电路实验

实验一　电路元件伏安特性的测绘

一．实验目的

1．学会识别常用电路元件的方法。
2．掌握线性电阻、非线性电阻元件伏安特性的逐点测试法。
3．掌握实验装置上直流电工仪表和设备的使用方法。

二．仪器及设备

可调直流稳压电源
直流数字毫安表
直流数字电压表
二 极 管 2AP9
稳 压 管 2CW51

三．实验原理

任何一个二端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I=f(U)来表示，即用I-U平面上的一条曲线来表征，这条曲线称为该元件的伏安特性曲线。

1．线性电阻器的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，如图4-1中a曲线所示，该直线的斜率等于该电阻器的电阻值。

2．一般的白炽灯在工作时灯丝处于高温状态，其灯丝电阻随着温度的升高而增大，通过白炽灯的电流越大，其温度越高，阻值也越大，一般灯泡的“冷电阻”与“热电阻”的阻值可相差几倍至十几倍，所以它的伏安特性如图4-1中b曲线所示。

3．一般的半导体二极管是一个非线性电阻元件，其特性如图4-1中c曲线。正向压降很小(一般的锗管约为0.2～0.3V，硅管约为0.5～0.7V)，正向电流随正向压降的升高而急骤上升，而反向电压从零一直增加到十几至几十伏时，其反向电流增加很小，粗略地可视为零。可见，二极管具有单向导电性，但反向电压加得过高，超过管子的极限值，则会导致管子击穿损坏。

4．稳压二极管是一种特殊的半导体二极管，其正向特性与普通二极管类似，但其反向特性较特别，如图4-1中d曲线。在反向电压开始增加时，其反向电流几乎为

零，但当反向电压增加到某一数值时(称为管子的稳压值，有各种不同稳压值的稳压管)电流将突然增加，以后它的端电压将维持恒定，不再随外加的反向电压升高而增大。

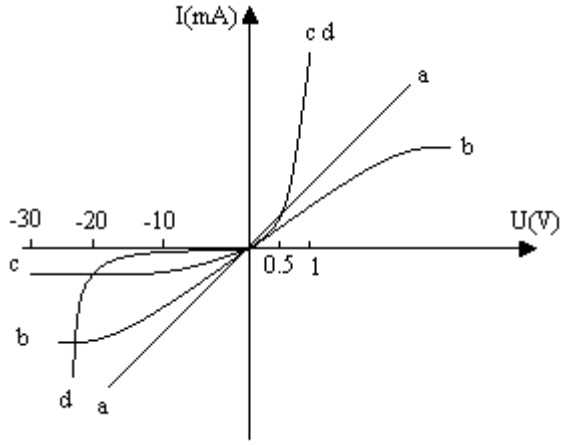


图 4-1

四．实验内容和步骤

1．测定线性电阻器的伏安特性

按图 4-2 接线，调节直流稳压电源的输出电压 U，从 0 伏开始缓慢地增加 ，一直到 10V，记下相应的电压表和电流表的读数。

2．测定半导体二极管的伏安特性

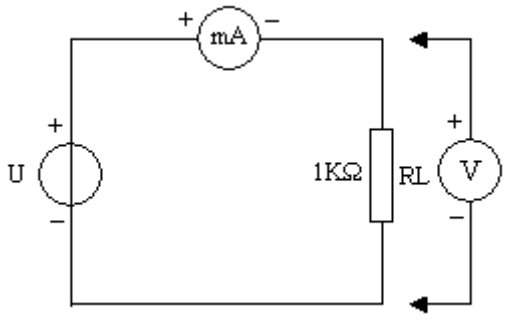


图 4-2

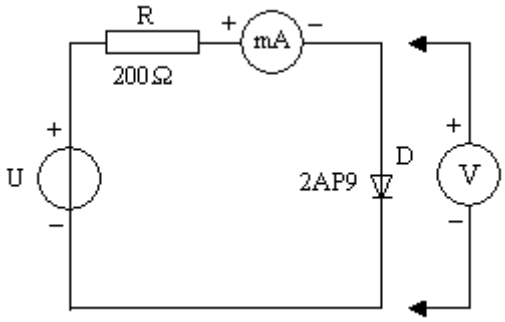


图 4-3

按图4-3接线，R为限流电阻，测二极管D的正向特性时，其正向电流不得超过25mA，正向压降可在0～0.75V之间取值。特别是在0.5～0.75之间更应多取几个测量点。作反向特性实验时，只需将图4-3中的二极管D反接，且其反向电压可加到30V左右。

3．测定稳压二极管的伏安特性

只要将图4-3中的二极管换成稳压二极管，重复实验内容2的测量。

五． 实验报告要求

1．根据实验结果数据，分别在方格纸上绘制出光滑的伏安特性曲线。(其中二极管和稳压管的正、反向特性均要求画在同一张图中，正、反向电压可取为不同的比例尺)

2．根据实验结果，总结、归纳被测各元件的特性。

3．心得体会及其他。

六． 预习要求及思考题

1．线性电阻与非线性电阻的概念是什么?电阻器与二极管的伏安特性有何区别?

2．设某器件伏安特性曲线的函数式为I=f(U)，试问在逐点绘制曲线时，其坐标变量应如何放置?

3．稳压二极管与普通二极管有何区别，其用途如何?

七、实验注意事项

1．测二极管正向特性时，稳压电源输出应由小至大逐渐增加，应时刻注意电流表读数不得超过25mA，稳压源输出端切勿碰线短路。

2．进行不同实验时，应先估算电压和电流值，合理选择仪表的量程，勿使仪表超量程，仪表的极性亦不可接错。

实验二叠加原理的验证

一．实验目的

验证线性电路叠加原理的正确性，从而加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。

二．仪器及设备

直流稳压电源
直流数字毫安表
直流数字电压表

三．实验原理

1．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。

2．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。

四．实验内容和步骤

实验电路如图4-4所示

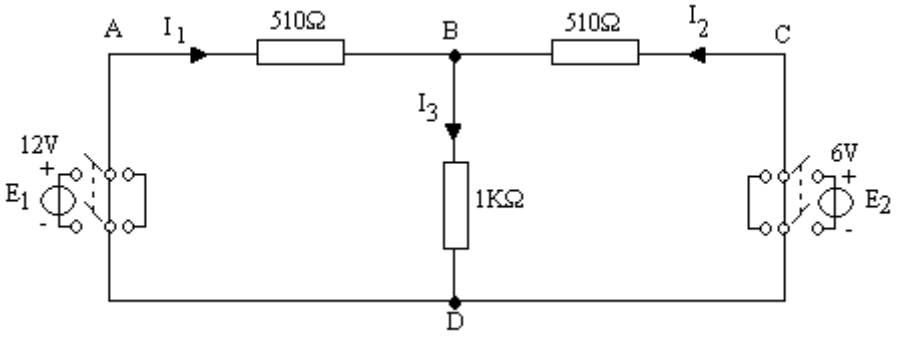


图 4-4

1．按图4-4电路接线，取E_1=+12V，E_2=+6V。

2．令E_1电源单独作用时，用直流数字电压表和毫安表测量各支路电流及各电阻元件两端

电压，数据记入表格中。

3．令E_2电源单独作用时，重复实验步骤2的测量和记录。

4．令E_1和E_2共同作用时，重复上述的测量和记录。

5．将E_2的数值调至+l2V，重复上述第3项的测量并记录。

五． 实验报告要求

1．根据实验数据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．心得体会及其他。

六． 预习要求及思考题

1．叠加原理中E_1、E_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(E_1或E_2)置零(短接)?

2.实验电路中，若有一个电阻器改为二极管，试问叠加原理的叠加性与齐次性还成立吗?为什么?

七、实验注意事项

1．测量各支路电流时，应注意仪表的极性，及数据表格中“+、一”号的记录 。

2．注意仪表量程的及时更换。

实验三戴维南定理

一．实验目的

1．验证戴维南定理的正确性。

2．掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法。

二．仪器及设备

可调直流稳压电源 0~10V
可调直流恒流源0~200mA
直流数字毫安表
直流数字电压表
万用电表
电位器 1k/1W

三．实验原理

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Es等于这个有源二端网络的开路电压U_{OC}其等效内阻Req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。

Uoc和Req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Uoc然后再将其输出端短路，用电流表测其短路电流Isc,则内阻为

$$R_{eq}=\frac{U_{oc}}{Isc}$$

(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4-5所示。根据外特性曲线求出斜率tgΦ，

则内阻

$$R_{eq} = tg\phi = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$$

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

$$R_{eq} = \frac{U_{oc} - U_N}{I_N}$$

若二端网络的内阻值很低时，则不宜测其短路电流。

(3)半电压法

如图4-6所示，当负载电压为被测网络开路电压一半时，负载电阻(由电阻箱的读数确定)即为被测有源二端网络的等效内阻值。

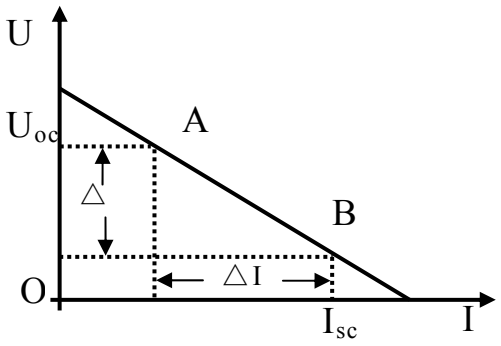


图 4-5

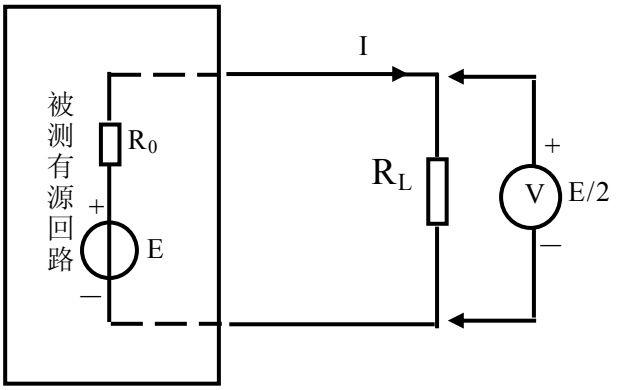


图 4-6

(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4-7所示。

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如电压，即为被测有源二端网络的开路电压。

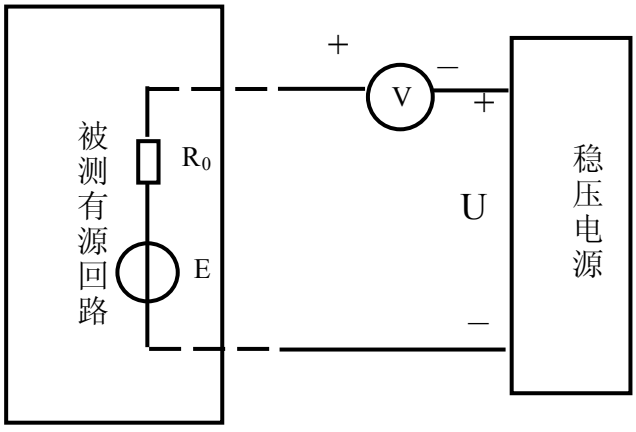
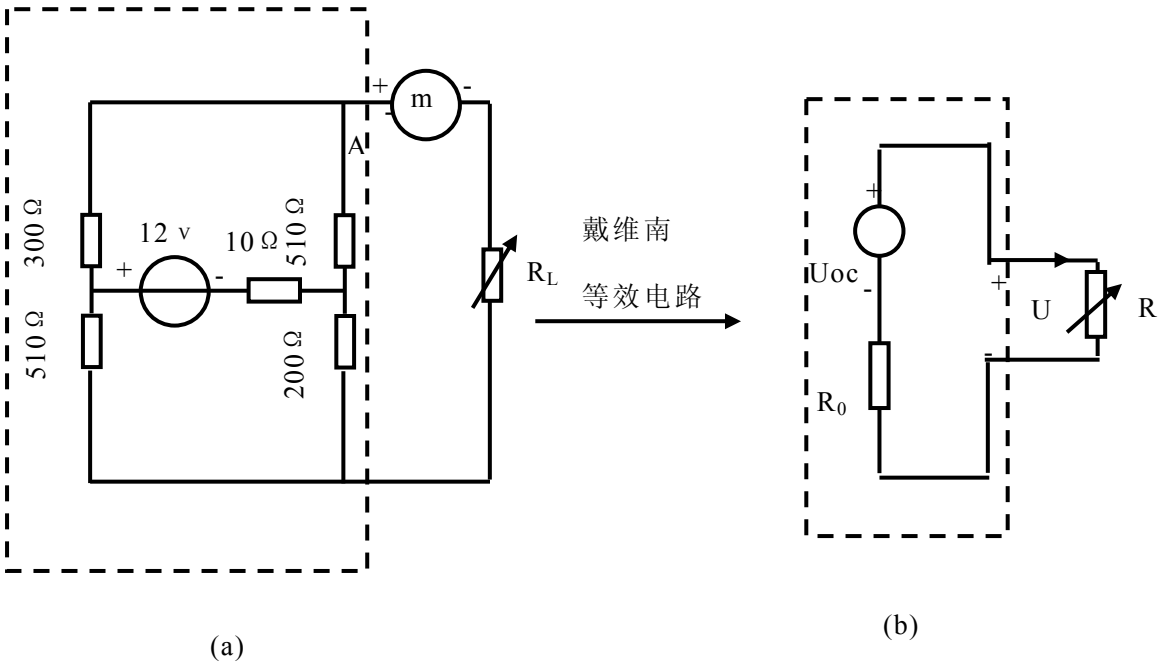


图 4-7

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如电压，即为被测有源二端网络的开路电压。

四．实验内容和步骤

被测有源二端网络如图4-8(a)所示。



(a)　　(b)

图 4-8

1．用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路的Uoc和Req。按图4-8(a)电路接入稳压电源Us和毫安表及可变电阻箱RL，测定开路电压Uoc和短路电流Isc。

2．负载实验

按图4-8（a）改变R_L阻值，测量有源二端网络的外特性。

3．验证戴维南定理

用一只lKΩ的电位器，将其阻值调整到等于按步骤“1”所得的等效电阻Req之值，然后令其与直流稳压电源(调到步骤“1”时所测得的开路电压Uoc之值)相串联，如图4-8(b)所示，仿照步骤“2”,测其外特性，对戴氏定理进行验证。

4．测定有源二端网络等效电阻(又称输入电阻)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Is断开；去掉电压源，并在原电压源

处用一根短路导线相连)，然后用伏安法或者直接用万用电表的欧姆档去测定等效内阻（开路后输出端两点间的电阻），此即为被测网络的等效内阻Req或称网络的输入电阻Rin。

5．用半电压法和零示法测量被测网络的等效内阻Req及其开路电压Uoc,线路及数据表格自拟。

五． 实验报告要求

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。

2．根据步骤1、4、5各种方法测得的Uoc与Req与预习时电路计算的结果作比较，你能得出什么结论。

3．归纳、总结实验结果。

4．心得体会及其他。

六． 预习要求及思考题

1．在求戴维南等效电路时，做短路实验，测Isc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4-8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有几种方法，并比较其优缺点。

七、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，电源置零时不可将稳压源短接。

3．用万用表直接测Req时，网络内的独立源必须先置零，以免损坏万用表。其次，欧姆档必须经调零后再进行测量。

4.改接线路时，要关掉电源。

实验四　双口网络测试

一．实验目的

1．加深理解双口网络的基本理论。

2．掌握直流双口网络传输参数的测量技术。

二．仪器及设备

可调直流稳压电源 0~10V
直流数字电压表
直流数字毫安表

三．实验原理

对于任何一个线性网络，我们所关心的往往只是输入端口和输出端口电压和电流间的相互关系，通过实验测定方法求取一个极其简单的等值双口电路来替代原网络，此即为“黑盒理论”的基本内容。

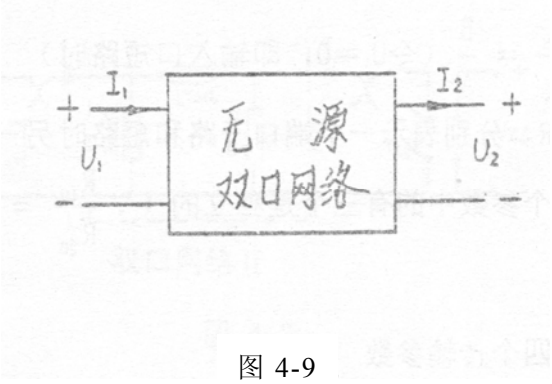


图 4-9

1．一个双口网络两端口的电压和电流四个变量之间的关系，可以用多种形式的参数方程来表示。本实验采用输出口的电压U_2和电流I_2作为自变量，以输入口的电压U_1和电流I_1作为应变量，所得的方程称为双口网络的传输方程，如 图4-9所示的无源线性双口网络(又称为四端网络)的传输方程为

$$U_1 = AU_2 + BI_2$$

$$I_1 = CU_2 + DI_2$$

式中的A、B、C、D为双口网络的传输参数，其值完全决定于网络的拓扑结构及各支路元件的参数值，这四个参数表征了该双口网络的基本特性，它们的含义是：

$$A=\frac{U_1}{U_2}\Big|_{I_2=0}$$ （令$I_2=0$，即输出口开路时）

$$B=\frac{U_1}{I_2}\Big|_{U_2=0}$$ （令$U_2=0$，即输出口短路时）

$$C=\frac{I_1}{U_2}\Big|_{I_2=0}$$ （令$I_2=0$，即输出口开路时）

$$D=\frac{I_1}{I_2}\Big|_{U_2=0}$$ （令$U_2=0$，即输出口短路时）

由上可知，只要在网络的输入口加上电压，在两个端口同时测量其电压和电流，即可求出A、B、C、D．四个参数，此即为双端口同时测量法。

2．若要测量一条远距离输电线构成的双口网络，采用同时测量法就很不方便，这时可采用分别测量法，即先在输入口加电压，而将输出口开路和短路，在输入口测量电压和电流，由传输方程可得：

$$R_{10}=\frac{U_1}{I_1}\Big|_{I_2=0}=\frac{A}{C}$$ （令$I_2=0$，即输出口开路时）

$$R_{1S}=\frac{U_1}{I_1}\Big|_{U_2=0}=\frac{B}{D}$$ （令$U_2=0$，即输出口短路时）

然后在输出口加电压测量，而将输入口开路和短路，此时可得

$$R_{20}=\frac{U_{20}}{-I_{20}}\Big|_{I_1=0}=\frac{D}{C}$$ （令$I_1=0$，即输入口开路时）

$$R_{2s}=\frac{U_{2s}}{-I_{2s}}\Big|_{U_1=0}=\frac{B}{A}$$ （令$U_1=0$，即输入口短路时）

R_{10}、R_{1s}、R_{20}、R_{2s}分别表示一个端口开路和短路时另一端口的等效输入电阻，这四个参数中的有三个是独立的($\because \frac{R_{10}}{R_{20}}=\frac{R_{1s}}{R_{2s}}=\frac{A}{D}$)即

$$AD-BC=1$$

至此可得出四个传输参数

$$A=\sqrt{R_{10}/\left(R_{20}-R_{2s}\right)}\quad,\quad B=R_{2s}A\quad,\quad C=A/R_{10}\quad,\quad D=R_{20}C$$

3．双口网络级联后的等效双口网络的传输参数亦可采用前述的方法之一求得。从理论

推得两双口网络级联后的传输参数与每一个参加级联的双口网络的传输参数之间有如下的关系：

$$A = A_1A_2 + B_1C_2 \qquad B = A_1B_2 + B_1D_2$$

$$C = C_1A_2 + D_1C_2 \qquad D = C_1B_2 + D_1D_2$$

四．实验内容和步骤

双口网络实验线路如图4-10所示。

将直流稳压电源输出电压调至 10V。作为双口网络的输入。

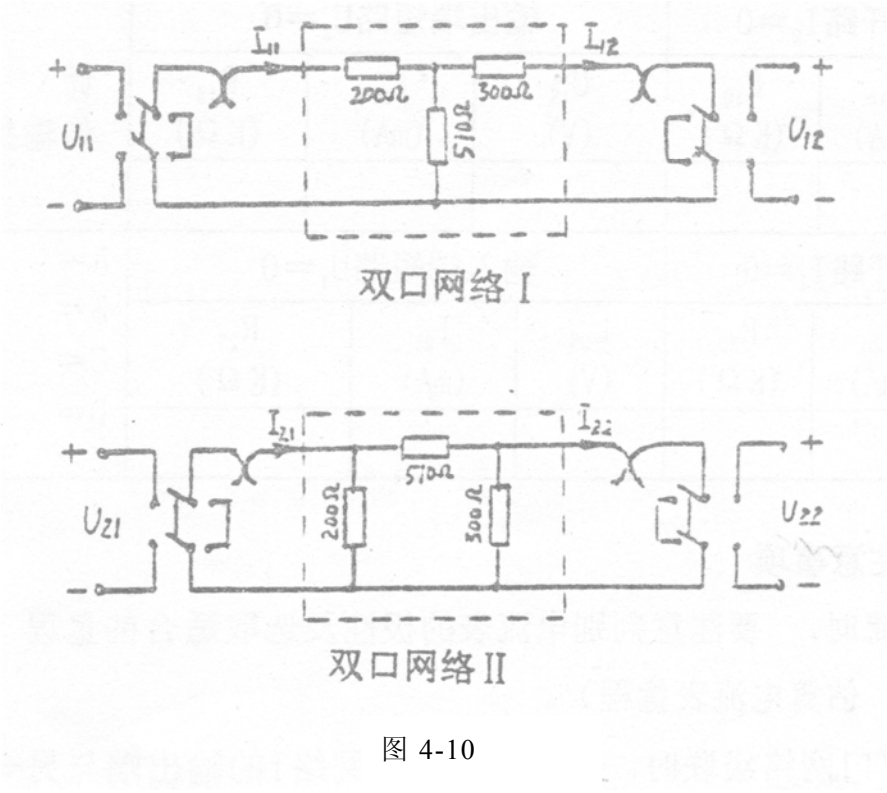


图 4-10

1．按同时测量法分别测定两个双口网络的传输参数 A1、B1、C1、D1 和 A2、B2、C2、D2，并列出它们的传输方程。

2．将两个双口网络级联后，用两端口分别测量法测量级联后等效双口网络的传输参数 A、B、C、D，并验证等效双口网络传输参数与级联的两个双口网络传输参数之间的关系。

五． 实验报告要求

1．完成对数据表格的测量和计算任务。

2．列写参数方程。

3．验证级联后等效双口网络的传输参数与级联的两个双口网络传输参数之间的关系。

4．总结、归纳双口网络的测试技术。

5．心得体会及其他。

六． 预习要求及思考题

1．试述双口网络同时测量法与分别测量法的测量步骤，优缺点及其适用情况。

2．本实验方法可否用于交流双口网络的测定?

实验五 互感电路观测

一．实验目的

1．观察交流电路中的互感现象。

2．学会互感电路同名端、互感系数的测定方法。

二．仪器及设备

可控直流稳压电源 0～10V
直流数字电压表
直流数字毫安表
直流数字安培表
交流电压表
铁心互感线圈

三．实验原理

1．判断互感线圈同名端的方法

(1)直流法

如图4-11所示，当开关S闭合瞬间，若毫安表的指针正偏，则可断定“1”、“3”为同名端：指针反偏，则“l”、“4”为同名端。

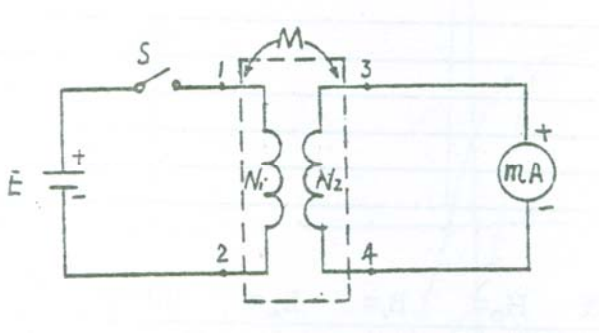


图 4-11

(2)交流法

如图4-12所示，将两个线圈N1和N2的任意两端(如2、4端)联在一起，在其中的一个线圈(如N1)两端加一个低压交流电压,另一线圈开路(如N2)，用交流电压表分别

测出端电压U_{13}，U_{12}和U_{34}。若U_{13}是两个绕组端压之差，则1、3是同名端：若U_{13}是两绕组端压之和，则1、4是同名端。

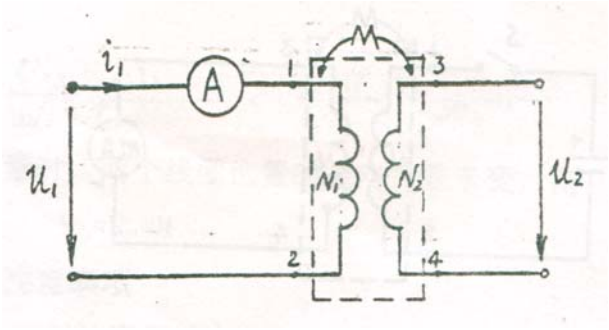


图　4-12

2．两线圈互感系数M的测定

如图4-12，在N1侧施加低压交流电压U1，N2侧开路，测出I1及U2，根据互感电势E2≈U20=ωMI1，可算得互感系数为

$$M=\frac{U_{20}}{\omega I_1}$$

3．耦合系数k的测定

两个互感线圈耦合松紧的程度可用耦合系数k来表示

$$K=M/\sqrt{L_1L_2}$$

如图4-12，先在N1侧加低压交流电压u_1，测出N2侧开路时的原边电流I1；然后再在N2侧加电压u_2，测出N1侧开路时的副边电流I2，求出各自的自感L1和L2，即可算得K值。

四．实验内容和步骤

1、分别用直流法和交流法测定互感线圈的同名端

(1)直流法

实验线路如图4-13所示，先将开关置于“开”位置，在铁芯互感线圈原边加2V的直流电压。加上电压瞬间，若毫安表的指针正偏，则可断定“1”、“3”为同名端：指针反偏，则“1”、“4”为同名端。

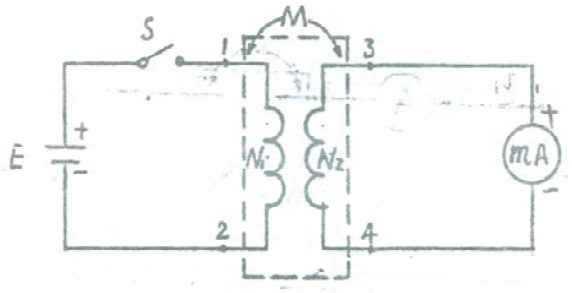


图　4-13

(2)交流法

按图4-14接线，接通电源前，应首先检查“降压选择”是否置于“0V”，确认后方可接通交流电源，即令开关置于“开”位置，使降压选择置于“2V”，然后用0～30V量程的交流电压表测量U13,U12,U34判定同名端。

拆去 2、4 联线，并将 2、3 相接，重复上述步骤，判定同名端。

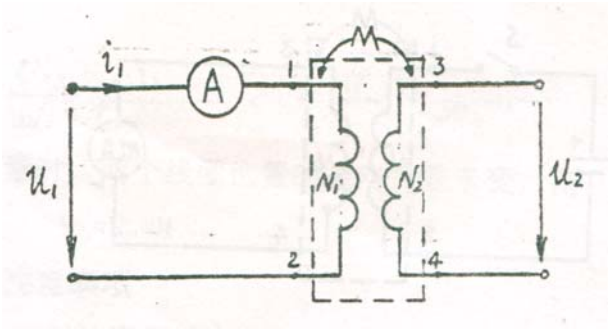


图　4-14

2、自感系数M的测定

具有互感M的两只线圈串联，它的等效电感L’=L1+L2+2M(正向串联)或L"=L1+L2-2M(反向串联)，(L1、L2分别为线圈1与2的自感系数)，由此可得：

$$M=\left|\frac{L'-L''}{4}\right|$$

用实验方法，可测量并计算出L’，和L"，从而可求出互感系数M。

3．具有互感的两只线圈，在线圈1中通入固定频率的正弦电流I1,，测量线圈2的开路电压U2，I1=U1／R，而U2=ωM21。反之，线圈2通以电流I2，测量线圈1的开路电压U1，I2=U2／R，则U1=ωM12

$$\therefore M=\frac{U_2}{\omega I_1}=\frac{U_1}{\omega I_2}$$

如果这两次测量时，两个线圈位置的相对关系未变，则

$M_{12}=M_{21}=M$

五． 实验报告要求

1． 总结互感线圈同名端、互感系数的实验测试方法。

2．自拟测试数据表格，完成计算任务。

3．解释实验中观察到的互感现象。

4．心得体会及其他。

六． 预习要求及思考题

1．如图 4-11 所示，当开关 S 断开瞬间，若毫安表的指针反偏，是否可判断互感线圈的同名端？如何判断？

2．如图 4-14 所示，若已知 1、3 为同名端，将 2、3 相接，是否能测出 $U_{14}=U_{12}+U_{34}$？

七、实验注意事项

1.为避免互感线圈被烧毁，在铁芯互感线圈次级加电压时，不要超过1V。

2.做交流实验前，首先要检查“降压选择”是否置于“0V”。

实验六 交流电路参数的测定

一．实验目的

1.学习使用交流电压表、交流电流表和单相功率表测交流电路参数。

2.学习使用调压器。

3.学习交流参数的测定方法。

二．仪器及设备

THA—JD4型交流电路实验箱
单相调压器
型单相功率表
型数字万用表
交流电流表

三．实验原理

交流电路中，元件的阻抗值，可以用交流电压表、交流电流表和功率表分别测出该元件两端电压U，流过的电流I和它所消耗的有功功率P之后再通过计算得出。其关系式为：

阻抗的模： $|Z| = U/I$

功率因数： $\cos\phi = P/UI$

等效电阻： $R = P/I^2 = |Z|\cos\phi$

等效电抗： $X = |Z|\sin\phi$ 或 $X = \sqrt{Z^2 - R^2}$

这种测量方法简称为三表法，它是测定交流阻抗的基本方法，如所测元件为感性，那么，

$$X = \omega L = 2\pi f L$$

如所测元件为容性，那么，

$$X = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

电路图如图4-15所示

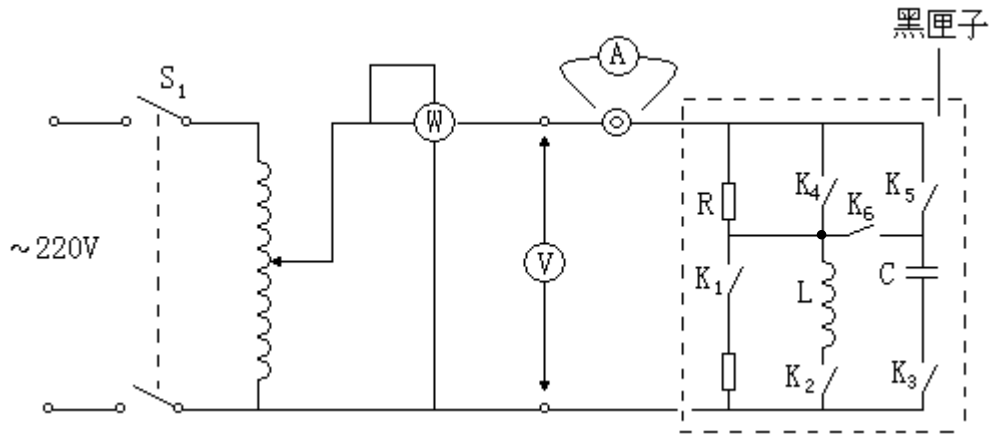


图 4-15

四．实验内容和步骤

按图4-15接线。依次接通电阻器、电感线圈、电容器、调整调压器输出(≤150V)，测量两组数据，记录数据于表4-13、表4-14、表4-15。

表4-13

数据 / 序号	测量值			计算值	
	I(A)	U(V)	P(Ω)	平均值（Ω）	
1					
2					

表4-14

数据 / 序号	测量值			计算值						
	I (A)	U (V)	P (W)	Z (Ω)	R_L (Ω)	X_L (Ω)	L (H)	X_L(平均) (Ω)	R_L(平均) (Ω)	Z(平均) (Ω)
1										
2										

表4-15

数据 / 序号	测量值			计算值				
	I (A)	U (V)	P (W)	Z (Ω)	X_C (Ω)	C (μF)	X_C(平均) (Ω)	C(平均) (μF)
1								
2								

五． 实验报告要求

根据测得的P(W)、U(V)、I(A)数值，分别计算电阻器的R(Ω)；电容器的Xc及C(uF)；电感线圈的R_L(Ω)、L(mH)及Z的值。

六． 预习要求及思考题

1．预习交流电路中有关章节，弄清交流电路中电压、电流的相量关系及电路中参数的计算方法。

2．根据表4-14，是否可以采用两种方法计算出电感参数

七、实验注意事项：

1．调压变压器的原、副边要联接正确，通电和断电前应使其输出电压为零。

2．实验过程中应注意选择功率表的电压和电流量程，学会使用功率表。

3．本实验中电源电压较高，必须严格遵守操作规程，断电后才能拆接线。

实验七 功率因数的提高

一．实验目的

1．熟悉目光灯电路的工作原理与接线的方法。

2．学习提高功率因数的方法，进一步理解提高功率因数的意义。

二．仪器及设备

1．THA—JD4型交流电路实验箱

2．DT9921型数字万用表

3．T25一A交流电流表1块

4．D72一WD75一W功率表

三．实验原理

1.日光灯电路(图4-16)是感性负载电路。镇流器看作电感与电阻的串联；点燃的目光灯管看成是电阻元件。

2．例如20瓦日光灯电路在外加电压U=220V(有效值)的作用下，灯管电流为0.31A，电路的有功功率为P=20瓦，电器的功率因数为

$$Cos\phi = P/UI = \frac{20}{220\times 0.31} = 0.293$$

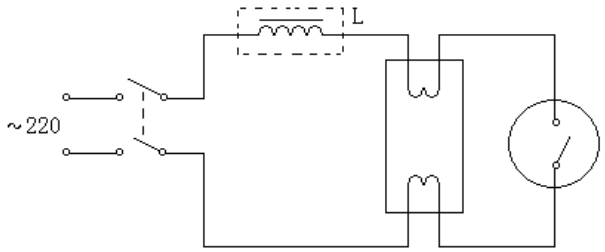


图4-16

功率因数低，这使得供电电源设备容量不能充分利用；另外，因为功率因数低，线路总电流大，电压降加大，导致电能损耗增加，这些都是很不经济的。

3．在日光灯电路上并联电容(图4-17)可以提高功率因数。由图4-18的相量图可见，由于

有了Ic这一分量，总电流减少了，整个负载的功率因数提高了。

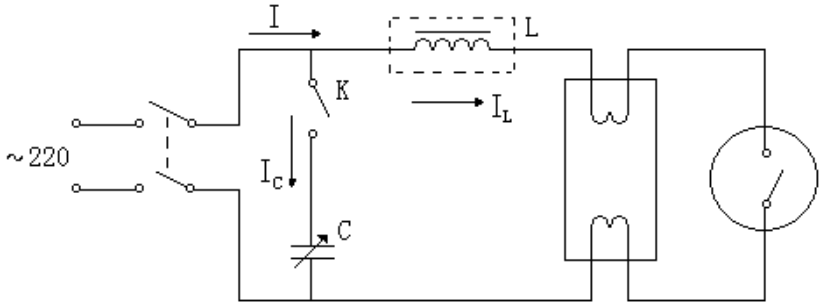


图4-17

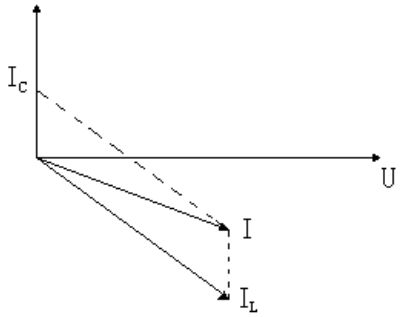


图4-18

4．例如用带有镇流器的20瓦日光灯作为感性负载，通过并联电容(电容数值可调)以提高功率因数。由于灯管是非线性电阻，镇流器是带铁芯的线圈，可看成是电阻与非线性电感的串联。因此，电路中的电流和元件上电压波形呈非正弦形。实验结果有一定误差。

四．实验内容和步骤

1．按图4-19接线(此时不接入电容C)。检查无误后，闭合开关S，观察日光灯的启动和点燃过程。

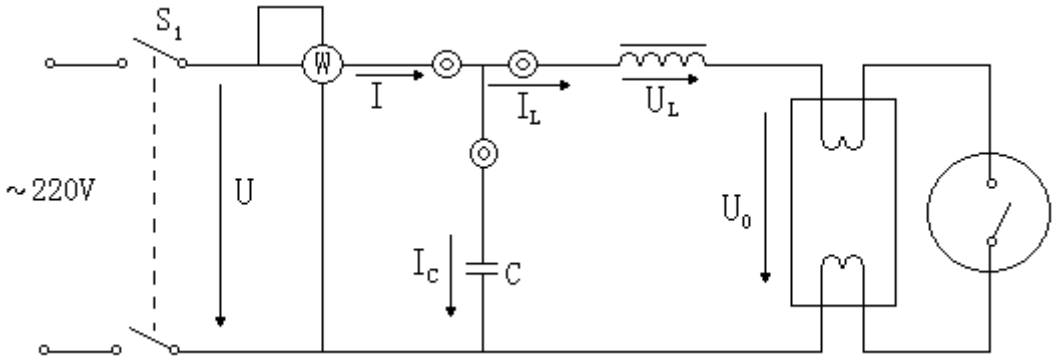


图4-19

2．日光灯正常工作后，测量日光灯电路总电压U(端电压)、镇流器电压U_L、灯管电压U0、电流I_L及功率P，记入表中。

3．接入电容由0—10uF。每改变电容一次，测出相应的电压U、总电流I、电容支路电流Ic、灯管电流IL电路的有功功率P。

五． 实验报告要求

1．计算日光灯电路的等值参数。

2．分析为什么U≠UL+Uo。

3．绘出cosΦ～C、I～C关系曲线，并分析曲线的变化规律(用坐标纸画)。

4．把提高功率因数接近l时所需电容的计算值和实验结果进行比较

六． 预习要求及思考题

1．复习功率表的使用方法。

2.了解日光灯电路的工作原理，掌握其正确接线方法。

3．根据公式，试计算日光灯电路的功率因数达到1时，需加多大电容?

七、实验注意事项：

1．注意电容值。以免接入大电容时，电流过大。

2．尽量测出cosΦ≈l 时的一组数据。

3．严格禁止带电操作。

实验八 三相电路

一．实验目的

1．研究星形联接三相负载在对称和不对称情况下，线电压与相电压的关系。

2．当负载不对称时，比较三相四线制与三相三线制的特点。

3.学习用三瓦计法及用二瓦计法测量三相电路的有功功率。

二．仪器及设备

1．THA-JD4型交流电路实验箱

2. 数字万用表

3. 交流电流表

4. 功率表

三．实验原理

1．本实验所用的是三相对称电源，负载作星形联接时的电路工作情况。在图4-20中，U_A、U_B、U_C，是三相对称电源，N是电源的中性点，由A至A’，B至B’，C至C’是三相电路的火线，A’、B’、C’是三相负载端，Z_A、Z_B、Z_C是三相负载，N’是负载的中性点,假如在N’与N之间接一开关K，那么在K打开时，N与N’并不相接，就是三相三线制的情况。而开关K闭合时，N和N'相接成为中线，就是三相四线制的情况。

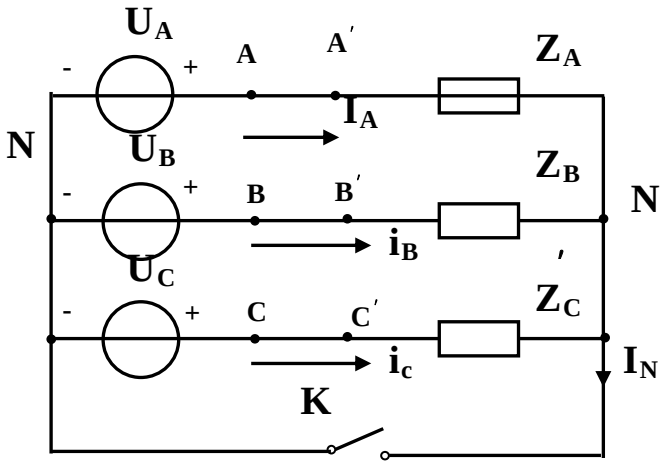


图 4-20

2．如果三相负载是对称的(即$Z_A=Z_B=Z_C$)并且不计及线路阻抗，则负载上的线电压是对称的，负载上的相电压也是对称的，并且，三个负载相电压$\dot{U}_{A'N'}$、$\dot{U}_{B'N'}$及$\dot{U}_{C'N'}$分别等于三个电源相电压U_A、U_B、U_C，相量图如图4-21所示。因为相量U_{AN}、U_{BN}及U_{CN}尾端的汇合点相当于N点，相量$\dot{U}_{A'N'}$、$\dot{U}_{B'N'}$及$\dot{U}_{C'N'}$的汇合点相当于N'点，在相量图上可以看到N与N'是重合的，也就是说，N'点与N点是等电位的。因此，开关K断开(三相三线制)或闭合(三相四线制)，电路各部分的电压、电流是不会发生变化的。星形联接对称三相负载上线电压与相电压的关系是

$$\dot{U}_{A'B'}=\sqrt{3}\dot{U}_{A'N'}\angle 30^0$$

$$\dot{U}_{B'C'}=\sqrt{3}\dot{U}_{B'N'}\angle 30^0$$

$$\dot{U}_{C'A'}=\sqrt{3}\dot{U}_{C'N'}\angle 30^0$$

而三相电流(即线电流)之和为零 $\dot{I}_A+\dot{I}_B+\dot{I}_C=0$

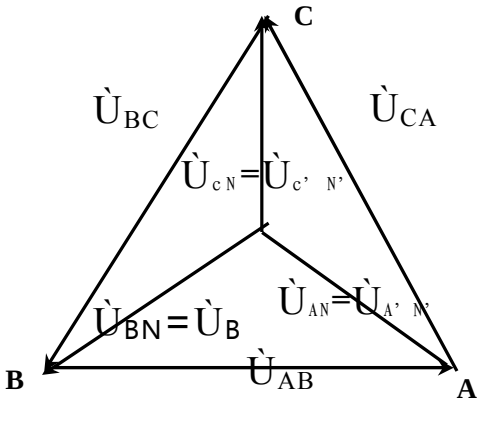


图 4-21

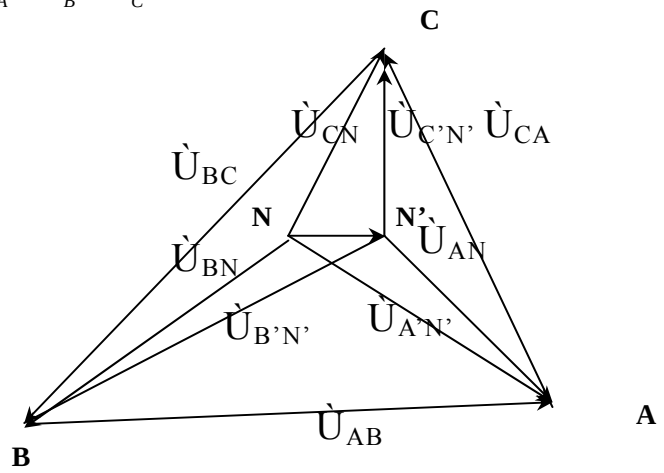


图 4-22

3．当三相负载不对称(Z_A、Z_B、Z_C三者不相等)，在三相三线等情况下，其电压相量如图4-22所示，虽然线电压是对称的，但负载相电压并不对称，负载中性点N'与电源中性点N之间存在电压$\dot{U}_{NN'}$。相量图上N'与N不重合，称之为负载中性点位移。

如果把K闭合(图4-20)使之成为三相四线制，这时，迫使N'与N重合(迫使N'与N等电位)，虽然负载相电压对称了，但相电流即线电流并不对称，中线电流不再为零：

$$\dot{I}_N=\dot{I}_A+\dot{I}_B+\dot{I}_C\neq 0$$

4．三相三线制，对称负载测功率：

电路如图4-23所示，三相总功率等于两功率表示数的代数和。

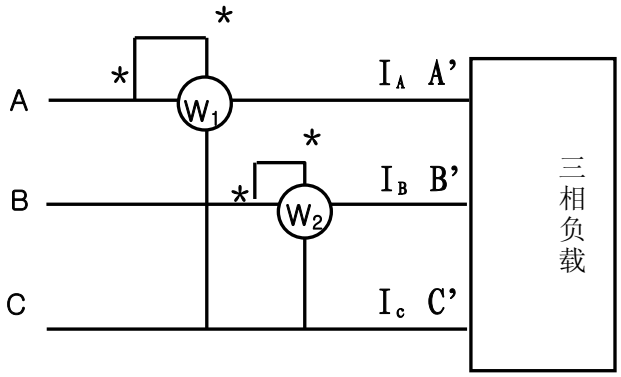


图 4-23

应该注意功率表的接线方法，功率表电流线圈、电压线圈的对应端“*"应该接到电源测，电压线圈的非对应端接到不接功率表的那根火线上。否则会引起读数的错误。

四．实验内容和步骤

1.对称负载星形连接

按图4-24接线。图中H－H’借用黑匣子模块，将K_1、K_4、闭合，其余开关打开。

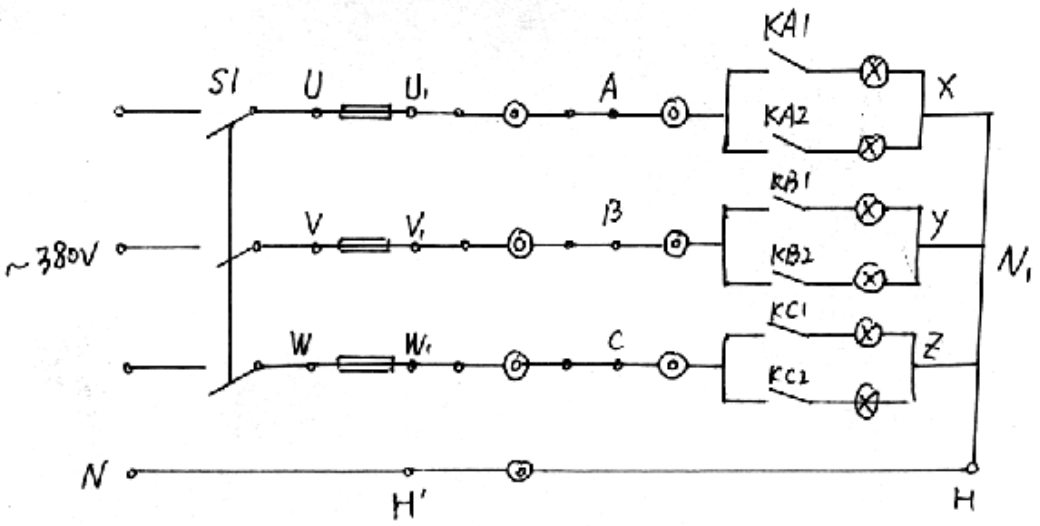


图 4-24

A、B、C三相均投入两盏灯负载，分为有中线和无中线两种情况，测量线电压、相电压、线电流、相电流、中线电流，中性点偏移电压、填数据于表8—1。

2.不对称负载星形连接

A相投入两盏灯，B相、C相均投一盏灯。分为有中线和无中线两种情况。测量线电压、相电压、线电流、相电流、中线电流、中性点偏移电压，填数据于表。

3．对称负载三角形连接

按图 4-25 接线，负载接成三角形，A、B、C 均投入两盏灯，测线电压，相电压，线电流、相电流、填数据于表。

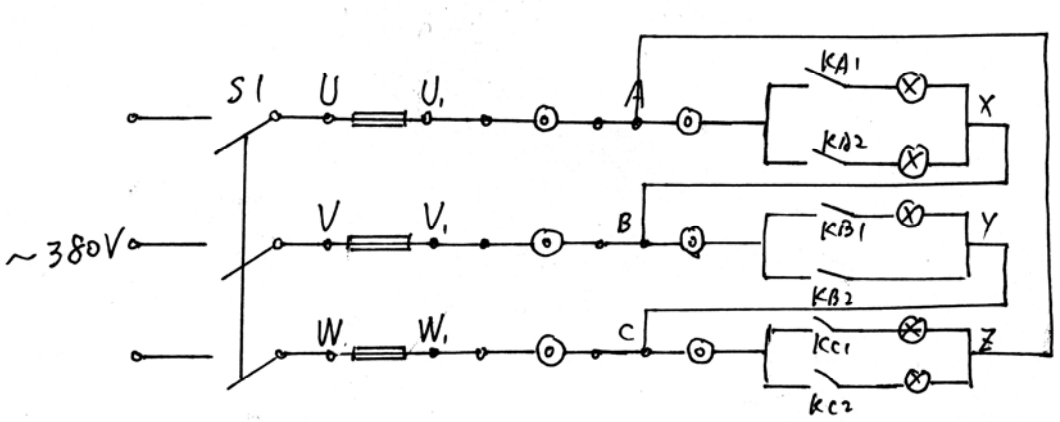


图 4-25

4．三相三线制，对称负载测功率

按图4-26接线

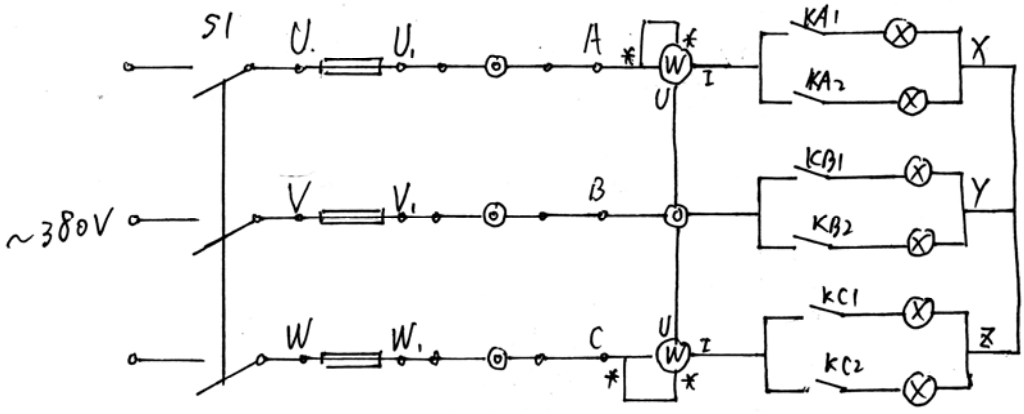


图 4-26

A、B、C三相均投入两盏灯，用二瓦计测量三相负载功率。填数据于表。

五． 实验报告要求

1．实测数据填入表格中。

2．对称负载时验算线电压和相电压的关系。

3．讨论负载不对称时中线的作用，并用画相量图的办法解释。

4．二瓦计法与三瓦计法测出的功率是否相等。

六． 预习要求及思考题

1．预习教科书中有关章节，弄清星形连接的三相负载在对称和不对称负载时线电压与相电压，线电流与相电流之间的关系。

2．三相四线制中是否可以用两表法测三相电路的总功率？

七、实验注意事项：

1．改接电路时应先切断电源，以保证安全。

2．注意功率表的接线方式，电压量程、电流量程的选择以及功率表的读数方法。

实验九 RC一阶电路的响应测试

一．实验目的

1 . 测定RC一阶电路的零输入响应，零状态响应及完全响应。

2．学习电路时间常数的测定方法。

3．掌握有关微分电路和积分电路的概念。

4．进一步学会用示波器测绘图形。

二．仪器及设备

函数信号发生器

双踪示波器

三．实验原理

1．动态网络的过渡过程是十分短暂的单次变化过程，对时间常数τ较大的电路，可用慢扫描长余辉示波器观察光点移动的轨迹。然而能用一般的双踪示波器观察过渡过程和测量有关的参数，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，即令方波输出的上升沿作为零状态响应的正阶跃激励信号；方波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τ，电路在这样的方波序列脉冲信号的激励下，它的影响和直流电源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τ。

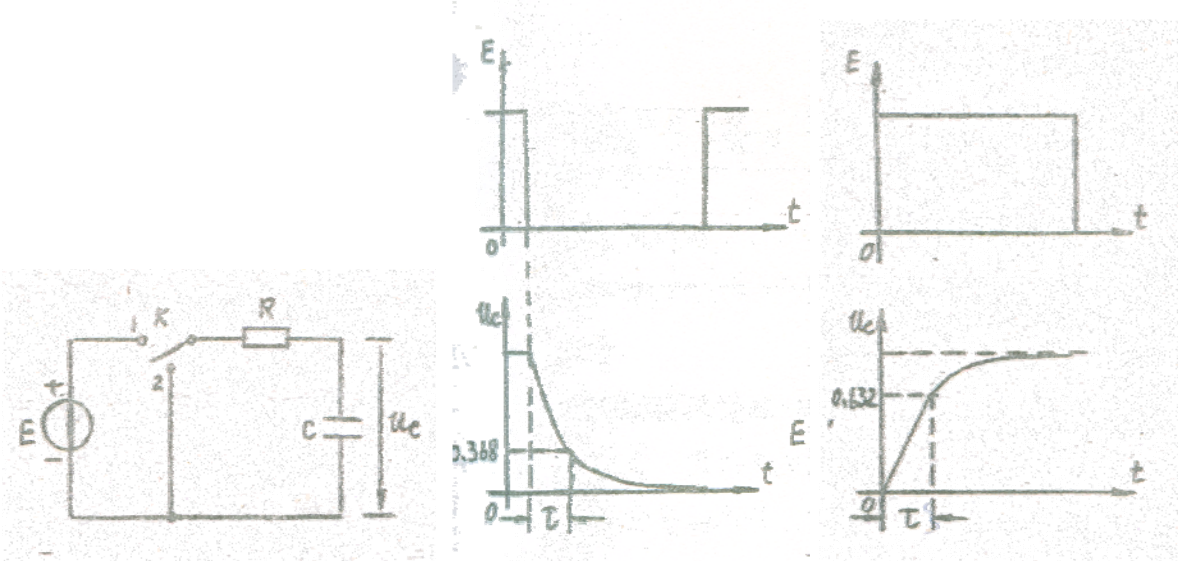
3．时间常数τ的测定方法

电路接线如图4-27(a)所示

用示波器测得零输入响应的波形如图4-27 (b)所示。根据一阶微分方程的求解得知

$$u_c = u_C(\infty)e^{-\frac{t}{RC}} = u_C(\infty)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

当t=τ时，$u_c(\tau) = 0.368u_C(\infty)$



(a)RC 一阶电路　　(b)零输入响应　　(c)零状态响应

图 4-27

此时所对应的时间就等于τ，亦可用零状态响应波形增长到0.632E所对应的时间测得，如图4-27 (c)所示。

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 $\tau = RC << T/2$ 时(T为方波脉冲的重复周期)，且由R端作为响应输出，如图4-27 (a)所示。这就构成了一个微分电路，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。

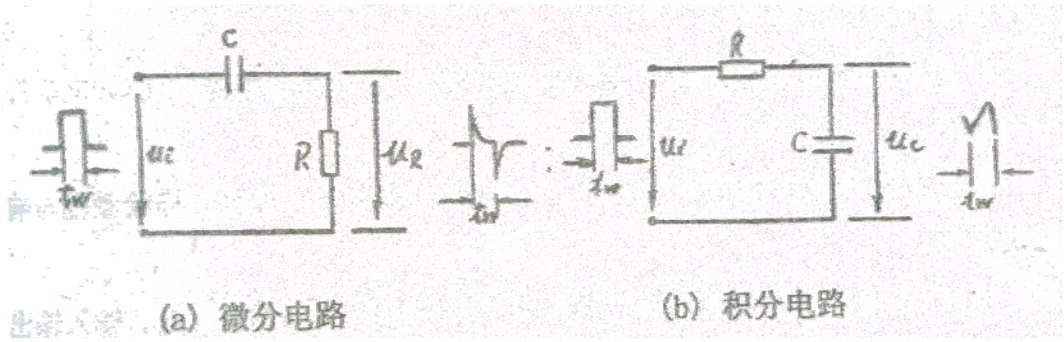


图 4-28

若将图4-28(a)中的R与C位置调换一下，即由C端作为响应输出，且当电路参数的选择满足 $\tau = RC >> T/2$ 条件时，如图4-28(b)所示，即构成积分电路，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。

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

四．实验内容和步骤

实验线路板的结构如图4-29所示，认清R、C元件的布局及其标称值，各开关的通断位置等等。

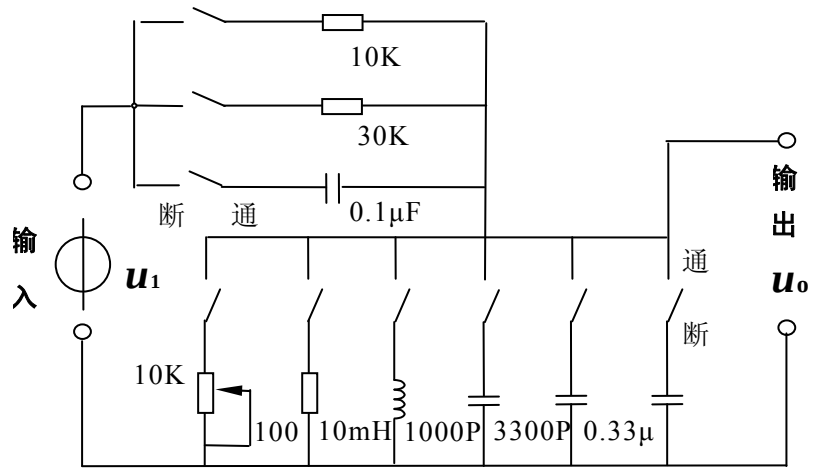


图 4-29

1.选择动态线路板上R、C元件，令

（1） R=10 KΩ， C=1000PF

组成如图4-27(a)所示的RC充放电电路，E为函数信号发生器输出，取U0=3V，f=1KHz的方波电压信号，并通过两根同轴电缆线，将激励源u和响应u_C的信号分别连至示波器的两个输入口YA和YB，这时可在示波器的屏幕上观察到激励与响应的变化规律，求测时间常数τ，并描绘u及u_C波形。

少量改变电容值或电阻值，定性观察对响应的影响，记录观察到的现象。

(2)令R=10KΩ，C=3300PF，观察并描绘响应波形，继续增大C之值，定性观察对响应的影响。

2．选择动态板上R、C元件；组成如图4-28 (a)所示微分电路，令C=3300PF，R=30KΩ。

在同样的方波激励信号(Um=3V，f=1KHz)作用下，观测并描绘激励与响应的波形。

增减R之值，定性观察对响应的影响，并作记录。当R增至∞时，输入输出波形有何本质上的区别?

五． 实验报告要求

1．根据实验观测结果，在坐标纸上绘出RC一阶电路充放电时的u_C变化曲线，由曲线测得τ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。

六． 预习要求及思考题

1．什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信号?。

2．已知RC一阶电路R=10KΩ，C=0.1uf，试计算时间常数τ，并根据τ值的物理意义，拟定测定τ的方案。

3．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?

七、实验注意事项：

1．示波器的辉度不要过亮。

2．调节仪器旋钮时，动作不要过猛。

3．调节示波器时，要注意触发开关和电平调节旋钮的配合使用，以使显示的波形稳定。

4．作定量测定时，“t/div”和“V/div”的微调旋钮应旋至“校准”位置。

5．为防止外界干扰，函数信号发生器的接地端与示波器的接地端要连接在一起(称共地)。

实验十 R、L、C串联谐振电路的研究

一．实验目的

1．学习用实验方法测试 R、L、C 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、掌握电路品质因数的物理意义及其测定方法。

二．仪器及设备

函数信号发生器
交流毫伏表
双踪示波器
频率计

三．实验原理

1．在图 4-30 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。取电路电流 I 作为响应，当输入电压 U_i 维持不变时，在不同信号频率的激励下，测出电阻 R 两端电压 Uo 之值，则 $I=\frac{U_o}{R}$，

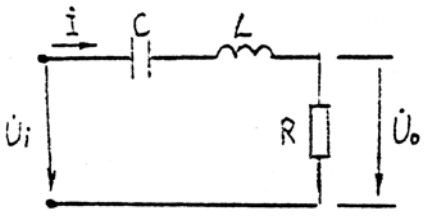


图 4-30

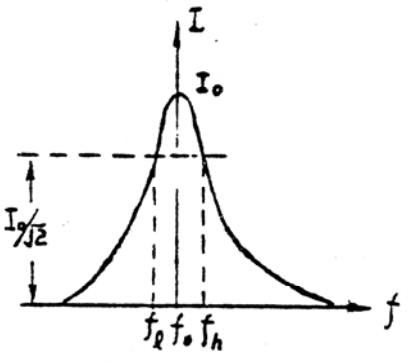


图 4-31

然后以 f 为横坐标，以 I 为纵坐标，绘出光滑的曲线，此即为幅频特性，亦称电流谐振曲线，如图 4-31

所示。

2．在 $f = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 处(XL=Xc)，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 Ui 为定值时，电路中的电流 Io 达到最大值，且与输入电压 Ui 同相位，从理论上讲，此时 $U_i=U_{RO}=U_0$，$U_{L0}=U_{C0}=QU_i$，式中的 Q 称为电路的品质因数。

3．电路品质因数 Q 值的两种测量方法

一是根据公式

$$Q=\frac{U_{L0}}{U_i}=\frac{U_{C0}}{U_i}$$

测定，U_{c0} 与 U_{L0} 分别为谐振时电容器 C 和电感线圈 L 上的电压；另一方法是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，式中 f。为谐振频率，f_h 和 f_l 是失谐时，幅度下降到最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$(=0.707)倍时的上、下频率点。

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。（注：本实验的 L=约 30mH）

四．实验内容和步骤

1．按图 4-32 电路接线，取 C=2200PF，R=510Ω，调节信号源输出电压为 IV 正弦信号，并在整个实验过程中保持不变。

2．找出电路的谐振频率 fo，其方法是，将交流毫伏表跨接在电阻 R 两端，令信号源的频率由小逐渐变大(注意要维持信号源的输出幅度不变)，当 U。的读数为最大时，读得频率计上的频率值即为电路的谐振频率 f_0，并测量 U_0、U_{L0}、U_{C0} 之值(注意及时更换毫伏表的量限)，记入表中。

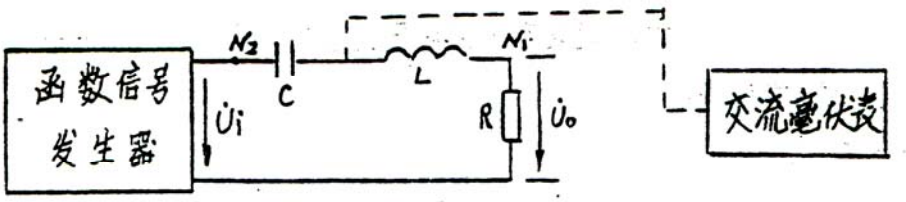


图 4-32

3．在谐振点两侧，应先测出下限频率 f_l 和上限频率 f_h 及相对应的 U_R 值，然后再逐点测出不同频率下 U_R 值，记入表中。

4．取 C=6800PF，R=2.2KΩ，重复步骤 2，3 的测量过程。

五． 实验报告要求

1．根据测量数据，绘出不同 Q 值时两条幅频特性曲线。

2．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。

3．对两种不同的测 Q 值的方法进行比较，分析误差原因。

4．通过本次实验，总结、归纳串联谐振电路的特性。

六． 预习要求及思考题

1．根据实验电路板给出的元件参数值，估算电路的谐振频率。

2．改变电路的哪些参数可以使电路发生谐振，电路中 R 的数值是否影响谐振频率值？

3．如何判别电路是否发生谐振?测试谐振点的方案有哪些?

4．电路发生串联谐振时，为什么输入电压不能太大，如果信号源给出 1V 的电压，电路谐振时，用交流毫伏表测 U_L 和 Uc，应该选择多大的量限?

5．要提高 R、L、C 串联电路的品质因数，电路参数应如何改变?

6．谐振时，比较输出电压 U_0 与输入电压 U_i 是否相等?试分析原因。

7．谐振时，对应的 Uco 与 U_{L0} 是否相等?如有差异，原因何在?

七、实验注意事项：

1．测试频率点的选择应在靠近谐振频率附近多取几点，在变换频率测试时，应调整信号输出幅度，使其维持在 1V 输出不变。

2．在测量 Uco，和 U_{LO} 数值前，应及时改换毫伏表的量限，而且在测量 Uco 与 U_{LO} 时毫伏表的“十"端接 C 与 L 的公共点，其接地端分别触及 L 和 C 的近地端 N1．和 N2。

3．实验过程中交流毫伏表电源线采用两线插头。

实验十一　受控源VCVS、VCCS、CCVS、CCCS的研究

一．实验目的

1．了解用运算放大器组成四种类型受控源的线路原理。

2．测试受控源转移特性及负载特性。

二．仪器及设备

可调直流稳压电源 0～10V
可调直流恒流源 0～200nA
直流数字电压表
直流数字毫安表

三．实验原理

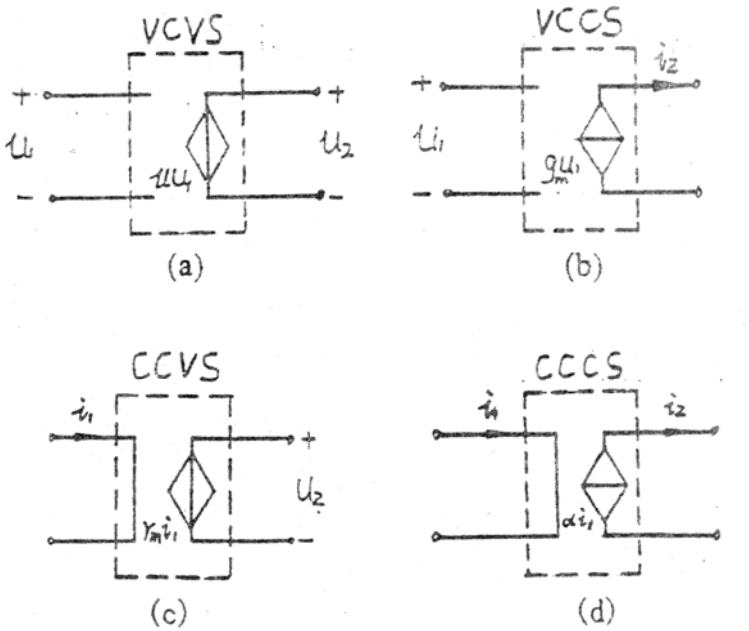


图 4-33

1、所谓受控源，是指其电源的输出电压或电流是受电路另一支路的电压或电流所控制的。当受控源的电压(或电流)与控制支路的电压(或电流)成正比时，则该受控源为线性的。根据控制变量与输出变量的不同可分为四类受控源：即电压控制电压源(VCVS)、电压控制电流源(VCCS)、电流控制电压源(CCVS)、电流控制电流源(CCCS)。电路符号如图 4-33 所示。

2、受控源的控制端与受控端的关系称为转移函数

四种受控源转移函数参量的定义如下

(1)压控电压源(VCVS)

$U_2 = f(U_1)$　　$\mu = U_2/U_1$ 称为转移电压比（或电压增益）

(2)压控电流源(VCCS)

$I_2 = f(U_1)$　　$g_m = I_2/U_1$ 称为转移电导

(3)流控电压源(CCVS)

$U_2 = f(I_1)$　　$r_m = U_2/I_1$ 称为转移电阻

(4)流控电流源(CCCS)

$I_2 = f(I_1)$　　$\alpha = I_2/I_1$ 称为转移电流比（或电流增益）

四．实验内容和步骤

本次实验中受控源全部采用直流电源激励，对于交流电源或其它电源激励，实验结果是一样的。

1．测量受控源 VCCS 的转移特性 $I_L=f(U_L)$及负载特性 $I_L=f(U_2)$

实验线路如图 4-34

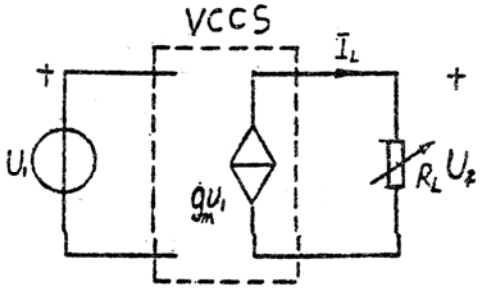


图 4-34

(1) 固定 R_L=2KΩ，调节直流稳压电源输出电压 U_1，使其在 0～5V 范围内取值。测量 U_1 及相应的 I_L，绘制 I_L=f(U_1)曲线，并由其线性部分求出转移电导 g_m。

(2)保持 U_1=2V，令 R_L 从 0 增至 5KΩ，测量相应的 I_L 及 U_2，绘制 I_L=f(U_2)曲线。

2．测量受控源 CCVS 的转移特性 U_2=f(I_S)及负载特性 U_2=f(I_L)

实验线路如 4-35。Is 为可调直流恒流源，RL 为可调电阻箱。

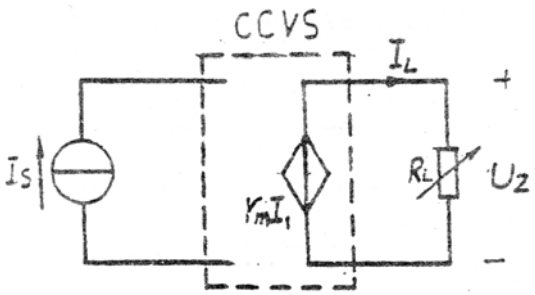


图 4-35

(1)固定 R_L=2KΩ，调节直流恒流源输出电流 Is，使其在 0～0.8mA 范围内取值，测量 Is 及相应的 U_2 值，绘制 U_2=f(I_S)曲线，并由其线性部分求出转移电阻 r_m。

(2)保持 Is=0.3mA，令 R_L 从 1 KΩ 增至∞，测量 U_2 及 I_L 值，绘制负载特性曲线 U_2=f(I_L)。

3．测量受控源 VCVS 的转移特性 U_2=f(U_1)及负载特性 U_2=f(I_L)

实验线路如图 4-36。U_1 为可调直流稳压电源，R_L 为可调电阻箱。

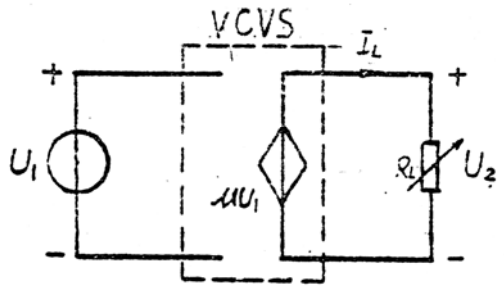


图 4-36

(1)固定 R_L=2KΩ，调节直流稳压电源输出电压 U_1，使其在 O～6V 范围内取值，测量 U_1 及相应的 U_2 值，绘制 U_2=f(U_1)曲线，并由其线性部分求出转移电压比 μ。

(2)保持 U_1=2V，令 R_L 阻值从 1KΩ 增至∞，测量 U_2 及 I_L，绘制 U_2=f(I_L)曲线。

4．测量受控源 CCCS 的转移特性 I_L=f(I_S)及负载特性 I_L=f(U_2)

实验线路如图 4-37。

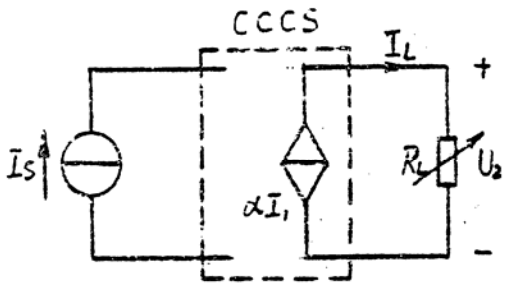


图 4-37

(1)固定 R_L=2KΩ,调节直流恒流源输出电流 Is，使其在 0～0.8mA 范围内取值，测量 I_S 及相应的 I_L 值，绘制 $I_L=f(I_S)$曲线，并由其线性部分求出转移电流比 α。

(2)保持 Is=0.3mA，令 R_L 从 O 增至 4KΩ,测量 I_L 及 U_2 值，绘制负载特性曲线 $I_1=f(U_2)$ 曲线。

五． 实验报告要求

1．对有关的预习思考题作必要的回答。

2．根据实验数据，在方格纸上分别绘出四种受控源的转移特性和负载特性曲线，并求出相应的转移参量。

3．对实验的结果作出合理地分析和结论，总结对四类受控源的认识和理解。

4．心得体会及其它。

六． 预习要求及思考题

1．参阅有关运算放大器和受控源的基本理论。

2．受控源与独立源相比有何异同点?

3．试比较四种受控源的代号、电路模型，控制量与被控制量之间的关系。

4．四种受控源中的 μ、g、r 和 α 的意义是什么?如何测得?

5．若令受控源的控制量极性反向，试问其输出量极性是否发生变化?

6．受控源的输出特性是否适于交流信号。

七、实验注意事项：

1．实验中，注意运放的输出端不能与地短接，输入电压不得超过 1Ov。

2．在用恒流源供电的实验中，不要使恒流源负载开路。