

文章编号:1007-2934(2009)01-0056-04

利用位移传感器改进受迫振动实验

刘惠娜 程敏熙

(华南师范大学,广州,510006)

摘要 利用 DISLab 实验系统中的位移传感器,改进基于弹簧振子的受迫振动实验仪,实时观察振子和驱动装置的运动情况,取得了清晰的实验图像和数据,受迫振动的物理意义更加清楚。

关键词 受迫振动;位移传感器;DISLab

中图分类号:O321 文献标识码:A

1 引言

大学物理力学实验中,受迫振动是研究振动的一个重要实验。弹簧振子在周期性驱动力的作用下发生受迫振动,需要观察驱动力的频率与弹簧振子振动状态的关系。观察受迫振动从暂态发展为稳定振动,研究弹簧振子在驱动作用下其振幅与驱动频率之间的关系,测定受迫振动的幅频特性和相频特性,尤其是发生共振的情况。

但是,在使用某种受迫振动仪时,驱动力周期、振子与驱动力的相位关系以及振子的振幅等参量的测量时只能用直尺、秒表等工具,凭实验者的肉眼观察来判定,得到的数据比较粗糙及画出的图像偏差大。本文采用位移传感器改进受迫振动仪,能实时观察图像,获得测量数据并保存,方便数据处理。

2 实验原理

振动系统在连续的周期性外力作用下进行的振动叫受迫振动^[1]。设受迫振动的动力学方程式为

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - \gamma \frac{dx}{dt} + F_0 \cos \omega t \quad (1)$$

其中等式右边分别是振子受到的弹性力、阻尼力和驱动力,令 $\omega_0 = \frac{k}{m}$ 、 $2\beta = \frac{\gamma}{m}$ 、 $f_0 = \frac{F_0}{m}$,则得受迫振动动力学方程常见形式为

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = f_0 \cos \omega t \quad (2)$$

收稿日期:2008-08-27

此方程可解为

$$x = Ae^{-\beta t} \cos(\omega' t + \alpha) + A_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

A 和 α 是由初始条件决定的积分常数, 稳定时解为

$$x = A_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad (4)$$

这里, ω 是驱动力的频率, A_0 是振幅, φ 是初相位, 将(4)代入(2)可得

$$A_0 = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}} \quad (5)$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{-2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (6)$$

因为驱动力的初相位为零, 所以 φ 是稳定振动的位移和驱动力力矩的相位差。

实验大致可分为两部分: 一部分是驱动力振动体, 用来产生驱动力; 另一部分是受迫振动体, 在驱动力作用下做受迫运动。讨论相位差时, 弹簧振子和驱动力运动的步调相反。而振幅随驱动力的变化则不一样, 如图 1。开始时, 驱动力频率增加时振幅增加, 当 $\omega = \omega_0$ 时, 振幅达到最大, 即发生了共振。随后, 驱动力频率继续增加而振幅减小。^[1]

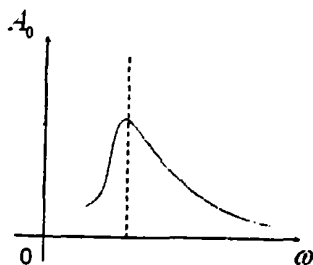


图 1 受迫振动的幅频特性

DISLab 是“数字化信息系统实验室”的简称, 配有多种传感器、数据采集器和软件^[2]。本实验采用两组传感器, 可实现振动图像的实时观察、数据的实时采集和处理。随后把受迫振动的幅频特性和相频特性描绘出来。DISLab 中包含的软件还可以在计算中用数字, 指针和示波三种形式显示实验数据, 因此在观察弹簧振子运动时可以时刻察看它的运动情况, 而且这些数据可以适时选择某一时间段保留下来。所以用 DISLab 来改进受迫振动实验, 对实验观察和研究都有很大帮助。

3 实验改进

3.1 实验仪器

朗威 DISLab 数据采集器, 位移传感器 2 组, 计算机, FV-1 受迫振动仪;

3.2 实验操作

3.2.1 在受迫振动仪弹簧的正下方固定一个位移传感器接收模块, 将其发射模块挂在弹簧上作为振子; 驱动装置两侧上固定另一个位移发射器, 并把接收模块固定在正下方, 如图 2。

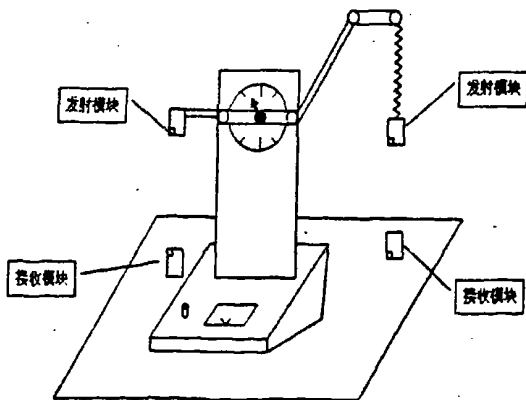


图 2 实验装置

3.2.2 参照铅垂线,调节底脚螺丝使滑板的振动方向铅直,调节弹簧振子系统铅直。

3.2.3 把数据采集器与已经安装好朗威 DISLab 软件的计算机连接好,然后对两个传感器进行调零,即弹簧静止时和旋转矢量的指针对准零度时两个传感器的位移都为零。

3.2.4 打开电源和计算机中教材通用软件,调节电机的电压,驱动装置开始工作。

3.3 实验结果

3.3.1 以 $U = 80V$ 为例,首先,弹簧振子开始振动时,这种情况属于振动方向相同,频率之和远大于频率之差的两个简谐振动合成,那么合振动振幅为周期变化,这种现象叫做拍^[3],如图 3。然后,保持电压不变,经过一段时间后,阻尼振动可忽略不计,发展为受迫振动的稳定振动状态。此时弹簧振子振动的频率等于驱动力的频率,从图 4 可以清晰的看到。

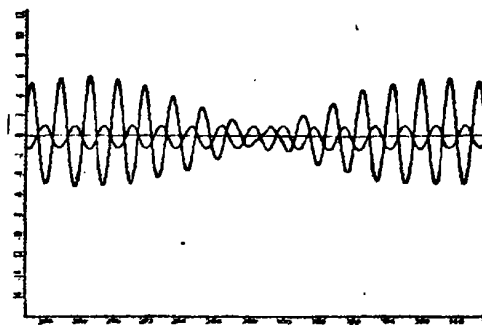


图 3 拍示意图

3.3.2 比较不同电压时的波形图,可以判断,当 $U = 115V$ 时,发生共振现象如图 5,此时驱动力的频率为 $\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$;也可求出共振时的相位差 $\text{tg}\varphi_r = \frac{\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}}{\beta}$ 。从图中可看出,在共振情况下,振幅最大,同时也可知道弹簧振子的固有频率,而相位差 φ 则约为 $-\frac{\pi}{2}$,因为振子在振动时由于弹簧的作用而在顶端滞留片刻,造成振子的振动稍滞后于驱动装置的运动。

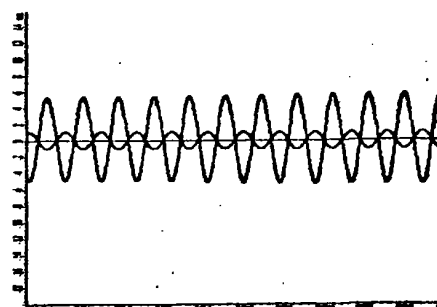


图 4 稳定振动(振子频率与驱动力频率相等)
振子振幅:5.2cm,驱动力振幅:0.6cm

振子振幅:9.85cm,驱动力振幅幅:0.6cm

由 DISLab 即时保留下的数据,可用计算机的其他软件合成其幅频特性图,如图 6 所示。对比图 1,也可以看出图 6 与图 1 是基本一致的。

4 结束语

从实验结果可以看出,利用位移传感器改进实验仪器后,得到实时的物理图像和数据,物理现象更明显,物理意义更清楚,分析研究更方便,弥补了原来实验方法的不足。

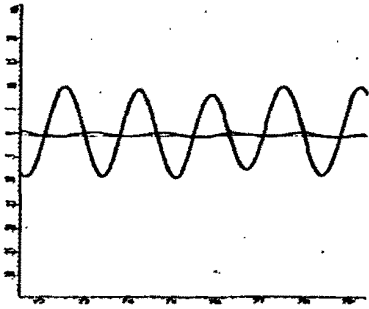


图5 共振图像

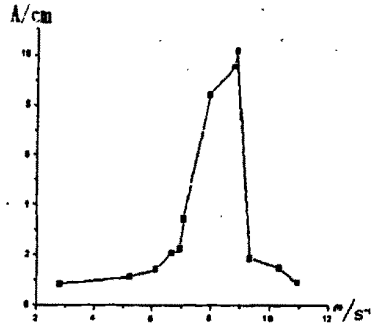


图6 幅频特性图

参考文献

- [1] 漆安慎、杜禅英.力学[M].北京:高等教育出版社,1997
- [2] 李雪梅、赵保钢.基于DISLab的“牛顿第三定律”实验[J].物理教师.2006
- [3] 贾爱英.简易共振实验演示仪,[J].物理实验.2005
- [4] 单晓峰.关于受迫振动、共振的实验研究,[J].物理实验.2006

IMPROVING THE FORCED VIBRATION EXPERIMENTS USE OF DISPLACEMENT SENSOR

Liu Huina Cheng Minxi

(South china Normal University,Guangzhou,510006)

Abstract: The equipment of forced oscillation which is based on the vibrator was improved by the displacement sensor of Digital Information System Laboratory(DISLab). Visible graph and data of this experiment could be gained, and the movement of vibrator and drive equipment could also be observed. It made the significance of physics more clear.

Key Words: forced oscillation; displacement sensor; DISLab