相量图来分析问题。

二. 实验原理与说明

交流电路中未知阻抗组件参数可以用万能电桥直接进行测量，这样测到的参数值比较准确，但在没有万能电桥的情况下，可以用下面两种方法测定。

1. 交流电流表、交流电压表和功率表法

在交流电路中，组件的阻抗值或无源二端网络的等效阻抗值，当测出其两端的电压 U 、电流 I 和消耗的有功功率 P 后可计算出 r 、 Z 及 X 值。其关系式为：

$$r = \frac{P}{I^2} ; \quad Z = \frac{U}{I} ; \quad X = \sqrt{Z^2 - r^2} \quad (9-1)$$

测量电路如图 9-1 所示。

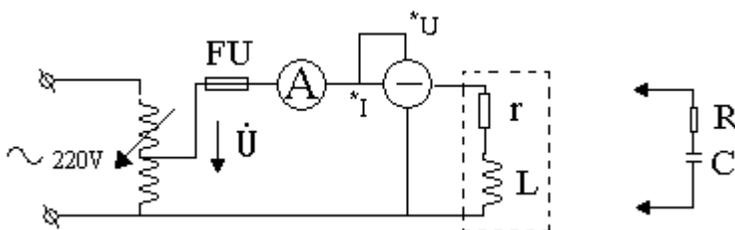


图 9-1

如果待测阻抗是一个带有铁芯的电感线圈，则 r 为铁芯线圈的等值电阻，它包括电感线圈导线的直流电阻，铁芯损耗（涡流损耗和磁滞损耗）的等值电阻。其等效电感：

$$L = \frac{X}{\omega} \quad (9-2)$$

如果待测阻抗为一个电阻与电容的串联电路，则 r 中包括了所串联的电阻和电容器介质损耗一般很小，可忽略不计，所以 r 就是阻抗中实际串联的电阻，其等效电容为：

$$C = \frac{1}{\omega X} \quad (9-3)$$

2. 三电压表法

三电压表法是一种较为简便的方法，可用于测量交流电路组件和一个已知电阻串联如图 9-2 (a) 所示。如果待测组件为一个电感线圈，当一个已知频率的正弦交流电通过时，用电压表分别测出总电压 U ，已知电阻上的电压 U_1 和待测组件上的电压 U_2 ，然后将这三个电压组成一个闭合三角形如图 9-2 (b) 所示。将 U_2 分解为与 U_1 平行的电压分量 U_r 和与 U_1 垂直的电压分量 U_x ，根据三角运算关系式，用作图的方法，求出 r 、 X 的值，再根据 $X=\omega L$ ，求出组件参数 L ，即：

$$r = \frac{U_r}{U_1} \cdot R \quad (9-4)$$

$$X = \frac{U_x}{U_1} \cdot R \quad (9-5)$$

利用此方法同样可以测出待测组件是一电容组件的电容值。

$$X = \frac{U_c}{U_1} \cdot R \quad C = \frac{1}{\omega X}$$

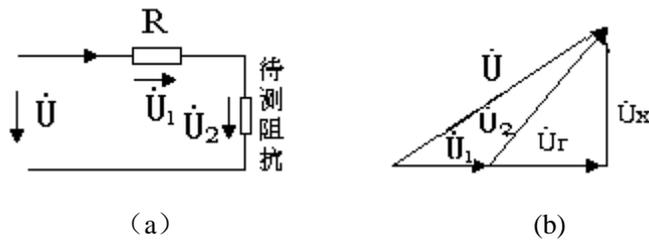


图 9-2 三电压表测交流电路组件参数

三. 实验内容及步骤

1. 线路如图 9-1 所示，改变调压器的输出电压，使电流 $I=0.2A$ ，测出电压 U 和功率 P ，再计算 r 、 X 、 L 值。

2. 将图 9-1 中的电感取下，换上电阻与电容 C 串联的待测阻抗。其中 $r=100$ 欧姆为滑线变阻器上一电阻，改变调压器的输出电压使 $U=200V$ ，测量电流 I 和功率 P ，并计算 r 和 C 的值。

3. 按图 9-3 联机， R 为滑线变阻器电阻，其值取 200 欧姆。改变调压器输出电压使电流 $I=0.2A$ ，分别测量 U 、 U_1 、 U_2 ，并做记录。

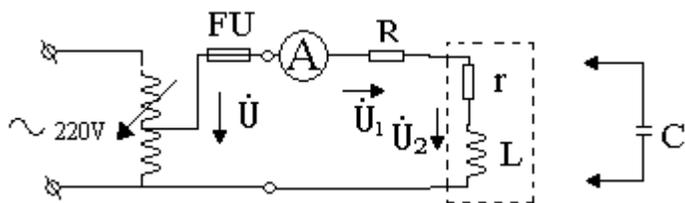


图 9-3 三电压表法测交流电路参数

4. 利用 U 、 U_1 、 U_2 作闭合三角形，将 U_2 分解为 U_r 和 U_x 。按 (9-4) 式和 (9-5) 式计算 r 、 X 及 L 。

将电感取下换为电容器，改变调压器使其输出电压 $U=200V$ ，分别测量 U_1 和 U_2 ，用 U 、 U_1 、 U_2 组成闭合三角形，再计算 r 和 C 。

四. 注意事项

1. 单相调压器使用前，应将调节手柄逆时针旋转至零，接通电源后再从零位逐渐升高电压，每做完一项实验后随手将调压器调回零位，然后断开电源。
2. 注意变阻器和被测组件允许通过的电流值，以免超值使用造成组件损坏。

五. 实验仪器

1. 单相调压器	1 台
2. 交流电流表	1 只
3. 交流电压表	1 只
4. 低功率瓦特表	1 只
5. 电感线圈	1 只
6. 电容器箱	1 只
7. 滑线变阻器	1 只

六. 实验报告要求

1. 用三表法和三电压表法分别计算与电容器串联的电阻值和电容值。
2. 用三表法和三电压表法分别计算电感线圈的等值电阻和电感数值。
3. 回答思考题：

实验中没有安培表是否可进行测量？这时需要什么必备的条件？

实验十 三相电路及功率的测量

一. 实验目的

1. 学习三相电路中负载的星形联接和三角形联接的方法。
2. 验证三相负载做星形联接、三角形联接时，三相电路中线电压与相电压；线电流与相电流之间的关系。
3. 了解不对称负载做星形联接时中线的作用。
4. 学习用三瓦特表法和二瓦特表法测量三相电功率。

二. 实验原理与说明

1. 在三相电路中，对称负载作星形联接时，线电压 U_L 和相电压 U_P ，线电流 I_L 和相电流 I_P 之间的关系为：

$$U_L = \sqrt{3} U_P$$

$$I_L = I_P$$

此时中线电流 $I_0=0$ ，所以中线可以去掉。

三相总有功功率为：

$$P = 3P_P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \Phi$$

若负载不对称时，中线电流 $I_0 \neq 0$ ，如果中线断开了，将造成负载相电压不对称，使负载不能正常工作，这是不允许的。中线的作用就在于使星形联接的不对称负载的相电压保持对称。

2. 三角形联接的三相负载，其线电压与相电压，线电流与相电流之间的关系为：

$$U_L = U_P$$

$$I_U = I_{UV} - I_{WU} ; \quad I_V = I_{VW} - I_{UV} ; \quad I_W = I_{WU} - I_{VW}$$

当负载对称时，其线电流与相电流之间的关系为：

$$I_L = \sqrt{3} I_P$$

三相总有功功率为：

$$P = 3P_P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \Phi$$

3. 在三相电路中，有功功率的测量方法有二种。一种是三瓦特表法如图 10-1 所示。

三瓦特表法的测量一般用于三相四线制，其方法是用三个瓦特表分别测量出各相消耗的有功功率，然后将其相加就是三相负载消耗的总功率。

另一种是二瓦特表法如图 10-2 所示，用于测量三相三线制负载功率，不论负载对称与否二瓦特表的读数为：

$$P_1 = U_{UN} I_U \cos(30^\circ - \Phi) = U_L I_L \cos(30^\circ - \Phi)$$

$$P_2 = U_{VN} I_V \cos(30^\circ + \Phi) = U_L I_L \cos(30^\circ + \Phi)$$

式中 Φ 为负载的功率因子角。

当 $\Phi=0$ 时（即电阻性负载时）， $P_1=P_2$ ，两个功率表的读数相等。 $|\Phi|=60^\circ$ （即负载的功率因子等于 0.5 时），将有一只功率表读数为零。 $|\Phi|<60^\circ$ （即负载功率因子大于 0.5 时），两只功率表的读数均为正。 $|\Phi|>60^\circ$ （即负载功率因子小于 0.5 时），将有一只功率表的读数为负值，指针反偏转。此时

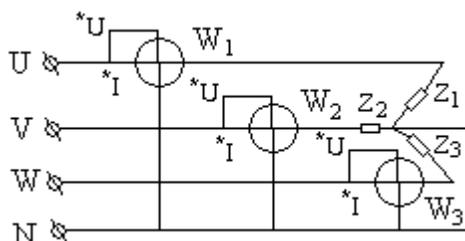


图 10-1 三瓦特表法测量三相电功率

此时应将功率表的电源线圈调换接线（将非标记端换接到电源端），以使该功率表正偏转，但读数记为负值。这时二功率表读数绝对值之差，即为三相电路的功率。

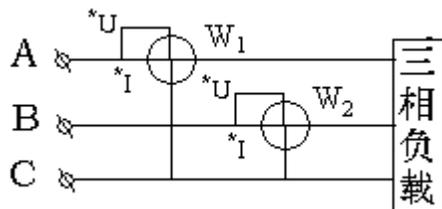


图 10-2 二瓦特表法测量三相电功率

三. 实验任务

1. 星形联接电路

(1) 按图 10-3 所示连接电路。

改变调压器的输出电压，使线电压 $U_{\text{线}}=220\text{V}$ ，测量负载对称（指 3 盏灯）时的线电压、相电压、电流、功率及中线电流值。将测量值记录于表格 10-1 中。

表 10-1 (负载对称时)

线电压 $U_{\text{线}}$	相电压 $U_{\text{相}}$	线电流 $I_{\text{线}}$	相电流 $I_{\text{相}}$	功率 P	中线电流

(2) 测量负载不对称时（将三相负载分别该为 1、2、3 盏灯），有中线与无中线两种情况。分别观察各灯泡的亮度变化，并测量线电压、相电压、电流、中线电流、中线电压及功率值，记录于表格 10-2 中。

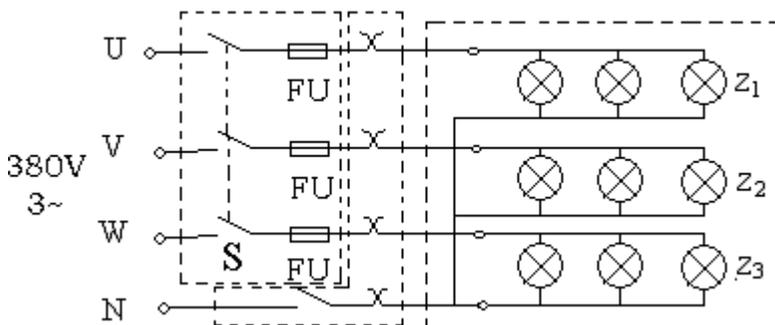


图 10-3 星形负载实验电路

表 10-2 (负载不对称时)

线电压 $U_{\text{线}}$	相电压 $U_{\text{相}}$	线电流 $I_{\text{线}}$	相电流 $I_{\text{相}}$	功率 P	中线电流	中线电压

2. 三角形联接方法

(1)按图 10-4 所示联机。

改变调压器的输出电压，使线电压 $U_{\text{线}}=150\text{V}$ ，测量负载对称时的电压、线电流、相电流及功率值，并将测量值记录于表格 10-3 中。

表 10-3 (负载对称时)

线电压 $U_{\text{线}}$	相电压 $U_{\text{相}}$	线电流 $I_{\text{线}}$	相电流 $I_{\text{相}}$	功率 P	中线电流

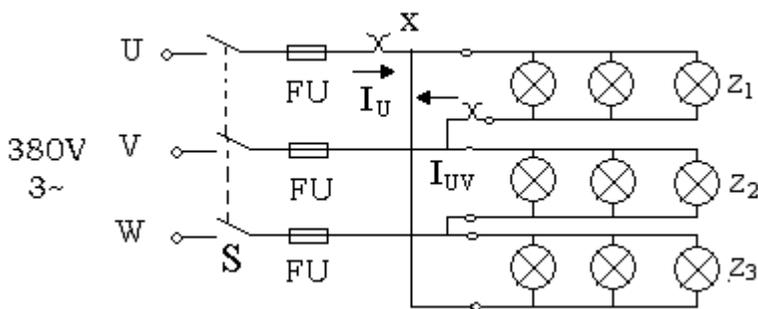


图 10-4 三角形接法负载实验电路

(2) 测量负载不对称时的电压、线电流、相电流及功率值，记录于表格 10-4 中。

表 10-4 (负载不对称时)

线电压 $U_{\text{线}}$	相电压 $U_{\text{相}}$	线电流 $I_{\text{线}}$	相电流 $I_{\text{相}}$	功率 P	中线电流	中线电压

四. 注意事项

1. 三相调压器的中点 O 一定要与电源中线相连接。
2. 用白炽灯泡作负载，其额定电压为 220V，所以负载两端线电压不得超过 220V。
3. 功率表的接线方法，电压和电流量程的选择，及功率表的读数方法。

五. 实验报告要求

1. 整理实验资料，说明在何种条件下 $U_L = \sqrt{3} U_P$ ， $I_L = \sqrt{3} I_P$ 的关系。
2. 说明测量三相电路有功功率时，哪种情况用三瓦计法，哪种情况用二瓦计法。
3. 回答思考题：

(1) 为什么测量三相三线制电路中负载消耗的功率用二瓦计法呢？解释其中一只功率表指针反向偏转的原因。

(2) 中线的作用是什么？在何种情况下可以省略？哪种情况下不可以省略？

六. 实验仪器

- | | |
|----------|-----|
| 1. 三相调压器 | 1 台 |
| 2. 交流电压表 | 1 块 |
| 3. 交流电流表 | 1 只 |

- | | |
|-----------|-----|
| 4. 单相功率表 | 1 只 |
| 5. 电流插头 | 1 只 |
| 6. 电流插座板 | 1 块 |
| 7. 三相负载灯箱 | 1 块 |

第二部分 综合设计型实验

实验十一 正弦稳态交流电路相量及改善功率因数的研究

一. 实验目的

1. 研究正弦稳态交流电路中电压、电流相量之间的关系。
2. 了解日光灯电路的工作原理及电路联接方法。
3. 理解改善电路功率因数的意义并掌握其方法。

二. 实验原理与说明

1. 在单相正弦电路中, 用交流电流表测得各支路的电流值, 用交流电压表测得回路各元件两端的电压值, 它们之间的关系满足相量形式的基尔霍夫定律, 即 $\sum \dot{I} = 0$ 和 $\sum \dot{U} = 0$ 。

2. 图 11-1 所示的 RC 串联电路, 在正弦稳态信号 \dot{U} 的激励下 \dot{U}_R 与 \dot{U}_C 保持有 90° 的相位差, 即当 R 阻值改变时, \dot{U}_R 的相量轨迹是一个半圆。 \dot{U} 、 \dot{U}_C 与 \dot{U}_R 三者形成一个直角形的电压三角形, 如图 11-2 所示。 R 值改变时, 可改变 φ 角的大小, 从而达到移相的目的。

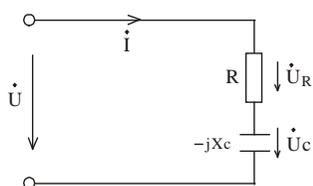


图 11-1

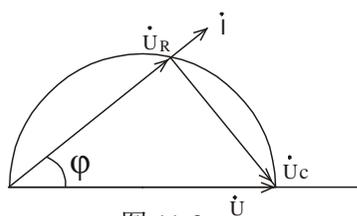


图 11-2

3. 在电力系统中多数负载均为感性, 例如, 动力设备感应电动机和高效照明器、日光灯等。

当负载吸收的有功功率为定值时, 其功率因子越低, 总电流 I 就越大, 线路上的电能损耗和电压损耗也就越大, 而且发电、变电等设备的容量利用率也就越低, 因此, 我们必须采取必要的措施来提高功率因数。

4. 日光灯电路是由灯管、启辉器和镇流器组成的。如图 11-3 所示。

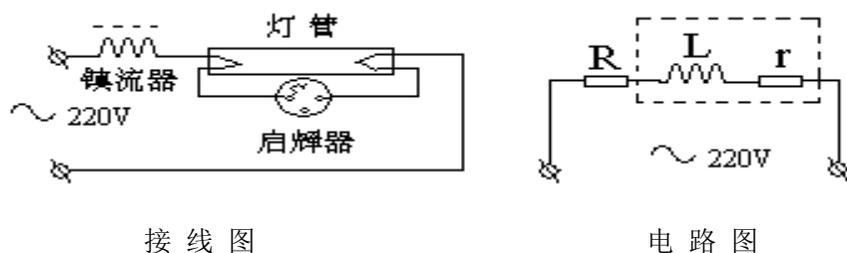


图 11-3 日光灯电路

日光灯管：是一根玻璃管，管内壁均匀涂有荧光物质，灯管两端装有灯丝电极，灯丝上有受热后易于发射电子的氧化物，管内充有少量水银蒸汽及惰性气体。

镇流器：是一个带铁芯的电感线圈。在灯管正常工作时起限制灯管电流的作用，在启动时产生足够的自感电动势，使灯管易于放电。

启辉器：也称启动器，它是一个充有氖气的玻璃泡，并装有两个电极，一个是固定的金属触头，另一个是由两种线膨胀系数不同的金属制成的 U 字形双金属片。两个电极离的很近。双金属片触头受热时，则会伸展与固定电极接通，冷却后又自动缩回与固定电极脱离，所以，启辉器相当于一个自动开关。启辉器的外壳是由塑料或铅质制成的圆筒。

当接通电源时，启辉器的两个电极在电源电压的作用下而放电，放电时产生的热量使双金属片伸展而与固定电极接触，于是电源、镇流器、灯管灯丝、启辉器构成一个闭合电路，有较大的启动电流流通，灯管的灯丝因而受热，发射出一些电子，给灯管点燃做好准备。

启辉器在两电极接触以后，放电停止，双金属片因冷却而缩回，两电极脱离，致使电路中的电流突然中断，镇流器线圈两端产生一个很高的自感电动势，它与电源电压叠加一起作用在灯管两端，由于灯管内冲入了少量的水银和惰性气体，管壁又涂有一层荧光粉，所以灯管两端的瞬间高电压引起惰性气体电离而放电。这时管内温度逐渐升高，使水银汽化，灯管由惰性气体放电过渡到水银蒸汽放电，于是灯管导通，灯管放电时辐射出的紫外线，激励管壁的荧光粉发出近似日光的光束。

灯管点燃后，电流便从镇流器和灯管中流过。这时电源电压一部分降落在镇流器上。另一部分作用在灯管上。正常工作时灯管两端的电压低于电源电压。它足以维持灯管内的放电，启辉器停止工作。这时镇流器起着限制电流的作用。

5. 日光灯电路是一个感性负载，功率因子在 0.5 以下，这样使得电源容量不能充分利用，使线路损耗加大，传输效率降低，为了提高功率因子，应在日光灯电路两端并联电容器。电容器值选择适当可使线路电流与电压同相，这时功率因子达到 1。电容器值选择过大时，使得整个电路变为容性，功率因子反而会降低。

实际应用电路中，负载多为感性，所以提高功率因子通常用电容补偿法。即在实际电路两端并联补偿电路。电容器值要选择适当。

三. 实验内容及步骤

1. 按图 11-1 所示电路连线。 R 为 220V、60W 的白炽灯泡，电容器为 $4.7\mu\text{F}/450\text{V}$ 。将调压器输出电压调至 220V。记录 U 、 U_R 、 U_C 值，验证电压三角形关系。测量值及计算值填入表 11-1 中。

表 11-1

测 量 值			计 算 值
U (V)	U_R (V)	U_C (V)	$(U' = \sqrt{U_R^2 + U_C^2})$

2. 日光灯电路的测试

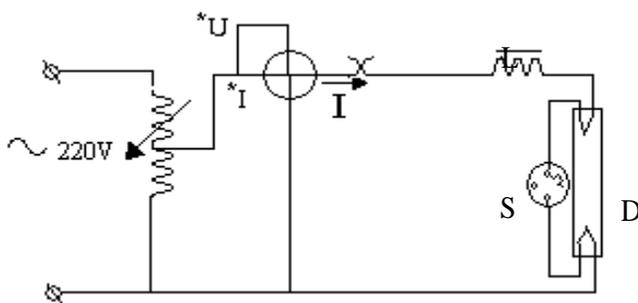


图 11-4

按图 11-4 所示连线，调节调压器，使其输出电压逐渐增大，直到日光灯刚启辉点亮为止，记下三表的指示值。然后将调压器输出电压调至 220V，测量功率 P ， U ， I ， U_L ， U_D 等值，验证电压、电流相量关系。测量值及计算值填入表 11-2 中。

表 11-2

测量数据						计数值	
	$P(W)$	$I(A)$	$U(V)$	$U_L(V)$	$U_A(V)$	$r(\Omega)$	$\cos\phi$
启辉值							
正常工作值							

3. 功率因数的改善测试。按图 11-5 所示连线，调节调压器，使其输出电压调到 220 伏，然后按表中给定的参数进行测量，并做相应的计算填入表 11-3 中。

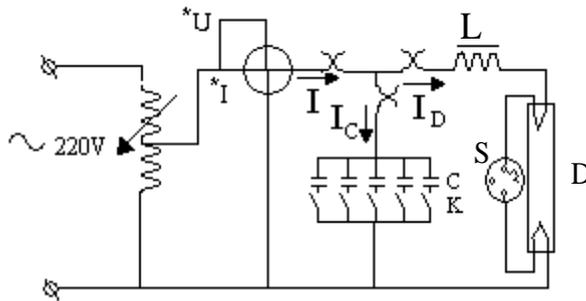


图 11-5 日光灯改善功率因数实验电路

表 11-3

序号	电容值 (μF)	测量资料					计算值
		$U(V)$	$I(A)$	$I_C(A)$	$I_D(A)$	$P(W)$	$\cos\phi = P/(UI)$
1							
2							
3							
4							
5							

U_R

6							
7							
8							

四. 思考题

1. 并联电容器后，总功率 P 是否变化？为什么？
2. U_L 和 U_D 的代数和为什么大于 U ？
3. 在日光灯电路中，怎样测量日光灯管的功率，画图说明。

五. 注意事项

1. 注意单相调压器的正确使用，使用调压器要从零点开始逐渐增大电压。

六. 实验报告要求

1. 根据表 11-3 中的资料，作出 $I=f(C)$ ， $I_C=f(C)$ ， $I_D=f(C)$ ， $\cos \phi = f(C)$ 曲线图。
2. 回答思考题。

七. 实验仪器

- | | |
|-----------------|-----|
| 1. 单相调压器 | 1 台 |
| 2. 交流电压表 | 1 只 |
| 3. 交流电流表 | 1 只 |
| 4. 低功率因子瓦特表 | 1 只 |
| 5. 电容器箱 | 1 块 |
| 6. 日光灯管、镇流器、启辉器 | 1 套 |

实验十二 电阻电路测量与分析综合实验

一. 实验目的

1. 熟悉并掌握直流电压表、电流表、恒压源等使用；
2. 学会电阻元件的伏安特性的逐点测试法；
3. 学会电路中电位、电压的测量方法，掌握电路电位图的测量、绘制方法；
4. 验证基尔霍夫定律，学会检查、分析电路简单故障；
5. 验证叠加原理，学会叠加原理的应用。

二. 实验原理

1. 电阻元件的伏安特性

任一二端电阻元件的特性可用该元件上的端电压 U 与通过该元件的电流 I 之间的函数关系 $U=f(I)$ 来表示，即用 $U-I$ 平面上的一条曲线来表征，这条曲线称为该电阻元件的伏安特性曲线。根据伏安特性的不同，电阻元件分两大类：线性电阻和非线性电阻。线性电阻元件的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，如图 12-1 中(a)所示，该直线的斜率只由电阻元件的电阻值 R 决定，其阻值为常数，与元件两端的电压 U 和通过该元件的电流 I 无关；非线性电阻元件的伏安特性是一条经过坐标原点的曲线，其阻值 R 不是常数，即在不同的电压作用下，电阻值是不同的，常见的非线性电阻如白炽灯丝、普通二极管、稳压二极管等，它们的伏安特性如图 12-1 中(b)、(c)、(d)。在图 12-1 中， $U > 0$ 的部分为正向特性， $U < 0$ 的部分为反向特性。

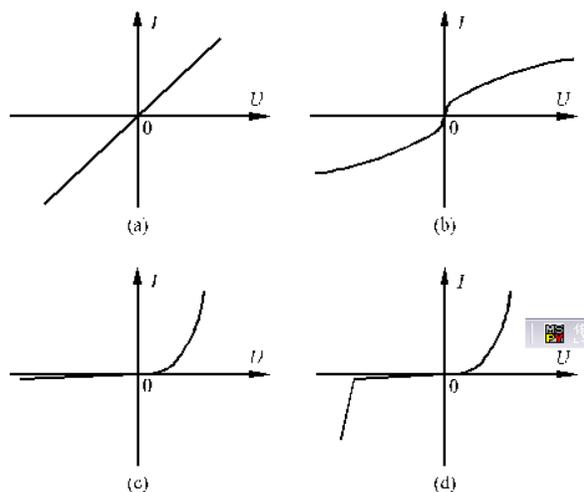


图 12-1

绘制伏安特性曲线通常采用逐点测试法，即在不同的端电压作用下，测量出相应的电流，然后逐点绘制出伏安特性曲线，根据伏安特性曲线便可计算其电阻值。

2. 电路中的电压、电位测量

在一个确定的闭合电路中，各点电位的大小视所选的电位参考点的不同而异，但任意两点之间的电压(即两点之间的电位差)则是不变的，这一性质称为电位的相对性和电压的绝对性。据此性质，我们可用一只电压表来测量出电路中各点的电位及任意两点间的电压。

若以电路中的电位值作纵坐标，电路中各点位置（电阻或电源）作横坐标，将测量到的各点电位在该坐标平面中标出，并把标出点按顺序用直线条相连接，就可得到电路的电位图，每一段直线段即表示该两点电位的变化情况。而且，任意两点的电位变化，即为该两点之间的电压。

在电路中，电位参考点可任意选定，对于不同的参考点，所绘出的电位图形是不同，但其各点电位变化的规律却是一样的。

3. 基尔霍夫定律

基尔霍夫电流定律和电压定律是电路的基本定律，它们分别用来描述结点电流和回路电压，即对电路中的任一结点而言，在设定电流的参考方向下，应有 $\sum I=0$ ，一般流出结点的电流取负号，流入结点的电流取正号；对任何一个闭合回路而言，在设定电压的参考方向下，绕行一周，应有 $\sum U=0$ ，一般电压方向与绕行方向一致的电压取正号，电压方向与绕行方向相反的电压取负号。

在实验前，必须设定电路中所有电流、电压的参考方向，其中电阻上的电压方向应与电流方向一致，即关联参考方向，见图 12-4 所示。

4. 叠加原理

在有几个电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电源单独作用时在该元件上所产生的电流或电压的代数和。具体方法是：一个电源单独作用时，其它的电源必须去掉（电压源短路，电流源开路）；在求电流或电压的代数和时，当电源单独作用时电流或电压的参考方向与共同作用时的参考方向一

致时，符号取正，否则取负。在图 12-2 中：

$$I_1 = I_1' - I_1'' \quad I_2 = -I_2' + I_2'' \quad I_3 = I_3' + I_3''$$

$$U = U' + U''$$

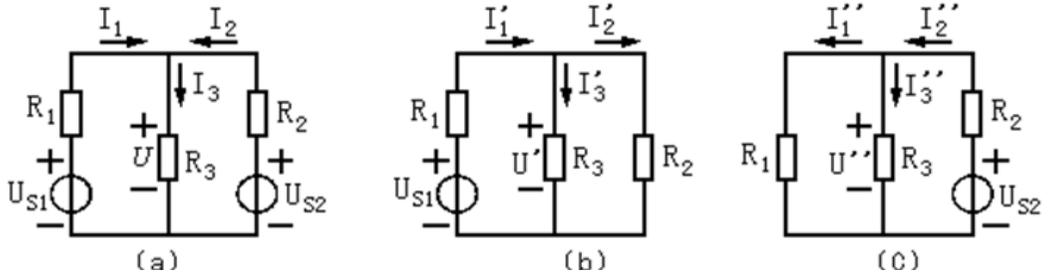


图 12-2

叠加原理反映了线性电路的叠加性，线性电路的齐次性是指当激励信号（如电源作用）增加或减小 K 倍时，电路的响应（即在电路其它各电阻元件上所产生的电流和电压值）也将增加或减小 K 倍。叠加性和齐次性都只适用于求解线性电路中的电流、电压。对于非线性电路，叠加性和齐次性都不适用。

三. 实验设备

1. 直流数字电压表、直流数字电流表；
2. 恒压源(双路 0~30V 可调)；
3. 电工实验平台装置。

四. 实验内容

(一) 测定线性电阻的伏安特性

按图 12-3 接线，图中的电源 U 选用恒压源的可调稳压输出端，通过直流数字毫安表与 $1k\Omega$ ($8W$) 线性电阻相连，电阻两端的电压用直流数字电压表测量。

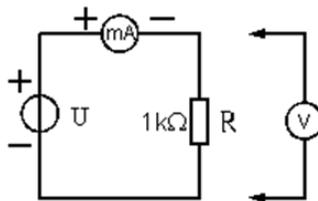


图 12-3

恒压源必须置 10V 档位上，调节恒压源可调稳压电源的输出电压 U ，从 0 伏开始缓慢地增加（不能超过 10V），在表 12-1 中记下相应的电压表和电流表的读数。

表 12-1 线性电阻伏安特性数据

$U(V)$	0	2	4	6	8	10
$I(mA)$						

(二) 电路中电位、电压的测量

实验电路如图 12-4 所示，图中的电源 U_{S1} 用恒压源 I 路 0~+30V 可调电源输出端（置 10V 档位），并将输出电压调到 +6V， U_{S2} 用 II 路 0~+30V 可调电源输出端（置 20V 档位），并将输出电压调到 +12V。开关 S_1 、 S_2 、 S_3 均朝上打。

1. 测量电路中各点电位

以图 12-4 中的 A 点作为电位参考点，分别测量 B、C、D、E、F 各点的电位。

用电压表的负端（黑色接线柱）与 A 点相连，正端（红色接线柱）分别对 B、C、D、E、F 各点进行测量，数据记入表 12-2 中。

以 D 点作为电位参考点，重复上述步骤，测得数据记入表 12-2 中。

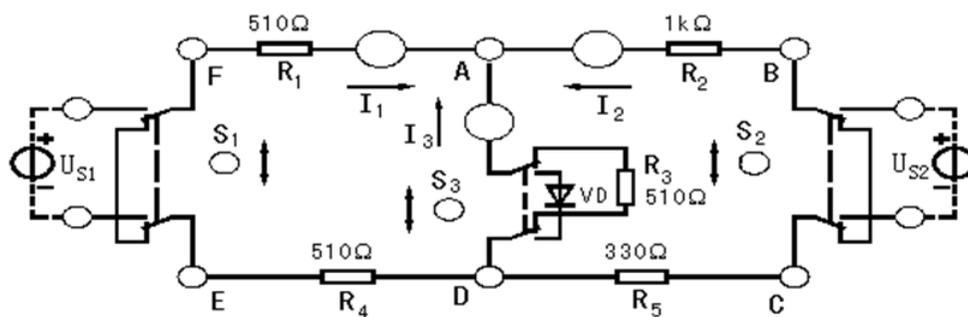


图 12-4

2. 测量电路中相邻两点之间的电压值

在图 12-4 中，测量电压 U_{AB} ：将电压表的正端（红色接线柱）与 A 点相连负端（黑色接线柱）与 B 点相连，读电压表读数，记入表 12-2 中。按同样方法测量 U_{BC} 、 U_{CD} 、 U_{DE} 、 U_{EF} 及 U_{FA} ，测量数据记入表 12-2 中。

表 12-2 电路中各点电位和电压数据 单位：V

电位参考点	V_A	V_B	V_C	V_D	V_E	V_F	U_{AB}	U_{BC}	U_{CD}	U_{DE}	U_{EF}	U_{FA}
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

A	0											
D				0								

(三) 节点电流、回路电压定律

实验电路如图 12-4 所示，图中的电源 U_{S1} 用恒压源 I 路 0~+30V 可调电压输出端，并将输出电压调到 +6V， U_{S2} 用恒压源 II 路 0~+30V 可调电压输出端，并将输出电压调到 +12V（以直流数字电压表读数为准）。开关 S_1 拨向上方，开关 S_2 拨向上方，开关 S_3 拨向上方。

实验前先设定三条支路的电流参考方向，如图 12-4 中的 I_1 、 I_2 、 I_3 所示，并熟悉线路结构，掌握各开关的操作使用方法。

1. 熟悉电流插头的结构，将电流插头的红接线端插入数字电流表的红（正）接线端，电流插头的黑接线端插入数字电流表的黑（负）接线端。

2. 测量支路电流

将电流插头分别插入三条支路的三个电流插座中，读出各个电流值。按规定：在结点 A，电流表读数为‘+’，表示电流流入结点，读数为‘-’，表示电流流出结点，然后根据图 12-4 中的电流参考方向，确定各支路电流的正、负号，并记入表 12-3 中。

表 12-3 支路电流数据

支路电流(mA)	I_1	I_2	I_3
计算值			
测量值			

3. 测量元件电压

用直流数字电压表分别测量两个电源及电阻元件上的电压值，将数据记入表 12-4 中。测量时电压表的红（正）接线端应插入被测电压参考方向的高电位端，黑（负）接线端插入被测电压参考方向的低电位端。

表 12-4 各元件电压数据

各元件电压 (V)	U_{S1}	U_{S2}	U_{R1}	U_{R2}	U_{R3}	U_{R4}	U_{R5}
计算值 (V)							
测量值 (V)							

(四) 叠加原理的应用

实验电路如图 12-4 所示，图中： $R_1 = R_3 = R_4 = 510\Omega$ ， $R_2 = 1k\Omega$ ， $R_5 = 330\Omega$ ，图中的电源 U_{S1} 用恒压源 I 路 0~+30V 可调电压输出端，并将输出电压调到 +12V， U_{S2} 用恒压源 II 路 0~+30V 可调电压输出端，并将输出电压调到 +6V（以直流数字电压表读数为准），开关 S_3 拨向上方 R_3 侧。

1. U_{S1} 电源单独作用（将开关 S_1 拨向上方，开关 S_2 拨向下方），参考图 12-2(b)，画出电路图，标明各电流、电压的参考方向。

用直流数字毫安表接电流插头测量各支路电流：将电流插头的红接线端插入数字电流表的红（正）接线端，电流插头的黑接线端插入数字电流表的黑（负）接线端，测量各支路电流，按规定：在结点 A，电流表读数为‘+’，表示电流流入结点，读数为‘-’，表示电流流出结点，然后根据电路中的电流参考方向，确定各支路电流的正、负号，并将数据记入表 12-5 中。

用直流数字电压表测量各电阻元件两端电压：电压表的红（正）接线端应插入被测电阻元件电压参考方向的正端，电压表的黑（负）接线端插入电阻元件的另一端（电阻元件电压参考方向与电流参考方向一致），测量各电阻元件两端电压，数据记入表 12-5 中。

表 12-5 实验数据表

测量项目 实验内容	U_{S1} (V)	U_{S2} (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)
U_{S1} 单独作用	12	0								
U_{S2} 单独作用	0	6								
U_{S1} 、 U_{S2} 共同作用	12	6								
U_{S2} 单独作用	0	12								

2. U_{S2} 电源单独作用（将开关 S_1 拨向下方，开关 S_2 拨向上方），参考图 12-2(c)，画出电路图，标明各电流、电压的参考方向。

重复步骤 1 的测量并将数据记录记入表格 12-5 中。

3. U_{S1} 和 U_{S2} 共同作用时（开关 S_1 和 S_2 全部拨向上方），各电流、电压的参考方向见图 12-4。

完成上述电流、电压的测量并将数据记录记入表格 12-5 中。

4. 将 U_{S2} 的数值调至 +12V，重复第 2 步的测量，并将数据记录在表 12-5 中。

5. 将开关 S_3 拨向下方二极管 VD 侧，即电阻 R_3 换成一只二极管 1N4007，重复步骤 1 ~ 4 的测量过程，并将数据记入表 12-6 中。

表 12-6 实验数据表

测量项目 实验内容	U_{S1} (V)	U_{S2} (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)
U_{S1} 单独作用	12	0								
U_{S2} 单独作用	0	6								
U_{S1}, U_{S2} 共同作用	12	6								
U_{S2} 单独作用	0	12								

五. 实验注意事项

1. 测量时，可调稳压电源的输出电压由 0 缓慢逐渐增加，应时刻注意电压表和电流表，不能超过规定值。

2. 稳压电源输出端切勿碰线短路。

3. 测量中，随时注意电流表读数，及时更换电流表量程，勿使仪表超量程，注意仪表的正负极性及其数据表格中“+、-”号的记录。

4. 实验电路中使用的电源 U_{S1} 和 U_{S2} 用 0~+30V 可调电源输出端，应分别将输出电压调到 +6V 和 +12V 后，再接入电路中。并防止电源输出端短路。

5. 使用数字直流电压表测量电位时，用黑笔端插入参考电位点，红笔端插入被测各点，若显示正值，则表明该点电位为正（即高于参考点电位）；若显示负值，表明该点电位为负（即该点电位低于参考点电位）。

6. 使用数字直流电压表测量电压时，红笔端插入被测电压参考方向的正（+）端，黑笔端插入被测电压参考方向的负（-）端，若显示正值，则表明电压参考方向与实际方向一致；若显示负值，表明电压参考方向与实际方向相反。

7. 所有需要测量的电压值，均以电压表测量的读数为准，不以电源表盘指示值为准。

8. 若用指针式电流表进行测量时，要识别电流插头所接电流表的“+、-”极性，倘若不换接极性，则电表指针可能反偏而损坏设备（电流为负值时），此时必须调换电流表极性，重新测量，此时指针正偏，但读得的电流值必须冠以负号。

9. 电压源单独作用时，去掉另一个电源，只能在实验板上用开关 S_1 或 S_2 操作，而不能直接将电压源短路。

六. 预习与思考题

1. 线性电阻与非线性电阻的伏安特性有何区别？它们的电阻值与通过的电流有无关系？如何用逐点测试法绘制出伏安特性曲线。

2. 电位参考点不同，各点电位是否相同？相同两点的电压是否相同，为什么？

3. 在测量电位、电压时，为何数据前会出现 \pm 号，它们各表示什么意义？

4. 什么是电位图形？不同的电位参考点电位图形是否相同？如何利用电位图形求出各点的电位和任意两点之间的电压。

5. 根据图 12-4 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，以便实验测量时，可正确地选定毫安表和电压表的量程；

6. 在图 12-4 的电路中，A、D 两结点的电流方程是否相同？为什么？

7. 在图 12-4 的电路中可以列几个电压方程？它们与绕行方向有无关系？

8. 实验中，若用指针万用表直流毫安档测各支路电流，什么情况下可能出现毫安表指针反偏，应如何处理，在记录数据时应注意什么？若用直流数字毫安表进行测量时，则会有什么显示呢？

9. 叠加原理中 U_{S1} 、 U_{S2} 分别单独作用，在实验中应如何操作？可否将要去掉的电源（ U_{S1} 或 U_{S2} ）直接短接？

10. 实验电路中，若有一个电阻元件改为二极管，试问叠加性与齐次性还成立吗？

为什么？

七. 实验报告要求

1. 根据实验数据，分别在方格纸上绘制出各个电阻的伏安特性曲线。
2. 根据伏安特性曲线，计算线性电阻的电阻值，并与实际电阻值比较。
3. 根据实验数据，分别绘制出电位参考点为 A 点和 D 点的两个电位图形。
4. 根据电路参数计算出各点电位和相邻两点之间的电压值，与实验数据相比较，对误差作必要的分析。
5. 根据实验数据，选定实验电路中的任一个结点，验证基尔霍夫电流定律 (KVL) 的正确性。
6. 根据实验数据，选定实验电路中的任一个闭合回路，验证基尔霍夫电压定律 (KCL) 的正确性。
7. 列出求解电压 U_{EA} 和 U_{CA} 的电压方程，并根据实验数据求出它们的数值。
8. 写出实验中检查、分析电路故障的方法，总结查找故障的体会。
9. 根据表 12-5 实验数据表，通过求各支路电流和各电阻元件两端电压，验证线性电路的叠加性与齐次性。
10. 各电阻元件所消耗的功率能否用叠加原理计算得出？试用上述实验数据计算、说明；
11. 根据表表 12-5 实验数据表，当 $U_{S1} = U_{S2} = 12V$ 时，用叠加原理计算各支路电流和各电阻元件两端电压。
12. 根据表 12-6 实验数据表，说明叠加性与齐次性是否适用该实验电路。
13. 回答思考题。

实验十三 三相电路综合仿真实验

一. 实验目的

1. 熟练运用 Multisim 正确连接电路, 对不同联接情况进行仿真。
2. 对称负载和非对称负载电压电流的测量, 并能根据测量数据进行分析总结。
3. 加深对三相四线制供电系统中性线作用的理解。
4. 掌握示波器的连接及仿真使用方法。
5. 进一步提高分析、判断和查找故障的能力。

二. 实验要求

1. 绘制出三相交流电源的连接及波形观察
2. 学习示波器的使用及设置。
3. 仿真分析三相电路的相关内容。
4. 掌握三瓦法测试及二瓦法测试方法

三. 原理与说明

1. 负载应作星形联接时, 三相负载的额定电压等于电源的相电压。这种联接方式的特点是三相负载的末端连在一起, 而始端分别接到电源的三根相线上。

2. 负载应作三角形联接时, 三相负载的额定电压等于电源的线电压。这种联接方式的特点是三相负载的始端和末端依次联接, 然后将三个联接点分别接至电源的三根相线上。

3. 电流、电压的“线量”与“相量”关系

测量电流与电压的线量与相量关系, 是在对称负载的条件下进行的。画仿真图时要注意。

负载对称星形联接时, 线量与相量的关系为:

$$(1) U_L = \sqrt{3}U_p \quad (2) I_L = I_p$$

负载对称三角形联接时, 线量与相量的关系为:

$$(1) U_L = U_p \quad (2) I_L = \sqrt{3}I_p$$

4. 星形联接时中性线的作用

三相四线制负载对称时中性线上无电流，不对称时中性线上有电流。中性线的作用是将三相电源及负载变成三个独立回路，保证在负载不对称时仍能获得对称的相电压。

如果中性线断开，这时线电压仍然对称，但每相负载原先所承受的对称相电压被破坏，各相负载承受的相电压高低不一，有的可能会造成欠压，有的可能会过载。

四. 实验内容及参考实验步骤

(一) 建立三相测试电路如下：

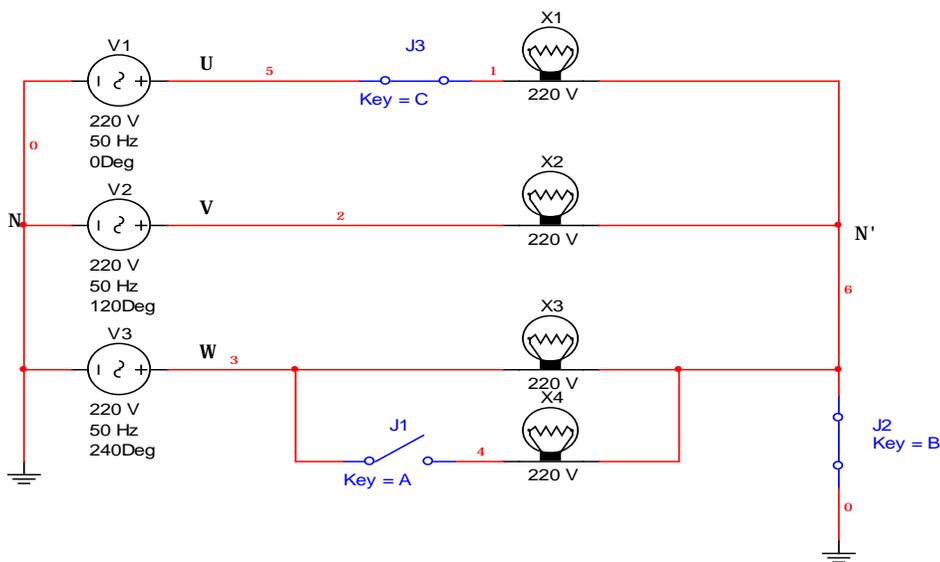
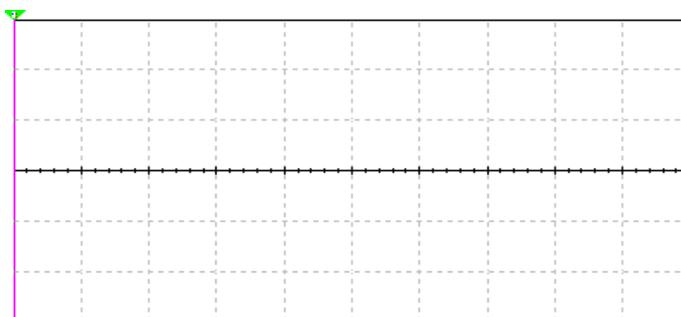


图 13-1 三相负载星形联接实验电路图

1. 接入示波器：测量 ABC 三相电压波形。并在下表中绘出图形。



Timebase: _____/DIV 三相电压相位差： φ =_____。

(二) 三相对称星形负载的电压、电流测量

(1) 使用 Multisim 软件绘制电路图 13-1，图中相电压有效值为 220V。

(2) 正确接入电压表和电流表，J1 打开，J2、J3 闭合，测量对称星形负载在三相四线制（有中性线）时各线电压、相电压、相（线）电流和中性线电流、中性点位移电压。记入表 13-1 中。

(3) 打开开关 J2，测量对称星形负载在三相三线制（无中性线）时电压、相电压、相（线）电流、中性线电流和中性点位移电压，记入表 13-1 中。

表 13-1 三相对称星形负载的电压、电流

项目		线电压/V			相电压/V			线电流/A			$I_{N'N'}/A$	$U_{N'N'}/V$
		U_{UV}	U_{VW}	U_{WU}	U_{UN}	U_{VN}	U_{WN}	I_U	I_V	I_W		
负载 对称	有中性 线											
	无中性 线											

(4) 根据测量数据分析三相对称星形负载联接时电压、电流“线量”与“相量”的关系。

结论：

(三) 三相不对称星形负载的电压、电流测量

(1) 正确接入电压表和电流表，J1 闭合，J2、J3 闭合，测量不对称星形负载在三相四线制（有中性线）时各线电压、相电压、相（线）电流和中性线电流、中性点位移电压。记入表 13-2 中。

(2) 打开开关 J2，测量不对称星形负载在三相三线制（无中性线）时各线电压、相电压、相（线）电流、中性线电流和中性点位移电压，记入表 13-2 中。

表 13-2 三相不对称星形负载的电压、电流

项目 分类		线电压/V			相电压/V			线电流/A			$I_{N' N'}$ A	$U_{N' N}$ /V
		U_{UV}	U_{VW}	U_{WU}	U_{UN}	U_{VN}	U_{WN}	I_U	I_V	I_W		
负载 不 对称	有中 性线											/
	无中 性线											

(3) 根据测量数据分析, 说明三相负载不对称时中性线的主要作用, 由此得出为什么中性线不允许加装熔断器的原因?

在负载不对称的时候依然获得的对称的相电压。

结论:

(四) 三相电路星形联结测试功率:

1. 画出如下图:

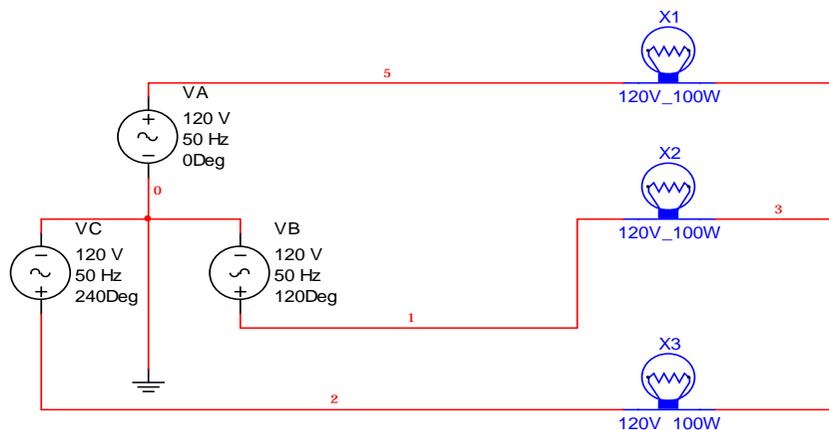


图 13-2

2. 接入功率表测出每相功率: $P_A = \underline{\hspace{2cm}}$, $P_B = \underline{\hspace{2cm}}$, $P_C = \underline{\hspace{2cm}}$,

总功率 $P_{\text{总}} =$ _____。

3. 在 B 相接入电流表测出 $I_B =$ _____，计算总功率 $P_{\text{总}} =$ _____。

4. 测量相电压 $U_A =$ ____，线电压 $U_{AB} =$ ____，相电压和线电压关系：_____。

5. 利用上面电路图，建立二瓦法测试电路并验证总功率

二瓦法接入瓦特表，仿真测出每相功率： $P_1 =$ _____， $P_2 =$ _____，总功率 $P_{\text{总}} =$ _____。

(五) 三相对称星形负载故障分析

(1) 三相对称星形负载，将 U 相断路，即 J3 打开，J1 打开、J2 闭合，测量四线制时各线电压、相电压、相（线）电流和中性线电流、中性点位移电压。记入表 3 中。

(2) 上述负载中，打开开关 J2，测量三线制 U 相断路时各线电压、相电压、相（线）电流和中性线电流、中性点位移电压，记入表 13-3 中。

表 13-3 三相对称星形负载故障分析

项目 分类		线电压/V			相电压/V			线电流/A			$I_{N'N}$ A	$U_{N'N}$ /V
		U_{UV}	U_{VW}	U_{WU}	U_{UN}	U_{VN}	U_{WN}	I_U	I_V	I_W		
U 相 断路	有中 性线											
	无中 性线											

(3) **思考：**负载对称，星形联接，无中线，若有一相负载发生断路故障，对其余两相负载的影响如何？

测量时如产生微小的误差，这主要是软件本身的原因，这样小的误差对结果并无太大的影响。

五. 实验报告要求

1. 根据实际操作，详细写出实验步骤。
2. 打印并分析各仿真结果。

第三部分 研究创新性实验

实验十四 电源等效变换设计

一. 实验目的

1. 初步掌握实验电路的设计思想和方法，能正确选择实验设备；
2. 学习和掌握线性有源一端口网络等效电路参数的测量方法；
3. 利用自行设计的实验电路以及测试结果，验证电源等效变换条件与戴维南定理；
4. 加深对电压源和电流源特性的理解，了解电流源及其外特性。

二. 实验内容

1. 自行设计一个线性有源单端口网络，选择适当的实验设备测定其伏安特性；
2. 将电源连接电压源与电阻串联的戴维南模型和电流源与电阻并联的诺顿模型，利用测得的结果验证电源等效变化的条件与戴维南定理；
3. 设计一个包含有两个以上电源的线性有源单口网络，测定其开路电压、短路电流和内阻，进一步验证电源的等效变换关系。

三. 实验报告要求

1. 说明设计原理，画出实验电路，计划测试方法和内容，列明所需实验仪器；
2. 正确连接电路，用表格的形式记录测试数据并进行验证计算；
3. 写出设计原理、测试方法和内容、数据处理和验证结果分析的实验报告。

实验十五 一阶 RC 电路的设计

一. 实验目的

1. 学习使用示波器观察一阶 RC 电路的响应;
2. 掌握测定一阶 RC 电路时间常数的方法;
3. 掌握微分电路和积分电路的设计方法及电路特性。

二. 实验内容

1. 设计一个一阶 RC 电路, 时间常数 $\tau = 0.1\text{s}$ 。

用 $R = 10\text{k}\Omega$ 的电阻和适当电容设计一个一阶 RC 电路, 输入电压为方波信号, 幅度与频率选择适当, 用示波器观察并记录输入和电容 C 两端电压的波形, 测量得到时间常数, 并与理论计算比较。

2. 设计一个一阶积分电路, $T = 2.5\text{ms}$ (并满足 $\tau \geq 10T$)

用 $R = 10\text{k}\Omega$ 的电阻和适当电容设计一个一阶 RC 积分电路, 用示波器观测并记录输入、输出电压的波形, 测量输入、输出电压的幅值和输入方波信号的频率;

3. 设计一个一阶微分电路, $T = 2.5\text{ms}$ (并满足 $T \geq 10\tau$)

用 $R = 10\text{k}\Omega$ 的电阻和适当电容设计一个一阶 RC 微分电路, 用示波器观测并记录输入、输出电压的波形, 测量输入、输出电压的幅值。

三. 实验报告要求及注意事项

1. 写出微分电路、积分电路的设计过程, 画出实验电路;
2. 用坐标纸在同一坐标系中绘制输入、输出波形曲线, 并在图中标出输入、输出信号的幅值、脉冲宽度和周期的参数;
3. 正确使用函数发生器和示波器, 当同时观测两个波形时, 需注意正确连接输入信

号。

