

实验五：单自由度系统的自由振动实验

1. 实验目的

- 1、了解单自由度系统模型的自由衰减振动的有关概念；
- 2、学习用频谱分析信号的频率。
- 3、学习测试单自由度系统模型阻尼比的方法。

2. 实验仪器及安装示意图

实验仪器：INV1601B 型振动教学实验仪、INV1601T 型振动教学实验台、加速度传感器、MSC-1 力锤（橡胶头）、调速电机或配重块。软件：INV1601 型 DASP 软件。

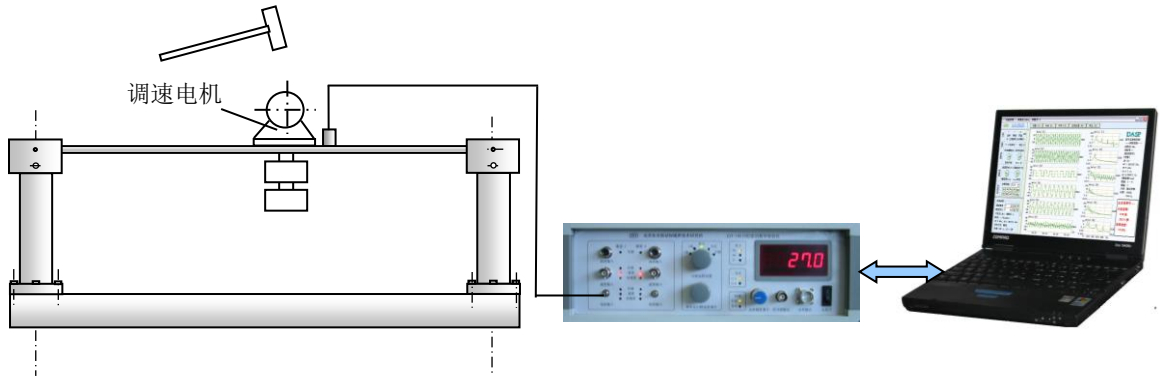


图 1 振动测试实验台的组成及连接示意图

3. 实验原理

单自由度系统的阻尼计算，在结构和测振仪器的分析中是很重要的。阻尼的计算常常通过衰减振动的过程曲线(波形)振幅的衰减比例来进行计算。衰减振动波形示于图 2。用衰减波形求阻尼可以通过半个周期的相邻两个振幅绝对值之比,或经过一个周期的两个同方向相邻振幅之比,这两种基准方式进行计算。通常以相隔半个周期的相邻两个振幅绝对值之比为基准来计算的较多。两个相邻振幅绝对值之比,称为波形衰减系数。

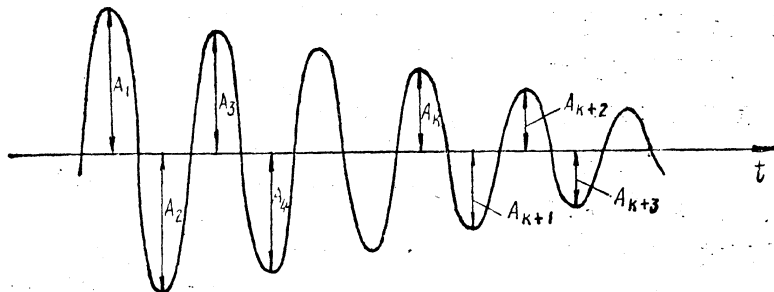


图 2 衰减振动波形

- 1、对经过半周期为基准的阻尼计算

每经过半周期的振幅的比值为一常量,

$$\varphi = \frac{|A_K|}{|A_{K+1}|} = \frac{Ae^{-\varepsilon t}}{Ae^{-\varepsilon(t+\frac{TD}{2})}} = e^{\frac{1}{2}\varepsilon TD} = e^{\frac{\pi D}{\sqrt{1-D^2}}}$$

这个比例系数 φ 表示阻尼振动的振幅(最大位移)按几何级数递减。衰减系数 φ 常用来表示振幅的减小速率。

如果用衰减系数 φ 的自然对数来表示振幅的衰减则更加方便。

$$\delta = \ln \varphi = \ln \left| \frac{A_K}{A_{K+1}} \right| = \frac{1}{2} \varepsilon T_D = \frac{\pi D}{\sqrt{1-D^2}}$$

δ 称为振动的对数衰减率。可以利用来求得阻尼比 D 。

$$D = \frac{\delta}{\sqrt{\pi^2 + \delta^2}}$$

引入常用对数

$$\delta_{10} = \lg \varphi = \delta \lg e = \ln \varphi \lg e$$

$$\lg e = 0.4343, \delta = \frac{\delta_{10}}{\lg e} = 2.303\delta_{10}$$

便得

$$D = \frac{0.733 \lg \varphi}{\sqrt{1+(0.733 \lg \varphi)^2}} = \frac{\lg \varphi}{\sqrt{1.862+(\lg \varphi)^2}}$$

阻尼比的通常求法就是用上式来进行计算。

2、在小阻尼时, 由于 φ 很小; 这样读数和计算误差较大, 所以一般地取相隔若干个波峰序号的振幅比来计算对数衰减率和阻尼比。

$$\varphi^n = \left| \frac{A_K}{A_{K+1}} \right| = e^{\frac{1}{2}n\varepsilon T_D}$$

所以

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \varphi = \frac{1}{n} \ln \left| \frac{A_K}{A_{K+1}} \right|$$

在实际阻尼波形振幅读数时, 由于基线甚难处理, 阻尼较大时, 基线差一点, φ 就相差很大, 所以往往读取相邻两个波形的峰峰值之比,

$$\frac{|A_K| + |A_{K+1}|}{|A_{K+1}| + |A_{K+2}|}$$

$$\text{在 } \frac{|A_K|}{|A_{K+1}|} = \frac{|A_{K+1}|}{|A_{K+2}|} \text{ 时, } \varphi = \frac{|A_K|}{|A_{K+1}|} = \frac{|A_K| + |A_{K+1}|}{|A_{K+1}| + |A_{K+2}|}$$

这样, 实际阻尼波形读取数值就大为方便, 求得阻尼比也更加正确。

应该注意, 不同资料中的所谓对数衰减率的数值有不同定义, 有些书籍是采用半周期取值, 有的采用整周期取值, 所以计算结果不同。

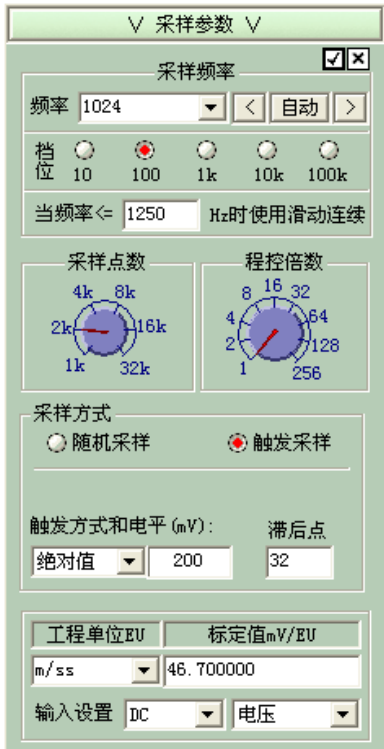
4. 实验步骤

1、仪器安装

参照仪器安装示意图安装好电机 (或配重质量块, 注意事项参考前面实验)。加速度传

传感器接入 INV1601B 型实验仪的第一通道。加装电机（或配重）是为了增加集中质量，使结构更接近单自由度模型。

- 2、开机进入 INV1601 型 DASP 软件的主界面，选择单通道按钮。进入单通道示波状态进行波形和频谱同时示波。
- 3、在采样参数中设置好采样频率 1024Hz、采样点数为 2K，标定值和工程单位等参数（按实际输入），采样方式选择“触发采样”。
- 4、调节加窗函数旋钮为指数窗。如果选中显示窗函数曲线，在时域波形显示区域中就会出现一红色的指数曲线。
- 5、用小锤或用手敲击简支梁或电机，看到响应衰减信号，这时，按下鼠标左键读数。
- 6、把采到的当前数据保存到硬盘上，设置好文件名、实验号、测点号和保存路径。
- 7、移动光标收取波峰值和相邻的波峰值并记录，在频谱图中读取当前波形的频率值，如果波形较密，可以直接将波形拉开以便观察。
- 8、重复上述步骤，收取不同位置的波峰值和相邻的波谷值。
- 9、如果有感兴趣，移动光标收取峰值，记录峰值，利用原理中的公式手动计算。



5. 实验结果和分析

测得的单自由度系统的固有频率和阻尼比分别为：

实验次数	第一峰峰值(m/ss)			第二峰峰值(m/ss)			频率（Hz）	阻尼（%）
	波峰值	波谷值	峰峰值	波峰值	波谷值	峰峰值		
1	2.389096	-3.481544	5.870642	-3.481544	1.980129	5.461673	22	2.2976
2	3.76895	-4.609946	8.378896	-4.609946	2.957469	7.567415	22	3.2403
3	3.013485	-4.118661	7.132146	-4.118661	2.45376	6.572421	22	2.6003

本次实验所加配重为 3kg(3 块 1kg 配重)；激振器未卸载。

