

预习报告		实验记录		分析讨论		总成绩	
25		25		30		80	

年级、专业：	2022 级物理学	组号：	D8
姓名：	黄罗琳、王显	学号：	22344001、22344002
实验时间：	2024.3.6	教师签名：	

实验二 基本电路元件伏安特性的测量

【实验报告注意事项】

1. 实验报告由三部分组成：
- (a) 预习报告：课前认真研读实验讲义，弄清实验原理；实验所需的仪器设备、用具及其使用、完成课前预习思考题；了解实验需要测量的物理量，并根据要求提前准备实验记录表格（可以参考实验报告模板，可以打印）。（20 分）

(b) 实验记录：认真、客观记录实验条件、实验过程中的现象以及数据。实验记录请用珠笔或者钢笔书写并签名（用铅笔记录的被认为无效）。保持原始记录，包括写错删除部分，如因误记需要修改记录，必须按规范修改。（不得输入电脑打印，但可扫描手记后打印扫描件）；离开前请实验教师检查记录并签名。（30 分）

(c) 数据处理及分析讨论：处理实验原始数据（学习仪器使用类型的实验除外），对数据的可靠性和合理性进行分析；按规范呈现数据和结果（图、表），包括数据、图表按顺序编号及其引用；分析物理现象（含回答实验思考题，写出问题思考过程，必要时按规范引用数据）；最后得出结论。（30 分）
- 实验报告就是将预习报告、实验记录、和数据处理与分析合起来，加上本页封面。（80 分）
2. 实验报告在 每个小结（补做）的 之后一周内 提交，最后一次实验，在 结束一周内 提交。
3. 注意事项：
- (a) 请认真查看并理解实验讲义第一章内容；

(b) 注意实验器材的合理使用；

(c) 使用结束使用各种仪器之后需要将其放回原位。

目录

1	基本电路元件伏安特性的测量 预习报告	3
1.1	实验目的	3
1.2	仪器用具	3
1.3	原理概述	3
1.4	实验预习题	4
2	基本电路元件伏安特性的测量 实验记录	6
2.1	实验内容、步骤与结果	6
2.1.1	测试线性电阻元件的伏安特性	6
2.1.2	测试非线性电阻 12V 白炽灯的伏安特性	7
2.1.3	测试直流稳压电源 DP832 的 CH2 的伏安特性	7
2.1.4	测试数控恒流源（DCS-01）的伏安特性	8
2.1.5	电流控制电压源（CCVS）基本特性测试	9
2.2	实验过程遇到问题及解决办法	9
3	基本电路元件伏安特性的测量 分析与讨论	10
3.1	实验数据分析	10
3.1.1	对实验一数据进行线性拟合	10
3.1.2	测试非线性电阻 12V 白炽灯的伏安特性	11
3.1.3	测试直流稳压电源（DP831）CH2 的伏安特性	12
3.1.4	数控恒流源	12
3.1.5	电流控制电压源（CCVS）基本特性测试	13
3.2	实验后思考题	15
4	基本电路元件伏安特性的测量 结语	16
4.1	实验心得和体会	16
4.2	附件	16

基本电路元件伏安特性的测量 预习报告

1.1 实验目的

- 1. 学习基本电路元件伏安特性的测试方法。
- 2. 进一步练习直流稳压电源、万用表的使用方法。

1.2 仪器用具

编号	仪器用具名称	数量	主要参数（型号，测量范围，测量精度等）
1	电路原理箱	1	
2	直流稳压电源	1	
3	直流电流表	1	
4	直流电压表	1	
5	电流表专用线	1	
6	2 号实验导线	1	

1.3 原理概述

- 1. 通过研究元件的伏安特性，可以得出元件的各种特性；如果把电阻元件的电压取为横坐标（纵坐标），电流取为纵坐标（横坐标），画出电压和电流的关系曲线，这条曲线称为该元件的伏安特性。
- 2. 与线性元件不同的是，非线性元件的伏安特性曲线不是一条通过原点的直线，不服从欧姆定律，有些非线性电阻元件的伏安特性还与电压或电流的方向有关。

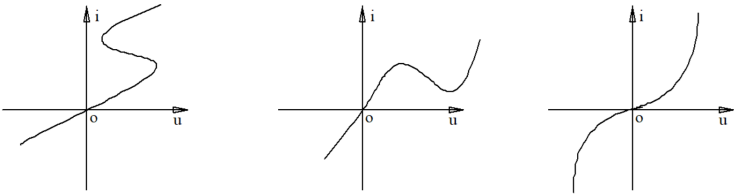


图 1: 非线性电阻元件的伏安特性

- 3. 常见非线性电阻元件有：电流控制型电阻、电压控制型电阻、既是电流控制型又是电压控制型电阻
- 4. 电源可以分为独立源和受控源两种。受控源可以分为四种：压控电压源、流控电压源、压控电流源、流控电流源。受控源的基本特性有输入特性、输出特性和转移特性。

5. 输入特性是指控制端电压与电流之间的关系；输出特性是指控制量为某一常数时，输出端电压与电流之间的关系；转移特性是指输出量与控制量之间的关系。

6. 四种理想受控源的转移特性表示如下：

- 1) VCVS: $\mu = u_2/u_1$, 称之为转移电压比；
- 2) CCVS: $\gamma = u_2/i_1$, 称之为转移电阻；
- 3) VCCS: $g = i_2/u_1$, 称之为转移电导；
- 4) CCCS: $\beta = i_2/i_1$, 称之为转移电流比。

1.4 实验预习题

思考题 1.1: 预习了解电路基本元件及其伏安特性。

原理概述部分

思考题 1.2: 考虑发热对电阻伏安特性的影响；

电阻发热会导致电阻的分子无规则热运动加剧，对电子运动的阻抗增加，阻值会升高。

思考题 1.3: 万用表电压档与电流档的内阻范围以及内阻对测量的影响；

在电压档，内阻的分流会降低电压。所以内阻越高，分流越小，测量误差越小；

在电流档，内阻的压降会使实际电流减小。所以内阻越小，压降越小，测量误差越小。

思考题 1.4: 受控源和独立源相比有何异同点？比较两种受控源的代号、控制量与被控制量的关系如何？

独立源的输出电流或电压保持恒定不变，受控源的输出电流或电压可通过改变控制端来改变。

CCVS, 控制量为输入电流，被控制量为输出电压；

VCCS, 控制量为输入电压，被控制量为输出电流。

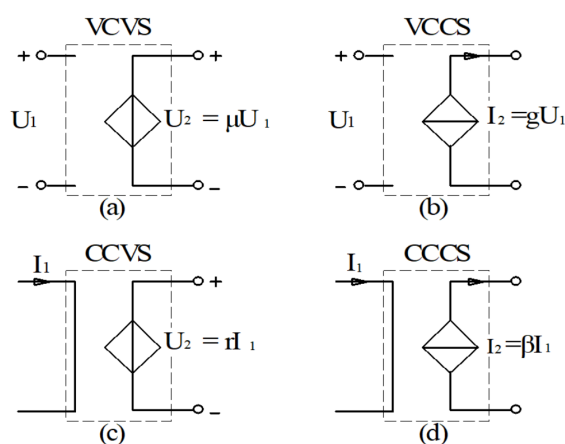


图 2: 四种受控源

思考题 1.5: 两种受控源中的 g 、 γ 的意义是什么？如何测得？

g 为流控电压源的转移电阻，是输出电流与输入电压之比。

γ 为压控电流源的转移电导，是输出电压与输入电流之比。

思考题 1.6: 受控源输入输出是否符合能量守恒，其中的能量转移是怎么进行的？

受控源输入输出符合能量守恒；受控源的输出能量来自于电路的其他部分或外部提供，它是通过其他电路元件对输入信号进行放大或转换，这个过程中能量来源是其他元件的供电，而不是受控源本身，遵循能量守恒定律。

专业：	物理学	年级：	2022 级
姓名：	黄罗琳、王显	学号：	22344001、22344002
室温：	23℃	实验地点：	A522
学生签名：	见附件部分	评分：	
实验时间：	2024/3/6	教师签名：	

基本电路元件伏安特性的测量

实验记录

2.1 实验内容、步骤与结果

2.1.1 测试线性电阻元件的伏安特性

操作步骤记录

1. 用电压表和电流表分别采用方法一（电流表内接法）和方法二（电流表外接法）的两种方法实验。
2. 通过计算可知当电阻两端功率不超过 1W 时，最大电压和电流分别为：
 - 51Ω: $I_{max} = 0.14A$, $U_{max} = 7.14V$;
 - 120Ω: $I_{max} = 0.09A$, $U_{max} = 10.95V$;
- 根据结果，设定在 120Ω 实验中的电压不超过 8V，51Ω 实验中电压不超过 6V。
3. 测量过程均采用 0.5V 步长进行测量，通过调整电源电压进行注意测量并记录数据。
4. 完成电流表内接实验后，改变实验电路，进行电流表外接的电路进行实验
5. 计算电阻值，是根据测量的电压、电流值进行计算，计算结果和拟合图像见实验数据分析。

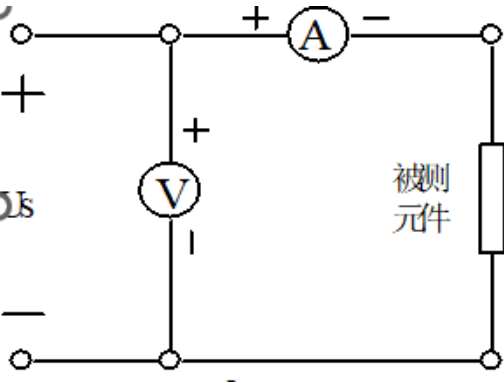


图 3: 内接法电路图

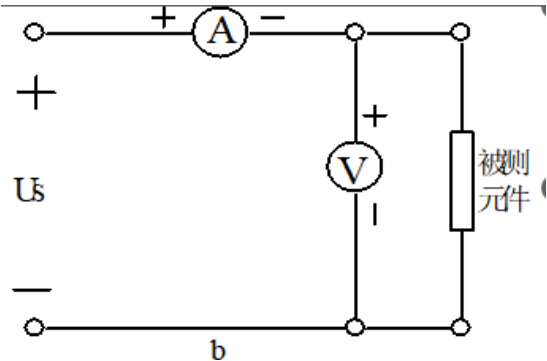


图 4: 外接法电路图

120		51	
u/v	i/ma	u	i
4.98	41.57	5.96	115.65
4.48	37.4	5.47	106.13
3.49	33.25	4.97	96.39
3.48	29.08	4.47	86.67
2.99	24.9	3.97	76.59
2.49	20.74	3.48	66.9
1.99	16.58	2.98	57.37
1.49	12.42	2.48	47.76
0.99	8.28	1.98	38.17
0.49	4.13	1.49	28.6
5.48	45.58	0.99	19.07
5.98	44.84	0.49	9.51
6.48	54.1		
6.97	58.32		
7.47	62.6		
7.97	66.87		

图 5: 内接法实验数据

120		51	
u	i	u	i
0.49	4.12	0.48	9.4
0.98	8.27	0.97	18.98
1.47	12.41	1.45	28.46
1.97	16.55	1.93	37.98
2.46	20.69	2.42	47.51
2.95	24.82	2.9	57.02
3.45	28.98	3.39	66.6
3.94	33.13	3.87	76.2
4.43	37.29	4.35	85.83
4.92	41.45	4.84	95.47
5.42	45.63	5.33	102.4
5.91	49.82	5.81	115.05
6.4	54.05		
6.9	58.27		
7.39	62.51		
7.88	66.76		

图 6: 外接法实验数据

2.1.2 测试非线性电阻 12V 白炽灯的伏安特性

1. 最大电压不能超过 12V，防止功率过大，烧坏元件。
2. 电路图如图 7 所示，根据小灯泡的预估阻值，采取电流表外接的方法进行测量。

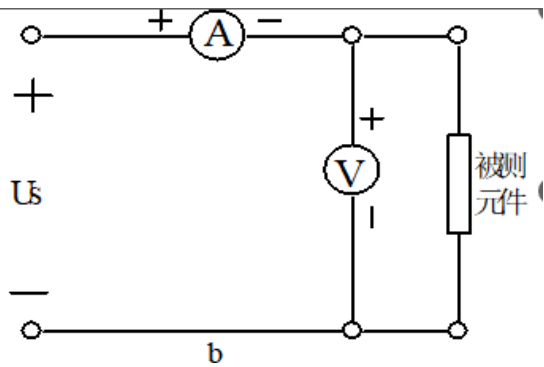


图 7: 测量电路图

u/v	i/ma	u/v	i/ma
0.49	24.42	5.47	79.74
0.99	32.39	5.97	83.77
1.49	39.38	6.47	87.69
1.98	45.59	6.97	91.48
2.48	51.39	7.47	95.11
2.98	56.67	7.97	98.66
3.48	61.76	8.47	102.11
3.98	66.59	8.96	105.48
4.48	717.17	9.46	108.72
4.98	75.56	9.96	111.92

图 8: 白炽灯测量实验数据

2.1.3 测试直流稳压电源 DP832 的 CH2 的伏安特性

1. 利用电压表测电阻两端电压，然后除以电阻箱的已知电阻计算电流。
2. 电路图如图 9 所示。

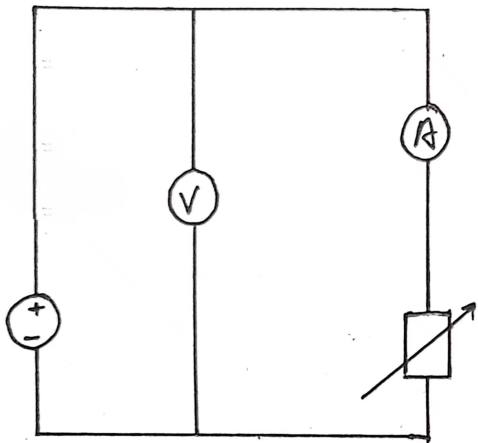


图 9: 实验电路图

u/v	i/ma
5.9945	19.1
5.995	18.0907
5.9955	17.0974
5.9962	15.9165
5.9965	15.0691
5.9968	14.0759
5.9973	13.0382
5.9975	12.052
5.9978	10.9825
5.998	9.9774
5.9982	9.0247
5.9985	7.9953
5.9988	7.0237
5.9991	6.0262
5.9992	4.9883

图 10: CH2 实验数据

2.1.4 测试数控恒流源（DCS-01）的伏安特性

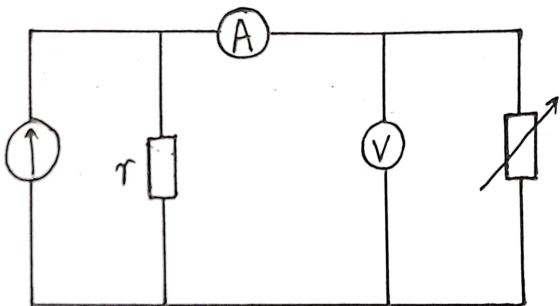


图 11: 实验电路图

u/mv	i/ma
11.194	1.0484
22.333	1.04897
30.051	1.04862
40.333	1.04924
49.899	1.04896
60.868	1.04844
70.898	1.04919

图 12: 数控恒流源（DCS-01）的伏安特性实验数据

2.1.5 电流控制电压源 (CCVS) 基本特性测试

1. 输出特性

- (a) 输出特性。使 CCVS 控制电流 $I_1 = 100\mu A$ ，负载电阻分别为 $1K\Omega$ 、 $3K\Omega$ 、 $5K\Omega$ 时，用万用表测量输出电压 U_2 和输出电流 I_2 ，将数据填入表中。
- (b) 转移特性及输入特性。使 CCVS 负载 $RL = 2K\Omega$ ，改变控制量 I_1 大小，用万用表测量控制端电压 U_1 及输出电压 U_2 ，记录数据。

r/Ω	u 输出/V	i 输出/mA
1k	6.085	6.085
3k	6.136	2.028
5k	6.162	1.232

2. 转移特性及输入特性

使 CCVS 负载 $RL = 2K\Omega$ ，改变控制量 I_1 大小

实际	I_1 输入/mA	u_1/v	u_2/v
0.129	0.1	0.787	6.448
0.241	0.2	2.442	8.984
0.349	0.3	8.094	9.019
0.276	0.25	3.917	8.915
0.202	0.15	1.76	8.857
0.168	0.13	1.194	8.09
0.093	0.05	0.414	4.665

2.2 实验过程遇到问题及解决办法

- 第一个实验中出现了与理论计算不相符的情况（两种方法一测量值偏大，一测量值偏小）而经过初步计算认定两值均偏小，虽然相对大小正确，经分析，可能由于当时天气为回南天，湿度较大，导致电路连接出现因潮湿而出现传输问题，可能会导致数据出现误差。
- 第二个实验中起初由于电压较小，灯泡亮度较低，无法确认是否连接正常，可以选择从高电压进行测量，这样可以确认电路安全，也可以保证电路连接正确。
- 第三个实验中，由于内电阻接近于零故建立如图 9 所示电路电路。
- 第五个实验中，电路连接有很多难点，经过与老师讨论和同学互助，正确连接了电路，并帮助多位同学完成了电路连接，其中电路板 12V 供电起初并没有打开，出现了一组错误数据，其在数据记录原始版中有体现，在更正数据之后，得到了初步符合理论计算的数据。
- 实验中很多连接需要充分利用各种借口的连接线，此外由于手持式万用表很容易损坏，出现了要更换保险丝的问题。

专业:	物理学	年级:	2022 级
姓名:	黄罗琳、王显	学号:	22344001、22344002
日期:	2024/3/6	评分:	

基本电路元件伏安特性的测量 分析与讨论

3.1 实验数据分析

3.1.1 对实验一数据进行线性拟合

1. 电压表内接法数据拟合

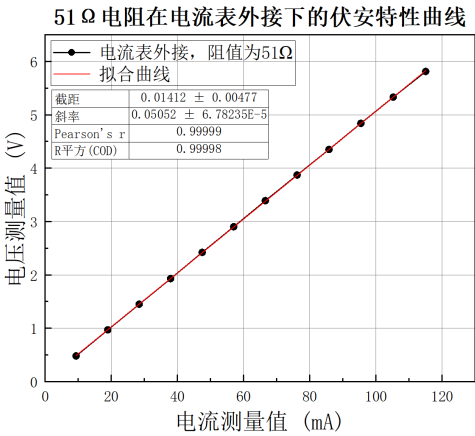


图 13: 电压表内接 51Ω 拟合

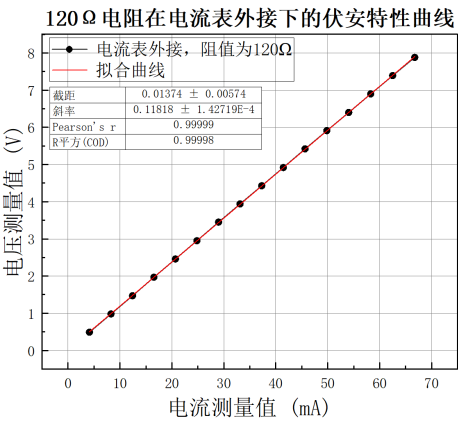


图 14: 电压表内接 120Ω 拟合

2. 电压表外接法数据拟合

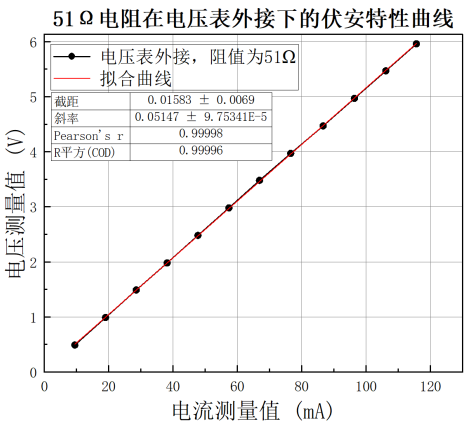


图 15: 电压表外接 51Ω 拟合

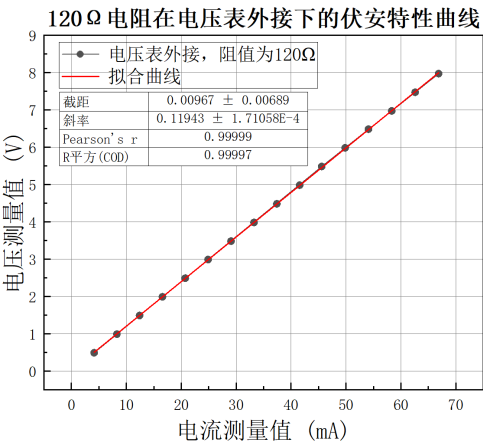


图 16: 电压表外接 120Ω 拟合

3. 数据对比

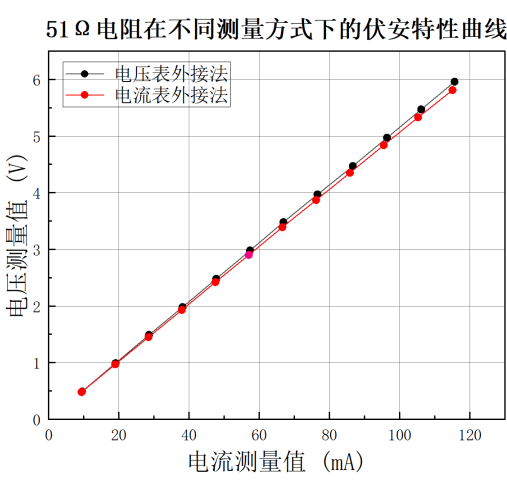


图 17: 51Ω 两种方法数据对比

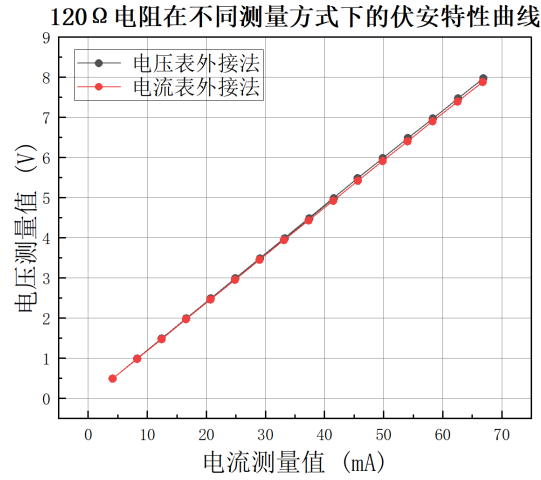


图 18: 120Ω 两种方法数据对比

4. 数据分析

内接法结果: $R_1=50.52\pm0.007\Omega$ 相对误差: $r_1=-0.009$ $R_2=118.18\pm0.02\Omega$ 相对误差: $r_2=-0.015$
外接法结果: $R_1=51.47\pm0.009\Omega$ 相对误差: $r_1=0.009$ $R_2=119.43\pm0.02\Omega$ 相对误差: $r_2=-0.00475$
数据对比和理论分析可知, 测量小电阻时外接法误差更小, 测量大电阻时内接法误差更小, 之后所有实验电路设计的选择均采用此项原则, 例如对于恒压源内阻无限小的情况, 采用电压表内接 (防止电流表内阻影响测量)
误差来源分析: 正如前文所说, 当时空气湿度较大, 故对于 120Ω 的电阻伏安特性的测量与实际不相符, 但是相对大小不变, 故可认定实验数据准确, 仅存在系统误差。

3.1.2 测试非线性电阻 12V 白炽灯的伏安特性

1. 将实验数据进行绘图。

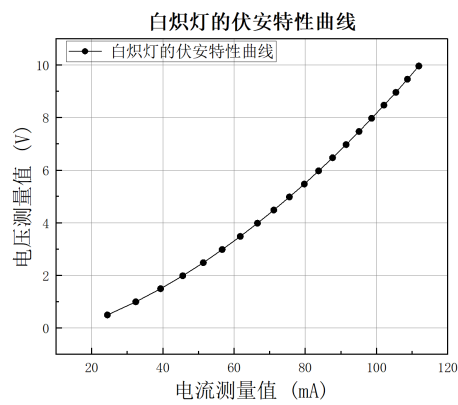


图 19: 白炽灯伏安特性曲线

2. 图片数据分析

由图可知，白炽灯（非线性电阻）的伏安特性曲线不是一条直线，电阻值随电压或电流的变化而变化。根据曲线趋势可知，白炽灯的阻值随着电压和电流的增大逐渐升高，其物理意义为：电压电流升高导致灯丝的温度升高，从而加剧了分子的不规则运动，从而影响了金属的导电能力，故会导致阻值升高。

3.1.3 测试直流稳压电源（DP831）CH2 的伏安特性

1. 将实验数据进行绘图。

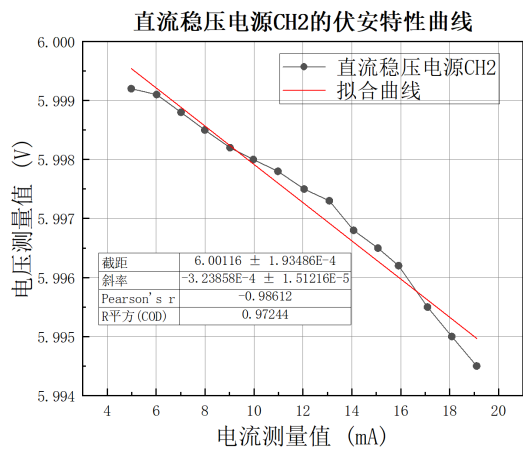


图 20: 直流稳压电源（DP831）CH2 的伏安特性曲线

2. 图片数据分析 由图可知，伏安特性曲线不是一条直线，电阻值随电压或电流的变化而变化，这是由于恒压源并非理想电源，存在内阻，故输出电压会产生变化，线性拟合后，斜率的绝对值即为电源内阻。
 $r_{\text{内}} = 3.23858 \times 10^{-4}\Omega$.

3.1.4 数控恒流源

1. 将实验数据进行绘图。

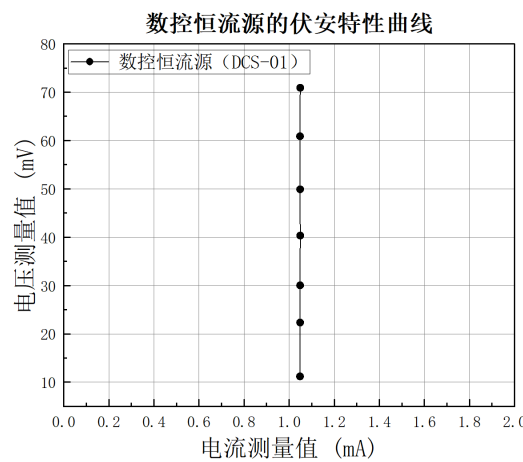


图 21: 数控恒流源的伏安特性曲线

2. 图片数据分析

由图可知，伏安特性曲线近似为一条直线，可以说明恒流源的输出电流恒定，值得一提的是，测量数据发现电流存在极小范围的周期波动，分析其来源可能是由于导线头的不稳定，需要进行手动连接，这可能导致手部颤抖等问题出现接触问题，会导致数据出现波动，但在总体上电流数据恒定，故认定实验成功。

3.1.5 电流控制电压源（CCVS）基本特性测试

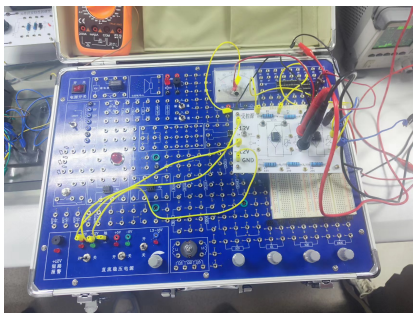


图 22: 实验接线总览

1. 输出特性

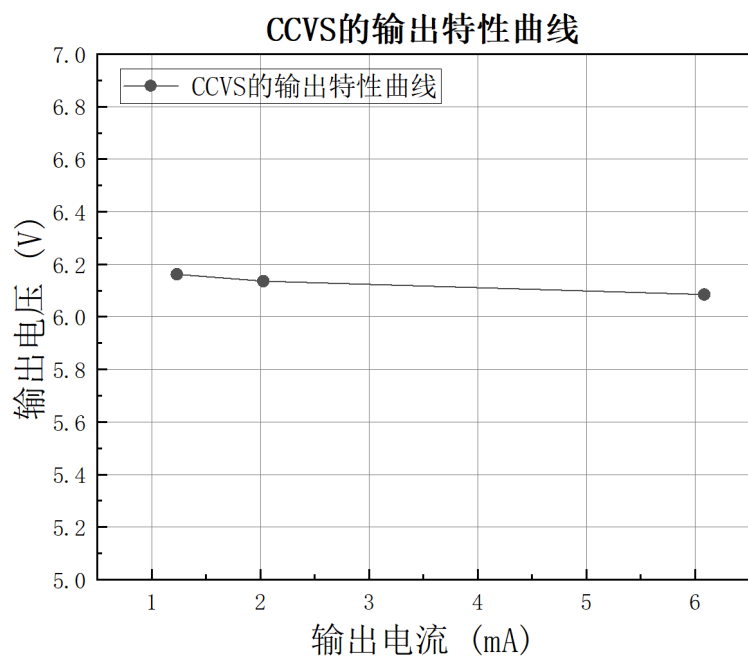


图 23: 电流控制电压源（CCVS）输出特性

数据分析：电流控制电压源（CCVS）的输出电压基本不随输出电流（负载电阻）的变化而变化，这是因为受控电压源的输出电压是由输入端电流控制的，只要输入端电流不改变，且电流在正常工作区间，那么输出电压就不会变化。

2. 转移特性

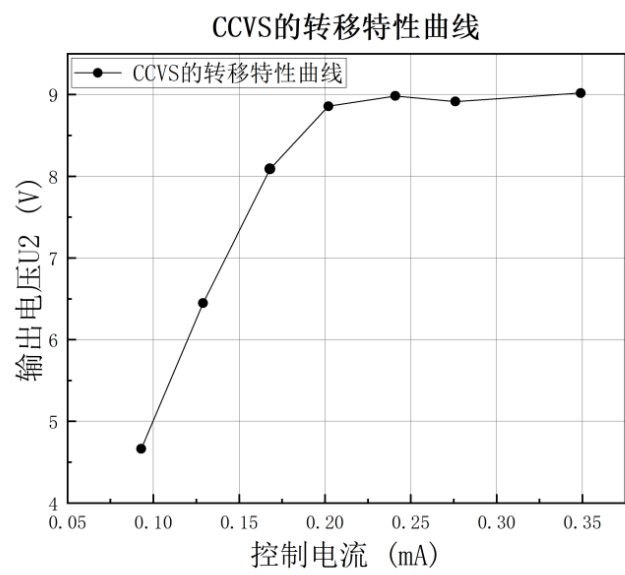


图 24: 电流控制电压源（CCVS）转移特性

γ （转移电阻）是表征电流控制电压源（CCVS）的转移特性的物理量，它的定义是输出端电压与输入端电流的比值。从实验数据可知，当控制电流较小时，转移电阻近似为常数。当控制电流较大时，转移电阻不断减小，原因可能是超出了受控电压源的工作电流区间。

3. 输入特性

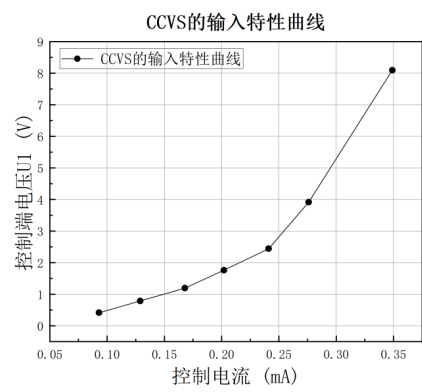


图 25: 电流控制电压源（CCVS）输入特性

由实验数据可知，在控制电流较小时，电流控制电压源（CCVS）的控制端电压近似与控制电流成正比，此时受控源在正常工作电流区间内，近似为线性受控源。当控制电流较大时，受控源的等效电阻变大，原因可能是此时的电流超出了受控源的正常工作区间。

3.2 实验后思考题

实验原本思考题在实验前思考题中均完成作答，而本部分为实验后对于之前所写思考题的一个补充

思考题 3.1：发热对电阻伏安特性的影响（查找资料后详细说明）

电阻的发热会影响其电阻特性，这可以通过考虑热效应来解释。当电流通过电阻时，会产生电阻发热，导致电阻温度升高。由于材料的电阻率与温度之间存在正相关关系，电阻的电阻值通常随温度的升高而增加。其表达式如下：

$$R(T) = R_0 [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$$

其中：

- $R(T)$ 是温度为 T 时的电阻值。
- R_0 是参考温度 T_0 下的电阻值。
- α 是电阻温度系数（温度系数）。
- T 是电阻的温度。
- T_0 是参考温度。

这个公式说明了电阻值随温度变化的关系。通常情况下，电阻温度系数 α 是正值，这意味着电阻值随温度的增加而增加。

α 是正值的原因：温度升高会导致电阻升高的原因主要涉及材料内部原子或离子的热运动。这种热运动会增加电阻材料中电子与原子（或离子）之间的散射，导致电子通过材料时遇到更多的阻力，从而增加了电阻。

在晶体结构的材料中，如金属或半导体，温度升高会增加原子或离子的热振动。这种振动增加会使得电子在材料中传输时更容易与原子或离子发生碰撞。这些碰撞会导致电子的平均自由程减小，从而增加了电子在材料中的有效阻力。

在金属中，电阻值随温度升高而增加的主要原因是原子振动增加导致电子与晶格缺陷和杂质发生散射的频率增加。在半导体中，温度升高会增加电子与杂质、缺陷、声子等散射中心的相互作用，从而增加了电阻。

因此，温度升高会导致材料内部原子或离子的热振动增加，这进一步导致了电子在材料中的散射增加，从而使电阻增加。

基本电路元件伏安特性的测量 结语

4.1 实验心得和体会

1. 实验内容较多，基本上需要很繁琐的接线过程，并且需要进行频繁大量的读数，实验数据量和处理过程都很复杂。
2. 实验仪器要求很高，例如出现了仪器表显和实际测量的数据偏差较大的问题，（例如 CCVS 过程中我需要去测量实际输入电流，与显示的输入电流相差很大）
3. 实验仪器手持式万用表存在仪器问题，相对于台式，存在易损坏的问题，建议如果后续实验需要可以加入新的台式万用表，方便实验进行。
4. 本实验报告采用 LATEX 编辑。

4.2 附件

实验原始数据

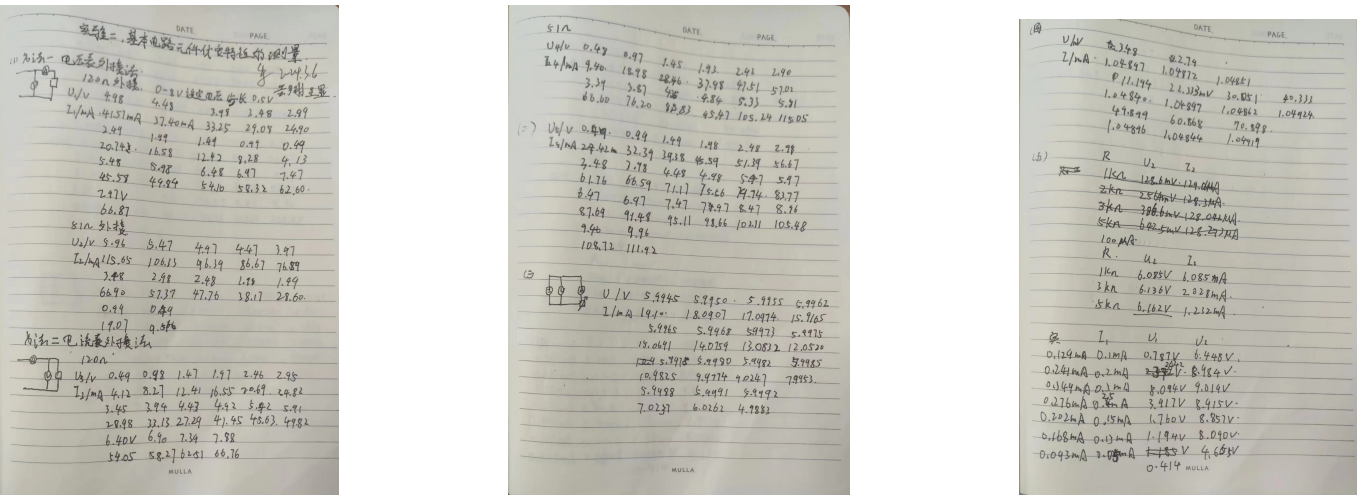


图 26: 原始数据 1

图 27: 原始数据 2

图 28: 原始数据 3

试验台桌面整理。



图 29: 桌面整理