



北京航空航天大学

实验报告

实验名称：示波器的应用

一、实验目的

1. 了解示波器的主要结构和示波显示及参数测量的基本原理，掌握示波器、信号发生器的使用方法。

2. 学习用示波器观察波形以及测量电压、周期和频率的方法。

3. 学习用连级波方法测量空气声速，加深对共振、相位差概念的理解。

4. 用示波器研究电容引谐振频率，二极管的伏安特性曲线，同轴电缆的传播速度的测量方法。

二、实验仪器

同轴电缆信号传播速度测试仪、声速测量仪、信号发生器、示波器、屏蔽包线若干、温度计、二极管。

三、实验原理

1. 示波器简介

(1) 模拟示波器

① 工作原理：被测信号经探头衰减后送至Y放大器，经延迟后到Y₂放大器，信号放大后加到示波器的Y轴偏转板上。

② 李萨如图形：X轴和Y轴同时有频率相同或成整数比的两个正弦电压输入，封闭的李萨如图形与水平成相交的点数以及与垂直线相交的点数n之间的比值与两信号频率有 $\frac{f_x}{f_y} = \frac{n}{m}$ 关系。

如果X轴Y轴输入的信号频率相同，则两个信号的相位差 $\angle\varphi$ 可表示为 $\Delta\varphi = \arcsin \frac{X}{R}$ ，其中R为最大水平偏移距离，X为椭圆与X轴的交点坐标。

(2) 模拟示波器的特点

① 优点：波形显示迅速、实时显示；波形不失真，分辨率高，捕获率高，有对聚焦和亮度的控制，调节顺利，清晰的显示结果。

② 缺点：无存储功能，只能通过触发声；无自动参数测量功能，只能进行手动。

测值，所以准确率高；由于CRT的扫描时间很短，所以很难显示频率很高的信号，难以观察非周期信号和瞬变信号。

2. 示波器的应用

1> 波形测量（电压、时间的测量）

① 电压的测量（微调置于校准）

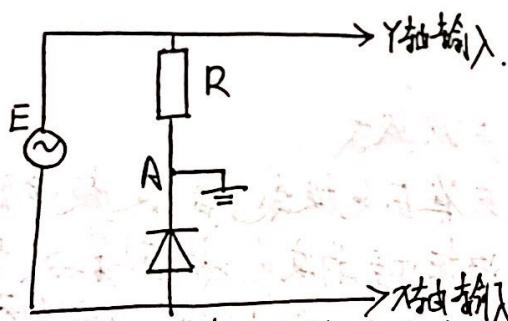
由于电子束在显示屏上偏转的距离与输入电压成正比，所以只要量出视场内波形任意两点的垂直距离（格数） Δy ，就可知该两点间的电压 ΔU ， $\frac{\Delta U}{U} = k \Delta y$

$$\text{若被测为简谐电压，则有 } U_e = \frac{U_0 r}{2\pi} = \frac{k \Delta y}{2\pi}$$

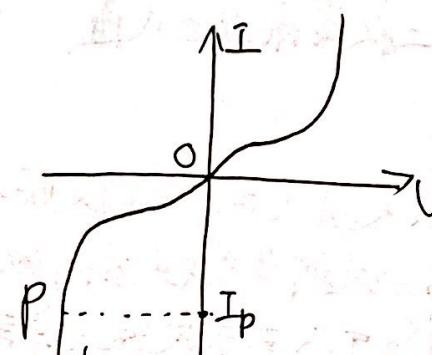
② 时间的测量

信号从波形上某点，发至另一点的总用时间 Δt 等于两点间距（格数） Δx 除以观测时的每格扫描时间 t_0 ，即 $\Delta t = \Delta x / t_0$ 。若观测的两点正好是周期化信号相邻的两个同相位点，且间距为 L 格，则 $T = L t_0$ 为测周期读数的误差，可观察 n 个周期总长度进行计算。同频率的两个简谐信号之间的相差位差为 $\Delta \phi = \Delta t \frac{2\pi}{T}$

2. 观察二极管伏安特性曲线



观察二极管伏安特性电路图



二极管伏安特性曲线

在伏安特性曲线上予以近似测量二极管的正向导通电压和反向击穿电压。

$$② \text{ 测动态电阻: } \hat{r} = \frac{\tilde{U}}{\tilde{I}_R} \cdot R$$

3> 声速的测量

① 振幅法：

当发送换能器所发出的强迫振动满足空气柱的共振条件 $\lambda_l=2l$ 时，接收换能器在一系列特点的位置上将有最大的电压输出。

只要测出声极大值所对应的接收器的位置，就可以测出波长 λ ，再根据公式 $v=\lambda f$ 求出波速。

② 相位法：

可用测量相位差(李萨如图形)的方法来测定波长。

四 实验内容

(一) 模拟示波器的使用

1. 示波器预置并观察与测量“校准信号”。

① 示波器预置。

② 利用示波器观察其左下角的“校准信号”，校准偏转系数(灵敏度)。

校准信号峰值2V，频率1KHz。

2. 观察各种波形并测量正弦波的电压和周期。

3. 观察李萨如图形用其测量正弦信号频率。

(二) 观察二极管伏安特性曲线并测动态电阻

1. 观察二极管伏安特性曲线。

打开信号发生器和示波器，调节信号发生器输出信号频率(100Hz~1KHz) 示波器打到X-Y挡，触发耦合放在DC位置，即可得到特征曲线。

2. 测量二极管的动态电阻。

(三) 声速测量

1. 测量正弦波谐振频率并用振幅法测量声波波长

1. 测量正弦波谐振频率并用振幅法测量声波波长

(1). 接线，微调信号发生器的频率使其在压电换能器振幅最大时附近。缓慢移动S₁可以在示波器上看到正弦波振幅的变化：移到第一次振幅最大时固定S₁，再仔细调节频率使示波器上的圆形振幅最大，此即达到谐振频率。

(2). 振幅法测波长是利用接收器电压输出的极值的间隔位置确定的。为提高精度，要求测定连续10个间隔为30厘米的距离。由此20个间隔用逐差法计算。

(3). 计算声速测量中直接测量的不确定度。

(4). 计算测得的空气声速及其不确定度(c)，计算相对误差及声速的理论值与测量值比较百分差。

2. 相位法测声速

相位比较法测波长是利用李萨如图形来比较发射器交变电压和接收器信号之间的相位差。移动接收器，光路图转化为斜直线对称能

的位置，测量主要由图上。

(四) 示波器及其应用

(1). 固定矩形脉冲下，RC微分、积分电路。

(2). 用抽电线 电信号传播速度的测量。

① 行波法：

测量出信号在同轴电缆中反射一次所需时间及反射端匹配电阻R，并求出电信号在同轴电缆中的传播速度V。

② 驻波法：

测量出电压波节和电流波节对应的频率值，求出信号反射时间t，并求出信号在同轴电缆中的传播速度V及电阻R的值。

实验数据处理：

实验一：模拟示波器的应用

1. 示波器设置及观察与测量核准值。

核准信号	电压峰值(1.2V)	频率f=1kHz	触发电压U _{th} /V
y轴灵敏度	0.5V/div	1V/div	2V/div
	倍数Y K	倍数Y K	倍数Y K
y轴微调核准值	4.0 0.50	2.0 1.00	1.0 2.00
y轴微调中间值	1.8 1.11	0.9 2.22	0.5 4.00
y轴微调逆时针	1.2 1.67	0.6 3.33	0.3 6.67

2. 观察各种波形并测量正弦波的电压与周期

项目	y轴灵敏度	y轴偏转板	x轴灵敏度	x轴偏转板	U _{pp} /V	U _e /V	T /s	f /Hz
小	0.5V/div	4.0格	0.2ms	5.1格	2V	0.707V	1×10^{-3} s	10^3 Hz
大	1V/div	4.0格	0.2ms	5.1格	4V	1.414V	0.5×10^{-3} s	2×10^3 Hz



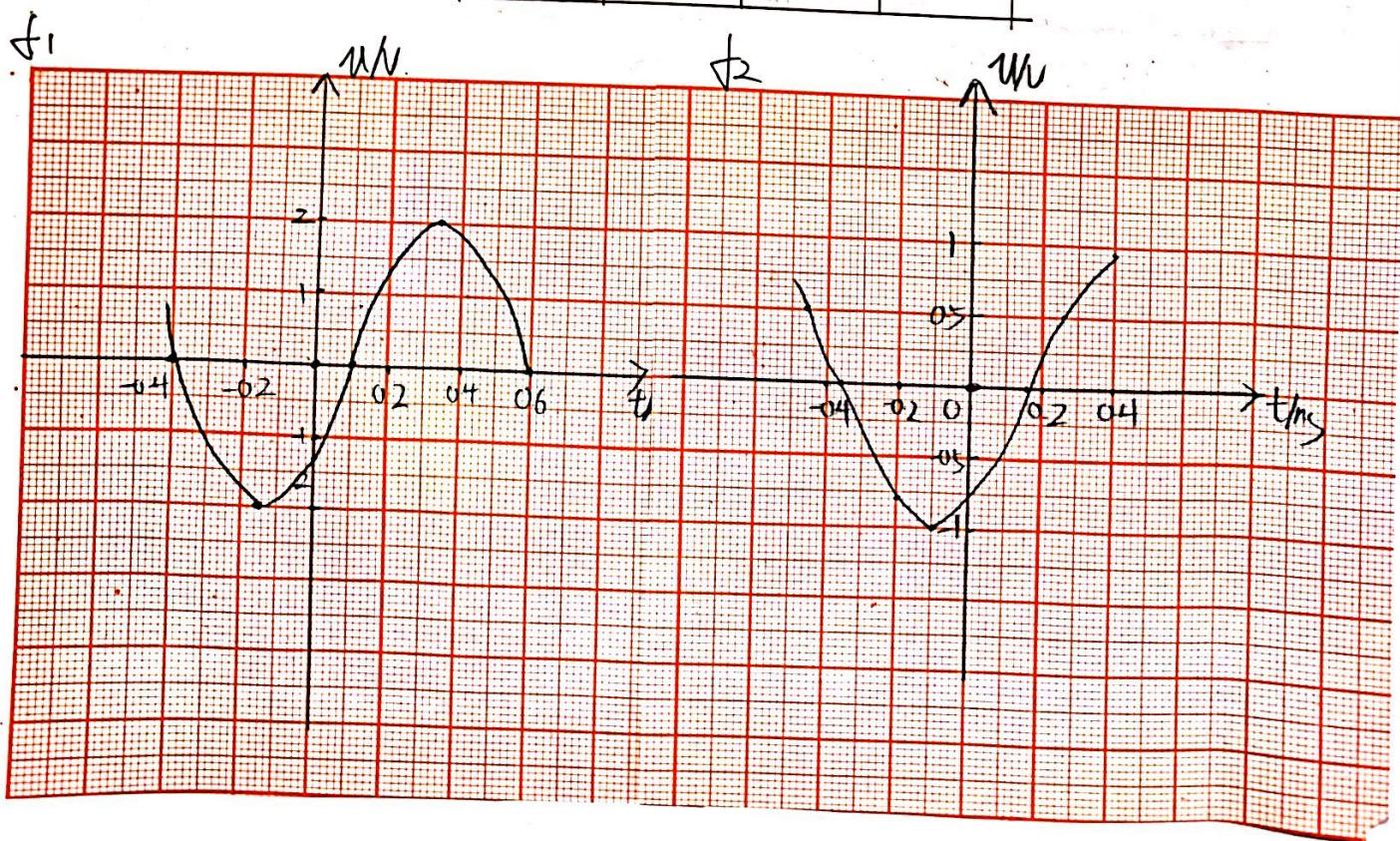
北京航空航天大学

实验报告

实验名称：正弦波的应用

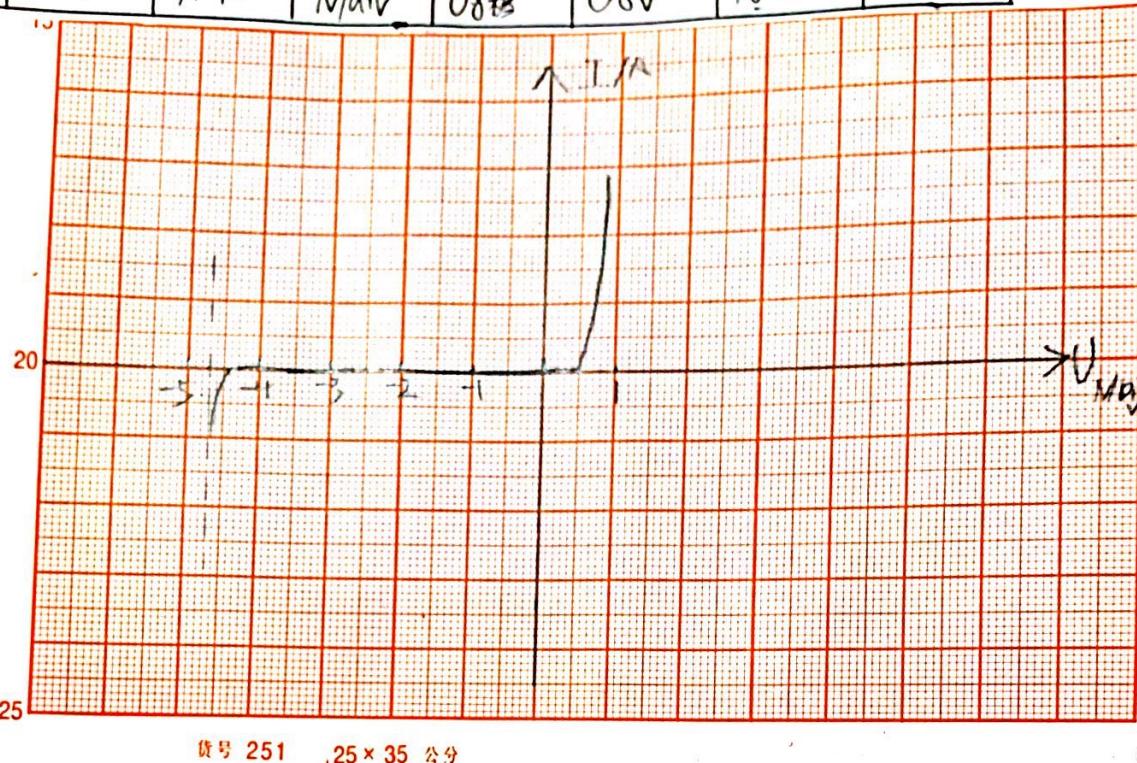
3. 观察李萨如图形，用李萨如图测量正弦信号频率。

图形	f_x	f_y	n_x	n_y	$f_y:f_x$	$n_x:n_y$
○	1kHz	1kHz	2	2	1:1	1:1
W	1kHz	2kHz	4	2	1:2	2:1
∞	1kHz	3kHz	6	2	1:3	3:1



实验二：双T型桥的伏安特性曲线

倍数开关Hz	倍数V _{ab} (V)	图形	偏置电压(V)	正向电压(V)	反向电压(V)	反向电流(A)
1kHz	12V	如下	1V/div	0.8V	0.6V	46mA



实验三：声速测量 ① 振幅法

$$f_1 = 35.459 \text{ kHz}$$

$$f_2 = 35.468 \text{ kHz}$$

位置	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
读数/mm	14.858	19.813	24.721	29.640	34.580	39.531	44.446	48.375	53.310	58.180
位置	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	X ₃₅	X ₃₆	X ₃₇	X ₃₈	X ₃₉	X ₄₀
读数/mm	156.362	161.129	166.570	171.387	176.200	181.940	186.544	191.007	195.392	201.880
$\Delta X = \frac{x_{i+1} - x_i}{30}$ /mm	4.717	4.710	4.728	4.725	4.721	4.747	4.736	4.754	4.736	4.759

$$\therefore \bar{\Delta X} = 4.733 \text{ mm}$$

$$\Delta X = \frac{\lambda}{2} \quad \therefore \lambda = 9.467 \text{ mm}$$

① 不确定度

$$U_a(\Delta X) = \sqrt{\frac{\sum (\Delta x_i - \bar{\Delta x})^2}{10 \times 9}} = 5.109 \times 10^{-3}$$

$$U_{b1}(\Delta f) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 2.887 \times 10^{-3}$$

$$U_{b2}(\Delta f) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 5.774 \times 10^{-2}$$

$$U(\Delta f) = \sqrt{U_{b1}(\Delta f)^2 + U_{b2}(\Delta f)^2} = \sqrt{(2.887 \times 10^{-3})^2 + (5.774 \times 10^{-2})^2} = 5.460 \times 10^{-3}$$

$$U(\bar{\lambda}) = 2U(\Delta f) = 1.092 \times 10^{-2} \text{ m}.$$

$$\therefore \bar{\lambda} \pm U(\bar{\lambda}) = (0.967 \pm 0.010) \text{ mm.}$$

2. 计算 $U(f)$

$$f = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) = 354635 \text{ kHz.}$$

~~$f = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)$~~ , $\Delta f = \frac{1}{2}(d_2 - d_1) = 0.5 \times 10^{-3} \text{ kHz.}$

~~$U(f) = \frac{\Delta f}{\sqrt{3}} = \frac{0.5 \times 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 2.25 \times 10^{-3} \text{ kHz.}$~~

~~$\therefore f \pm U(f) = (354635 \pm 0.0022) \text{ kHz.}$~~

3. 计算 C 及 $U(C)$

$$C = \pi f = 335.7330 \text{ m/s.}$$

$$\frac{U(C)}{C} = \sqrt{\left(\frac{U_{\lambda}}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{U_f}{f}\right)^2} = 1.155 \times 10^{-3}$$

$$\therefore U(C) = 0.388 \text{ m/s.}$$

$$C \pm U(C) = (335.7 \pm 0.4) \text{ m/s.}$$

② 相位法: $f_1 = 38.538 \text{ kHz}$ $f_2 = 38.540 \text{ kHz}$.

质量	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
质量/mm	23.529	28.152	32.361	37.781	42.470	47.492	51.730	56.535	60.220	65.340
质量	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}
质量/mg	69.200	74.950	78.398	83.941	88.581	93.552	97.398	101.350	106.550	110.300
$\Delta x =$ $x_{110} - x_1 / \text{mm}$	4.567	4.680	4.604	4.616	4.611	4.606	4.567	4.482	4.633	4.500

$$\Delta \bar{x} = 4.587 \text{ mm} \quad \bar{x} = 9.174 \text{ mm}$$

$$U_a(\Delta x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n_{\text{pts}}}} = 0.018 \text{ mm}$$

$$U_{b_1}(\Delta x) = 2.887 \times 10^{-3} \text{ mm} \quad U_{b_2}(\Delta x) = 5.774 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\therefore U(\Delta x) = \sqrt{(0.018)^2 + \left(\frac{2.887 \times 10^{-3}}{10}\right)^2 + \left(\frac{5.774 \times 10^{-2}}{10}\right)^2} = 0.0189 \text{ mm} \quad U(\Delta x) = 0.0378 \text{ mm}$$

$$\therefore \bar{x} \pm U(\bar{x}) = (9.174 \pm 0.038) \text{ mm} \quad \bar{x} \pm U(\bar{x}) = (9.174 \pm 0.038) \text{ mm}$$

2. 计算 Δf , $U(f)$.

$$\bar{f} = 38.539 \text{ kHz}$$

$$\Delta f = 0.002 \text{ kHz}$$

$$U(f) = \frac{\Delta f}{\sqrt{3}} = 1.15 \times 10^{-3} \text{ kHz}$$

$$\therefore \bar{f} \pm U(f) = (38.539 \pm 0.001) \text{ kHz}$$

3. 计算 C , $U(C)$.

$$C = \lambda \bar{f} = 353.567 \text{ m/s}$$

$$\frac{U_C}{C} = \sqrt{\left(\frac{U(f)}{f}\right)^2 + \left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2} = 4.12 \times 10^{-3}$$

$$\therefore U(C) = 1.4568 \text{ m/s}$$

$$\therefore C \pm U(C) = (353.6 \pm 1.5) \text{ m/s}$$

思考题

$$1: T = 0.2 \times 3 = 0.6 \text{ ns}$$

$$2: \because \frac{B}{\Delta y} = \frac{A}{2\pi} \quad \therefore \Delta y = \frac{2\pi B}{A}$$

$$3: (a) f_y : f(x) = n_x : n_y = 1 : 1$$

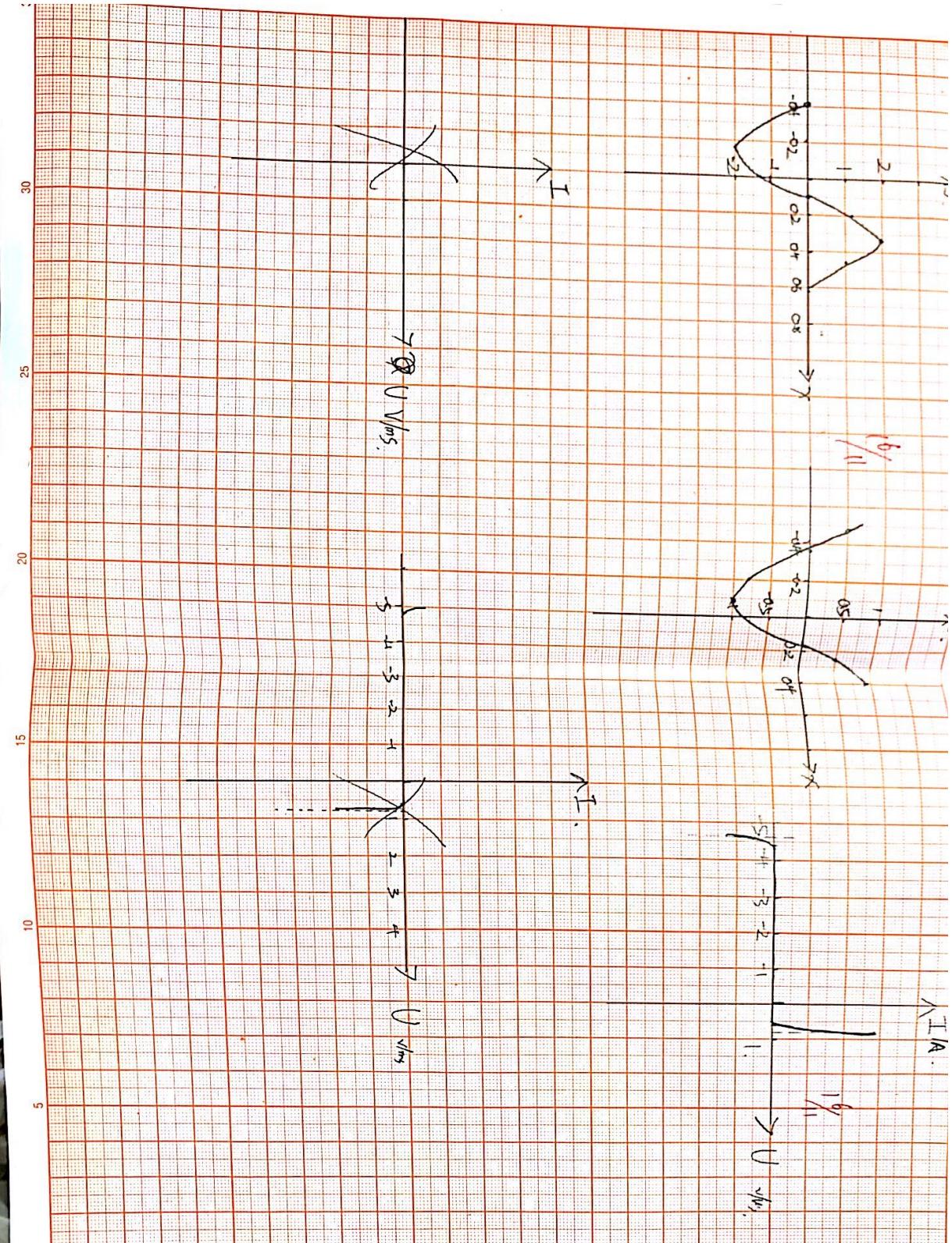
$$(b) f_y : f(x) = n_x : n_y = 2 : 1$$

$$(c) f_y : f_x = n_x : n_y = 2 : 3$$

4. I. 无误差。因为每次读数时 5° 倾斜的影响都存在，不会改变而抵消。

II: 有误差。声速随温度变化而变化，影响了结果，可利用 $C = 331.45 \sqrt{1 + \frac{T}{273.15}}$ 计算误差。

$$\text{III: } \Delta k_b(\Delta x) = 0.1 \text{ mm} \quad \Delta k_b(\lambda) = \frac{\Delta k_b(\lambda)}{\sqrt{3}} = \frac{0.1 \text{ mm}}{1.513} \text{ 计算}$$





北京航空航天大学
实验报告

学号: _____
班级: _____
姓名: _____
同组者: _____
日期: _____
评分: _____

实验名称: _____

1.	电压单峰值 $U_{pp}=2V$.	$f=1kHz$	$2V/div$	Y轴灵敏度	K	X轴灵敏度	K	Y轴灵敏度	K
	$0.5V/div$.								
x轴灵敏度	4.0	0.50		2.0	100			1.0	2.00
y轴中间位	1.8	1.11		0.9	2.22			0.5	4.00
y轴递增位	1.2	1.67		0.6	3.33			0.3	6.67
2.	Y灵敏度	Y格数	X灵敏度	X格数	U_{pp}/V	U_{pp}/V	T/s	f/V	
	$0.5V/div$.	4.0	$0.2ms$	5.1	2V	$0.707V$	1×10^3	10^3	
$f_1(1kHz, 2V)$									
$f_2(2kHz, 4V)$	$1V/div$	4.0	$0.2ms$	5.1	4V	$1.414V$	0.5×10^3	2×10^3	
3. 图示:	f_x	f_y	n_x	n_y	$f_y:f_x$	$n_x:n_y$			
○	$1kHz$	$1kHz$	2	2	1:1	1:1			
	1kHz	2kHz	4	2	1:2	2:1			
	1kHz	3kHz	6	2	1:3	3:1			

信号频率(Hz) 信号 $V_{in}(V)$ 图形 像素数
 1kHz 12V 1V/dIV.

正向导通电压 正向导通电流 反向击穿电压 反向击穿电流
 0.8 0.8V 4.6 12V_水_{16/11} 4.6V

三、(1). 振幅法.

$$f_1 = \frac{25.459}{\cancel{3.008}} \text{ Hz}$$

$$f_2 = 35.468 \text{ Hz}$$

位置	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
端口	18.58	19.83	24.721							

位置	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}	X_{36}	X_{37}	X_{38}	X_{39}	X_{40}
端口	156.362	161.129	166.570	171.387	176.200	181.940	186.544	191.007	195.392	201.886

$$f_1 = 38.538$$

$$f_2 = 38.540$$

位置	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
端口	23.529	28.152	32.361	37.781	42.470	47.442	51.730	56.535	60.220	65.340

X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}
69.200	74.950	78.398	83.941	88.581	93.552	97.598	101.250	106.550	110.300