

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：物理

作品名稱：芯電感應

學 校：國立臺南女子高級中學

作 者：郭惠斐、徐維好

作者 - 郭惠斐簡介



我是郭惠斐，惠斐來自充滿人情味的府城台南市，家中成員簡單，除了父母外上有三位姊姊，從小甚得家人之疼愛。家中氣氛和樂融融。

個性隨和的我，從小就非常喜愛運動、打打球來放鬆心情，餘閒暇時光，也喜愛聽聽古典音樂、寫寫書法、吹吹口琴陶冶性情。

現就讀於台南女中二年級，自小就常接觸科學相關的事物，此次能有機會參與科展，一開始是雀躍心情，回想著雖然研究過程辛苦，但結果卻是相當的甜美。除此之外還要謝謝老師辛苦的指導，也要感謝夥伴的砥礪。最後也期許自己於此機會學習能夠更加的成長茁壯。

作者-徐維好簡介



我是在民國七十七年十月十六日出生於台南市，曾就讀台南市立東區崇學國民小學，得到 89 年市長盃越野賽跑冠軍。台南市立東區崇民國民中學連三屆 800 公尺比賽冠軍，也曾代表學校國樂校隊榮獲全國比賽優等。目前就讀於國立台南女子高級中學數理資優班，現任游泳校隊和田徑校隊。從小對數理和運動頗有興趣，這帶領我走進了科學寬廣的領域中。平常喜歡閱讀科學相關書籍，常常與老師和同學討論，也樂於迎接挑戰，便著手科展研究，雖然耗了很多精力和時間，但卻感到趣味無窮。

『芯』電感應

Abstract

Based on Ampere's Law, the magnetic field intensity of the solenoids is $B = \mu_0 \mu_r \cdot n \cdot I$, where μ_0 is the magnetic permeability of free space, μ_r is the relative magnetic permeability, n is the number of coils per unit length and I is the solenoidal current. The end magnetic field of the solenoid must multiply by one half. According to the above result, it can be greatly strengthened by the addition of a ferromagnetic core. First, we observe three different inserted materials of coils (wood, iron and magnetite), whose magnetic induction in different solenoidal current. By experiment, when the iron and magnetite materials were inserted into the coil, it would produce larger magnetic induction. The calculated relative magnetic permeabilities of wood, iron and magnetite materials are 0.57, 18.37 and 18.32, which are close to the reported paper⁽¹⁾. When the driving field is removed, the fraction of the saturation magnetization of the magnetite is retained, which is called hysteresis and is related to the existence of magnetic domains in the material. In the second part, we change the frequency of circuit switch, which induced different current. Compared with the result of the first part, it would fit the result, which is the induced magnetic field is proportion to the solenoidal current.

中文摘要

根據安培定律，螺線管的磁場為 $B = \mu_0 \mu_r \cdot n \cdot I$ 。其中 μ_0 為真空中的導磁率， μ_r 為相對的導磁率， n 為單位長度的線圈匝數， I 則為通入螺旋管的電流。至於螺旋管的端點磁場須再乘上 $\frac{1}{2}$ 。所以根據上述的結果，當螺旋管插入鐵磁性物質，會增強螺旋管的磁場。首先，觀察三種不同的芯物質；非鐵磁性材料，軟磁材料，硬磁材料（木棒，低碳鋼棒，磁鐵棒）在不同的外加磁場下的感應磁場，得到芯物質的磁化曲線，而計算出來的相對導磁率分別為 0.57, 18.37 和 18.32 與參考文獻(1)接近。而當外加磁場移走時，硬磁性物質的磁性仍然存在，稱為殘磁現象。在第二部分，我們改變線路開關的頻率。發現不同的開關頻率，會得到不同的螺旋管電流，而造成不同的感應磁場。再度驗證了感應磁場大小是正比於螺旋管電流的大小。

壹、前言

日常生活中有很多都是感應電流的應用，基於好奇心的引導，研究了許多隨手可觸電器之相關報導，原來電的世界是如此奇奧，他深深的吸引我們，想一窺電的世界嗎？趕緊跟著我們進入「電磁隧道」吧！本實驗主要探討電磁感應--感應電流。

某日下午，突然的電話催人醒，就在此時，電話旁的電腦自動開啓，明明四下無人，難道是…喂！現在又不是七月，別在自己嚇自己了！但這是爲甚麼呢？經過一番調查、討論，我們認爲一切只是「感應電流」在作怪，可是爲何只有部分家中的電腦會有這種現象呢？心中的問號，快要把我們給壓死，於是…我們的好奇心及神來之電話開啓了我們的研究。

貳、研究動機

在做過一些有關感應電流的實驗後，我們發現：纏繞一般的棒型軟鐵所產生的感應電流比纏繞馬蹄形磁鐵所產生的感應電流還小，再跟老師討論後，老師覺得這跟纏繞形狀無關，關鍵應該是插在中間的材料是否具有磁性。老師又說：中間的物質若有磁性，其感應電流應該會變小，因爲感應磁場可能會和原磁場抵消，所以你們的實驗可能有問題。但是，老師說的不是很肯定，於是，我們想找出真相的慾望就此燃起。

參、研究目的

- 探討在線圈中插入不同材質(非鐵磁性材料.軟磁性材料.硬磁性材料)對感應磁場的影響。
- 一、探討不同大小的電流，對磁力大小的影響。
 - 二、探討不同頻率的打點開關，對磁力大小的影響。

肆、文獻探討

依據材料對外加磁場的反應可以分爲三類：反磁性材料，順磁性材料，鐵磁性材料。當外加磁場作用時，物體本身所產生的微弱磁化量的方向與外加場相反是反磁性材料。當外加磁場作用時，物體本身所產生的微弱磁化量的方向與外加場相同是順磁性材料。當外加磁場作用時，物體本身所產生的極強磁化量的方向與外加場相同則爲鐵磁性材料⁽²⁾。

鐵磁性材料之特性是將其與一具磁性之磁石靠近時，彼此間會產生強烈的吸引或排斥力。如果磁石移開後，仍然具有磁性的物質則爲硬磁材料，不具有磁性的物質則爲軟磁材料。

對於一個螺旋線圈導體而言，當線圈通過電流I 時，線圈內部同時產生磁場。依據Ampere's Law ，磁場強度

$$H = \mu_0 \cdot n \cdot I \quad (1)$$

(1)式中， n 為線圈單位長度（米）之匝數， μ_0 為導磁率其值為 $4\pi \times 10^{-7}$ Tesla.m/Ampere ，

(1)式中 $H=4\pi \times 10^{-7}ni$ 。在鐵磁性介質中，由於磁感應強度由H 增大至B ，以公式表示

$B=\mu_r H$ ，式中 μ_r 為相對導磁率，在真空中 $\mu_r=1$ ，在空氣中、水、鋁、銅等非鐵磁性介質中， μ_r 約為 1 ，對於鐵磁性材料如鋼鐵， μ_r 約 20~100 。（1）

在本實驗中，我們選擇木棒、低碳鋼棒及磁棒。其中，木棒為非鐵磁性材料，低碳鋼棒為鐵磁性材料中的軟鐵材料，磁棒為鐵磁性材料中的硬鐵材料。

伍、研究設備、器材

| | |
|-----------------------|----|
| 一、線 | 數條 |
| 二、電池 1.5V | 四個 |
| 三、高斯計 | 一個 |
| 四、節拍器 | 一個 |
| 五、非鐵磁性材料（木棒直徑 2.00cm） | 一個 |
| 六、軟磁性材料（鐵棒直徑 1.28cm） | 一個 |
| 七、硬磁性材料（磁棒直徑 1.20cm） | 一個 |
| 八、銅線 | 一捆 |
| 九、可變電阻 | 一個 |
| 十、三用電表 | 一個 |
| 十一、計時器 | 一個 |

陸、研究過程與方法

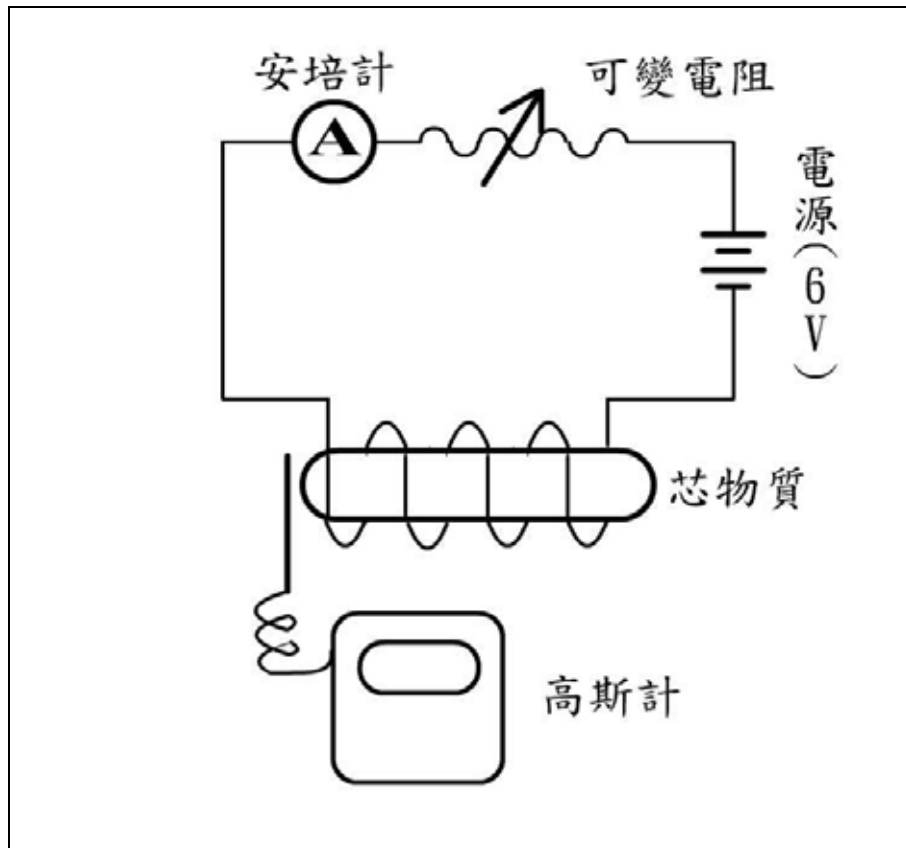
一、實驗一：不同大小的電流，對磁力大小的影響

1. 在非鐵磁性材料上纏繞線圈，線圈密度為每 2.8 公分 100 圈。
2. 磨去銅線兩端的絕緣物質，並用三用電表檢查線圈是否為通路。
3. 串聯電池，可變電阻，線圈，三用電表，形成的通路如照片一、示意圖一。
4. 改變可變電阻的電阻值，用高斯計量測感應磁場的大小，並讀取此時電流計的讀值。繪製感應磁場對電流的關係圖，如表一、圖一。

5. 順磁性材料重複 1~4 步驟，得到照片二、表二、圖二。
6. 鐵磁性材料重複 1~4 步驟，得到照片三、表三、圖三。



照片一



示意圖一



照片二



照片三

二、實驗二：不同頻率的打點開關，對磁力大小的影響。

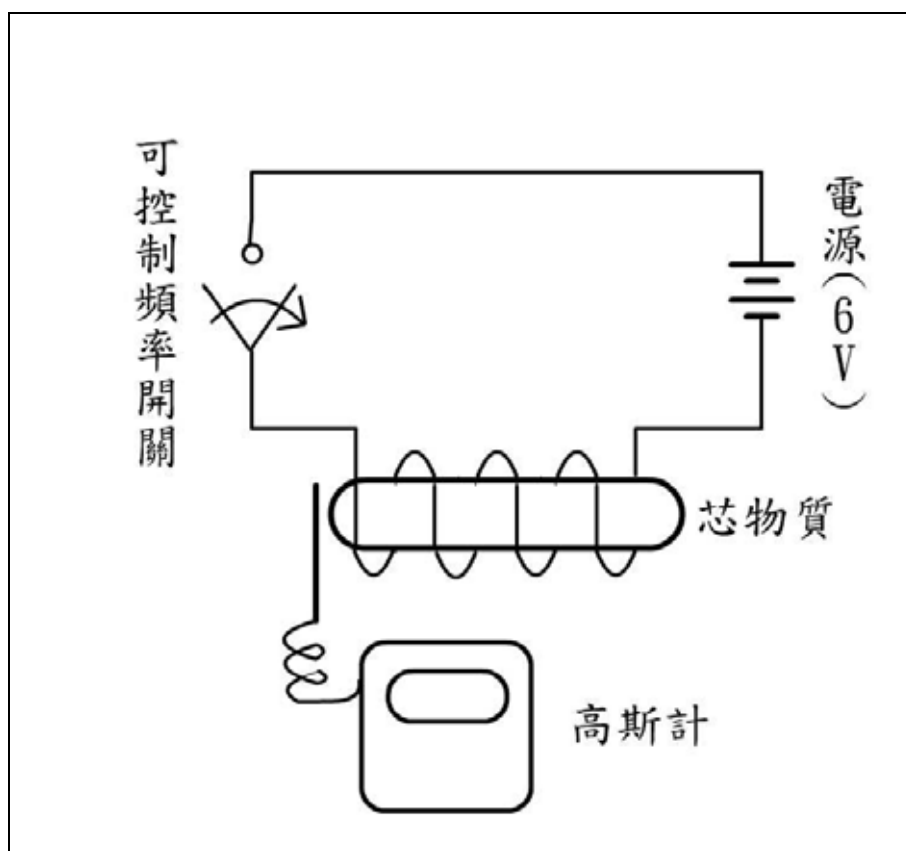
1. 改造一個節拍器，使其在來回擺動時，會導通線路，形成一個可以控制頻率的開關，。如照片四所示。
2. 在非鐵磁性材料上纏繞線圈，線圈密度為每 2.8 公分 100 圈。
3. 串聯電池，可制頻率的開關，線圈，形成的通路如照片五、示意圖二。
4. 改變開關頻率（1.33Hz、2.00Hz、2.67Hz、3.2Hz），每十秒用高斯計量測感應磁場的大小，持續測量兩分鐘，繪製時間對感應磁場的關係圖，如表 4-1~4-5、圖 4-1~4-5。
5. 順磁性材料重複 2~4 步驟，得到照片六、表 5-1~5-5、圖 5-1~5-5。
6. 鐵磁性材料重複 2~4 步驟，得到照片七、表 6-1~6-5、圖 6-1~6-5。



照片四



照片五



示意圖二



照片六



照片七

柒、研究結果與討論

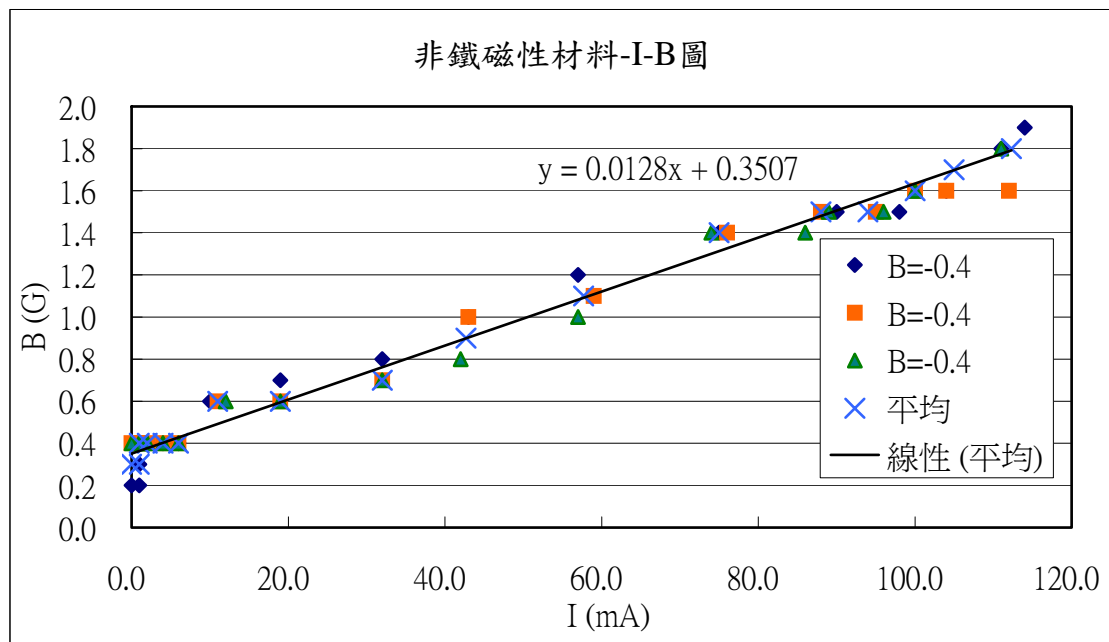
一、不同大小的電流，對磁力大小的影響。

1. 【結果】

表一(磁場(G)與電流(mA)數據表)

| | | | | | | | | | | |
|--------|---|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| B=-0.4 | I | 114.0 | 111.0 | 104.0 | 98.0 | 90.0 | 75.0 | 57.0 | 43.0 | 32.0 |
| | B | 1.9 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.0 | 0.8 |
| | I | 19.0 | 10.0 | 6.0 | 4.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | |
| B=-0.4 | I | 112.0 | 104.0 | 100.0 | 95.0 | 88.0 | 76.0 | 59.0 | 43.0 | 32.0 |
| | B | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.1 | 1.0 | 0.7 |
| | I | 19.0 | 11.0 | 6.0 | 4.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | |
| B=-0.4 | I | 111.0 | 100.0 | 96.0 | 89.0 | 86.0 | 74.0 | 57.0 | 42.0 | 32.0 |
| | B | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.0 | 0.8 | 0.7 |
| | I | 19.0 | 12.0 | 6.0 | 4.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | |
| 平均 | I | 112.3 | 105.0 | 100.0 | 94.0 | 88.0 | 75.0 | 57.7 | 42.7 | 32.0 |
| | B | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.1 | 0.9 | 0.7 |
| | I | 19.0 | 11.0 | 6.0 | 4.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | |

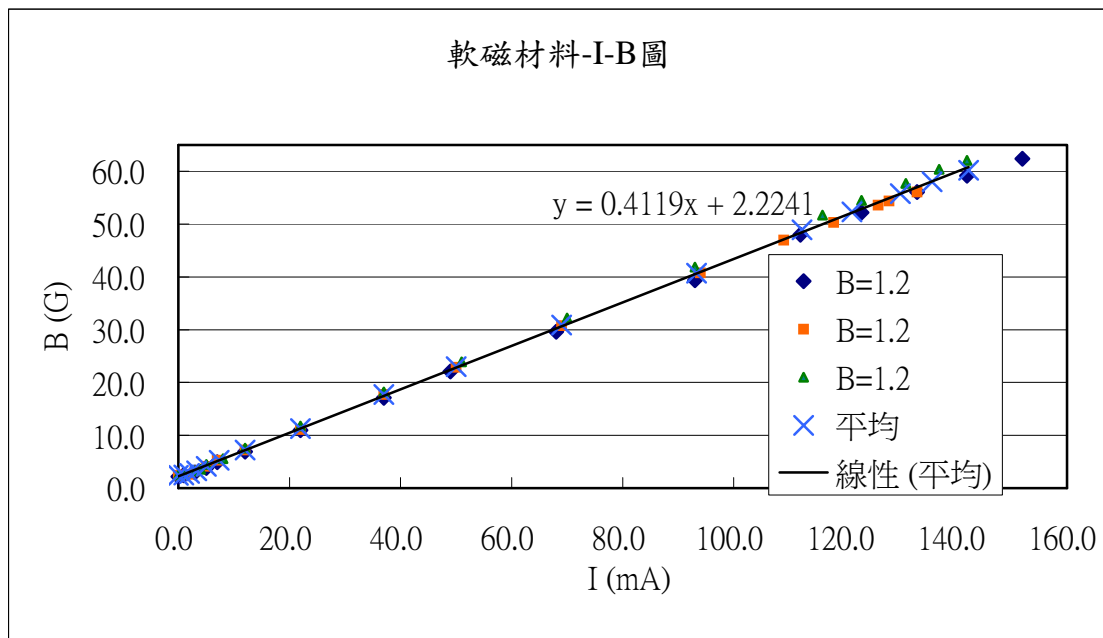
圖一(磁場(G)與電流(mA)對應圖)



表二(磁場(G)與電流(mA)數據表)

| | | | | | | | | | | |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| B=1.2 | I | 152.0 | 142.0 | 133.0 | 123.0 | 112.0 | 93.0 | 68.0 | 49.0 | 37.0 |
| | B | 62.4 | 59.2 | 56.1 | 52.2 | 48.0 | 39.4 | 29.6 | 22.1 | 17.1 |
| | I | 22.0 | 12.0 | 7.0 | 5.0 | 3.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 11.0 | 6.9 | 4.9 | 3.8 | 3.0 | 2.5 | 2.4 | 2.2 | |
| B=1.2 | I | 133.0 | 128.0 | 126.0 | 118.0 | 109.0 | 94.0 | 69.0 | 50.0 | 37.0 |
| | B | 56.1 | 54.4 | 53.6 | 50.3 | 47.0 | 40.8 | 30.8 | 22.9 | 17.7 |
| | I | 22.0 | 12.0 | 7.0 | 5.0 | 3.0 | 2.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 11.1 | 7.2 | 5.3 | 4.1 | 3.3 | 2.6 | 2.5 | 2.4 | |
| B=1.2 | I | 142.0 | 137.0 | 131.0 | 123.0 | 116.0 | 93.0 | 70.0 | 51.0 | 37.0 |
| | B | 62.1 | 60.4 | 57.7 | 54.5 | 51.7 | 41.9 | 32.2 | 23.9 | 18.2 |
| | I | 22.0 | 12.0 | 8.0 | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 11.8 | 7.6 | 5.6 | 4.5 | 3.6 | 3.3 | 2.6 | 2.5 | |
| 平均 | I | 142.3 | 135.7 | 130.0 | 121.3 | 112.3 | 93.3 | 69.0 | 50.0 | 37.0 |
| | B | 60.2 | 58.0 | 55.8 | 52.3 | 48.9 | 40.7 | 30.9 | 23.0 | 17.7 |
| | I | 22.0 | 12.0 | 7.3 | 5.0 | 3.3 | 2.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 11.3 | 7.2 | 5.3 | 4.1 | 3.3 | 2.8 | 2.5 | 2.4 | |

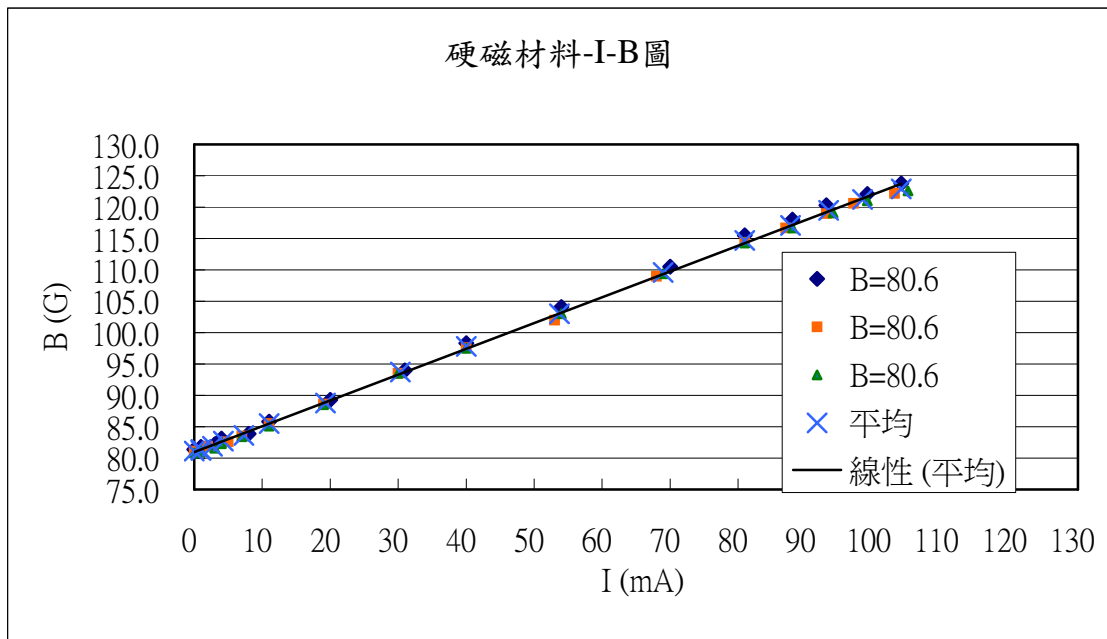
圖二(磁場(G)與電流(mA)對應圖)



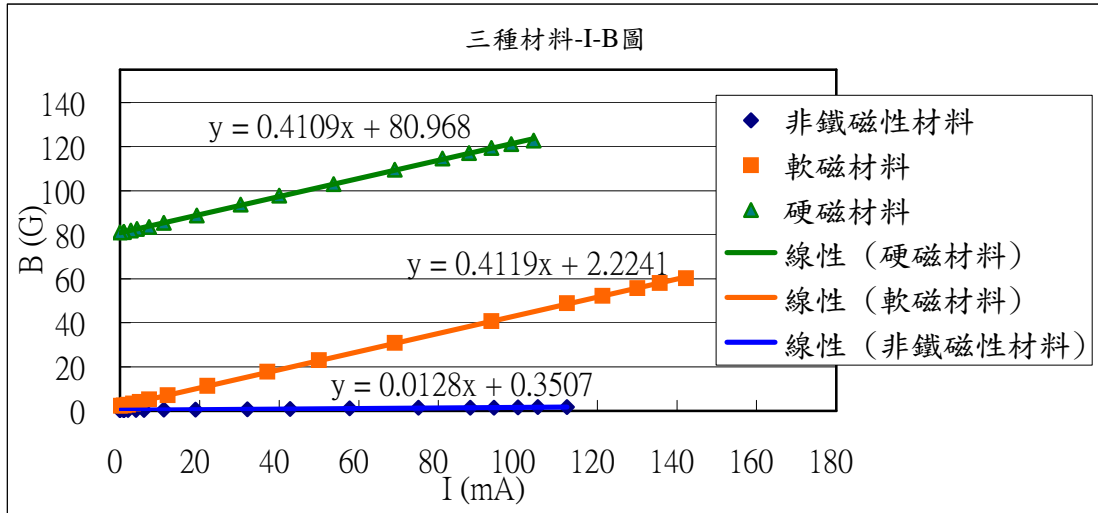
表三(磁場(G)與電流(mA)數據表)

| | | | | | | | | | | |
|--------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| B=80.6 | I | 104.0 | 99.0 | 93.0 | 88.0 | 81.0 | 70.0 | 54.0 | 40.0 | 31.0 |
| | B | 123.8 | 122.1 | 120.3 | 118.0 | 115.5 | 110.5 | 104.1 | 98.3 | 94.0 |
| | I | 20.0 | 11.0 | 8.0 | 4.0 | 3.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 89.3 | 85.8 | 83.9 | 83.1 | 82.2 | 81.8 | 81.5 | 81.4 | |
| B=80.6 | I | 103.0 | 97.0 | 93.0 | 87.0 | 81.0 | 68.0 | 53.0 | 40.0 | 30.0 |
| | B | 122.2 | 120.6 | 119.0 | 116.7 | 114.4 | 109.0 | 102.0 | 97.6 | 93.5 |
| | I | 19.0 | 11.0 | 7.0 | 5.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 88.6 | 85.5 | 83.5 | 82.6 | 81.9 | 81.2 | 81.2 | 81.1 | |
| B=80.6 | I | 105.0 | 99.0 | 94.0 | 88.0 | 81.0 | 69.0 | 54.0 | 40.0 | 30.0 |
| | B | 122.6 | 121.0 | 119.1 | 116.7 | 114.3 | 109.4 | 103.0 | 97.5 | 93.5 |
| | I | 19.0 | 11.0 | 7.0 | 4.0 | 3.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 88.5 | 85.1 | 83.4 | 82.3 | 81.6 | 81.2 | 81.0 | 80.8 | |
| 平均 | I | 104.0 | 98.3 | 93.3 | 87.7 | 81.0 | 69.0 | 53.7 | 40.0 | 30.3 |
| | B | 122.9 | 121.2 | 119.5 | 117.1 | 114.7 | 109.6 | 103.0 | 97.8 | 93.7 |
| | I | 19.3 | 11.0 | 7.3 | 4.3 | 2.7 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | |
| | B | 88.8 | 85.5 | 83.6 | 82.7 | 81.9 | 81.4 | 81.2 | 81.1 | |

圖三(磁場(G)與電流(mA)對應圖)



圖四(磁場(G)與電流(mA)對應圖)



2. 【討論】

- (1) 由圖一、圖二、圖三 可看出斜率為正，也就是線圈電流越大，得到的感應磁場越大。

依據Ampere's Law，螺旋管磁場 $B = \mu_0 \mu_r \cdot n \cdot I$ ，由於測量點在端口部分，螺旋管的端口磁場為 $B = \frac{1}{2} \mu_0 \mu_r \cdot n \cdot I$ 在相同的芯物質下，磁場對電流微

分， $\frac{dB}{dI} = \frac{1}{2} \mu_0 \mu_r n > 0$ ，實驗結果符合理論。

- (2) 由圖一、圖二、圖三可分別求出木棒，低碳鋼棒，磁鐵棒三種材料感應磁場隨著電流變化的斜率為 1.28×10^{-3} 、 4.119×10^{-2} 、 4.109×10^{-2} (單位：T/A)

木棒：

$$\mu_r = 2 \frac{dB}{dI} \times \frac{1}{\mu_0} \times \frac{1}{n} = 2 \times 1.28 \times 2.8 \times \frac{1}{4\pi} = 0.57 \text{ T/A}$$

低碳鋼棒：

$$\mu_r = 2 \frac{dB}{dI} \times \frac{1}{\mu_0} \times \frac{1}{n} = 2 \times 4.119 \times 2.8 \times \frac{1}{4\pi} \times 10 = 18.36 \text{ T/A}$$

磁鐵棒：

$$\mu_r = 2 \frac{dB}{dI} \times \frac{1}{\mu_0} \times \frac{1}{n} = 2 \times 4.109 \times 2.8 \times \frac{1}{4\pi} \times 10 = 18.31 \text{ T/A}$$

根據文獻(1)，非鐵磁性材料 μ_r 為 1，鐵磁性材料則為 20~100。

三種材料理論值與實驗值是相近的。

- (3) 當一磁性物質受一逐漸增強之外加磁場作用時，其磁化現象亦隨之增強，但外加磁場減為 0 時，其磁場曲線將不會回到原點，而會維持一定量的狀態，此時，這個定量值所具有的磁場稱為該磁性物質之殘磁量。而從圖中可看出，當外加電流為 0 時，芯物質為木棒，低碳鋼棒和磁鐵棒的磁場分別為 0.3G，2.4G，81.1G。木棒和低碳鋼棒的磁場幾乎為 0，而磁鐵棒的磁場仍還有殘磁，表現出硬磁材料的特性。

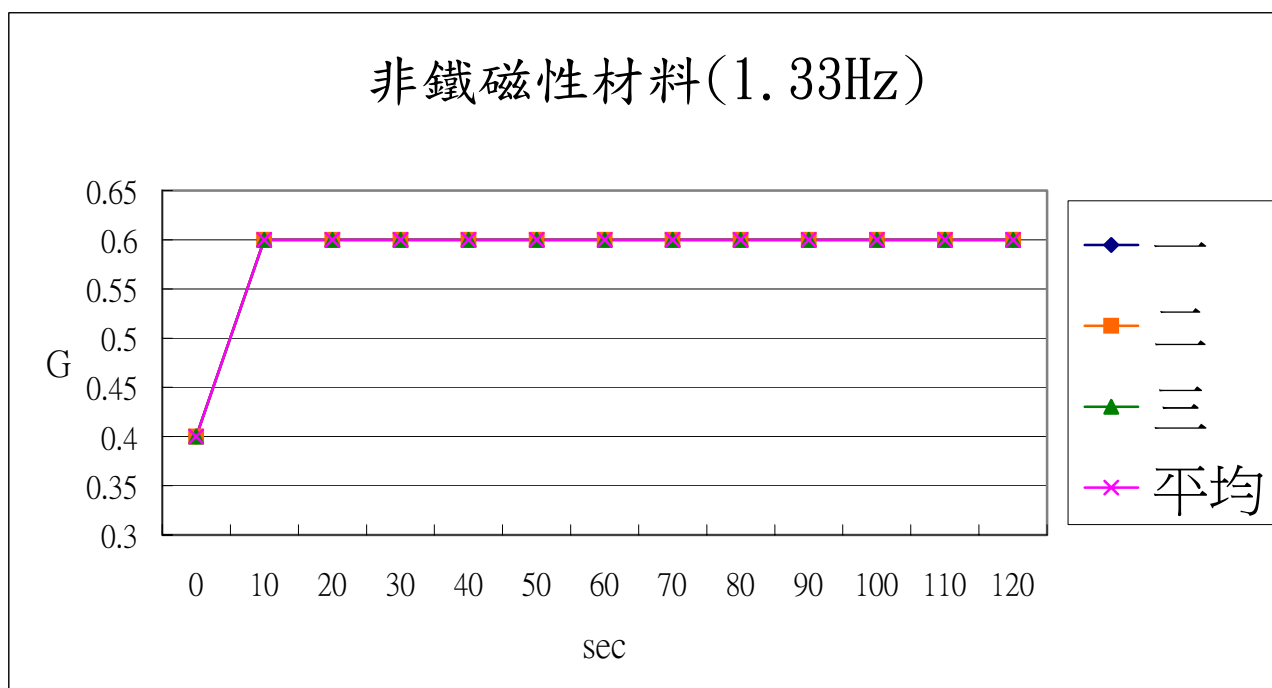
二、不同頻率的打點開關，對磁力大小的影響。

1. 【結果】

f=1.33Hz I=20mA 表 4-1(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 一 | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 二 | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 三 | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 平均 | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | |
| 二 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | |
| 三 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | |
| 平均 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | |

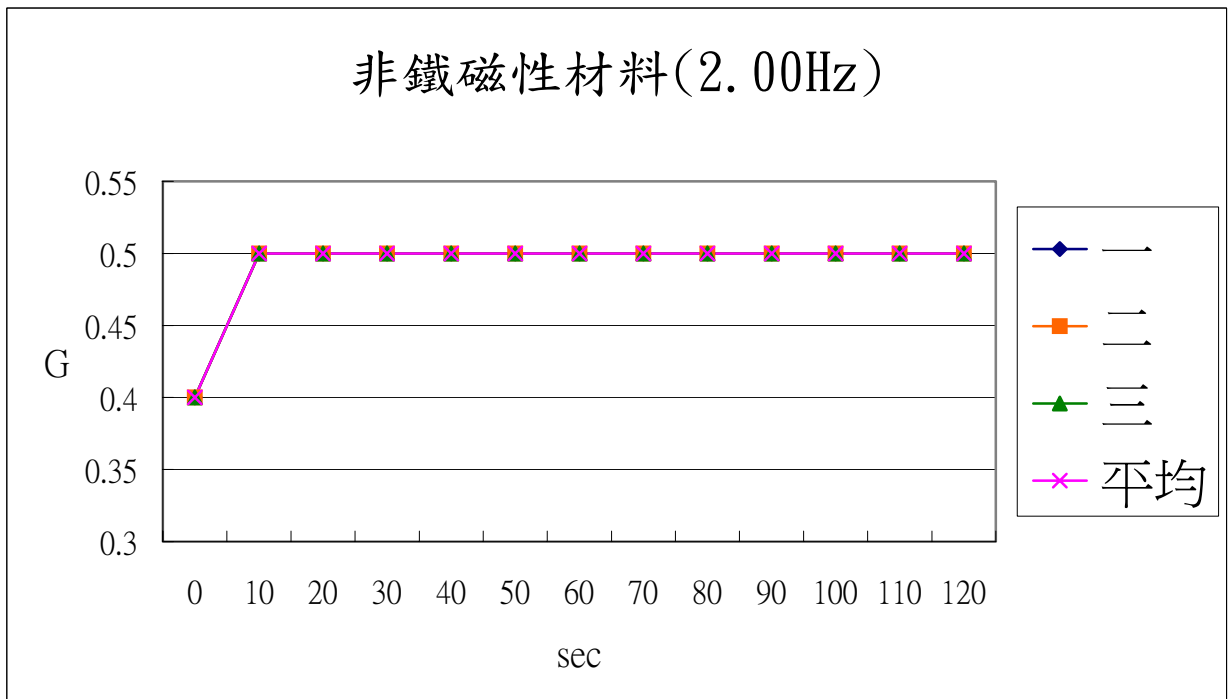
圖 4-1(時間(sec)對磁場(G)作圖)



f=2.00Hz I=18mA 表 4-2(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 一 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 二 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 三 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 平均 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| 二 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| 三 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| 平均 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |

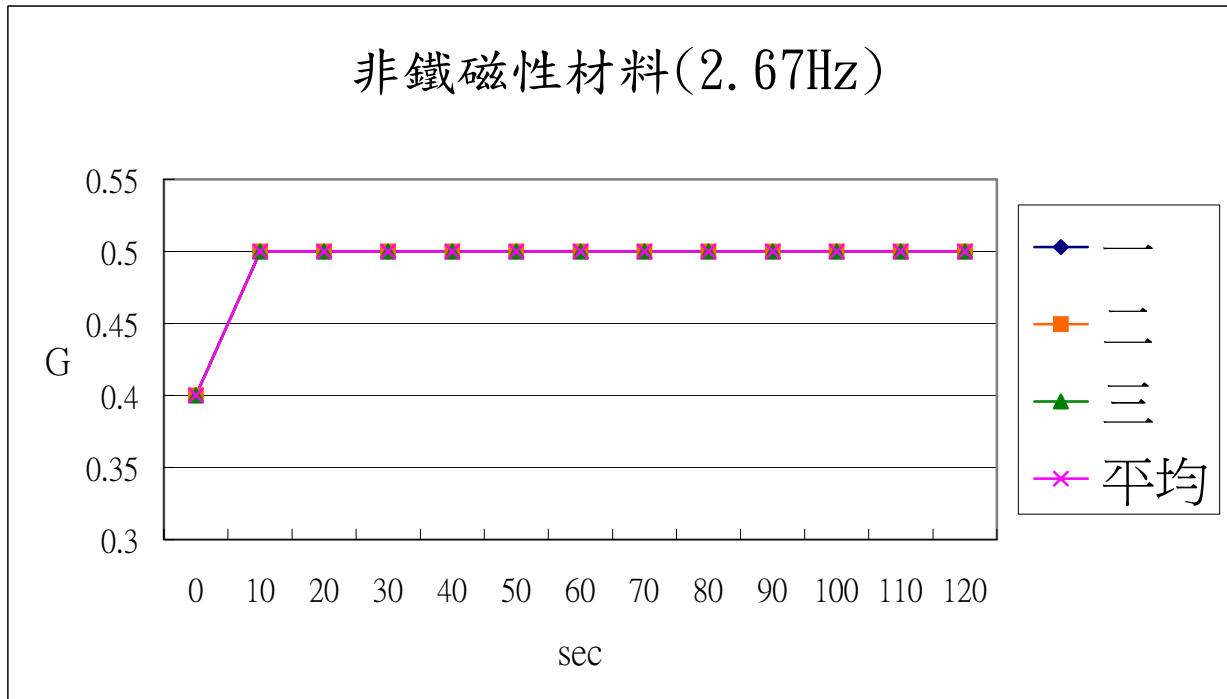
圖 4-2(時間(sec)對磁場(G)作圖)



f=2.67Hz I=17mA 表 4-3(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 一 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 二 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 三 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 平均 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| 二 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| 三 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| 平均 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |

圖 4-3(時間(sec)對磁場(G)作圖)



f=3.20Hz I=17mA 表 4-4(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 一 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 二 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 三 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 平均 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | |
| 二 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | |
| 三 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | |
| 平均 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | |

圖 4-4(時間(sec)對磁場(G)作圖)

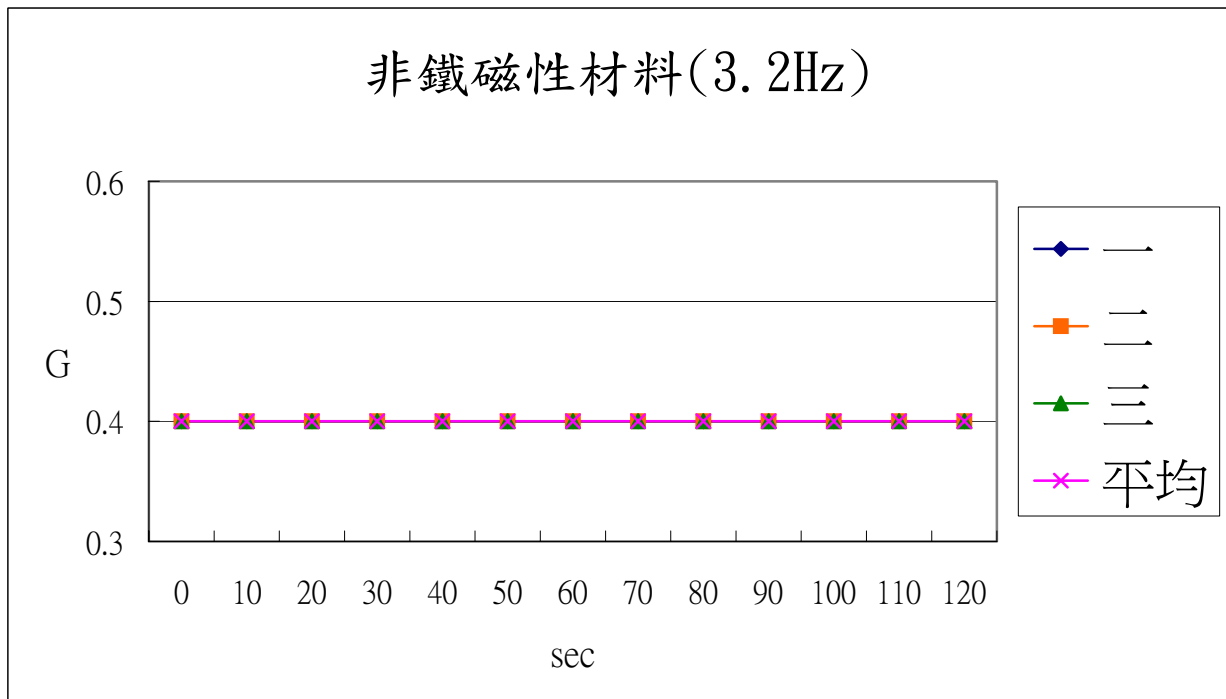
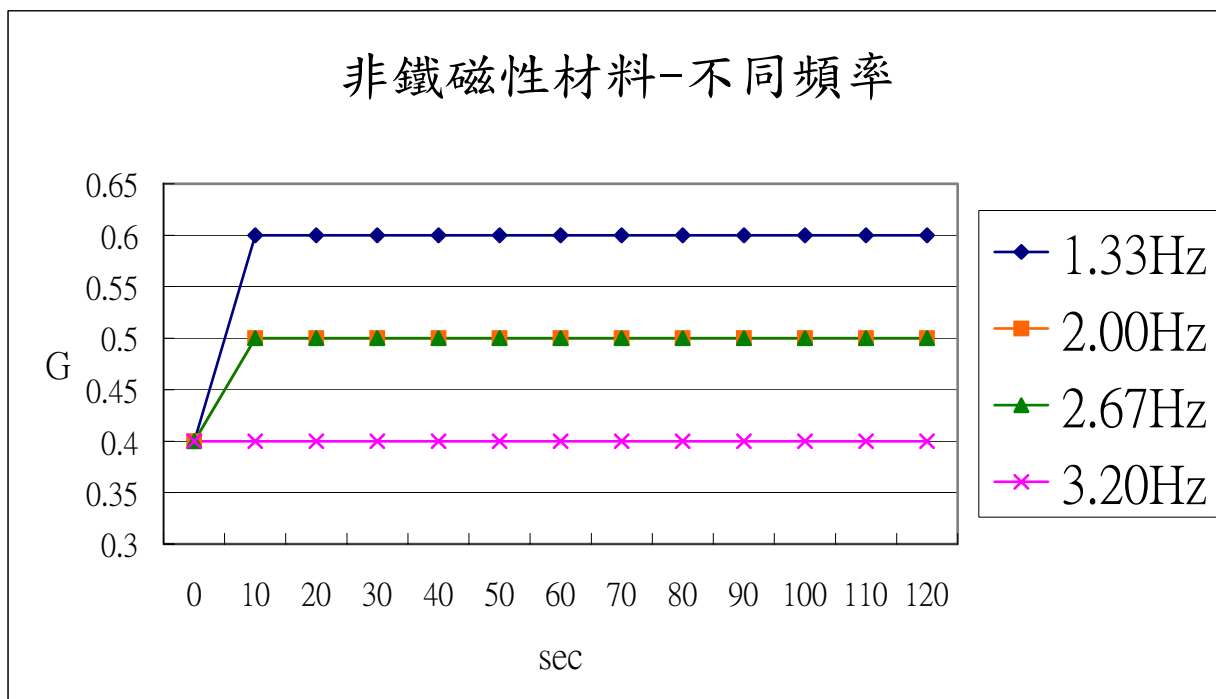


表 4-5(每十秒量測出的磁場大小值)

| 頻率 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1.33Hz | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 2.00Hz | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 2.67Hz | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 3.20Hz | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 頻率 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 1.33Hz | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | |
| 2.00Hz | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| 2.67Hz | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| 3.20Hz | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | |

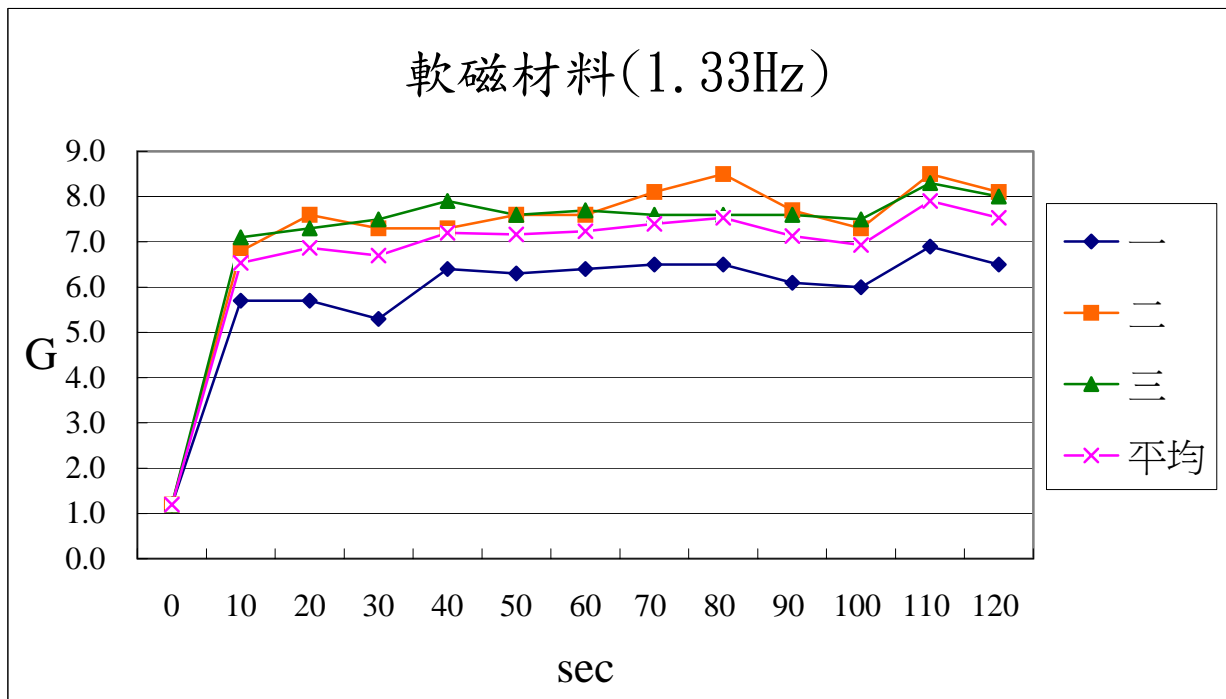
圖 4-5(時間(sec)對磁場(G)作圖)



f=1.33Hz I=13mA 表 5-1(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 一 | 1.2 | 5.7 | 5.7 | 5.3 | 6.4 | 6.3 | 6.4 |
| 二 | 1.2 | 6.8 | 7.6 | 7.3 | 7.3 | 7.6 | 7.6 |
| 三 | 1.2 | 7.1 | 7.3 | 7.5 | 7.9 | 7.6 | 7.7 |
| 平均 | 1.2 | 6.5 | 6.9 | 6.7 | 7.2 | 7.2 | 7.2 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 6.5 | 6.5 | 6.1 | 6.0 | 6.9 | 6.5 | |
| 二 | 8.1 | 8.5 | 7.7 | 7.3 | 8.5 | 8.1 | |
| 三 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.5 | 8.3 | 8.0 | |
| 平均 | 7.4 | 7.5 | 7.1 | 6.9 | 7.9 | 7.5 | |

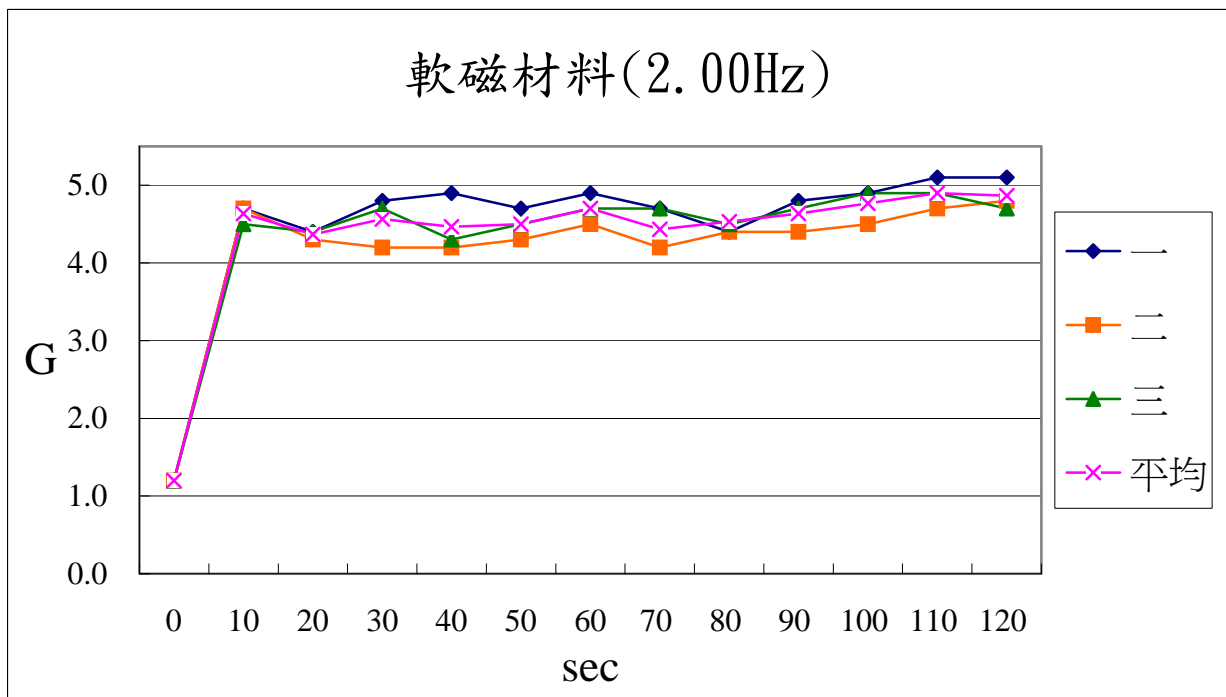
圖 5-1(時間(sec)對磁場(G)作圖)



f=2.00Hz I=8mA 表 5-2(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 一 | 1.2 | 4.7 | 4.4 | 4.8 | 4.9 | 4.7 | 4.9 |
| 二 | 1.2 | 4.7 | 4.3 | 4.2 | 4.2 | 4.3 | 4.5 |
| 三 | 1.2 | 4.5 | 4.4 | 4.7 | 4.3 | 4.5 | 4.7 |
| 平均 | 1.2 | 4.6 | 4.4 | 4.6 | 4.5 | 4.5 | 4.7 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 4.7 | 4.4 | 4.8 | 4.9 | 5.1 | 5.1 | |
| 二 | 4.2 | 4.4 | 4.4 | 4.5 | 4.7 | 4.8 | |
| 三 | 4.7 | 4.5 | 4.7 | 4.9 | 4.9 | 4.7 | |
| 平均 | 4.5 | 4.4 | 4.6 | 4.8 | 4.9 | 4.9 | |

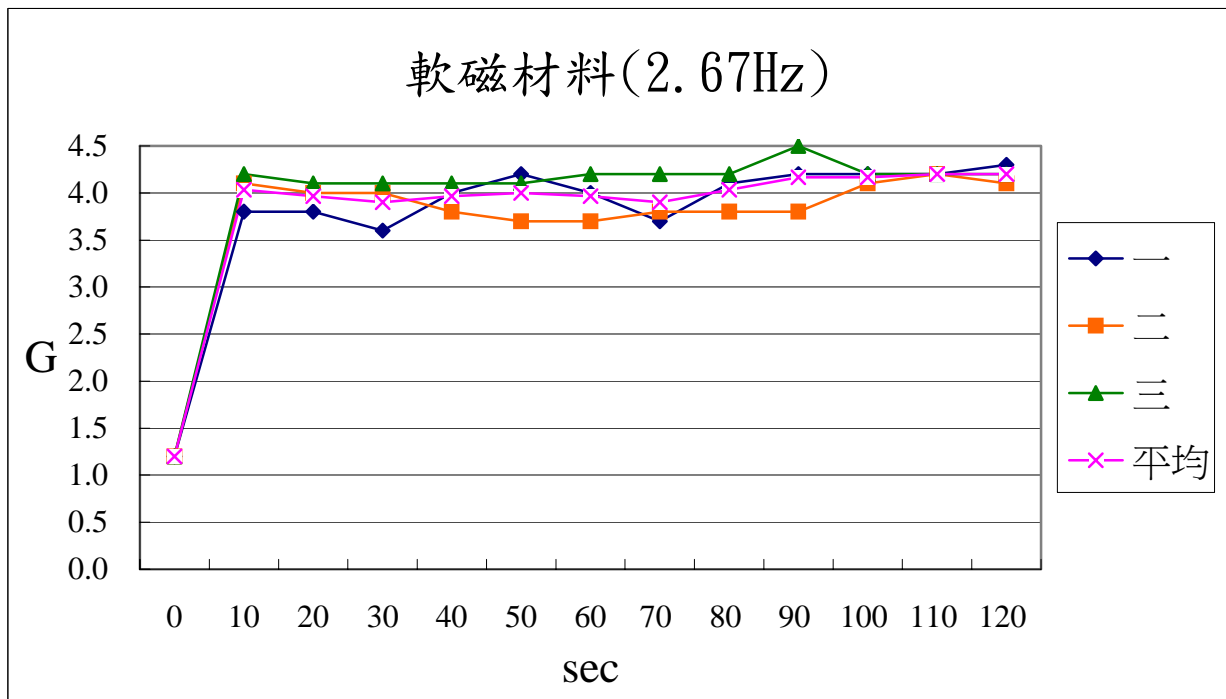
圖 5-2(時間(sec)對磁場(G)作圖)



f=2.67Hz I=7mA 表 5-3(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 一 | 1.2 | 3.8 | 3.8 | 3.6 | 4.0 | 4.2 | 4.0 |
| 二 | 1.2 | 4.1 | 4.0 | 4.0 | 3.8 | 3.7 | 3.7 |
| 三 | 1.2 | 4.2 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.2 |
| 平均 | 1.2 | 4.0 | 4.0 | 3.9 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 3.7 | 4.1 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 4.3 | |
| 二 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 4.1 | 4.2 | 4.1 | |
| 三 | 4.2 | 4.2 | 4.5 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | |
| 平均 | 3.9 | 4.0 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | |

圖 5-3(時間(sec)對磁場(G)作圖)



f=3.20Hz I=6mA 表 5-4(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 一 | 1.2 | 3.7 | 3.8 | 4.0 | 3.7 | 3.7 | 3.7 |
| 二 | 1.2 | 3.7 | 3.6 | 3.4 | 3.6 | 3.4 | 3.7 |
| 三 | 1.2 | 3.6 | 3.6 | 3.4 | 3.4 | 3.3 | 3.6 |
| 平均 | 1.2 | 3.7 | 3.7 | 3.6 | 3.6 | 3.5 | 3.7 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.8 | 3.7 | |
| 二 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | |
| 三 | 3.7 | 3.6 | 3.7 | 3.7 | 3.6 | 3.7 | |
| 平均 | 3.7 | 3.6 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | |

圖 5-4(時間(sec)對磁場(G)作圖)

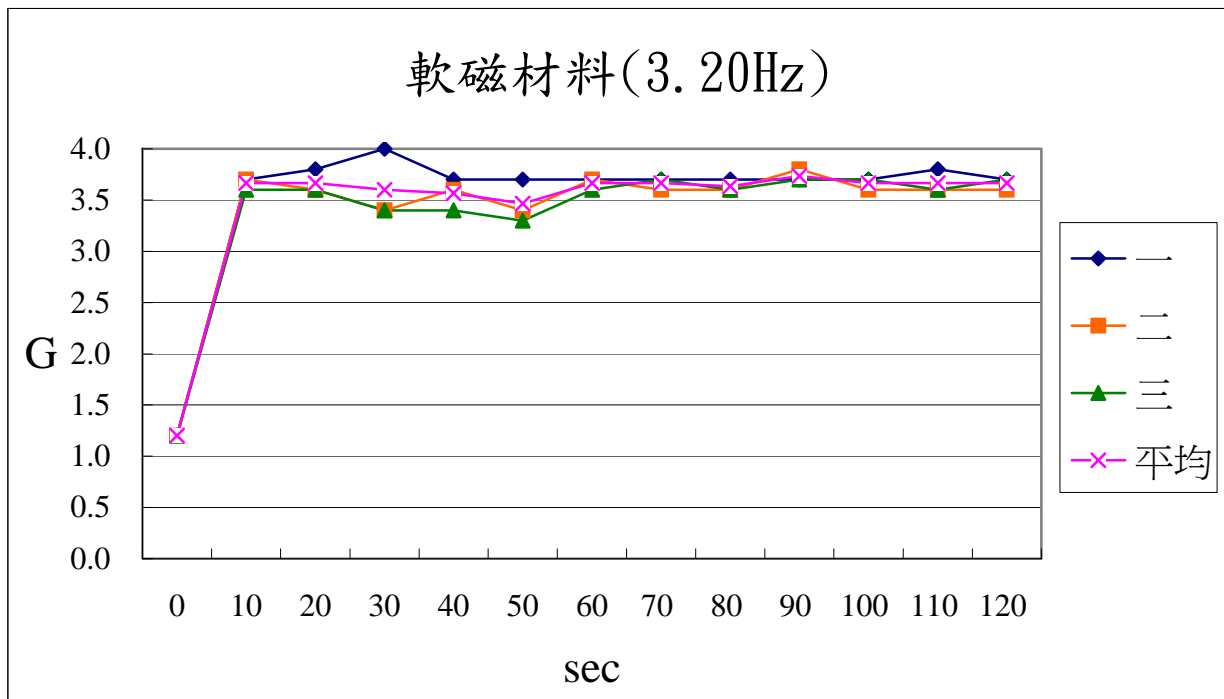
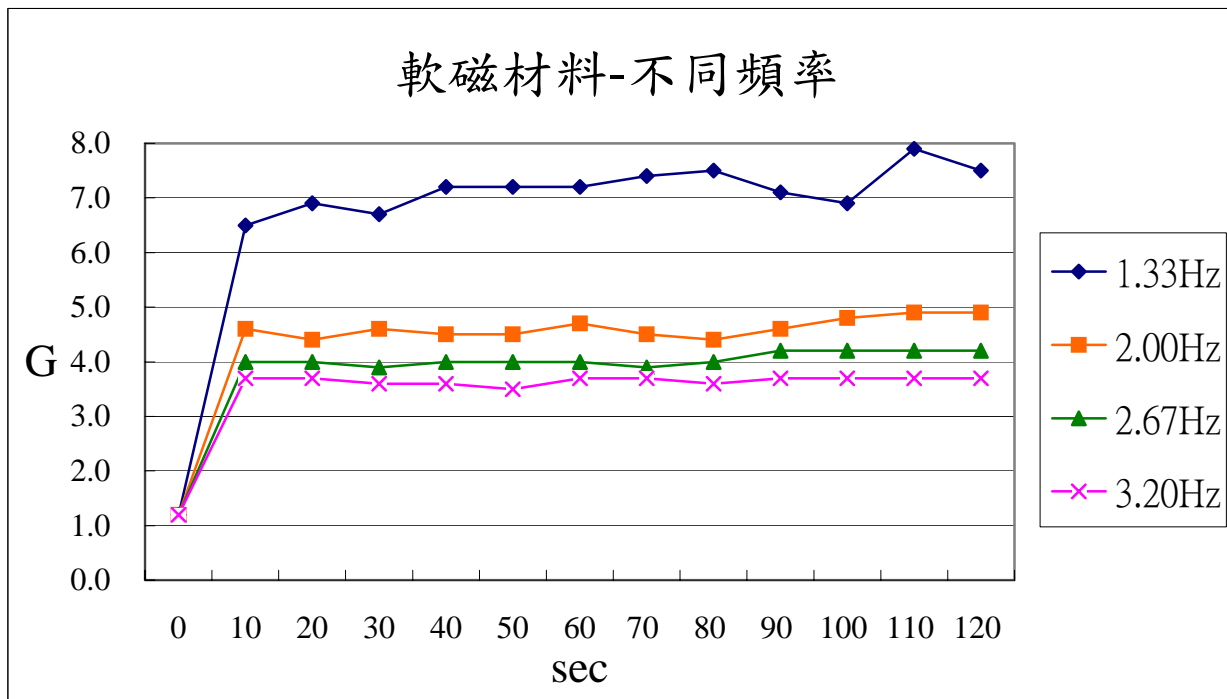


表 5-5(每十秒量測出的磁場大小值)

| 頻率 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1.33Hz | 1.2 | 6.5 | 6.9 | 6.7 | 7.2 | 7.2 | 7.2 |
| 2.00Hz | 1.2 | 4.6 | 4.4 | 4.6 | 4.5 | 4.5 | 4.7 |
| 2.67Hz | 1.2 | 4.0 | 4.0 | 3.9 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| 3.20Hz | 1.2 | 3.7 | 3.7 | 3.6 | 3.6 | 3.5 | 3.7 |
| 頻率 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 1.33Hz | 7.4 | 7.5 | 7.1 | 6.9 | 7.9 | 7.5 | |
| 2.00Hz | 4.5 | 4.4 | 4.6 | 4.8 | 4.9 | 4.9 | |
| 2.67Hz | 3.9 | 4.0 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | |
| 3.20Hz | 3.7 | 3.6 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | |

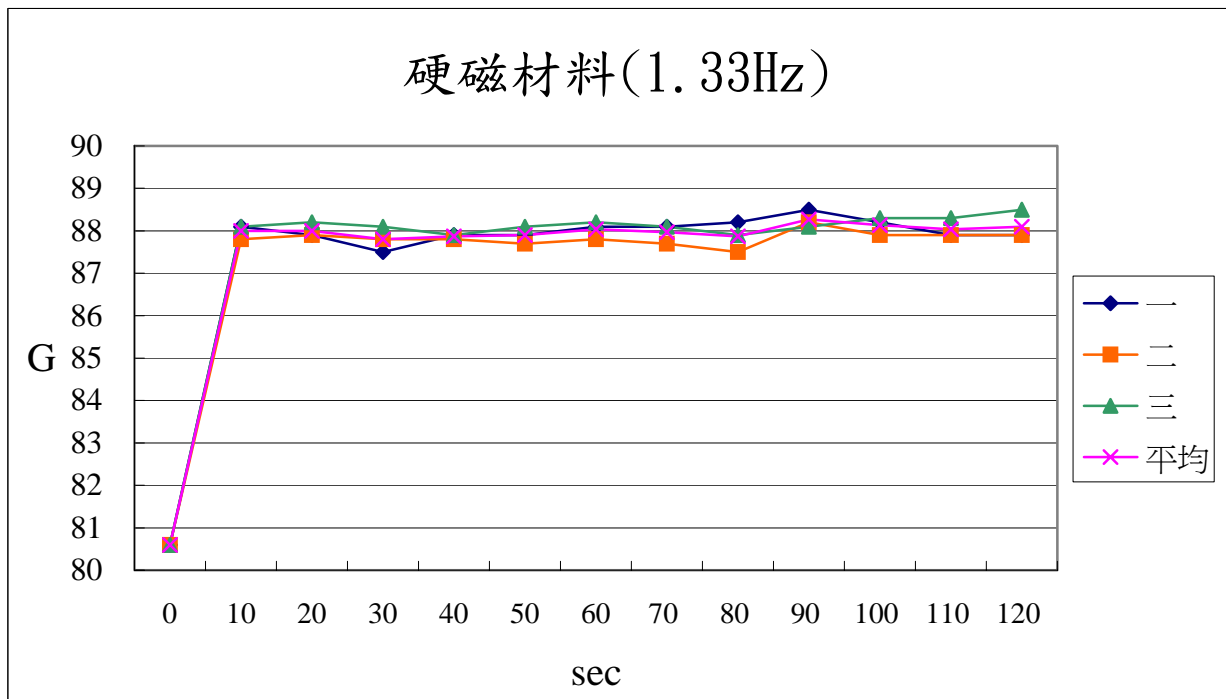
圖 5-5(時間(sec)對磁場(G)作圖)



f=1.33Hz I=13mA 表 6-1(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| 一 | 80.6 | 88.1 | 87.9 | 87.5 | 87.9 | 87.9 | 88.1 |
| 二 | 80.6 | 87.8 | 87.9 | 87.8 | 87.8 | 87.7 | 87.8 |
| 三 | 80.6 | 88.1 | 88.2 | 88.1 | 87.9 | 88.1 | 88.2 |
| 平均 | 80.6 | 88.0 | 88.0 | 87.8 | 87.9 | 87.9 | 88.0 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 88.1 | 88.2 | 88.5 | 88.2 | 87.9 | 87.9 | |
| 二 | 87.7 | 87.5 | 88.2 | 87.9 | 87.9 | 87.9 | |
| 三 | 88.1 | 87.9 | 88.1 | 88.3 | 88.3 | 88.5 | |
| 平均 | 88.0 | 87.9 | 88.3 | 88.1 | 88.0 | 88.1 | |

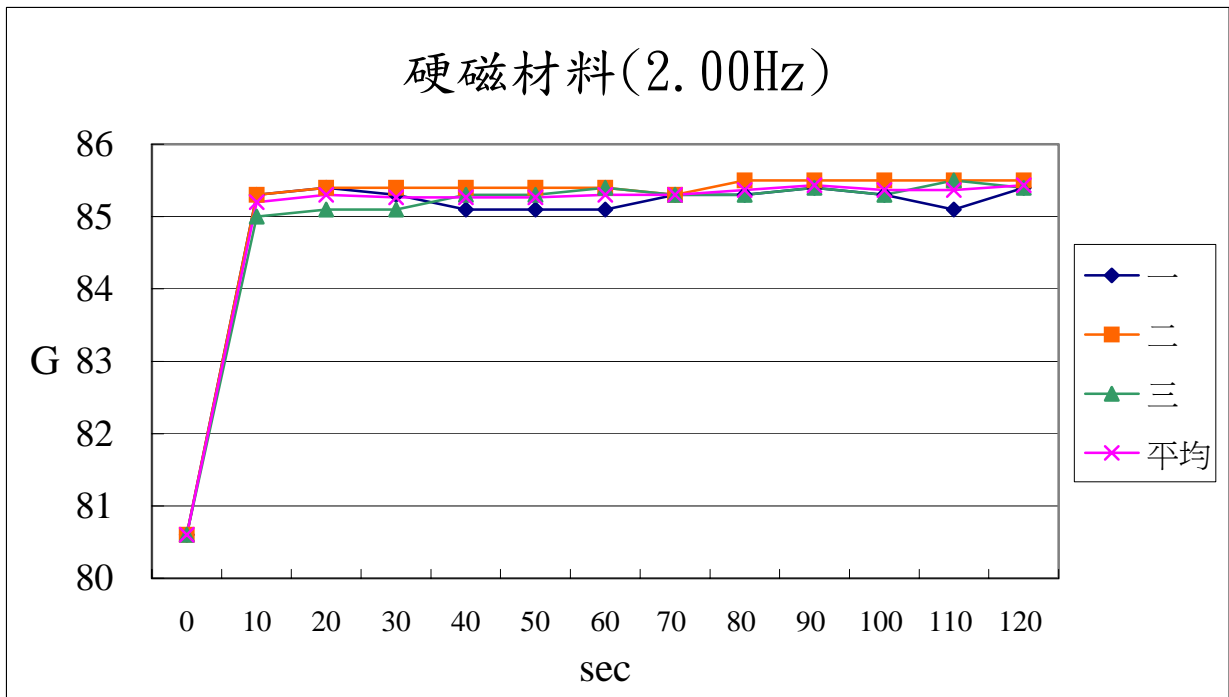
圖 6-1(時間(sec)對磁場(G)作圖)



f=2.00Hz I=9mA 表 6-2(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| 一 | 80.6 | 85.3 | 85.4 | 85.3 | 85.1 | 85.1 | 85.1 |
| 二 | 80.6 | 85.3 | 85.4 | 85.4 | 85.4 | 85.4 | 85.4 |
| 三 | 80.6 | 85.0 | 85.1 | 85.1 | 85.3 | 85.3 | 85.4 |
| 平均 | 80.6 | 85.2 | 85.3 | 85.3 | 85.3 | 85.3 | 85.3 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 85.3 | 85.3 | 85.4 | 85.3 | 85.1 | 85.4 | |
| 二 | 85.3 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | |
| 三 | 85.3 | 85.3 | 85.4 | 85.3 | 85.5 | 85.4 | |
| 平均 | 85.3 | 85.4 | 85.4 | 85.4 | 85.4 | 85.4 | |

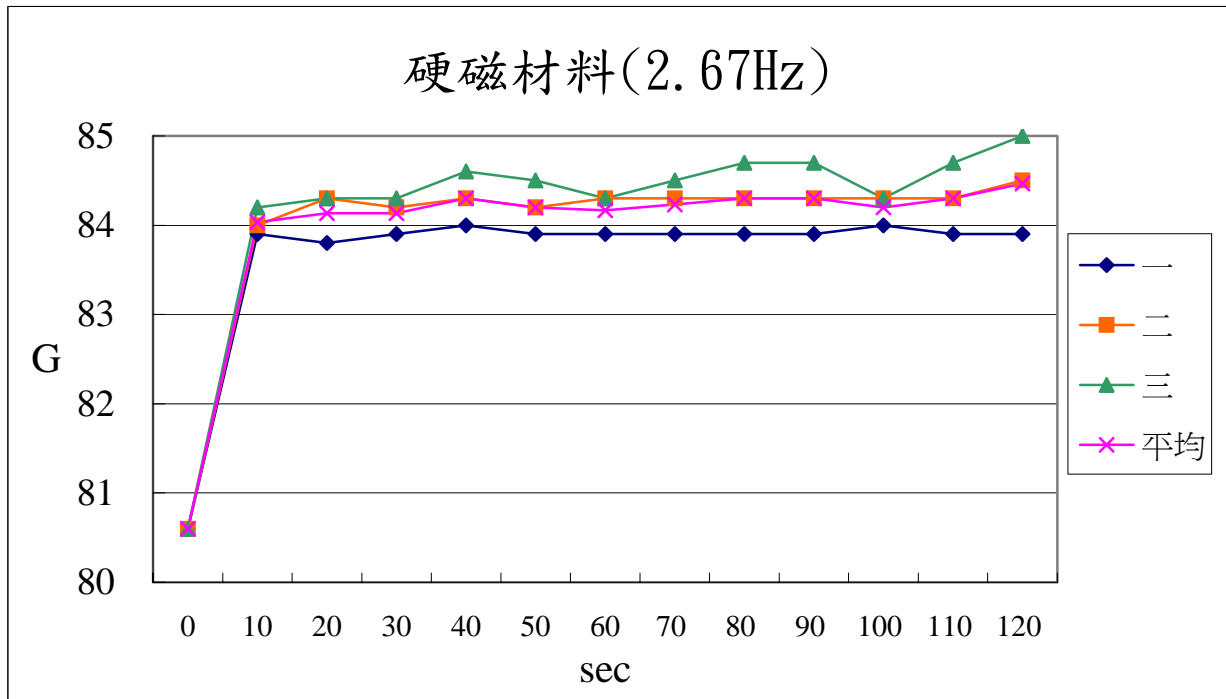
圖 6-2(時間(sec)對磁場(G)作圖)



f=2.67Hz I=8mA 表 6-3(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| 一 | 80.6 | 83.9 | 83.8 | 83.9 | 84.0 | 83.9 | 83.9 |
| 二 | 80.6 | 84.0 | 84.3 | 84.2 | 84.3 | 84.2 | 84.3 |
| 三 | 80.6 | 84.2 | 84.3 | 84.3 | 84.6 | 84.5 | 84.3 |
| 平均 | 80.6 | 84.0 | 84.1 | 84.1 | 84.3 | 84.2 | 84.2 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 83.9 | 83.9 | 83.9 | 84.0 | 83.9 | 83.9 | |
| 二 | 84.3 | 84.3 | 84.3 | 84.3 | 84.3 | 84.5 | |
| 三 | 84.5 | 84.7 | 84.7 | 84.3 | 84.7 | 85.0 | |
| 平均 | 84.2 | 84.3 | 84.3 | 84.2 | 84.3 | 84.5 | |

圖 6-3(時間(sec)對磁場(G)作圖)



f=3.20Hz I=7mA 表 6-4(每十秒量測出的磁場大小值)

| 次數 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| 一 | 80.6 | 83.4 | 83.2 | 83.2 | 83.4 | 83.6 | 83.6 |
| 二 | 80.6 | 83.5 | 83.4 | 83.4 | 83.4 | 83.4 | 83.4 |
| 三 | 80.6 | 83.4 | 83.4 | 83.5 | 83.5 | 83.5 | 83.6 |
| 平均 | 80.6 | 83.4 | 83.3 | 83.4 | 83.4 | 83.5 | 83.5 |
| 次數 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 一 | 83.4 | 83.6 | 83.6 | 83.4 | 83.8 | 83.6 | |
| 二 | 83.5 | 83.5 | 83.6 | 83.8 | 83.8 | 83.8 | |
| 三 | 83.6 | 83.8 | 83.9 | 83.8 | 83.9 | 83.9 | |
| 平均 | 83.5 | 83.6 | 83.7 | 83.7 | 83.8 | 83.8 | |

圖 6-4(時間(sec)對磁場(G)作圖)

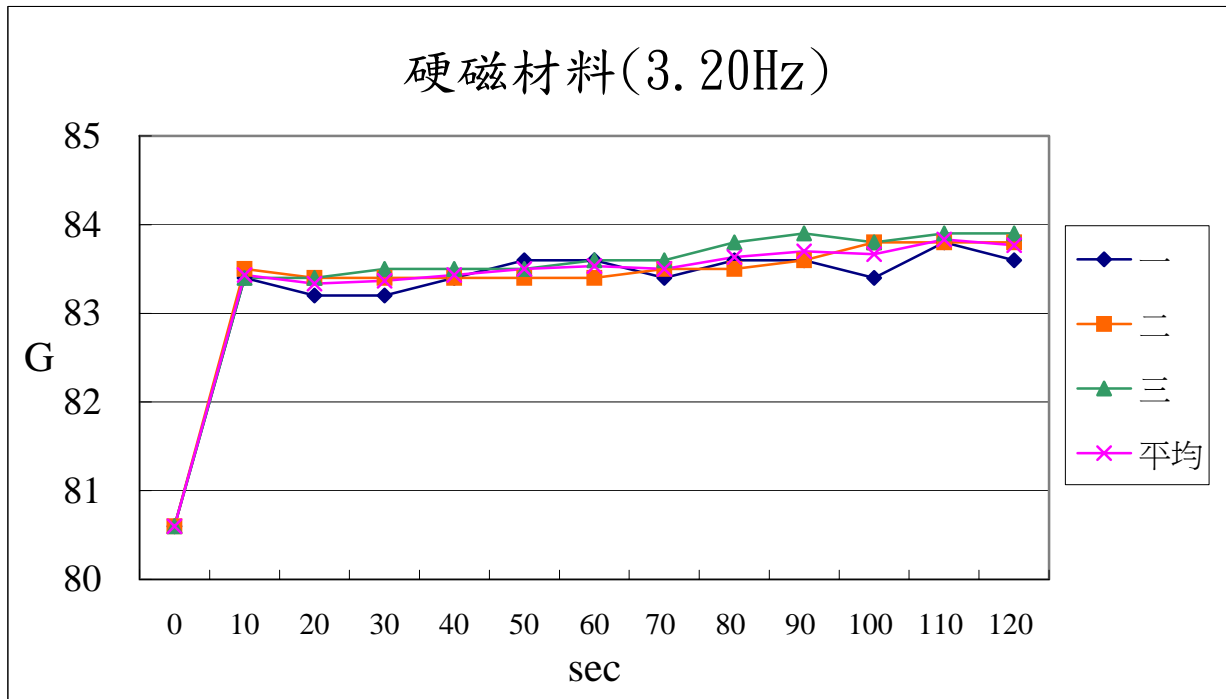
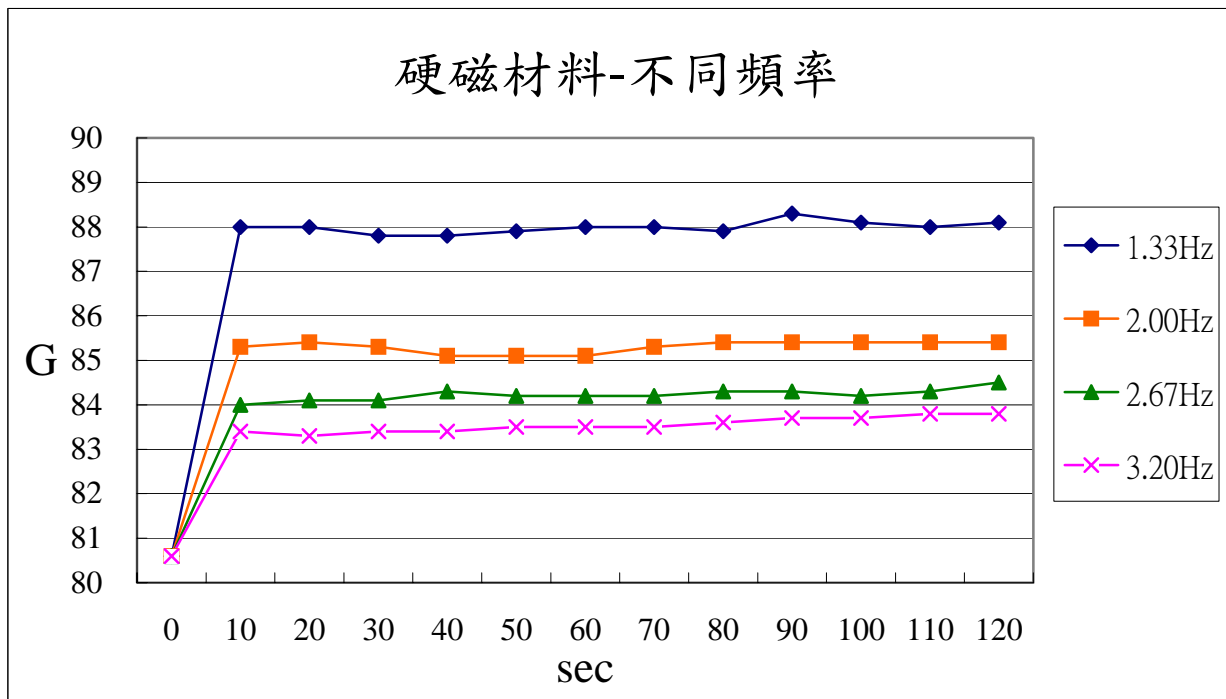


表 6-5(每十秒量測出的磁場大小值)

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| 頻率 \ 秒數 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 1.33Hz | 80.6 | 88.0 | 88.0 | 87.8 | 87.8 | 87.9 | 88.0 |
| 2.00Hz | 80.6 | 85.3 | 85.4 | 85.3 | 85.1 | 85.1 | 85.1 |
| 2.67Hz | 80.6 | 84.0 | 84.1 | 84.1 | 84.3 | 84.2 | 84.2 |
| 3.20Hz | 80.6 | 83.4 | 83.3 | 83.4 | 83.4 | 83.5 | 83.5 |
| 頻率 \ 秒數 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | |
| 1.33Hz | 88.0 | 87.9 | 88.3 | 88.1 | 88.0 | 88.1 | |
| 2.00Hz | 85.3 | 85.4 | 85.4 | 85.4 | 85.4 | 85.4 | |
| 2.67Hz | 84.2 | 84.3 | 84.3 | 84.2 | 84.3 | 84.5 | |
| 3.20Hz | 83.5 | 83.6 | 83.7 | 83.7 | 83.8 | 83.8 | |

圖 6-5(時間(sec)對磁場(G)作圖)



2.【討論】

我們發現當開關頻率不同時，線圈上的電流大小也不盡相同(紀錄如下表)，配合實驗二中開關頻率對感應磁場的圖(圖 4-5、圖 5-5、圖 6-5)，取最大的感應磁場，並對照實驗一中電流對感應磁場的圖(圖四)，用內插法求出不同電流所應得的感應磁場。發現兩者感應的磁場大小相近。因此我們推論，開關頻率影響線圈電流，線圈電流影響感應磁場。

非鐵磁性材料

| | | | | | |
|-----|-------|------|------|------|------|
| 實驗一 | I(mA) | 20.0 | 18.0 | 17.0 | 17.0 |
| | B(G) | 0.61 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| 實驗二 | f(Hz) | 1.33 | 2.00 | 2.67 | 3.20 |
| | I(mA) | 20.0 | 18.0 | 17.0 | 17.0 |
| | B(G) | 0.60 | 0.50 | 0.50 | 0.40 |

軟磁材料

| | | | | | |
|-----|-------|------|------|------|------|
| 實驗一 | I(mA) | 13.0 | 7.6 | 6.7 | 5.7 |
| | B(G) | 7.60 | 5.14 | 4.73 | 4.18 |
| 實驗二 | f(Hz) | 1.33 | 2.00 | 2.67 | 3.20 |
| | I(mA) | 13.0 | 7.6 | 6.7 | 5.7 |
| | B(G) | 7.50 | 4.90 | 4.20 | 3.70 |

硬磁材料

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 實驗一 | I(mA) | 13.3 | 9.0 | 8.0 | 7.3 |
| | B(G) | 86.40 | 84.70 | 84.30 | 84.00 |
| 實驗二 | f(Hz) | 1.33 | 2.00 | 2.67 | 3.20 |
| | I(mA) | 1.3 | 9.0 | 8.0 | 7.3 |
| | B(G) | 88.30 | 85.40 | 84.50 | 83.80 |

捌、結論

- 一、由實驗一可知，感應磁場的大小，會隨線圈電流增加而變大，呈現斜率為正之結果，其結果符合 Ampere' s Law。
- 二、由實驗數據算出木棒之 μ_r 值為 0.57，低碳鋼棒之 μ_r 值為 18.36，磁鐵棒之 μ_r 值為 18.31。根據文獻資料⁽¹⁾，非鐵磁性材料之 μ_r 值為 1，鐵磁性材料之 μ_r 值為 20~200，實驗值略小於理論值。
- 三、在實驗一中，發現移去外加電流後，磁鐵棒上仍有磁性的殘留，表現出硬磁材料的特性。
- 四、改變開關頻率會影響電流的大小，也間接影響感應磁場的大小，再度驗證了感應磁場大小正比於螺旋管導線上的電流大小。

玖、參考資料

- 一、范元昌、蘇健忠、翁震灼、陳俊沐鋁、鎂合金半固態觸變鑄造技術，輕金屬特刊，p133
- 二、佳準科技股份有限公司，科儀新知佳準科技股份有限公司-科儀新知，磁性材料特性與量測方法簡介，p2，p4