

第 1 章 电路基础实验

1.1 元器件伏安特性的测量

一、实验目的

1. 学会识别常用元器件的方法。
2. 学习简单直流电路的连接方法。
3. 掌握线性电阻和非线性元器件伏安特性的逐点测试法，掌握电压源外特性的测试方法。

二、实验任务（建议学时：2 学时）

（一）基本实验任务

1. 选择合适的实验方案、元器件参数、仪器仪表，采取正确的实验方法，设计合理的数据表格，测量线性电阻和白炽灯的伏安特性。
2. 选择合适的实验电路、元器件参数、仪器仪表，采取正确的实验方法，设计合理的数据表格，测量非线性元器件的伏安特性。

（二）扩展实验任务

自行设计实验方案，测量电压源的伏安特性。

三、基本实验条件

（一）仪器仪表

直流稳压电源（SS1791）	1 个
数字万用表（VC8045-II）	1 个

（二）器材元器件

线性电阻（建议：10Ω/2W，100Ω/2W，1kΩ/2W）	若干
电位器（建议：1kΩ）	1 个
电流插孔	3 个
白炽灯（建议：12V/3W）	1 个
半导体二极管（建议：1N4007）	1 个

稳压管（建议：稳压值 6V）

1 个

四、实验原理

（一）基本实验任务

任何一个二端元器件的特性，都可以用该元器件上的端电压 u 与通过该元器件的电流 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，这条曲线称为该元器件的伏安特性曲线。

1. 线性电阻的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，如图 1.1.1 中的线条 1 所示，该直线的斜率等于该电阻的阻值。

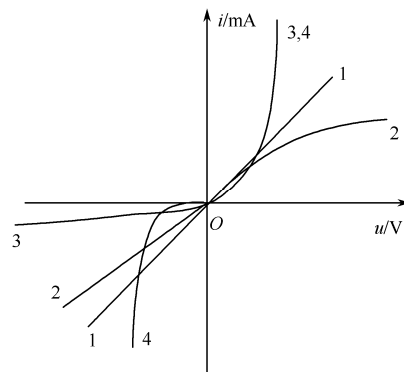


图 1.1.1 二端元器件的伏安特性

2. 一般的白炽灯在工作时，灯丝处于高温状态，其灯丝的电阻随着温度的升高而增大。通过灯丝的电流越大，其温度越高，阻值也越大。一般灯丝的“冷电阻”与“热电阻”的阻值可相差几倍至几十倍，其伏安特性曲线如图 1.1.1 中的线条 2 所示。

3. 半导体二极管属于非线性元器件，其伏安特性曲线如图 1.1.1 中的线条 3 所示。二极管的正向电压很小（一般锗管为 0.2~0.3V，硅管为 0.6~0.7V），正向电流随着正向电压的升高而增大；反向电

压升高时, 其反向电流增大很小, 可粗略地视为零。所以, 二极管具有单向导电性。但其反向电压不能加得过高, 否则当超过管子的极限电压值时, 会使管子击穿而损坏。

4. 稳压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 1.1.1 中的线条 4 所示。当反向电压刚开始升高时, 其反向电流几乎为零; 当反向电压升高到某一数值时 (称为管子的稳压值), 电流将突然增大, 此时它的端电压将维持恒定, 不再随外加电压的升高而增大。

5. 电流插孔和电流表插头的使用

在测量电流时, 为保证电流表的安全和测试方法的便捷, 实验室常采用电流插孔和电流表插头。如图 1.1.2 所示, 在电流插孔中, 有一对金属片, 两个金属片常闭, 相当于一根导线。电流表插头的两根接线端, 分别接在电流表的两个接线柱上, 把电流表插头插入电流插孔后, 两个金属片断开, 电流表被串联在电路中。实验时, 把电流插孔分别串联接入被测支路, 电流插头接在电流表的两个接线端上, 要测哪条支路电流, 电流表插头就插在相应的插孔中, 将电流表串联在被测电路中, 即可测出相应支路的电流值。



图 1.1.2 电流插孔的结构

需要注意的是, 测量直流电流时, 通常应根据参考方向, 在电流流入插孔的一端标注 “*”。测试时, 直流电流表的 “+” 端与插孔的 “*” 端连接在一起, 若电流表指针正向偏转, 则电流记为正值; 反之, 电流记为负值。

(二) 扩展实验任务

1. 万用表不仅能方便地进行交、直流电压和电流的测量, 还可以用电阻挡直接测量线性电阻的数值, 还可以判断二极管的极性和好坏。操作时, 需注意以下问题。

1) 在测量电阻时, 要选择合适的量程。

2) 切忌带电测量电路内元器件的电阻, 这样不但测量不出电阻阻值, 还可能烧坏万用表。应关掉电源, 至少使元器件一端与电路断开, 再进行测量。

3) 测量电阻、电容时, 切忌用两手去捏住表笔两端的金属部分, 以及电阻或电容两端的引线部分, 这样会使人体电阻与被测电阻或电容并联, 从而引起测量误差, 尤其是高阻值电阻和小容量电容。

4) 在测量二极管、稳压管等极性元器件的等效电阻时, 必须注意两支表笔的极性。

2. 理想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, 如图 1.1.3 所示。实验中使用的直流稳压电源, 在规定的电流范围内具有很小的内阻, 可以将它视为一个理想电压源。

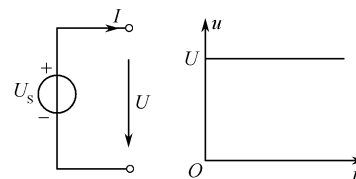


图 1.1.3 理想电压源及伏安特性

实际上, 任何电源内部都存在电阻, 通常称为内阻。因而, 实

实际电压源（简称电压源）可以用一个内阻 R_0 和电压源 U_s 串联表示，其端电压 U 随输出电流 I 的增大而降低，如图 1.1.4 所示。

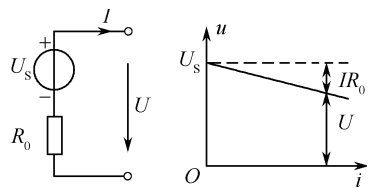


图 1.1.4 实际电压源的伏安特性

在实验中，可以用一个小阻值的电阻与恒压源串联，来模拟一个实际电压源。

五、实验预习要求

1. 如何用万用表的电阻挡判断二极管的好坏和极性？如何用万用表的电阻挡判断导线的好坏？

2. 电压源外特性为什么呈下降变化趋势？理想电压源的输出电压，在任何负载下是否都保持恒定值？

3. 完成实验报告中实验内容的预习部分。

六、实验指导

（一）基本实验内容及步骤

1. 测量线性电阻的伏安特性

1) 选择合适的电阻（建议： $R_L=1k\Omega/2W$ ），按图 1.1.5 接好电路。

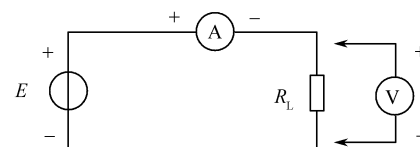


图 1.1.5 线性电阻和白炽灯伏安特性测量电路

2) 调节稳压电源的输出电压，从 $0V$ 开始缓慢增大，一直到 $10V$ ，记下相应的电压表和电流表的读数，将测量结果填入实验表 1.1.1。

3) 画出线性电阻的伏安特性曲线。

2. 测量白炽灯（非线性元器件）的伏安特性

将图 1.1.5 中的 R_L 换成一个白炽灯（建议： $12V/3W$ ），重复 1 的步骤。将测量结果填入实验表 1.1.1，并画出白炽灯的伏安特性

曲线。

3. 测量二极管的伏安特性

1) 选择一个二极管 VD，查手册确定该二极管的最大正向电流 I_M 和最高反向工作电压 U_{RM} 。按图 1.1.6 接好电路，其中 R （建议： $R=1k\Omega/0.5W$ ）为限流电阻。

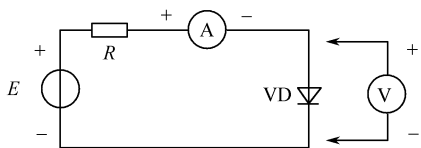


图 1.1.6 半导体二极管和稳压管伏安特性测量电路

2) 测量二极管 VD 的正向特性。调节直流稳压电源，观察流过二极管的电流在 $0.1\sim 15mA$ 之间变化，正向电压在 $0.6\sim 0.7V$ 之间应多取几个测量点，将相应的数值填入实验表 1.1.2。注意其正向电流不得超过 I_M 。

3) 测量二极管 VD 的反向特性。将图 1.1.6 中的二极管 VD 反接，步骤同 2)。注意二极管的反向电压数值不可超过其最高反向工作电压 U_{RM} 。

4) 根据步骤 2)、3) 所测数据，画出二极管的伏安特性曲线。

4. 测量稳压管的伏安特性

将图 1.1.6 中的二极管换成稳压管，重复 3 的步骤。将测量结果填入实验表 1.1.2，并画出稳压管的伏安特性曲线。

(二) 扩展实验内容及步骤

1. 测量理想电压源的伏安特性

1) 取直流稳压电源作为理想电压源， R_1+R_2 为负载电阻，建议 $R_1=100\Omega/2W$ ， R_2 为 $1k\Omega$ 的滑动变阻器。按图 1.1.7 接线，在接电源

前先把滑动变阻器调至电阻值最大。

2) 将稳压电源调至电压表读数为 $10V$ 。

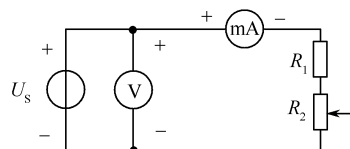


图 1.1.7 理想电压源伏安特性测试电路

3) 接通电源后，逐渐减小 R_2 ，将对应的电压、电流填入实验表 1.1.3。

4) 断开负载，测量 $I=0mA$ 时的 U 值，填入实验表 1.1.3。

2. 测量实际电压源的伏安特性

1) 取直流稳压电源作为理想电压源， R_1+R_2 为负载电阻， R_0 与恒压源串联，为实际电压源的内阻。建议 $R_0=10\Omega/2W$ ， R_1 、 R_2 数值同上。按图 1.1.8 接线，在接电源前先把滑动变阻器调至电阻值最大。

2) 将稳压电源调至电压表读数为 $10V$ 。

3) 接通电源后，逐渐减小 R ，将对应的电压、电流填入实验表 1.1.4。

4) 断开负载，测量 $I=0mA$ 时的 U 值，填入实验表 1.1.4。

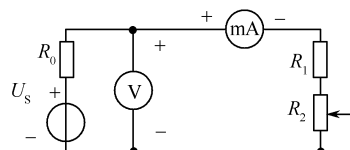


图 1.1.8 实际电压源伏安特性测试电路

七、实验注意事项

1. 在实验过程中，直流稳压电源不能短路，以免损坏电路设备。
2. 测量二极管的正向特性时，稳压电源输出应由小到大逐步增大，应时刻注意电流表读数不能超过所选二极管的最大电流。测量二极管的反向特性时，所加反向电压不能超过所选二极管的最大反向工作电压。
3. 在测量不同的电量时，应首先估算电压和电流值，以选择合适的仪表量程。注意仪表的极性不能接错。
4. 换接电路时，必须关闭电源开关。

1.2 基尔霍夫定律与电位的测量

一、实验目的

1. 通过实验加深理解基尔霍夫定律。
2. 熟练掌握电压、电流的测量方法。
3. 学习电位的测量方法，用实验证明电位的相对性和电压的绝对性。

二、实验任务（建议学时：2 学时）

（一）基本实验任务

1. 熟练掌握直流电路中电压、电流的测量方法。
2. 验证基尔霍夫定律。
3. 测量电路中各点的电位。

（二）扩展实验任务

学习判断故障原因和排除简单故障的方法。

三、基本实验条件

（一）仪器仪表

直流稳压电源（SS1791）	1 个
数字万用表（VC8045-II）	1 个
直流毫安表	1 个

（二）器材元器件

定值电阻	若干
电流插孔	3 个

四、实验原理

（一）基本实验任务

1. 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路的基本定律。它包括基尔霍夫电流定律

（KCL）和基尔霍夫电压定律（KVL）。对电路中任意一个节点，各支路电流的代数和均等于零，即 $\sum I = 0$ 。这是基尔霍夫电流定律。它阐述了电路任意一个节点上各支路电流间的约束关系，并且这种关系与各支路中器件的性质无关。

对任何一个闭合电路，沿闭合回路的电压降的代数和为零，即 $\sum U = 0$ 。这是基尔霍夫电压定律。它阐述了任意一个闭合电路中，各电压间的约束关系，这种关系仅与电路结构有关，而与构成电路的器件的性质无关。

运用基尔霍夫定律时，要先确定电流和电压的参考方向，当它们的实际方向与参考方向相同时，结果为正值；相反时，结果为负值。

2. 电位的概念

电路中某点的电位就是该点与参考点之间的电压。所以电路中各点的电位值随参考点的不同而变化，但任意两点间的电位差（即电压）不因参考点的改变而变化。

特别注意，在实验中要测量某点的电位时，首先要选择参考点。

3. 电压、电流的测量方法

1) 电压的测量

测量电压是电路测量的一个重要内容。在集总参数电路中，表征电信号能量的三个基本参数是：电压、电流和功率。但是，从测量的观点来看，测量的主要参数是电压，因为在标准电阻的两端测出电压值，就可通过计算求得电流或功率。

将电压表并联于被测电路两端，直接由电压表的读数决定测量结果的测量方法称为电压表的直接测量法。这种方法简便直观，是电压（电位）测量的基本方法。

2) 电流的测量

测量直流电流通常采用磁电系电流表。测量时，电流表是串接

在被测电路中的,为了减小对被测电路工作状态的影响,要求电流表的内阻越小越好,否则将产生较大的测量误差。

需要注意的是,在测量电流时,为安全方便起见,大部分实验室都采用电流插孔和电流表插头。

(二) 扩展实验任务

1. 记录实验过程中遇到的故障
2. 故障判断及排除

遇到故障,第一步要立刻断电,分析查找故障原因,再进行故障排除。故障完全排除后,才能继续进行实验。

1) 断电检查法。关断电源进行检查。第一,对照原理图,对实验电路中的每个元器件及连线逐一进行外部(直观)检查,观察元器件的外观有无断裂、变形、焦痕、损坏等问题,引脚有无错接、漏接或短接;观察仪器仪表的摆放、量程选择、读数方式是否正确。第二,使用万用表的欧姆挡,检查各支路是否连通,器件是否良好。

2) 检查测量仪器的用法是否正确。电压表是否有效并联接入待测电路两端,电流表是否有效串联接入待测支路,量程是否合适。

3) 通电检查法。使用测试仪器。最常用的方法是利用万用表进行电压测量,从电源开始逐点检查各点电位是否正常,根据测量结果判断故障部位。一般先进行直观检查,再进行参数测量。

五、实验预习要求

1. 如何验证基尔霍夫定律?

2. 电压与电位有何关系?

3. 完成实验报告中实验内容的预习部分。

六、实验指导

(一) 基本实验内容及步骤

按图 1.2.1 接好电路。取 $U_{S1}=16V$, $U_{S2}=8V$, $R_1=470\Omega/2W$, $R_2=200\Omega/2W$, $R_3=300\Omega/2W$, $R_4=100\Omega/2W$, $R_5=100\Omega/2W$ 。将电源 U_{S1} 、 U_{S2} 接入电路之前,应使用直流电压表校对输出值,无误后再将电源接入电路。

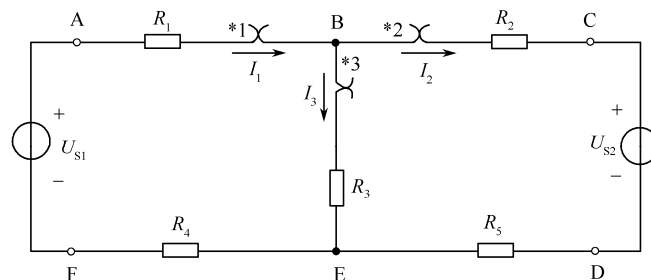


图 1.2.1 基尔霍夫电流定律实验电路

1. 验证基尔霍夫电流定律 (KCL)

图 1.2.1 中, *1、*2、*3 分别为三条支路电流测量插孔。测量某支路电流时,将电流表所接插头插入该支路的插孔,即将电流表串入该支路;拔出插头时,插孔中的弹片使连接于插孔的两根导线短接。实验前,先任意设定三条支路电流的参考方向。用直流毫安

表测量各支路电流，若测量时指针正向偏转，则为正值；若反向偏转，则调换表笔正、负极，重新读数，其值取负。若用万用表电流挡测量各支路电流，则可直接读数。注意，表笔的方向即为参考方向。记录数据于实验表 1.2.1 中，并与理论值进行比较。

2. 验证基尔霍夫电压定律 (KVL)

取图 1.2.1 电路中两条回路：ABEFA、BCDEB，用直流电压表依次测量两条回路中电源和电阻两端的电压值。测量前先选定回路的绕行方向，同时应注意电压表指针的偏转方向及取值的正、负。记录数据于实验表 1.2.1 中，并与理论值进行比较。

3. 电位、电压的测量

在图 1.2.1 电路中，分别以 E 点、B 点作为参考点，测量电路中 A、B、C、D、E、F 各点电位值。测量电位时，应将电压表的负表笔接在参考点处，正表笔分别接在各被测点处。注意正、负值，记录数据于实验表 1.2.2 中，并与理论值进行比较。

(二) 扩展实验内容及步骤

记录实验中遇到的故障及其排除过程。

七、实验注意事项

1. 测量各支路电流时，应注意选定的参考方向及电流表的极性（电流插孔的极性），正确记录测量结果的正、负值。

2. 在测量不同电量时，应根据预习中计算的电压值和电流值，选择合适的仪表量程。

3. 电路改接时，一定要关闭电源。

1.3 叠加原理与等效电源定理的研究

一、实验目的

1. 掌握有源二端网络等效参数的测量方法。
2. 验证叠加原理和等效电源定理，掌握用叠加原理和戴维南定理分析电路的方法。

3. 理解电路的有载、开路和短路状态，验证最大功率传输定理。

二、实验任务（建议学时：2 学时）

（一）基本实验任务

1. 验证叠加原理。
2. 验证戴维南定理。

（二）扩展实验任务

1. 选择合适的实验电路、器件参数、仪器仪表，采取正确的实验方法、设计合理的数据表格验证最大功率传输定理，并测量电路的最大输出功率。

2. 自拟电路，验证诺顿定理。

三、基本实验条件

（一）仪器仪表

直流稳压电源（SS1791）	1 个
数字万用表（VC8045-II）	1 个
直流毫安表	1 个

（二）器材元器件

定值电阻	若干
电流插孔	3 个
双刀双掷开关	2 个
电阻箱	1 个

四、实验原理

（一）基本实验任务

1. 验证叠加原理

叠加原理指出，在线性电路中，有多个电源同时作用时，任意一条支路中的电流或电压都是电路中每个独立电源单独作用时在该支路中所产生的电流或电压的代数和。

电路如图 1.3.1 所示，电压源 U_{S1} 和 U_{S2} 共同作用于该电路。根据叠加原理，两个电源同时作用时，电路中的电压 U_1 、 U_2 、 U_3 和电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ，等同于 U_{S1} 单独作用于该电路时（ U_{S2} 短路置零）的 U_1' 、 U_2' 、 U_3' 和 I_1' 、 I_2' 、 I_3' ，与 U_{S2} 单独作用于该电路时（ U_{S1} 短路置零）的 U_1'' 、 U_2'' 、 U_3'' 和 I_1'' 、 I_2'' 、 I_3'' ，分别代数相加的结果，即：

$$U_1=U_1'+U_1'', \quad U_2=U_2'+U_2'', \quad U_3=U_3'+U_3''$$
$$I_1=I_1'+I_1'', \quad I_2=I_2'+I_2'', \quad I_3=I_3'+I_3''$$

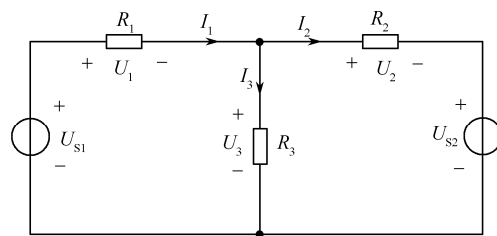


图 1.3.1 叠加原理实验电路

2. 验证戴维南定理

戴维南定理指出，任何一个线性有源二端网络，总可以用一个理想电压源和一个等效电阻串联来代替，如图 1.3.2 所示。

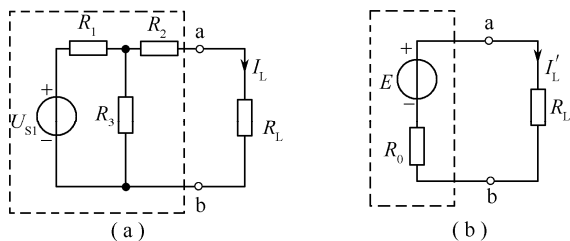


图 1.3.2 戴维南定理实验电路

在图 1.3.2 (b) 戴维南等效电路中, 其理想电压源的电压 E , 等于图 1.3.2 (a) 电路中, 将负载电阻 R_L 开路时, 虚线框内有源二端网络的开路电压 U_{OC} 。等效内阻 R_0 等于该网络中所有独立源为零时的等效电阻。由戴维南定理可知, 图 1.3.2 (a) 电路中有源二端网络作用在负载电阻上的结果, 与图 1.3.2 (b) 电路中等效电压源作用在负载电阻上的结果相同, 即 $I_L = I'_L$ 。

在验证戴维南定理的实验中, 首先要测量有源二端网络的开路电压、等效电阻或短路电流, 其测量方法介绍如下。

1) 开路电压的测量方法

①直接测量法: 在一般情况下, 把外电路 (即负载电阻 R_L) 断开, 将电压表接至开路点 a、b 两端, 测量其两端电压值, 即为开路电压 U_{OC} 。若电压表内阻远大于被测网络的等效电阻, 则其测量结果会相当精确。通常采用这种方法测量。

若电压表内阻较小, 则误差很大, 必须采用补偿法。

②补偿法: 电路如图 1.3.3 所示, 外加 U_S 和 R 构成补偿电路。调节 R 的值, 使检测计 G 指示为零, 此时电压表指示的电压值即为开路电压 U_{OC} 。

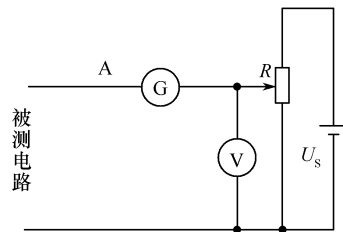


图 1.3.3 补偿法测开路电压

2) 等效电阻 R_0 (内阻) 的测量方法

①用欧姆表: 先将有源二端网络中所有独立电源置零, 即将理想电压源短路、理想电流源开路, 然后用欧姆表直接测量该无源二端网络的电阻值。此方法对于电源与其内阻不能分开 (如干电池) 的电路和含受控源的电路不适用。

②用开路短路法: 测量有源二端网络的开路电压 U_{OC} 及短路电流 I_S , 电路如图 1.3.4 所示。按式 $R_0 = U_{OC}/I_S$ 计算出等效电阻。此方法适用于电路网络端口可以被短路的情况 (建议本实验用此方法测量 R_0)。

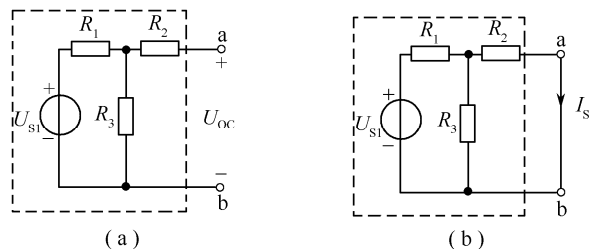


图 1.3.4 开路短路法测量等效内阻的实验电路

③用外加电压法: 在无源二端网络的两个端点间施加外加电压 U_0 , 测量其端电流 I , 按公式 $R_0 = U_0/I$ 计算。用这种方法时, 应先

将有源二端网络的电源除去。若不能除去电源，或者电路网络端口不允许外加电源，则不能用此法。

④用伏安法：若电路网络端口不允许短路，则可以在开路端口接上一个已知的电阻 R ，然后测量开路电压 U_{OC} 及有载电压 U_L ，按 $R_0 = \left(\frac{U_{OC}}{U_L} - 1 \right) R$ 计算，若 R 采用一个精密电阻，则此方法精度也较高。

此方法适用范围比较大，例如，可用于测量放大器的输出电阻。

在测得有源二端网络的开路电压和等效电阻后，不要忘记测量图 1.3.2 (a) 电路中的负载电流 I_L ，以用于验证戴维南定理的正确性。

将稳压电源的输出电压调至由图 1.3.4 电路测得的有源二端网络的开路电压 U_{OC} ，将电阻箱调至测得的等效内阻 R_0 ，同负载电阻一起接成如图 1.3.2 (b) 所示的戴维南等效电路，测量该电路的负载电流 I_L' ，与图 1.3.2 (a) 电路中测得的负载电流 I_L 相比较，以验证戴维南定理的正确性。

(二) 扩展实验任务

1. 最大功率传输条件

在电子电路中，常常希望负载获得的功率最大。如何选择负载电阻，使其获得最大功率，成为研究最大功率传输的主要问题。由于任何有源二端线性网络，都可以等效为一个理想电压源与内阻串联的戴维南等效电路，如图 1.3.5 所示，因此，负载上获得的功率可表示为：

$$P_L = \left(\frac{E}{R_0 + R_L} \right)^2 \cdot R_L$$

根据 $\frac{dP_L}{dR_L} = 0$ ，可得最大功率的传输条件为：

$$R_L = R_0$$

当满足最大功率传输条件时，负载获得的最大功率为：

$$P_{Lmax} = \frac{E^2}{4R_L}$$

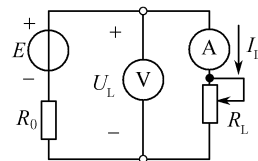


图 1.3.5 最大功率传输条件的验证电路

2. 最大功率验证电路

采用图 1.3.5 电路，选取合适的电源电压，选择电源内阻为定值电阻，利用电阻箱作为负载电阻，测量负载电阻的电压、电流，其乘积即为输出功率。改变负载电阻的数值，找到负载的最大功率点，验证最大功率传输条件。

五、实验预习要求

1. 电路如图 1.3.1 所示，能否用叠加原理来计算功率，为什么？若将 R_3 换成二极管，电路是否满足叠加原理，为什么？

2. 简述验证戴维南定理的实验步骤。

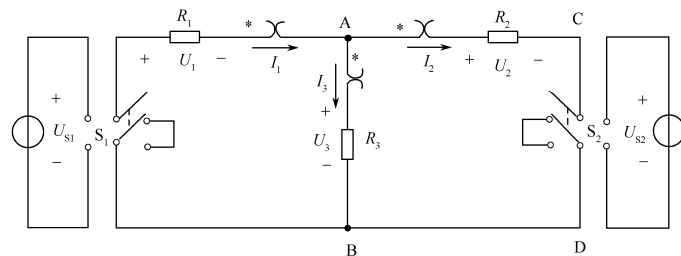


图 1.3.6 验证叠加原理实验电路

3) 接通电源 U_{S1} , U_{S2} 置零 (S_2 投向短路侧)。测量 U_{S1} 单独作用时各支路的电流和电压, 测量结果填入实验表 1.3.1。

4) 接通电源 U_{S2} , U_{S1} 置零 (S_1 投向短路侧)。测量 U_{S2} 单独作用时各支路的电流和电压, 测量结果填入实验表 1.3.1。

5) 接通电源 U_{S1} 和 U_{S2} , 测量 U_{S1} 和 U_{S2} 共同作用时各支路的电流和电压, 测量结果填入实验表 1.3.1。

6) 将测量值与理论值进行比较, 计算误差, 并分析原因。

3. 完成实验报告中实验内容的预习部分。

六、实验指导

(一) 基本实验内容及步骤

1. 验证叠加原理

1) 电路如图 1.3.6 所示, 取 $U_{S1}=16V$, $U_{S2}=8V$, $R_1=470\Omega/2W$, $R_2=200\Omega/2W$, $R_3=300\Omega/2W$ 。为了便于测量, 可在各支路中串联一个电流测试插孔。在两个电源的输入端, 各接入一个双刀双掷开关 S_1 和 S_2 , 它们的一侧与电源相连, 另一侧接入一根短路线。当某电源作用于电路时, 将对应的开关投向电源侧; 当某电源不作用时, 将对应的开关投向短路侧, 则该电源被置零处理 (注意, 不能将电源直接短路)。

2) 按图 1.3.6 接好电路, 开关 S_1 、 S_2 投向短路侧。将直流稳压电源的两路输出分别调至所需值。

2. 验证戴维南定理

1) 如图 1.3.7 所示, 取 $U_{S1}=16V$, $R_1=470\Omega/2W$, $R_2=200\Omega/2W$, $R_3=300\Omega/2W$, $R_L=100\Omega/2W$ 。

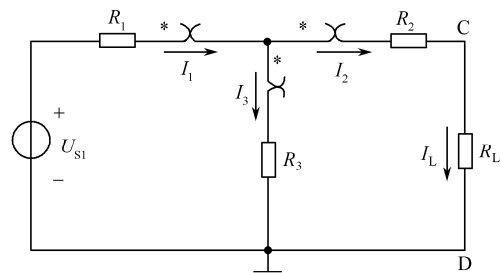


图 1.3.7 戴维南定理实验电路

2) 将 R_L 断开, 测量开路电压 U_{OC} , 填入实验表 1.3.2。

3) 将 C、D 两点短接, 测量短路电流 I_S , 计算出等效电阻 $R_0 = U_{OC}/I_S$, 填入实验表 1.3.2。

4) 在 C、D 之间接入负载电阻 R_L , 测量负载电阻上的电压 U_L 和电流 I_L , 填入实验表 1.3.3。

5) 用直流稳压电源 (调至电压等于 U_{OC}) 和电阻箱 (调至电阻等于 R_0) 组成戴维南等效电路, 如图 1.3.8 所示。接上负载电阻 R_L , 测量出 U_L' 、 I_L' , 填入实验表 1.3.3。验证 $U_L = U_L'$, $I_L = I_L'$ 。

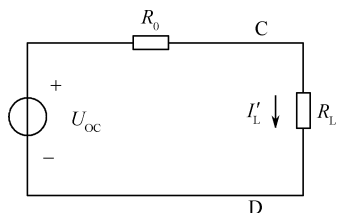


图 1.3.8 戴维南等效电路

(二) 扩展实验内容及步骤

1. 验证最大功率传输定理

1) 电路如图 1.3.5 所示, 取 $E=10V$, $R_0=200\Omega/2W$, R_L 为可变电阻箱。

2) 按图 1.3.5 接好电路, 改变负载电阻 R_L 的数值, 测量其两端电压和负载电流, 并根据所测数据计算负载所获得的功率。记录测量数据。

3) 与理论值进行比较, 计算误差, 并分析原因。

2. 验证诺顿定理

自拟电路、测试方案和数据表格, 验证诺顿定理。

七、实验注意事项

1. 测量各支路电流时, 应注意选定的参考方向及电流表的极性 (电流插孔的极性), 正确记录测量结果的 “+” 和 “-”。

2. 在测量不同电量时, 应根据预习中计算的电压和电流值, 选择合适的仪表量程。

3. 电路改接时, 一定要关闭电源。

1.4 典型电信号的观察与测量

一、实验目的

1. 熟悉函数信号发生器、示波器和交流毫伏表等电子设备的工作原理与主要功能。
2. 掌握函数信号发生器、示波器和交流毫伏表等电子设备的使用方法。
3. 学会正确使用仪器产生信号、观察信号、测量信号，并记录信号。

二、实验任务（建议学时：2 学时）

（一）基本实验任务

1. 学习示波器的使用方法，练习用示波器观测函数信号发生器产生的正弦波和矩形波信号。
2. 学习函数信号发生器的使用方法，练习用函数信号发生器产生各种频率和幅度可调的正弦波与矩形波信号。
3. 学习交流毫伏表的使用方法，练习用交流毫伏表测量正弦交流信号的大小（电压的有效值）。

（二）扩展实验任务

练习用函数信号发生器产生三角波和锯齿波信号，并用示波器进行观测。

三、基本实验条件

示波器（GOS-620）	1 个
函数信号发生器（EE1420）	1 个
交流毫伏表（WY2174A）	1 个

四、实验原理

1. 典型电信号

电路中，应用广泛的激励信号主要有：正弦交流信号、矩形波脉冲信号和方波信号三种。

正弦波信号的波形如图 1.4.1 所示，其主要参数是幅值 U_m 、周期 T （或频率 f ）和初相位 ψ 。矩形波脉冲信号一般为交流信号，波形如图 1.4.2 所示，其主要参数是幅值 U_m 、脉冲重复周期 T 和脉冲宽度 T_w 。方波信号一般为直流信号，波形如图 1.4.3 所示，其主要参数是幅值 U_m 、脉冲重复周期 T 和脉冲宽度 T_w 。在实际应用中，除用信号幅值表示其大小外，还可用峰峰值 V_{PP} 表示一个典型电信号的大小。如图 1.4.1 和图 1.4.2 所示， V_{PP} 表示一个周期内信号最大值和最小值之间的范围。

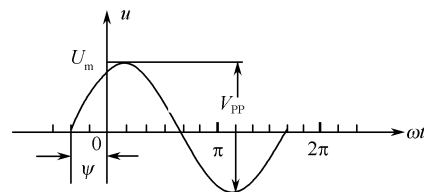


图 1.4.1 正弦波信号

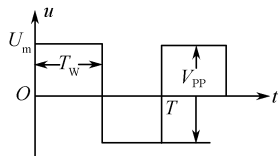


图 1.4.2 矩形脉冲信号

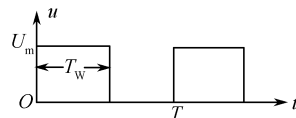


图 1.4.3 方波信号

实验时所用的典型电信号都可以由函数信号发生器提供。典型电信号的波形和参数则可使用示波器进行观察和测量。普通万用表

只能测量市电(50Hz)交流信号的有效值,当正弦交流信号的频率很高时,应使用交流毫伏表测量其有效值。交流毫伏表可测量频带为几 Hz 至几 GHz,电压值范围为 μV 级至 kV 级的交流电压信号。

2. 函数信号发生器

函数信号发生器实际上是一种多波形信号源,能产生正弦波、矩形波、三角波、锯齿波及各种脉冲信号波形,其输出电压的大小和频率都能方便地进行调节。由于其输出波形均可以用数学函数描述,因此称为函数信号发生器。

1) 函数信号发生器控制面板基本结构

不同品牌和型号的函数信号发生器,虽然面板结构有所不同,但其主要功能是相同的,说明如下。

①电源开关。

②输出接线端子:函数信号发生器产生的波形由此端子输出,最好通过屏蔽线接入需用信号的电路。

③输出信号幅度的调节:可设置输出信号的幅度大小。通常用于设置信号的峰峰值,对于正弦波信号还可设置其有效值。

④输出信号频率的调节:可设置输出信号的频率,通常输出可达兆赫兹以上。

⑤输出波形的选择:选择需要的输出波形,主要波形有正弦波、矩形波、三角波、脉冲波、锯齿波等。

⑥信号频率的显示:选择“内测”,显示输出信号频率;选择“外测”,显示输入信号频率。

⑦信号峰峰值的显示:选择“内测”,显示输出信号峰峰值;选择“外测”,显示输入信号峰峰值。

⑧占空比的调节:也称“波形对称”旋钮,调节该旋钮,可以改变矩形波的占空比,也可以使三角波变为锯齿波。

⑨直流偏移的调节:通过增加直流偏移,可以在产生的信号波形上叠加一个直流分量,使信号波形上、下移动。例如,在如图 1.4.2 所示的矩形波上叠加一个大小为 $+U_m$ 的直流偏移量,可把该矩形波信号变为如图 1.4.3 所示的方波信号。

2) 函数信号发生器的操作步骤

使用函数信号发生器产生基础波形的基本操作如下。

①打开电源开关。

②根据需要进行输出波形。

③调节信号频率:选定频率调节后,需要根据显示界面,按下相应的数字键和单位,或使用微调旋钮配合方向键调整频率参数。

④调节信号幅度:选定幅度调节后,需要根据显示界面,按下相应的数字键和单位,或使用微调旋钮配合方向键调整幅度参数。

若需要的信号是对称波形,通过以上几步就可得到所需信号,使用函数信号发生器的输出端子可将此信号输出,连接到示波器上即可观测波形。

⑤添加直流偏移:若输出信号具有直流分量,如图 1.4.3 所示的方波,则需要调节直流偏移。进入直流偏移状态后,可设置数值调节或利用旋钮调节。

⑥调节占空比:首先选定脉冲波形,进入脉宽调节,可直接设置占空比数值,也可用旋钮调整。

⑦TTL 输出:由 TTL 输出端可以有方波或脉冲波输出,产生方法同上。输出信号的频率可以改变,而信号的高电平、低电平固定。

3. 交流毫伏表

当被测正弦交流电压信号频率范围很宽,且数值变化很大时,可以用交流毫伏表测量其电压的有效值。交流毫伏表是一种交流电

压测量仪器。交流毫伏表与普通万用表相比有以下优点：输入阻抗高，一般输入电阻至少为 $500k\Omega$ ，当接入被测电路后，对电路的影响小；频率范围宽，约为几 Hz 至几 GHz；电压测量范围广，量程从 $1mV$ 至几百 V；灵敏度高，可测量 μV 级电压信号。

1) 交流毫伏表控制面板结构

交流毫伏表通常由衰减器、检波电路、放大电路和指示电路 4 部分组成。其面板主要控制键如下。

①电源开关。

②输入接线端子：待测信号由此端输入，最好通过屏蔽线接入待测信号。

③量程选择旋钮：用于选择仪表的满刻度值。

④机械调零螺丝：用于机械调零。

⑤电源指示灯。

2) 交流毫伏表的操作步骤

①接通电源。若输入线的两个接线端子没有短接，则由于感应电压的存在，交流毫伏表的指针会漂动，甚至满偏。此时，只需将两根输入线短接，该现象便会消失。

②进行电气调零。将输入线的两个接线端子短接，并使量程开关处于合适挡位上，再调节电气调零旋钮，使表头指针指示为零，然后断开两个接线端子进行测量。在使用中，每次改变量程，都应重新进行电气调零。具有自校零功能的交流毫伏表，可不用进行此项操作。

③根据被测信号的大小选择合适的量程。在无法预知被测量大小时，应先用最大量程，逐渐减小量程至合适挡位。

④交流毫伏表是不平衡式仪表，信号输入端一般采用 BNC 端子接探头，探头黑夹子必须接至被测电路的共地端，红夹子接至被

测试点。注意探头连接顺序，测量时先接黑夹子，后接红夹子；测量完毕，先拆红夹子，后拆黑夹子。

4. 示波器

示波器是一种电信号观测仪器，主要分为模拟示波器和数字存储示波器两大类。其主要特点是：不仅能显示电信号的波形，而且还可以测量电信号的幅度、周期、频率和相位等；测量灵敏度高、过载能力强、输入阻抗高。

1) 示波器控制面板结构

示波器品牌型号繁多，但示波器面板上至少包含以下 4 个功能区。

(1) 显示屏

①电源开关。

②辉度 (INTEN) 旋钮：调节光迹的亮度。

③聚焦 (FOCUS) 旋钮：调节光迹聚焦，即光迹的清晰度。

④校准信号：提供一路方波信号源，用于示波器自检，如 $2V$ (峰值)/ $1kHz$ 方波。

(2) 垂直 (VERTICAL) 调节区

①输入通道端子：待测信号通过探头自此输入。

②垂直衰减 (VOLTS/DIV) 旋钮：调节该旋钮，使显示屏上待测信号的幅度大小合适，便于观察其最大值和最小值。

③垂直工作方式 (VERT MODE) 开关：至少可选择 4 种工作方式，置 CH1 或 CH2 时单踪显示，置 DUAL 时双踪显示，置 ADD 时 CH1+CH2 显示。

④输入耦合方式 (COUPLING) 开关：置 AC 时，为交流耦合；置 DC 时，为直流耦合；置 GND 时，隔离信号输入，并产生一个零电压参考信号。

⑤垂直位置 (POSITION) 微调旋钮：上下调节波形在显示屏上的位置。

(3) 水平 (HORIZONTAL) 调节区

①水平衰减 (TIME/DIV) 旋钮：调节该旋钮，使显示屏上待测信号的波形密度合适，便于观测其周期和频率。

②水平移位 (POSITION) 旋钮：左右调节波形在显示屏上的位置。

③扫描时间 (SWP.VAR) 微调旋钮：设置扫描时间。

④水平放大 ($\times 10$ MAG) 按键：按下此键可将扫描水平放大 10 倍。

(4) 触发 (TRIGGER) 调节区

①触发源 (SOURCE) 开关：置 CH1 时，选 CH1 作为内触发信号；置 CH2 时，选 CH2 作为内触发信号；置 LINE 时，选市电作为触发信号；置 EXT 时，选外触发信号 (EXT TRIG) 信号作为触发信号。

②触发方式 (TRIGGER MODE) 开关：选择触发方式。置 AUTO 时，自动扫描，若无触发信号，则扫描电路处于自激状态，形成连续扫描；置 NORM 时，触发扫描，若无触发信号，则扫描电路处于等待状态，无扫描线；置 SINGLE 时，单次扫描。

③触发边沿 (SLOPE) 按键：选择正、负边沿触发。

④触发电平 (LEVEL) 旋钮：调节此旋钮，可设定该波形的起始点电平，从而同步波形，使待测信号稳定。

⑤触发源交替 (TRIG.ALT) 按键：可设置输入信号以交替方式轮流作为内部触发信号源。

⑥外部触发信号输入 (EXT TRIG.IN) 端子：从此端子输入外部触发信号。

2) 示波器的操作步骤

①打开电源开关。

②用本机校准信号检查。将 CH1 输入通道端子用探头接至校准信号输出端子，调节面板上开关和旋钮，此时在屏幕上应出现一个周期性的方波。若波形不稳定，可调节 LEVEL 旋钮。

③观察被测信号：当探头采用 1:1 衰减时，若被测信号在屏幕上显示的电压值和频率值与自检信号标称值一致，则说明示波器处于正常工作状态。

五、实验预习要求

1. 简述函数信号发生器、交流毫伏表、示波器的主要功能。

2. 分析如何将图 1.4.4 中的正弦波形转换成幅度为 0~6V 的波形信号，请画出转换后的波形。

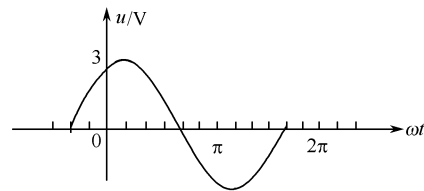


图 1.4.4 正弦波信号

3. 用示波器观察正弦波信号时，若显示屏上出现如图 1.4.5 所示的各种状态，试说明是什么原因，应如何调节？

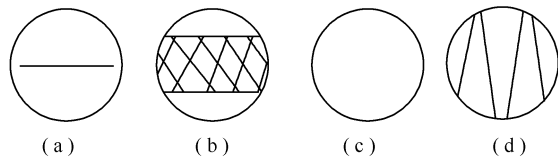


图 1.4.5 示波器显示屏状态

4. 完成实验报告中实验内容的预习部分。

六、实验指导

(一) 基本实验内容及步骤

1. 示波器的自检

①打开电源开关，电源指示灯亮。

②检查 CH1 输入通道端子的探头是否接好。

③将示波器 COUPLING 开关置为 GND (接地)，VERT MODE 开关置为 ALT (交替)，TRIGGER MODE 开关置为 AUTO (自动)，TIME/DIV 开关调至 0.5ms，此时在屏幕上应出现两条水平扫描基线。如果没有显示水平扫描线，则有可能是因为辉度太暗，或垂直、水平位移不当，应加以适当调节。然后，调节 INTEN 与 FOCUS，使水平扫描线细且清晰。

④利用示波器的校准信号自检。首先，将示波器 COUPLING 开关置为 DC，其他开关和旋钮的位置参照表 1.4.1。

表 1.4.1 其他开关和旋钮的位置

名 称	位 置	名 称	位 置
输入通道	CH1	TIME/DIV	0.5ms
VOLTS/DIV	1V	SWP.VAR	顺时针到底
POSITION	顺时针到底	SOURCE	CH1
VERT MODE	CH1	TRIGGER MODE	AUTO
COUPLING	DC	SLOPE	+

将示波器面板部分的校准信号通过探头接至示波器的 CH1 输入通道端子，使屏幕中心部分显示出线条细且清晰、亮度适中的矩形波。调节垂直位置调整旋钮 (POSITION) 和水平移位旋钮

(POSITION), 从屏幕上读出该校准信号的幅值和频率, 并与标称值进行比较。将测量数据填入实验表 1.4.1。

2. 正弦波信号的观测

①将函数信号发生器的输出接线端子, 与示波器的 CH1 输入通道端子和交流毫伏表的输入接线端子相连, 即信号线相连、地线相连 (或信号线红红相连, 黑黑相连), 保证所有仪器共地。

②打开各仪器的电源开关。

③设置函数信号发生器的输出波形为正弦波。

④调节函数信号发生器的频率和幅度旋钮, 使输出的正弦波信号参数满足实验表 1.4.2 的要求。

⑤调节示波器的 VOLTS/DIV 旋钮和 TIME/DIV 旋钮至合适位置 (即能从屏幕上清晰地观测到至少一个完整周期的波形), 读出幅度及周期, 分别填入实验表 1.4.2。若显示波形不稳定, 则调节 LEVEL 旋钮, 直至波形稳定显示。

⑥选择交流毫伏表合适的量程, 从交流毫伏表中读出正弦波信号的有效值, 填入实验表 1.4.2。

3. 矩形脉冲信号的观测

1) 将函数信号发生器的输出接线端子与示波器 CH1 输入通道端子相连, 断开交流毫伏表。

2) 设置函数信号发生器的输出波形为矩形波。

3) 调节函数信号发生器的频率和幅度旋钮, 使输出的矩形波信号参数满足实验表 1.4.3 的要求。

4) 调节示波器 VOLTS/DIV 旋钮和 TIME/DIV 旋钮至合适位置, 读出幅度、周期和占空比, 分别填入实验表 1.4.3。若显示波形不稳定, 则调节 LEVEL 旋钮, 直至波形稳定显示。

(二) 扩展实验内容及步骤

1. 方波信号的观测

调整函数信号发生器产生如图 1.4.6 所示的方波信号, 并在示波器上显示出来, 将数据填入实验表 1.4.4。提示: 在矩形波信号的基础上, 加直流偏移, 即可产生方波信号。

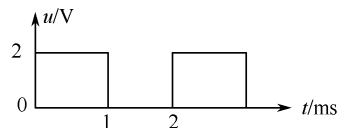


图 1.4.6 方波信号

2. 三角波和锯齿波信号的观测

调整函数信号发生器产生如图 1.4.7 和图 1.4.8 所示的信号波形, 并在示波器上显示出来, 将波形参数标注在波形图上, 写出调整函数信号发生器产生该波形的具体步骤。

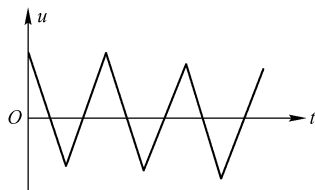


图 1.4.7 三角波信号

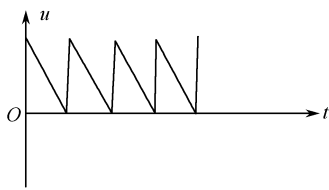


图 1.4.8 锯齿波信号

七、实验注意事项

1. 调节示波器时，要注意除 TIME/DIV 和 VOLTS/DIV 外的其他开关和旋钮的位置。
2. 用示波器进行测量时，注意应使 TIME/DIV 和 VOLTS/DIV 旋钮处于关闭状态。
3. 多种仪器同时使用时，要注意“共地”，即各仪器探头的接地端，要连接在一起。