

目 录

实验一	线性与非线性元件伏安特性的测绘	1
实验二	电位、电压的测定及电路电位图的绘制	6
实验三	线性电路叠加性和齐次性验证	9
实验四	电压源、电流源及其电源等效变换	13
实验五	戴维南定理和诺顿定理的验证	18
实验六	典型周期性电信号的观察和测量	23
实验七	RC 串、并联选频网络特性的测试	28
实验八	正弦稳态交流电路相量的研究	32

实验一 线性与非线性元件伏安特性的测绘

一. 实验目的

1. 掌握线性电阻、非线性电阻元件伏安特性的逐点测试法。
2. 学习恒电源、直流电压表、电流表的使用方法。

二. 原理说明

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 1-1 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

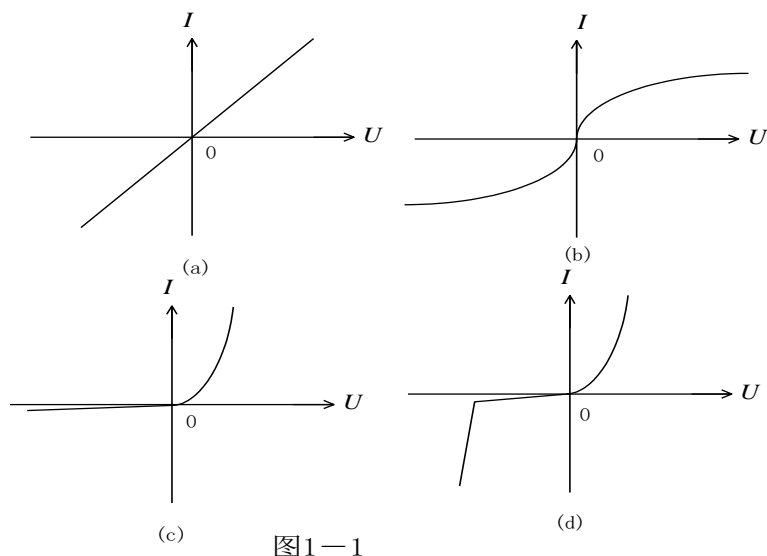


图 1-1

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 1-1 中 (b)、(c)、(d)。在图 1-1 中, $U > 0$ 的部分为正向特性, $U < 0$ 的部分为反向特性。

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。

三. 实验设备

1. 直流电压、电流表;
2. 电压源 (双路 $0\sim 30V$ 可调);
3. EEL-52A 组件、弱电元件箱。

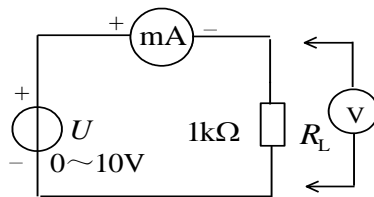


图 1-2

四. 实验内容

1. 测定线性电阻的伏安特性

按图 1-2 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 $1k\Omega$ 线性电阻相连, 电阻两端的电压用直流数字电压表测量。

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 1-1 中记下相应的电压表和电流表的读数。

表 1-1 线性电阻伏安特性数据

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

2. 测定 6.3V 白炽灯泡的伏安特性

将图 1-2 中的 $1k\Omega$ 线性电阻换成一只 6.3V 的灯泡，重复 1 的步骤，电压不能超过 6.3V，在表 1-2 中记下相应的电压表和电流表的读数。

表 1-2 6.3V 白炽灯泡伏安特性数据

$U(V)$	0	1	2	3	4	5	6.3
$I(mA)$	0	34	46.8	58.0	68.2	77.2	87.9

3. 测定半导体二极管的伏安特性

按图 1-3 接线， R 为限流电阻，取 200Ω （十进制可变电阻箱），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 25mA，二极管 VD 的正向压降可在 0~0.75V 之间取值。特别是在 0.5~0.75 之间更应取几个测量点；测反向特性时，将可调稳压电源的输出端正、负连线互换，调节可调稳压输出电压 U ，从 0 伏开始缓慢地减少（不能超过 -30V），将数据分别记入表 1-3 和表 1-4 中。

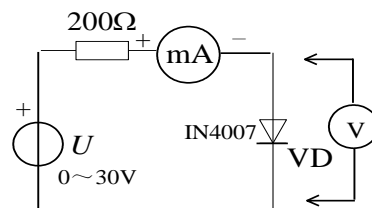


图 1-3

表 1-3 二极管正向特性实验数据

$U(V)$	0	0.2	0.4	0.45	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
$I(mA)$	0	0	0	0	0.2	0.6	1.9	4.9	15.0	47.2

表 1-4 二极管反向特性实验数据

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

4. 测定稳压管的伏安特性

将图 1-3 中的二极管 1N4007 换成稳压管 2CW51，重复实验内容 3 的测量，其正、反向电流不得超过 $\pm 20mA$ ，将数据分别记入表 1-5 和表 1-6 中。

表 1-5 稳压管正向特性实验数据

$U(V)$	0	0.2	0.4	0.45	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
$I(mA)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	2.4

表 1-6 稳压管反向特性实验数据

$U(V)$	0	-1	-1.5	-2	-2.5	-2.8	-3	-3.2	-3.5	-3.55
$I(mA)$	0	0	0	-0.2	-1.2	-2.8	-4.6	-7.8	-17.8	-20.3

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。

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？

线性电阻的伏安特性曲线是一条通过原点的直线，表示电压与电流成正比。对于线性电阻，电阻值是常数，与通过的电流无关。非线性电阻的伏安特性曲线不是直线，电压与电流之间的

关系不是线性的，电阻值随电流或电压的变化而变化。

2. 如何计算线性电阻与非线性电阻的电阻值？

线性电阻：使用欧姆定律，阻值固定不变。

非线性电阻：瞬时值可通过计算伏安特性曲线上的点与原点连线的斜率得到。

3. 请举例说明哪些元件是线性电阻，哪些元件是非线性电阻，它们的伏安特性曲线是什么形状？

线性电阻的元件：金属电阻器（伏安特性曲线：一条通过原点的直线，斜率为电阻值。）

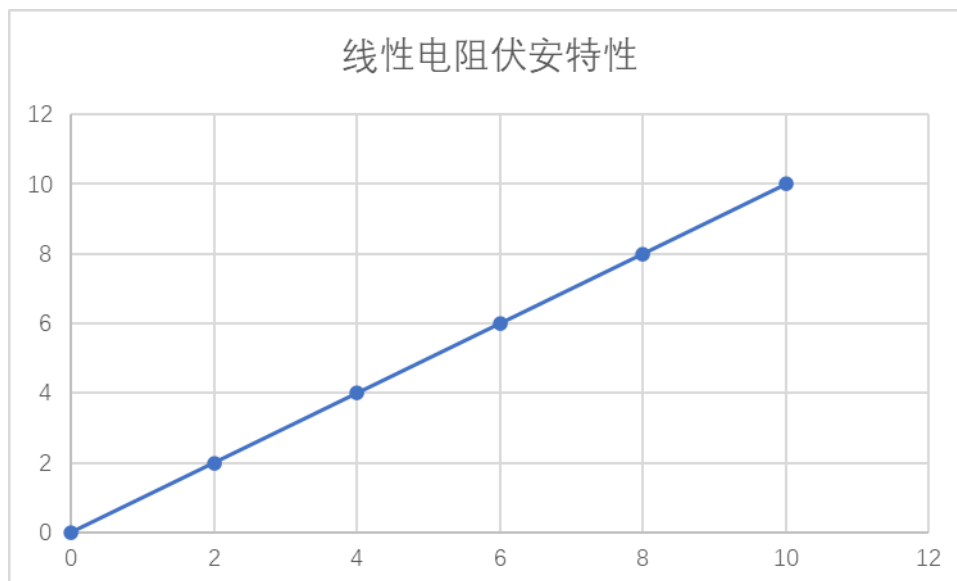
非线性电阻的元件：二极管（伏安特性曲线：在正向电压下，电流随电压指数增长；在反向电压下，电流几乎为零，直到击穿电压）；稳压二极管（伏安特性曲线：在反向击穿区，电流随电压迅速变化但电压基本保持恒定。）；热敏电阻（伏安特性曲线：**NTC**（负温度系数热敏电阻）在温度升高时电阻减小，**PTC**（正温度系数热敏电阻）在温度升高时电阻增大）

4. 设某电阻元件的伏安特性函数式为 $I=f(U)$ ，如何用逐点测试法绘制出伏安特性曲线。

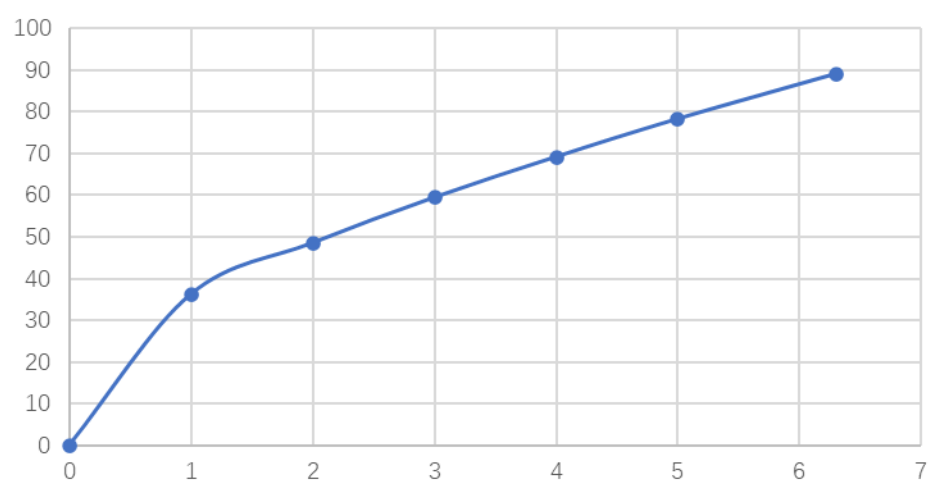
改变加在电阻上的电压，记录对应的流过电阻的电流。多次测量后建立直角坐标系，利用收集的数据，描点绘图。

七. 实验报告要求

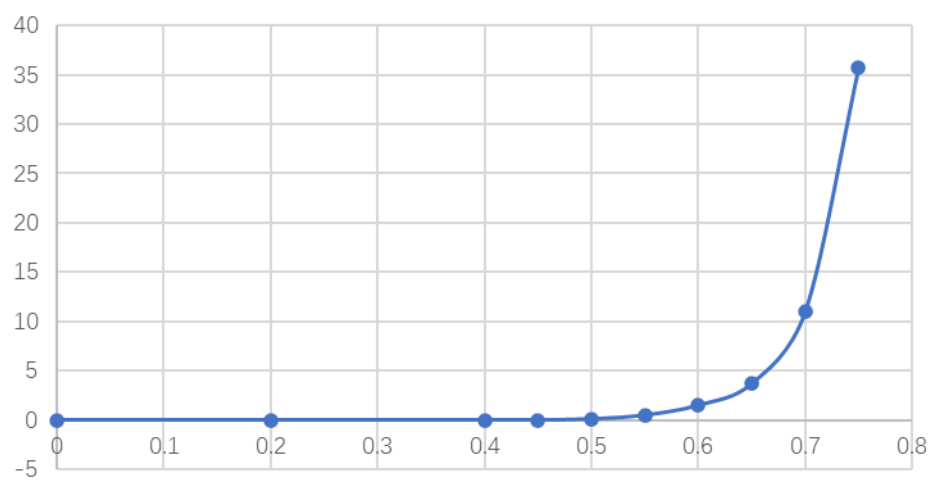
1. 根据实验数据，分别在方格纸上绘制出各个电阻的伏安特性曲线。



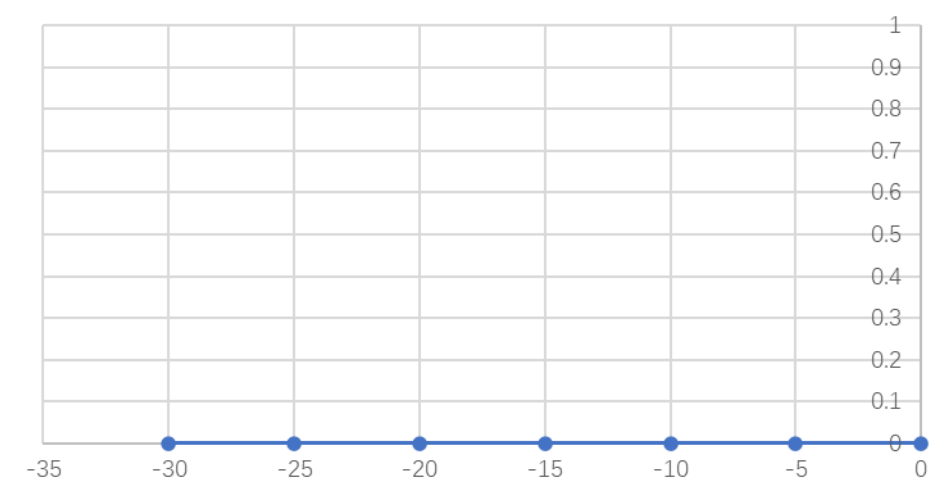
白炽灯泡伏安特性

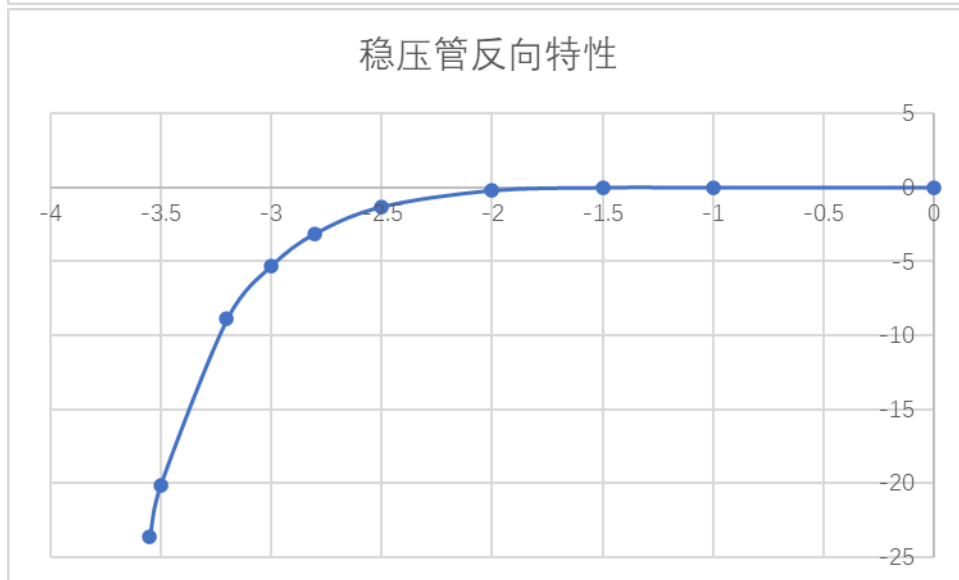
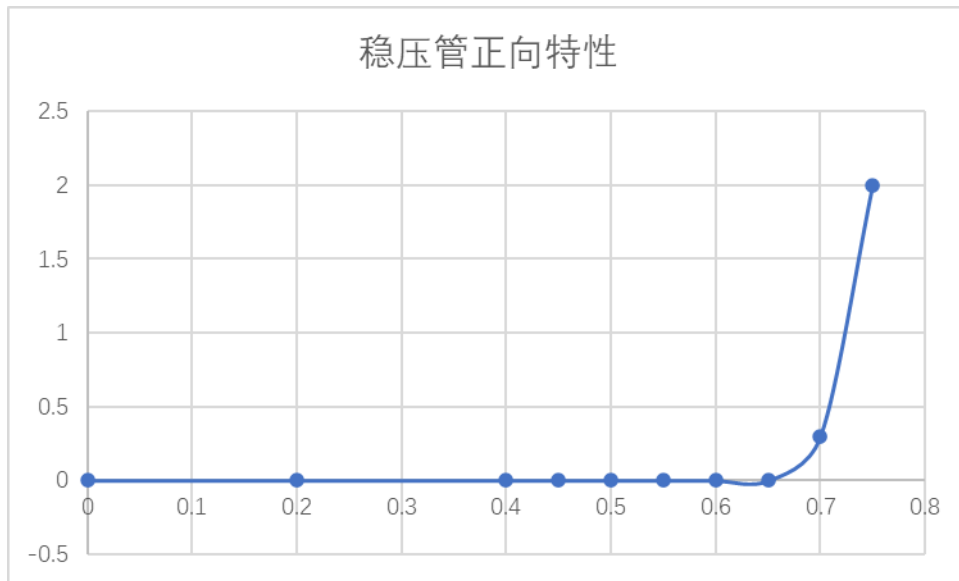


二极管正向特性实验数据



二极管反向特性





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。

计算值=1k Ω ，与实际值吻合。

3. 根据伏安特性曲线，计算白炽灯在额定电压（6.3V）时的电阻值，当电压降低 20%时，阻值为多少？

额定电压：71.67 Ω m，降压 20%：64.77 Ω m

4. 回答思考题 1。

见上文。

实验二 电位、电压的测定及电路电位图的绘制

一. 实验目的

1. 学会测量电路中各点电位和电压的方法，理解电位的相对性和电压的绝对性。
2. 学会电路电位图的测量、绘制方法。
3. 掌握使用直流稳压电源、直流电压表的使用方法。

二. 原理说明

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。

三. 实验设备

1. 直流电压、电流表；
2. 电压源（双路 0~30V 可调）；
3. EEL-51S 组件、弱电元件箱组件。

四. 实验内容

实验电路如图 2-1 所示，图中的电源 U_{S1} 用恒压源 I 路 0~+30V 可调电源输出端，并将输出电压调到 +6V， U_{S2} 用 II 路 0~+30V 可调电源输出端，并将输出电压调到 +12V。

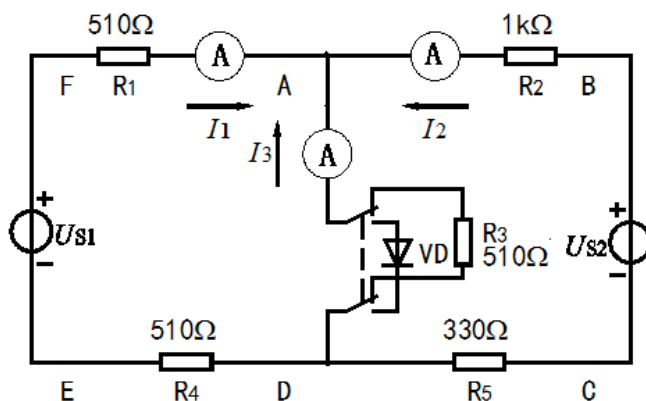


图2-1

1. 测量电路中各点电位

以图 2-1 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。

用电压表的黑笔端插入 A 点，红笔端分别插入 B、C、D、E、F 各点进行测量，数据记入表 2—1 中。

以 D 点作为电位参考点，重复上述步骤，测得数据记入表 2—1 中。

2. 测量电路中相邻两点之间的电压值

在图 2—1 中，测量电压 U_{AB} ：将电压表的红笔端插入 A 点，黑笔端插入 B 点，读电压表读数，记入表 2—1 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 2—1 中。

表 2—1 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	5.88	-6	-4.08	-5.16	1.07	-5.9	11.96	-1.95	1.07	-6.24	1.07
D	4.09	10.02	-1.95	0	-1.06	5.17	-5.9	11.96	-1.95	1.07	-6.24	1.07

五. 实验注意事项

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

2. 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）。

3. 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。

六. 预习与思考题

1. 电位参考点不同，各点电位是否相同？任两点的电压是否相同，为什么？

电位参考点不同，各点的电位可能不相同，但任意两点之间的电压相同。电压（或电位差）是一个相对量，表示两个点之间电势的差异。

2. 在测量电位、电压时，为何数据前会出现±号，它们各表示什么意义？

电位本身有正负之分，表示电势的高低。例如，+5V 表示某点的电位高于参考点 5V，而 -5V 表示低于参考点 5V。

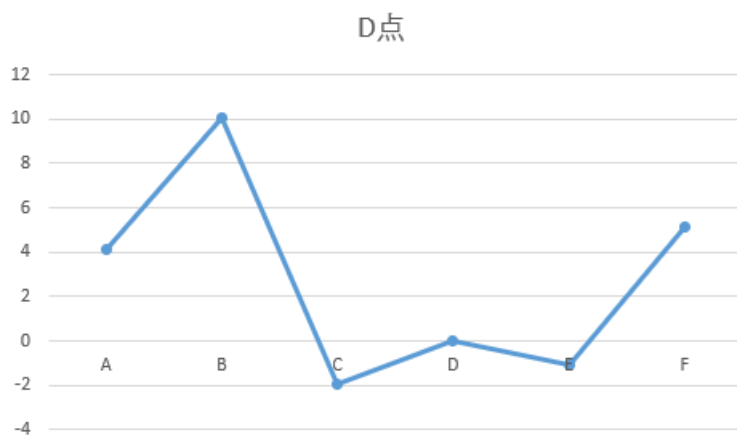
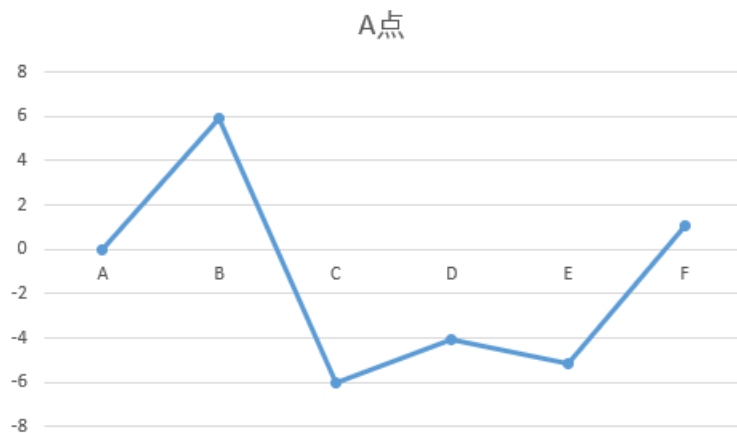
3. 什么是电位图形？不同的电位参考点电位图形是否相同？如何利用电位图形求出各点的电位和任意两点之间的电压。

电位图形是表示电位分布的一种图形，用来直观显示电路中各点的电位情况。不同的电位参考点会导致电位值不同，但电位差（电压）不会变，因此电位图形会有所不同，但相对的变化趋势保持不变。如果改变参考点，相当于整体图形沿纵轴平移，但形状和各点间的相对位置不变。

利用电位图形求电位和电压的方法是：首先确定一个参考点，该点电位设为零。然后，在图形上直接读取各点相对于参考点的电位值。任意两点之间的电压则是这两点电位值之差。通过电位图形上的坐标差异即可快速计算两点间电压，无论参考点选在何处，两点间电压值是固定的。

七. 实验报告要求

1. 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。



2. 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。

实验数据与计算值较吻合，误差可能是导线和电压表不理想等系统误差导致，也可能为读数不稳定等偶然误差。

实验三 线性电路叠加性和齐次性验证

一. 实验目的

1. 验证叠加原理
2. 了解叠加原理的应用场合。
3. 理解线性电路的叠加性。

二. 原理说明

叠加原理指出: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 4-1 中:

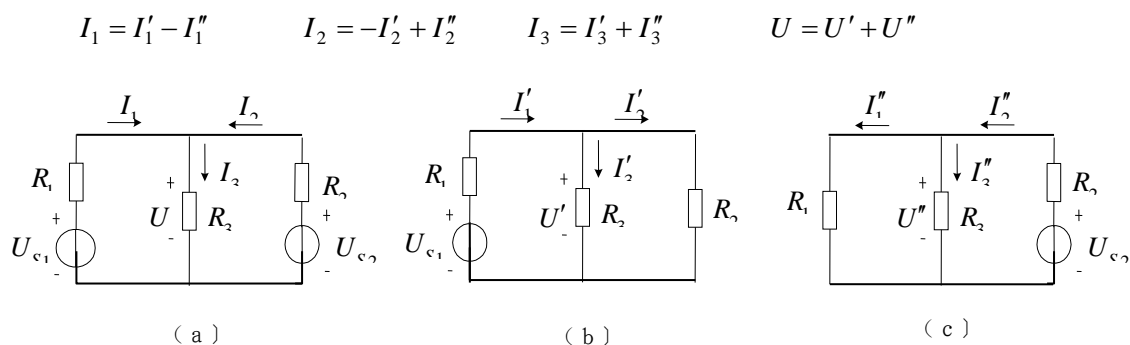


图 4-1

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. EEL-51S 组件、弱电元件箱组件。

四. 实验内容

实验电路如图 4-2 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 投向 R_5 侧。

1. U_{S1} 电源单独作用(将开关 S_1 投向 U_{S1} 侧,开关 S_2 投向短路侧),参考图 4-1 (b),画出电路图,标明各电流、电压的参考方向。

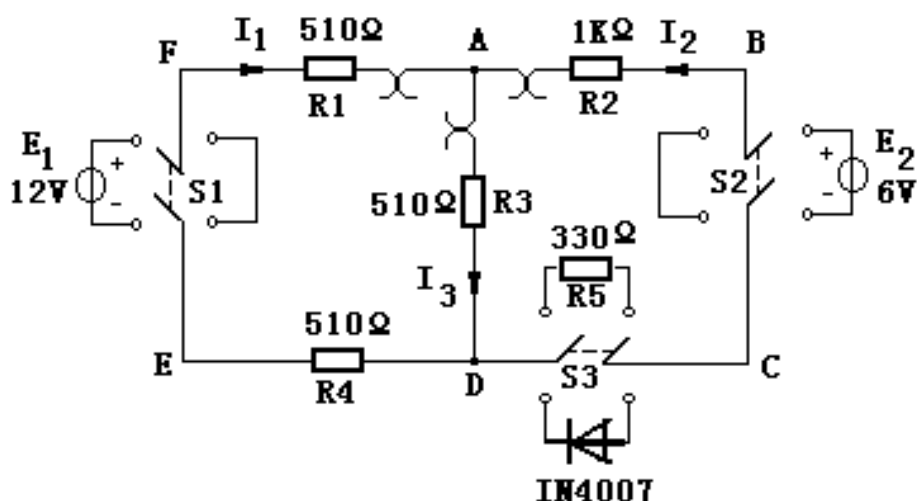


图 4-2

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 4—1 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 4—1 中。

表 4—1 实验数据一

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	8.6	-2.3	6.2	2.36	0.77	3.14	4.34	4.40
U_{S2} 单独作用	0	6	-1.3	3.8	2.5	-3.83	-1.26	1.31	-0.64	-0.65
U_{S1}, U_{S2} 共同作用	12	6	7.3	1.4	8.8	-1.47	-0.49	4.45	3.68	3.74
U_{S2} 单独作用	0	12	-2.5	7.6	5.0	-7.56	-2.5	2.57	-1.26	-1.30

2. U_{S2} 电源单独作用（将开关 S_1 投向短路侧，开关 S_2 投向 U_{S2} 侧），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 4—1 中。

3. U_{S1} 和 U_{S2} 共同作用时（开关 S_1 和 S_2 分别投向 U_{S1} 和 U_{S2} 侧），各电流、电压的参考方向见图 4-2。

完成上述电流、电压的测量并将数据记录记入表格 4—1 中。

4. 将开关 S_3 投向二极管 VD 侧，即电阻 R_5 换成一只二极管 1N4007，重复步骤 1~3 的测量过程，并将数据记入表 4—2 中。

表 4—2 实验数据二

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	8.7	-2.4	6.0	2.47	0.61	3.08	4.32	4.45
U_{S2} 单独作用	0	6	0	0	0	0	-6.27	0	0	0
U_{S1}, U_{S2} 共同作用	12	6	7.8	0	7.8	0	-2.32	3.94	3.89	4.02
U_{S2} 单独作用	0	12	0	0	0	0	-12.66	0	0	0

五. 实验注意事项

1. 用电流插头测量各支路电流时，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。
3. 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 **S1** 或 **S2** 操作，而不能直接将电压源短路。

六. 预习与思考题

1. 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？

U_{S1} 单独作用时，将开关 **S1** 投向 **US1** 侧，开关 **S2** 投向短路侧； U_{S2} 单独作用时同理。撤去对应电源，电压源短路，电流源开路。

2. 实验电路中，若有一个电阻元件改为二极管，试问叠加性还成立吗？为什么？

当电路中有一个电阻元件被改为二极管时，叠加性不再成立。线性元件的电压和电流关系是线性的，遵循叠加原理；非线性元件如二极管、晶体管，它们的电压和电流关系是非线性的，不遵循叠加原理。

七. 实验报告要求

1. 根据表 4—1 实验数据一，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。

	I_1	I_2	I_3			
U_{S1} 单独作用	8.6	-2.3	6.2			
U_{S2} 单独作用	-1.3	3.8	2.5			
求和	7.3	1.5	8.7			
U_{S1}, U_{S2} 共同作用	7.3	1.4	8.8			
	U_{AB}	U_{CD}	U_{AD}	U_{DE}	U_{FA}	
U_{S1} 单独作用	2.36	0.77	3.14	4.34	4.40	
U_{S2} 单独作用	-3.83	-1.26	1.31	-0.64	-0.65	
U_{S1}, U_{S2} 共同作用	-1.47	-0.49	4.45	3.68	3.74	
求和	-1.47	-0.49	4.45	3.7	3.75	

通过计算可知，叠加性与齐次性在误差允许范围内成立。

2. 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。

在电阻元件所消耗的功率计算中，不能直接应用叠加原理。这是因为功率是电压和电流的乘积，是一个二次项，叠加原理仅适用于电压和电流等线性量。

3. 根据表 4—1 实验数据一，当 $U_{S1}=U_{S2}=12V$ 时，用叠加原理计算各支路电流和各电阻 W 元件两端电压。

$U_{AB}(V)$	$U_{CD}(V)$	$U_{AD}(V)$	$U_{DE}(V)$	$U_{FA}(V)$	$I_1(mA)$	$I_2(mA)$	$I_3(mA)$
4.93	-1.73	-4.43	3.08	3.10	6.3	4.8	11

4. 根据表 4—2 实验数据二，说明叠加性和齐次性是否适用该实验电路。

U_{S1} 、 U_{S2} 单独作用时相应的各支路电流、电压之和不等于 U_{S1} ， U_{S2} 共同作用时相应的各支路电流、电压之和，所以叠加性和齐次性不适用该实验电路，原因是叠加原理只适用于线性电路，实验二包含了二极管，不属于线性电路。

实验四 电压源、电流源及其电源等效变换

一. 实验目的

1. 掌握建立电源模型的方法。
2. 掌握电源外特性的测试方法。
3. 加深对电压源和电流源特性的理解。
4. 研究电源模型等效变换的条件。

二. 原理说明

1. 电压源和电流源

电压源具有端电压保持恒定不变, 而输出电流的大小由负载决定的特性。其外特性, 即端电压 U 与输出电流 I 的关系 $U = f(I)$ 是一条平行于 I 轴的直线。实验中使用的恒压源在规定的电流范围内, 具有很小的内阻, 可以将它视为一个电压源。

电流源具有输出电流保持恒定不变, 而端电压的大小由负载决定的特性。其外特性, 即输出电流 I 与端电压 U 的关系 $I = f(U)$ 是一条平行于 U 轴的直线。实验中使用的恒流源在规定的电流范围内, 具有极大的内阻, 可以将它视为一个电流源。

2. 实际电压源和实际电流源

实际上任何电源内部都存在电阻, 通常称为内阻。因而, 实际电压源可以用一个内阻 R_S 和电压源 U_S 串联表示, 其端电压 U 随输出电流 I 增大而降低。在实验中, 可以用一个小阻值的电阻与恒压源相串联来模拟一个实际电压源。

实际电流源是用一个内阻 R_S 和电流源 I_S 并联表示, 其输出电流 I 随端电压 U 增大而减小。在实验中, 可以用一个大阻值的电阻与恒流源相并联来模拟一个实际电流源。

3. 实际电压源和实际电流源的等效互换

一个实际的电源, 就其外部特性而言, 既可以看成是一个电压源, 又可以看成是一个电流源。若视为电压源, 则可用一个电压源 U_S 与一个电阻 R_S 相串联表示; 若视为电流源, 则可用一个电流源 I_S 与一个电阻 R_S 相并联来表示。若它们向同样大小的负载供出同样大小的电流和端电压, 则称这两个电源是等效的, 即具有相同的外特性。

实际电压源与实际电流源等效变换的条件为:

(1) 取实际电压源与实际电流源的内阻均为 R_S ;

(2) 已知实际电压源的参数为 U_S 和 R_S , 则实际电流源的参数为 $I_S = \frac{U_S}{R_S}$ 和 R_S ,

若已知实际电流源的参数为 I_S 和 R_S , 则实际电压源的参数为 $U_S = I_S R_S$ 和 R_S 。

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. 恒流源 (0~200mA 可调);
4. EEL-51S 组件、弱电元件箱。

四. 实验内容

1. 测定电压源（恒压源）与实际电压源的外特性

实验电路如图 5-1 所示，图中的电源 U_s 用恒压源 $0 \sim +30V$ 可调电压输出端，并将输出电压调到 $+6V$ ， R_1 取 200Ω 的固定电阻， R_2 取 470Ω 的电位器。调节电位器 R_2 ，令其阻值由大至小变化，将电流表、电压表的读数记入表 5-1 中。

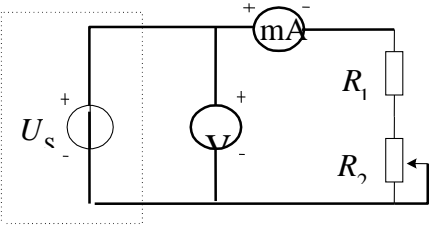


图 5-1

表 5-1 电压源（恒压源）外特性数据

$I(\text{mA})$	5	11	17	23	29		
$U(\text{V})$	6.03	6.02	6.01	6.01	6.00		

在图 5-1 电路中，将电压源改成实际电压源，如图 5-2 所示，图中内阻 R_s 取 51Ω 的固定电阻，调节电位器 R_2 ，令其阻值由大至小变化，将电流表、电压表的读数记入表 5-2 中。

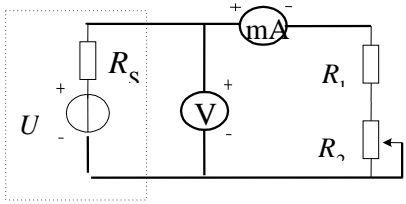


图 5-2

表 5-2 实际电压源外特性数据

$I(\text{mA})$	5	8	11	14	17	20	23
$U(\text{V})$	5.78	5.62	5.46	5.31	5.15	5.00	4.86

2. 测定电流源（恒流源）与实际电流源的外特性

按图 5-3 接线，图中 I_s 为恒流源，调节其输出为 5mA （用毫安表测量）， R_2 取 470Ω 的电位器，在 R_s 分别为 $1\text{k}\Omega$ 和 ∞ 两种情况下，调节电位器 R_2 ，令其阻值由大至小变化，将电流表、电压表的读数记入自拟的数据表格中。

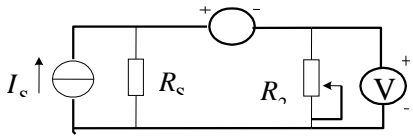


图 5-3

表 5-3 $\infty\Omega$ 数据

$I(\text{mA})$	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
$U(\text{V})$	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0

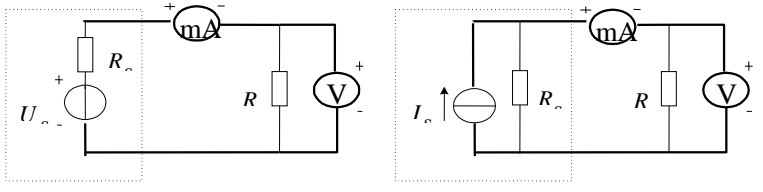
表 5-4 $1\text{k}\Omega$ 数据

$I(\text{mA})$	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	2.5
$U(\text{V})$	2.49	1.99	1.49	0.94	0.47	0	2.49

3. 研究电源等效变换的条件

按图 5-4 电路接线，其中(a)、(b)图中的内阻 R_s 均为 51Ω ，负载电阻 R 均为 200Ω 。

在图 5-4 (a) 电路中， U_s 用恒压源 $0 \sim +30V$ 可调电压输出端，并将输出电压调到 $+6V$ ，记录电流表、电压表的读数。然后调节图 5-4 (b) 电路中恒流源 I_s ，令两表的读数与图 5-4(a) 的数值相等，记录 I_s 之值，验证等效变换条件的



(a)

(b)

图 5-4

正确性。

$$I=24\text{mA}, U=4.7\text{V}$$

五. 实验注意事项

1. 在测电压源外特性时，不要忘记测空载（ $I=0$ ）时的电压值；测电流源外特性时，不要忘记测短路（ $U=0$ ）时的电流值，注意恒流源负载电压不可超过 20V，负载更不可开路。
2. 换接线路时，必须关闭电源开关。
3. 直流仪表的接入应注意极性与量程。

六. 预习与思考题

1. 电压源的输出端为什么不允许短路？电流源的输出端为什么不允许开路？

电压源的输出端不允许短路：

如果输出端短路，意味着电压源两端的电压变为零。短路会导致电流趋向于无限大。这可能超过电压源的额定输出能力，导致过热、损坏或触发保护机制。

电流源的输出端不允许开路：

如果输出端开路，意味着电流为零。开路会导致电流源内部产生极高的电压，趋向于无限大。这可能超过电流源的额定输出能力，导致过热、损坏或触发保护机制。

2. 说明电压源和电流源的特性，其输出是否在任何负载下能保持恒值？

只要在其额定范围内，电压源维持其输出电压恒定，不论负载电阻如何变化。

只要在其额定范围内，电流源维持其输出电流恒定，不论负载电阻如何变化。

在理想情况下，电压源和电流源的输出在任何负载下都能保持恒值。但实际情况中，由于内部电阻和其他非理想因素的存在，输出不能在任何负载下保持恒值。

3. 实际电压源与实际电流源的外特性为什么呈下降变化趋势，下降的快慢受哪个参数影响？

实际电压源的外特性：电压随负载电流的增加而下降。下降快慢受内部电阻 R_s 和负载影响。

实际电流源的外特性：电流随负载电压的增加而下降。下降快慢受内部电导 G_s 和负载影响。。

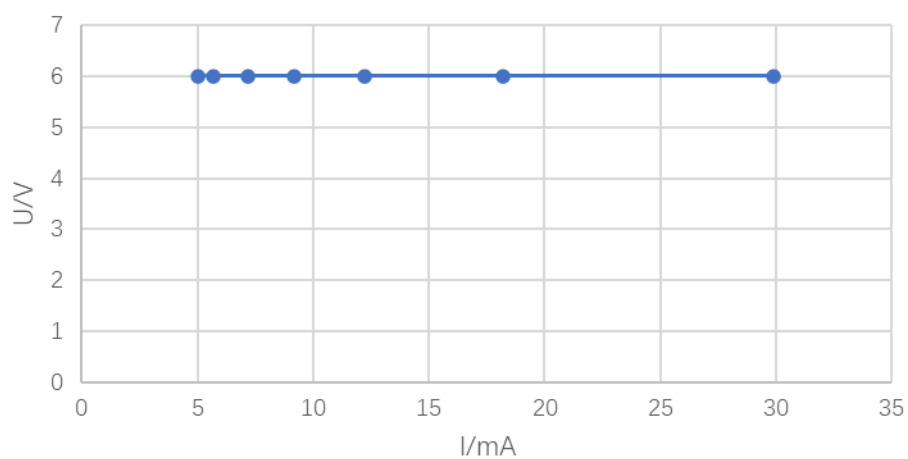
4. 实际电压源与实际电流源等效变换的条件是什么？所谓‘等效’是对谁而言？电压源与电流源能否等效变换？

当它们的外部电特性（电压-电流特性）一致时，实际电压源和实际电流源可以相互等效变换。等效是对外部负载而言。无论使用电压源还是电流源，负载上的电流和电压关系保持一致。一个实际电压源和内部电阻可以变换为一个等效的电流源和并联电阻。

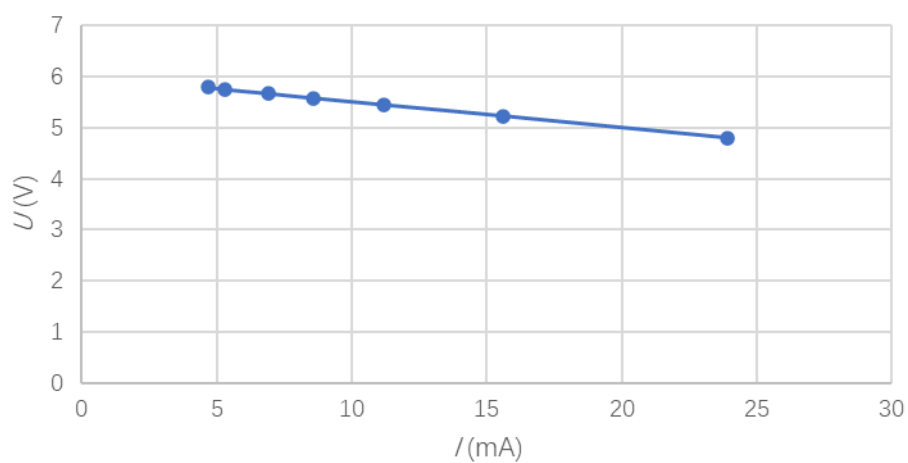
七. 实验报告要求

1. 根据实验数据绘出电源的四条外特性，并总结、归纳两类电源的特性。

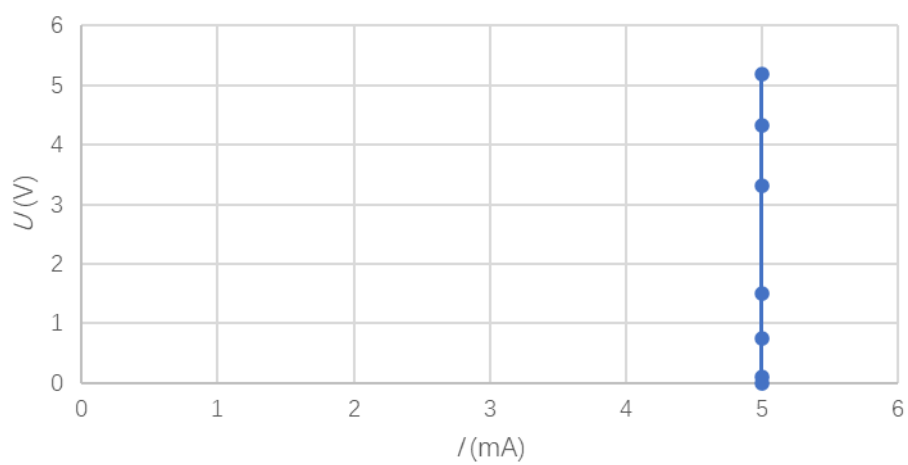
电压源（恒压源）外特性

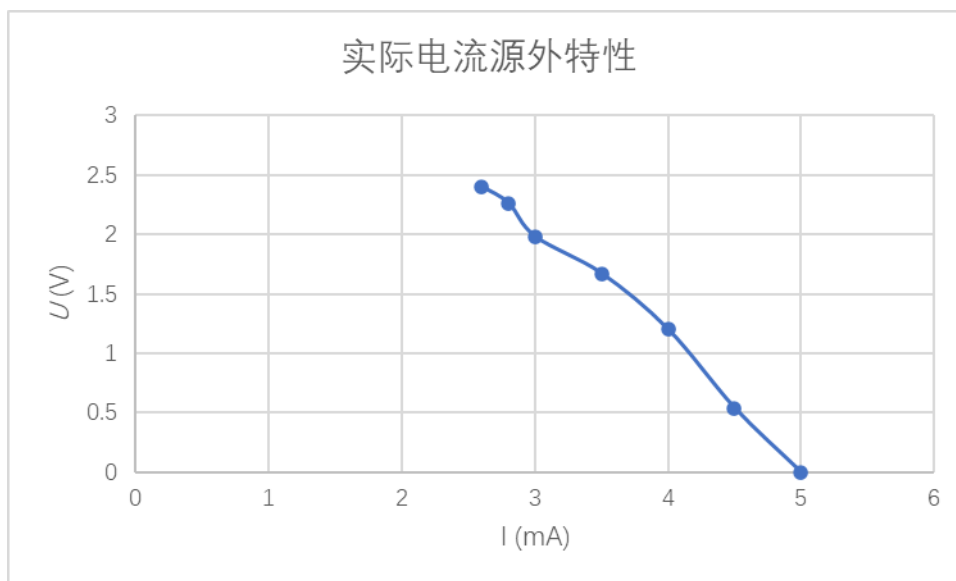


实际电压源外特性



电流源（恒流源）外特性





无论外部负载如何变化，理想恒流源都能提供一个绝对恒定的电流输出。无论外部负载如何变化，理想恒压源都能提供一个绝对恒定的电压输出。

实际恒流源由于实际组件的限制，其输出电流会有一些波动范围，并且存在最大电流限制，不能无限地提供电流。实际恒压源在重负载或电源内阻影响下，输出电压会有所下降，也有最小和最大负载限制。

2. 从实验结果，验证电源等效变换的条件。

$$I_s = I + U/R_s$$

在误差允许范围内，与实验结果一致，等效变换的条件成立。

3. 回答思考题。

见上文。

实验五 戴维南定理和诺顿定理的验证

一. 实验目的

1. 验证戴维南定理、诺顿定理的正确性, 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. 实验原理

1. 戴维南定理和诺顿定理

戴维南定理指出: 任何一个有源二端网络如图 6-1 (a), 总可以用一个电压源 U_S 和一个电阻 R_S 串联组成的实际电压源来代替如图 6-1 (b), 其中: 电压源 U_S 等于这个有源二端网络的开路电压 U_{OC} , 内阻 R_S 等于该网络中所有独立电源均置零(电压源短接, 电流源开路)后的等效电阻 R_O 。

诺顿定理指出: 任何一个有源二端网络如图 6-1 (a), 总可以用一个电流源 I_S 和一个电阻 R_S 并联组成的实际电流源来代替如图 6-1 (c), 其中: 电流源 I_S 等于这个有源二端网络的短路电流 I_{SC} , 内阻 R_S 等于该网络中所有独立电源均置零(电压源短接, 电流源开路)后的等效电阻 R_O 。

U_S 、 R_S 和 I_S 、 R_S 称为有源二端网络的等效参数。

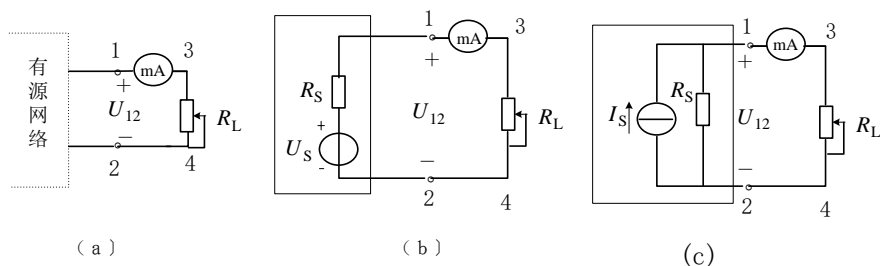


图 6-1

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, 测其短路电流 I_{SC} , 且内阻为: $R_S = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$ 。

若有源二端网络的内阻值很低时, 则不宜测其短路电流。

(2) 伏安法

一种方法是用电压表、电流表测出有源二端网络的外特性曲线, 如图 6-2 所示。开路电压为 U_{OC} , 根据外特性曲线求出斜率 $\tan\phi$, 则内阻为:

$$R_S = \tan\phi = \frac{\Delta U}{\Delta I}。$$

另一种方法是测量有源二端网络的开路电压 U_{OC} , 以及额定电流 I_N 和对应的输出端额定电压 U_N , 如图 6

-1 所示, 则内阻为: $R_S = \frac{U_{OC} - U_N}{I_N}$ 。

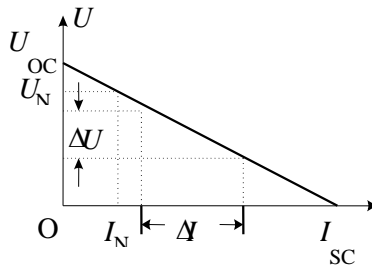


图 6-2

(3)半电压法

如图 6-3 所示,当负载电压为被测网络开路电压 U_{OC} 一半时,负载电阻 R_L 的大小(由电阻箱的读数确定)即为被测有源二端网络的等效内阻 R_s 数值。

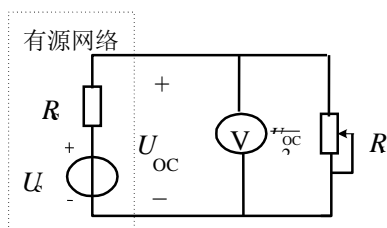


图 6-3

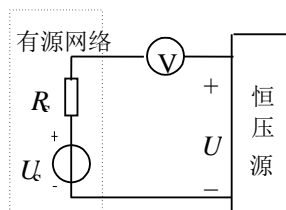


图 6-4

(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 6-4 所示。零示法测量原理是用一低内阻的恒压源与被测有源二端网络进行比较,当恒压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,测量此时恒压源的输出电压 U ,即为被测有源二端网络的开路电压。

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. 恒源流(0~200mA 可调);
4. 弱电元件箱;
5. EEL-51S 组件。

四. 实验内容

被测有源二端网络如图 6-5 所示。

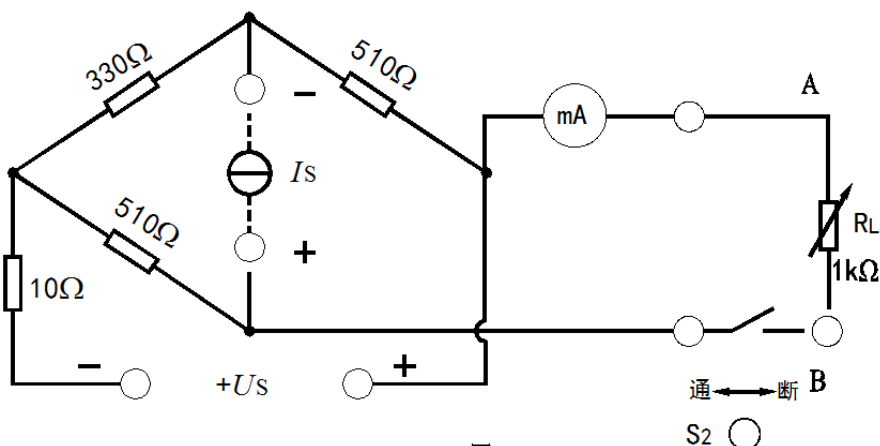


图6-5

1. 在图 6-5 所示线路接入恒压源 $U_s=12V$ 和恒流源 $I_s=20mA$ 及可变电阻 R_L 。

测开路电压 U_{OC} : 在图 6-5 电路中,断开负载 R_L ,用电压表测量开路电压 U_{OC} ,将数据记入表 6-1 中。

测短路电流 I_{sc} ：在图 6—5 电路中，将负载 R_L 短路，用电流表测量短路电流 I_{sc} ，将数据记入表 6—1 中。

表 6-1

Uoc(V)	Isc(mA)	Rs=Uoc/Isc
-1.83	-3.5	522

2. 负载实验

测量有源二端网络的外特性：在图 6—5 电路中，改变负载电阻 R_L 的阻值，逐点测量对应的电压、电流，将数据记入表 6—6 中。并计算有源二端网络的等效参数 U_s 和 R_s 。

表 6-2

$R_L(\Omega)$	a	b	c	d	e	f	g
U(V)	0	-0.22	-0.56	-0.79	-0.94	-1.08	-1.2
I(mA)	-3.6	-3.1	-2.5	-2.0	-1.7	-1.4	-1.2

3. 验证戴维南定理

测量有源二端网络等效电压源的外特性：图 6—1(b) 电路是图 6—5 的等效电压源电路，图中，电压源 U_s 用恒压源的可调稳压输出端，调整到表 6—1 中的 U_{oc} 数值，内阻 R_s 按表 6—1 中计算出来的 R_s （取整）选取固定电阻。然后，用电阻箱改变负载电阻 R_L 的阻值，逐点测量对应的电压、电流，将数据记入表 6—3 中。

表 6-3 有源二端网络等效电压源的外特性数据

$R_L(\Omega)$	a	b	c	d	e	f	g
U(V)	0	-0.24	-0.57	-0.79	-0.94	-1.05	-1.2
I(mA)	-3.5	-3.0	-2.4	-2.0	-1.7	-1.5	-1.2

测量有源二端网络等效电流源的外特性：恒流源调整到表 6—1 中的 I_{sc} 数值，内阻 R_s 按表 6—1 中计算出来的 R_s （取整）选取固定电阻。然后，用电阻箱改变负载电阻 R_L 的阻值，逐点测量对应的电压、电流，将数据记入表 6—4 中。

表 6—4 有源二端网络等效电流源的外特性数据

$R_L(\Omega)$	a	b	c	d	e	f	g
$U_{AB}(V)$	0	-0.22	-0.57	-0.8	-0.94	-1.07	-1.2
$I(mA)$	-3.5	-3.1	-2.4	-1.9	-1.7	-1.4	-1.2

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(将电流源 I_s 去掉，也去掉电压源，并在原电压端所接的两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 开路后 A、B 两点间的电阻，此即为被测网络的等效内阻 R_{eq} 或称网络的入端电阻 R_1 。

$R_{eq}=522(\Omega)$

5. 用半电压法和零示法测量被测网络的等效内阻 R_o 及其开路电压 U_{oc} 。

6. 用半电压法和零示法测量有源二端网络的等效参数

半电压法：在图 6—5 电路中，首先断开负载电阻 R_L ，测量有源二端网络的开路电压 U_{oc} ，然后接入负载电阻 R_L ，调节 R_L 直到两端电压等于 $U_{oc}/2$ 为止，此时负载电阻 R_L 的大小即为等效电源的内阻 R_s 的数值。记录 U_{oc} 和 R_s 数值。

零示法测开路电压 U_{oc} ：实验电路如图 6—4 所示，其中：有源二端网络选用网络 1，恒压源用 0~30V 可调输出端，调整输出电压 U ，观察电压表数值，当其等于零时输出电压 U 的数值即为有源二端网络的开路电压 U_{oc} ，并记录 U_{oc} 数值。

五. 实验注意事项

1. 测量时，注意电流表量程的更换。
2. 改接线路时，要关掉电源。

六. 预习与思考题

1. 如何测量有源二端网络的开路电压和短路电流，在什么情况下不能直接测量开路电压和短路电流？

测量开路电压：

确保二端网络没有连接任何负载，将万用表设置为电压测量模式，并将其两端连接到网络的输出端子，

直接读取万用表上的电压值，即为开路电压。

测量短路电流：

将网络的输出端子短接，将万用表设置为电流测量模式，并串联在短路路径中，直接读取万用表上的电流值，即为短路电流。

不能直接测量开路电压和短路电流的情况：

开路电压较高时，直接测量可能会危及测量人员安全或损坏仪器。短路电流较大时，直接短路可能会造成设备损坏或安全隐患。有受控源时，不能直接撤去电源进行测量。

2. 说明测量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。

1. 开路电压、短路电流法：测量在电路开路时两端的电压 V_{oc} 。将电路两端短接，并测量流过的短路电流 I_{sc} 。等效内阻 $R_{in}=V_{oc}/I_{sc}$

优点：简单直接，计算方便。适用于线性电路和非线性电路。

缺点：短路电流测量时可能损坏电路，尤其是对大电流敏感的元件。短路操作有一定的危险性，需小心操作。

2. 伏安法：选择多个不同的已知负载电阻 RL ，并测量每个负载下的电压和电流。通过线性回归方法，从不同负载下的电压电流值来推算开路电压和内阻。绘制 V 对 I 的图线，线的斜率即为等效内阻 R_{in} ，截距为开路电压 V_{oc} 。

优点：不需要短路电路，避免损坏。数据点多，结果更准确。

缺点：需要多次测量，比较繁琐。对负载电阻范围要求高，需要多个精确电阻。

3. 半电压法：连接一个可变电阻，调节直到输出电压降为开路电压的一半。此时的负载电阻 RL 就等于等效内阻 R_{in} 。

优点：简单直观。只需一次测量。

缺点：需精确调整可变电阻，使电压正好减半。对精度要求较高。

4. 零示法：通过不同负载测量电压和电流，绘制 V 对 I 的图。调整负载，使得输出电压为零时的负载电阻即为等效内阻。

优点：可避免直接短路电路。适用于复杂电路。

缺点：调整负载使电压为零需要较高精度。操作相对复杂。

七. 实验报告要求

1. 回答思考题。
2. 根据表 6—1 和表 6—2 的数据，计算有源二端网络的等效参数 U_S 和 R_S 。
 $R=522\ \Omega$ ， $U=1.83V$
 $R=500\ \Omega$ ， $U=1.80V$
3. 根据半电压法和零示法测量的数据，计算有源二端网络的等效参数 U_S 和 R_S 。

$R=528\ \Omega$, $U=2.08V$

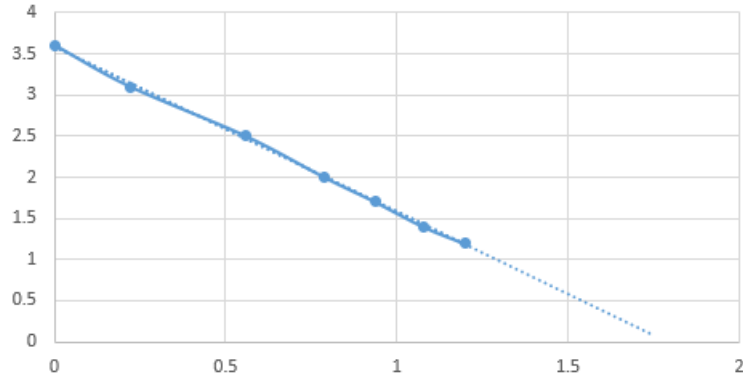
$R=510\ \Omega$, $U=1.85V$

4. 实验中用各种方法测得的 U_{oc} 和 R_s 是否相等？试分析其原因。

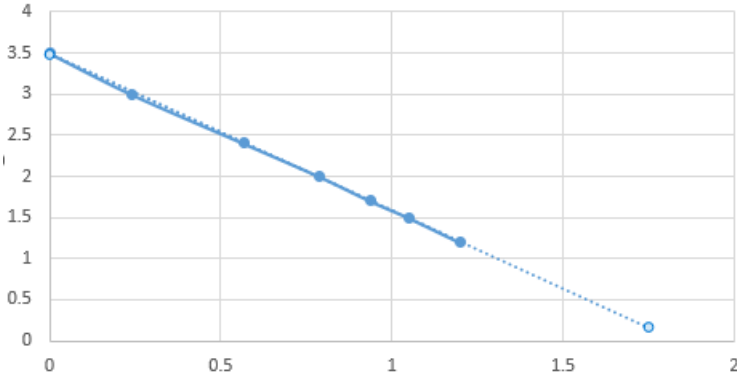
理论相等，因为电路结构不变。但实际不一定相等，不同仪器的精度可能不同，导致测量结果有偏差。读数时的主观误差或仪表读数不精确可能影响结果。接触不良可能导致电阻和电压测量值偏差。伏安法由于多次测量，累积误差可能较大。半电压法要求负载电阻精确调节到开路电压的一半，调节过程中的细小误差会影响结果。零示法调整负载使输出电压为零的过程复杂，容易产生人为误差。电路等效内阻的模型是对实际复杂电路的简化，简化过程中忽略的一些因素可能在实际测量中显现出来。

5. 根据表 6—2、表 6—3 和表 6—4 的数据，绘出有源二端网络和有源二端网络等效电路的外特性曲线，验证戴维南定理和诺顿定理的正确性。

原电路



等效



6. 说明戴维南定理和诺顿定理的应用场合。

戴维南定理常用于交流电路分析，而诺顿定理通常用于直流电路分析。

戴维南定理适用于需要分析单一负载对电路影响的场合，可以帮助确定最佳的负载阻抗，以实现最大功率传输。

诺顿定理对于需要分析并联负载影响的电路，诺顿定理可以提供简化的电流分析方法，适用于需要分析电路中各分支电流的情况。

这两种可以互相转换。如果电路中主要关心电压分布和串联关系，戴维南定理更为适合；如果关心电流分布和并联关系，诺顿定理更为适合。

实验六 典型周期性电信号的观察和测量

一. 实验目的

1. 加深理解周期性信号的有效值和平均值的概念，学会计算方法；
2. 了解几种周期性信号（正弦波、矩形波、三角波）的有效值、平均值和幅值的关系；
3. 掌握信号源的使用方法。

二. 原理说明

正弦波、矩形波、三角波都属于周期性信号，它们的电压波形如图 9-1 (a)、(b)、(c) 所示，图中各波形的幅值为 U_m ，周期为 T 。用有效值表示周期性信号的大小（作功能力），平均值表示周期性信号在一个周期里平均起来的大小，本实验是取波形绝对值的平均值，它们都与幅值有一定关系。

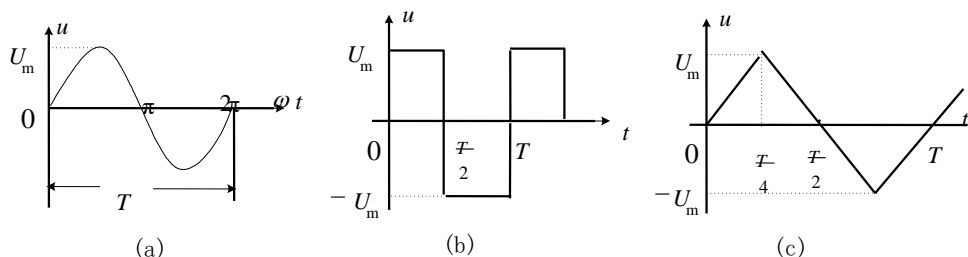


图 11-1

1. 正弦波电压有效值、平均值的计算

如图 11-1 (a) 所示，设正弦波电压 $u = U_m \sin \omega t$ ，

$$\text{有效值: } U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m$$

正弦波电压的平均值为零，若按正弦波电压绝对值（即全波整流波形）计算，

$$\text{平均值: } U_V = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} u dt = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} U_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{4U_m}{T} = \frac{2U_m}{\pi} = 0.636 U_m$$

2. 矩形波电压有效值、平均值的计算

如图 11-1 (b) 所示，有效值等于电压的‘方均根’，由于电压波形对称，只计算半个周期即可，

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_m^2 dt} = \sqrt{\frac{U_m^2}{T} \times t \Big|_0^{T/2}} = U_m$$

取波形绝对值的平均值，同样，只计算半个周期即可，

$$U_V = \frac{U_m \times \frac{T}{2}}{\frac{T}{2}} = U_m$$

3. 三角波电压有效值、平均值的计算

如图 11-1 (a) 所示, 由于波形对称, 在四分之一一个周期里, $u = \frac{4U_m}{T} \times t$, 则有效值:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/4} u^2 dt} = \sqrt{\frac{4}{T} \int_0^{T/4} \frac{4^2 U_m^2}{T^2} \times t^2 dt} = \sqrt{\frac{4^3 U_m^2}{T^3} \int_0^{T/4} t^2 dt} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} = 0.577 U_m$$

取波形绝对值的平均值, 同样, 只计算四分之一一个周期即可,

$$U_V = \frac{(U_m \times \frac{T}{4})/2}{\frac{T}{4}} = \frac{U_m}{2} = 0.5 U_m$$

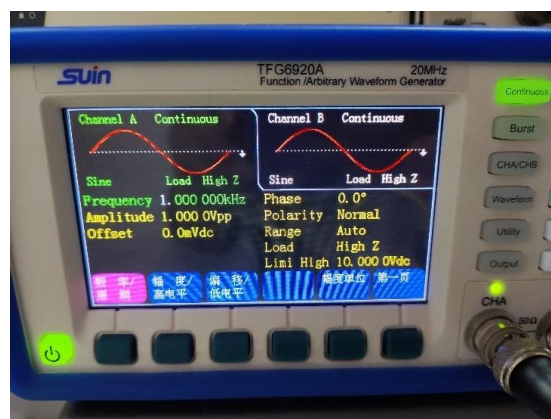
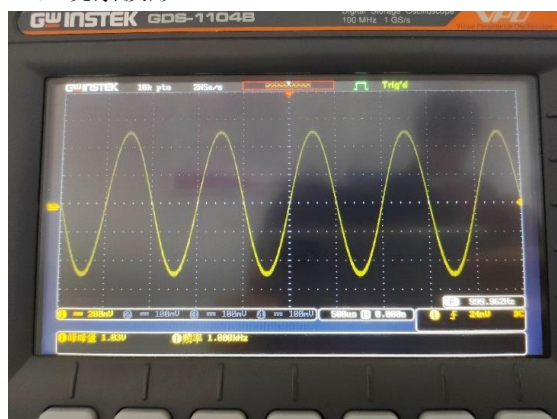
三. 实验设备

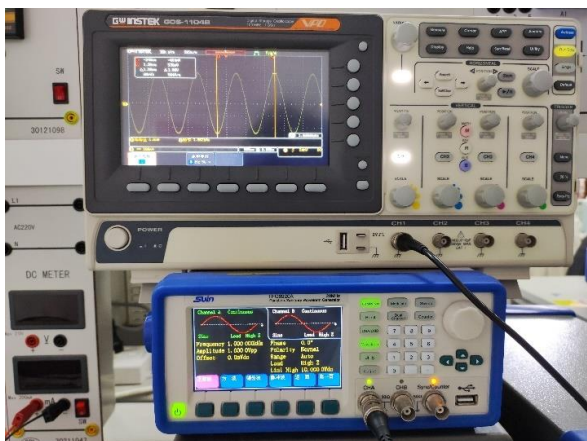
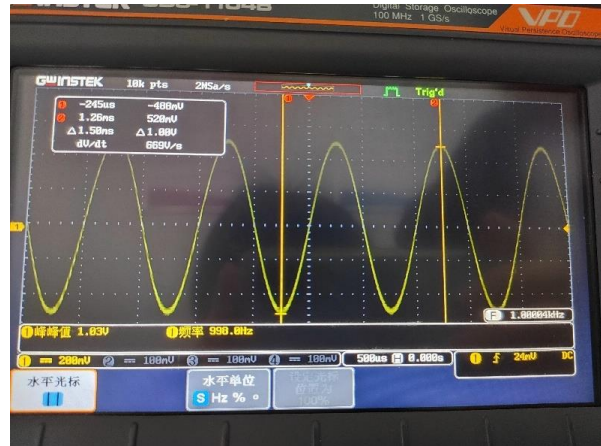
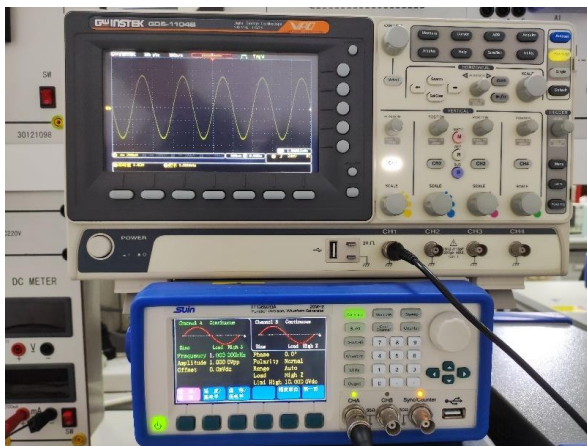
1. 示波器 (自备);
2. 信号源。

四. 实验内容

1. 观测正弦波的波形和幅值

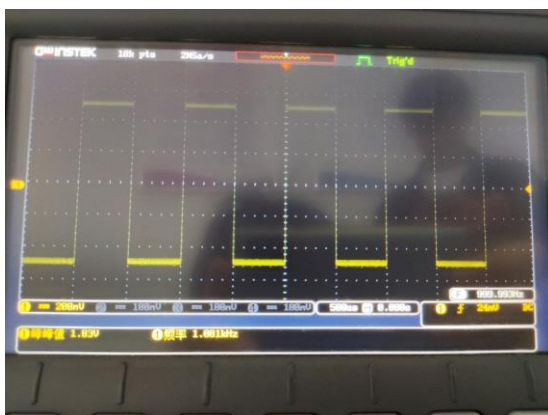
- a. 将信号源的‘波形选择’开关置正弦波信号位置上;
- b. 将信号源的信号输出端与示波器连接;
- d. 接通信号源电源, 调节信号源的频率旋钮 (包括‘频段选择’开关、频率粗调和频率细调旋钮), 使输出信号的频率为 1 kHz (由频率计读出), 调节输出信号的‘幅值调节’旋钮, 使信号源输出‘幅值’为 1 V, 观察波形。

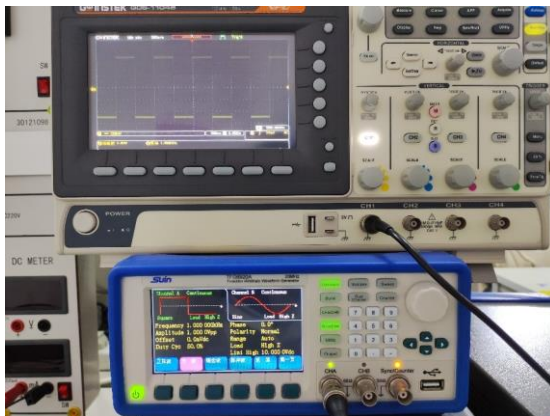




2. 观测矩形波的波形和幅值

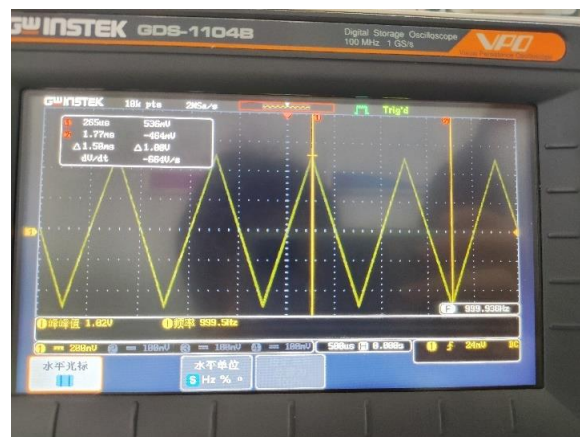
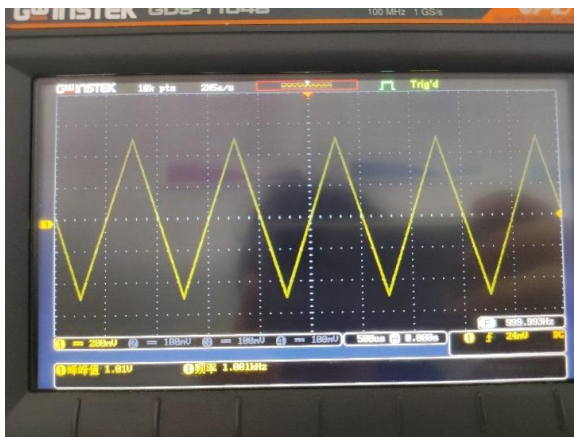
将信号源的‘波形选择’开关置方波信号位置上，重复上述步骤。

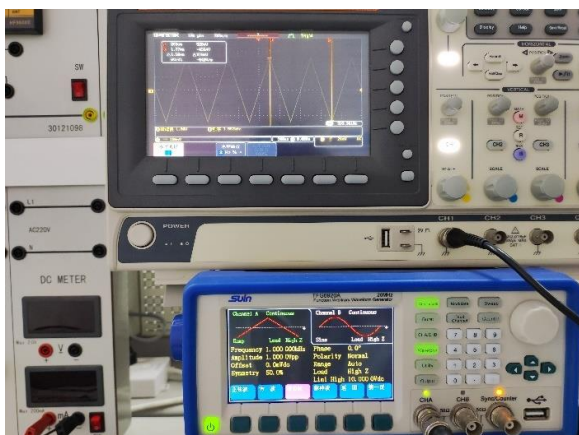




3. 观测三角波的波形和幅值

将信号源的‘波形选择’开关置锯齿波信号位置上，重复上述步骤。





五. 预习与思考题

1. 了解周期性信号有效值、平均值和幅值的概念。

有效值：代表信号的能量，考虑了信号的功率特性，对于不同形状的信号，有效值反映了其等效直流电流的热效应。

平均值：代表信号在一个周期内的平均水平，平均值提供了信号的直流偏移量的信息。

幅值：代表信号的最大瞬时值，用于描述信号的强度。幅值是信号的峰值或最大振幅，直接反映了信号的瞬时最大值。

2. 若正弦波、矩形波、三角波的幅值均为 1V，试计算它们的有效值和平均值（正弦波的平均值按全波整流波形计算）。

正弦波：有效值 $rms=0.707\text{ V}$ ；平均值 $avg=2/\pi\text{ V}$

矩形波：有效值 $rms=1\text{ V}$ ；平均值 $avg=1$

三角波：有效值 $rms=1/\sqrt{3}\text{ V}$ ；平均值 $avg=1/2\text{ V}$

六. 实验报告要求

1. 回答思考题。
2. 整理实验数据，并与计算值（思考题 3）相比较。
与计算值较为吻合。
3. 试计算图 11—2 所示波形（方波）的有效值和平均值。

有效值 $0.707U_m$ ；平均值 $0.5U_m$

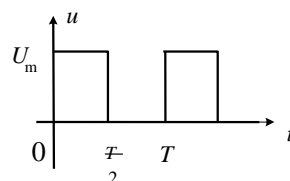


图 11—2

实验七 RC 串、并联选频网络特性的测试

一. 实验目的

1. 研究 RC 串、并联电路及 RC 双 T 电路的频率特性。
2. 学会用示波器测定 RC 网络的幅频特性和相频特性。
3. 熟悉文氏电桥电路的结构特点及选频特性。

二. 原理说明

图 15-1 所示 RC 串、并联电路的频率特性：

$$N(j\omega) = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})}$$

其中幅频特性为：

$$A(\omega) = \frac{U_o}{U_i} = \frac{1}{\sqrt{3^2 + (\omega RC - \frac{1}{\omega RC})^2}}$$

$$\text{相频特性为: } \varphi(\omega) = \varphi_o - \varphi_i = -\arctg \frac{\omega RC - \frac{1}{\omega RC}}{3}$$

幅频特性和相频特性曲线如图 15-2 所示，幅频特性呈带通特性。

$$\text{当角频率 } \omega = \frac{1}{RC} \text{ 时, } A(\omega) = \frac{1}{3}, \varphi(\omega) = 0^\circ,$$

u_o 与 u_i 同相，即电路发生谐振，谐振频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ 。也

就是说，当信号频率为 f_0 时， RC 串、并联电路的输出电压 u_o 与输入电压 u_i 同相，其大小是输入电压的三分之一，这一特性称为 RC 串、并联电路的选频特性，该电路又称为文氏电桥。

测量频率特性用‘逐点描绘法’，图 15-3 为用双踪示波器测量 RC 网络频率特性的测试图。

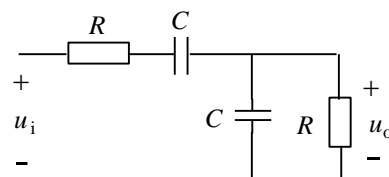


图 15-1

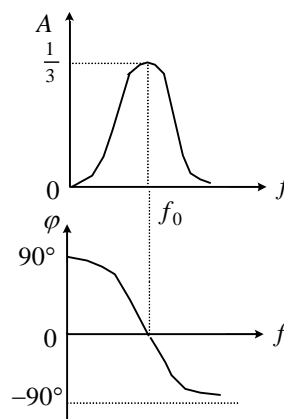


图15-2

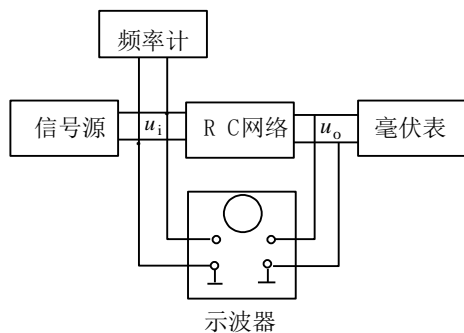


图 15-3

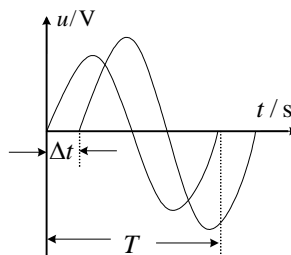


图 15-4

测量幅频特性：保持信号源输出电压（即 RC 网络输入电压） U_i 恒定，改变频率 f ，并测量对应的 RC 网络输出电压 U_o ，计算出它们的比值 $A=U_o/U_i$ ，然后逐点描绘出幅频特性；

测量相频特性：保持信号源输出电压（即 RC 网络输入电压） U_i 恒定，改变频率 f ，用双踪示波器观察 u_o 与 u_i 波形，如图 15-4 所示，若两个波形的延时为 Δt ，周期为 T ，则它们的相位差 $\varphi = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ$ ，然后逐点描绘出相频特性。

用同样方法可以测量 RC 双 T 电路的幅频特性， RC 双 T 电路见图 15-5，其幅频特性具有带阻特性，如图 15-6 所示。

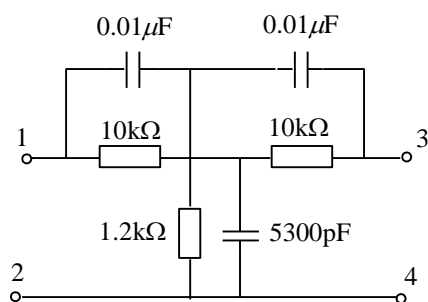


图 15-5

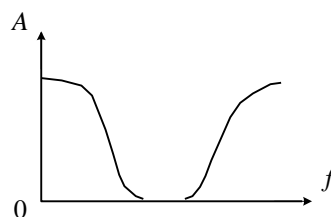


图 15-6

三. 实验设备

1. 信号源（自备）；
2. EEL-51S 组件、弱电元件箱；
3. 双踪示波器(自备)。

四. 实验内容

1. 测量 RC 串、并联电路的幅频特性

实验电路如图 15-3 所示，其中， RC 网络的参数选择为： $R=200\Omega$ ， $C=2.2\mu F$ （在 NEEL-003 组件上），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 $U_i=2V$ 。

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，测量输出电压 U_o ，

（可先测量 $A = \frac{1}{3}$ 时的频率 f_0 ，然后再在 f_0 左右选几个频率点，测量 U_o ），将数据记入表 15-1 中。

在图 15-3 的 RC 网络中，选取另一组参数： $R=2k\Omega$ ， $C=0.1\mu F$ ，重复上述测量，将数据记入表 15-1 中。

表 15-1 幅频特性数据

$R=2k\Omega$, $C=0.1\mu F$	$f(\text{Hz})$	50	100	300	500	1000	1500	2000	3000
	$U_o(\text{V})$	0.14	0.26	0.47	0.63	0.62	0.54	0.53	0.46
$R=200\Omega$ $C=2.2\mu F$	$f(\text{Hz})$	50	100	200	350	450	550	750	1000
	$U_o(\text{V})$	0.150	0.272	0.312	0.322	0.352	0.325	0.291	0.287

2. 测量 RC 串、并联电路的相频特性

实验电路如图 15—3 所示，按实验原理中测量相频特性的说明，实验步骤同实验 1，将实验数据记入表 15—2 中。

表 15—2 相频特性数据

$R=200\Omega$, $C=2.2\mu F$	$f(\text{Hz})$	50	150	250	350	450	550	600	750	1050
	$T(\text{ms})$	20	6.700	3.975	2.850	2.231	1.800	1.670	1.330	0.955
	$\Delta t(\text{ms})$	4	0.638	0.168	0	-0.049	-0.095	-0.103	-0.110	-0.120
	φ	72	34.40	15.20	0	-7.82	-16	-24.50	-27.77	-41.24
$R=2K\Omega$ $R=1K\Omega$ $C=0.1\mu F$	$f(\text{Hz})$	120	500	600	700	800	900	1200	1500	2000
	$T(\text{ms})$	8.42	1.90	1.58	1.40	1.22	1.09	0.83	0.66	0.49
	$\Delta t(\text{ms})$	1.570	0.110	0.063	0.010	-0.008	-0.026	-0.041	-0.050	-0.057
	φ	67.12	20.84	14.35	2.57	-2.36	-8.59	-17.78	-27.36	-41.88

五. 实验注意事项

由于信号源内阻的影响，注意在调节输出电压频率时，应同时调节输出电压大小，使实验电路的输入电压保持不变。

六. 预习与思考题

1. 根据电路参数，估算 RC 串、并联电路两组参数时的谐振频率。

$R=2k\Omega$, $C=0.1\mu F$, f 为 795.77Hz

$R=200\Omega$, $C=2.2\mu F$, f 为 361.72Hz

2. 推导 RC 串、并联电路的幅频、相频特性的数学表达式。

$$\text{幅频特性: } A(\omega) = \frac{U_o}{U_i} = \frac{1}{\sqrt{3^2 + (\omega RC - \frac{1}{\omega RC})^2}}$$

$$\text{相频特性: } \varphi(\omega) = \varphi_o - \varphi_i = -\arctg \frac{\omega RC - \frac{1}{\omega RC}}{3}$$

3. 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？

当角频率 $\omega = \frac{1}{RC}$ 时， $A(\omega) = \frac{1}{3}$ ， $\varphi(\omega) = 0^\circ$ ， u_o 与 u_i 同相，即电路发生谐振，谐振频率

$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ 。也就是说，当信号频率为 f_0 时， RC 串、并联电路的输出电压 u_o 与输入电压 u_i 同相，其大小是输入电压的三分之一，这一特性称为 RC 串、并联电路的选频特性。

4. 试定性分析 RC 双 T 电路的幅频特性。

当 f 较小时，输出值较大；随着 f 增大，电路输出先减小，在 ω_0 附近有较大的衰减，直至变为 0；此后随着 f 增大，电路输出增大，最终持续保持在一个较大值。

七. 实验报告要求

1. 根据表 15—1 和表 15—2 实验数据，绘制 RC 串、并联电路的两组幅频特性和相频特性曲

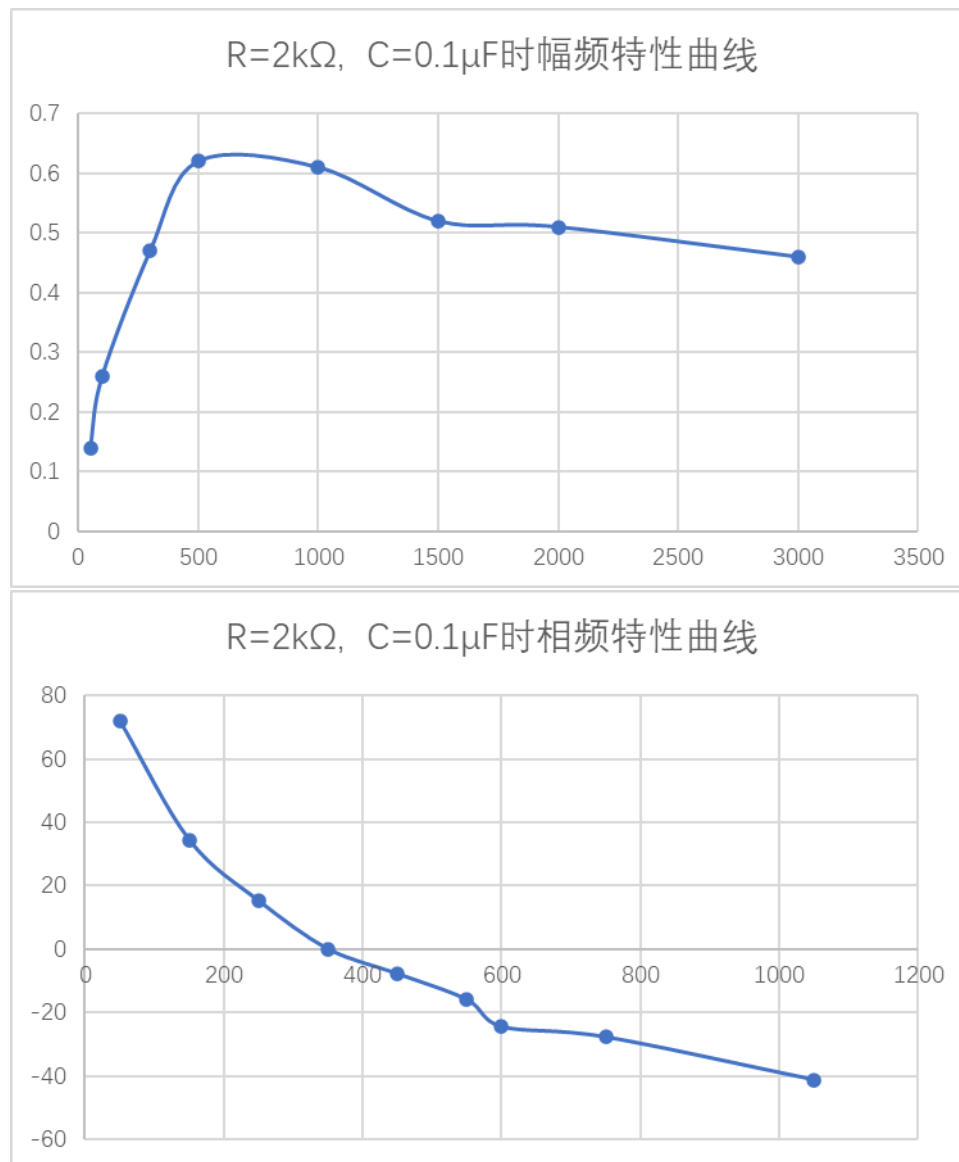
线，找出谐振频率和幅频特性的最大值，并与理论计算值比较。

在误差允许范围内，实验结果与理论值接近。

2. 设计一个谐振频率为 1 k Hz 文氏电桥电路，说明它的选频特性。

文氏电桥的谐振频率 f 的计算公式为： $f=1/2\pi RC$ ，选择合适的电阻 R 和电容 C 的值。文氏电桥电路的选频特性决定于其频率响应，具体表现为以下几点：文氏电桥电路在 1 kHz 时具有最大的输出，因为在此频率下，反馈网络的相移为零且幅度为最大。具有相对较窄的带宽，在谐振频率附近具有较高的选择性。带宽取决于电阻和电容的值以及电路的 Q 值。在谐振频率处，输出信号的幅度达到最大，而在远离谐振频率的地方，输出信号会显著衰减。

3. 根据实验 3 的实验数据，绘制 RC 双 T 电路的幅频特性，并说明幅频特性的特点。



RC 双 T 电路的幅频特性通常表现为一个带阻滤波器，在某一特定频率上具有很高的衰减，几乎完全抑制该频率的信号通过。该频率称为谐振频率。在频率低于或高于谐振频率时， RC 双 T 电路的增益接近 1（即几乎没有衰减），在谐振频率处的增益急剧下降到非常小的值，甚至趋近于 0。

实验八 正弦稳态交流电路相量的研究

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. 掌握 RC 串联电路的相量轨迹及其作移相器的应用。
3. 掌握日光灯线路的接线。
4. 理解改善电路功率因数的意义并掌握其方法。

二. 原理说明

1. 在单相正弦交流电路中, 用交流电流表测得各支中的电流值, 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

$$\sum i = 0$$

和

$$\sum \dot{U} = 0$$

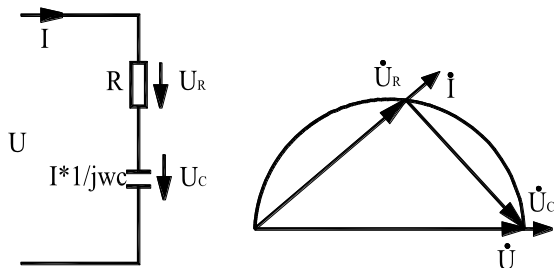


图20-1

2. 如图 10—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, 即当阻值 R 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。R 值改变时, 可改变 φ 角的大小, 从而达到移相的目的。

3. 日光灯线路如图 10—4 所示, 图中 A 是日光灯管, L 是镇流器, S 是启辉器, C 是补偿电容器, 用以改善电路的功率因数 ($\cos\varphi$ 值)。有关日光灯的工作原理请自行翻阅有关资料。

三. 实验设备

1. 交流电压、电流、功率、功率因数表;
2. 调压器;
3. 30W 镇流器, 400V / 4.7μF 电容器, 电流插头, 25W/220V 白炽灯。

四. 实验内容

1. 用一个 220V, 25W 的白炽灯泡和电容组成如图 10—2 所示的实验电路, 按下闭合按钮开关调节调压器至 220V, 验证电压三角形关系。

2. 日光灯线路接线与测量

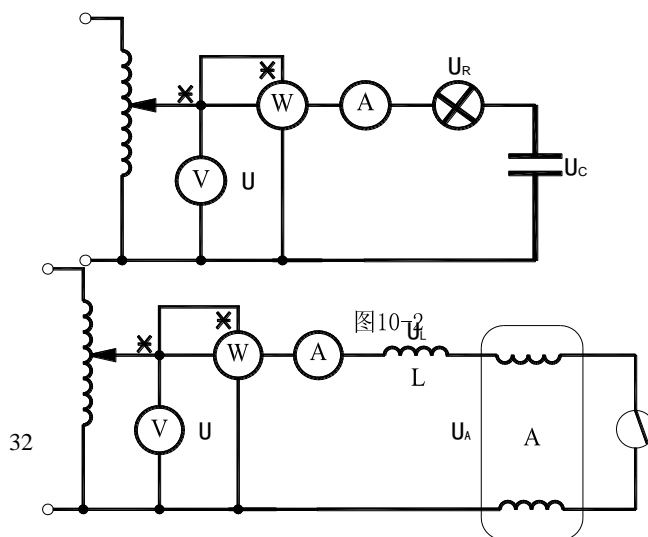


图10-3

按图 10—3 组成线路，经指导教师检查后按下闭合按钮开关，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至，记下三表的指示值。然后将电压调至 220 V，测量功率 P ，电流 I ，电压 U, U_L, U_A 等值，验证电压、电流相量关系。

	测 量 数 值					计算值	
	P(W)	I(A)	U(V)	U_L (V)	U_A (V)	$\cos\phi$	$R(\Omega)$
启辉值	24.2	0.248	220	192.7	65.7	0.438	727

3. 并联电路——电路功率因数的改善

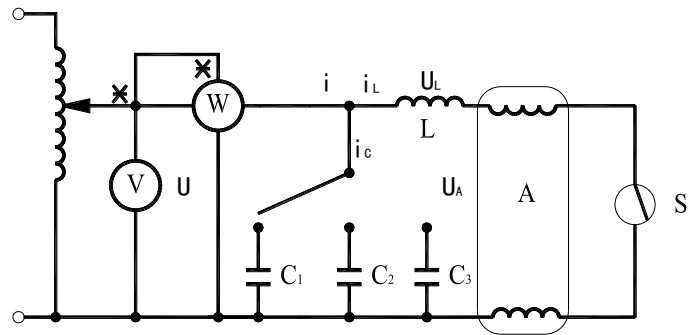


图10-4

按图 10—4 组成实验线路经指导老师检查后，按下绿色按钮开关调节自耦调压器的输出调至 220 V，记录功率表，电压表读数，通过一只电流表和三个电流取样插座分别测得三条支路的电流，改变电容值，进行三次重复测量。

电容值	测 量 数 值								计算值
(μF)	P(W)	U(V)	U_C (V)	U_L (V)	U_A (V)	I(mA)	I_C (mA)	I_L (mA)	$\cos\phi$
1	23.5	220	220	193.7	66.1	125	263	249	0.946
2	23.4	220	220	193.0	66.1	139	142	142	0.809
3.7	23.6	220	220	192.8	66.2	187	71	71	0.588

五. 实验注意事项

1. 功率表要正确接入电路，读数时要注意量程和实际读数的折算关系。
2. 线路接线正确，日光灯不能启辉时，应检查启辉器及其接触是否良好。
3. 上电前确定交流调压器输出电压为零（即调压器逆时针旋到底）。

六. 预习思考题

1. 参阅课外资料，了解日光灯的启辉原理。

日光灯的启动通常需要一个启辉器和一个镇流器。启辉器是一个包含两个电极和一小泡氖气或氙气的简单装置。电源接通时，电流通过启辉器的两个电极，使得氖气或氙气电离，产生微弱的辉光放电。放电产生的热量使启辉器中的双金属片电极受热膨胀并接触在一起，形成短路。

当启辉器短路时，镇流器限制电流，导致灯管两端电压升高。当电压达到一定值时，灯管内的惰性气体和少量水银蒸汽被电离，开始导电。随着气体电离，灯管内电阻下降，电流增大，启辉器内的双金属片因温度降低而迅速恢复原状，启辉器中的氖气或氙气不再放电，冷却后双金属片电极断开，形成开路。

启辉器断开后，由于镇流器的感应作用，电流迅速中断并产生高压脉冲。这一高压脉冲加在灯

管两端，使灯管内的汞蒸气电离，形成电弧放电，汞蒸气产生紫外光，激发灯管内壁的荧光粉发光，产生可见光。此时，灯管两端的灯丝也在电弧放电中继续发射电子，但电流由镇流器控制，以维持稳定。而启辉器不再发挥作用，因为灯管工作时的低电压不足以使其再次启动放电过程。

2. 在日常生活中，当日光灯上缺少了启辉器时，人们常用一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？

当使用导线短接启辉器的两端并迅速断开时，实际上是模拟了启辉器的工作过程，相当于启辉器的电极接触在一起，电流通过灯管两端的灯丝进行预热。断开短接时，电流突然中断，镇流器会产生一个高压脉冲，这个高压脉冲用于启动灯管内的汞蒸气放电，产生电弧，使得日光灯点亮。

用一个启辉器点亮多只同类型的日光灯，启辉器在连接到某个灯管时，会进行上述的短路、预热和断路过程，产生高压脉冲，使灯管点亮。完成一个灯管的启动过程后，可以移到下一个灯管继续使用，重复预热和启动过程。这是因为启辉器在启动过程中只负责预热和产生高压脉冲，灯管一旦点亮后，就不再需要启辉器的作用。灯管稳定工作时，镇流器会继续限制电流，确保灯管正常发光。

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？

在感性负载上并联电容器后，电路的总电流会减小，并联电容器提供了电流的无功补偿。感性负载会消耗无功功率，使得电路的总电流增大，并联电容器产生的无功功率与感性负载的无功功率相抵消，减少了总的无功电流，从而减小了电路的总电流。

并联电容器后，感性负载的电流不变，消耗的有功功率不变，但电路的无功功率减少了。总的视在功率减少了。

4. 提高线路功率因数为什么只采用并联电容器法，而不用串联法？所并的电容器是否越大越好？

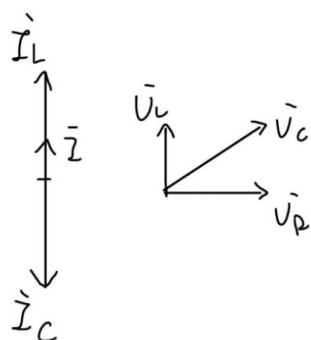
串联改变电路结构，会改变电路的谐振特性，可能导致电路谐振，增加电流和电压畸变的风险，因此不常用于功率因数补偿。并联电容器的容量并不是越大越好，过小的电容器补偿不足，功率因数提高效果不明显；过大的电容器可能导致过补偿，使得电路从感性变成容性。

七. 实验报告

1. 完成数据表格中的计算，进行必要的误差分析。

误差来源于元件不理想，电表精度和读数不稳定。

2. 根据实验数据，分别绘出电压、电流相量图，验证相量形式的基尔霍夫定律。



3. 讨论改善电路功率因数的意义和方法。

提高电能利用率，减少电网中的无功功率，减少输电线路和变压器的损耗，提高电力系统的效率；高功率因数意味着电力设备可以更接近其额定容量工作，提高了设备的使用效率和寿命；减少无功功率需求，降低用户电费支出；减少电流，从而减轻配电设备和输电线路的负荷；减少线路电压降，改善供电质量。

改善功率因数的方法：

并联电容器，提供容性无功功率，抵消感性负载的无功功率，提高功率因数；改进设备设计，采用高效变压器和电动机，减少其本身的无功功率需求；使用同步电机；避免设备长时间空载或轻载运行；使用静止无功补偿器，控制无功功率的注入或吸收，实现快速动态补偿。

4. 装接日光灯线路的心得体会及其他。

在装接日光灯的过程中，我收获了很多有益的经验。首先，在安装过程中，应当小心接线，谨慎闭合开关，以保护自身安全。其次，装接日光灯也对细致程度提出了新的要求，每一步都需要仔细核对，以免造成不正确的短路和断路，带来安全风险。最后，安装日光灯电路的过程有效提升了我对日光灯电路系统和原理的认识，拓宽了知识面，沉淀了自身本领。同时，我也注意到实验所用的日光灯存在较为明显的频闪现象，对视力存在一定的不利影响，将来可以通过使用 LED 光源并改进控制算法实现更高频率的调光策略。