

示波器的使用 实验报告

(中国科学技术大学 李若贤 安徽合肥 230000)

(指导老师:王鹤)

摘要 本文使用数字示波器观察了多种电信号的特征,测量了示波器自带方波的频率与任意波形发生器的简谐波的电压.通过对不同时基、电压、相位参数下李萨如图形的观测,探究了李萨如图形的特点,并利用其测量了未知正弦波的频率.还利用了示波器的数学功能对相同与不同频率,等幅与不等幅的两个正弦波进行了叠加.此外还使用示波器观察了脉冲波上升沿的特征,并测量了不同脉冲波的上升时间和脉冲宽度.

关键词 数字示波器 任意波形发生器 李萨如图形 波形叠加 脉冲波

1.引言

示波器是电子信号的测量中最为重要的仪器之一,用于观察并测量信号的幅度、周期、相位等,进而直观地观测各种电学或非电学物理量.美国无线电公司与 1931 年发明了第一台示波器.现代的数值示波器采用模数转换器 (ADC),将测得的电压转化为数字信息.数字示波器以其体积小、重量轻的特性及波形储存与自动测量功能,以及强大的波形处理分析能力,正逐步取代传统的模拟示波器.

2.实验仪器与原理

2.1 实验仪器

数字示波器(Oscilloscope):Tektronix TBS1052B

任意波形发生器(Arbitrary waveform generator, AWG):SIGLENT SDG1032X

1m 同轴线若干 (BNC 接口)

2.2 实验原理与方法 [1]

2.2.1 示波器的工作原理

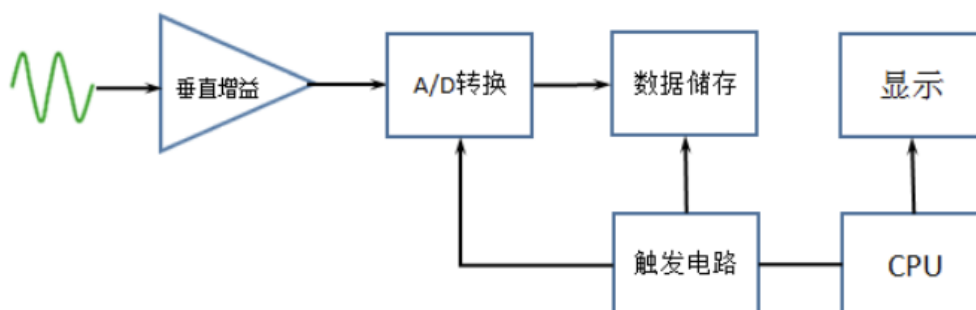


图 1 示波器的工作原理

示波器的工作原理如图 1 所示.连续模拟信号经过垂直增益过程的调理后成为适合处理的电压范围,再经等间隔的取样脉冲采样变为离散信号,接着通过模/数转换 (A/D 转换) 将离散

波形的电压值转化为二进制代码,实现数字化并存储信号.这三个步骤是示波器的核心工作过程.

2.2.2 使用示波器测量信号的时间参数与电压

示波器荧光屏显示边长一般为 10cm,待测的信号时间参数 T 可以由荧光屏上的宽度 x 与水平方向灵敏度 t 得出:

$$T = x \times t$$

设水平方向一个信号周期占 $n\text{cm}$,数字示波器水平方向灵敏度(可由荧光屏显示读出)为 $t\text{ms/cm}$,则可以测得信号周期 T 为:

$$T = n \times t$$

同样,也可以测出信号的峰值电压.设信号在垂直方向上占据 $m\text{cm}$,示波器垂直方向灵敏度为 $v\text{V/cm}$,则信号的峰值电压 V 为:

$$V = m \times v$$

2.2.3 使用示波器观察李萨如图形

将示波器由“Y-T 模式”转换为“X-Y 模式”,向 CH1 与 CH2 接口中输入两个不同相位的同频信号,通过形成的图案可以测量 CH2 与 CH1 的相位差.

当输入两个频率比为有理数比且相位差一定的信号时,会合成一个稳定的闭合曲线,称为“李萨如图形”,且频率比与水平、垂直方向上的切点个数 n_x 、 n_y 满足:

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{n_x}{n_y}$$

2.2.4 波形的叠加 [2]

示波器的数学功能可以将两个波形进行叠加或相减操作.当输入两个相同振幅的信号

$$\begin{cases} y_1 = A \cos(\omega_1 t + \varphi_1) \\ y_2 = A \cos(\omega_2 t + \varphi_2) \end{cases}$$

合成的信号:

$$y = y_1 + y_2 = 2A \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t + \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right)$$

若 $\omega_1 \approx \omega_2 = \omega$,

$$y = 2A \cos\left(\omega t + \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}\right)$$

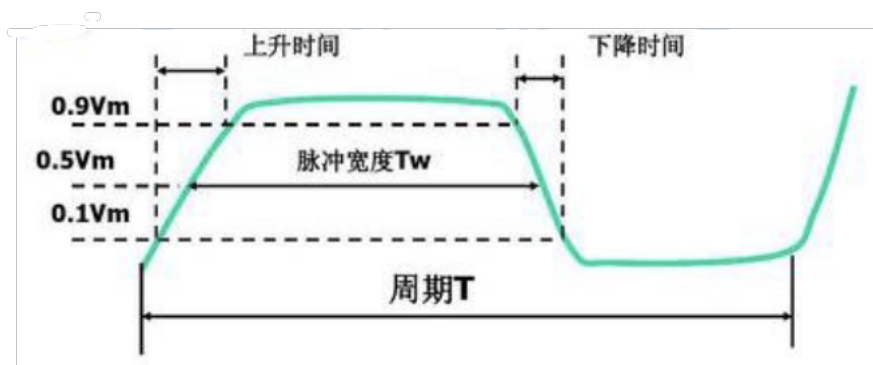
这可以视为合振幅 $A = 2A \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}\right)$,频率与原来两振动频率几乎相等的简谐运动,振幅不断变化,产生拍现象,振幅的变化频率为:

$$f = \frac{|\omega_1 - \omega_2|}{2\pi} = |f_1 - f_2|$$

即拍频.若两振动振幅不等,也会产生拍现象,但是其振幅的变化不会达到 0.

2.2.5 测量脉冲波的上升时间与脉冲宽度

脉冲波是时间极短且突然发生的电信号.脉冲信号的上升时间是脉冲规定的瞬时上限和下限两瞬时之间的间隔,一般定为脉冲峰值幅度的 10% 与 90%.脉冲宽度是脉冲峰值降低至一半时所对应的两个时刻差.如图:



3.实验方法

3.1 测量信号的时间与电压参数

1. 进行探头补偿后,采用 $100\mu\text{s}/\text{cm}$ 、 $250\mu\text{s}/\text{cm}$ 、 $500\mu\text{s}/\text{cm}$ 三种时基,显示屏读数、示波器光标、示波器测量三种方法测量示波器自备方波的周期.
2. 使用信号发生器输出信号幅度为 1.0V,频率在 200Hz 至 2kHz 内改变(间隔为 200Hz)的一系列信号,以示波器测量功能测得的频率为 y 轴,信号发生器的频率为 x 轴,绘制曲线,求出斜率并讨论.
3. 信号发生器正弦信号频率设为 1000Hz,以示波器测量功能测得的各个输出档的峰值电压 V_{pp} 的对数为 y 轴,以信号发生器显示的电压 V 的对数为 x 轴,绘制曲线.

3.2 探究李萨如图形的性质

使用任意波形发生器 Output1、Output2 均产生 1kHz, $V_{pp}=4\text{V}$ 的正弦波,分别与 CH1,CH2 相连接,示波器显示方式为“XY”

1. 调节时基为 $25\mu\text{s}/\text{cm}$ 、 $50\mu\text{s}/\text{cm}$ 、 $500\mu\text{s}/\text{cm}$ 、 $10\text{ms}/\text{cm}$,观察现象并记录波形.
2. 调节 Output1 相位设为 0° 、调节 Output1 峰值电压分别为 2V、4V、8V,观察并记录波形.
3. 调节 Output1 相位分别为 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、观察并记录波形.
4. 使用公用任意波形发生器产生正弦波,由 CH1 输入,本地信号发生器产生正弦波,由 CH2 输入,调节本地正弦波频率使屏幕上显示清晰的李萨如图形,通过计算切点数之比测量公用信号的频率.

3.3 使用数学功能进行波形叠加

- 1. 使用任意波形发生器输出频率相等,均为 1kHz,相位差为 0°、90°、180°的两个正弦波,使用示波器数学功能进行叠加,观察记录叠加后的波形.
- 2. 使用任意波形发生器输出频率分别为 1kHz 和 1.5kHz 的,相位差为 0°、90°、180°的两个正弦波,使用示波器数学功能进行叠加,观察记录叠加后的波形.

3.4 测量脉冲的信号参数

- 1. 任意波形发生器的输出为 1kHz 脉冲波,脉冲宽度为 200μs,改变上升沿分别为 16.8ns、2μs、20μs,在合适的时基下观察并比较上升沿波形.
- 2. 使用示波器光标、示波器测量功能两种方法测量上升沿为 2ms 时的上升时间及脉冲宽度,并与任意波形发生器设置的上升时间、脉冲宽度进行比较.

4.实验数据分析

4.1 示波器自备方波周期测量

时基		100μs/cm	250μs/cm	500μs/cm
直接测量	波形厘米数	10.0	4.0	2.0
	周期 (ms)	1.0	1.0	1.0
用光标测量 (ms)		0.992	0.990	0.980
用测量功能测量(ms)		0.9915	0.9915	0.9918

理论上分析,100μs/cm 测出的数据更准确,这是因为其一格代表的时间小,分辨率高,从而可以得到更加精确的周期值.

4.2 信号发生器输出对称方波

以下图表中,频率以 Hz 为单位,周期以 s 为单位.

信号发生器频率	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
示波器测得周期	4.980	2.500	1.668	1.250	1.000	0.835	0.714	0.624	0.556	0.500
示波器测得频率	200.8	400.0	599.5	800.0	1000	1198	1401	1603	1799	2000

绘制曲线得:

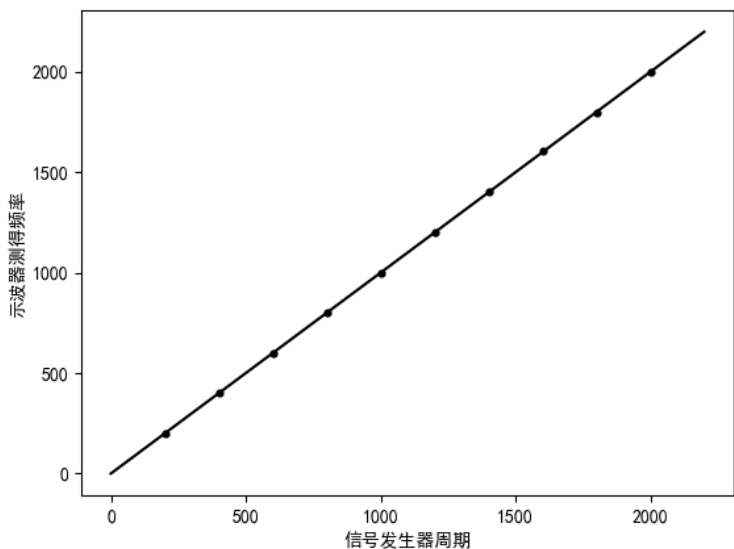


图 2 示波器测得周期与信号发生器的周期的关系

求得斜率 $k = 1.00013$,这说明数字示波器在测量信号的频率方面精度较高,误差较小.

4.3 用示波器测量信号电压

信号发生器电压	2mV	4mV	16mV	64mV	256mV	1V	4V	16V
示波器测得电压	3.50mV	8.00mV	20.0mV	66.0mV	258mV	1.04V	4.08V	16.4V

以以 2 为底的双对数坐标绘制曲线得:

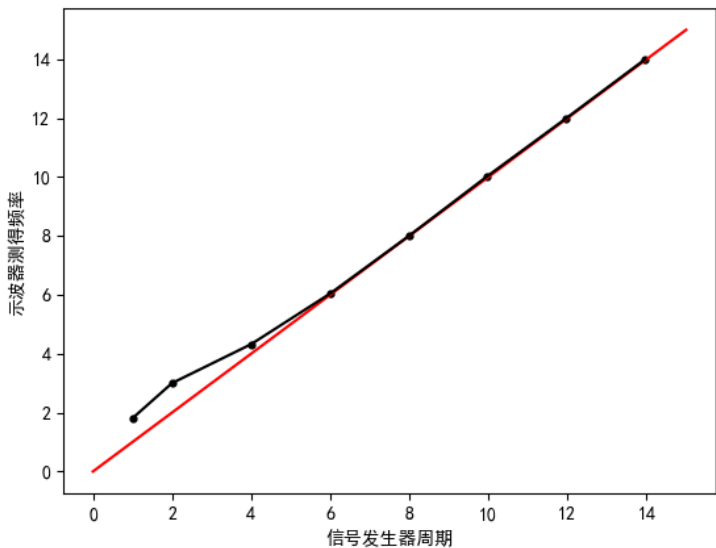
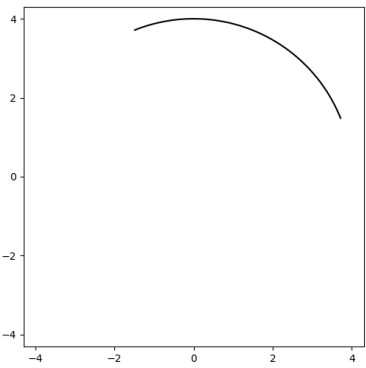
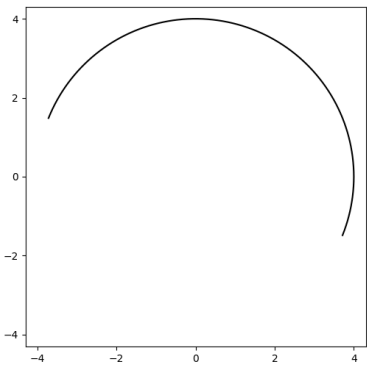
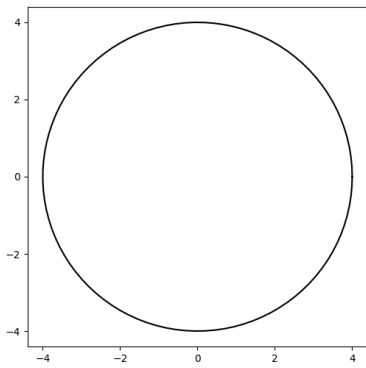
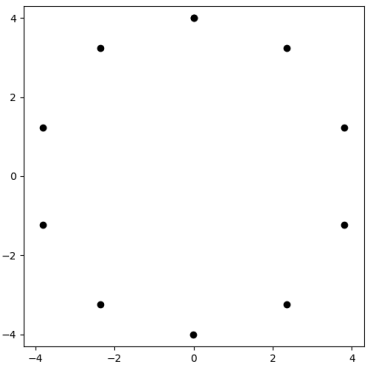
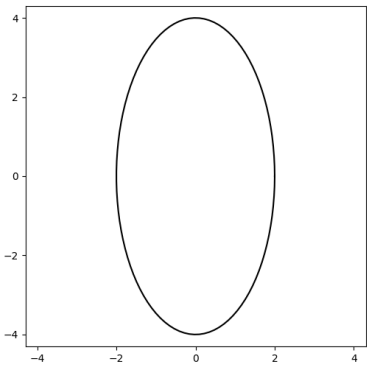
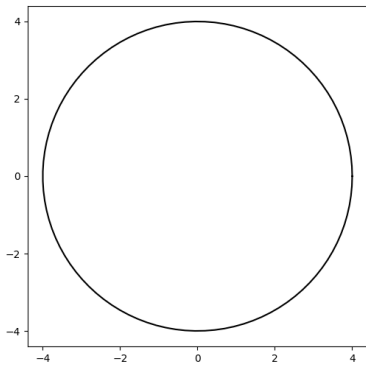
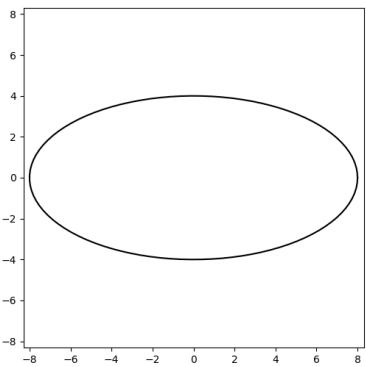
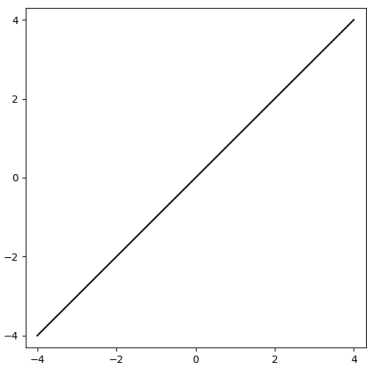
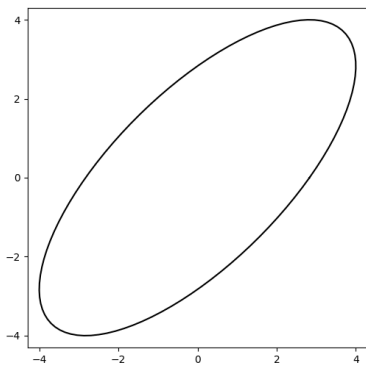
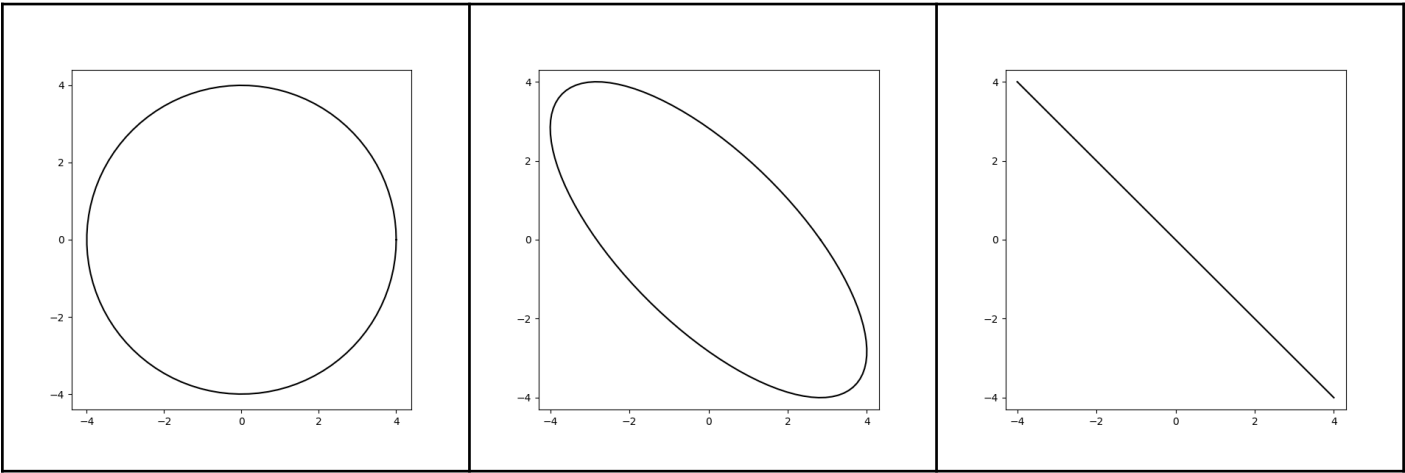


图 3 示波器测得电压与信号发生器的电压的关系

可以看到,在信号发生器电压较小时,示波器测得的电压误差较大,在电压较大时,曲线与理论曲线（红线）贴合得较好,测量精度较高.

4.4 探究不同参数对李萨如图形的影响

时基调节:25μs/cm	时基调节:50μs/cm	时基调节:500μs/cm
		
时基调节:10ms/cm	Vpp 调节:2V	Vpp 调节:4V
		
Vpp 调节:8V	相位调节:0°	相位调节:45°
		
相位调节:90°	相位调节:135°	相位调节:180°



4.5 用李萨如图形测量未知信号源正弦波的频率

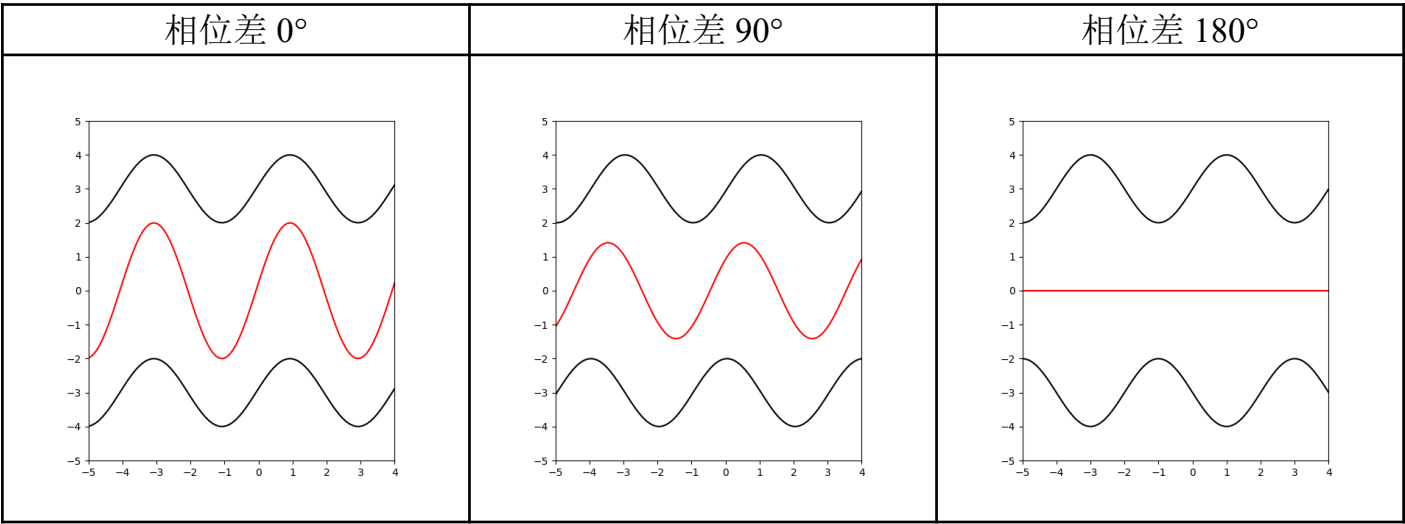
本地信号频率	906Hz,45°	1812Hz,45°	2718Hz,45°
李萨如图形			

由李萨如图形可知未知信号源正弦波的频率为 1812Hz.

4.6 使用示波器的数学功能进行波形叠加

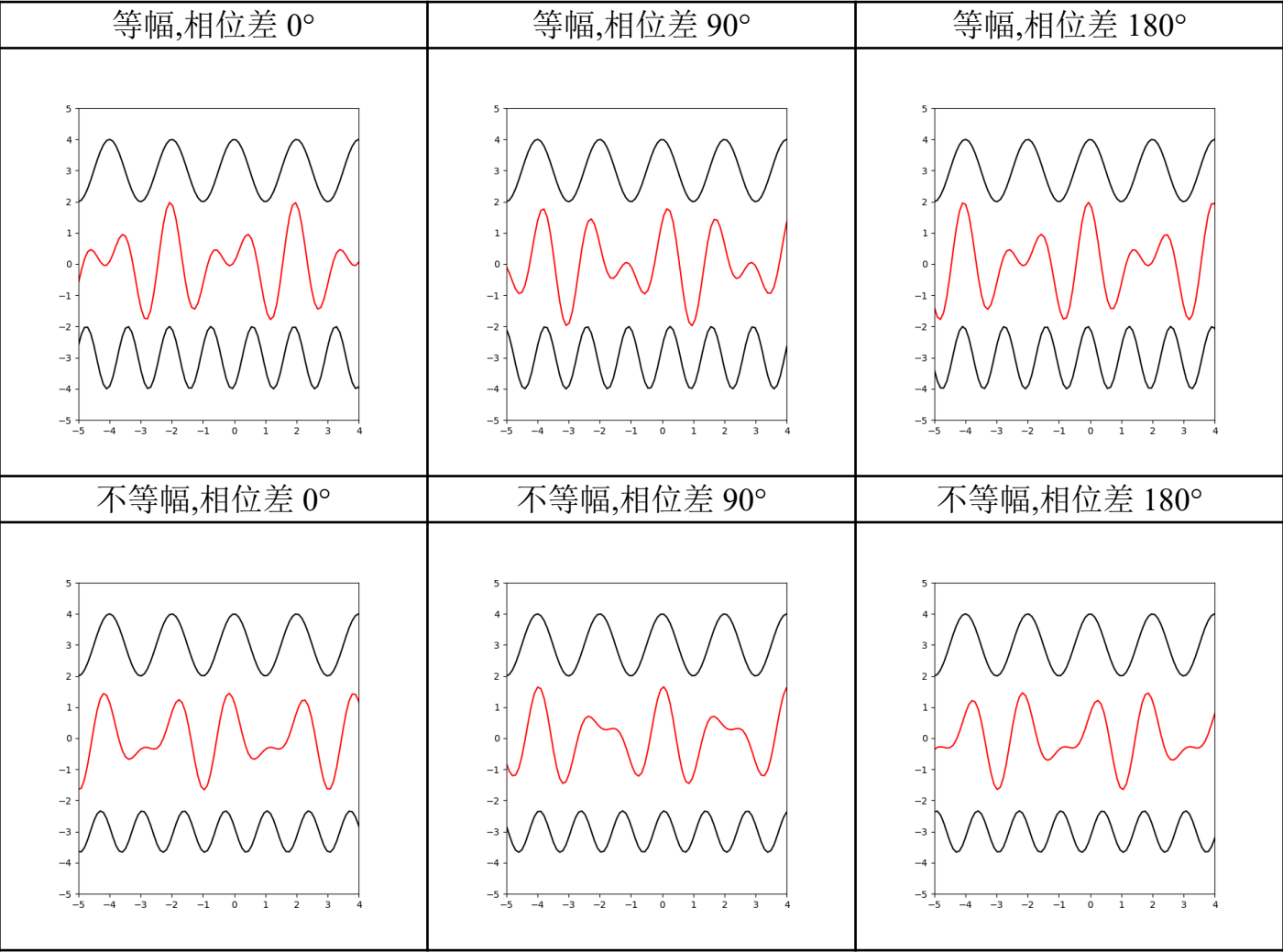
4.6.1 测量两个 1kHz 的正弦波的叠加

黑线为输入的两个信号,红线为叠加后的信号.



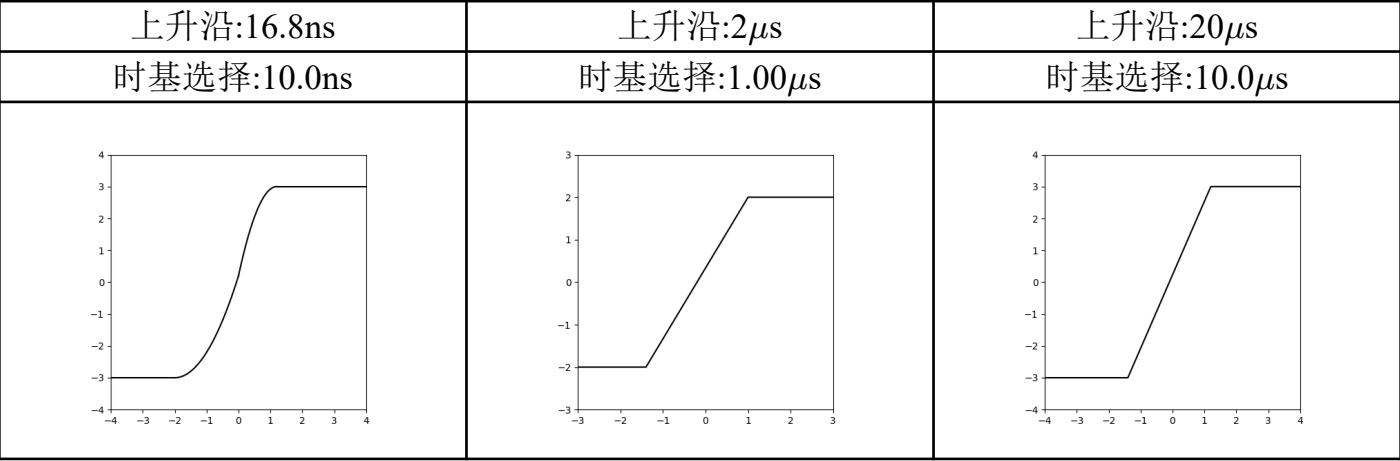
4.6.2 测量 1kHz 和 1.5kHz 的正弦波的叠加

等幅两个信号峰值电压均为 4V,不等幅上方信号电压为 6V,下方信号电压为 4V.



4.7 脉冲信号参数测量

4.7.1 观察并比较上升沿波形



4.7.2 测量上升沿为 $2\mu\text{s}$ 时的上升时间与脉冲宽度

测量量	上升时间 (μs)	脉冲宽度 (μs)
时基	500ns	100 μs
AWG 设置值	2.000 μs	200.000 μs
用光标测量	2.22 μs	200.0 μs
用测量功能测量	1.946 μs	200.1 μs

5. 思考题

1. 利用李萨如图形测量未知正弦波频率时,如果专用信号源信号不小心设成方波,即通道一用方波,而通道二仍为未知正弦波,显示波形如何? 为什么?

会显示一些平行于 y 轴的线段,且这些线段的 x 坐标的相等或互为相反数.因为方波在一段时间内的电压值保持不变,在一定时间区域内形成 x 值不变的线段;而另外的时刻电压为相反数,即形成 x 坐标为相反数的线段.

2. 自带方波和信号源产生的方波信号分别作为两个通道输入信号时,显示格式被设为 xy 模式,会出现什么现象? 为什么?

会形成两个点/四个点.这两个点关于原点对称,或者这四个点位于以原点为中心的正方形的四个顶点上.两个方波信号如果同频率,则在半个周期内两个信号的电压都不变,即一个定点,另外半个周期两个信号的电压均为相反数,即与其关于原点对称的一个点.如果不同频率,则可能出现 (V_1, V_2) , $(-V_1, V_2)$, $(V_1, -V_2)$, $(-V_1, -V_2)$ 的四种电压组合,即形成四个点.

6. 结论

本文使用数字示波器对示波器自带方波与任意波形发生器的正弦波的电压与频率进行了测量,通过绘制测量曲线发现示波器在频率测量方面精度较高,而测量电压时高电压的测量精度高于低电压的;还利用示波器观察了李萨如图形,发现信号的电压、相位、频率、采样的时基对其形状均有影响,利用其测得未知信号的频率为 1812Hz.通过示波器进行了波形的叠加,发现频率不同的信号叠加会出现拍现象,同时还进行了脉冲波参数的测量,得到了不同上升沿脉冲波的图形与测量数据,发现测量功能对其上升时间和脉冲宽度的准确度较高.

参考文献

[1] 大学物理 示波器实验讲义.

[2] 舒幼生, 力学 (物理类). 北京大学出版社.

附:原始数据



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

地址: 中国 安徽 合肥市金寨路96号 邮编: 230026

电话: 0551-63602184 传真: 0551-63631760 Http://www.ustc.edu.cn

1. 自备方波周期测量

李若贤 PB24000070

时基		100 $\mu\text{s}/\text{cm}$	250 $\mu\text{s}/\text{cm}$	500 $\mu\text{s}/\text{cm}$
直接测量	波形厘米数	10.0	4.0	2.0
	周期	1	1	1
用光标测量 (ms)	/	0.992	0.990	0.980
测量功能 (ms)	/	0.9915	0.9915	0.9918

2. 信号发生器 输出对称方波

信号发生器频率(Hz)	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
示波器测周期(ms)	4.980	2.500	1.668	1.250	1.000	0.835	0.714	0.624
示波器测频率(Hz)	200.8	400.0	599.5	800.0	1000	1198	1401	1603
1800	2000							
0.556	0.500							
1799	2000							

3. 用示波器测量信号电压

2mV	4mV	16mV	32mV	32mV	64mV	256mV
40.0mV	40.0mV	40.0mV	60mV	60mV	100mV	290mV

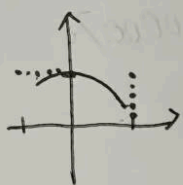
1V	4V	16V
1.04V	4.08V	16.4V

2mV	4mV	16mV	64mV	256mV
3.50V	8.00mV	20.0mV	66.0mV	258mV

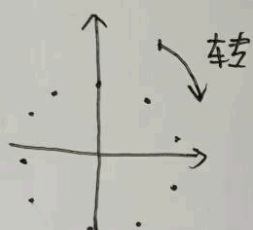
王鹤

4. 不同参数对李萨如图形的影响

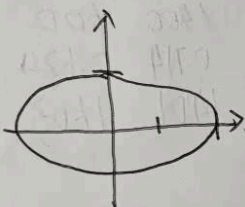
25 $\mu\text{s}/\text{cm}$



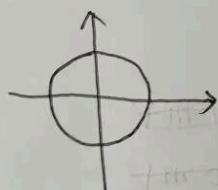
10 ms/cm



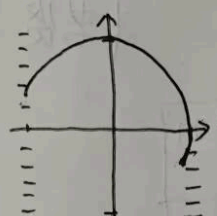
8 V



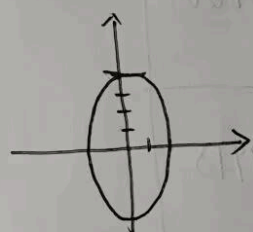
90°



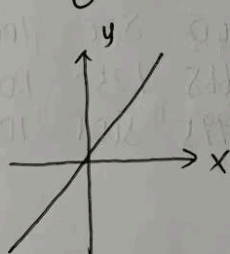
50 $\mu\text{s}/\text{cm}$



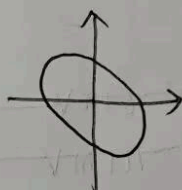
2 V



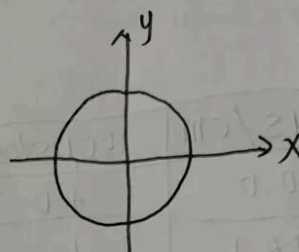
0°



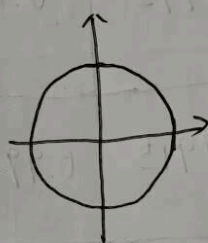
135°



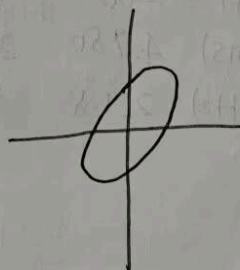
500 $\mu\text{s}/\text{cm}$



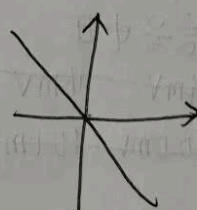
4 V



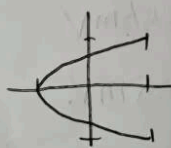
45°



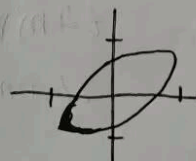
180°



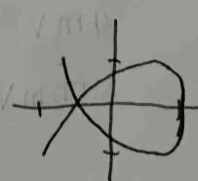
5. 本地 906 Hz 45°



本地 1812 Hz 45°



本地 2718 Hz 45°



可知未知
频率为
1812 Hz



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

地址: 中国 安徽 合肥市金寨路96号 邮编: 230026

电话: 0551-63602184 传真: 0551-63631760 Http://www.ustc.edu.cn

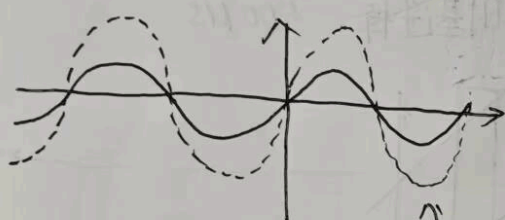
李若贤 PB24000070

6. 使用数学功能叠加

(1) 两个 1KHz 叠加

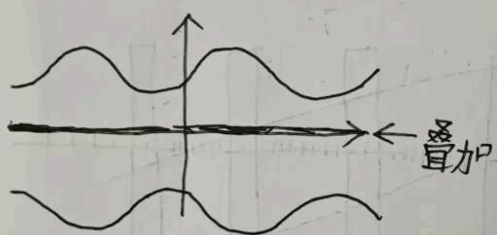
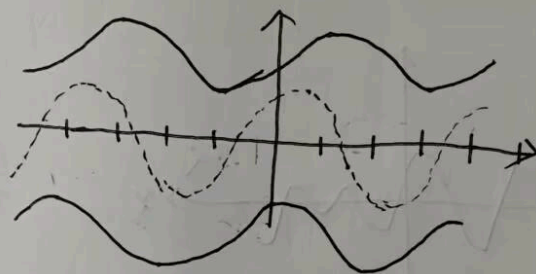
0°

90°



180°

叠加



叠加

(2) $180^\circ \rightarrow 90^\circ \rightarrow 0^\circ$

4V 4V

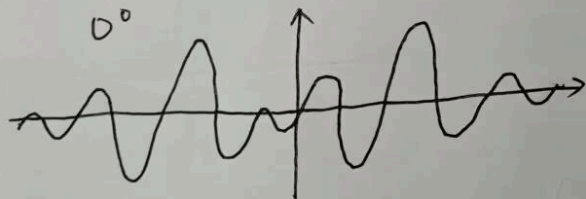
$180^\circ \rightarrow 90^\circ \rightarrow 0^\circ$

4V 6V
C1 C2

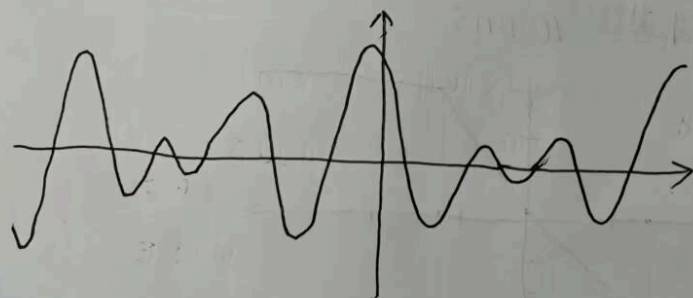
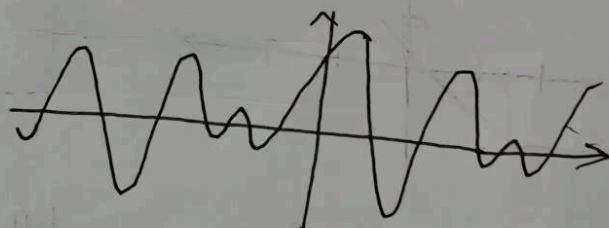
90°

(2) 等幅

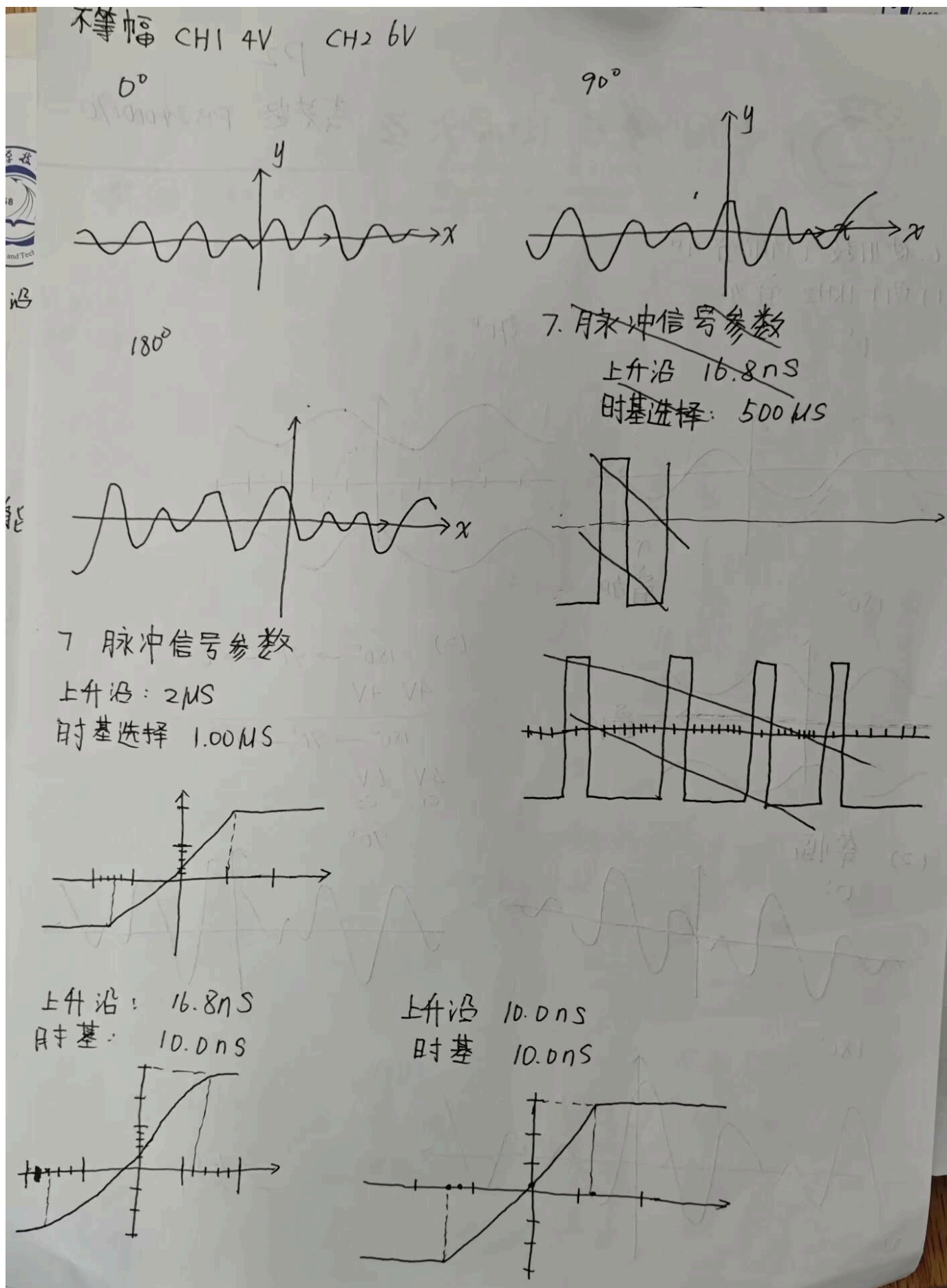
0°



180°



王鹤



P3
中国科学技术大学

李若贤

PB24000070

University of Science and Technology of China

地址: 中国 安徽 合肥市金寨路96号 邮编: 230026

电话: 0551-63602184 传真: 0551-63631760 Http://www.ustc.edu.cn

(2) 上升沿为 2ms 时

	上升时间 (ms)	脉冲宽度 (ms)
时基	500ns	100ms
AWG 设置	200ns	200.000ms
光标	2.22ms	200.0ms
测量功能	1.946ms	200.1ms

王鹤