

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生活與應用科學科

第三名

040813

雙軸阻尼振盪及其在電學光學和力學上的應用

臺北市立麗山高級中學

作者姓名：

高二 林震豪 高二 陳冠樺 高二 李詔熙

指導老師：

徐志成 馮愛蓮

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：生活與應用科學科

組 別：高中職組

作品名稱：雙軸阻尼振盪及其在電學光學和力學上的應用

關 鍵 詞：阻尼振盪、李沙育圖形、橢圓偏極（最多三個）

編 號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號由國立臺灣科學教育館統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

雙軸阻尼振盪及其在電學、光學及力學上的應用

壹、摘要

本研究的目的是要發展出一套簡單可靠的方法和廉價自製的器材，在實驗台上即能有效觀測和分析雙軸阻尼諧振。我們小組研究阻尼諧振配合李沙育雙軸振動理論發現其無論在力學上、光學上、電學上、工程上皆有許多應用價值。

貳、研究動機

物理課本中介紹的簡諧運動，是在不計任何阻尼因素條件下始能成立的結果，且都只限制在一維運動中。但實際生活中所遇到的，無論是屬力學上、光學上、電學上、工程上的諧振體大多為二維以上且含有阻尼因素者。想觀察、分析、瞭解、模擬這些二維阻尼諧振，甚至產生此類諧振信號去驅動受振系統進行反應實驗，此類實驗的技術和儀器大多結構複雜且造價昂貴。我們是否可由基本電學阻尼振盪原理出發，研究簡易可行的方法，採用可控制的二維阻尼諧振信號來源作為驅動，廣泛利用在光學、電學及力學上呢？

參、研究目的

- 一、理論方面，由基本力學和電學出發，向上探討二維阻尼諧振的原理及影響。
- 二、實作方面，由力學出發，利用沙擺振盪，觀察雙軸有阻尼諧振。發展一套簡單、合理而可靠的方法，並自製電子儀器測量二維阻尼諧振，產生雙軸有阻尼諧振之訊號。
- 三、在電學上，自製儀器在示波器上產生千變萬化的阻尼振盪之李沙育圖形，並可利用此圖形作阻尼分析。
- 四、在光學上，藉由振動器上平面鏡之反射產生阻尼振盪之李沙育圖形，可做為雷射顯示示波器，直接將力學振動轉成光學的圖示來量化振動頻率，突破以往將力學能轉為電訊大小再輸入示波器轉為影像來分析的困難。除了可以驗證電學中阻尼振盪之李沙育圖形，有規則變化的圖形亦可在舞台上製造絢麗的雷射效果。
- 五、在力學上，自製一雙軸阻尼的振動台，使用自製儀器的訊號連接電磁鐵作驅動，使其振動，在上方放置各式物體觀察其振動行為。

肆、研究設備及器材

- 一、自製器材
 - (一) 雙電壓控制、可變頻率正弦波振盪器，及其穩壓電路。
 - (二) 雙阻尼因素控制電路及可變週期振盪系統（雙模組阻尼振盪產生器）。
 - (三) 阻尼振動台。
- 二、廠製器材
 - (一) 個人電腦及相關軟體。
 - (二) 示波器、數位電表、訊號產生器。
 - (三) 氦氖雷射。

(四) 升降台

(五) Pasco 振盪器 (兩組) 及超音波測距儀。

伍、研究過程或方法

一、一維簡諧振盪實驗：

(一) 常用理論推導方程及實驗設備 (如圖 1)

$$F = ma$$

$$-kx = mx''$$

$$mx'' + kx = 0$$

$$x = A \cos(\omega_0 t + \phi)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$x = \text{displacement}$
 $k = \text{spring constant}$
 $m = \text{mass}$
 $A = \text{amplitude}$
 $\phi = \text{phase}$
 $\omega_0 = \text{natural frequency}$

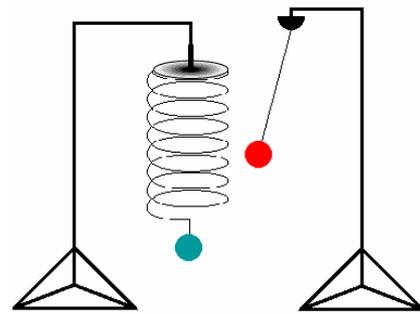
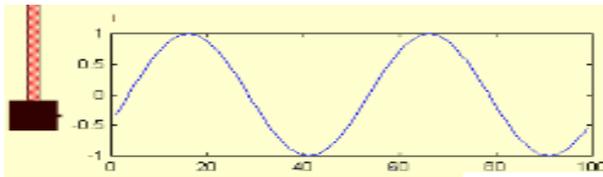
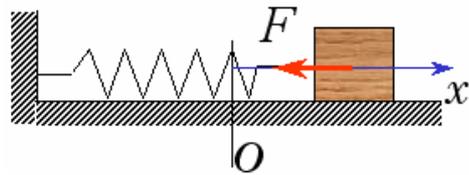


圖 1 簡諧振盪

(二) 此模型只能用於無阻尼因素(不含機械摩擦、空氣阻力、任何型式的熱轉移.)。

(三) 振盪頻率與振幅都恆久不變而波型皆為弦式的(正弦或餘弦)。

二、一維阻尼諧振實驗：

(一) 一維阻尼諧振理論研究整理及實驗系統 (如圖 2)

$$F = ma$$

$$-bx' - kx = mx''$$

$$mx'' + bx' + kx = 0$$

$$x = Ae^{-\gamma t} \cos(\omega_1 t + \phi)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \gamma = \frac{b}{2m} \quad \omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$$

$b = \text{coefficient of drag}$
 $\gamma = \text{damping factor}$
 $\omega_1 = \text{damped frequency}$

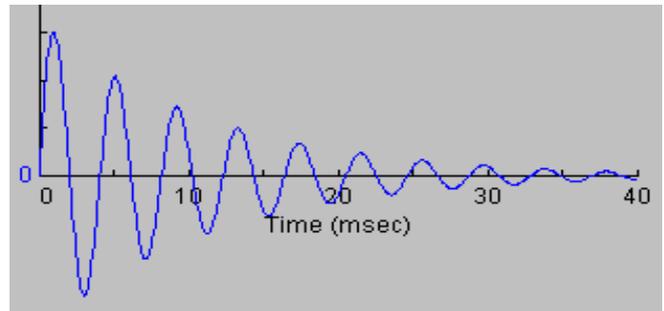
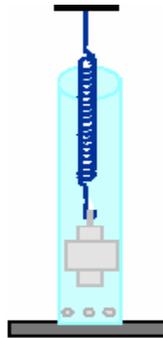
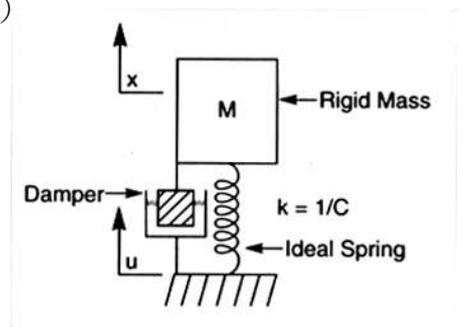


圖 2 單軸阻尼諧振

(二) 與無阻尼簡諧運動相比較

1. 振盪頻率降低而週期加長，角速度由 ω_0 降至 ω_1 。
2. 振盪幅度隨時間逐漸衰減，至終將趨於零而停止振盪。
3. 頻率降低與振幅衰減都受到一重要的物理量 γ 所影響， γ 被稱為阻尼因素， γ 越大諧振頻率越低，而振幅衰減越劇。
4. 振幅衰減呈現負指數曲線收斂，此曲線稱為諧振波形的包線，包線收斂的程度由阻尼因素 γ 決定，下面我們以不同 γ 值，比較諧振的波形、速度、能量的改變。

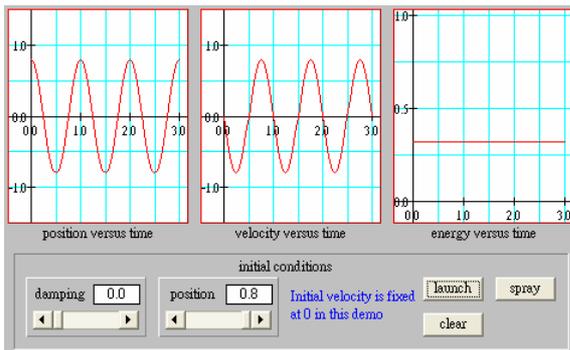


圖 3-1 不加阻尼

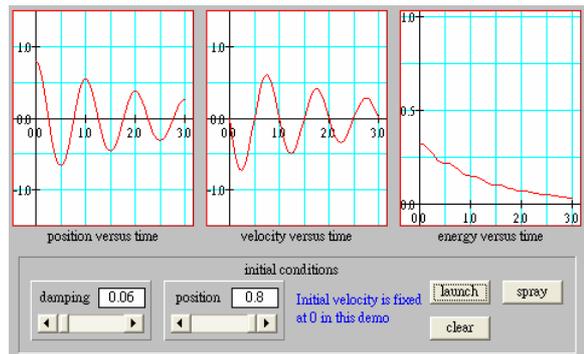


圖 3-2 阻尼增加至 0.06

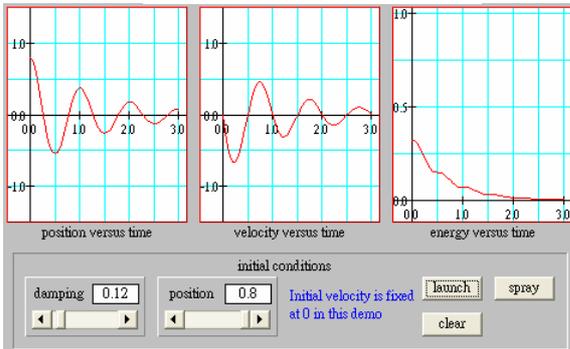


圖 3-3 阻尼 0.12

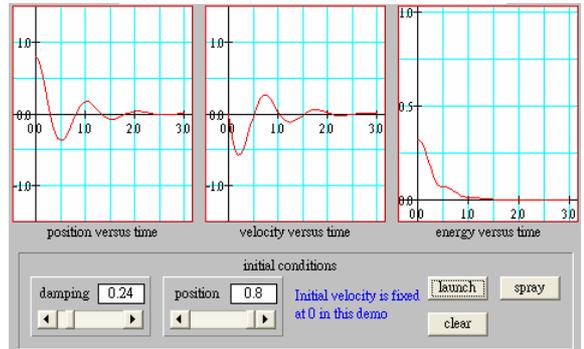


圖 3-4 阻尼 0.24

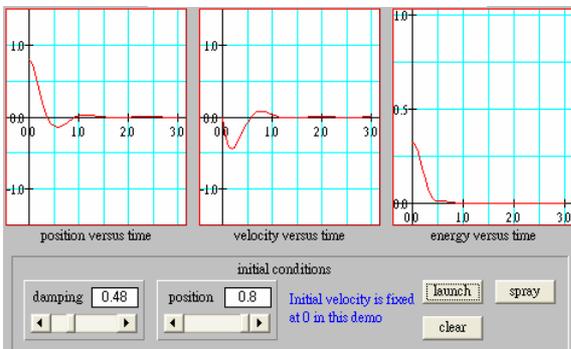


圖 3-5 阻尼 0.48 振幅及能量隨時間衰減

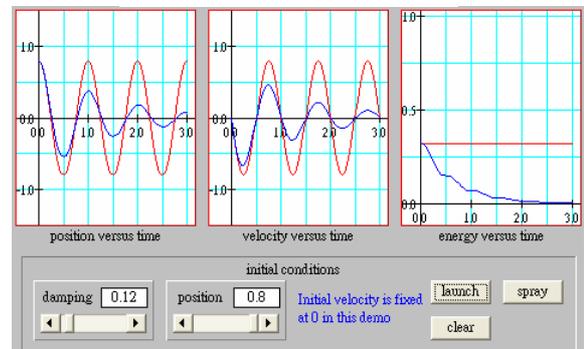


圖 3-6 阻尼諧振與簡諧振盪

三、雙軸無阻尼諧振的情形：

(一) 圖 4 中振子在水平與鉛直二方向分別受力而雙軸彈簧完全相同

1.理論推導如下：

$$F = -kr$$

$$F_x = -kr \cos \theta = -kx$$

$$F_y = -kr \sin \theta = -ky$$

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = -kr$$

$$x'' + \omega^2 x = 0$$

$$y'' + \omega^2 y = 0$$

$$x = A \cos(\omega t + \phi_x)$$

$$y = B \cos(\omega t + \phi_y)$$

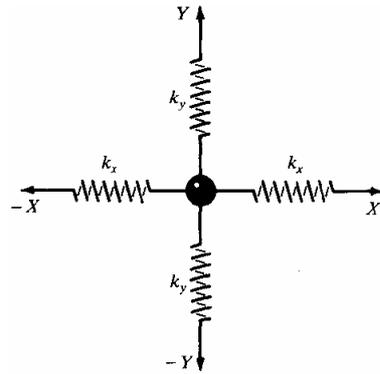


圖 4-1 雙軸簡諧振盪

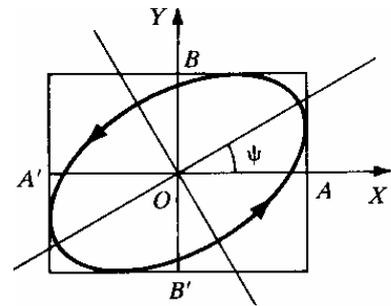


圖 4-2 諧振子產生橢圓軌跡

$$\frac{y}{B} - \frac{x}{A} \cos(\phi_y - \phi_x) = -\sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}} \sin(\phi_y - \phi_x)$$

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - \frac{2xy}{AB} \cos(\phi_y - \phi_x) = \sin^2(\phi_y - \phi_x)$$

$$ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey = f$$

2.上式為一橢圓標準方程式，代表諧振體在平面上的振動軌跡。

3.兩軸振動相角差 $\phi = \phi_x - \phi_y$ 決定了橢圓的型狀，如圖 5-1 所示。

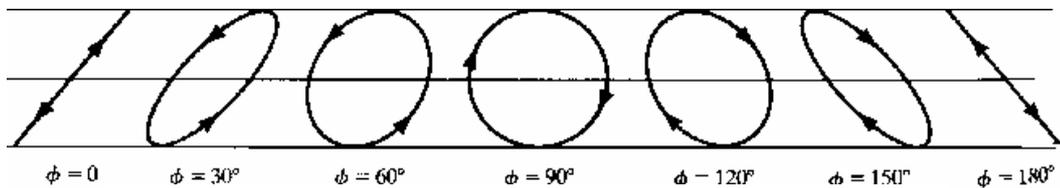


圖 5-1 相角差改變造成雙軸諧振圖形的變化(頻率比為 1:1)

(二) 雙軸彈簧不相同

1.振動軌跡的形狀是由雙軸上的振幅、頻率及相角差所共同決定，圖 5-2 顯示鉛直軸諧振頻率為水平軸兩倍時的情形。

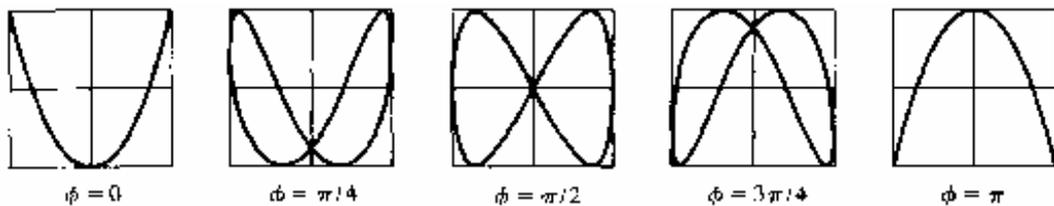


圖 5-2 相角差改變造成雙軸諧振圖形的變化(頻率比為 1:2)



圖 6 兩台訊號產生器繪出雙軸諧振示意圖

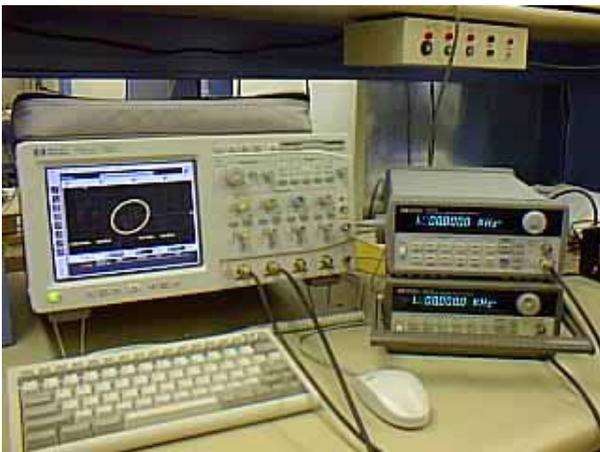


圖 7-1 水平鉛直頻率相等

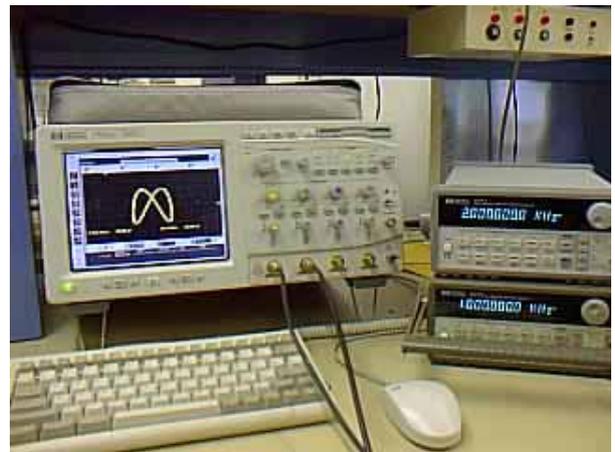


圖 7-2 水平比鉛直為 1:2

2. 實驗室中觀察雙軸諧振軌跡，一般都是用兩台信號產生器接到雙軌示波器展示波形。
3. 改變雙軸上振幅、頻率及初相角差，可以得到許多對應諧振軌跡，通常稱為李沙育圖形，(Lissajui Figure)如圖 8、9 所示，但一般都無法調整阻尼係數為其缺點。

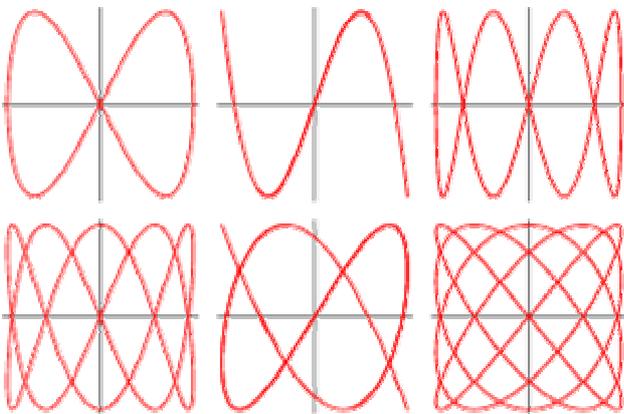


圖 8 頻率比不同時的李氏圖形

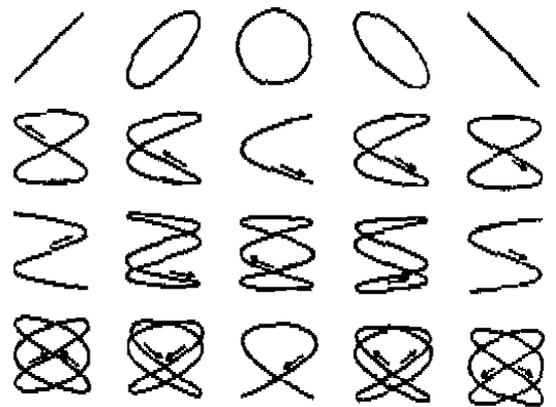


圖 9

(三) 常見的觀察雙軸諧振及李沙育圖型的實驗設計

1. 以沙擺振盪觀察雙軸諧振，如圖 10 所示。

2. 以沙擺振盪觀察雙軸諧振發現下列缺點：

(1) 沙擺能盛裝的沙子有限，不能長久持續擺盪。

(2) 沙擺多次來回擺動後，圖案不清晰。

(3) 實驗裝置過於龐大。

(4) 不能隨意控制初相角及頻率，導致所呈現之李沙育圖形不一致。

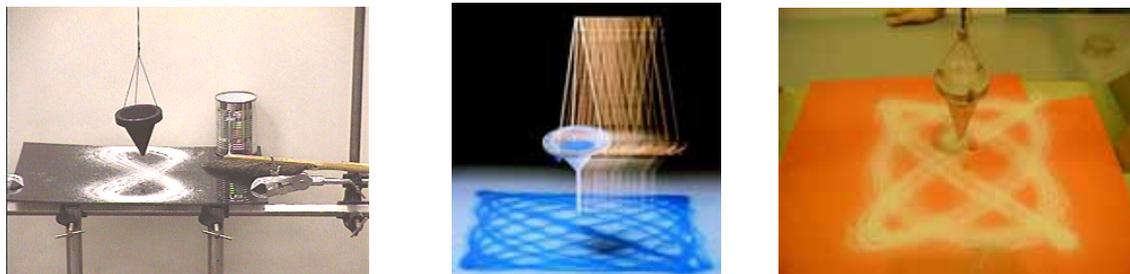


圖 10 各式繪圖擺(左：使用沙子 中：使用黏稠顏料)

(四) 雙軸諧振可用於測量電子元件之 I-V 特性的實驗設計

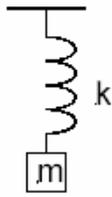
1. 力學上的諧振可以用電子 RLC 諧振電路來類比和模擬如下圖所示

Mechanical HO

The damped force equation for the position $x(t)$ is

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + kx = 0.$$

$$\gamma = \beta/m \quad \text{and} \quad \omega_0^2 = k/m,$$

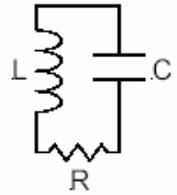


LRC Electrical HO

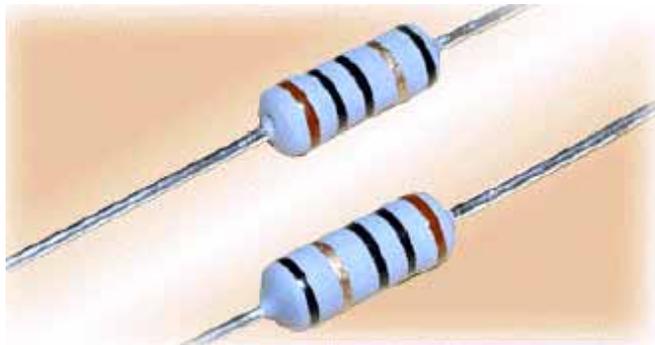
The voltage equation for capacitor charge $q(t)$ is

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = 0.$$

$$\gamma = R/L \quad \text{and} \quad \omega_0^2 = 1/LC,$$



2. 每種電子元件都有獨自之 I-V 特性，以下列出電阻和二極體之測量 I-V 特性為例，以及求出 I-V 特性曲線圖的傳統方法

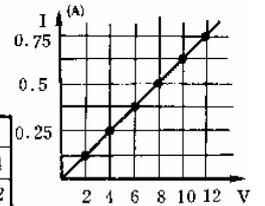


電阻與歐姆定律

1. 歐姆定律 (Ohm's law)

(1) 實驗：

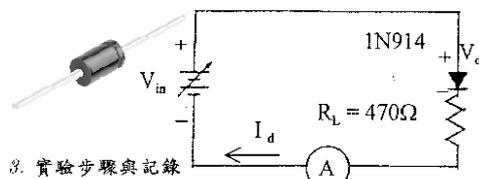
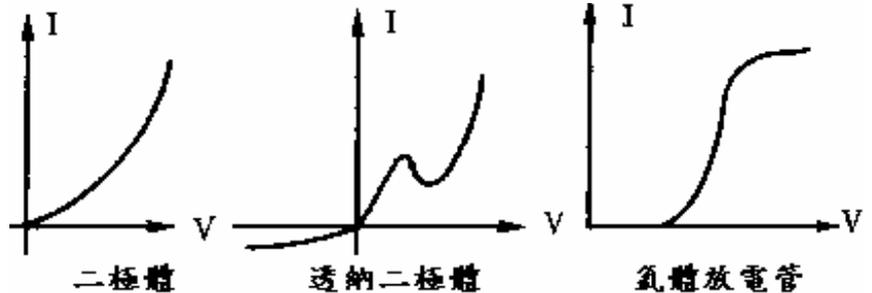
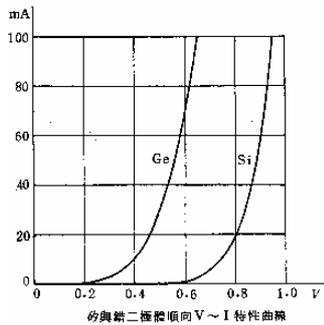
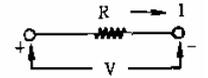
電壓 (V)	2	4	6	8	10	12
電流 (I)	0.13	0.25	0.37	0.5	0.62	0.74
V/I	15.4	16	16.2	16	16.1	16.2



(2) 內容：設導體的溫度一定，通過的電流與其兩端的電位差成正比

$$R = \frac{V}{I} \quad \left(\text{歐姆} = \frac{\text{伏特}}{\text{安培}} \right)$$

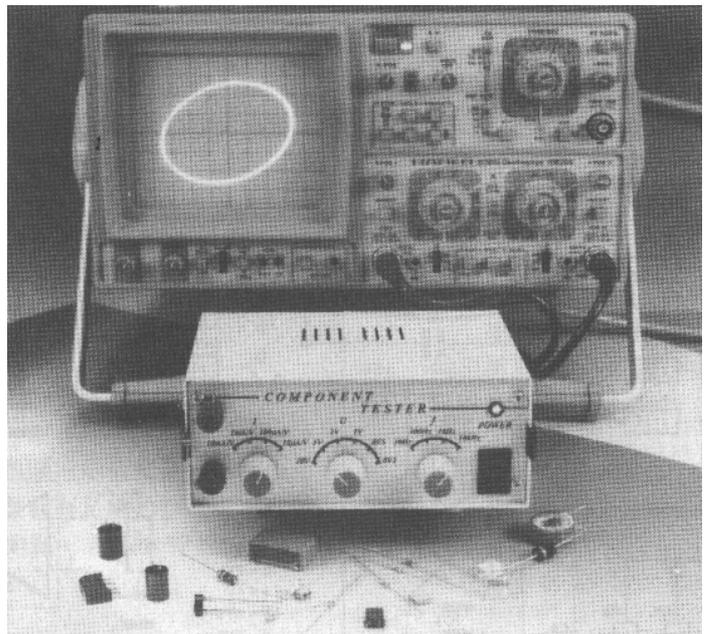
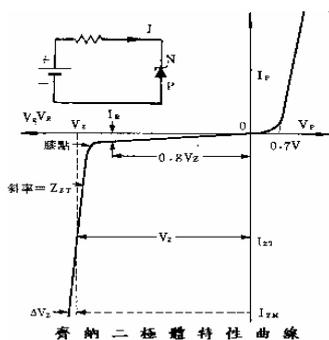
R：比例常數稱為該導體的電阻。



3. 實驗步驟與記錄

依據下表，變化二極體的端電壓 V_d 並記錄電流 I_d ：

V_d							
I_d							
V_d							
I_d							



3. 想要測量零件的 I-V 特性一般皆如上頁圖示以電錶逐點測量，記錄所有數據，依數據描繪該零件特性曲線。

4. 上述測法不僅手續繁雜、費時費力、又無法兼顧零件受溫度變化而改變特性的問題，一般實驗室受限於儀器配備只能用這種方法測量。上頁右下圖為廠製元件測試器，是利用待測元件上的電流 I 與電壓 V，分別將兩種訊號各自送入示波器的 X、Y 輸入端，由雙軸諧振及李沙育原理，

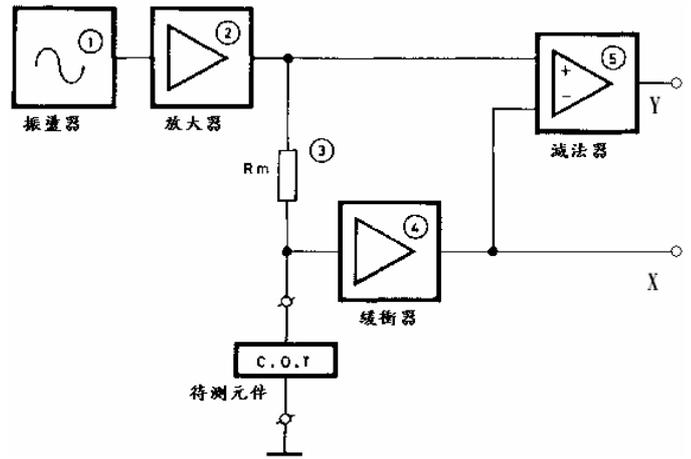


圖 11 零件測試儀的電路

可以直接顯示零件的特性曲線；廠製機器由於價格極昂，我們自行研究及實驗此種電路(如圖 11)，並對電阻、電容、電感及二極體等常用零件進行測量。

5. 零件測試儀之電路版製作如圖 12：

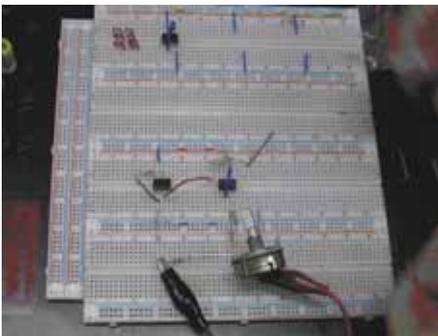


圖 12-1 在麵包板上進行測試

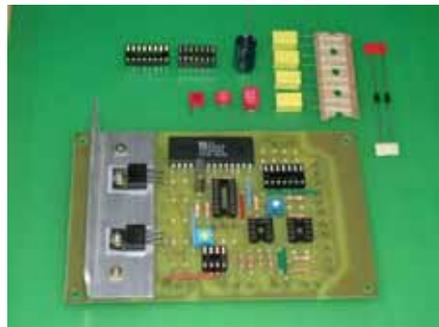


圖 12-2 將零件焊接上電路板



圖 12-3 零件測試儀電路板

四、雙軸阻尼諧振的情形：

(一) 理論綜合

$V_x = e^{-\gamma_x t} \cdot A_x \sin(\omega_x t - \phi_x)$ X、Y 雙軸上振盪信號分別為 V_x 、 V_y 振幅各為 A_x 、 A_y 。

$V_y = e^{-\gamma_y t} \cdot A_y \sin(\omega_y t - \phi_y)$ 頻率： ω_x 、 ω_y ，初相角： ϕ_x 、 ϕ_y ，阻尼係數： γ_x 、 γ_y 。

合成振盪信號受到雙軸上振幅、頻率、阻尼係數、初相角等變數控制。變數共有八項之多，欲預測振盪軌跡極為不易，而能控制這些變因的信號產生器目前無任何此類市售成品可供選用。

(二) 初步電路

1. 我們先以最簡單的 RLC 諧振電路來模擬阻尼諧振（如下圖 13）

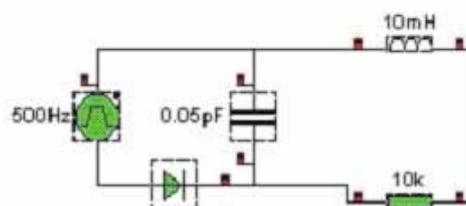
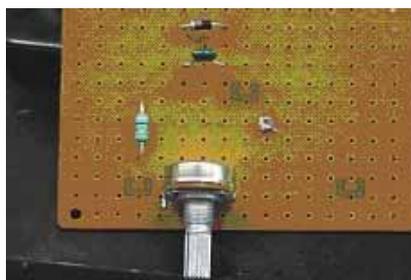


圖 13 RLC 諧振電路

(三) 雙模組阻尼振盪產生器實作

1. 爲了預測或分析雙軸阻尼諧振軌跡，我們依需要自行發展具有此功能的儀器，可控制上述的各項變因，致產生千變萬化的雙軸阻尼諧振軌跡，這在學習雙軸阻尼諧振運動上提供了進一步的瞭解。
2. 圖 14 以照片及圖形分別呈現儀器的設計、製作過程及其完整電路。
3. 儀器內共有三個電路單元，即電源安定器、雙電壓控制可變頻率正弦波振盪器、雙阻尼因素控制電路及可變週期振盪系統。

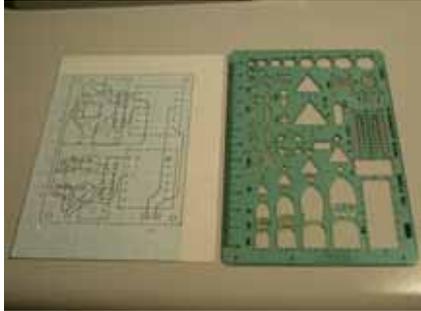


圖 14-1 電路板設計

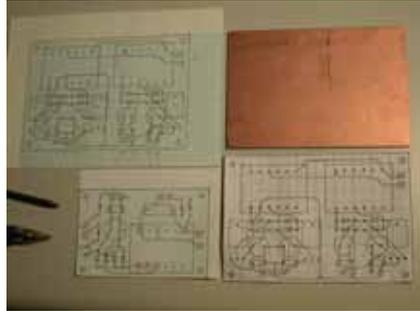


圖 14-2 電路板設計

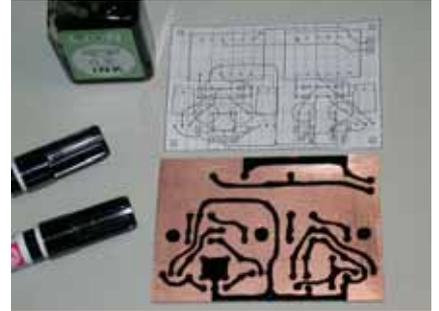


圖 14-3 繪製電路版

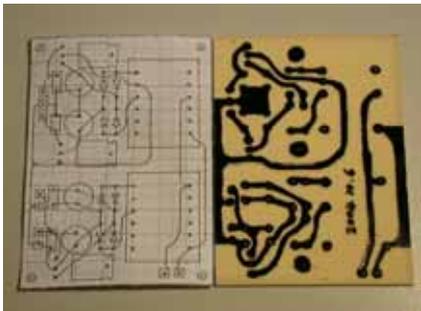


圖 14-4 洗過後的電路版

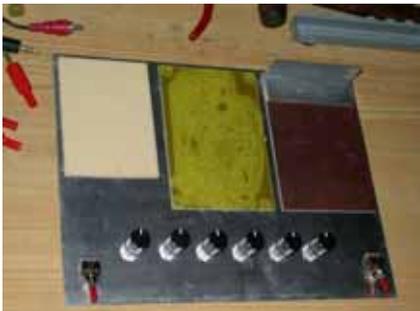


圖 14-5 開關與旋鈕安排

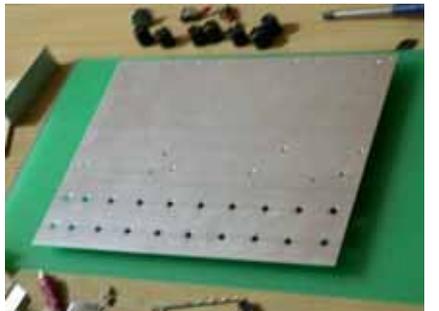


圖 14-6 金屬外殼鑽



圖 14-7 摺疊金屬外



圖 14-8 機殼完成圖



圖 14-9 拴鎖開關與旋鈕



圖 14-10 電源供應電



圖 14-11 中間爲阻尼諧振電

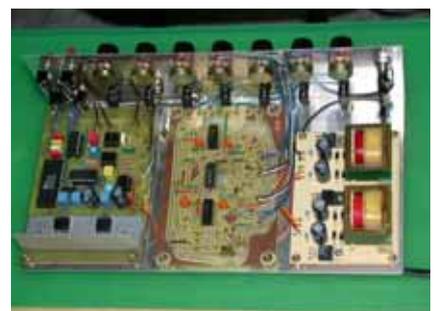
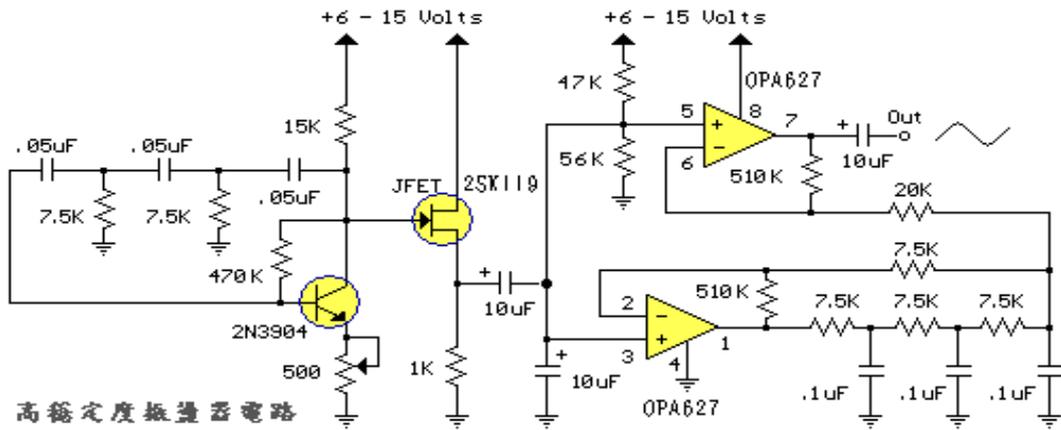


圖 14-12 儀器完成圖



高穩定度振盪器電路

圖 15-1 高穩定度振盪器電路

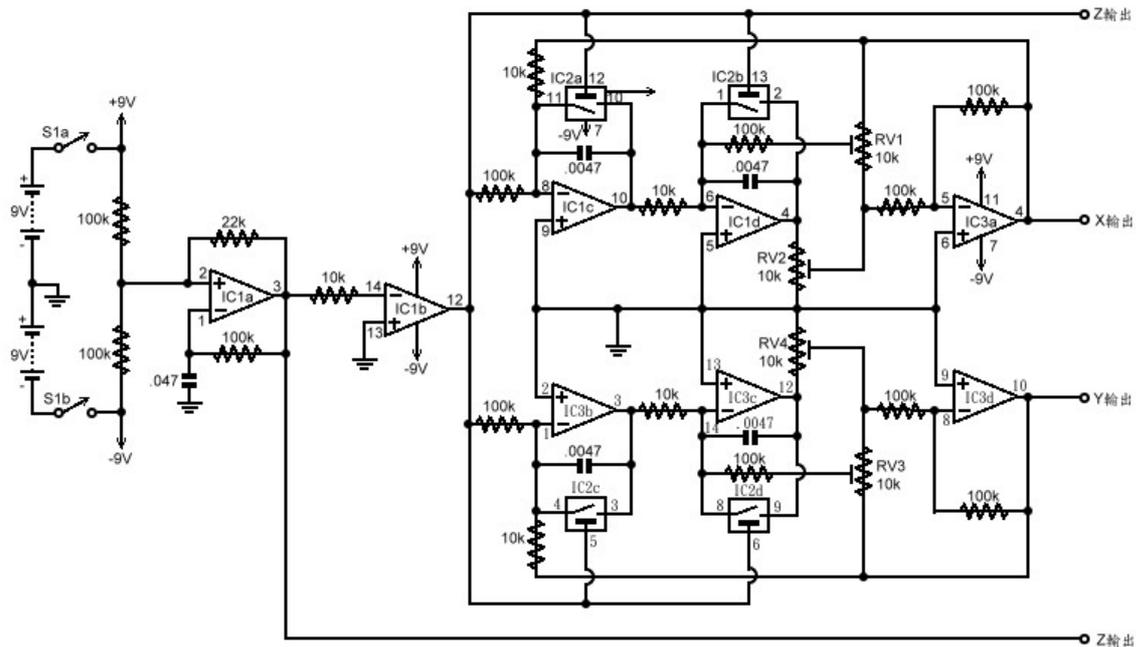


圖 15-2 雙軸阻尼諧振模擬電路電路圖

(四) 示波器阻尼諧振圖形的分析

1. 雙模組阻尼振盪產生器所產生的兩信號輸入示波器的 XY-MODE。
2. 將顯示在示波器上的阻尼諧振圖形利用數位相機拍下。
3. 使用繪圖軟體(PhotoImpact)開啓相片檔，將繪基準線歸零。
4. 用游標找出阻尼諧振圖形在照片上包絡線的相對於基準線的點座標。
5. 將點座標輸入 Microsoft Excel，繪出趨勢線，以自然對數的指數關係表示公式得到的阻尼值。

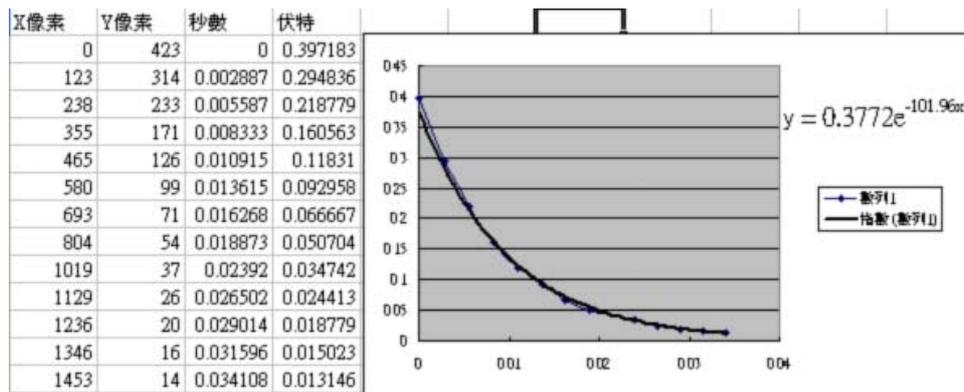


圖 16 分析阻尼諧振圖

(五) 雙模組阻尼振盪器在光學上的應用—雷射顯示示波器產生李沙育圖形

1. 使用氦氖雷射作為一直進光源。
2. 利用兩台訊號產生器分別連接 Pasco 振盪器。
3. 將振盪器之震動方向調整為水平及鉛直兩個方向。以升降台上下調整振盪器的位置，使兩振盪器在同一平面上。
4. 將兩振盪器連接擺放與振動方向成 45° 的平面鏡(如圖 17-1)，使雷射的入射角為 45° ，且入射線與反射線垂直。
5. 雷射投影至螢幕，觀察所掃描出的雙軸無阻尼之李沙育圖形。
6. 照上述實驗，將訊號產生器以自製儀器代換其訊號，觀察雙軸有阻尼之李沙育圖形。

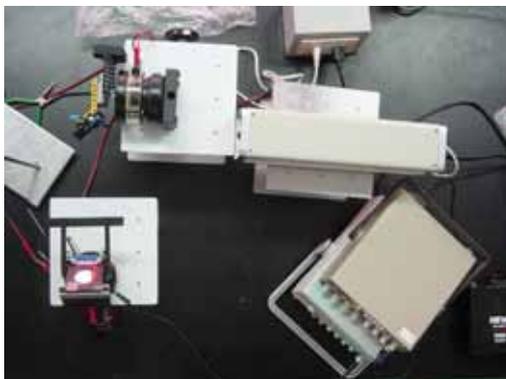
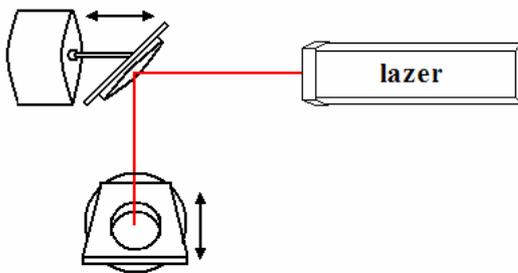


圖 17-1 面鏡鳥瞰示意圖

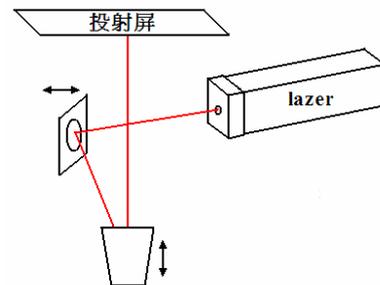


圖 17-2 面鏡側視示意圖及實際裝置

(六) 雙模組阻尼振盪儀器在力學上的應用—電磁鐵驅動平台進行雙軸有阻尼諧振

- 1.自製儀器連接示波器後，能清楚顯示單軸及雙軸的諧振波形，並改變其各自的頻率和阻尼。
- 2.我們將雙模組阻尼振盪產生儀連接電磁鐵提供雙軸阻尼訊號，由此改變電磁線圈之 N、S 極改變頻率及其阻尼大小。
- 3.準備一可自由振動之平台，在其四周安置磁鐵，使電磁鐵能夠進行吸放。
- 4.在可擺動之平台將兩個電磁鐵互相垂直放置，並將電磁鐵連接阻尼振盪產生儀（如圖 18-2）。
- 5.再將各樣物體（如：軟水管、有彈性之木條）安置在此平台上，使之與平台擺動，以肉眼觀察其在雙軸阻尼振盪的情況下物體的搖晃情形。
- 6.利用 Pasco 超音波側距儀，更進一步測量平台上方物體的搖晃情形。
- 7.重複上述步驟，改變阻尼大小後，再觀察其情形。



圖 18-1 電磁鐵與可自由振盪之平板



圖 18-2

- 8.X、Y 軸上只有單方向的力驅動，而且磁鐵與電磁鐵間的距離與磁場的強度呈現平方反比的關係，如此不均勻的磁場所形成之振動與電壓訊號不吻合。對於此問題，我們將電磁鐵改繞成 U 型（如圖 18-3），則由 U 型兩端所產生之磁場為均勻磁場，受力大小受距離影響的問題也能夠解決。

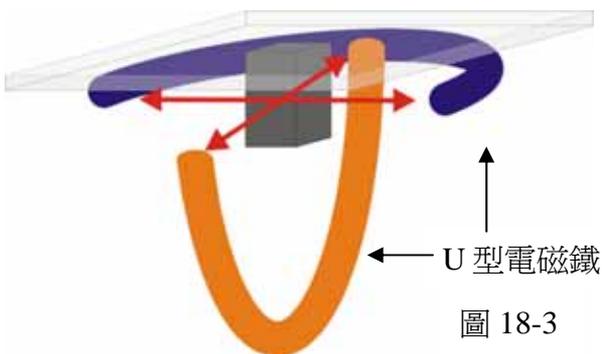


圖 18-3



圖 18-4
實際裝置



圖 18-5



圖 18-6

陸、研究結果

一、零件測試儀

(一) 我們將電阻、電容、電感、二極體以零件測試儀觀察，立即描繪出其電流對電壓的特性曲線圖（如圖 19）

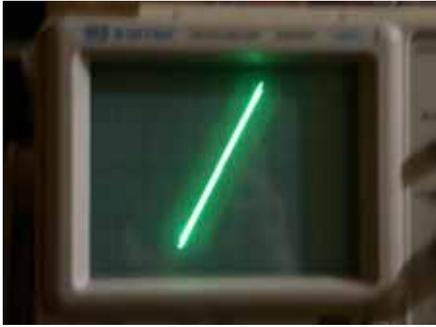


圖 19-1 低值電阻 I-V 特性曲線

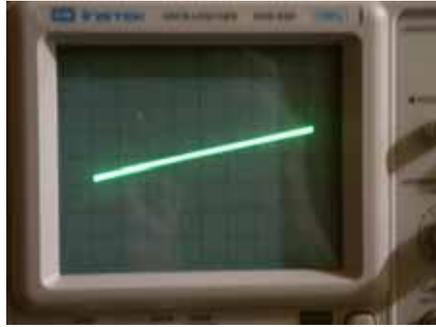


圖 19-2 高值電阻 I-V 特性曲線

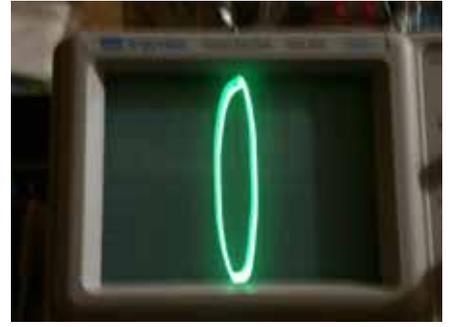


圖 19-3 低值電感 I-V 特性曲線

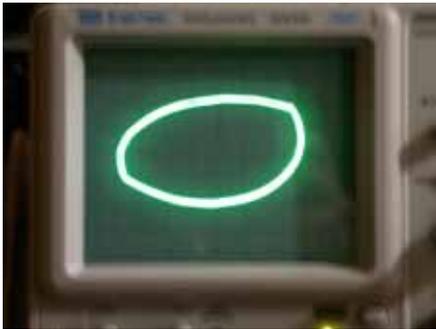


圖 19-4 低值電容 I-V 特性曲線

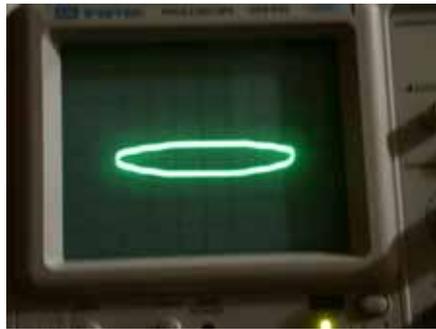


圖 19-5 高值電容 I-V 特性曲線

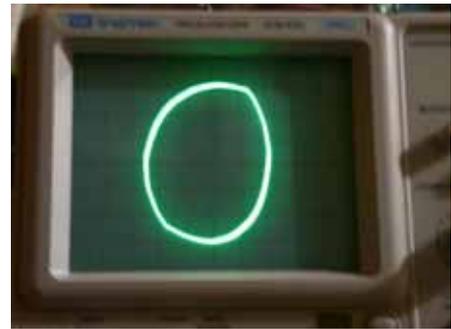


圖 19-6 高值電感 I-V 特性曲線

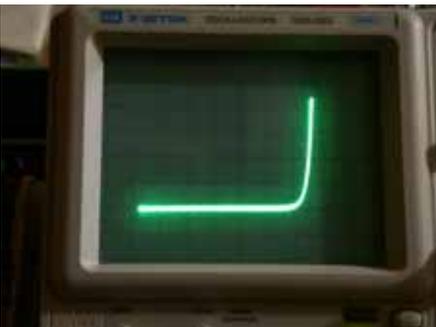


圖 19-7 極體 I-V 特性曲線

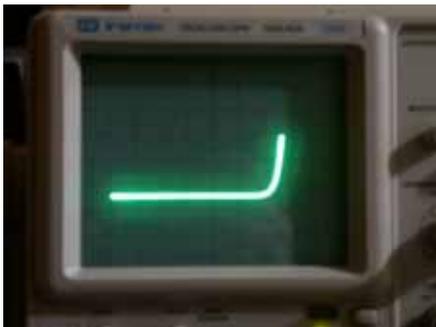


圖 19-8 電晶體 V_{be} I-V 特性曲線

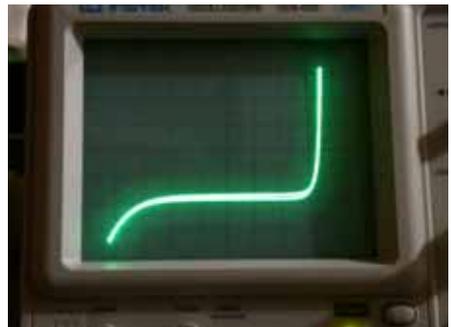


圖 19-9 齊納二極體 I-V 特性曲線

二、自製雙模組阻尼振盪儀器操作及實測

- (一) X、Y 軸各自調整振幅、頻率及阻尼，分別將信號送入示波器兩頻道觀察振盪波形。
- (二) 將示波器調整成 X-Y mode 觀察合成諧振曲線。
- (三) 圖 20 為理論圖形討論，上方先以無阻尼雙軸諧振為例，比較中、下方有阻尼雙軸諧振的軌跡，以幫助我們瞭解，雙軸上各自振盪信號都有顯示阻尼大小的指數形衰減包絡線。
- (四) 下圖自製儀器操作實測的結果，其中圖 21 系列為各式單軸阻尼振動訊號。

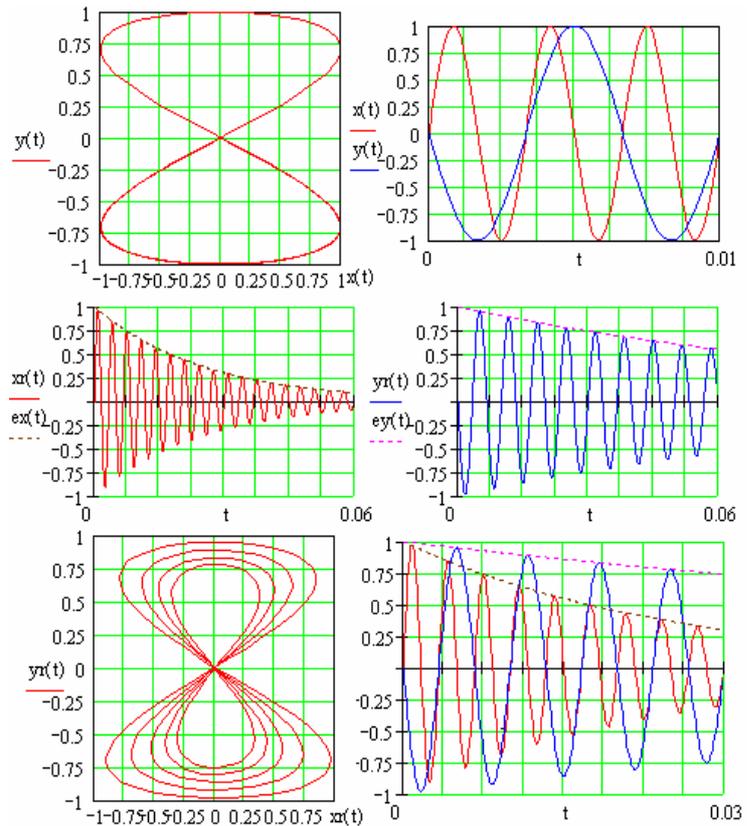


圖 20

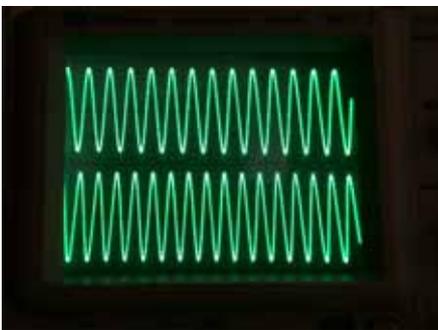


圖 21-1 雙軸振幅頻率相同

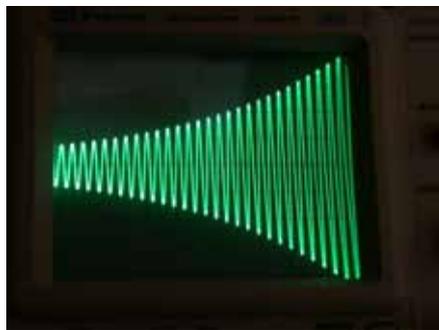


圖 21-2 單軸增幅

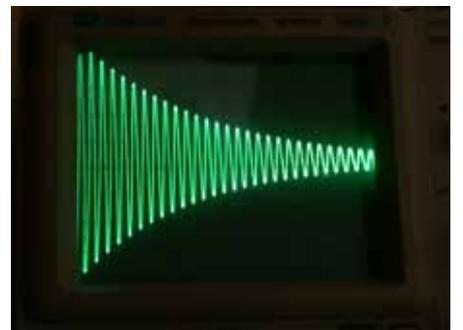


圖 21-3 單軸減幅

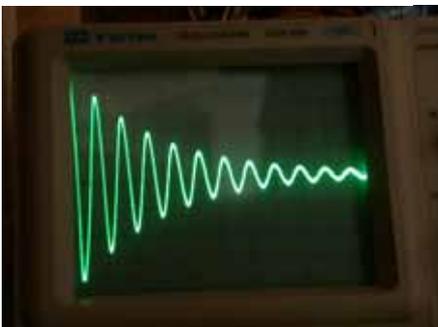


圖 21-4 阻尼係數增大

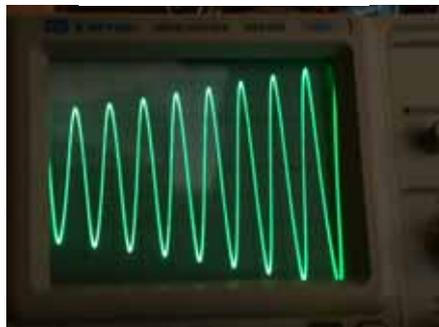


圖 21-5 負阻尼係數

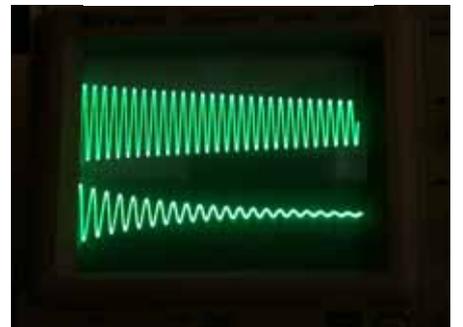


圖 21-6 阻尼係數不同

(五) 圖 22 系列是討論同頻率阻尼訊號下，不同阻尼產生之李沙育圖形。圖右方註解的阻尼係數分別為(X 軸方向振動,Y 軸方向振動)，頻率分別為(X 軸方向振動,Y 軸方向振動)，子圖中的上圖是 Y 方向訊號，下是 X 方向的訊號

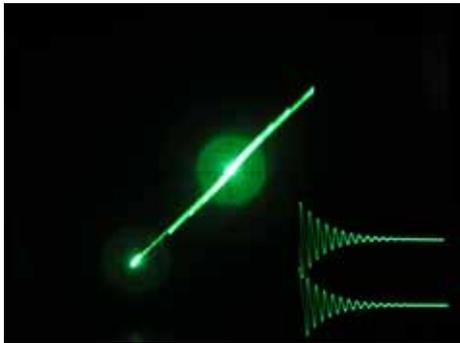


圖 22-1
 阻尼係數：
 (102,102)
 頻率：
 (444.4,444.4)
 頻率比：
 1:1

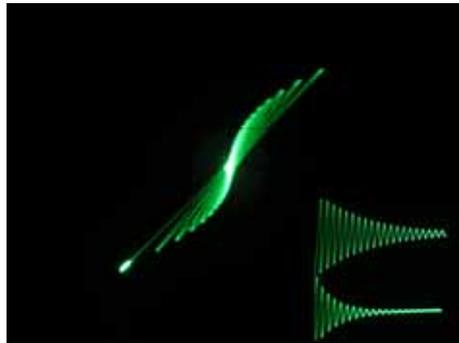


圖 22-2
 阻尼係數：
 (102,59.8)
 頻率：
 (444.4,444.4)
 頻率比：
 1:1

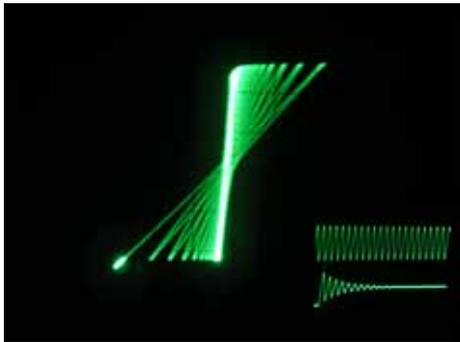


圖 22-3
 阻尼係數：
 (102,0)
 頻率：
 (444.4,444.4)
 頻率比：
 1:1

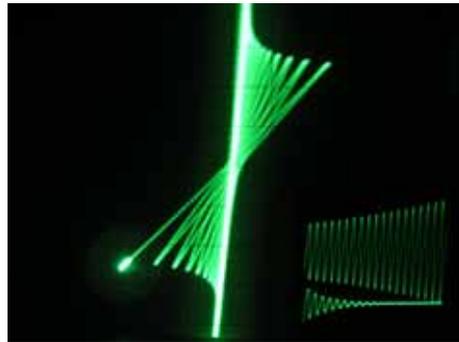


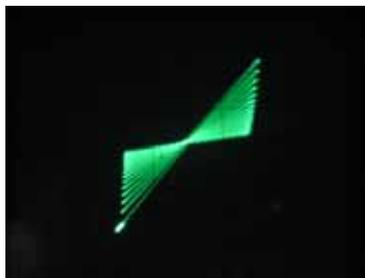
圖 22-4
 阻尼係數：
 (102,-13.6)
 頻率：
 (444.4,444.4)
 頻率比：
 1:1

(六) 討論各簡單頻率比在不同阻尼時的李沙育圖形

1. 頻率比 1:1



無阻尼



單軸減幅

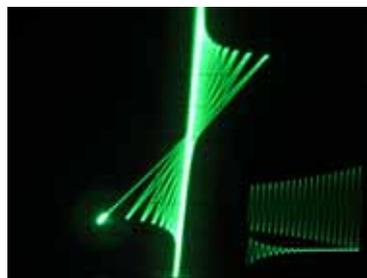


單軸增幅



兩軸皆減幅

阻尼係數：
 (102, 59.8)
 頻率：
 (444.4,444.4)
 頻率比：
 1:1

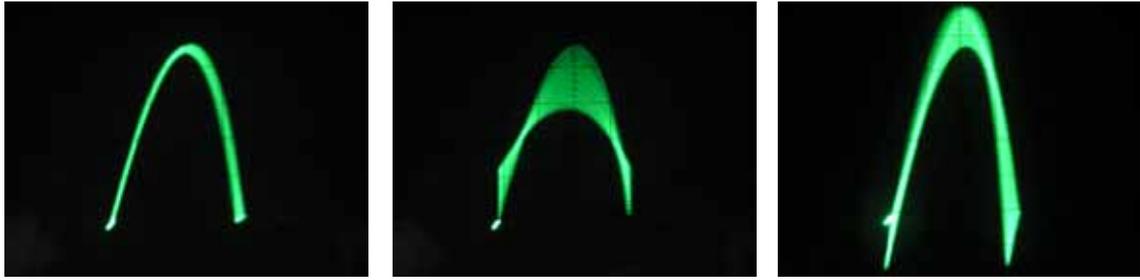


一軸為減幅一軸為增幅

阻尼係數：
 (102,-13.6)
 頻率：
 (444.4,444.4)
 頻率比：
 1:1

圖 23-1 頻率比 1:1 各式李沙育圖形

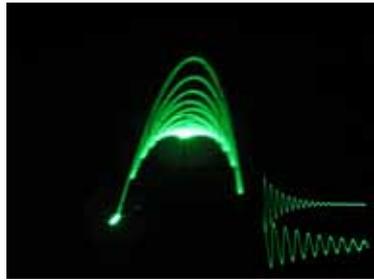
2. 頻率比 1:2



無阻尼

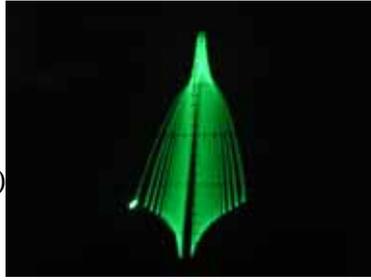
單軸減幅

單軸增幅



雙軸皆減幅

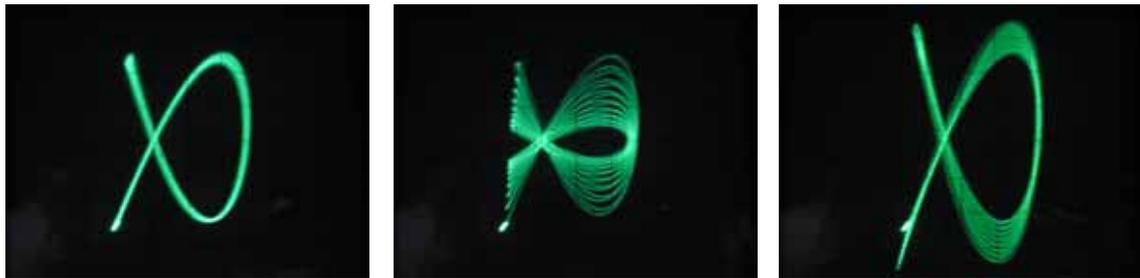
阻尼係數：
(38.1, 112.2)
頻率：
(203.8, 407.5)
頻率比：
1:2



一軸為減幅一軸為增幅

圖 23-2 頻率比 1:2 各式李沙育圖形

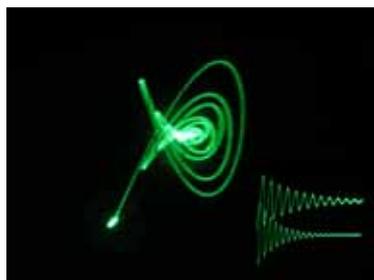
3. 頻率比 2:3



無阻尼

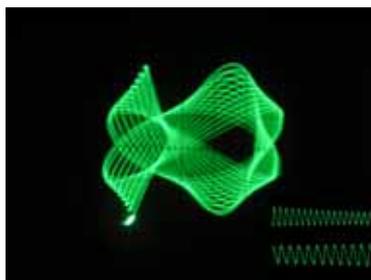
單軸減幅

單軸增幅



雙軸皆減幅

阻尼係數：
(65.4, 112)
頻率：
(267.5, 400)
頻率比：
1:1.5

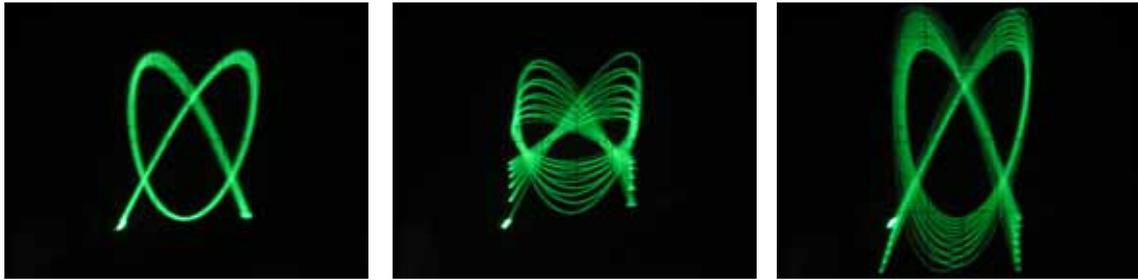


一軸為減幅一軸為增幅

阻尼係數：
(-6, 4.2)
頻率：
(206.4, 310.4)
頻率比：
1:1.5

圖 23-3 頻率比 2:3 各式李沙育圖形

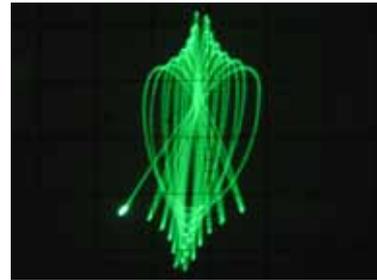
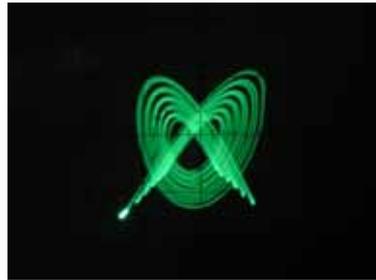
4. 頻率比 3:4



無阻尼

單軸減幅

單軸增幅



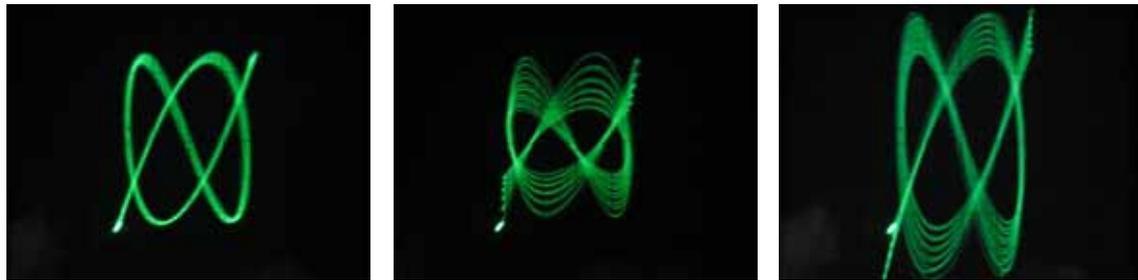
雙軸皆減幅

一軸為增幅一軸為減幅

圖 23-4 頻率比 4:3 各式李沙育圖形

5. 頻率比 3:5

圖 23-5 頻率比 3:5 各式李沙育圖形



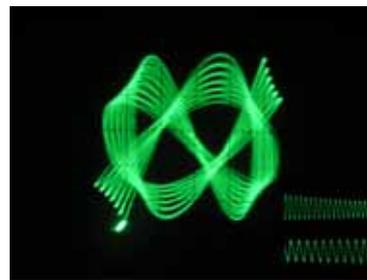
無阻尼

單軸減幅

單軸增幅



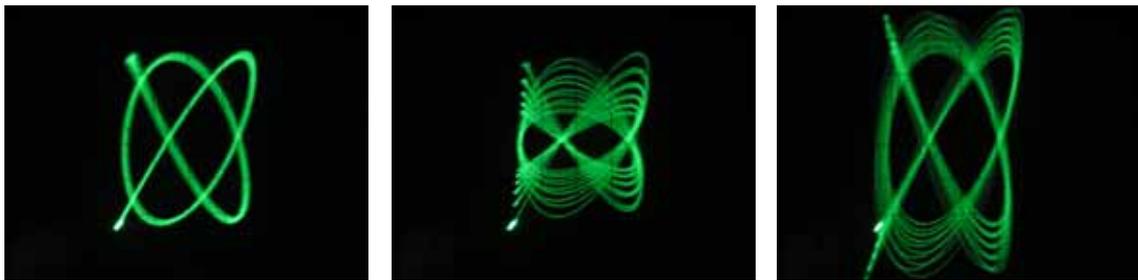
雙軸皆減幅



一軸為減幅一軸為增幅

阻尼係數：
 (5.7, -5.1)
 頻率：
 (211.8, 351.2)
 頻率比：
 1: 1.7

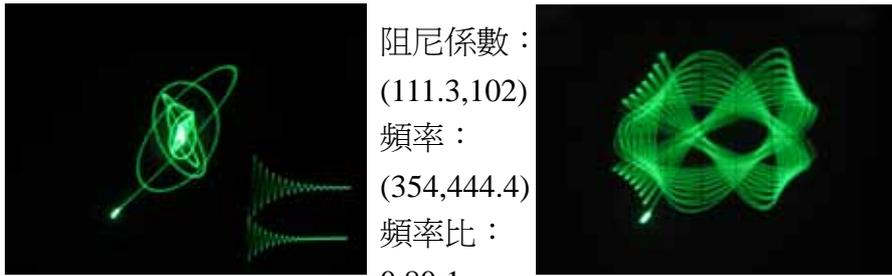
6. 頻率比 4:5



無阻尼

單軸減幅

單軸增幅



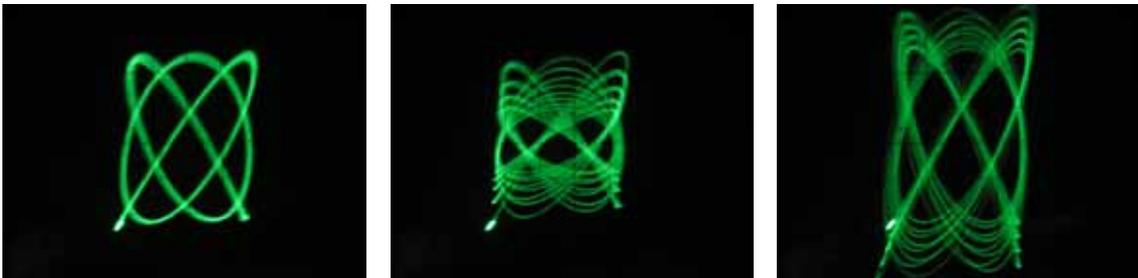
阻尼係數：
(111.3,102)
頻率：
(354,444.4)
頻率比：
0.80:1

雙軸皆減幅

一軸為增幅一軸為減幅

圖 23-6 頻率比 4:5 各式李沙育圖形

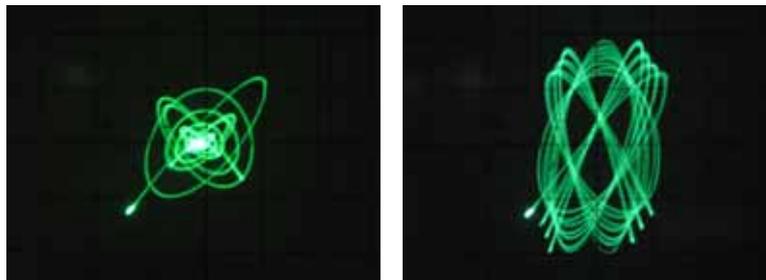
7. 頻率比 5:6



無阻尼

單軸減幅

單軸增幅



雙軸皆減幅

一軸為增幅一軸為減幅

圖 23-7 頻率比 5:6 各式李沙育圖形

三、雙模組阻尼振盪儀器在光學上的應用—雷射顯示示波器二維李沙育圖形

- (一) 當我們將兩軸的頻率調整至相同時，圖形產生一個圓、橢圓或直線。而當其頻率整數比不同時，邊緣的節點數比也隨之改變。
- (二) 其結果如下列圖 24：



圖 24-1

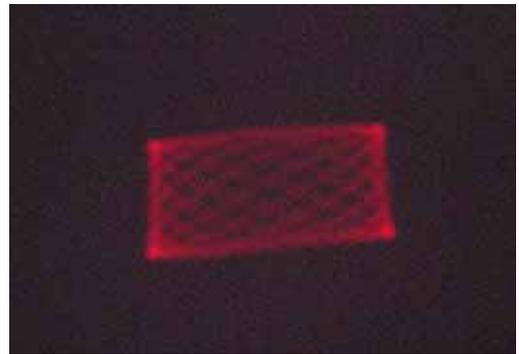


圖 24-2

四、雙模組阻尼振盪儀器在力學上的應用—電磁線圈驅動平台進行雙軸有阻尼諧振將物體安置在可擺動之平面，除外模擬阻尼訊號產生振盪的情況，可量測出不同物體在不同阻尼時受阻尼訊號振盪的情形

伍、討論

- 一、雙軸阻尼振盪產生器在示波器上所產生的圖形，大致分析如下：
 - (一) 同頻率下，阻尼漸漸變化之李沙育圖形，我們漸漸將 X 軸的阻尼減小，可以看到在 Y 軸方向的振動越來越大，在圖 21-4 更可以知道是發散的情況。
 - (二) 頻率為簡單整數比時之二維諧振圖形，從無阻尼的李沙育圖形出發，將雙軸增加或減小阻尼，可以模擬在力學上不易控制的二維阻尼振盪行為。
 - (三) 當頻率比為較簡單的整數比時，圖形是為較有規律的李沙育圖形，可以直接判斷其雙軸的頻率比值，並且觀察甚至推測在不同阻尼下所產生的變化。
- 二、在雷射配合面鏡振盪的實驗中，也因振盪器不易與面鏡接合，使得在面鏡本身不只做單向振動，初步實驗時，導致軌跡圖案不清晰。
- 三、經過修改儀器架設後，穩定連接處，有明顯的改善，利用雷射配合面鏡振盪產生二維李沙育圖形，確實能夠呈現出來。藉由訊號產生器改變頻率，也清楚地觀察到軌跡的頻率比。
- 四、將雙軸阻尼振盪儀連接電磁鐵，使平台產生二維雙軸有阻尼震盪的實驗中，起初在平台和電磁鐵的架設部分需考慮電磁鐵所及磁力範圍。後來將線圈繞成 U 字形，使得磁場能夠更加的穩定。

陸、結論

- 一、利用雙軸諧振的原理自行設計出的電子零件測試儀，能夠即時的描繪出該零件的 I-V 特性曲線圖，不需使用以往的方法費時費力的逐點測量、描繪，甚為方便。
- 二、雙軸阻尼振盪的電路可以任意改變 X、Y 軸的諧振頻率以及阻尼，在示波器上產生許多千變萬化的圖形，並建立一套圖形資料庫，就能夠在一個雙軸阻尼圖形形成時，比對後求得雙軸的頻率比值及阻尼大小。一般若要使用示波器觀察雙軸諧振都必須使用兩台訊號產生器，但此儀器可以將雙軸的訊號做出阻尼的效果，是非常獨特的。
- 三、雷射配合面鏡振盪實驗中，利用訊號產生器改變其頻率比時，確實能使雷射繪出李沙育諧振圖形。而當我們將訊號產生器用自製的雙軸阻尼振盪儀代換後，所呈現的圖形是非常千變萬化的，這種多變的雷射圖形甚至可以做為舞台上絢麗的雷射效果。
- 四、雙軸有阻尼在光學雷射上的應用，將來也可以投射在大屏幕上給學生作為雙軸阻尼諧振圖形的教學演示。利用雷射代替昂貴的示波器，僅需利用面鏡配合兩振動器振盪，改變雷射的路徑，即可作為光學示波器，得到與示波器相同的有阻尼李沙育圖形，再將這些圖形與已知的雙軸有阻尼諧振圖形進行比對，就可推得雙軸振動的頻率及阻尼大小。
- 五、以上兩點我們可以做出生活上的應用：若想知道任一振動體的頻率與阻尼值，只須在振動體上放置一反射鏡，配合另一已知振動頻率的面鏡，雷射經過兩面鏡反射在屏幕上產生雙軸圖形，再利用已知振動面鏡的頻率，去推算平面鏡的振動頻率與阻尼大小。
- 六、在線圈驅動平台阻尼振盪的實驗中，可以觀察到物體在二維阻尼諧振的情況下的運動情形，也證實了此平台可以製造雙軸阻尼諧振的環境，對於有阻尼受振物體之行爲或運動推廣，甚至預估地震災害的可能性，有一定的幫助。

柒、參考資料及其他

一、中文資料

褚德三 基礎物理 最新修訂本 台北縣 龍騰文化 p44 民國八十八年 8 月

二、網路資料

- (一) <http://faraday.physics.uiowa.edu/acoust/3A80.40.htm>
- (二) <http://at.yorku.ca/c/a/p/f/10.htm123>
- (三) <http://www.ph.unimelb.edu.au/staffresources/lecdem/wa6.htm123>
- (四) <http://www.physics.umd.edu/lecdem/services/demos/demosh1/h1-27.htm>
- (五) <http://faraday.physics.uiowa.edu/acoust/3A80.40.htm>
- (六) <http://www.georgetown.edu/faculty/kainen/topoliss.pdf>

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 生活與應用科學科

第三名

040813

雙軸阻尼振盪及其在電學光學和力學上的應用

臺北市立麗山高級中學

評語：

本作品具有很好的教育、娛樂及廣泛應用之潛力，不失為工程上效果彰顯的教具之一。書面及口頭報告亦皆頗為完整。建議事項包括(1)可考慮從創新應用，如中醫脈診、穴位相圖，按摩背椅……等方向切入，深入原理原則及實用步驟的闡明，成效將更斐然；(2)創新實用以小見大，方是科展指標及努力方向。博雜不如精要。