

# 实验报告

## 第 1、3 次实验

评定成绩: \_\_\_\_\_ 审阅教师: \_\_\_\_\_

## 一、实验目的

1. 了解电流表电压表的物理模型，运用欧姆定律，通过对测量误差的分析、推理，掌握电流表内接法、电流表外接法等测量方法；通过对不同测量方法产生误差的估算、分析，建立技术方法存在适用范围的概念。
2. 了解二极管、稳压二极管的特性与应用特点，掌握稳压管伏安特性测量方法。

## 二、实验原理（预习报告内容，如无，则简述相关的理论知识点。）

- (1) 正弦波信号的参数定义如下:

**VP-P:** 峰峰值, 指正弦波信号的最大电压值与最小电压值之差, 也就是正弦波的最大振幅的两倍。

V: 电压, 指正弦波信号在任意时刻的电压值, 可以用数学公式表示为  $V = V_P - P/2 * \sin(2 \pi f * t + \phi)$ , 其中 f 是频率, t 是时间,  $\phi$  是相位。

T: 周期, 指正弦波信号完成一个完整的波形所需的时间, 与频率的关系为  $T = 1/f$ 。

- (2) 交流测量频率范围如下:

UT803 万用表的交流测量频率范围为 40 Hz 到 400 Hz

SDM3055 万用表的交流测量频率范围为 20 Hz 到 100 kHz

功能	量程 <sup>10)</sup>	频率范围	1年精度 23°C ± 5°C	温度系数 0°C ~ 18°C 28°C ~ 50°C	测量方法和测试条件	
真有效值交流电压 <sup>12)</sup>	200 mV	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.5 ± 0.10 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>交流电压</b> 输入范围 200 mV, 0.2 V, 2 V, 20 V, 200 V, 1000 V 量程, 10 Hz 带宽, ± 2% 输入精度 450 pA, 28°C 环境温度 输入阻抗 1000 V, 阻抗负载 分辨率精度 120 dB (20 Hz 到 20 kHz 100 V 至 1000 V 量程, 最大 4,800 VDC) 频率响应精度 10 Hz 带宽, 精度 ± 0.5% 频率 "标准" 频率响应精度 ± 0.5%	
	2 V	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.0 ± 0.05 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>电压</b> 输入精度 ± 0.5% 精度 输入精度 1000 V, 精度负载	
	20 V	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.0 ± 0.05 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>交流电压</b> 输入精度 ± 0.5% 精度 输入精度 1000 V, 精度负载	
	200 V	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.0 ± 0.05 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>电压</b> 输入精度 ± 0.5% 精度 输入精度 1000 V, 精度负载	
	750 V	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.0 ± 0.05 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>电压</b> 输入精度 ± 0.5% 精度 输入精度 1000 V, 精度负载	
	20 mA	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.0 ± 0.05 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>电压</b> 输入精度 ± 0.5% 精度 输入精度 1000 V, 精度负载	
	200 mA	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.0 ± 0.05 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>电压</b> 输入精度 ± 0.5% 精度 输入精度 1000 V, 精度负载	
	2 A	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.0 ± 0.05 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>电压</b> 输入精度 ± 0.5% 精度 输入精度 1000 V, 精度负载	
	10 A <sup>13)</sup>	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.0 ± 0.05 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>电压</b> 输入精度 ± 0.5% 精度 输入精度 1000 V, 精度负载	
	真有效值交流电压 <sup>12)</sup>	200 mV	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.5 ± 0.10 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>交流电压</b> 输入范围 200 mV, 0.2 V, 2 V, 20 V, 200 V, 1000 V 量程, 10 Hz 带宽, ± 2% 输入精度 450 pA, 28°C 环境温度 输入阻抗 1000 V, 阻抗负载 分辨率精度 120 dB (20 Hz 到 20 kHz 100 V 至 1000 V 量程, 最大 4,800 VDC) 频率响应精度 10 Hz 带宽, 精度 ± 0.5% 频率 "标准" 频率响应精度 ± 0.5%
		2 V	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.0 ± 0.05 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>电压</b> 输入精度 ± 0.5% 精度 输入精度 1000 V, 精度负载
		20 V	20 Hz ~ 48 Hz 48 Hz ~ 20 kHz 20 kHz ~ 50 kHz 50 kHz ~ 100 kHz 20 Hz ~ 48 Hz	1.0 ± 0.05 0.2 ± 0.05 1.0 ± 0.05 3.0 ± 0.05 1.5 ± 0.10	0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.01 ± 0.005 0.08 ± 0.010 0.01 ± 0.005	<b>交流电压</b> 输入范围 200 mV, 0.2 V, 2 V, 20 V, 200 V, 1000 V 量程, 10 Hz 带宽, ± 2% 输入精度 450 pA, 28°C 环境温度 输入阻抗 1000 V, 阻抗负载 分辨率精度 120 dB (20 Hz 到 20 kHz 100 V 至 1000 V 量程, 最大 4,800 VDC) 频率响应精度 10 Hz 带宽, 精度 ± 0.5% 频率 "标准" 频率响应精度 ± 0.5%

规格概要	
测量精度	根据测量方法由精度决定。测量精度为±2%至±3%。
显示形式	2 行
输入阻抗	标准量程 1000 V
输出接口	
测量语言	日语和英语。可根据需要变更。
规格详细数据	
电源规格	1 ~ 1000 V
额定电压	0 mV ~ 1000 mV 精度
输入精度	输入精度 ± 0.5% 精度 TTC 兼容 (输入精度为 0.1%) 2 行 0.1 下位和 0.1 位 4 行 0.01 和 0.01% 显示精度
内部数据输入	输入精度 ± 0.5% 精度 200 ± 5 200 ± 5
VAC 输出	精度 ± 0.5% 精度 输出精度 ± 0.5% 精度 输出精度 ± 0.5% 精度
安全规格概要	
安全规格概要	100 V 电压规格
绝缘电阻	100 V 电压规格 100 MΩ 精度
安全规格详细数据	
安全规格详细数据	100 V 电压规格 100 MΩ 精度

- (3) 计算最大可测量频率下 0.01uF 0.022uF 电容的理论容抗值和 330uH 电感的理论感抗值如下:

0.01uF 电容的理论容抗值为  $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ，其中 f 是频率，C 是电容值。根据不同的

万用表,最大可测量频率有所不同,因此容抗值也有所不同。以下是不同万用表下的容抗值:

UT803 万用表的最大可测量频率为 400 Hz，因此 0.01 $\mu$ F 电容的理论容抗值为

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 400 \times 0.01 \times 10^{-6}} \approx 39.79\Omega$$

SDM3055 万用表的最大可测量频率为 100 kHz，因此 0.01uF 电容的理论容抗值为

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 100000 \times 0.01 \times 10^{-6}} \approx 0.16\Omega$$

330uH 电感的理论感抗值为  $X_L = 2\pi fL$ ；，其中 f 是频率，L 是电感值。根据不同的万用表，最大可测量频率有所不同，因此感抗值也有所不同。以下是不同万用表下的感抗值：

UT803 万用表的最大可测量频率为 400 Hz，因此 330uH 电感的理论感抗值为

$$X_L = 2\pi \times 400 \times 330 \times 10^{-6} \approx 0.83\Omega$$

SDM3055 万用表的最大可测量频率为 100 kHz，因此 330uH 电感的理论感抗值为

$$X_L = 2\pi \times 100000 \times 330 \times 10^{-6} \approx 207.35\Omega$$

(4) 已了解 DDS 信号源作用，已了解基本功能和使用方法。

(5) 二极管及稳压管的特性如下：

二极管是一种半导体器件，它允许电流只能沿一个方向流动，而在相反方向上阻断电流。它有两个端子，分别称为阳极和阴极，以及形成器件核心的 PN 结。阳极连接到电路的正极，阴极连接到电路的负极。当阳极电压高于阴极电压时，二极管正向偏置并导通电流。当阳极电压低于阴极电压时，二极管反向偏置并阻断电流。

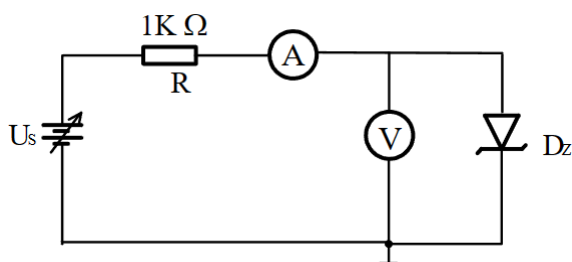
稳压管是一种能够保持恒定输出电压的器件，不受输入电压或负载电流的变化的影响。它可以用来为需要特定电压水平的电子电路或设备提供稳定的电源。稳压管有两种类型：线性和开关。线性稳压管使用一个串联元件，如晶体管或电阻，来降低多余的电压并调节输出。开关稳压管使用一个开关元件，如晶体管或 MOSFET，来以高频率地开关输入电压，并通过控制占空比来调节输出。

(6) 了解分析稳压管伏安特性测量方法

伏安法是一种利用欧姆定律来测量稳压管的电压和电流的方法，它的基本原理是：当稳压管的电压保持恒定时，电流随着电压源的变化而变化，反之亦然。因此，通过改变电压源的输出电压，可以得到稳压管的电压和电流的对应值，绘制出稳压管的伏安特性曲线。

伏安法的优点是原理简单，易操作，只需要一个可变电压源，一个电流表和一个电压表，就可以完成测量。这种方法适用于测量一般的稳压管，如齐纳二极管等，可以观察到稳压管的正向和反向特性，以及反向击穿区域的恒定电压。

伏安法的缺点是误差较大，因为电流表和电压表的内阻会影响测量结果。电流表的内阻会使电压源的输出电压降低，导致测量的稳压管电压偏小；电压表的内阻会使电路的总电阻增大，导致测量的电流偏小。因此，为了减小误差，应该选择内阻较小的电流表和内阻较大的电压表，或者使用其他更准确的测量方法，如等效法或直流电桥法。



### 三、实验内容

(1) 用数字万用表直接测量 ( $10\ \Omega$ 、 $2\text{M}\ \Omega$ )、电容 ( $0.022\ \mu\text{F}$ ) 的参数，测量二极管（稳压二极管）的极性。

电阻测量结果： $10.051\ \Omega$  与  $1.976\text{M}\ \Omega$

电容测量结果： $23.04\text{nF}$

稳压二极管极性判断（方法及结论）：

用数字万用表的二极管档位，将红表笔接触稳压二极管的某极，黑表笔接触稳压二极管的另一极，如果显示有电压值（为  $0.7365\text{V}$ ），则说明稳压二极管的极性与表笔的颜色相同；如果显示无电压值且出现哔的声音，则说明稳压二极管的极性与表笔的颜色相反。

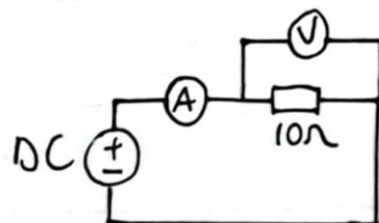
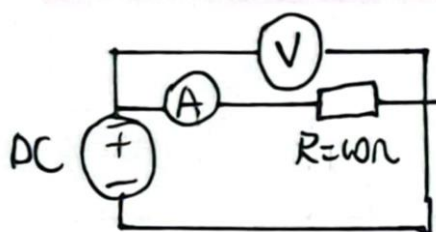
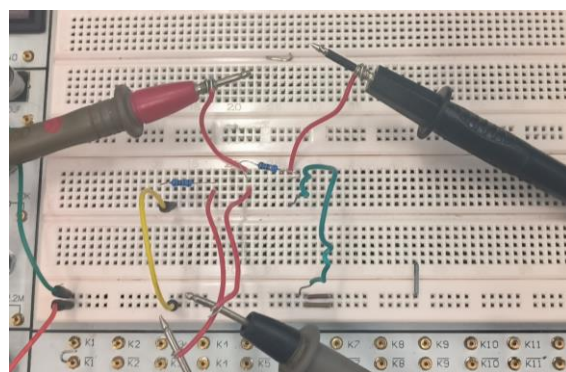
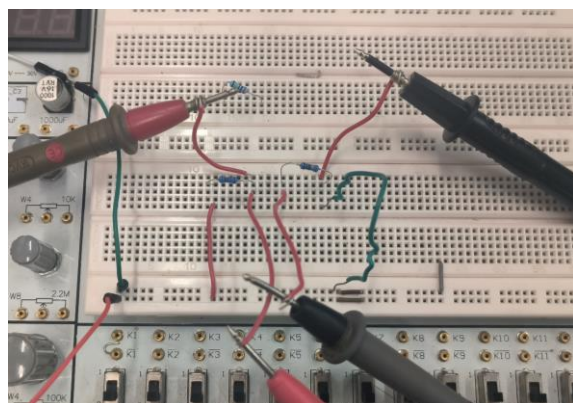
也可以直接观察稳压二极管，靠近黑环且旁边有一个负号的引脚为负极，另一个引脚为正极。

这两种办法都可以判断二极管的极性

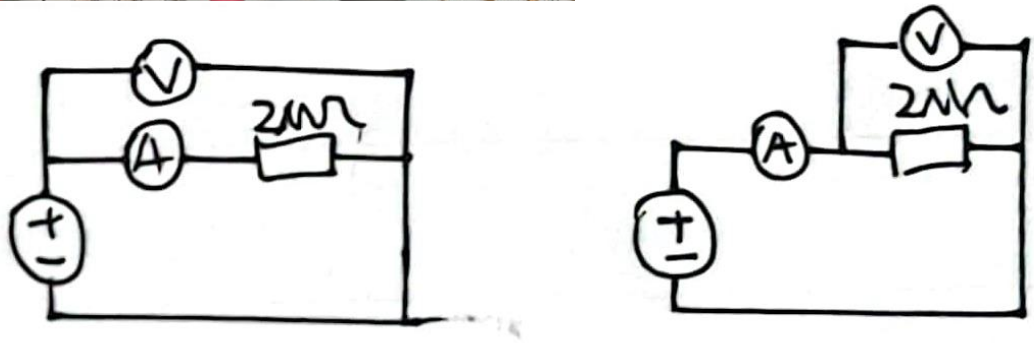
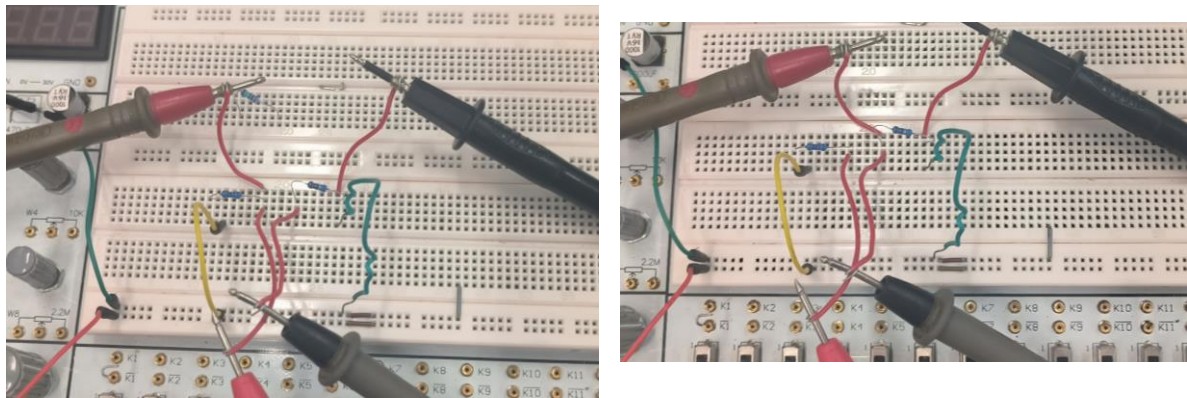
(2) 设计电路，进行电阻阻值的测量 ( $10\ \Omega$ ， $2\text{M}\ \Omega$ )；

a) 选择合适的电源电压，分别用电流表内接和电流表外接两种方法测量每个电阻阻值；

$10\ \Omega$  电阻测量电路（电流表内接、电流表外接测量电路及实物图片拍摄）



2MΩ 电阻测量电路（电流表内接、电流表外接测量电路及实物图片拍摄）



b) 记录测量数据，对比分析测量误差及误差原因，并以提高测量精度为准则给出实验结论。

电源电压 (V)	测量对象 (标称值)	测量方法	电压 (V)	电流 (I)	电阻 (Ω)	误差 (%)
1.9	10 Ω	电流表内接	21.574mV	1.899mA	11.360Ω	13.6%
1.9	10 Ω	电流表外接	20.470mV	1.898mA	10.785Ω	7.85%
30	2M Ω	电流表内接	29.944V	15.114μA	1.981MΩ	-0.95%
30	2M Ω	电流表外接	29.943V	18.082μA	1.656 MΩ	-17.2%

实验数据分析（误差和误差原因）：

电流表内接和外接的测量方法对电阻的测量结果有影响，因为电流表本身也有内阻，会影响电路的总电阻。电流表内接时，电流表的内阻与被测电阻串联，会使总电阻增大，导致测量结果偏大，但是当被测电阻很大时，这个可以忽略不计，误差会比较小。电流表外接时，电压表的内阻与被测电阻并联，会使总电阻偏小，导致测量结果偏小，但是当被测电阻很小时，于很大的电压表电阻并联后电阻仍然很小，误差会比较小。

实验结论：

为了提高测量精度，应该选择合适的测量方法和仪器。一般来说，当被测电阻较小时，应该采用电流表外接的方法；当被测电阻较大时，应该采用电流表内接的方法。另外，应该选择内阻较小的电流表和灵敏度较高的万用表。



本实验中，最准确的测量结果是用 30V 电源和 2MΩ 被测电阻，并采用电流表内接的方法得到的。其误差为-0.95%，最小。最不准确的测量结果是用 1.9V 电源和 10Ω 被测电阻，并采用电流表内接的方法得到的。其误差为 13.6%，最大。

(3) 测量电容和电测量电容（0.022 μF、330 μH 电感）

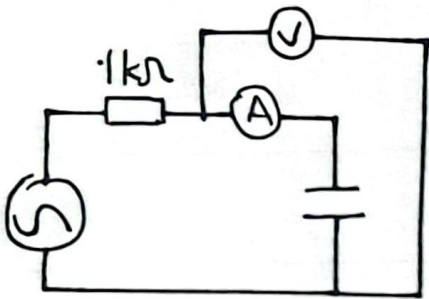
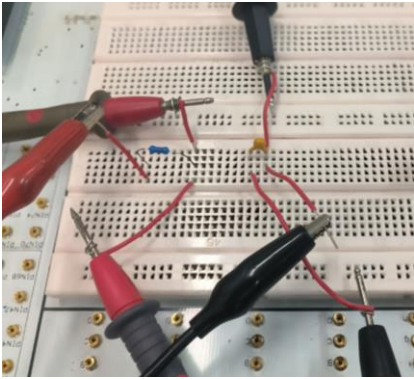
a) 选择信号源作为激励源，选择信号频率，计算相应容抗、感抗；

测量频率	容抗	测量频率	感抗
1k	$6.83 \times 10^3 \Omega$	10k	19.27 Ω
5k	$1.42 \times 10^3 \Omega$	50k	98.70 Ω

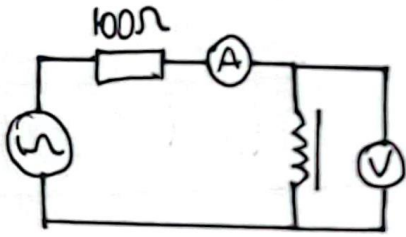
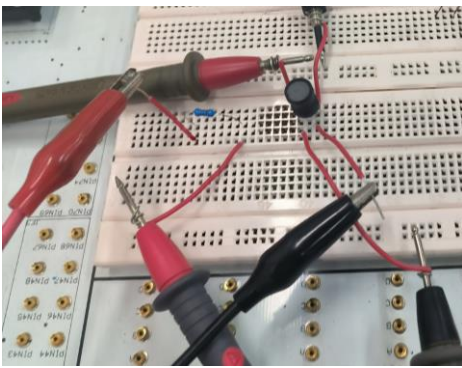
b) 选择电阻、电容，或者电阻、电感构成电路，接入激励源；

c) 选择测量方法，画出测量电路；

电容测量电路及实物图片拍摄：



电感测量电路及实物图片拍摄：



d) 在不同频率段分别测量并记录实验数据（各测两组数据），计算电容、电感的参数；

激励源频率 (Hz)	测量对象 (标称值)	测量方法	电压 (V)	电流 (I)	元件参数	误差 (%)
1k	电容	内接	1.741V	0.2548mA	22.9nF	4.09%
5k	电容	内接	1.42V	0.9960mA	22.3nF	1.36%
10k	电感	外接	33.35mV	1.7304mA	307uH	-6.97%
50k	电感	外接	166.25mV	1.686mA	314uH	-4.85%

#### e) 思考：如何提高测量精度？

测量电容和电感的精度受到信号源的频率、电阻的大小、电路接法等因素的影响。为了提高测量精度，可以采取以下措施：

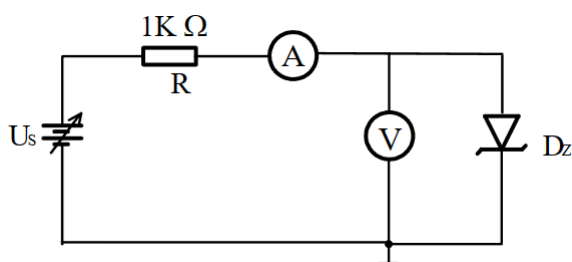
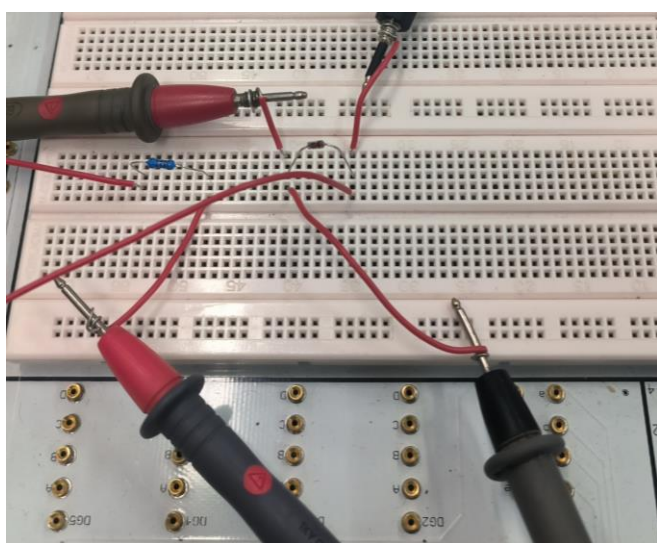
选择合适的信号频率，使得被测元件的阻抗处于一个合理的值，避免过大或过小的阻抗影响测量结果。

选择合适的电路接法，电感因为阻抗小电流表应该外接，而电容阻抗大电流表内外接都可以。

选择合适的电阻，使得电路的电压和电流不会因为过大而烧坏器件，也不会因为过小而使误差偏大。

#### (4) 稳压二极管伏安特性的测量；（提高要求）

a) 测量电路：



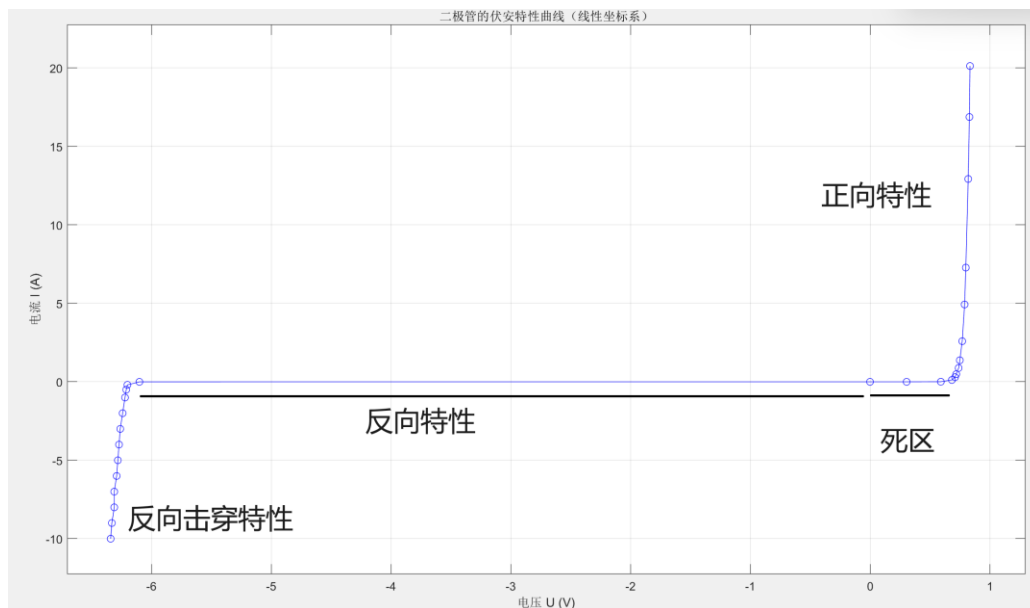
b) 数据记录表格

表 4 测量稳压二极管的伏安特性

U	-6.34V	-6.33V	-6.31V	-6.31 V	-6.29 V	-6.28 V	-6.27 V
I	-10 mA	-9 mA	-8 mA	-7 mA	-6 mA	-5 mA	-4 mA
U	-6.26V	-6.24 V	-6.22 V	-6.21 V	-6.2 V	-6.1 V	0
I	-3 mA	-2 mA	-1 mA	-0.5mA	-193uA	-1uA	0

U	0	0.3057V	0.5915V	0.6836V	0.71 V	0.72V	0.74V	0.75V
I	0	0.033uA	5.96uA	117.9uA	0.296mA	0.488mA	0.882mA	1.374mA
U	0.77V	0.79V	0.8V	0.82	0.83	0.835		
I	2.59mA	4.93mA	7.28mA	12.93	16.88	20.13		

c) 描绘稳压二极管的伏安特性曲线



#### 四、实验使用仪器设备（名称、型号、规格、编号、使用状况）

示波器：

GDS-1102B

信号源：

SDG 1032X Function/Arbitrary Waveform Generator

数字万用表：

SDM3055X-E Digital Multimeter

稳压电源：

SPD3303C

#### 五、实验总结

（实验出现的问题及解决方法、思考题（如有）、收获体会等）

本实验是电子技术基础的第一三个实验的实验报告，是对电阻、电容、电感和稳压二极管的测量和分析。通过本实验，我学习了不同的测量方法和原理，掌握了示波器、信号源、数字万用表和稳压电源的基本操作和使用，了解了电阻、电容、电感和稳压二极管的特性和参数，熟悉了实验箱的使用方法和注意事项。我还学习了如何选择合适的测量电路和绘制伏安特性曲线，以及如何计算容抗、感抗和误差，以及如何提高测量精度。

#### 六、参考资料（预习、实验中参考阅读的资料）



《电子技术基础实验教程》，李晓峰等编著，高等教育出版社

《电子技术基础》，王晓东等编著，清华大学出版社

《电子技术基础实验指导书》，北京航空航天大学电子信息工程学院