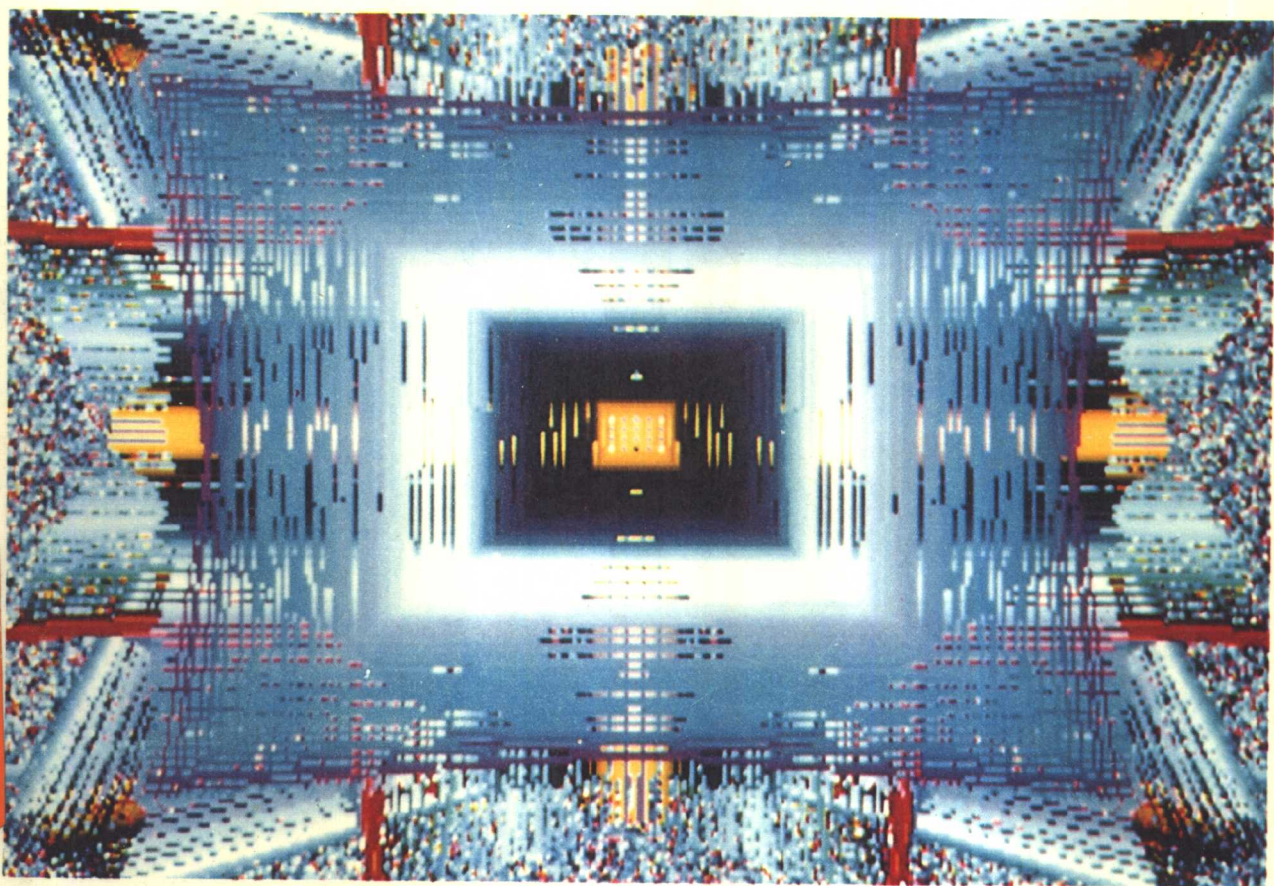


电路及磁路 实验指导书

DIANLU JICILU
SHIYAN ZHIDAOSHU



● 谷良 编

● 中央广播电视大学出版社

电路及磁路实验指导书

谷 良 编

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目(CIP)数据

电路及磁路实验指导书/谷良编. —北京:中央广播电视大学出版社,1995.10 重印

ISBN 7-304-00852-0

I. 电… II. 谷… III. ①电路-实验-电视大学-教学参考资料②磁路-实验-电视大学-教学参考资料 IV. ①TM13-33②TM14-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 17830 号

电路及磁路实验指导书

谷 良 编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

首都师范大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 4 千字 97

1993 年 10 月第 1 版 1996 年 10 月第 6 次印刷

印数: 66001~86000

定价: 5.80 元

ISBN 7-304-00852-0/TM · 19

前 言

本书是依据中央广播电视大学九二级电路及磁路课程的教学大纲及课程的新编教材——《电路及磁路》(李翰荪主编,中央广播电视大学出版社,1993)——而编写的,是电气、电子、计算机各类专业电路及磁路实验的指导书。

实验课教学环节在电路及磁路教学中为 24 个学时,占总学时的 17%。

实验课有两方面的重要意义。

第一,学生通过做实验,可以加深对课程内容中的重点、难点的理解。例如,在课程学习时,一般是由较复杂的微分求导公式推导出负载上获得最大功率的条件,而对导出的结论理解不深。若在做实验时对该条件加以验证,则可以在直观、生动的感性认识中深刻理解结论,即负载电阻过大或过小都会使它所消耗的功率减小,只有当其值等于网络的戴维南等效电阻时,它所消耗的功率值才最大,从而负载电阻才能获得电源传送的最大功率。再如,在实际教学中发现,学生在学习“耦合电感”内容时,一般总是被互感的“同名端”,打点“.”等较难理解的概念所困扰,从而在列写电路的回路或网孔方程时常常出错。教材中关于这部分文字说明肯定是重要的,但通过自己动手做实验,就会得到直接的实际经验,使理解更加深刻。

实验课的第二个重要意义在于:实际动手做实验的经验不仅有利于对课程内容本身的理解,更有助于实际工作能力的提高。

实验课的目的不在于使学生学会几个固定内容的实验,而在于给学生一个动手的机会,通过做实验使学生掌握一些基本的电路测量的知识和技能。使学生能正确地使用一些最基本的电工、电子测量仪器;使学生能将理论的分析方法和实际测量的手段结合起来,学会正确地选择测量仪器及进行必要的误差分析。学生参考有关的书籍和资料,自己动手去设计一个合理的试验电路是要求较高、较困难的题目。在条件允许的情况下,希望学生这方面的能力也有所培养和提高。

电路及磁路课的实验内容与后续电子技术基础课程的实验内容既有联系又有区别:前者侧重于对基本电路及磁路理论的“验证”,而后者则更侧重于对较复杂的电子电路的实际工作性能进行测量。在电路及磁路实验中培养的动手能力必定在以后的电子技术的实验中也十分有用。

本书共有十一个实验。在做实验之前,学生应根据实验内容仔细地阅读本实验指导书和附录部分,做好实验的预习以明确实验的目的与要求,弄清实验原理与电路,明了实验的操作方法与步骤,了解电路元件、仪器设备的性能和使用方法,以及实验的注意事项。实验时,必须亲自动手,认真做好接线、操作、测量和记录。对实验中出现的现象,应以科学的态度,认真思考和分析,作出正确的解释,对有疑问之处,应及时请教师指导。要注意安全,遵守实验室规则。实验之后,要认真整理、分析和总结数据结果,写好实验报告。实验报告应每人一份,目的是训练和培养对数据的处理和分析能力。在一份实验报告中通常应包括:实验目的、仪器设备、实验内容及电路图、实验数据记录和整理结果与分析,以及通过实验所得到的收获与体会等方面。通过以上步骤,以全面完成每一个实验任务,达到实验要求。

还应指出,本书是实验课的参考、指导书。各地电大的实验指导教师也可以根据实际情况,选择、调整或增加部分实验内容,以期达到更好的实验效果。

在本实验中带有“*”号的内容,实验指导教师可根据实际的实验条件,作为选做实验内容。

由于编写时间仓促又限于编者水平,书中的错误和不妥之处在所难免,敬请批评指正。

本书编写过程中承蒙中央广播电视大学李立群副教授指导并审阅全书,在此谨表示衷心的感谢。

编 者
1993.4

目 录

实验一	万用表和示波器的使用	(1)
实验二	电路元件伏安特性的测量	(4)
实验三	电路基本定律及定理的验证	(9)
实验四	实际电路元件 R 、 L 、 C 及 M 参数的测定	(14)
实验五	动态电路中过渡过程的研究	(17)
实验六	单相正弦交流电路的研究	(20)
实验七	动态电路频率特性的研究	(23)
实验八	三相电路的研究	(28)
实验九	提高电路功率因数的实验	(32)
实验十	耦合电感电路的研究	(35)
实验十一	磁路基本特性的研究	(38)
附录一	万用表的基本原理及使用要点	(41)
附录二	电压表及电流表在测量时正确接入电路的方法	(44)
附录三	通用双踪示波器的工作原理及应用要点	(45)
附录四	几种典型的周期性波形的峰-峰值 U_p 与有效值 U 之间的关系	(49)
附录五	选择电路的基本元件电阻器、电容器和电感器的要点	(50)
附录六	功率表的原理和使用要点	(52)
附录七	几种典型的构成磁路的铁芯材料的基本磁化曲线的数据表	(54)

实验一 万用表和示波器的使用

第一次实验需强调说明:本次实验与后面的各实验内容具有相对的独立性,它涉及后面各个实验中都要使用的基本测量仪器——指针式万用表及通用双踪示波器。只有真正熟悉了这两种基本测量仪器,在做实验时才能得心应手,省时省力,因此,学生应花较多的时间真正学会正确使用万用表特别是通用双踪示波器。

实验指导教师也可以根据实验的具体条件,设计本次实验内容,以期取得更好的实验效果。

在本次实验之前,学生一定要阅读本指导书后面的附录一至附录五的内容,了解万用表、示波器的正确使用要点,了解基本的测量误差理论和电路中常用元件选择的要点等知识。

一、实验目的

1. 掌握指针式万用表在测量线性电阻、直流电压、直流电流及正弦交流电压、电流的方法。
2. 掌握使用(通用双踪)示波器观察各种电信号波形的办法;掌握使用示波器来测量典型的周期性波形的峰-峰值和有效值的方法。

二、实验原理

1. 图 1-1 被测电路是由串、并联电阻元件和独立电压源构成的。用指针式万用表来测量电路时,应选择适当的欧姆档来测量各电阻元件的数值;选择适当的电压、电流档来测量各电阻元件两端的电压或流经电阻的电流。

应注意的是,一般有两种测量电流的方法:一种是直接测量方法,又称“钳子式”接入(见附录二),即把万用表(直流档)串入断开的电路两个节点之间。当电表的指针负向摆动时,应调换表的两个接线棒与电路断开节点的相对接触位置。第二种测量方法是间接测量电流。即测出电阻上的电压 U ,则由欧姆定律就可以算出流经的电流 $I = \frac{U}{R}$ (条件是采样电阻值 R 为已知)。

还应注意的是:在一个实际的电路测量时,若测某一个电阻元件的数值,则应将这个被测的电阻“孤立”出来,即不能与其他电阻并联构成回路。在构成回路时测出的电阻数值比实际电阻的数值小。

2. 示波器的主要工作原理及使用要点请阅读附录三内容或其他有关书籍、资料。

三、实验内容与步骤

实验原理图如图 1-1 所示。

电路元件的参考数值为

$$R_1 = 120\Omega, R_2 = 150\Omega, R_3 = 180\Omega$$

$$R_4 = 220\Omega, R_5 = 270\Omega, R_6 \text{ 约为 } 150\Omega, R_7 \text{ 约为 } 120\Omega。U_s \text{ 取 } 10V \text{ 或 } 12V \text{ 直流电压源。}$$

1. 用万用表测量电阻

用万用表的电阻档分别测量线性电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_5 以及可变电阻 R_6 和 R_7 的数值。考虑是将接线柱 A 打开还是闭合? 将被测的电阻数值填入表 1-1。

2. 用万用表测量直流电流

将接线柱 A 连接(闭合)。

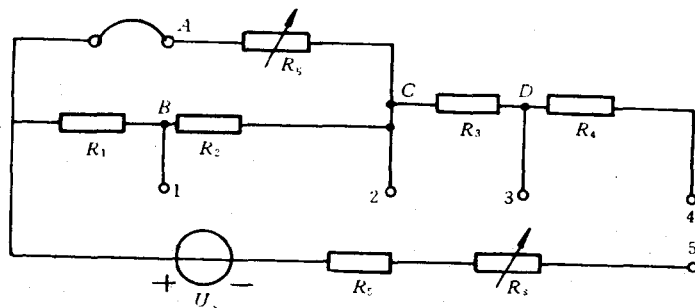


图 1-1

(1) 电流表构成回路测电流。用万用表(直流电流档)把电路中 1,5 两点相连接,测出 1,5 两点之间的电流 $I_{1,5}$ 。

(2) 电流表插入回路测电流。用导线将 2,5 点连接起来,构成回路。再用万用表(直流电流档)插入 A 点,测量流过电阻 R_5 的电流 I_A 。

3. 用万用表的直流电压档测电压

将接线柱 A 连接(闭合)。

(1) 将 3,5 两点用导线相连接起来,用万用表的直流电压档分别测出直流电压 U_{BC} 和 U_{BD} 及 U_{DC} 。

(2) 将 3,5 两点的连接断开,将 4,5 两点用导线连接起来,再测量 B、C 两点之间电压 U'_{BC} 、B、D 两点之间电压 U'_{BD} 和 D、C 两点之间电压 U'_{DC} ,将以上测量结果填入表 1-2。

表 1-1

电阻	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_8
数 值(Ω)							

表 1-2

被 测 量	$I_{1,5}$	I_A	U_{BC}	U_{BD}	U_{DC}	U'_{BC}	U'_{BD}	U'_{DC}
(mA)								
(V)								

4. 用示波器观察各种典型周期性波形

用信号发生器产生周期性的正弦交流波、脉冲波或方波等。将这些信号分别正确地接至垂直通道 Y_A 或 Y_B ;调节示波器的有关旋钮,直到荧光屏上显示出清晰、稳定的波形为止。

改变这些信号的频率,再重新调节示波器的“扫描时间”,跟踪观察。

将 Y_A 通道接入某种波形信号,如正弦波;另一通道 Y_B 接入另一种波形信号,如方波。调节垂直通道的有关旋钮,包括衰减或放大倍数,及“触发极性”、“触发电平”、“断续”、“交替”等

旋钮,观察波形的情况。

注意:方波脉冲信号一般可以由示波器本身的方波输出端输出。

5. 对以上正弦交流、脉冲方波等电压信号用示波器测出峰-峰值电压 U_p ,用附录四中的有关公式折算出有关的有效值 U ;再用万用表的交流电压档测量以上信号,从而得出用万用表的交流档只能测量出正弦交流波的有效值,而不能正确地测量出其他周期性波形有效值的结论(在观察时应记录有关的数据)。

四、实验设备

1. 直流电路实验板一块(按图 1-1 电路中的元件及电源要求配置)。
2. 指针式数字万用表一块。
3. 信号发生器一台:可产生不同频率的(幅度可调的)正弦交流波、脉冲方波等信号。
4. 通用双踪示波器一台。

五、实验报告

1. 交表 1-1 和表 1-2 测量的结果。
2. 交所记录的用示波器观察典型周期性信号峰-峰值 U_p 和折算的有效值 U 及对应的万用表测出的有效值。
3. 总结这次实验所得的收获。

六、思考及小结

1. 当用万用表测量电阻数值时,图 1-1 电路中的接线钮 A 闭合或断开时,会影响哪几个被测电阻的测量结果?当学习了串、并联计算之后,试用理论来解释接线钮 A 的闭合或断开造成的影响。

2. 如何用间接测量电流法来测出(计算出)电流 $I_{1.5}$ 和电流 I_A ?

* 3. 与 U'_{BC} , U'_{BD} 和 U'_{DC} 比较,解释 U_{BC} , U_{BD} , U_{DC} 产生变化的原因,是变大还是变小?

4. 自己体会并及时总结正确调节示波器主要旋钮的方法。

实验二 电路元件伏安特性的测量

一、实验目的

1. 加深理解线性电阻的伏安特性与电流、电压的参考方向、关联参考方向的联系。
2. 测量非线性电阻元件如二极管的伏安特性。
3. 加深对电源特性的理解。测量理想的直流电压源、非理想的含内阻的直流电压源、非理想直流电流源的伏安特性。

二、实验原理

1. 线性和非线性电阻元件的伏安特性

一个线性电阻元件 R 的伏安特性(元件定义式)为 $U=RI$ (欧姆定律)。公式应用的条件是电流 I 与电压 U 的参考方向一致(即取关联参考方向)。若 U 的单位为伏特(V), I 的单位为安培(A), 则 R 的单位为欧姆(Ω)。

在电压 U 与电流 I 的参考方向不一致时, 即在非关联参考方向时, 应用公式 $U=-RI$ 来计算。

在实际的电路测量中, 总是利用公式 $U=RI$ 来计算电阻值的。在测量电压 U 和电流 I 时, 指针式仪表测出的读数总是正的值, 其含义是 U 与 I 取关联参考方向。在测量 U 或 I 时, 若指针式仪表的表针反偏, 就要调转测试棒(探头)的位置, 使表的指针正偏读数, 再用公式 $R=\frac{U}{I}$ 计算出电阻 R 的数值来。

在电路中插入电流表(或万用表用电流档)测电流 I 及在元件两端接上电压表(或万用表用电压档)测出电压 U , 进而由公式 $R=\frac{U}{I}$ 求电阻值, 即是电路含电源处于工作状态下“在线”测量电阻值。若对一组变化的电压源 U 值和对应的电流 I 值得到的电阻值 $R=\frac{U}{I}$ 是一个常数, 那么该元件在工作范围内就是一个线性电阻; 若非常数, 则该元件是非线性电阻。非线性电阻元件可以由数学表达式来描述其伏安特性(例如 2-1 式), 也可以用一组 $U \sim I$ 值或曲线来描述非线性电阻的伏安特性。

万用表的欧姆档只能在某一个特定的 U 和 I 下测出对应的电阻值, 因而不能测出非线性电阻的伏安特性, 而且在测量电阻值时不能处于“在线”状态, 而只能是在被测电阻处于与其他元件不构成回路的“断开”或“孤立”的状态下进行。

非线性电阻的典型元件是二极管。

当二极管 D 上的电压 U 及电流 I 关联参考方向时(指针式仪表测出的 U 和 I 都由表指针正偏正常读数), 其伏安特性如公式(2-1)定义。

$$I=I_s(e^{aV}-1) \quad (2-1)$$

式中 I_s 和 a 都是常数。

(2-1)式表明非线性电阻二极管 D 的伏安特性与线性电阻 $I=\frac{U}{R}$ 的伏安特性有完全不同的表达方式。两种元件的伏安特性曲线如图 2-1 和图 2-2 所示。

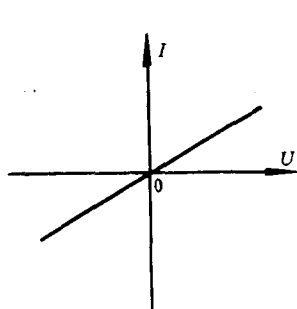


图 2-1 线性电阻

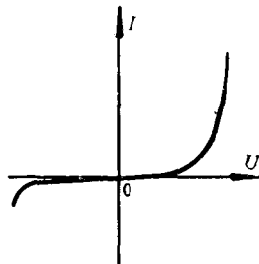


图 2-2 非线性电阻

在一个实际的电子电路中,仅由电源和线性电阻只能构成“电平移动”电路,这种情形并不多见。而非线性器件却常常有着广泛的使用,例如万用表中的非线性元件二极管就起着整流作用,将被测的交流信号变换成直流量来测量。

2. 理想和理想电压源及电流源的伏安特性

(1)理想的电压源 U_s 的伏安特性是:电压源两端的电压数值是恒定的,与流过 U_s 的电流 I 的大小、方向无关; I 是由 U_s 以及 U_s 以外的外电路共同决定的。所以其伏安特性可以由横轴为电流 I ,纵轴为电压 U 的坐标系中的一条与 I 轴平行的、高度为数值 U_s 的直线来描述(见图 2-3)。

非理想的电压源是由理想电压源 U_s 和电阻(内阻) R_s 串联构成的电源,如(2-2)式定义:

$$U = U_s - IR_s \quad (2-2)$$

(2-2)式定义的伏安特性曲线比理想电压源特性曲线有一个下倾,见图 2-4。曲线下倾的含义是:非理想的电压源两端的电压不再如理想电压源一样总是恒定值了,而是随着非理想电压源输出电流 I 的增加有所下降。一个实际的电压源总是含有一定的内阻,而一个质量高的电压源总是将内阻做得很小,接近理想电压源。非理想电压源的端口电压数值可以由 U_s 对内阻 R_s 和外电阻的分压公式计算出来。

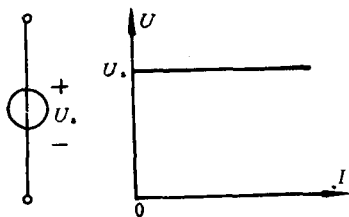


图 2-3

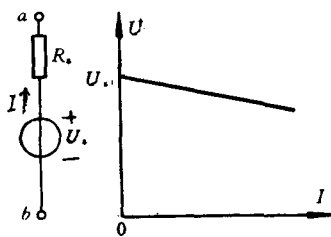


图 2-4

(2)理想电流源 I_s 的伏安特性是:流出电流源的电流 I_s 的数值是恒定的,与其上两端所加

的电压 U 的数值无关; U 的数值是由 I_s 和外电路共同决定的。所以其伏安特性是由横轴为电压 U , 纵轴为电流 I 的坐标系中与 U 轴平行、高度为 I_s 的直线来描述的(见图 2-5)。

非理想电流源是由理想电流源 I_s 与电阻(内阻) R_s 并联构成的, 其伏安特性曲线比理想电流源曲线有一个下倾(见图 2-6), 输出到外电路的电流由 I_s 对内阻 R_s 和外电阻上的分流公式计算出来。

一个质量高的电流源总是将内阻 R_s 的值做得很大, 因而对外电路的输出电流可以基本为恒定值, 接近理想电流源的伏安特性。

非理想的电压源(U_s 、 R_s)与非理想的电流源(I_s 、 R_s)之间的等效变换公式为

$$U_s = I_s R_s$$

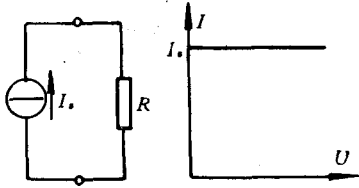


图 2-5

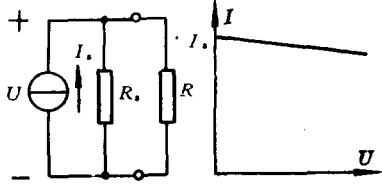


图 2-6

三、实验内容及步骤

1. 测量线性电阻 R 的伏安特性

按图 2-7 原理图接线。元件参考数值: $R_s = 470\Omega$, $R = 560\Omega$, 调直流电压源为 $U_s = 0 \sim 12V$ 。

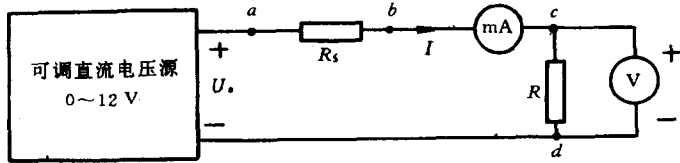


图 2-7

调节电压源 U_s 的数值, 测出对应的电流表中的电流 I 数值, 填入表 2-1 中。验证在以上三个测量值下由公式 $R = \frac{U}{I}$ 计算出的电阻数值与用万用表的欧姆档测出的电阻 R 的数值是一样的(注意在万用表测量时, R 与其他元件不能形成回路)。

表 2-1

$U(V)$	3	5	10
$I(mA)$			
$R = \frac{U}{I}(\Omega)$			

* 当使用数字式万用表的电压档代替指针式电压表测量电压, 接线方式使得数字式万用表的电压读数为负值时, 应当利用电压与电流非关联参考方向的公式 $R = -\frac{U}{I}$ 来计算电阻的数值(正值)。

2. 测量二极管 D 的伏安特性

在图 2-7 试验原理电路中,将电阻 R 用一个二极管(例如 2AP14 或发光二极管)代替。二极管的“+”极或发光二极管的“长腿”接电路中的 c 点,“-”极或“短腿”接到电路中的 d 点,使二极管在电路中加入适当正向偏置电压后能正向导通。

若采用 2AP14 型二极管,则其两端的电压值在 0.1 至 0.35V 之间时,正向工作电流有较大的变化;若采用发光二极管,则其两端的电压值在 0.5 至 2.5V 之间时,正向工作电流有较大的变化。根据以上电压变动的范围,调节电压源 U_s ,测出二极管上的电压 U 和流过的电流 I ,填入表 2-2 中。

注意:①当二极管上的电压 U 值很小时,电流表的读数可能很小。②为了便于给出伏安特性曲线,应在曲线的弯曲部分适当地多取几个测量点。

表 2-2

$U(V)$	0	0.1						
$I(mA)$								

3. 测量理想直流电源的伏安特性

对图 2-7 试验原理电路,将电阻 R 用一个可变电阻 R_g (R_g 约 500 Ω 左右),并将电压表(交流档或万用表)由 c, d 点改接为 a, d 两点之间(测电压源的电压)。

固定直流电压源为一个数值 U_s 不变,例如 $U_s=6V$ 。调节可变电阻 R_g ,使电流表中的读数 I 变化,将相应的电压表读数 U ,填入表 2-3 中。对于理想的电压源,其电压输出值 U_s 应基本上为恒定值,不随外电阻 R_g 或流过电压源的电流 I 的变化而波动。

表 2-3

$I(mA)$	0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
$U_s(V)$	6					

4. 测量非理想电压源(U_s, R_s)的伏安特性

将刚做完的第 3 项试验内容的电压表由 a, d 两点改接在 b, d 两点,这样电压表测出的电压是把电阻 $R_s=470\Omega$ 当成内阻而构成的非理想电压源输出的电压 U_{bd} ,将测量结果填入表 2-4 中。

表 2-4

$I(mA)$	0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
$U_{bd}(V)$	6						

5. 测量非理想电流源的伏安特性

在图 2-7 试验原理电路中取元件参考值为: $R_s=1M\Omega=10^6\Omega$; R 为可调电阻 R_g ,数值约为 820k Ω 。电压源 $U_s=12V$ 。 b, c 两点之间的电流表由 mA 级改为 μA 级(或用间接测量法测电

流,即测电阻上的电压 U ,并计算出 $I = \frac{U}{R}$ 。用电压表测 c, d 两端的电压 U_{cd} 。

如上构成的电路,可以看成是一个内阻为 $R_s = 1\text{M}\Omega$, $I_s = \frac{U_s}{R_s} = \frac{12\text{V}}{1\text{M}\Omega} = 12\mu\text{A}$ 并联构成的非理想电流源。该电流源输出的电流(电流表所测值)随输出电压值(电压表所测值)的改变(用调 R_g 改变)而有一定的变动(下倾)。

由大到小逐步调节 R_g ,得到如表 2-5 中的电压 U_{cd} 值,测量并记录电流表中的电流值 I (μA),填入表 2-5 中。

表 2-5

$U_{cd}(\text{V})$	5.0	4.0	3.0	2.0
$I(\mu\text{A})$				

四、实验设备

1. 实验线路板一块,按原理图 2-7 配置。
2. 可调电阻约 560Ω 、 $820\text{k}\Omega$ 两只;固定电阻 470Ω 、 560Ω 、 $1\text{M}\Omega$ 三只;二极管 2AP14 型或发光二极管一只。
3. 可调直流电压源 $0\sim 12\text{V}$ 一台。
4. 直流电压表一块, mA 级电流表一块。
5. μA 极电流表一块。

五、实验报告

1. 交表 2-1、2-2、2-3、2-4、2-5 的测量记录,及进行适当的解释。
2. 绘制表 2-2 二极管的正向工作特性曲线(伏安关系曲线)。
3. 绘制表 2-4 非理想电压源 U_{bd} 与电流 I 的伏安关系曲线。
4. 总结这次实验所得收获。

六、选做实验内容

在有条件的地方,由实验指导教师来安排或演示以下的实验内容。

1. 教会学生如何设计简单的试验电路,包括元件的选择,接线及有关实际经验。
2. 测试三极管在某一工作点时的静态电阻 r_{be} 和动态电阻值,分析其几何意义。
3. 测定三极管在一组 I_b 下对应的 I_c 的特性曲线,从而理解三极管是一个受控源。
4. 讲述并演示稳压管的工作原理和伏安特性曲线。

实验三 电路基本定律及定理的验证

一、实验目的

对已经学过的电路基本的定律及定理进行验证,从而加深对定律及定理的理解;对未学过的电路基本定理通过实验获得感性认识,从而起到“预习”的目的。

1. 对基尔霍夫电流定律 KCL 和电压定律 KVL 进行验证。
2. 对迭加定理进行验证(直流电路情况),并加深理解:迭加定理只能用于线性电路而不适用于非线性电路。
3. 测量并求出戴维南等效电路(直流电路情况)。
4. 验证最大功率传输条件(直流电路情况)。
5. 明确在实际测量中必然会有一定误差,学会对产生的误差分析、计算。

二、实验原理

1. 基尔霍夫电流定律 KCL 和电压定律 KVL

KCL 和 KVL 是电路分析理论中最重要的基本定律,适用于线性电路、非线性电路、时变或非时变电路的分析计算;适用于时域(电流表示为 $i(t)$)或其他域(如频域、 s 域)电路的分析计算。

KCL 和 KVL 是对于电路中各支路的电流或电压的一种约束关系,这种约束关系与电路中具体元件的伏安约束关系不同:前者是一种“电路结构”或“拓扑”的约束,与具体元件无关;而后者元件伏安约束关系(即伏安特性)描述的是元件的具体特性,而与电路的结构(即电路中的节点数目、回路数目及连接方式)无关。正是由于将基尔霍夫定律与元件的伏安特性结合,才能演生出多种多样的电路分析方法(如节点法和网孔法等),所以,通过实验来加深对基尔霍夫定律的理解,对学习电路分析课程是十分有帮助的。

KCL 指出:在电路中,在任何时刻,流进和流出任何一个节点的电流代数和为零,即(3-1)式。

$$\sum i(t) = 0 \quad \text{或} \quad \sum I = 0 \text{ (直流电路)} \quad (3-1)$$

KVL 指出:在电路中,在任何时刻,任何一个回路或网孔的电压降的代数和为零,即(3-2)式。

$$\sum u(t) = 0 \quad \text{或} \quad \sum U = 0 \text{ (直流电路)} \quad (3-2)$$

2. 迭加定律

在线性电路中,任何一个支路的电流或电压都是电路中每一个电源(独立电流源或独立电压源)在单独作用时在该支路所产生的电流或电压的代数和。某独立电源单独作用是指:在电路中将该独立电源之外将其他独立电源“去掉”:即独立电压源用短路取代(实际电路中是将电压源取走后用一根导线在原电压源输出端短路);独立电流源用开路取代(实际电路中是取走电流源);受控源保持不变。

对于非线性电路,如含二极管非线性元件电路,迭加定理不适用。

迭加定理一般不适用于“功率的迭加”。即功率 P 的计算应该是 $P = (\sum I)(\sum U)$ 而不是 $P =$

ΣUI 。(“ Σ ”表示迭加作用)

3. 戴维南定理

戴维南定理与诺顿定理在电路分析中是一对“对偶”的定理,但戴维南定理在电路的理论分析和实际电路的测量中似乎被提及和使用得更普遍一些。

戴维南定理一般用于在电路分析时将电路中的一个复杂部分等效为一个简单的含独立电压源 U_{∞} 及串联电阻 R_s 组成的戴维南等效电路。该等效电路是对于分析“外电路”有效的,特别是当外电路是一个变化的负载情形。

戴维南定理是:在一个电路中,任何一个线性的二端网络(有源或无源)可以用由此二端网络的开路电压 U_{∞} 和等效内阻 R_s 串联组成的戴维南等效电路来代替;该等效电路对于分析此二端网络以外的外电路有效。

4. 最大功率传输条件

在电子技术中,常常需要在负载电阻 R_L 上获得电源传递的最大功率。负载电阻 R_L 的数值过大或过小都不能获得最大的功率。当把负载电阻 R_L 以外的电路用戴维南等效电路取代时,若负载电阻 R_L 等于戴维南等效电路的内阻 R_s 时,即 $R_L = R_s$,则负载电阻 R_L 上恰巧可获得电源传递的最大功率 $P_{\max}$,其值为

$$P_{\max} = I^2 R_L = \left(\frac{U_{\infty}}{R_s + R_L} \right)^2 \cdot R_L = \left(\frac{U_{\infty}}{2R_L} \right)^2 \cdot R_L = \frac{1}{4} \cdot \frac{U_{\infty}^2}{R_L} \quad (3-3)$$

5. 关于实际测量中的误差处理

在测量中由于有各种不可预见(如元件值随温度而变化)或不可克服(如测量仪表的精度限制)等原因,会出现实际测量的值与理论计算的值不完全符合的情况。误差的出现有时是难以完全避免的。即使是理论的计算,也会由于舍取有效位数的不适当而产生一定的误差。在实际测量工作中,应尽可能地利用合理的测试手段,达到在现有的条件下使产生的误差最小;当有一定测量误差时,也能做到对产生的误差原因心中有数,并能正确分析、估算误差值。

若设 x' 为测量值(x' 可能含有误差),而 x_0 是真实的值, Δx 表示绝对误差,则

$$\Delta x = x' - x_0 \quad (3-4)$$

一般用(3-5)式相对误差 γ 来衡量误差的影响程度:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (3-5)$$

由于一般真值 x_0 是不知道的,所以实用的相对误差的计算公式为

$$\gamma = \frac{x(\text{标称值}) - x_0(\text{实测值})}{x_0(\text{实测值})} \times 100\% \quad (3-6)$$

应该能看懂仪器上标出的误差的含义。一个仪器的准确度有时是用相对误差和绝对误差两种形式混合表达的。例如,某信号发生器产生的脉冲电压信号的宽度为 $0.4\mu\text{s} \sim 10\mu\text{s}$,共有 20 档。误差表示为量程档值 $\times (\pm 10\%) \pm 0.025\mu\text{s}$ 。其中, $\pm 10\%$ 是相对误差,而 $\pm 0.025\mu\text{s}$ 是绝对误差部分。例如,使用 $5\mu\text{s}$ 档时,可能产生的真实脉冲宽度为

$$5\mu\text{s} \times (\pm 10\%) \pm 0.025\mu\text{s}$$

即脉冲宽度在 $4.475\mu\text{s}$ 至 $5.525\mu\text{s}$ 之间。

在上例的计算过程可以看出,当输出的值(绝对值)较小时,绝对误差部分起主要作用,而当输出值(绝对值)较大时,相对误差部分起了主要作用。

三、实验内容及步骤

实验原理图如图 3-1 所示。

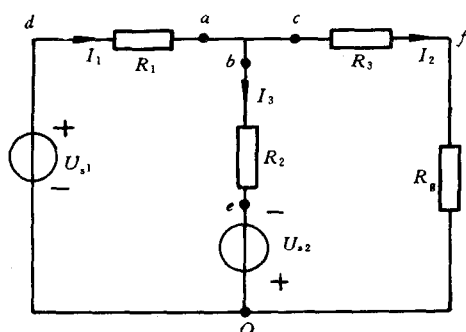


图 3-1

电路中的元件参考数值为

$$R_1 = 22\Omega, R_2 = 68\Omega, R_3 = 47\Omega, R_4 = 56\Omega, U_{s1} = 10V, U_{s2} = 6V$$

1. KCL 及 KVL 的验证

分别断开电路中的 a 点、 b 点和 c 点,将电流表分别插入电路中,分别测出电流 I_1 、 I_2 和 I_3 的数值(或用间接测量电流的方法:用欧姆表准确测出 R_1 、 R_2 、 R_3 的数值;再用电压表测出这三个电阻上的电压,进而计算出电流值)将测出的电流值填入表 3-1 中,并计算绝对误差

$$\Delta x = \text{标称值} - \text{实测值}$$

和相对误差

$$\gamma = \frac{\text{标称值} - \text{实测值}}{\text{实测值}} \times 100\%$$

在计算时,标称值是指按图 3-1 电路电源及元件标出值而计算出的 I_1 、 I_2 、 I_3 值($I_1 = 216\text{mA}$, $I_2 = 50.9\text{mA}$, $I_3 = 165\text{mA}$)。

表 3-1

	标称值	测量值	绝对误差 Δx	相对误差 γ
$I_1(\text{mA})$	216			
$I_2(\text{mA})$	50.9			
$I_3(\text{mA})$	165			

测量电压值 U_{cd} 、 U_{fo} 和 U_{cd} 及 U_{do} 、 U_{be} 、 U_{eo} ,从而验证 KVL 公式 $\sum U = 0$ 基本成立,即

$$U_{cd} + U_{fo} \approx U_{cd} + U_{do} \approx U_{ce} + U_{eo}$$

2. 迭加定理的验证

让 $U_{s1} = 10V$ 单独作用(令 $U_{s2} = 0$,即将独立电压源 U_{s2} 拿掉或关机,将 e 、 o 之间用一根导线短路连接),测出 d 、 c 之间的电流 I_1' ;再让 $U_{s2} = 6V$ 单独作用,测出 d 、 c 之间的电流 I_1'' ,将 I_1' 和 I_1'' 填入表 3-2 中。