

# 第3章

## 信号检定实验

### 实验 3.1 基本电参量的测量

#### 3.1.1 实验目的

- (1) 了解常用电子仪器的基本工作原理。
- (2) 掌握常用电子仪器的正确使用方法。
- (3) 掌握基于 PC 的虚拟仪器的基本使用方法。
- (4) 初步认识电信号的特点和测量方法。
- (5) 了解各种仪器的主要技术指标,能合理地选择仪器和测试方法。

#### 3.1.2 实验设备和材料

示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表、失真度测试仪、模拟万用表、数字万用表、DSO500 型虚拟仪器。

#### 3.1.3 实验步骤和方法

##### 1. 直流电压的测量

开启稳压电源开关,调节稳压电源,使两路电压输出分别为 $+5\text{V}$ 和 $-5\text{V}$ ,分别用数字(指针)式万用表 DC、AC 挡,数字示波器和数字交流毫伏表测量其输出电压,将测量值填在表 3.1.1 中。体会和掌握直流电压测量中的仪器和测量方法的选用。

表 3.1.1 直流电压的测量

| 稳压电源输出电压    | +5V | -5V |
|-------------|-----|-----|
| 万用表 DC 挡测量值 |     |     |
| 万用表 AC 挡测量值 |     |     |
| 数字示波器测量值    |     |     |
| 数字交流毫伏表测量值  |     |     |

分析表中测试结果,并回答问题:上述哪几种仪器可用于直流电压测量?测量准确度有何不同?

### 2. 用数字示波器和数字交流毫伏表测量信号参数

(1) 从函数信号发生器取出频率为 5kHz,峰值为 5V 的正弦信号,送到示波器的 CH<sub>2</sub> 通道,调节示波器,使示波器显示屏显示出一个幅度约 5 格、有 2~3 个周期的稳定波形。

(2) 用数字示波器测量其峰值  $U_{pp}$ 、周期  $T$ 、频率  $f$  和有效值,填在表 3.1.2 中。

(3) 用数字交流毫伏表测量其峰值  $U_{pp}$  和有效值  $U$ ,填在表 3.1.2 中。

表 3.1.2 交流电压的测量

|         | 峰峰值* | 周期 | 频率   | 有效值 |
|---------|------|----|------|-----|
| 函数信号发生器 | 4V   |    | 5kHz |     |
| 数字示波器   |      |    |      |     |
| 数字交流毫伏表 |      | —  | —    |     |

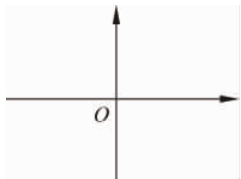
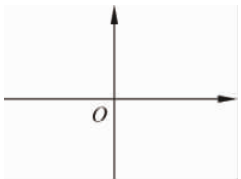
\* 注:峰峰值为一个周期内信号最高值和最低值之间的差值。

(4) 从函数信号发生器取出频率为 5kHz,幅值为 5V 的方波或三角波信号。分别用万用表 AC 挡、数字示波器和数字交流毫伏表列表测量其电压。

分析上述测试结果,并回答问题:上述哪种仪器可用于脉冲信号的测量?应怎样测量?

(5) 用示波器观测交、直流叠加的信号。从函数信号发生器取出频率为 5kHz,峰峰值为 5V,并叠加 1V 直流电压的正弦信号,用示波器观测该信号波形,并在表 3.1.3 中分别画出输入耦合开关分别置于 AC 和 DC 时的波形。

表 3.1.3 交、直流叠加的信号波形

| AC 耦合<br>输入波形<br>(做必要标注) |  | DC 耦合<br>输入波形<br>(做必要标注) |  |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|

### 3. 用示波器测量同频信号的相位差

用  $1k\Omega$  的电阻和  $0.01\mu F$  的电容器组成一个 RC 移相网络(按图 3.1.1 所示在面包板上搭建电路,注意仪器之间的地线需相连),输入  $f = 1kHz$ ,  $U_{pp} = 1V$  的正弦波信号,用示波器测量电阻上输出的信号与电路输入信号的相位差  $\Delta\varphi$ 。在同一坐标

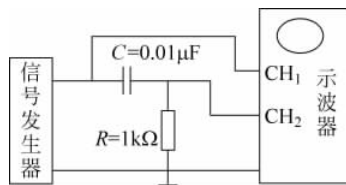


图 3.1.1 RC 移相网络相位差测量电路



中画出所观测到的输出、输入信号波形,并标注波形的周期  $T$  及  $\Delta T$ 。

#### 4. 电子测量仪器频率响应特性的测量

(1) 请查阅资料,将表 3.1.4 中所列仪器的频率范围指标记录下来。

表 3.1.4 仪器频率测量范围

| 仪器     | 示波器 | 毫伏表 | 数字万用表 | 模拟万用表 |
|--------|-----|-----|-------|-------|
| 频率测量范围 |     |     |       |       |

(2) 用表 3.1.4 所列出的测试仪器分别测量 10V 直流电压和峰峰值为 10V、频率按表中所示的正弦信号电压,将结果填入表 3.1.5 中。

分析表 3.1.4 数据并参考表 3.1.5 各仪器实际频率测量范围值,说明仪器设备的使用频率范围对测量准确度的影响。

表 3.1.5 电子测量仪器频率响应特性的测量

| 信号源     | 测试电压       | 频率     | 测试仪器 |     |       |       |
|---------|------------|--------|------|-----|-------|-------|
|         |            |        | 示波器  | 毫伏表 | 数字万用表 | 模拟万用表 |
| 稳压电源    | 直流电压 10V   | —      |      |     |       |       |
| 函数信号发生器 | $10U_{pp}$ | 50Hz   |      |     |       |       |
|         | $10U_{pp}$ | 1kHz   |      |     |       |       |
|         | $10U_{pp}$ | 10kHz  |      |     |       |       |
|         | $10U_{pp}$ | 100kHz |      |     |       |       |
|         | $10U_{pp}$ | 10MHz  |      |     |       |       |

#### 5. 研究测量仪表的内阻对测量值的影响

图 3.1.2 所示为单级放大电路,当电路正常工作时,用 MF47 型模拟万用表和数字万用表分别采用直接测量法和间接测量法测量电压  $U_{BEQ}$ ,将测量结果填入表 3.1.5 中。

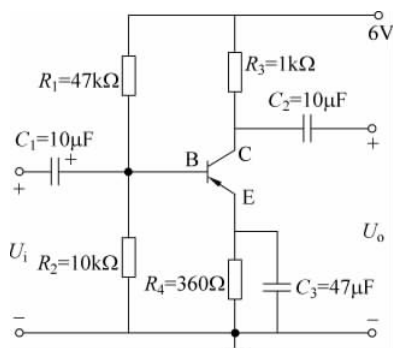


图 3.1.2 PNP 管单级放大电路

分析表 3.1.6 的数据,并回答问题:

(1) 用 MF47 型模拟万用表分别采用直接和间接测量法测量电压  $U_{BEQ}$ ,哪种方法较准确?

(2) 用模拟万用表分别采用两种测量法测量  $U_{BEQ}$ 时有很大的差别,而用数字万用表测

量并无多大差别,结合电路试分析万用表的内阻如何影响测量结果?

表 3.1.6 直接测量法和间接测量法测量数据

| 测试仪器  | 直接测量法              | 间接测量法                                                                                     |
|-------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 模拟万用表 | $U_{\text{BEQ}} =$ | $U_{\text{BQ}} = U_{\text{EQ}} =$<br>则 $U_{\text{BEQ}} = U_{\text{BQ}} - U_{\text{EQ}} =$ |
| 数字万用表 | $U_{\text{BEQ}} =$ | $U_{\text{BQ}} = U_{\text{EQ}} =$<br>则 $U_{\text{BEQ}} = U_{\text{BQ}} - U_{\text{EQ}} =$ |

从测量数据可看出,仪表的内阻对测量值的影响是比较大的。因此,在进行测量前,应根据被测量的特点、所需要的测量准确度和所具有的测量设备等进行综合考虑,确定采用哪种测量方法及选用哪种测量设备,这样才能减小测量误差。

#### 6. 研究不同负载对信号源输出电压的影响

将函数信号发生器和交流毫伏表接入如图 3.1.3 所示的负载的两端,当负载为 $\infty$ (即空载)时,调节信号源使其输出一个  $f=1\text{kHz}$ ,  $U_i=1\text{V}$ (用毫伏表观测)的正弦波。改变负载的大小(见表 3.1.7),记录对应毫伏表的读数。将测量值与空载时的值比较,分析产生差异的原因。

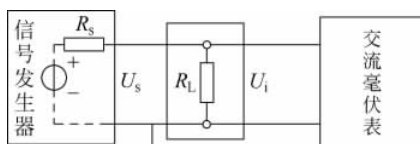


图 3.1.3 用毫伏表测量负载上信号

表 3.1.7 测量不同负载时输出电压

| 负载电阻   | $\infty$ (不接负载) | $51\Omega$ | $10\text{k}\Omega$ |
|--------|-----------------|------------|--------------------|
| 毫伏表测量值 | 1V              |            |                    |

### 3.1.4 实验注意事项

- (1) 由两种或两种以上仪器构成的测量系统,接线时要注意“共地”。
- (2) 每种仪器有专用的附件:信号源和交流毫伏表通常用开路 BNC 电缆线,示波器使用示波器探头,直流稳压电源使用两头带插头的普通导线。

### 3.1.5 实验报告要求

- (1) 明确实验目的和内容。
- (2) 将测量数据填入课本表格内,作为原始实验数据,并整理实验数据。

### 3.1.6 思考题

- (1) 通常测量信号幅度的仪器有哪些? 测量直流电、交流电、正弦波和脉冲波等不同的



信号时可各选用哪些仪表？哪种最方便准确？为什么？

(2) 用示波器或毫伏表测量信号发生器输出电压时，测试导线上的红夹子和黑夹子应怎样连接？如果互换使用，会有什么现象？

## 实验 3.2 示波器的使用

### 3.2.1 实验目的

- (1) 了解示波器的基本结构和工作原理。
- (2) 学习并熟练掌握示波器的使用方法，能较快地调节出稳定的待测信号波形。
- (3) 利用示波器测电信号的幅值、周期和频率。
- (4) 学会利用李萨如图形测未知信号频率。

### 3.2.2 实验设备

双通道示波器、低频信号发生器。

### 3.2.3 实验原理

1. 示波器显示波形的原理(如图 3.2.1 所示)

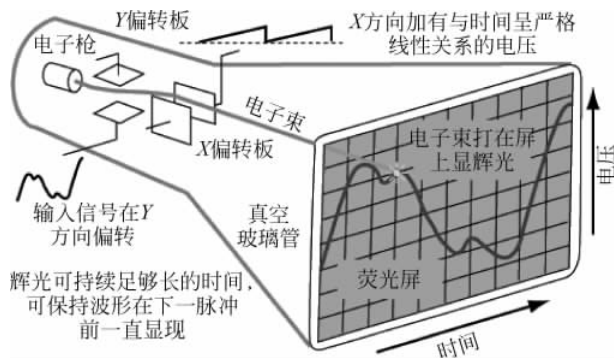


图 3.2.1 示波器显示波形原理图

如只在 Y 偏转板(简称 Y 轴)上加一正弦电压，则电子束打出的亮点将在垂直方向运动。若电压频率较高，电子在垂直方向的往复运动加快，看到的是一条竖直亮线。

若只在 X 偏转板上加此扫描电压，且频率足够高，则荧光屏上只显示出一条水平亮线。

如果在 Y 轴上加正弦电压，同时在 X 轴加“锯齿波”电压，电子的运动将是两个互相垂直的运动合成。在图 3.2.2 方框内填入波形图(已知正弦和锯齿波信号的周期相同)。

#### 2. 同步概念

若扫描锯齿波电压的周期不是被测(Y 输入)信号电压周期的整数倍，则每次扫描的起



扫点不重合,屏上的波形不会稳定,将出现波形的左右跑动甚至更为复杂的曲线。

为了获得稳定的波形,示波器上设有“扫描速度”和“扫描微调”旋钮,用来调节锯齿波电压的周期  $T_x$  (或  $f_x$ ),使  $T_x = nT_y$  成立 ( $n=1,2,3,\dots$ ,由使用者自由选择),从而使示波器上出现稳定的、数目合适的完整波形。如图 3.2.3 所示。

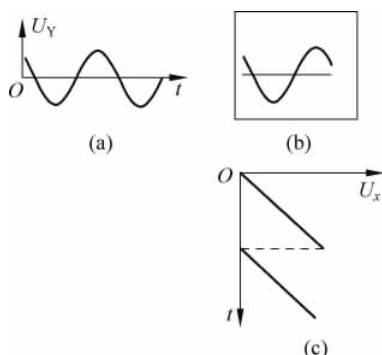


图 3.2.2 正弦和锯齿波信号

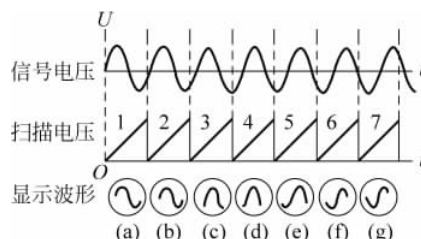


图 3.2.3 稳定波形

但是输入 Y 轴的被测信号与示波器内部的扫描锯齿电压信号是互相独立的。由于环境或其他因素的影响,它们的周期或频率可能发生微小的改变,这时虽可通过人工调节扫描微调旋钮使波形稳定,但过一会儿,又发生改变,波形又移动起来。在观察高频信号时这一问题尤为突出。

为此,示波器内装有扫描同步装置,其实质是将被测信号的一部分引入扫描发生器,迫使锯齿波电压的频率自动跟踪被测信号频率的变化,这就是“整步”(或称“同步”“触发”)。面板上的“level”为此而设。

### 3. 李萨如图形的定义

当两个相互垂直的简谐振动的分振动频率不同的条件下,合振动的轨迹不能形成稳定的图案,但如果分振动频率成整数比,则合成振动的轨迹为稳定的曲线,曲线的花样与分振动的频率比、初位相有关,得出的图形称为李萨如图形,如图 3.2.4 所示。由于图形花样与分振动频率比有关,因此,可以通过李萨如图形的花样判断二分振动的频率比,通过频率比可由已知频率测量未知频率。

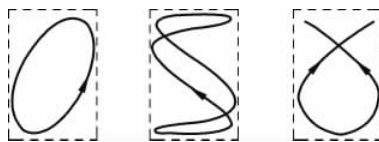


图 3.2.4 李萨如图形

稳定的李萨如图形有一个特点:两信号的周期之比为整数之比,且等于图形在 X 和 Y 方向上的外切点数之比。即  $T_x : T_y = f_y : f_x = n_x : n_y$ 。

### 4. 计算公式

(1) 信号周期 = 时间/格数  $\times$  一个完整周期波形的水平格数

(2) 信号幅值 = 电压/格数  $\times$  峰峰显示高度/2

(3) 信号电压有效值 = 信号幅值/ $\sqrt{2}$

(4) 李萨如图形测未知信号频率(假设  $f_x$  为未知信号)  $f_x = \frac{n_y}{n_x} f_y$



用标准信号(0.5V,1kHz 方波)可对扫描速度时间因数、Y 轴标称灵敏度进行校准和修正,然后进行以下操作:

- (1) 观察正弦信号(50Hz、500Hz、5kHz、50kHz)的波形并测量参数(周期、幅值、有效值)。
- (2) 利用李萨如图形测未知信号频率(1 : 1、2 : 1、3 : 2 )。

3.2.4 实验步骤和方法

- (1) 用标准信号进行校准和修正(周期为 1ms; 峰峰值为 2V),见表 3.2.1。

表 3.2.1 标准信号进行校准和修正

|                            |     |     |                           |   |     |
|----------------------------|-----|-----|---------------------------|---|-----|
| $T/(\text{ms}/\text{div})$ | 0.2 | 0.5 | $U/(\text{V}/\text{div})$ | 1 | 0.5 |
| 半个周期的水平格数                  |     |     | 峰峰值                       |   |     |

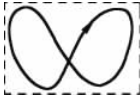
- (2) 测量输入的正弦信号波形(50Hz、500Hz、5kHz、50kHz)及参数,见表 3.2.2。

表 3.2.2 正弦信号波形及参数

| 信号频率  | $T$                         | 一个周期<br>水平格数 | 理论周期<br>/ms | 所测周期 | $U/(\text{V}/\text{div})$ | 峰峰值垂直<br>格数/div | 所测幅值 | 有效值 |
|-------|-----------------------------|--------------|-------------|------|---------------------------|-----------------|------|-----|
| 50Hz  | 2ms/div                     |              | 20.0        |      | 1                         | 5.0             |      |     |
| 500Hz | 0.5ms/div                   |              | 2.0         |      | 1                         | 5.0             |      |     |
| 5kHz  | 50 $\mu\text{s}/\text{div}$ |              | 0.2         |      | 1                         | 5.0             |      |     |
| 50kHz | 5 $\mu\text{s}/\text{div}$  |              | 0.02        |      | 1                         | 5.0             |      |     |

- (3) 利用李萨如图形测未知信号频率(未知信号频率固定为一个值),见表 3.2.3。

表 3.2.3 李萨如图形测未知信号频率

| $f_y : f_x$ | $f_y$ (已知) | $f_x$ (测量) | 李萨如图形                                                                               | $\bar{f}_x = \frac{1}{3}(f_{x_1} + f_{x_2} + f_{x_3})$ |
|-------------|------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1 : 1       | 50Hz       |            |  |                                                        |
| 2 : 1       | 100Hz      |            |  |                                                        |
| 3 : 2       | 75Hz       |            |  |                                                        |

### 3.2.5 思考题

- (1) 示波器上图形不断向右跑,说明扫描频率与被测信号频率相比,是偏高还是偏低?用图示法说明。如何调节才能稳定下来?
- (2) 李萨如图形不稳定(不断翻转)是何原因?怎样使其稳定下来?加大触发电平行不行?为什么?
- (3) 示波器的应用极其广泛,试举例说明。

## 实验 3.3 用“李萨如图形法”测量简谐振动的频率

### 3.3.1 实验目的

- (1) 了解李萨如图形的物理意义规律和特点。
- (2) 学会用“李萨如图形法”测量简谐振动的频率。

### 3.3.2 实验装置

本实验装置如图 3.3.1 所示。

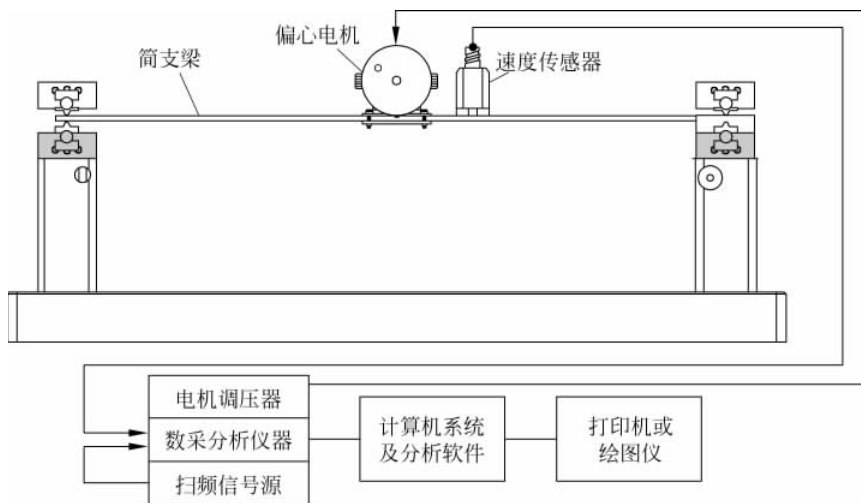


图 3.3.1 实验装置框图

### 3.3.3 实验原理

李萨如图是把两个传感器测得的信号,一个作为  $X$  轴,一个作为  $Y$  轴进行合成得到的图形。互相垂直,不同频率的振动的合成,显示出复杂的图形,一般情况下,图形是不稳定



的,当两个振动的频率成整数比时,它们就合成了较稳定的图形。

为简单起见,以两个振动方向互相垂直的简谐振动的合成进行讨论。设两个振动波形方程为

$$x = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$

$$y = A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)$$

其合成波形的方程式为

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 \cdot A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$\omega_1 = 2\pi f_1, \quad \omega_2 = 2\pi f_2$$

(1) 当  $\omega_1 = \omega_2, \varphi_2 = \varphi_1, \varphi_2 - \varphi_1 = 0$  时,有

$$\frac{y}{x} = \frac{A_2}{A_1}$$

合成波形的轨迹是一条直线,直线通过坐标原点,斜率为两个振幅之比,即  $A_2/A_1$ 。

当  $\omega_1$  与  $\omega_2$  差任意倍或  $A_1 \neq A_2$  时,合成波形更为复杂。

(2) 当  $\omega_1 = \omega_2, A_2 = A_1, \varphi_2 - \varphi_1 = \phi$  时,有

$$x^2 - 2xy \cos \phi + y^2 = A_1^2 \sin^2 \phi$$

当  $\phi = 0^\circ$  时,  $(x-y)^2 = 0$ , 波形为直线。

当  $\phi = 45^\circ$  时,  $x^2 - \sqrt{2}xy + y^2 = A_1^2/2$ , 波形为椭圆。

当  $\phi = 90^\circ$  时,  $x^2 + y^2 = A_1^2$ , 波形为圆。

当  $\phi = 135^\circ$  时,  $x^2 + \sqrt{2}xy + y^2 = A_1^2/2$ , 波形为椭圆。

当  $\phi = 180^\circ$  时,  $(x+y)^2 = 0$ , 波形为直线。

以上合成波形见图 3.3.2。

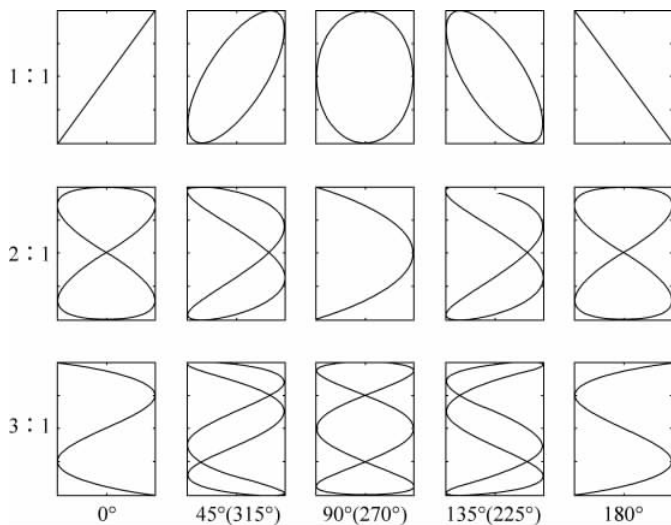


图 3.3.2 李萨如图形

(3) 当  $\omega_1 \neq \omega_2, A_2 = A_1, \varphi_2 - \varphi_1 = \phi$  时,波形变得复杂。

例如:  $\omega_1 = 2\omega_2$  和  $\omega_1 = 3\omega_3, \phi = 0^\circ, 45^\circ(315^\circ), 90^\circ(270^\circ), 135^\circ(225^\circ), 180^\circ$  时的李萨如图形如图 3.3.2 所示。



### 3.3.4 实验步骤和方法

#### 1. 安装偏心电机

偏心电机的电源线接到调压器的输出端,调压器电源线接到调压器的输入端(要求电源使用三芯接地插座),一定要小心,防止接错,把偏心电机通过安装底板安装在简支梁中部,电机转速(强迫振动频率)可用调压器电压调节旋钮来调节,调节输出电压到 110V 左右,调好后在实验的过程中不要再改变电机转速。

#### 2. 连接测试系统

将 DH1301 扫频信号源输出信号接到采集仪的 1—1 通道。将速度传感器布置在偏心激振电机附近,速度传感器测得的信号接到采集仪的 1—2 通道。

#### 3. 仪器设置

打开仪器电源,进入控制分析软件,新建一个项目(项目名自定),在“设置”/“模拟通道”设置采样频率、量程范围、工程单位和传感器灵敏度等参数,在“测量”/“图形区设计”选择“XY 记录仪”,在曲线显示窗口右侧,选择“AI1-1”和“AI1-2”,X 轴为第一个选择通道。开始采集数据,数据同步采集显示在图形窗口内。

注意:采样频率一般设置为采集信号的 10~20 倍,保证采集的信号没有幅值失真。量程范围一般设置为采集信号的 1.5 倍,保证较高的信噪比。工程单位根据实际物理量设置,传感器灵敏度根据传感器铭牌正确设置。

调节 DH1301 扫频信号源的输出频率,使屏幕上出现一直线或椭(正)圆,此时,激振信号源显示的频率即为简支梁系统强迫振动的频率  $f_y$ 。

再新建一个文件,将周期信号频率变为  $f_{xi} (i=1/2, 2)$ ,观察屏幕上的图形。

改变电机转速即改变参考信号的频率,重复以上步骤。

### 3.3.5 实验结果与分析

#### 1. 数据记录

记录测试结果至表 3.3.1。

表 3.3.1 实验数据

| 简谐振动频率 |             | $f_y =$ _____ Hz |              |
|--------|-------------|------------------|--------------|
| 周期信号频率 | $f_z = f_y$ | $f_z = f_y/2$    | $f_z = 2f_y$ |
| 图形     |             |                  |              |

#### 2. 观察并分析

周期信号频率为  $f_y$ 、 $f_y/2$ 、 $2f_y$  时屏幕上的图形,观察其规律和特点。