

文章编号:1005-4642(2020)04-0018-04



普通物理实验

## 机械示波器的研制与振动合成演示

林春丹<sup>a</sup>, 李秋真<sup>b</sup>, 周广刚<sup>a</sup>, 杨振清<sup>a</sup>, 张万松<sup>a</sup>

(中国石油大学(北京) a. 理学院; b. 新能源与材料学院, 北京 102249)

**摘要:**传统简谐振动合成演示设备很抽象、不直观,为了清晰地演示其具体的合成过程,研制了结构简单、可清晰显示各振动合成过程的机械示波器. 利用电磁振子、电动振子和钢尺自由振动振子实现了不同频率、不同方向的振动,同时使用多面反光转筒得到正弦波,通过控制振子及反光转筒直观地显示各振子单独的振动曲线及其合成的拍现象、李萨如图形.

**关键词:**机械示波器;振子;反光转筒;拍现象;李萨如图形

中图分类号:TM935.3

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2020.04.004

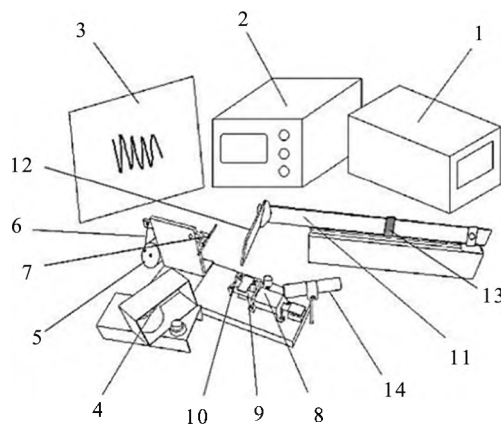
大学物理教学中,为形象地说明简谐振动的合成,通常采用1台电子示波器和2台信号发生器来演示拍现象和李萨如图形的合成<sup>[1-2]</sup>. 将2台信号发生器产生的简谐振动信号同时输入到电子示波器Y输入端时显示拍现象;将2台信号发生器产生的简谐振动信号分别输入到电子示波器的X输入端和Y输入端后,示波器显示李萨如图形<sup>[3]</sup>. 此模式显示的波形虽然稳定度好,但学生观察不到波形的形成过程和合成过程,教学效果并不理想<sup>[4-5]</sup>. 此外,演示设备数量多、体积大、重量重且成本较高<sup>[6]</sup>. 而其他利用电振音叉<sup>[7]</sup>、单片机<sup>[8]</sup>等制成的仪器也存在稳定性低、图形单一、结构复杂等弊端,难以达到理想的教学效果.

本文采用由3个振子(电磁振子、电动振子和钢尺自由振动振子)、3面反射镜、多面柱反射滚筒、激光笔、频率计、电源等组成机械示波器,可以分别观察到3个振子单独振动的振动曲线,也能够观察到2个不同振子同时进行机械振动的合成运动图形. 演示仪器结构简单,实验现象直观,有助于加深学生对不同类型的振子振动及振动合成原理的理解.

### 1 实验装置结构

机械示波器的实验装置结构如图1所示,由

打点计时器、圆周运动转换为往复运动、钢尺振动分别作为电磁振子、电动振子和钢尺自由振动振子的振源. 电磁振子和电动振子纵向安装,钢尺自由振动振子横向安装. 钢尺自由振动振子位于电磁振子和自由振动振子之间,以使入射的激光光束通过反光转筒的镜片反射后,能依次经由电磁振子、电动振子和自由振动振子上的镜片反射,在屏幕上成像.



1. 电源 2. 频率计 3. 屏幕 4. 反光转筒 5. 电动机  
6. 连杆机构 7. 第2反光镜 8. 电磁线圈 9. 振片  
10. 第1反光镜 11. 钢尺 12. 第3反光镜 13. 频率调整块 14. 激光发射器

图1 机械示波器结构示意图

收稿日期:2019-01-19

基金项目:北京高校优质本科教材课件项目;中国石油大学(北京)本科教学名师项目(No. 21G16027)

作者简介:林春丹(1968—),女,吉林延吉人,中国石油大学(北京)理学院副教授,博士,研究方向为声通信及信号处理.

通讯作者:张万松(1964—),男,黑龙江佳木斯人,中国石油大学(北京)理学院教授,博士,研究方向为凝聚态物理.



电磁振子如图 2 所示,电磁线圈通过振片与第 1 反光镜连接,电磁线圈产生电磁场带动振片竖直振动,使第 1 反光镜产生竖直振动. 为便于实验展示,用打点计时器作电磁振子,将第 1 反光镜替换打点计时器中与振片连接的振针,打点计时器的振动频率为交流市电的工频 50 Hz.

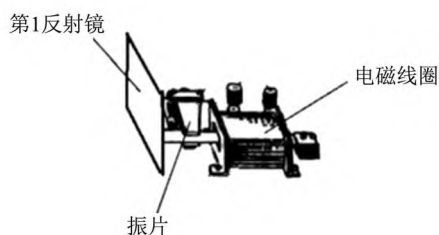


图 2 电磁振子结构示意图

电动振子如图 3 所示,连杆机构上设有一固定点,且连杆机构的两端分别与电动机和第 2 反光镜连接,电动机的输出轴作圆周运动,带动连杆机构围绕固定点转动,第 2 反光镜同时产生竖直振动,从而使得该电动振子实现纵向振动,激光光束通过第 2 反光镜反射时,能够反映该电动振子的纵向振动状态. 通过改变电动机供电电压即可实现该电动振子的振动频率的变化.

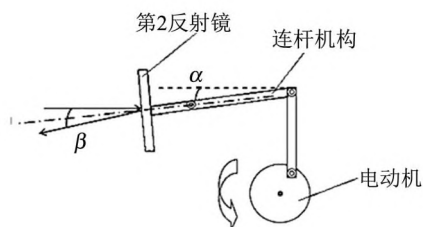


图 3 电动振子结构示意图

自由振动振子如图 4 所示,包括钢尺和第 3 反光镜,钢尺的一端固定,另一端与第 3 反光镜连接,钢尺用于带动第 3 反光镜作水平横向振动. 钢尺上设有频率调整块,频率调整块能沿钢尺长度方向滑动,以调节钢尺的振动频率.

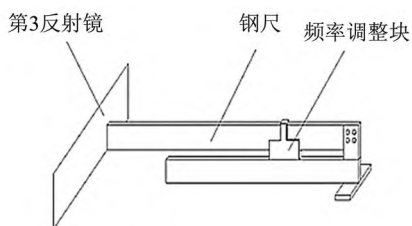


图 4 自由振子结构示意图

反光转筒包括滚筒和减速器,滚筒的外表面贴覆有反光镜片,滚筒的转动轴与减速器的输出轴连接,减速器带动滚筒转动. 根据需要可以调整激光光束的反射角度. 为了保证反光转筒对激光光束的反射角度精确可调,滚筒设计为多边形截面的柱体结构,以使滚筒具有多个侧表面,滚筒的每个侧表面上分别设有一面反光镜. 为了便于实验,滚筒的外表面贴覆有 25 面反光镜. 激光发射器用于向反光转筒发射激光光束,减速器通过开关与可调直流电源连接,以调节滚筒转盘的转速. 频率计与电磁振子连接,用于显示电磁振子的振动频率,装置实物如图 5 所示.



图 5 机械示波器实物图

## 2 实验原理

2 个振动方向相同、频率相差很小的简谐振动合成为拍现象<sup>[9]</sup>.

设 2 个分振动的振幅相等且初相均为零,2 个简谐振动的频率  $\omega_1$  和  $\omega_2$  很接近,且  $\omega_1 > \omega_2$ ,故

$$x_1 = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_0), \quad (1)$$

$$x_2 = A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_0). \quad (2)$$

根据运动叠加原理,设两者的振幅相等,令

$$A = A_1 = A_2,$$

$$x = 2A \cos\left[\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right] \cos\left[\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t + \varphi_0\right], \quad (3)$$

因  $\omega_1 \sim \omega_2$ ,故  $\omega_1 - \omega_2 \ll \omega_1$  或  $\omega_2$ ,

$$\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \approx \omega_1 \approx \omega_2.$$

在 2 个简谐振动的位移合成表达式中,第 1 项随时间作缓慢变化,第 2 项是角频率近于  $\omega_1$  或  $\omega_2$  的简谐函数. 合振动的振幅随时间作缓慢的周期性变化,振动出现时强时弱的拍现象<sup>[10]</sup>,如图 6 所示.

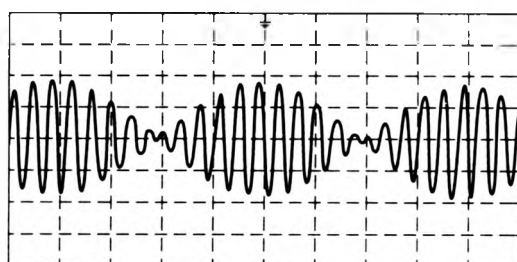


图 6 拍现象示意图

当 2 个方向相互垂直、频率成简单整数比的简谐振动叠加时,在屏幕上显示规则且稳定的封闭的合成运动轨道曲线,称为李萨如图形<sup>[1]</sup>.李萨如图形的具体形状和两分振动频率的比值及初相位差有关.

### 3 实验操作

#### 3.1 振子的振动

机械示波器中电磁振子和电动振子的振动方向为纵向,而自由振动振子的振动方向为横向.当电磁振子、电动振子和自由振动振子中只有 1 个振子单独振动,且反光转筒中的滚筒未转动时,激光光束反射后的光斑在屏幕中的轨迹分别为垂直线、垂直线和水平线;如果只有 1 个振子振动且滚筒转动(即将光斑水平扫描),则光斑在屏幕中的轨迹分别为正弦波、正弦波和水平线;此外,由于电动振子的频率可变,则当滚筒转动、且只有电动振子振动时,光斑在屏幕中的轨迹所显示的正弦波的图形会随着电动振子的频率变化而发生疏密变化,即该正弦波的频率随电动振子的频率变化而变化.

#### 3.2 拍现象的演示

当滚筒转动时,如果电磁振子和电动振子同时振动,它们的振动方向均为纵向,保证电磁振子的频率固定不变,调整电动振子的频率大小,使之与电磁振子的频率之间存在频率差而且相差不大时,则光斑在屏幕中的轨迹为包络面幅度呈周期性变化的拍现象图形,如图 7 所示.常利用拍现象来校准乐器、测定声波或无线电波的频率.

#### 3.3 李萨如图形的演示

当滚筒不转动时,如果电磁振子或电动振子分别与自由振动振子同时振动,它们二者的振动方向相互垂直.保证电磁振子的频率固定不变,分别调整电动振子或自由振动振子的频率大小,

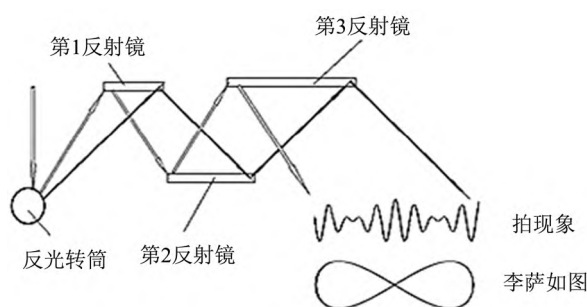


图 7 实验原理示意图

使实验中电磁振子或电动振子的频率分别与自由振动振子的频率之间存在整数比关系,随着频率比的不同则光斑在屏幕中的轨迹为不同形状的闭合曲线,即一种李萨如图形.当仅有电磁振子与自由振动振子同时振动时,确保滚筒不转动,由于电磁振子为纵向振动振子,且频率固定,而自由振动振子为横向振动振子,且频率可调,则可调整自由振动振子的频率,使 2 个振子的频率间的关系为 1:1,则光斑在屏幕上显示为斜线[如图 8(a)]、横椭圆、竖椭圆或斜椭圆[如图 8(b)]中的一种李萨如图形.若 2 个振子的频率之间的关系为 1:2 或 2:1,则光斑在屏幕上显示为横 8 字、竖 8 字或斜 8 字[如图 8(c)]中的李萨如图形.当仅有电动振子与自由振动振子同时振动时,且滚筒不转动,由于电动振子为纵向振动振子,而自由振动振子为横向振动振子,且两者的频率均可调,只要调整两者的频率,使二者的频率成简单的整数比关系,则光斑在屏幕上显示为一种李萨如图形.

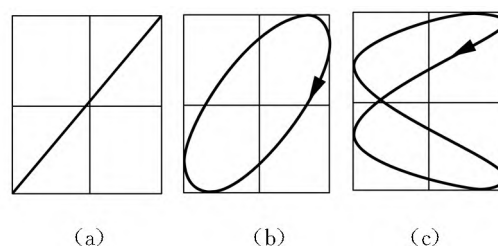


图 8 3 种典型的李萨如图形

此外,如果已知 1 个振动的周期,根据李萨如图形可以求出 2 个信号的周期比,由此求出另一个信号的周期.因此在电工、无线电技术中常用于测定频率或相位差<sup>[12]</sup>.

## 4 结束语

机械示波器用于展示机械振动的运动图像,学生不仅能够直接看到电磁振子、电动振子和钢

尺自由振动振子各自的振动图形,了解3种振子不同的振动原理,也能够看到不同振子同时进行机械振动的同方向和垂直方向的合成运动轨迹图,此外还能够方便地进行拍现象图形和李萨如图形的切换观察,节省了实验时间.无论采用何方式最终振子的运动均是机械运动,因此机械示波器全部采用能够看得见的纯机械振动来完成振动波形的显示与合成,演示现象直观、生动,且设备简单、体积小、重量轻,便于携带,成本较低,适合用于大学物理的演示教学,有助于学生对振动合成的理解,提升教学和演示效果.

#### 参考文献:

- [1] 祝孝正,郝伟,刘敏蕾,等.一种激光李萨如图形演示装置的研制[J].实验技术与管理,2009,26(3):91-93.
- [2] 行小帅.各种利萨如图形的演示实验[J].物理实验,1994,14(5):237.
- [3] 张永瑞.电子测量技术基础[M].西安:西安电子科技大学出版社,2009.
- [4] 范铁林,张宾,韩学孟.同方向同频率简谐振动合成的一种演示方法[J].物理实验,1999,19(5):35,39.
- [5] 陈允文,沈晓娟.示波器示波原理及音频振动图像的机械演示[J].物理教师,2005,26(8):33-34.
- [6] 江敏,代伟,黄军,等.用激光演示利萨如图演示仪的制作[J].西华师范大学学报(自然科学版),2015,36(1):64-69.
- [7] 宋燕盛,包爱东.自制电磁振子替代电动音叉演示李萨如图形[J].吉林工学院学报(自然科学版),1996,17(2):74-76.
- [8] 周康巍.拍现象与外差变频的区别[J].大学物理,1983,2(5):1-4.
- [9] 宋建平.基于AVR单片机的李萨如图形合成器设计与应用[J].实验室研究与探索,2009,28(2):47-51.
- [10] 吴俊,张毓麟,晏世雷,等.三个简谐振动合成的拍现象和实验仪[J].物理与工程,2008,18(3):38-40.
- [11] 赵顺珍.关于李萨如图形的讨论[J].青海师范大学学报(自然科学版),1996(3):26-29.
- [12] 张海燕,冯蓓娜.李萨如图形在系统频率特性测量实验中的应用[J].实验技术与管理,2013,30(1):60-62.

## Development of mechanical oscilloscope and demonstration of harmonic vibration synthesis

LIN Chun-dan<sup>a</sup>, LI Qiu-zhen<sup>b</sup>, ZHOU Guang-gang<sup>a</sup>,  
YANG Zhen-qing<sup>a</sup>, ZHANG Wan-song<sup>a</sup>

(a. College of Science; b. College of New Energy and Materials,  
China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China)

**Abstract:** In view of the abstractness and unintuitive of traditional equipment for simple harmonic vibration synthesis demonstration, to demonstrate its specific synthesis process, a mechanical oscilloscope with simple structure was developed, which could clearly display each vibration synthesis process. Based on electromagnetic oscillator, electric oscillator and steel-ruler free oscillator, this instrument realized different frequency and different direction of vibration, and at the same time, the sine wave was obtained by using multiple reflective cylinder, so that the individual vibration curve of each oscillator and its composite beat phenomenon and Lissajous figures could be intuitively displayed by controlling the oscillator and reflective cylinder.

**Key words:** mechanical oscilloscope; oscillator; reflective cylinder; beat phenomenon; Lissajous figure

[责任编辑:尹冬梅]