

电路分析实验指导书

北京理工大学二系204教研室

中央广播电视大学出版社

(京)新登字163号

电路分析实验指导书

北京理工大学二系204教研室

中央广播电视大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

一二〇二工厂印装

开本787×1092 1/16 印张3.25 千字87

1987年1月第1版 1992年10月第6次印刷

印数: 110001~120000

定 价: 1.65元

ISBN 7-304-00190-9/TM·8



目 录

实验的要求与须知	2
实验一 元件伏安特性的测定	3
附录一 JWY—30B 晶体管稳压电源使用说明	8
实验二 基尔霍夫定律	9
实验三 电源的等效变换	10
实验四 受控源的研究	13
实验五 代文宁定理 迭加定理	16
实验六 示波器和信号发生器的使用	19
附录二 SBE—7 双踪示波器简介	22
附录三 XC16 脉冲信号发生器使用说明	33
附录四 XD1 信号发生器使用说明	34
实验七 一阶网络的零输入响应和零状态响应	37
实验八 二阶网络的零输入响应和零状态响应	41
实验九 正弦交流电路中 RLC 元件的性能	43
附录五 GB—9B 真空管毫伏表使用说明	45
实验十 RLC 串联谐振电路	47
实验十一 改善功率因数的实验	49
实验十二 三相交流电路	51

电路分析实验指导书

北京理工大学二系204教研室

实验的要求与须知

电路分析基础实验是教学过程中必不可少的重要的实践性环节。其目的是通过实验和实际操作,获得必要的感性认识,进一步掌握和巩固所学的理论知识;学习常用仪器,仪表的使用方法;培养学生的实验技能;提高独立分析和解决问题的能力;学会处理实验数据,分析实验结果,编写实验报告;培养严肃认真,实事求是的科学作风和爱护公共财物的优良品质。

为了使做好每次实验,达到预期的目的,现将实验工作的一般要求简述如下。

一、实验前的准备

每次实验前,必须仔细阅读实验指导书和有关的理论知识,弄清实验原理,明确本次实验的目的和任务。看懂实验线路,熟悉实验步骤和操作程序,了解实验设备及所需仪器的技术性能。准备好记录实验数据的表格。要牢记实验中应注意的问题,以防在实验过程中损坏仪表和设备。

实验前同组学生应有明确的分工,分别担任接线、查线、操作和记录等项工作,使实验工作得以顺利进行。

二、实验工作

这是实验过程中最主要的步骤,对实验效果影响很大,必须认真进行。

1. 接线

接线前应适当安排好实验设备和仪器仪表的位置,一般以便于接线、操作和读数为原则。接线应安排的清楚整齐,导线的粗细长短要适当,接线柱要拧紧,每个接线柱上不应连接三根以上的导线。

2. 查线

线路接好以后,本组学生首先检查线路的连接是否正确,然后请教师检查,经教师检查无误后方可接通电源进行实验。

为了保证实验结果的正确,检查线路后应大致试作一遍。试作时不必仔细读取数据,其目的在于:观察各被测量变化的情况,仪表量程是否适合,设备的操作是否方便和是否出现异常现象。如遇异常现象,应立即切断电源,找出原因及时处理。

3. 实验

试作无问题后可以开始正式实验。按照实验步骤和内容,有目的地调整参数,读取数时应仔细准确,并注意观察、分析各仪器读数的相互关系。实验数据应及时记录在事先准备好的表格中。实验数据不要随意涂改,如发现数据有误,可重新测量,以便发现问题。

测量某一特性曲线时,在曲线的弯曲部分应多取几个测量点,曲线较平滑部分可少取几个测量点。

实验过程中,不要只埋头于操作和读数,应随时观察线路和仪表的各种现象,如有发热、发光、声音、气味等异常现象,应立即切断电源检查故障原因。

实验过程中,严禁触摸金属裸露部分,即使在低电压情况下也不例外,养成良好的习惯,确保人身安全。

实验工作结束后先断开电源,暂不拆线,认真检查实验内容和实验结果,确认没有遗漏和错误之后请教师检查签字,再拆除实验线路。

全部实验内容结束后,应将实验设备复归原位,整理导线,清整实验桌面。

三、实验报告的编写

编写实验报告是将实验结果进行归纳总结、分析和提高的阶段。学生在每次实验课后都应独立完成这一工作,实验报告内容应包括

1. 实验名称 _____

实验日期 _____

班级和姓名 _____

同组者姓名 _____

2. 实验目的和实验线路。

3. 实验所观察到的现象;根据实验原始记录整理而成的数据表格、曲线、波形和计算数据等等。

曲线和波形要画在坐标纸上,选取比例尺要适当,坐标轴要注明物理量的单位;曲线绘制时,不必强求通过所有测量点,必要时应使用曲线板绘制,以使曲线光滑均匀。

4. 对实验结果进行讨论分析。如:是否达到实验的目的和要求;有何收获;实验中产生误差的原因;回答问题以及对实验的改进意见等。

实验中如有故障发生,应在报告中写明故障现象,分析故障产生的原因,阐明排除故障的措施和方法,吸取教训,提高实验技能。

实验一 元件伏安特性的测定

一、实验目的

1. 学习直读式仪表和晶体管稳压电源等设备的使用方法。
2. 掌握线性电阻元件、非线性电阻元件——半导体二极管以及电压源的伏安特性的测试技能。
3. 加深对线性电阻元件、非线性电阻元件及电压源伏安特性的理解。验证欧姆定律。

二、原理

1. 电阻元件:

电阻元件是一种对电流呈现阻力的元件,有阻碍电流流动的性能。当电流通过电阻元件

时,必然要消耗能量,就会沿着电流流动的方向产生电压降。电压降的大小等于电流的大小与电阻的乘积。电压降和电流及电阻的这一关系称为欧姆定律

$$U = IR \quad (1-1)$$

上式的前提条件是电压 U 和电流 I 的参考方向相关联,亦即参考方向一致。如果参考方向相反,则欧姆定律的形式应为

$$U = -IR \quad (1-2)$$

电阻上的电压和流过它的电流是同时并存的,也就是说,任何时刻电阻两端的电压降只由该时刻流过电阻的电流所确定,与过去的电流的大小无关。因此电阻元件又称做“无记忆”元件。

当电阻元件 R 的值不随电压或电流的大小的变化而改变时,则电阻 R 两端的电压与流过它的电流成正比例。我们把符合这种条件的电阻元件称为线性电阻元件。反之,不符合上述条件的电阻元件被叫做非线性电阻元件。

电阻元件的特性除了用电压和电流的方程式表示之外,还可以用其电流和电压的关系图来表示,该图形称为此元件的伏安特性曲线。线性电阻的伏安特性曲线为一条通过坐标原点的直线,该直线的斜率即为电阻值,它是一个常数。如图 1-1 所示。

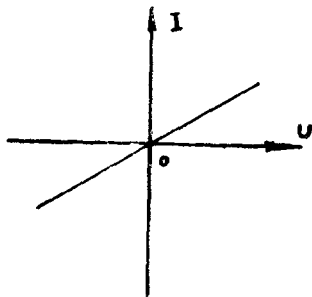


图 1-1

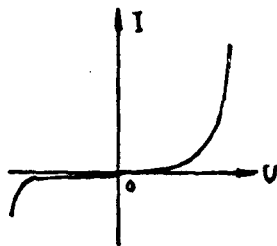


图 1-2

半导体二极管是一种非线性电阻元件。它的电阻值随着流过它的电流的大小而变化。半导体二极管的电路符号用 $\circ - \triangleright | - \circ$ 表示,其伏安特性如图 1-2 所示。由图可见半导体二极管的伏安特性曲线对于坐标原点是非对称的。理想半导体二极管的特性方程式可以用下式表示

$$I = I_s (e^{qV/kT} - 1) \quad (1-3)$$

式中, I 为流过半导体二极管的电流(安); I_s 为反向饱和电流(安);

q 为电子的电荷量 1.6×10^{-19} (库);

k 为波尔兹曼常数 1.38×10^{-23} (焦耳/K),

T 为绝对温度(K)。

对比图 1-1 和图 1-2 可以发现,线性电阻的伏安特性对称于坐标原点,这种性质称为双向性,为所有线性电阻元件所具备。半导体二极管的伏安特性不但是非线性的而且对于坐标原点来说是非对称性的,又称非双向性。这种性质为大多数非线性电阻元件所具备。半导体二极管的电阻随着其端电压的大小和极性的不同而不同,当外加电压的极性和二极管的极性相同时,其电阻值很小;反之二极管的电阻很大。半导体二极管的这一性能称为单向导电性,利用单向导电性可以把交流电变换成为直流电。

2 电压源: 能够保持其端电压为恒定值的电压源称为理想电压源。理想电压源具有下

列性质: 第一, 其端电压和流过它的电流大小无关。第二, 流过理想电压源的电流并不由电压源本身决定, 而是由与之相联接的外电路所确定的。理想电压源的伏安特性曲线如图 1-3(a) 所示。理想电压源实际上是不存在的, 实际电压源总是具有一定大小的内阻, 因此实际电压源可以用一个理想电压源和一个电阻相串联来表示。当电压源中有电流流过时, 必然会在内阻上产生电压降, 因此, 实际电压源的端电压 U 可表示为:

$$U = U_s - IR_s \quad (1-4)$$

式中, I 为流过电压源的电流, U_s 为理想电压源的电压, R_s 为电压源的内阻。由(1-4)式可得实际电压源的伏安特性如图 1-3(b) 所示。

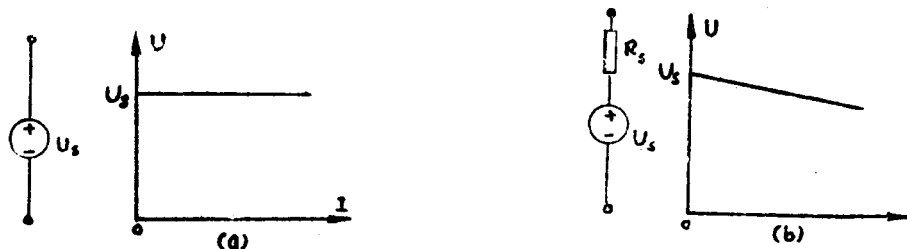


图 1-3

显然, 实际电压源的内阻 R_s 越小, 其特性越接近于理想电压源。本次实验所采用的晶体管直流稳压电源, 其伏安特性非常接近于理想电压源, 当通过它的电流在规定范围变化时, 可以认为是理想电压源。

3. 电压和电流的测量: 在测量某一支路的电压和电流时, 除应根据技术要求正确选择电流表和电压表的规格、精度和量程外, 在接线时应把电流表和电压表接在电路的正确位置上; 如果仪表位置不当也会造成较大的测量误差。例如, 在测量图 1-4 中的 R_3 支路的电流和电压时, 伏特表在线路中的连接方法有两种可供选择, 如图中的 A 点和 B 点。在 A 处, 电流表的读数为流过 R_3 的电流值, 而电压表的读数不仅会有 R_3 上的电压降, 而且含有电流表内阻上的电压降, 因此, 电压表的读数较实际值为高。当电压表接在 B 处时, 电压表的读数为 R_3 上的电压降, 而电流表的读数除含有 R_3 的电流外, 还含有流过电压表的电流值, 因此, 电流表的读数较实际值来得大。显而易见, 当 R_3 的阻值比电流表的内阻大得多时, 电压表宜于接在 A 处; 当电压表的内阻比 R_3 的阻值大的多时, 则电压表的测量位置应选择在 B 处。实际测量时, 某一支路的电阻常常是未知的, 因此, 测量时电压表的位置可以由实验方法选定。测量时可分别在 A 、 B 两点试一试; 如这两种接法电压表的读数差别很小或无甚差别, 即可接在 A 点。如果两种接法电流表的读数差别很小或无甚区别, 即可接在 B 点。若两种接法, 电流表和电压表的读数

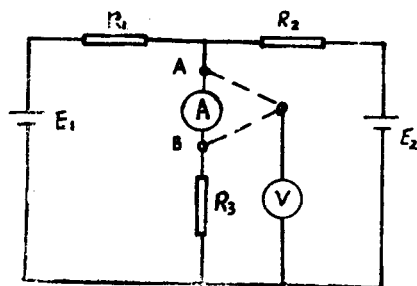


图 1-4

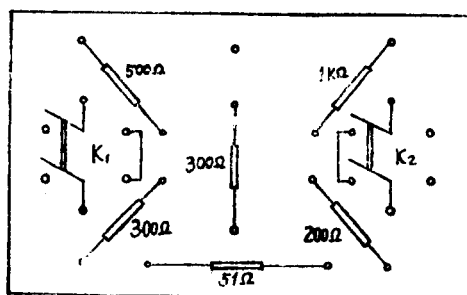


图 1-5

均无甚差别,则电压表接于A点或B点均可。

三、实验内容及步骤

1. 测定线性电阻的伏安特性

本实验在直流电路实验板(一)上进行,其板面布置如图 1-5 所示。

取实验板(一)上 $R=1000\Omega$ 电阻作为被测元件,并按图 1-6 接好线路。经检查无误后,打开直流稳压电源开关。依次调节直流稳压电源的输出电压为表 1-1 中所列数值,并将相对应的电流值记录在表 1-1 中。

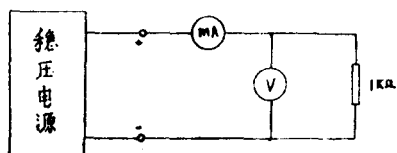


图 1-6

表 1-1

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

2. 测定半导体二极管的伏安特性

实验选用 2AP14 型普通半导体二极管作为被测元件。2AP14 型半导体二极管的主要参数: 最大平均整流电流 $I_F=30mA$, 最高反向工作电压 $U_R=30V$ 。实验线路如图 1-7(a)、(b) 所示。图中 R 为可变电阻器用以调节电压, r 为限流电阻, 用以保护二极管。在测量二极管的反向特性时, 由于二极管的反向电阻很大, 流过它的电流很小, 故电流表选用直流微安表。

(1) 正向特性: 按图 1-7(a)接好线路。经检查无误后, 开启稳压电源, 输出电压调至 2V。调节可变电阻器 R , 使电压表读数分别为表 1-2 中数值, 并将相对应的电流表读数记于表 1-2 中。为了便于作图在曲线弯曲部分可适当多取几个测量点。

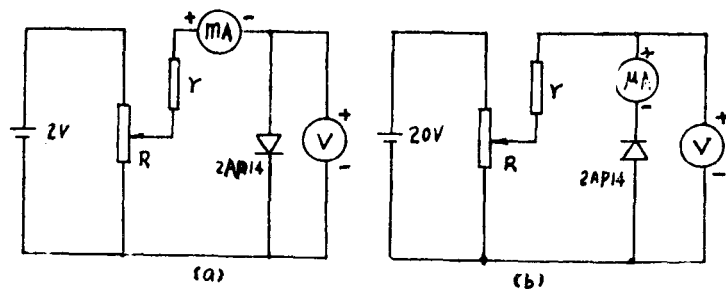


图 1-7

表 1-2

$U(V)$	0	0.1	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
$I(mA)$							

(2) 反向特性: 按图 1-7(b)接好线路。经检查无误后, 开启稳压电源, 将其输出电压调至 20V。调节可变电阻器使电压的读数分别为表 1-3 中所列数值, 并将相应的电流值记入表 1-3 中。

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

3. 测定直流稳压电源的伏安特性

实验采用 JWY—30B 晶体管稳压电源作为理想电压源。其内阻 $R_i \leq 30m\Omega$ ，在和外电路电阻相比其内阻可以忽略不计的情况下，其输出电压基本维持不变，因此可以把晶体管稳压电源视为理想电压源。实验电路如图 1-8 所示。其中 $R_1 = 200\Omega$ 为限流电阻， R_2 为 1000Ω 可变电阻器。

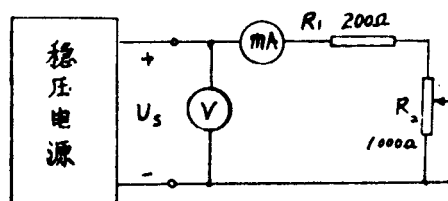


图 1-8

按图 1-8 接好线路，启动晶体管稳压电源，并调节输出电压 U_s 等于 10V。由大到小调节可变电阻器 R_2 使电流表读数分别为表 1-4 中数据，将相应的电压表读数填入表 1-4 中。

表 1-4

$I(mA)$	0	10	20	30	40	50
$U_s(V)$	10					

4. 测定电压源的伏安特性

在实验板(一)上选取一个 51Ω 电阻作为晶体管稳压电源的内阻，与稳压电源相串联组成一个实际的电压源模型。其实验电路如图 1-9 所示。其中 R 为 1000Ω 可变电阻器。

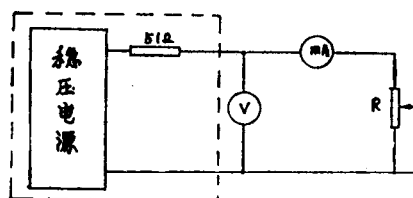


图 1-9

实验步骤与前项相同，所得数据填入表 1-5。

表 1-5

$I(mA)$	0	40	80	120	160	180
$U(V)$	10					

四、仪器设备

晶体管稳压电源 一台；直流电压表 一只；万用表 一只；可变电阻器(1000Ω) 一只；直流电路实验板(一) 一块。

五、实验报告

1. 实验报告要按示范规格编写。

2. 根据实验中所得数据,在坐标纸上绘制线性电阻、半导体二极管、理想电压源和实际电压源的伏安特性曲线。

3. 分析实验结果,并得出相应结论。

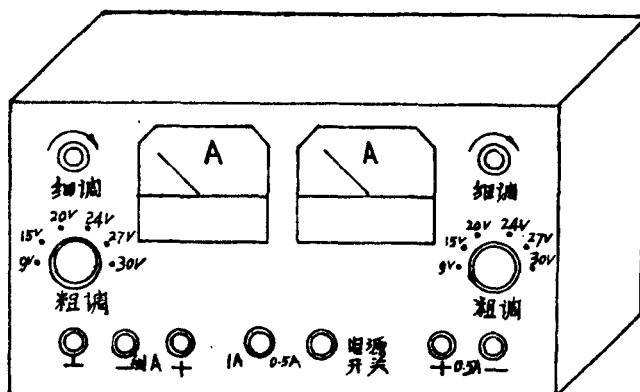
4. 回答下列思考题

(1) 试说明图 1-7(a)、(b)中电压表和电流表的接法的区别何在?为什么?

(2) 如果误用电流表去测量电压,将会产生什么后果?

附录一 JWY—30B 晶体管稳压电源使用说明

一、面板图:如图附 1-1 所示。



图附 1-1

二、主要技术特性

1. 输出电压: 1V—30V 连续可调,两组输出互不影响,极性可变。
2. 最大输出电流: 第(1)组: 1A; 第(2)组: 0.5A。
3. 输出电压稳定度: 交流电源电压 220V 变化 $\pm 10\%$ 。负载在额定范围之内 其输出直流电压变化小于 $\pm 0.1\%$ 。
4. 负载稳定度: 负载由零变化到额定值时,输出电压变化不大于 30mV。
5. 输出纹波电压: 不大于 3mV。
6. 输出过载或瞬时短路,自动保护,即自动停止输出。
7. 输入电压: 50Hz—60Hz 220V $\pm 10\%$ 。

三、使用方法

1. “粗调”和“细调”旋钮要适当配合使用。例如: 所需电压为 10V 时,“粗调”旋钮应放在“15V”档上,然后用“细调”旋钮调至 10V,请勿放在 9V 或 20V 档上。
2. 当负载为容性时,如接上负载后电压立即降为零,并非过载或短路时,则可将“细调”旋钮反时针旋至终端,然后再顺时针旋至所需电压值。
3. 在工作过程中,因过载或外界强干扰处于“保护”状态(输出电压为零)时,应去除负载后同第 2 条操作过程,如接上负载后电压又降至零,则说明电路过载或短路,应立即切断电源,待故障排除后再行使用。
4. 工作过程中“细调”旋钮不得旋至左端终点,因为这时保护电路不起作用,容易烧坏电源。

5. 本仪器不能串联及并联使用。

实验二 基尔霍夫定律

一、实验目的

1. 验证基尔霍夫定律；2. 加深对参考方向的理解。

二、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应遵循的基本规律,基尔霍夫定律的内容有二:一是基尔霍夫电流定律,一是基尔霍夫电压定律。基尔霍夫电流定律:电路中,任意时刻,流进和流出节点电流的代数和等于零,亦即

$$\sum I = 0 \quad (2-1)$$

上式表明基尔霍夫电流定律规定了节点上支路电流的约束关系而与支路上元件的性质无关,不论元件是线性的或非线性的、含源的或无源的、时变的或时不变的等等都是适用的。

基尔霍夫电压定律:电路中,任意时刻,沿闭合回路的电压降的代数和等于零。亦即:

$$\sum U = 0 \quad (2-2)$$

上式表明任一闭合回路中各支路电压降所必须遵守的规律,它是电压与路径无关性的反映。同样,这一结论只与电路的结构有关,而与支路中元件的性质无关,不论这些元件是线性或非线性的,含源或无源的、时变或时不变的等等都是适用的。

参考方向:参考方向并不是一个抽象的概念,它有具体的意义。例如,图 2-1 为某网络中的一条支路 AB 。在事先并不知道该支路电压极性的情况下,如何测量该支路的电压降 U 呢?电压表的 + 极和 - 极是分别接在 A 端和 B 端,还是相反?因此,应首先假定一个电压降的方向,设 U 的方向是从 A 到 B ,这就是电压 U 的参考方向。那么,电压表的正极和负极分别与 A 端和 B 端相连,电压表指针若顺时针偏转,则读数为正,说明参考方向和真实方向是一致的。反之,电压表指针逆时针偏转,电压表读数为负,说明参考方向和真实方向相反。显然,测量该支路电流时,与测量电压时的情况相同。

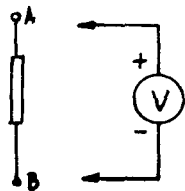


图 2-1

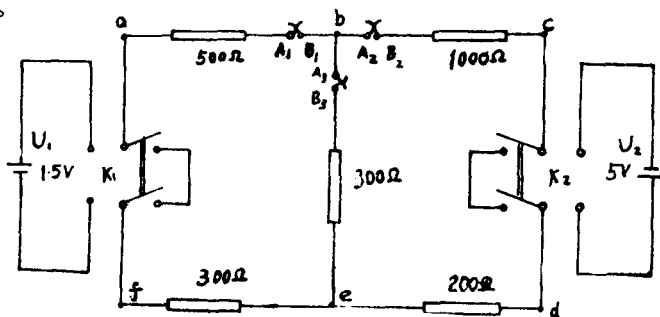


图 2-2

三、实验内容及步骤

1. 基尔霍夫电流定律的验证

在直流电路实验板(一)上按图 2-2 接好线路。图中 A_1B_1 、 A_2B_2 、 A_3B_3 为三只电流插座,它们装在实验台面板上。当测量支路电流 I_1 、 I_2 和 I_3 时,只需将接有电流插头的电流表依次插入三个电流插座中,即可分别读取三条支路电流 I_1 、 I_2 和 I_3 的数值。在插头插入插座的同时,操作者应监视电流表指针的偏转方向,如果是逆时针偏转,要迅速拔出,把电流插头翻转

180°, 重新插入后再读取电流值。

实验前, 首先将 K_1 、 K_2 开关投向短路线一边。 U_1 和 U_2 分别由晶体管稳压电源提供。检查线路无误后, 调节稳压电源第一组输出电压为 1.5V 作为 U_1 , 第二组输出电压为 5V 作为 U_2 。把开关 K_1 和 K_2 分别投向 U_1 和 U_2 一边, 将接有电流插头的电流表依次插入 A_1B_1 、 A_2B_2 和 A_3B_3 三个插座之中, 测量各支路的电流 I_1 、 I_2 和 I_3 , 电流数据记入表 2-1 中。

表 2-1

	计 算 值	测 量 值	误 差 %
$I_1(\text{mA})$			
$I_2(\text{mA})$			
$I_3(\text{mA})$			

2. 基尔霍夫电压定律的验证

实验线路和图 2-2 相同, 操作步骤同前。用电压表依次读取回路 $abefa$ 的支路电压 U_{ab} 、 U_{bc} 和 U_{ef} 以及回路 $bcdeb$ 的支路电压 U_{bc} 、 U_{de} 和 U_{eb} , 将测量结果记入表 2-2 中。

表 2-2

	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_{ab}	U_{bc}	U_{ef}	U_{bc}	$\Sigma U=0$	$\Sigma U=0$
计算值								$abefa$	$bcdeb$
测量值									
误差%									

四、实验设备

1. 晶体管稳压电源 一台; 2. 直流毫安表 一只; 3. 万用表 一只; 4. 直流电路实验板(一) 一块。

五、实验报告

1. 利用测量结果验证基尔霍夫定律。
2. 计算各支路的电压及电流, 并计算各值的相对误差。分析产生误差的原因。
3. 分析实验结果, 得出相应的结论。
4. 回答下列思考题:

(1) 已知某支路的电流约为 3mA 左右, 现有量程分别为 5mA 和 10mA 的两只电流表, 你将使用哪一只电流表进行测量? 为什么?

(2) 电压降和电位的区别何在?

实验三 电源的等效变换

一、实验目的

1. 通过实验了解什么是电流源及其外特性;
2. 掌握电流源和电压源进行等效变换的条件。

二、原理

电流源是除电压源以外的另一种形式的电源,它可以产生一个电流提供给外电路。理想电流源可以向外电路提供一个恒值电流,而不论外电路电阻的大小如何。理想电流源具有两个基本性质:第一,它的电流是恒值的,或是一定的时间函数 $i_s(t)$,而与其端电压的大小无关;第二,理想电流源的端电压并不能由它本身决定,而是由与之相联接的外电路确定的。理想电流源的伏安特性曲线如图 3-1 所示。

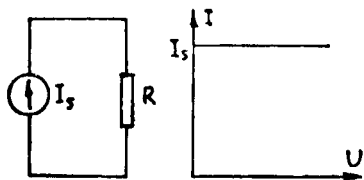


图 3-1

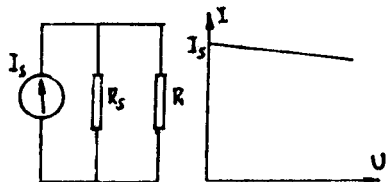


图 3-2

实际上,理想电流源并不存在。实际的电流源当其端电压增加时,通过外电路的电流并非恒定值而是要下降。端电压越高,电流下降得越多;反之,端电压越低通过外电路的电流越大,当端电压为零时,流过外电路的电流为电流源的值。实际的电流源可以用一个理想电流源 I_s 和一个内阻 R_s 相并联的电路模型来表示。实际电流源的模型及其伏安特性如图 3-2 所示。

某些器件的伏安特性具有电流源的性质,如硅光电池、晶体三极管等。本实验中的电流源是用晶体三极管来实现的。晶体三极管在共基极联接时,集电极电流 I_c 和集电极与基极间的电压 U_{CB} 的关系如图 3-3 所示。由图可见,晶体管集电极电流 I_c 的平坦部分具有恒流特性,当 U_{CB} 在一定范围变化时,集电极电流 I_c 近乎恒定,可以近似地将其视为理想电流源。

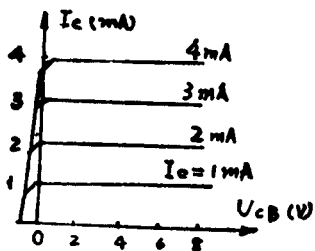


图 3-3

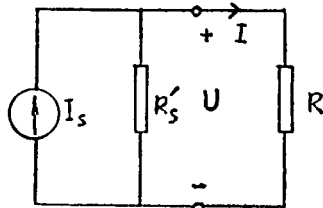
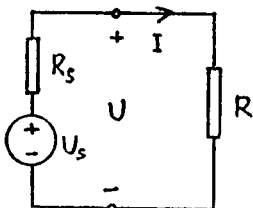


图 3-4

2. 电源的等效变换

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,也可以看成是一个电流源。这个道理可以证明如下:设有一个电压源和一个电流源分别与相同阻值的外电阻 R 相接,如图 3-4 所示。对于电压源来说,电阻 R 两端的电压 U 和流过 R 的电流 I 可表示为

$$U = U_s - IR \quad (3-1)$$

以及

$$I = \frac{U_s - U}{R_s} \quad (3-2)$$

对于电流源电路来说,电阻 R 两端的电压 U 和流过 R 的电流 I 可表示为

$$I = I_s - \frac{U}{R'_s} \quad (3-3)$$

以及

$$U = I_s R'_s - IR_s \quad (3-4)$$

如果两种电源的参数满足以下关系

$$\frac{U_s}{R_s} = I_s \quad (3-5)$$

以及

$$R_s = R_s \quad (3-6)$$

则电压源电路的式(3-1)和式(3-2)可写成

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} \quad \text{及} \quad U = I R_s - I R_s$$

与电流源电路的式(3-3)和式(3-4)完全相同, 也就是说, 这两种电源对外电路是完全等效的。因此, 两种电源可以互相替换而对外电路没有任何影响。

利用电源等效变换条件式(3-5)和式(3-6)可以很方便的把一个参数为 U_s 和 R_s 的电压源变换成一个参数为 $I_s = U_s / R_s$ 和 R_s 的等效的电流源; 反之, 也可以很容易的把一个电流源变换成一个等效的电压源。

三、实验内容及步骤

1. 测试理想电流源的伏安特性

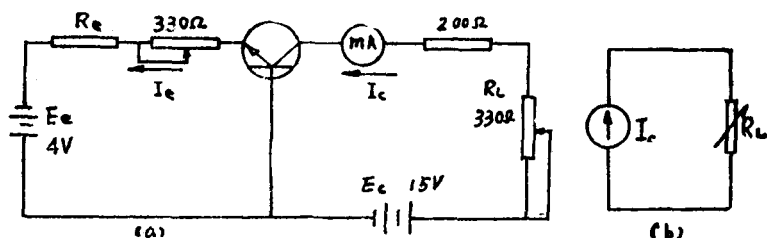


图 3-5

在直流电路实验板(二)上按图 3-5(a)接好线路, 其等效电路如图 3-5(b)所示。

图中 $E_s = 4V$, $E_c = 15V$ 分别由晶体管稳压电源第一组输出和第二组输出供给。调节 R_s 电位器使电流 $I_s = 10mA$ 。由小到大依次调节 R_L 的阻值使其分别为表 3-1 中的数值, 记录电流表相对应的读数填入表 3-1 中。

表 3-1

$R_L (\Omega)$	200	250	300	350	400	450	500
$I_L (mA)$							

2. 实际电流源的伏安特性

实验电路如图 3-6(a)所示, 图 3-6(b)为其等效电路。其中 $I_s = 10mA$, $R_s = 200\Omega$, R_L 为

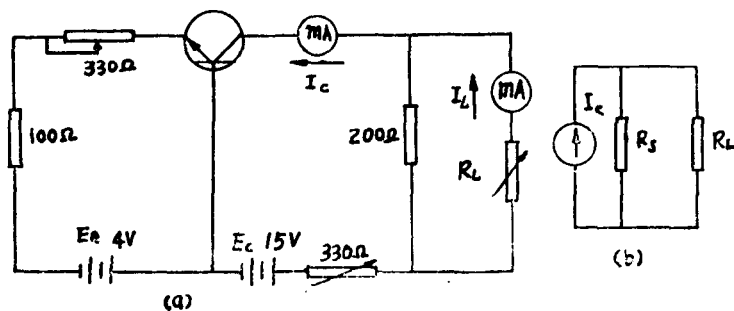


图 3-6

可变负载电阻。

调节 R_s 使 $I_c = 10\text{mA}$, 改变 R_L 使其分别为表 3-2 中数值, 依次记录相对应的 I_L 值填入表 3-2 中。

表 3-2

$R_L(\text{k}\Omega)$		0.2	0.4	0.6	0.8	1
I_L mA	测量值					
	计算值					
误差 %						

3. 电源的等效变换

根据电源等效变换规则, 图 3-6(a) 所示电流源, 可以变换成为一个电压源, 其参数 $U_s = I_c R_s = 2\text{V}$, $R_s = 200\Omega$ 如图 3-7 所示。调节 R_L 使其分别为表 3-3 中所列数值, 依次记录电流 I_L 值于表 3-3 中。比较表 3-2 和表 3-1 中的数据, 可以看出二者对外电路 R_L 来说是等效的。

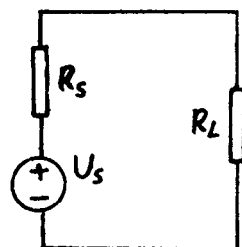


图 3-7

表 3-3

$R_L(\text{k}\Omega)$		0.2	0.4	0.6	0.8	1
I_L mA	测量值					
	计算值					
误差 %						

1. 晶体管稳压电源 一台; 2. 电流表 一只; 3. 万用表 一只; 4. 可变电阻 一只; 5. 直流电路实验板(二) 一块。

五、实验报告

1. 根据表3-1、表3-2和表3-3中的实验数据, 绘制理想电流源、电流源以及电压源的伏安特性曲线。

2. 比较两种电源等效变换后的结果, 并分析产生误差的原因。

3. 回答下列问题。

(1) 电压源和电流源等效变换条件是什么?

(2) 理想电流源和理想电压源是否能够进行等效变换? 为什么?

实验四 受控源的研究

一、实验目的

1. 通过实验加深对受控源的了解;

2. 通过对电压控制电压源电路的研究, 初步掌握含有受控源线性电路的分析方法。

二、原理

1. 受控源

受控源是一种非独立电源。这种电源的电压或电流是电路中其它部分的电压或电流的函数；或者说它的电压或电流受到电路中其它部分的电压或电流的控制。根据控制量的不同，受控源可分为：电压控制电压源(VCVS)、电流控制电压源(CCVS)、电压控制电流源(VCCS)和电流控制电流源(CCCS)等四种，如图 4-1 所示。

所谓理想受控电压源，是指其输出电阻为零如图 4-1(a)、(c)所示；理想受控电流源的输出电阻为无穷大，如图 4-1(b)、(d)所示。此外，理想的电压控制受控源的输入电阻为无穷大，如图 4-1(a)、(b)；理想的电流控制受控源的输入电阻为零。实际的受控源，无论是何种类型都具有一定的输入电阻和输出电阻。

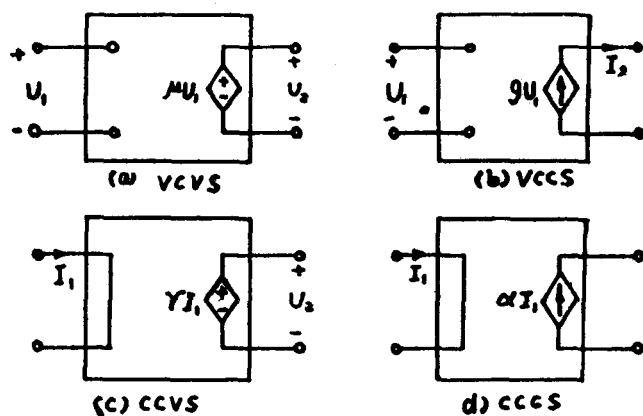


图 4-1

2. 一种实际的电压控制电压源(VCVS)

电压控制电压源可用运算放大器来实现。运算放大器是一种高增益，高输入电阻和低输出电阻的放大器。它常用图 4-2(a) 所示的电路符号表示，其等效电路模型如图 4-2(b)。运算放大器具有一个输出端和两个输入端，即同相输入和反相输入端。所谓同相输入端是指：当反相输入端电压为零时，输出电压的极性和同相输入端的电压极性相同，同相端常用“+”号表示。所谓反相输入端表示：当“+”输入端电压为零时，输出电压的极性和反相输入端的电压极性相反，反相输入端常用“-”号表示。运算放大器的放大倍数用 A 表示，当两输入端同时都有电压作用时，如图 4-2 所示 U_a 和 U_b ，则输出电压为

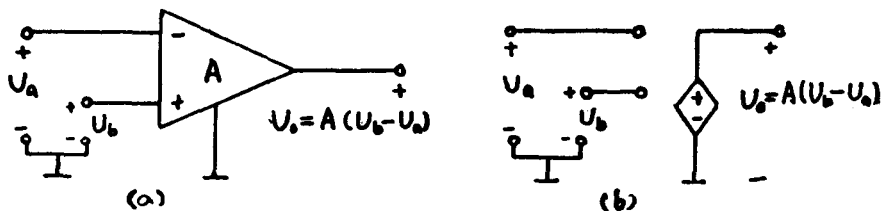


图 4-2

$$U_o = A(U_b - U_a) \quad (4-1)$$

U_o 是输入电压 U_b 和 U_a 差值的 A 倍。在实际运用时，往往把某一输入端接地，如将“-”端接地，则

$$U_o = AU_b \quad (4-2)$$

反之，如将“+”端接地，则

$$U_0 = -AU_1 \quad (4-3)$$

本实验采用 FC3 线性集成运算放大器组成电压控制电压源实验电路, 如图 4-3 所示。

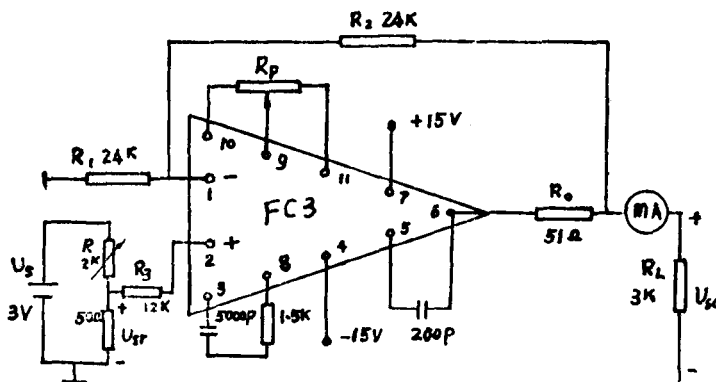


图 4-3

实验电路可以等效变换为运算放大器的电路模型如图 4-4 所示。虚线框内为 FC3 运算放大器, 虚线框外均为外接元件。由图 4-4 可知, 当 $R_L \gg R_o$ 时, 则

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad (4-4)$$

$$U_{sc} = A(U_2 - U_1) = A \left(U_{sr} - \frac{R U_{sc}}{R_1 + R_2} \right) \quad (4-5)$$

整理(4-5)式可得

$$U_{sc} = \frac{A}{1 + A \frac{R_2}{R_1 + R_2}} U_{sr} \quad (4-6)$$

由于运算放大器的增益 A 极高, 则有

$$A \frac{R_1}{R_1 + R_2} \gg 1$$

将(4-6)化简可得

$$U_{sc} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} U_{sr} = \mu U_{sr} \quad (4-7)$$

其中

$$\mu = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

μ 称为电压放大系数。式(4-7)说明输出电压 U_{sc} 和输入电压 U_{sr} 之间的关系只和电阻 R_1 、 R_2 的比值有关, 或者说, 输出电压 U_{sc} 受到电压 U_{sr} 的控制, 根据受控源的定义, 可知该电路是一个电压控制电压源。将上述电路进一步化简成更为一般的电路如图 4-5 所示。根据实验电路中的数据 $R_1 = R_2 =$

$$24\text{k}\Omega, R_3 = 12\text{k}\Omega \text{ 则 } \mu = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 2.$$

三、实验内容及步骤

1. 按图 4-3 接好线路。+15V 及 -15V 两种电源分别由晶体管稳压电源第一组和第二组提供, $U_s = 3\text{V}$ 电源

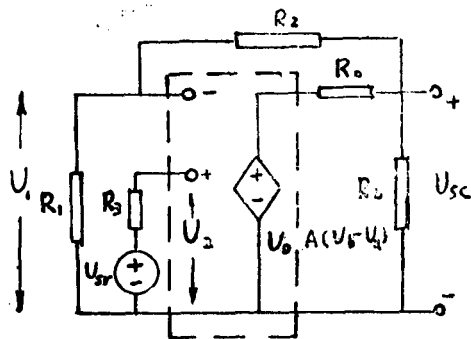


图 4-4

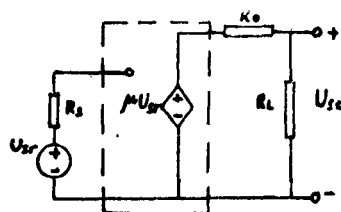


图 4-5