

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称: 电路实验

第 2 次实验

实验名称: 电子元器件参数测试

院（系）： 电子科学与工程

专 业： 电子信息大类（无锡）

姓 名: 孙寒石 学 号: D2219117

实 验 室: 104 实验组别: 17

同组人员： 张扬 实验时间： 2020 年 9 月 3 日

评定成绩: 审阅教师:

一、实验目的

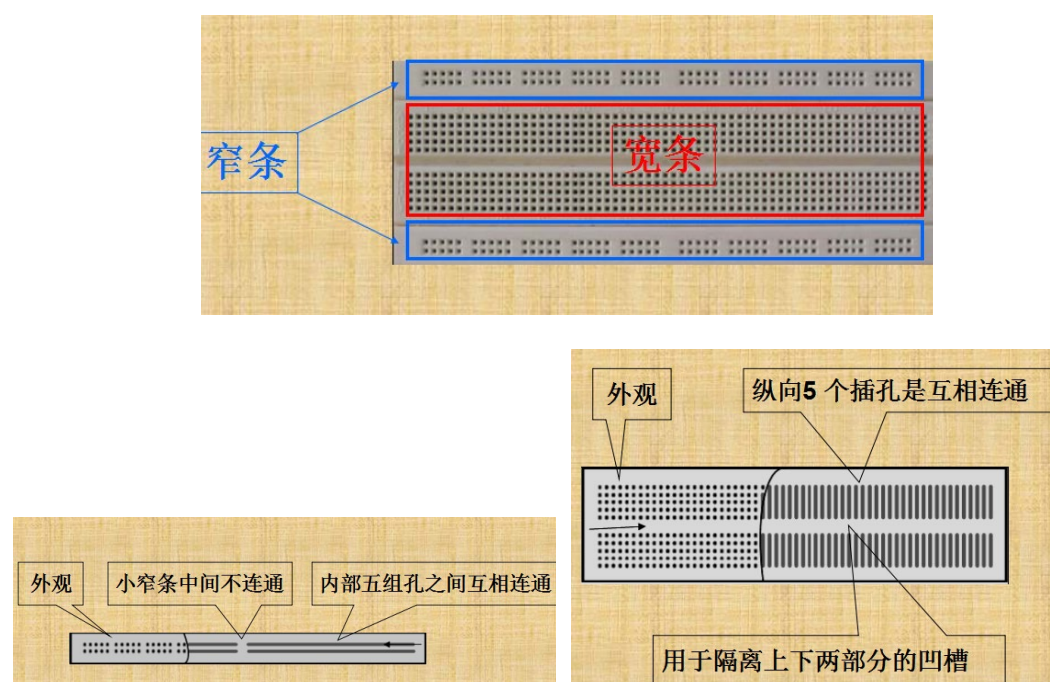
1. 了解电流表电压表的物理模型,运用欧姆定律,通过对测量误差的分析、推理,掌握电流表内接法、电流表外接法等测量方法;通过对不同测量方法产生误差的估算、分析,建立技术方法存在适用范围的概念。
2. 了解二极管、稳压二极管的特性与应用特点,掌握稳压管伏安特性测量方法。

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) 查阅资料,了解并写出面包板用途及结构。

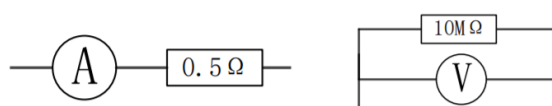
面包板的用途:面包板是用作对集成电路进行试验。由于可根据需要随意插入或拔出各种电子元器件,免去了焊接,节省了电路的组装时间,且元件可以重复使用,所以非常适合电子电路的组装、调试和训练。

面包板的结构:



- (2) 查阅资料,了解电压表、电流表结构模型及特点。

电压表:电压计并联大电阻;电流表:电流计串联小电阻。



(3) 电流表内接法、电流表外接法测量电阻方法及适用情况，并总结归纳

假设电流表内阻为 R_A ，电压表内阻 R_V ，被测电阻为 R_x

1. 采用电流表内接法的条件： $R_x \gg R_A$

2. 采用电流表外接法的条件： $R_V \gg R_x$

3. 当不满足上述两个条件时，为了减小误差，有如下判断

$$\text{设 } R = \sqrt{R_A R_V}$$

a. $R_x > R$ 使用内接法

b. $R_x < R$ 使用外接法

c. $R_x = R$ 两种接法都可以

4. 如果电阻不知道，可以采用试触法进行初步判断

(4) 写出电容容抗、电感感抗与频率的关系

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$X_L = 2\pi f L$$

(5) 学习二极管及稳压管的特性。

二极管最主要的特性是单向导电性，其伏安特性曲线如图所示：



1、正向特性

当加在二极管两端的正向电压（P 为正、N 为负）很小时（锗管小于 0.1 伏，硅管小于 0.5 伏），管子不导通，处于“截止”状态，当正向电压超过一定数值后，管子才导通，电压再稍微增大，电流急剧增加（见曲线 I 段）。不同材料的二极管，起始电压不同，硅管为 0.5-0.7 伏左右，锗管为 0.1-0.3 左右。

2、反向特性

二极管两端加上反向电压时，反向电流很小，当反向电压逐渐增加时，反向

电流基本保持不变，这时的电流称为反向饱和电流（见曲线 II 段）。不同材料的二极管，反向电流大小不同，硅管约为 1 微安到几十微安，锗管则可高达数百微安，另外，反向电流受温度变化的影响很大，锗管的稳定性比硅管差。

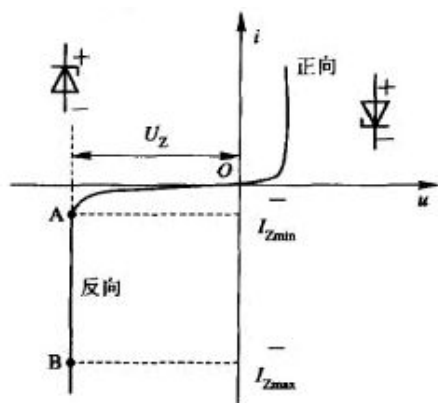
3、击穿特性

当反向电压增加到某一数值时，反向电流急剧增大，这种现象称为反向击穿（见曲线 III）。这时的反向电压称为反向击穿电压，不同结构、工艺和材料制成的管子，其反向击穿电压值差异很大，可由 1 伏到几百伏，甚至高达数千伏。

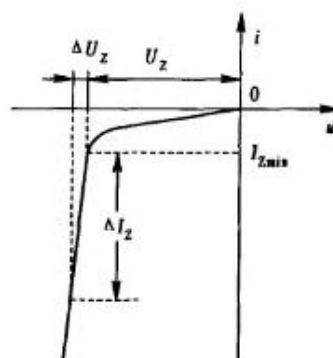
4、频率特性

由于结电容的存在，当频率高到某一程度时，容抗小到使 PN 结短路。导致二极管失去单向导电性，不能工作，PN 结面积越大，结电容也越大，越不能在高频情况下工作。 [1]

稳压管的稳压特性，可用如图所示伏安特性曲线表现出来。：



稳压管的伏安特性及符号

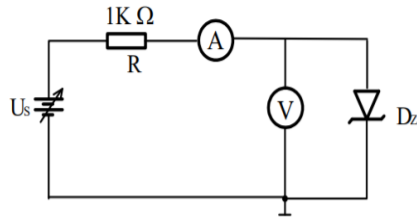


稳压管动态电阻

稳压管是利用反向击穿区的稳压特性进行工作的，因此，稳压管在电路上要反向连接。稳压管的反向击穿电压称为稳定电压，不同类型稳压管的稳定电压也不一样，某一型号的稳压管的稳压值固定在一定范围。

在实际应用中，如果选择不到稳压值符合需要的稳压管，可以选用稳压值较低的稳压管，然后串联几只硅二极管“枕垫”，把稳定电压提高到所需数值。这是利用硅二极管的正向压降为 0.6~0.7 伏的特点来进行稳压的。因此，二极管在电路中必须正向连接，这是与稳压管不同的。 [2]

（6） 了解分析稳压管伏安特性测量方法（如图所示）：



(7) 设计数据记录表格。(具体设计见报告正文)

三、实验内容

(1) 用数字万用表直接测量 (10Ω 、 $1M\Omega$)、电容 ($0.01\mu F$) 的参数，测量二极管 (稳压二极管) 的极性。

电阻测量结果:

10Ω 电阻测量值: 9.492Ω

$1M\Omega$ 电阻测量值: $9.91M\Omega$

电容测量结果:

$0.01\mu F$ 电容测量值: $9.886pF$

稳压二极管极性判断 (方法及结论):

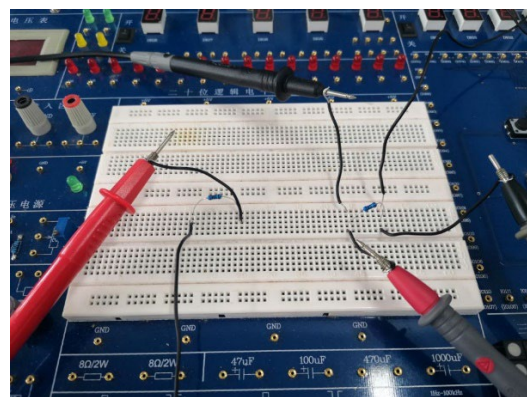
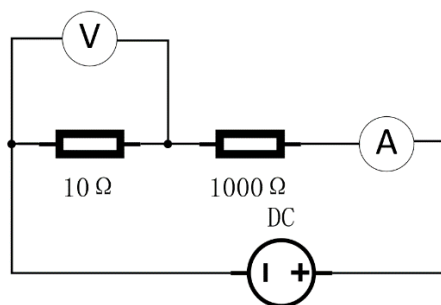
用万用表的电阻测量模式，对二极管两端进行试触，再调换两极再次进行试触，两次度数一次比较大 (数量级达到了 $10M\Omega$)，另一次几乎没有电阻，则几乎没有电阻的方向就是由正极到负极，反之则是由负极到正极。

(2) 设计电路，进行电阻阻值的测量 (10Ω ， $1M\Omega$);

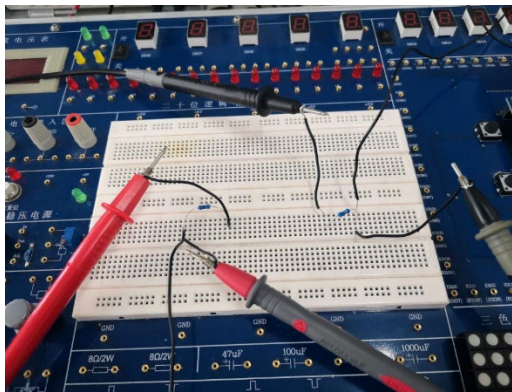
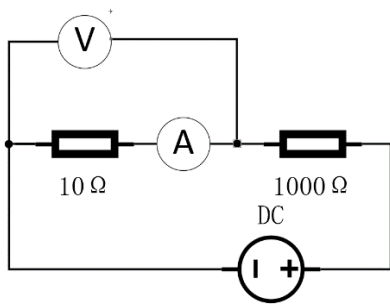
a) 选择合适的电源电压，分别用电流表内接和电流表外接两种方法测量每个电阻阻值;

10Ω 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)

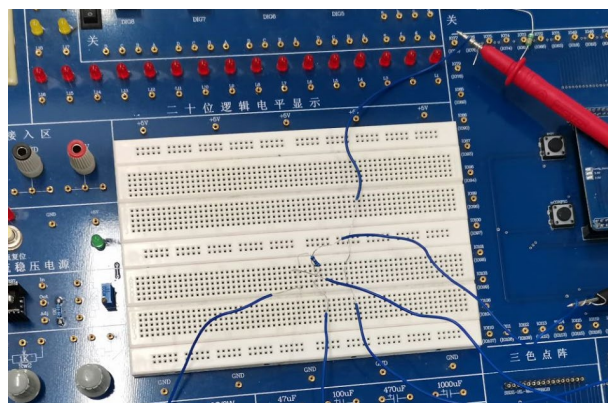
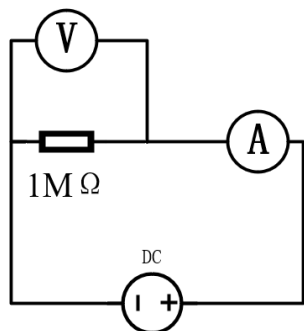
电流表外接:



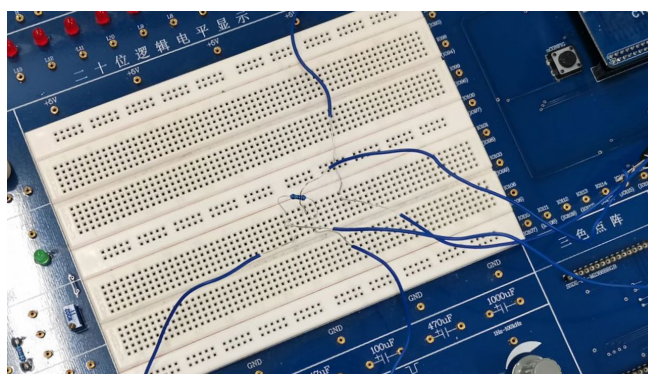
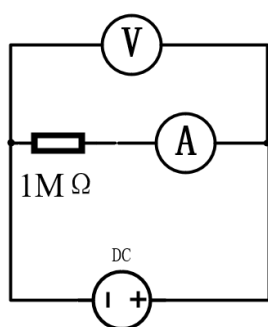
电流表内接:



1M Ω 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）
 电流表外接：



电流表内接：



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 (%)
10V	10 Ω	电流表内接	0.1190V	9.0308mA	13.185 Ω	31.850%
10V	10 Ω	电流表外接	94.851mV	9.6292mA	9.8504 Ω	-1.496%
20V	1M Ω	电流表内接	20.5149V	20.812 μ A	985724 Ω	-1.428%
20V	1M Ω	电流表外接	20.774V	22.370 μ A	928654 Ω	-7.135%

实验数据分析（误差和误差原因）：

误差：

在测量 10 Ω 电阻时，我们串联了一个 1000 Ω 的电阻，采用内接法误差极大，而使用外接法最终测得的误差和实际值偏差较小。

在测量 1M Ω 电阻时，采用外接法测量误差较大，而使用内接法最终测量结果比较精确。

误差分析：

这里的误差分析主要是实际电表不能看成理想电表造成的：电流表有较小的内阻，不能看成短路；电压表虽然内阻很大，但是并不是无穷大，不能看成开路。

所以当电流表内接时，电流表的示数为真值，而电压表测量的是待测电阻和电流表共同的电压，电压表测量的电压值会比待测电阻实际的电压值大，所以最终测量值会比真值偏大。且如果待测电阻比较小，电流表内阻的影响将会更明显，测量值也就会更加偏大。

当电流表外接时，电压表的示数为真值，而电流表测量的是通过待测电阻和电压表并联支路的电流，电流表的测量值会比真实值偏大，所以最终测量值会比真实值偏小。且如果待测电阻偏大，电压表内阻的影响就会更加明显，测量值会更加偏小。

实验结论：

为了避免电压表和电路表内阻不理想造成的误差，我们在测量小电阻时，应避免使用电流表内接法，从而采用电流表外接法进行测量；而在测量大电阻时，应避免使用电流表外接法，从而采用电流表内接法进行测量。

对于电阻属于大电阻还是小电阻，在已知电压表、电流表内阻时，可以将待测电阻与 $\sqrt{R_A R_V}$ 进行比较，如果测量电阻大于该值可认为是大电阻，否则则认为是小电阻。若不知道两表的内阻，可以通过试触法，观察在内接或外接时两表度数改变的幅度，规避较大变化的那只量表内阻带来的误差。

（3）测量电容和测量电感（0.01 μ F、330 μ H 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
1kHz	15.9k Ω	1kHz	2.07 Ω

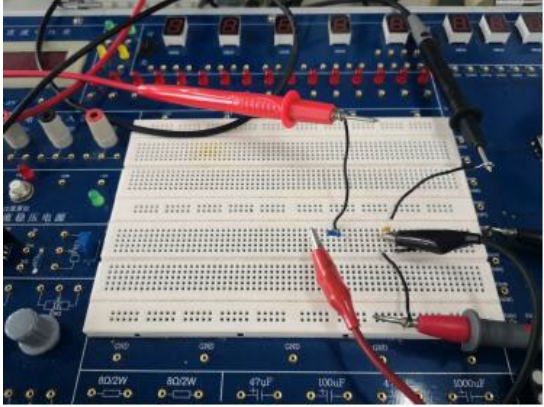
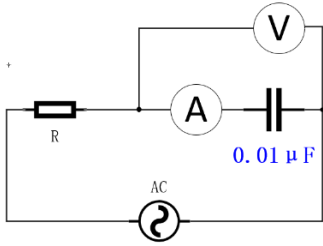
10kHz	1.59k Ω	10kHz	20.7 Ω
-------	----------------	-------	---------------

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；

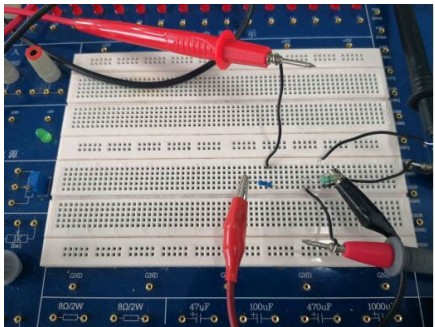
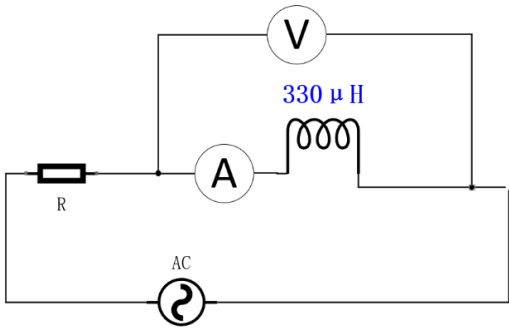
电容测量电路及实物图片拍摄：

这里采用电流源内接法：



电感测量电路及实物图片拍摄：

这里采用电流源外接法：



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(%)
10k	0.01 μ F	电流表内接	5.69V	3.78mA	0.0104 μ F	4%
20k	0.01 μ F	电流表内接	4.10V	5.28mA	0.0098 μ F	-2%

10k	330 μ F	电流表 外接	0.899V	44.09mA	324.35 μ F	-1.71%
20k	330 μ F	电流表 外接	1.68V	42.83mA	328.63 μ F	-0.42%

e) 思考：如何提高测量精度？

（对比上述实验中的测量误差，分析误差原因，以及如何降低测量误差提高测量精度。）

误差：

电容在低频率时测量的误差较大，在高频率时测量的误差较小；电感在低频率时测量的误差较大，在高频率时测量的误差较小；电容测量要比电感测量更精准。

误差成因：

电容和电感的测量其实本质也时利用其伏安特性计算其阻抗值后得到元件的参数，所以测量时的误差，与测量电阻时的误差一样，与其内外接电流表有关，根据上面的实验我们得出结论，小阻抗外接，大阻抗内接，所以这里的电容阻抗相对较大，选用内接法；而电感阻抗较小，所以选择外接法。

而根据上面的实验，由于使用的电表特性，大阻抗元件的测量要比小阻抗的测量要准确，这也导致了电容的测量要比电感更加准确。

但是根据上面的结论，外接法时阻抗越小测量越精准，而使用内接法时阻抗越大越精准。这意味着频率越低，测得的元件参数应该更精确，但是实际测量的结果不是这样，这里猜测原因如下：

电容和电感在直流和低频状态下的特性与其本身的电容电感值关系较小，所以在低频时体现出来的特性没有在高频时体现的明显，所以在高频状态下能够更好地表现其储能元件的特性。这就解释了为什么高频状态下的测量更加准确的现象。

如何提高精度：

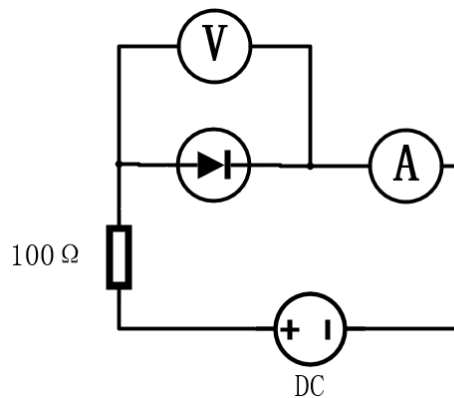
首先要根据元件的阻抗值大小，选择适当的电表连接方式，小阻抗外接，大阻抗内接。

在选择频率时，应该根据元件的参数及特性，选择合适的频率。

此外在频率较高时，还使用万用表测量电压电流，精度可能因为频率过高而不能得到保障，所以我们可以将保护电阻两端连接到示波器上，利用示波器的测量，从而更好地观察其相关参数，得到更加精确的测量数值。

（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(发现正反向各六组数据并不能较好地测量绘制伏安特性曲线，所以怎加了几组测量，具体数值如下：)

U/V	-6.34	-6.31	-6.276	-6.242	-6.195
I/mA	-19.006	-14.536	-9.624	-5.102	-1.412

U/V	-6.113	-6.012	-5.508	-5.012	-4
I/mA	-0.047	-0.024	-0.004	-0.002	0

U/V	-3	-2	-1	0	0.0925
I/mA	0	0	0	0	0.00001

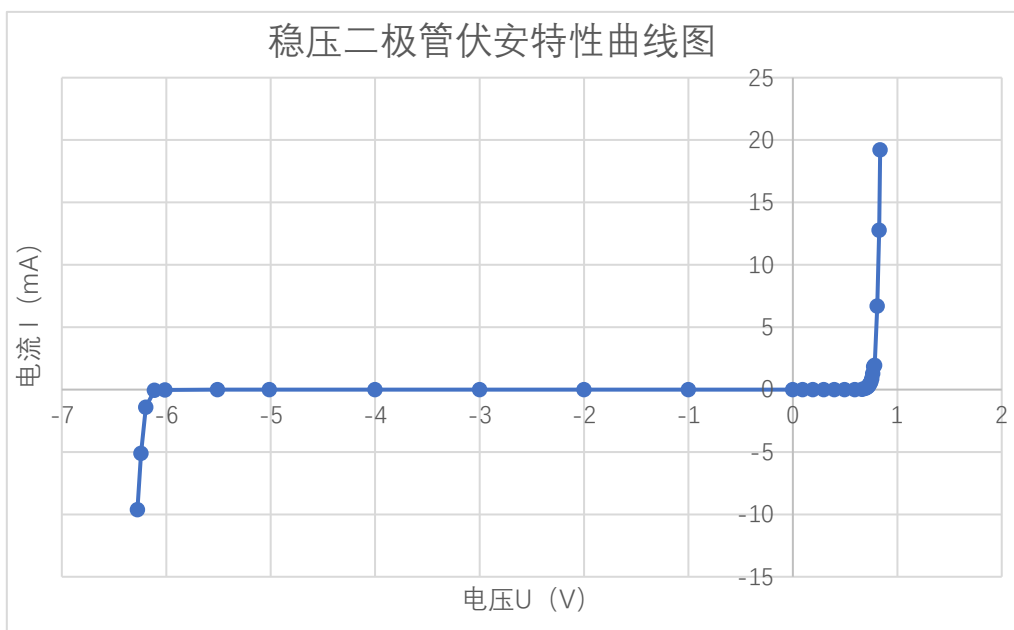
U/V	0.1936	0.2949	0.3961	0.497	0.5942
I/mA	0.00002	0.00003	0.00006	0.00026	0.00346

U/V	0.663	0.6942	0.7106	0.7212	0.7292
I/mA	0.03262	0.09574	0.17202	0.25371	0.3684

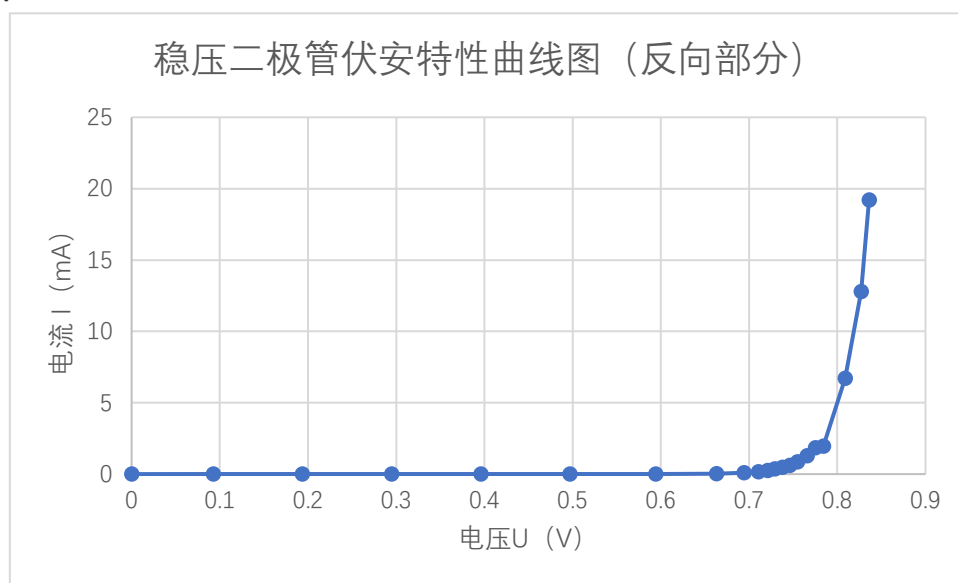
U/V	0.7378	0.746	0.7549	0.7657	0.7751
I/mA	0.4715	0.6225	0.8678	1.2919	1.8378

U/V	0.7842	0.809	0.827	0.836
I/mA	1.9556	6.702	12.786	19.203

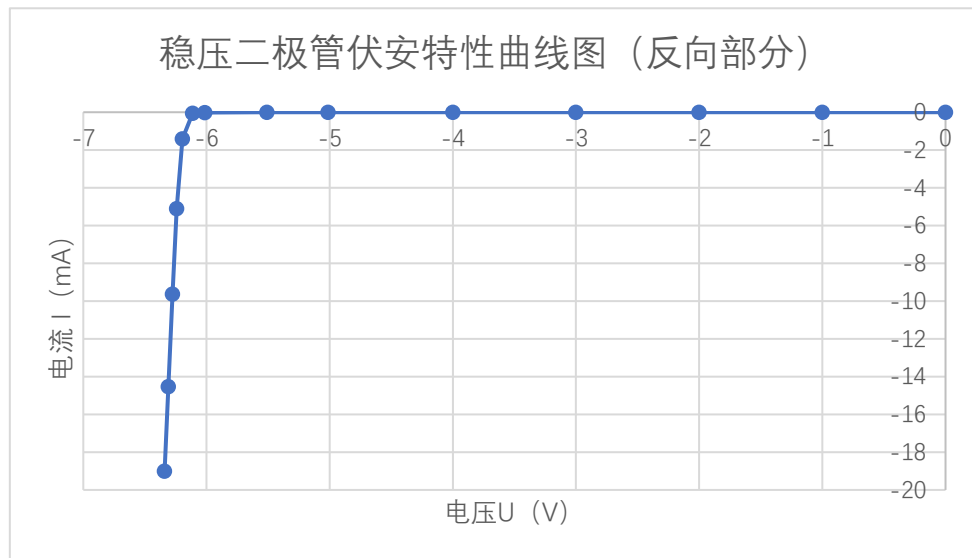
c) 描绘稳压二极管的伏安特性曲线



为了分别体现正向反向特性，分电压正负做如下图：
正向：



反向：



由图像可以得出如下结论：

反向部分，当未达到击穿电压时，电阻可以看作无限大，该二极管的击穿电压大约为-6V；当击穿后，电流迅速增大。

正向部分，电压较小时，起初会有一段“截止”状态，这个阶段几乎没有电流通过，该二极管的起始电压大约在 0.6V 至 0.7V 之间；当达到该电压后，电流会迅速增大。

四、实验使用仪器设备（名称、型号、规格、编号、使用状况）

示波器：

名称：数字存储示波器 GDS-1000B 系列、型号：GDS-1102B、使用状况：探头起初有问题，更换后正常

信号源：

名称：SDG1000X 系列函数/任意波形发生器、型号：SIGLENT SDG 1032X、编号：UM0201X-C01A、使用状况：正常

数字万用表：

名称：5 1/2 位台式 SDM305 数字万用表、型号：SDM305 UM06035-C02A、使用状况：正常

稳压电源：

名称：SPD3303C 可编程线性直流电源、型号：SIGLENT SPD3303C、使用状况：正常

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）

出现的问题及解决方法：

1. 在研究内接法和外接法的特性时，刚接好时，示数很不正常。
后来经过检查发现接线时，由于导线金属部分在面包板外相互接触导致短路，后调整接线后，电路可以正常工作。
2. 在测量 10kHz 状态下的电感的参数时，用万用表测量高频率信号的结果精度不高，最终计算得出的参数与标称值相差极大。
后来我们在电路中加入了限流电阻，并将限流电阻两端的电压显示到示波器上，通过示波器进行读数，并推出电感两端电压的有效值，从而进行最后的计算，发现效果要比用万用表测量的结果效果好很多。
3. 在解决出现的问题 2 时，为了测量电感两端的电压，我们起初直接将示波器直接连接到电感两端，发现测出的波形很乱，不能较好地测量。
后来我们调整示波器探头使示波器测量限流电阻两端的电压，然后计算得出电感两端的电压情况，发现波形稳定，最终的测量也能顺利完成。

收获体会：

1. 实验前对于实验整体的把握和构思非常重要，需要提前确定好需要选用的元件的参数。比如在测量电阻、电感、电容的相关参数过程中，如果不能提前设计施加的激励的参数，很有可能会导致过载而损伤器件，甚至可能造成危险。所以在实验前应当对实验进行必要的设计与仿真，选择合适的参数。
2. 实验过程中可能会出现与实验前的设计冲突或不符的部分，这个时候应该仔细审查原先的设计，同时也应该检查实验器材的搭建是否有问题，明确问题所在。如果设计有问题，应该及时调整设计，尝试效果更好的方法；如果是实物器件的问题，则应该调整实物器件，使实验正常进行。
3. 在实验过程中使用的所有仪器、仪表、元件，都不能把它当成电路分析中的理想元件，应该考虑其使用时会导致的系统误差；同时在设计电路时，应该使用适当的方法使这些系统误差的影响降低或者得到矫正。

六、参考资料（预习、实验中参考阅读的资料）

[1]固纬电子实业股份有限公司. 数字存储示波器 GDS-1000B 系列使用手册[Z]. 新北市土城区中兴路 7-1 号:固纬电子实业股份有限公司,.

[2] 鼎阳数字万用表 SDM3055 使用手册

[3] 深圳市鼎阳科技有限公司. SPD3303C 可编程线性直流电源 快速指南[Z]. 深圳市鼎阳: 深圳市鼎阳科技有限公司, 2014.

[4] UM0201X-C01A, SDG1000X 系列函数/任意波形发生器用户手册[S]. 深圳市鼎阳: 深圳市鼎阳科技有限公司, 2016.