

# 浙江大学

## 电路与电子技术 实验报告

实验名称：常用仪器使用练习

实验人员：潘谷雨、杨骐恺

报告撰写：潘谷雨

学号：3220102382

实验日期：2023 年 9 月 18 日

地点：东三 406

## 【实验目的】

1. 认识和学会选择常用无源电子器件 RLC。
2. 掌握常用电子仪器的使用。
3. 掌握实验硬件平台的使用。

## 【实验内容】（测试方案，含仿真与硬件测试两种类型）

### 一、万用表使用练习

1) 用万用表测出任意二个电阻(R)的阻值，并与其色环所指示的电阻值进行比较

1. 在模拟数字实验箱上取两个阻值大小相差较大的电阻。
2. 根据色环指示法获知电阻阻值  $R_1$ 、 $R_2$ ，用万用表的欧姆挡合适量程测量其电阻  $R_1$  测、 $R_2$  测，并与其色环所指示的电阻值进行比较。

2) 检查并验证电位器(W)中心头的功能

1. 在模拟数字实验箱上取一电位器，将万用表的红蓝表笔接入其两端（不含中心头）测量电位器最大电阻  $R_{max}$ 。
2. 保持万用表挡位不变，将电位器旋钮旋到阻值最大处，将红表笔接入中心头插孔，保持万用表挡位保持不变，测量中心头到黑表笔一端的最大电阻阻值  $R_m$ 。
3. 将旋钮逆时针缓慢旋转，观察万用表数值变化，旋至最左处，测量其最小阻值  $R_{min}$ 。
4. 将旋钮顺时针缓慢旋转，观察万用表数值变化，并在中间任意位置停止，记录数据。其中共记录四组，依次记为  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 。

3) 查看电解电容器(CD)上的规格和极性标记，并用万用表检查电解电容器的漏电阻，测出任意二个电容器的漏电阻值

1. 观察模拟数字实验箱上的电解电容与极性标注。
  2. 选取一个大小合适的电解电容，用万用表欧姆挡合适量程测量，观察万用表示数变化，当示数稳定不变时记下漏电阻阻值  $R_1$ 。
  3. 选取一个非电解电容，重复上述实验，记下漏电阻阻值  $R_2$ 。
- 4) 调节稳压电源输出 $\pm 12V$ ，用万用表测量并验证
1. 调节稳压电源输出 12.000V，将红黑表笔分别插入电源两接口，用合适挡位测出电源电压  $U_1$ 。
  2. 调节稳压电源输出 $-12.000V$ ，测出电源电压  $U_2$ 。

## 二、示波器和信号源联合使用练习 I

### 1) 用机内“探头补偿信号”对示波器进行自检

将导线一端插入示波器通道 1 接口，另一端一处接入“Probe Comp”接口，另一处接地，观察示波器图像显示，记录波形、频率  $f$ 、周期  $T$ 、幅值  $A$ 、上升沿时间  $t_r$ 、下降沿时间  $t_f$ 。

### 2) 波形设置与测量

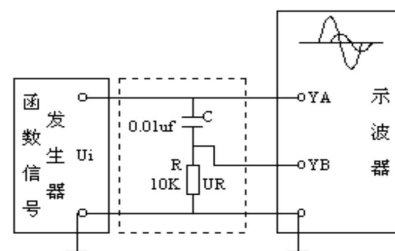
连接信号源与示波器，调整信号源输出的电压频率等参数，观察示波器显示波形并记录示波器测量值。

### 三、示波器和信号源联合使用练习 II

1. 将  $0.01\ \mu\text{F}$  电容与  $10\text{k}\Omega$  电阻串联接在信号源上，将电容两端用导线接入示波器。

2. 调整信号发生器输出为正弦波，有效值为  $1\text{V}$ ，频率为  $10\text{Hz}$ ，观察示波器显示图像，记录电容输出有效值。

3. 保持波形、有效值不变，依次调整信号发生器频率为  $100\text{Hz}$ 、 $1\text{kHz}$ 、 $10\text{kHz}$ 、 $100\text{kHz}$ 、 $1\text{MHz}$ ，观察不同频率输入下电容两端有效值（幅频特性），记录数据，描绘曲线。



#### 【测试过程与结果】（注明测试设备、原始数据）

一、万用表使用练习（测试设备：UT890D+数字万用表，稳压源：GPD-4303S 直流电源）

1) 用万用表测出任意二个电阻(R)的阻值，并与其色环所指示的电阻值进行比较

①  $R_1$  标 =  $51\ \Omega \pm 1\%$ ，用  $600\ \Omega$  挡测得  $R_1$  测 =  $50.6\ \Omega$ 。

②  $R_2$  标 =  $20\text{k}\ \Omega \pm 1\%$ ，用  $60\text{k}\ \Omega$  挡测得  $R_2$  测 =  $19.78\text{k}\ \Omega$ ；用  $600\text{k}\ \Omega$  挡测得  $R_2$  测 =  $19.7\ \Omega$ 。

2) 检查并验证电位器(W)中心头的功能

1. 选取  $1\text{k}\ \Omega$  的电位器，用万用表  $6\text{k}\ \Omega$  挡测得  $R_{\max} = 1.015\text{k}\ \Omega$ 。

2. 阻值最大处  $R_m = 1.015\text{k}\ \Omega$ 。

3. 逆时针缓慢旋转，阻值逐渐减小，阻值最小处  $R_{\min} = 0.000\text{k}\ \Omega$ 。

4. 顺时针缓慢旋转，阻值逐渐增大，记下  $R_1 = 0.125\text{k}\ \Omega$ ， $R_2 = 0.378\text{k}\ \Omega$ ， $R_3 = 0.587\text{k}\ \Omega$ ， $R_4 = 0.823\text{k}\ \Omega$ 。

3) 查看电解电容器(CD)上的规格和极性标记,并用万用表检查电解电容器的漏电阻,测出任意二个电容器的漏电阻值

1. 模拟数字实验箱上的电解电容规格  $47\ \mu\text{F}/25\text{V}$ 、 $100\ \mu\text{F}/25\text{V}$ 、 $1000\ \mu\text{F}/25\text{V}$  不等,在元件标识上均有正负极性标注。

2. 选取  $47\ \mu\text{F}/25\text{V}$  的电解电容,用  $60\text{M}\Omega$  挡测量,万用表示数逐渐增大,一段时间后缓慢回落,且减小速率逐渐减慢,最后示数长时间停止在  $44.73\text{M}\Omega$ ,一段时间后重新上升,取漏电阻阻值  $R_1 = 44.73\text{M}\Omega$ 。

3. 选取  $1\ \mu\text{F}/63\text{V}$  非电解电容,用万用表欧姆挡多次换挡位,均超量程。

4. 由于模拟数字实验箱内配备非电解电容均较小,漏电阻较大无法测出,于是改用  $1000\ \mu\text{F}/25\text{V}$  电解电容测漏电阻,用  $60\text{M}\Omega$  挡测量,示数变化过程同上,最终取漏电阻阻值  $R_2 = 11.75\text{M}\Omega$ 。

4) 调节稳压电源输出 $\pm 12\text{V}$ ,用万用表测量并验证

1. 用万用表直流电压  $60\text{V}$  挡测得  $U_1 = 12.06\text{V}$ 。

2. 由于稳压源无负电压挡,实验改为将红黑表笔调换位置,保持万用表挡位不变,测得  $U_2 = -12.06\text{V}$ 。

二、示波器和信号源联合使用练习 I (测试设备: DS0X1102G 示波器,信号源: DG1022 信号发生器)

1) 用机内“探头补偿信号”对示波器进行自检

屏幕显示出方波图样,测得探头补偿信号频率  $f = 1.0002\text{kHz}$ ,周期  $T = 999.8\ \mu\text{s}$ ,幅

值  $A = 2.41V$ ，上升沿时间  $t_r = 2.0 \mu s$ ，下降沿时间  $t_f = 2.0 \mu s$ 。

## 2) 波形设置与测量

信号源输出电压及频率	示波器测量值			
	峰峰值	有效值	周期	频率
25kHz 正弦波 80mV, 偏移量 20mV	98mV	34.0mV	40.012 $\mu s$	24.993kHz
1kHz 方波 5V, 偏移 0, 占空比 40%	5.5V	2.55V	1.0000ms	1.0000kHz
2kHz 锯齿 5V, 偏移 1V, 对称性 20%	5.1V	1.69V	499.6 $\mu s$	2.0016kHz
1kHz 脉冲 3V, 偏移 1V, 占空比 50%, 边沿 50ns	3.5V	1.76V	1.0000ms	1.0000kHz

## 三、示波器和信号源联合使用练习 II (测试设备: DS0X1102G 示波器, 信号源: DG1022 信号发生器)

f/Hz	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$
有效值/V	1.0048	1.0088	1.0115	0.9955	0.9885	1.0551

值得注意的是, 在  $f = 1kHz$  时, 有效值示数在 1.0115V 与 1.0131V 两平台周期跳动 (即有效值在其中一数值附近维持一段时间后, 迅速变化至另一数值, 在其附近继续维持一段时间, 如此循环往复), 在  $f = 10kHz$  时, 有效值示数在 0.9955V 与 1.0037V 两平台周期跳动, 其余情况下有效值跳动平台差距不明显。

### 【结果分析】

#### 一、万用表使用练习

1) 用万用表测出任意二个电阻 (R) 的阻值, 并与其色环所指示的电阻值进行比较

①R1:  $R1_{\text{标}} = 51\ \Omega \pm 1\%$ , 600  $\Omega$  挡:  $R1_{\text{测}} = 50.6\ \Omega$ ,  $u1 = 0.8\% \cdot R1_{\text{测}} + 0.1\ \Omega = 0.5\ \Omega$ , 所以  $R1_{\text{测}} = 50.6 \pm 0.5\ \Omega$ ,  $E = |R1_{\text{测}} - R1_{\text{标}}| / R1_{\text{标}} = 0.78\% < 1\%$ , 满足精度要求。

②R2:  $R2_{\text{标}} = 20\text{k}\ \Omega \pm 1\%$ 。

60k  $\Omega$  挡:  $R2_{\text{测}} = 19.78\text{k}\ \Omega$ ,  $u2 = 0.8\% \cdot R2_{\text{测}} + 0.01\text{k}\ \Omega = 0.17\text{k}\ \Omega$ , 所以  $R2_{\text{测}} = 19.78 \pm 0.17\text{k}\ \Omega$ ,  $E = |R2_{\text{测}} - R2_{\text{标}}| / R2_{\text{标}} = 1.1\%$ 。

600k  $\Omega$  挡:  $R2_{\text{测}} = 19.7\ \Omega$ ,  $u2 = 0.8\% \cdot R2_{\text{测}} + 0.01\text{k}\ \Omega = 0.17\text{k}\ \Omega$ , 所以  $R2_{\text{测}} = 19.78 \pm 0.17\text{k}\ \Omega$ ,  $E = |R2_{\text{测}} - R2_{\text{标}}| / R2_{\text{标}} = 1.5\%$ 。

由于 60k  $\Omega$  挡更精确, 因此采取该量程所测阻值,  $R2_{\text{测}} = 19.78 \pm 0.17\text{k}\ \Omega$ ,  $E = 1.1\% > 1\%$ , 不严格满足精度要求。

## 2) 检查并验证电位器(W)中心头的功能

电位器标 1k  $\Omega$ , 6k  $\Omega$  挡:  $R_{\text{min}} = 0.000\text{k}\ \Omega$ ,  $R1 = 0.823\text{k}\ \Omega$ ,  $R2 = 0.587\text{k}\ \Omega$ ,  $R3 = 0.378\text{k}\ \Omega$ ,  $R4 = 0.125\text{k}\ \Omega$ ,  $R_m = 1.015\text{k}\ \Omega$ 。

逆时针旋转, 阻值逐渐减小, 最小可以调至 0.000k  $\Omega$ ; 顺时针旋转, 阻值逐渐增大, 最大可以调至 1.015k  $\Omega$ , 与不连入中心头时测得的电位器最大阻值相同, 说明中心头的活动范围可以覆盖整个电位器电阻部分。

虽然万用表的示数分辨率为 0.001k  $\Omega$ , 由于旋钮可连续调节, 匀速旋转旋钮时阻值大小也相应匀速变化, 不会出现速率突变现象, 可以验证中心头控制电位器阻值线性连续变化。

3) 查看电解电容器(CD)上的规格和极性标记, 并用万用表检查电解电容器的漏电阻, 测出任意二个电容器的漏电阻值

电解电容均有正负极性, 规格 47  $\mu\text{F}/25\text{V}$ 、100  $\mu\text{F}/25\text{V}$ 、1000  $\mu\text{F}/25\text{V}$  不等, 且相

对于非电解电容均较大。

60MΩ 挡：47 μF/25V 电解电容： $R_1 = 44.73\text{M}\Omega$ ， $u_1 = 2\% \cdot R_1 + 0.01\text{M}\Omega = 0.9\text{M}\Omega$ ，  
所以  $R_1 = 44.73 \pm 0.9\text{M}\Omega$ 。

1000 μF/25V 电解电容： $R_2 = 11.75\text{M}\Omega$ ， $u_2 = 2\% \cdot R_2 + 0.01\text{M}\Omega = 0.25\text{M}\Omega$ ，  
所以  $R_2 = 11.75 \pm 0.25\text{M}\Omega$ 。

1 μF/63V 非电解电容漏电电阻超量程，47 μF/25V 电解电容漏电电阻  $R_1 = 44.73 \pm 0.9\text{M}\Omega$ ，1000 μF/25V 电解电容漏电电阻  $R_2 = 11.75 \pm 0.25\text{M}\Omega$ ，可以推测电容越大，漏电流越大，由于挡位不变、外加电压不变，因此漏电电阻越小。

万用表示数先增大，一段时间后缓慢回落，且减小速率逐渐减慢，最后示数长时间稳定，一段时间后重新上升，如此循环往复。这是因为刚接入外接电源，电容充电，随着电容内电荷集聚（或转化得到的化学能不断增大），充电电流减小，外加电压不变，因此电阻增大。充满电后，电容开始漏电，回路中出现反向漏电电流，漏电电流增大，电容电阻减小，当漏电电流趋于稳定时，电容电阻表观上表现为长时间稳定，该值即为漏电电阻。在持续漏电过程中，电源与电容的电势差增大，因此电荷受到阻碍，漏电流减小，电容电阻增大，因此一段时间后重新上升。由于电容的记忆特性，漏电流减小至 0 时电容与电源的电势差较大，电容将重新继续充电，由此形成周期。

4) 调节稳压电源输出+/-12V，用万用表测量并验证

直流电压 60V 挡：①  $U_1 = 12.06\text{V}$ ， $u_1 = 0.5\% \cdot U_1 + 0.01\text{V} = 0.07\text{V}$ ，所以  $U_1 = 12.06 \pm 0.07\text{V}$ ， $E = |U_1 - U_0| / U_0 = 0.5\%$ 。

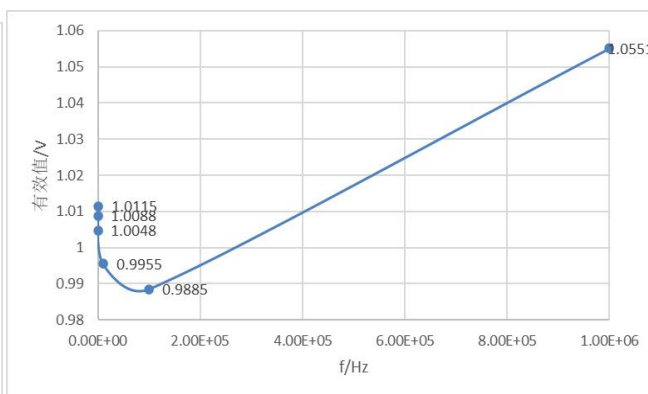
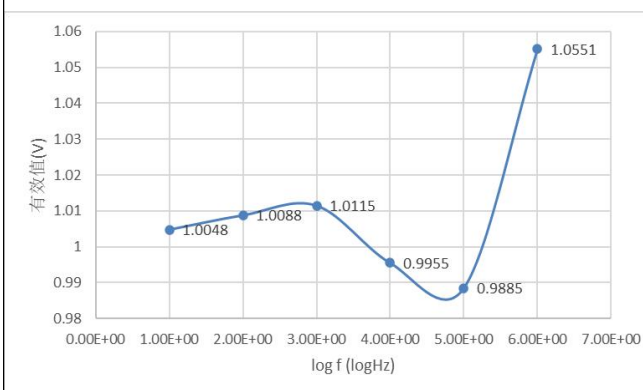
②  $U_2 = -12.06\text{V}$ ， $u_2 = 0.5\% \cdot |U_2| + 0.01\text{V} = 0.07\text{V}$ ，所以  $U_2 = -12.06 \pm 0.07\text{V}$ ， $E = |U_2 - U_0| / U_0 = 0.5\%$ 。



## 二、示波器和信号源联合使用练习 I

用机内“探头补偿信号”对示波器进行自检、波形设置与测量实验结果均以测试过程原始数据为准。

## 三、示波器和信号源联合使用练习 II



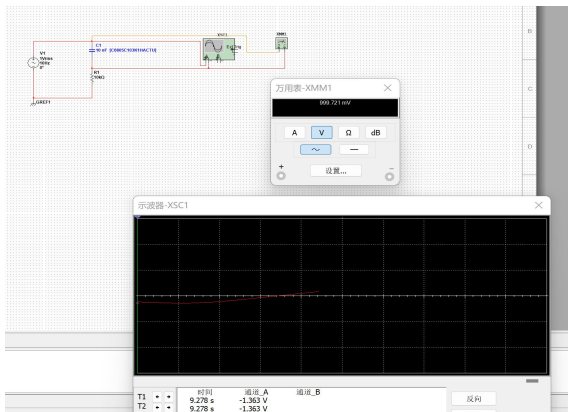
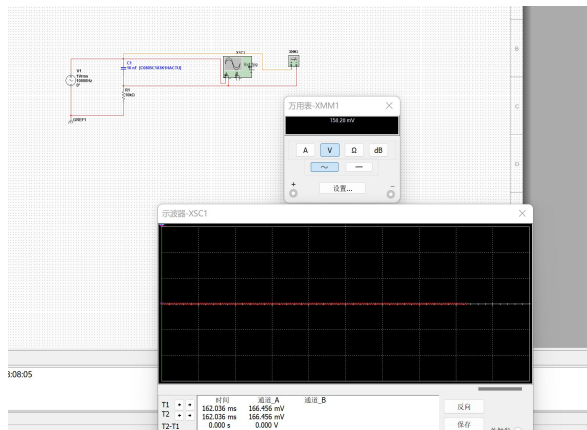
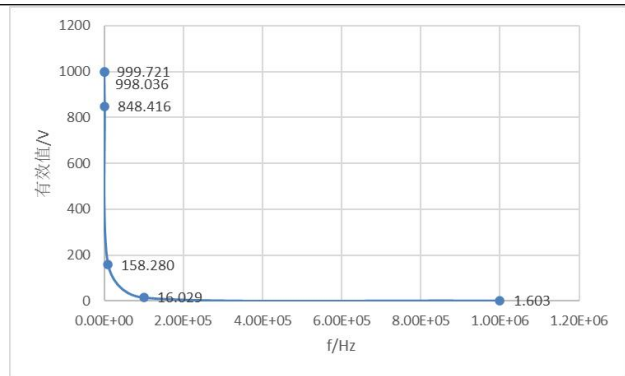
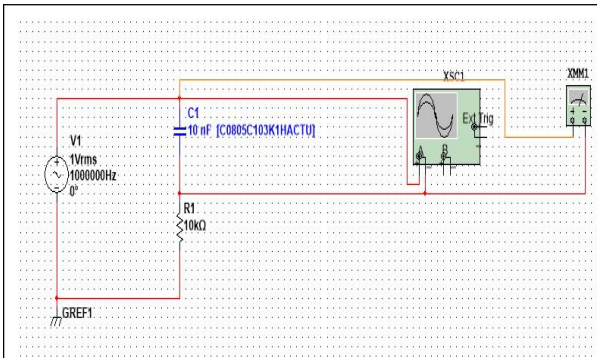
当频率在 10Hz-1kHz 范围内增大时，电容两端的电压有效值增加；当频率在 1kHz-100kHz 范围内增大时，有效值减小且幅度较大；当频率在 100kHz-1MHz 范围内增大时，有效值增加且幅度相对较小。随着频率上升，电压有效值整体呈现先上升后下降的趋势。

用 Multisim 进行纯电容理想情况仿真实验，结果如下：

f/Hz	1.00E+01	1.00E+02	1.00E+03	1.00E+04	1.00E+05	1.00E+06
有效值/mV	999.721	998.036	848.416	158.280	16.029	1.603

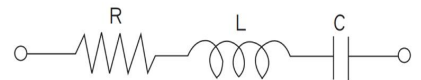
对于理想电容，频率越大，有效值越小，在  $f < 10\text{kHz}$  时下降最快。

这是因为  $X_c = 1/\omega C$ ，频率越大，电容容抗越小，电容两端电压越小。



实际电容可以等效成电容、电感、电阻串联。

$X_L = \omega L$ ,  $X_C = 1/\omega C$ , 随着频率的升高, 容抗下降,



感抗上升, 频率较低时, 容抗占主导地位; 容抗等于感抗并相互抵消时的频率为电容器的谐振频率, 这时的阻抗最低; 频率继续增加, 感抗开始大于容抗, 阻抗频率特性开始上升, 从这个频率开始以上的频率下电容器可以看作一个电感。

对于周期性平台跳动问题, 推测与电容的漏电有关, 与实验一测电容漏电电阻的情况相似。谐振频率是电容容性与感性的交界处, 观察到现象最明显的两点正好分布在电容的谐振频率两边, 说明该现象与电容本身性质有关, 并非实验仪器误差或人员操作导致, 其与谐振频率的关系还待研究。

### 【探究性实验内容】

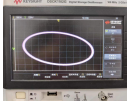


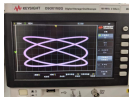
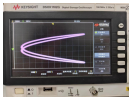




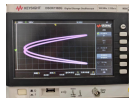
一、用万用表不同电流挡测电流  $I$ （测试设备：UT890D+数字万用表，稳压源：GPD-4303S 直流电源）

1. 测出万用表内阻阻值。将稳压直流源调至  $0.200V$ ，将万用表  $6mA$  电流挡接入，测得电流  $I_1 = 1.984mA$ ；将  $60mA$  挡接入，测得  $I_2 = 18.45mA$ 。电源均显示电压  $0.203V$ ，电压记为  $U$ 。
2. 测回路电流。保持电源电压不变，加在标有  $51\Omega/1W$  的电阻两端，将  $6mA$  电流挡串联进回路，测得  $I_1' = 1.121mA$ ，将万用表改至  $60mA$  挡，测得  $I_2' = 2.24mA$ ，电源电压均显示  $0.203V$ ，电压记为  $U'$ 。

结果分析： $R_1 = U/I_1 = 102\Omega$ ， $R_2 = U/I_2 = 11.0\Omega$ 。由于  $R = 51\Omega < R_1$ ，用  $6mA$  电流挡测量将导致误差极大； $R < R_2$ ，误差相对较小，因此采用  $60mA$  挡更合适，但由于  $R \approx 5R_2$ ，二者数量级相同，所以测量电流时电流内阻一定要考虑。电流挡量程越大，内阻越小，对电路的影响越小，但  $600mA$  挡可能导致精确度不够，因此该实验测量电阻选取  $60mA$  为宜。

二、用示波器观察信号源双源输出（测试设备：DSOX1102G 示波器，信号源：DG1022 信号发生器）

1. 将信号源与示波器的 CH1、CH2 两通道分别连接，将示波器调整至 X-Y 显示模式，使屏幕中横轴显示信号源 CH1 通道信号，纵轴显示信号源 CH2 通道信号。将信号源两通道均调整至  $1kHz$  正弦波，记录图像。
2. 多次调整  $f_{CH1}$ 、 $f_{CH2}$ ，记录数据。

fCH1/kHz	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0
fCH2/kHz	1.0	1.5	2.0	1.0	1.0
示波器图像					
结果分析:					
x 轴与 y 轴正弦波叠加形成李萨如图形，满足 $\frac{\text{水平线交点数}}{\text{垂直线交点数}} = \frac{\text{竖直方向信号源频率}}{\text{水平方向信号源频率}}$					
示波器图像					
fCH1/fCH2	1:1	2:3	1:2	3:2	2:1
x 轴节点数 (CH1)	2	6	4	4	2
y 轴节点数 (CH2)	2	4	2	6	4
y 轴节点数 / x 轴节点数	1:1	2:3	1:2	3:2	2:1
实验满足 fCH1/fCH2=y 轴节点数/x 轴节点数，验证了李萨如图形性质。					