

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

040113

變頻磁場的研究

學校名稱： 國立臺南第一高級中學

作者：	指導老師：
高二 陸意德	黃木全
高二 許家綸	羅焜哲

變頻交流電磁場的研究

摘要

本實驗利用函數產生器、功率放大器及電源供應器，組成自製可變頻率交流電源，探討頻率 f 對螺線管磁場的影響，得知磁場倒數 $1/B$ 與交流電源的頻率 f 成線性關係。我們也提出 $1/B$ 對 f 的正比係數的理論值 $\frac{2\pi n \nabla}{V_o}$ ，並獲得實驗數據的驗證。

變頻交流電的磁場研究

一・實驗動機

我們對於電解質在變動磁場下是否有渦電流現象很感興趣，原本這樣設計實驗：

「利用 60Hz、110V 的交流電通入串聯電阻的線圈，先在線圈上放一杯水，測量液面上磁場的大小，再把電解質溶入水中，再量一次液面上磁場大小，利用兩次磁場大小的變化，討論電解質渦電流的現象。因為我們認為電解質在水中會解離出離子，變化的磁場通過電解質時，部分磁場會使電解質中的離子運動（法拉第定律），所以電解質溶液液面的磁場應會比水面的磁場小。」

我們嘗試進行一些實驗，但是並沒有量到明顯的現象。

與指導老師討論後，老師建議我們先自製可變頻率的交流電源，再從交流電在螺線管中產生的磁場開始研究，最後再進行電解質的渦電流研究。礙於時間及目前進度的關係，我們約定了現在這個題目：變頻交流電的磁場研究。

二・實驗目的

- 〈1〉 變動頻率的交流電輸入螺線管時，測量管內感應磁場振幅 B_0 ，討論 B_0 與變動頻率 f 之間的關係。
- 〈2〉 對螺線管輸入不同電壓 V ，討論輸入電壓 V 對「磁場振幅倒數 $1/B_0$ —頻率 f 關係」的影響。
- 〈3〉 改變不同的螺線管，討論螺線管對「磁場振幅倒數 $1/B_0$ —頻率 f 關係」的影響。
- 〈4〉 改變不同輸入波形，討論波形對「磁場振幅倒數 $1/B_0$ —頻率 f 關係」的影響。
- 〈5〉 嘗試討論通交流電的線圈，其感應磁場振幅倒數 $1/B_0$ 與頻率 f 的理論關係。

三・實驗器材及照片

➤ 自製可變頻率的交流電源

函數產生器(Sweep/Function Generator)	1 台	(Amrel Model FG-513,Taiwan)
穩壓電源供應器(Programmable Linear Power Supply)	1 台	(Amrel LPS-305,Taiwan)
功率放大器(BTL Audio Power Amplifier)	1 台	(P-318,Taiwan)

➤ 自製螺線管 3 組

螺線管編號	螺線管體積▽	漆包線纏繞密度 n
螺線管#1	221.6 公分 ³	32 匝 /公分
螺線管#2	659.8 公分 ³	32 匝 /公分
螺線管#3	659.8 公分 ³	24 匝 /公分

漆包線	1 捲
PVC 水管	2 段 (10cm, 20cm)
老虎鉗	1 支
砂紙	1 張
剪刀	1 把
白紙	n 張
膠帶	1 捲

➤ 測量儀器

Pasco 科學工作室(Pasco Science Workshop)	1 台	(750 Interface)
Pasco 磁場感應計	1 支	
零高斯槽(Zero Gauss Chamber)	1 個	(EM-8652)
Data Studio 軟體	1 組	

➤ 數據處理

Excel 軟體	1 組
----------	-----

➤ 其他

數位式三用電表	1 台	(Model YF-3503)
示波器(Oscilloscope) *監看波形是否失真	1 台	(Kenwood CS-4125)

➤ 實驗器材照片：



儀器組裝及測量



函數產生器



功率放大器



Pasco 磁場感應計



磁場校正用零高斯槽

四·原理

(一) 螺線管的磁場：

依照安培定律 $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$ ，

假設螺線管長 L ，共 N 匝，管內分佈均勻磁場 B ，

則取沿管長方向之方形環積分，

則 $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = BL = \mu_0 NI$ ，即 $B = \frac{\mu_0 NI}{L} = \mu_0 nI$ ， n 為單位管長所纏繞之匝數密度。

(二) 螺線管的電感：

假設螺線管長 L ，共 N 匝，已知 $B = \frac{\mu_0 NI}{L} = \mu_0 nI$

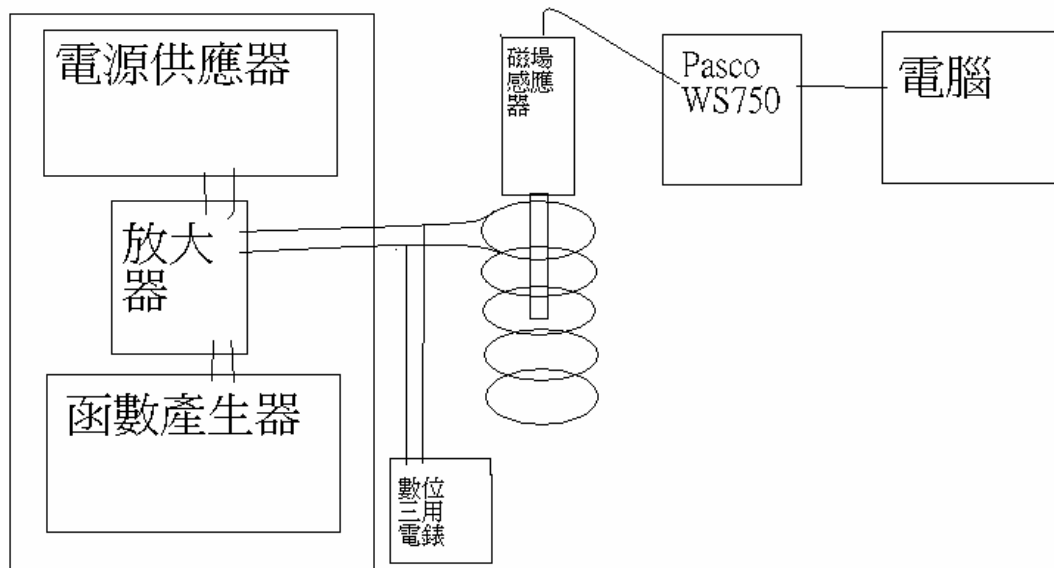
則通過每匝磁通量 $\Phi_B = BA = \frac{\mu_0 NI}{L} A$

依照電感定義 $L = \frac{N\Phi_B}{I} = \frac{\mu_0 N^2 A}{L} = \frac{\mu_0 N^2}{L^2} AL = \mu_0 n^2 \nabla$

$\nabla = AL$ 為螺線管體積。

五・實驗方法

主要實驗裝置如下圖所示：



左邊方塊為自製可變頻率的交流電源，將不同頻率 f 的交流電輸入螺線管，磁場感應計伸入螺線管中間，藉由 Pasco Science Workshop750 及 Data Studio 軟體，取得螺線管內的磁場 B 隨時間變化的數據。

- (1) 頻率 f 由函數產生器調整並讀得頻率 f 之值。
- (2) 輸入螺線管交流電壓由數位三用電表量得其方均根值 V_{rms} ，由功率放大器調整 V_{rms} 的大小，並外接示波器監看功率放大後的波形是否失真。
- (3) 測得磁場 B 為 \sin 波振盪，取磁場振幅 B_0 作後續討論。
- (4) 用固定粗細的漆包線，纏繞不同口徑的塑膠管，做成不同尺寸的螺線管。測量螺線管的半徑、總長度、纏繞密度 n ，反覆進行上述實驗。
- (5) 改變函數產生器的波形，重複上述實驗。

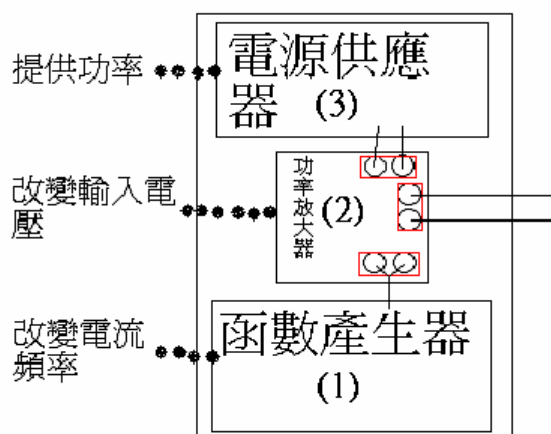
六·實驗結果與討論

實驗準備：自製可變頻率的交流電源

一開始，我們需要能夠改變頻率的交流電源，考慮台電公司的交流電即使經過變壓，其頻率還是固定為 60Hz，不能滿足我們改變頻率的要求。遇到這個瓶頸時，老師建議我們到成功大學電機系，向教授請教解決的方法。我們遇到很熱心的徐教授願意借我們儀器，不過必須到成大進行實驗，雖然很棒但可能無法與學校上課時間配合。

回校後與老師討論，老師希望我們盡可能地利用高中現有設備來解決問題，在經過一番討論、嘗試後，最後我們設計出下面的簡易自製可變頻率交流電源：

如右圖，利用可改變頻率的函數產生器 (Sweep/Function Generator) 作為原始交流電訊號來源，由電子材料行買來的音響用功率放大器 (BTL Audio Power Amplifier) 將交流電訊號放大，作為具有相當功率的交流電源輸出至螺線管，功率放大器的功率由數位穩壓直流電源供應器 (Programmable Linear Power Supply) 提供。



各個儀器的功用為：

- (1) 函數產生器：改變交流電頻率
- (2) 功率放大器：轉動其上的可變電阻，可調整輸入螺線管的電壓
- (3) 穩壓電源供應器：提供功率放大器的穩定電壓，是實際上功率的來源

我們自製的可變頻率交流電源具有以下優點：

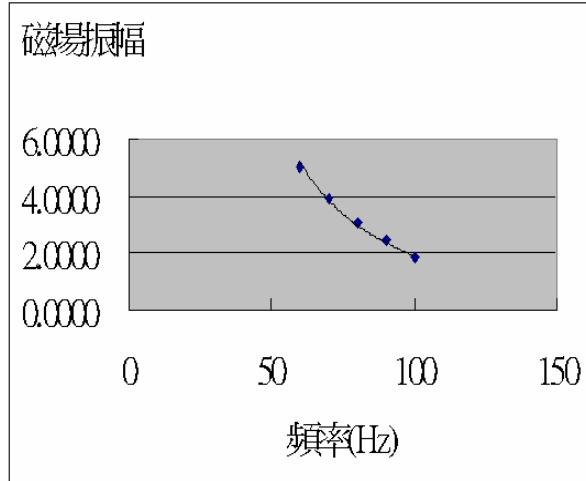
1. 來源頻率範圍廣(2~13MHz)
2. 輸入波形可選擇

**為了討論方便起見，本實驗討論的主要變因及代號描述如下：

- (1) 螺線管內感應磁場的振幅 B_0 。
- (2) 輸入交流電的頻率 f 。
- (3) 磁場振幅倒數 $1/B_0$ 對頻率 f 的斜率 K 。
- (4) 輸入交流電的電壓方均根值 V_{rms} ：利用三用電表 AC 檔量得交流電壓的方均根值。
- (5) 螺線管參數：包括螺線管體積 ∇ 及漆包線纏繞密度 n 。

實驗(一)：交流電頻率 f 對螺線管磁場振幅的影響

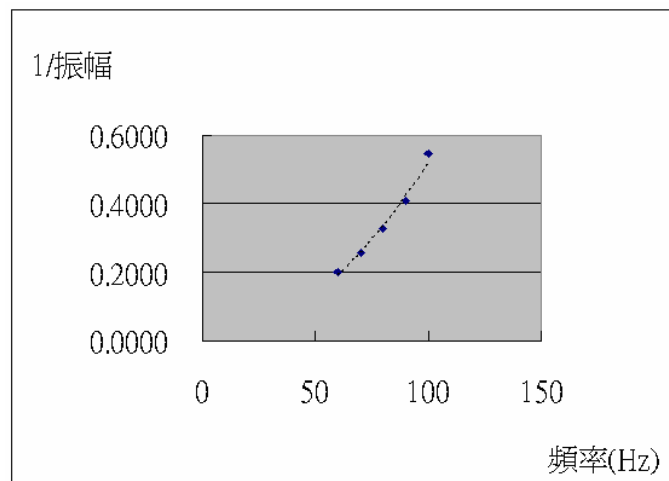
選用螺線管 #1，固定電壓 $V_{rms}=1.5$ 伏特不變，輸入不同頻率 f 的交流電，測量螺線管感應磁場的振幅 B_0 ，其結果如下：



(圖一)螺線管磁場振幅 B_0 —輸入頻率 f 關係圖

由(圖一)可以明顯地看出：當交流電頻率 f 升高時，螺線管內磁場強度 B_0 會隨頻率 f 增加而漸減，我們認為兩者大致呈雙曲線的關係。

將(圖一)的結果與指導老師討論後，老師建議將振幅 B_0 取倒數再作圖討論，也就是做出 $1/B_0$ 對頻率 f 的關係，處理後得到下圖(二)：



(圖二) 磁場振幅倒數 $1/B_0$ —頻率 f 關係圖

磁場振幅倒數 $1/B_0$ 對頻率 f 作圖，顯示應為正斜率且不通過原點的斜直線 $1/B_0=Kf+C$ ，也就是磁場振幅倒數 $1/B_0$ 與頻率 f 恰為線性關係，稱其斜率為 K。

這個結果令我們很意外，也不清楚為什麼，老師帶著我們翻閱普通物理學課本，經過一番教學、討論後，提出了可能的理論解釋：

輸入電壓值 = 產生感應電流的電壓 + 螺線管電感的感應電動勢，即

$$V_{in} = V_B + V_L = IR + L \frac{dI}{dt} \quad \text{---(1)}$$

依普物課本：螺線管磁場 $B = \mu_0 n I$ ，與電流成正比，故 $I = \frac{B}{\mu_0 n}$

$$\text{螺線管電感 } L = \mu_0 n^2 \nabla$$

$$\text{則式(1)改寫為 } V_{in} = \frac{B}{\mu_0 n} R + \mu_0 n^2 \nabla \frac{dI}{dt} \quad \text{---(2)}$$

考慮 V_{in} 、 B 、 I 均為 ωt 的波函數，並且有相位差異

故假設 $V_{in} = V_o \sin(kx_1 + \omega t)$ 、 $B = B_o \sin(kx_2 + \omega t)$ 、 $I = I_o \sin(kx_3 + \omega t)$

則式(2)展開為 $V_o \sin(kx_1 + \omega t)$

$$\begin{aligned} &= \frac{R}{\mu_0 n} B_o \sin(kx_2 + \omega t) + \mu_0 n^2 \nabla \frac{d(I_o \sin(kx_3 + \omega t))}{dt} \\ &= \frac{R}{\mu_0 n} B_o \sin(kx_2 + \omega t) + \mu_0 n^2 \nabla \omega I_o \cos(kx_3 + \omega t) \\ &= \frac{R}{\mu_0 n} B_o \sin(kx_2 + \omega t) + \mu_0 n^2 \nabla \omega \frac{B_o}{\mu_0 n} \cos(kx_3 + \omega t) \\ &= \frac{R}{\mu_0 n} B_o \sin(kx_2 + \omega t) + n \nabla \omega B_o \cos(kx_3 + \omega t) \quad \text{--- (3)} \end{aligned}$$

若只討論電壓峰值 V_o 、磁場峰值 B_o 及頻率 f ，則**波函數的振盪項應可略去，

$$\text{則式(3)可提出關係式 } V_o = \frac{R}{\mu_0 n} B_o + n \nabla \omega B_o = \frac{R}{\mu_0 n} B_o + n \nabla B_o 2\pi f$$

$$\text{將 } B_o \text{ 及 } V_o \text{ 移項，得 } \frac{1}{B_o} = \frac{2\pi n \nabla}{V_o} f + \frac{R}{\mu_0 n V_o} \quad \text{---(4)}$$

因交流電電壓峰值 $V_o = \sqrt{2} \times$ 方均根值 V_{rms} ，則式(4)改寫成

$$\frac{1}{B_o} = \frac{\sqrt{2}\pi n \nabla}{V_{rms}} f + \frac{R}{\sqrt{2}\mu_0 n V_{rms}} \quad \text{---(5)}$$

即若取 $\frac{1}{B_o}$ 對 f 作圖，其關係應為斜直線，斜率 $K = \frac{\sqrt{2}\pi n \nabla}{V_{rms}}$ 。

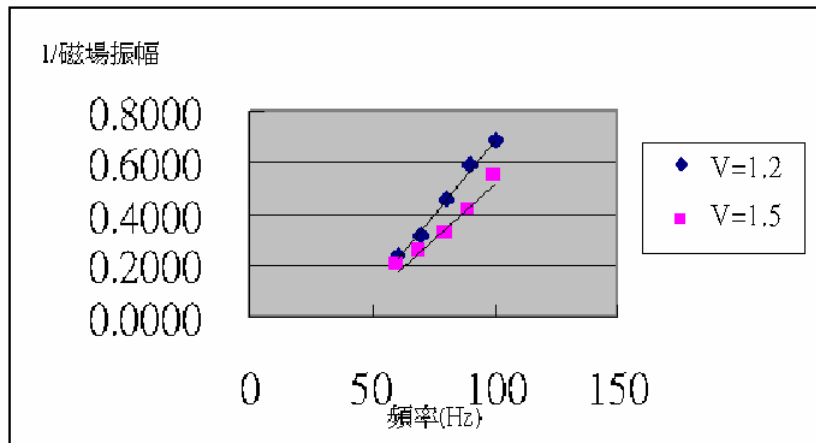
假如上述理論推導正確，則感應磁場振幅倒數 $1/B_0$ 對頻率 f 的斜率 $K = \frac{\sqrt{2}\pi n \nabla}{V_{rms}}$ ，只與螺

線管線密度 n 、螺線管體積 ∇ 及輸入電壓 V_{rms} 有關。所以我們嘗試改變輸入電壓 V_{rms} 及螺線管參數 n 、 ∇ ，驗證上述的理論是否正確，進行了下面的實驗

實驗(二) $1/B_0$ - f 圖之實驗斜率 K 與 理論預測 $\frac{\sqrt{2}\pi n \nabla}{V_{rms}}$ 的比對驗證

(1) 討論輸入電壓 V_{rms} 對 $1/B_0$ - f 關係的影響：

選用螺線管#1，改變不同的輸入電壓 V_{rms} ，測量其 $1/B_0$ 對 f 關係，如下



(圖三) 螺線管#1， $V_{rms}=1.2$ 伏特、 $V_{rms}=1.5$ 伏特之 $1/B_0$ - f 比較圖

由圖三可知， $V_{rms}=1.2$ 伏特之斜率比 $V_{rms}=1.5$ 伏特之斜率大，即提高輸入電壓 V_{rms} 使斜率 K 變小，這與 $\frac{\sqrt{2}\pi n \nabla}{V_{rms}}$ 所預測的趨勢是相符的。

因為實驗所測得磁場並非真實值，我們採用對照的方式來驗證理論與實驗數據。

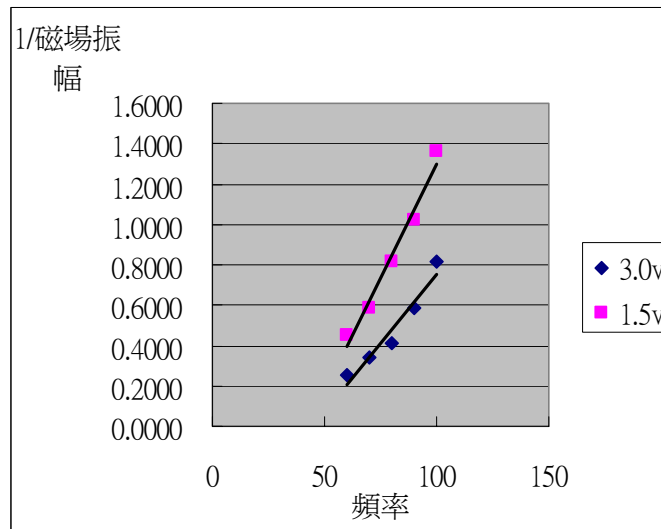
採用相同螺線管#1 而 $n \nabla$ 值不變，故理論斜率 $\frac{\sqrt{2}\pi n \nabla}{V_{rms}}$ 應與電壓倒數 $\frac{1}{V_{rms}}$ 成正比，故我們預測 $V_{rms}=1.2$ 伏特、 $V_{rms}=1.5$ 伏特兩組數據斜率 K 的比值應為 1.25。

比較理論預測與實驗所得如下，實驗所得兩組斜率的比值約 1.30，與理論預測相當接近，顯示我們的推論有可能是正確的。

	理論值預測與 $\frac{1}{V_{rms}}$ 正比	實驗所得斜率 K
$V_{rms}=1.2$ 伏特	$1/1.2$	0.0115
$V_{rms}=1.5$ 伏特	$1/1.5$	0.0089
上兩格數據相除	$\frac{1/1.2}{1/1.5} = 1.25$	$\frac{0.0115}{0.0089} = 1.29$

(表一)

我們以螺線管#2，重複上述實驗，也得到類似的結果：



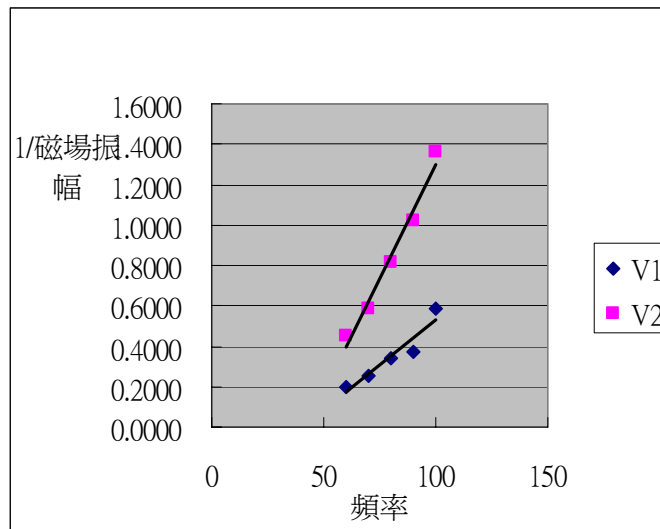
(圖四) 螺線管#2， $V_{rms}=1.5$ 伏特、 $V_{rms}=3.0$ 伏特之 $1/B_0-f$ 比較圖

	理論值預測與 $\frac{1}{V_{rms}}$ 正比	實驗所得斜率 K
$V_{rms}=3.0$ 伏特	$1/3.0$	0.0137
$V_{rms}=1.5$ 伏特	$1/1.5$	0.0226
上兩格數據相除	$\frac{1/3.0}{1/1.5} = 0.5$	$\frac{0.0137}{0.0226} = 0.6$

(表二)

(2) 討論螺線管體積 ∇ 對 $1/B_0-f$ 關係的影響：

固定電壓 $V_{rms}=1.5$ 伏特及纏繞密度 $n=32$ 匝/公分，選用體積 ∇ 不同的螺線管#1 及#2，測量其 $1/B_0$ 對 f 關係，如下



(圖五) $\nabla_1=221.6$ 公分³、 $\nabla_2=659.8$ 公分³之 $1/B_0-f$ 比較圖

由圖五可知， ∇_1 實驗斜率比 ∇_2 之斜率 K 較小，即提高螺線管體積 ∇ 使 $1/B_0$ 對 f 關係

的斜率 K 變大，這與 $\frac{\sqrt{2}\pi n \nabla}{V_{rms}}$ 所預測的趨勢是相符的。

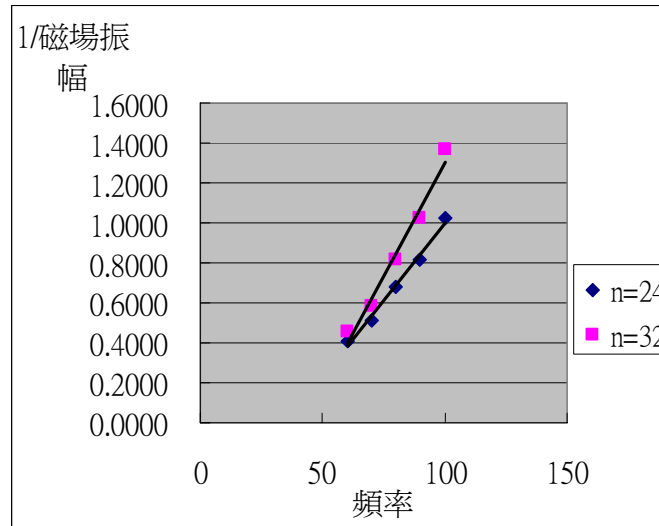
比較理論預測與實驗所得如下，也顯示我們的推論有可能是正確的。

	理論預測與螺線管體積 ∇ 成正比	實驗所得斜率 K
$\nabla_1=221.6$ 公分 ³	221.6	0.0089
$\nabla_2=659.8$ 公分 ³	659.8	0.0226
上兩格數據相除	0.336	0.393

(表三)

(3) 討論漆包線纏繞密度 n 對 $1/B_0-f$ 關係的影響：

固定電壓 $V_{rms}=1.5$ 伏特及螺線管體積 $\nabla=659.8$ 公分³，選用漆包線密度 n 不同的螺線管#2 及#3，測量其 $1/B_0$ 對 f 關係，如下



(圖六) $n=24$ 匝/公分、 $n=32$ 匝/公分之 $1/B_0-f$ 比較圖

由圖六可知， $n=32$ 實驗斜率比 $n=24$ 之斜率大，即提高螺線管漆包線纏繞密度 n ，會使斜

率 K 變大，這與 $\frac{\sqrt{2}\pi n \nabla}{V_{rms}}$ 所預測的趨勢是相符的。

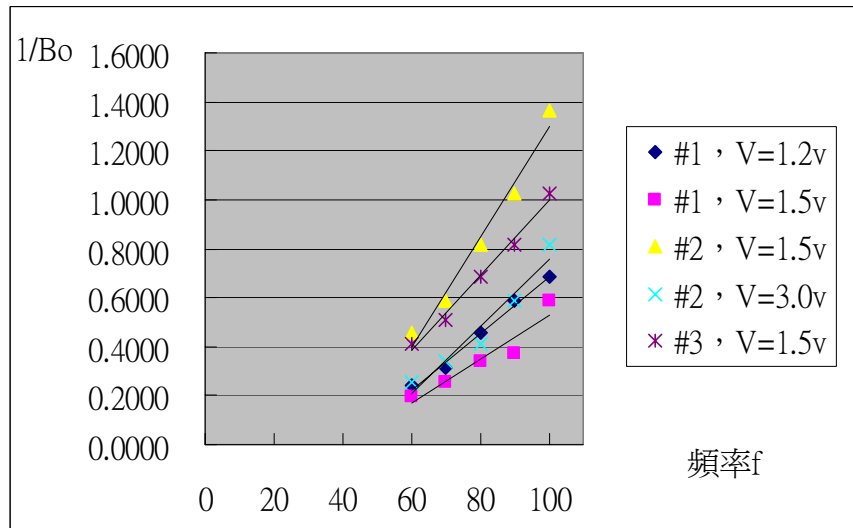
比較理論預測與實驗所得如下，也顯示我們的推論有可能是正確的。

	理論預測與漆包線纏繞密度 n 成正比	實驗所得斜率 K
$n=24$ 匝/公分	24	0.0154
$n=32$ 匝/公分	32	0.0226
上兩格數據相除	0.75	0.68

(表四)

(4) 綜合討論 $\frac{n\nabla}{V_{rms}}$ 與 $1/B_0-f$ 圖斜率的關係：

將螺線管#1、#2及#3的所有實驗數據，畫在同一個 $1/B_0-f$ 圖下，討論不同的 $\frac{n\nabla}{V_{rms}}$ 值與對應斜率 K 的關係，結果如下



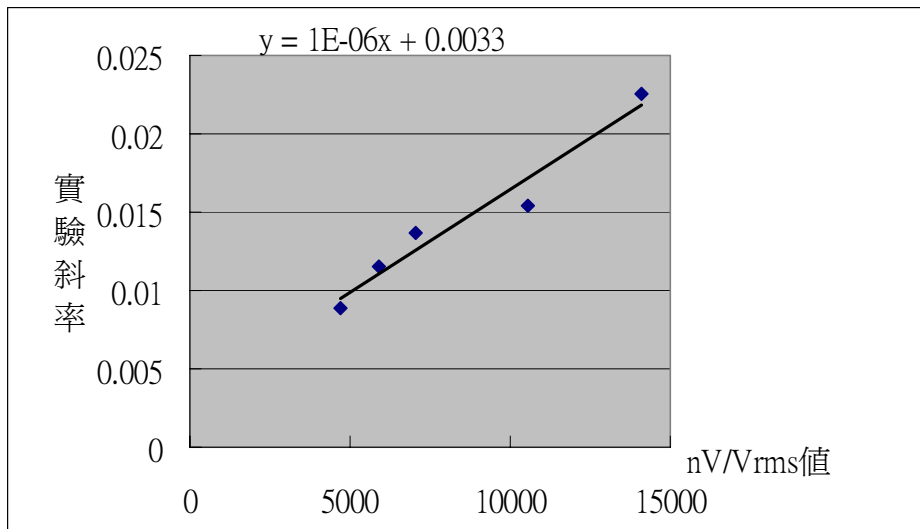
(圖七) 不同 $\frac{n\nabla}{V_{rms}}$ 值 (不同螺線管及輸入電壓) 之 $1/B_0-f$ 比較圖

各條 $1/B_0-f$ 斜直線之斜率 K 與對應變數，整理如下表

各條 $1/B_0$ 對 f 斜直線編號	使用螺線管	線密度 n	體積 ∇	輸入電壓 V_{rms}	$\frac{n\nabla}{V_{rms}}$ 值	斜率 K 值
1	螺線管#1	32 匝/cm	221.6 cm^3	1.2 伏特	5909.3	0.0115
2	螺線管#1	32 匝/cm	221.6 cm^3	1.5 伏特	4720.8	0.0089
3	螺線管#2	32 匝/cm	659.8 cm^3	1.5 伏特	10556.7	0.0154
4	螺線管#2	32 匝/cm	659.8 cm^3	3.0 伏特	7037.8	0.0137
5	螺線管#3	24 匝/cm	659.8 cm^3	1.5 伏特	14075.6	0.0226

(表五)

若將 各條 $1/B_0-f$ 線之斜率 K 對 我們認為的理論 $\frac{n\nabla}{V_{rms}}$ 值 做圖，其結果如下：

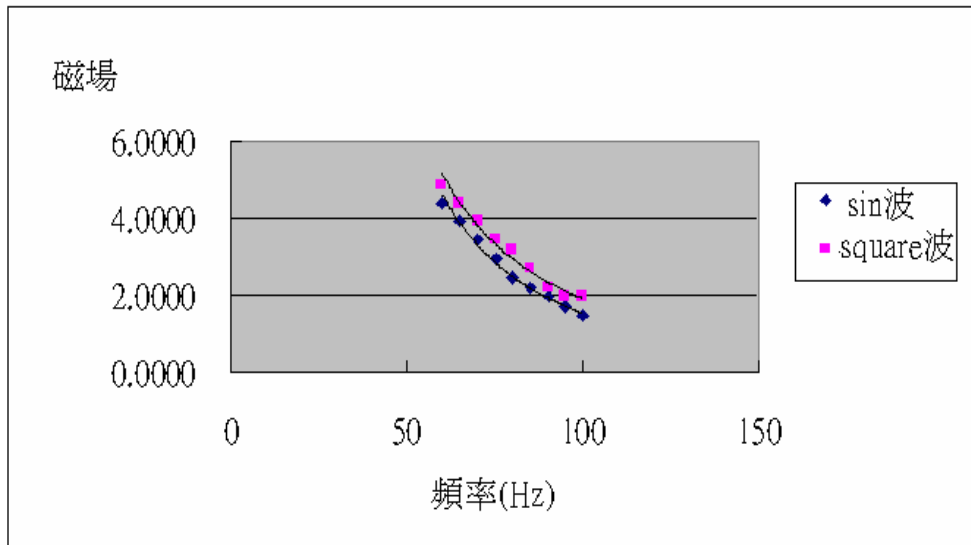


(圖八) 各條 $1/B_0-f$ 線之斜率 K 對 $\frac{n\nabla}{V_{rms}}$ 值 的關係圖

由圖可知 $1/B_0-f$ 斜率 K 與 $\frac{n\nabla}{V_{rms}}$ 值約成正比，其方程式為 $y=10^{-6}x+0.0033$ 。係數 10^{-6} 應該是單位等等的轉換因子，而 0.0033 為我們實驗的誤差。

實驗（三）不同的輸入交流電波形對斜率的影響

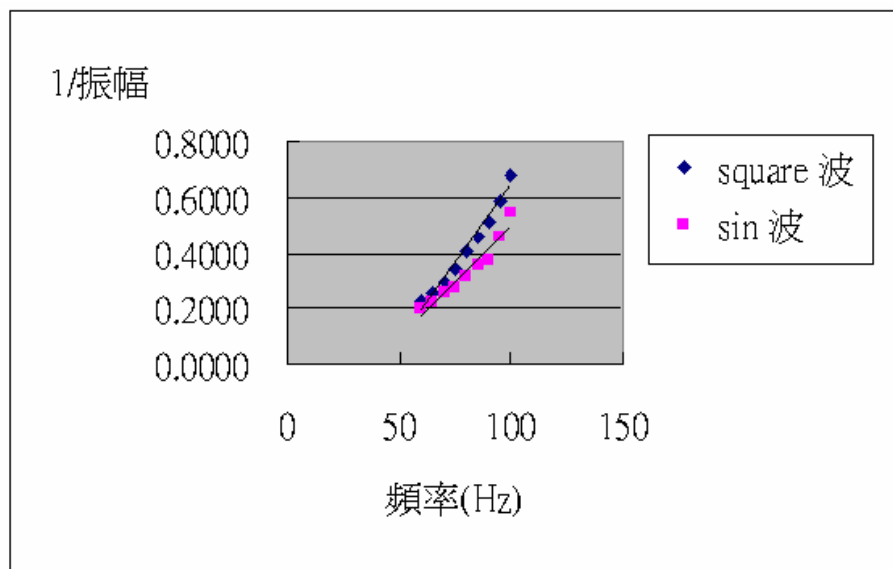
函數產生器可選擇不同電壓波形，我們改用方波交流電進行實驗，選用螺線管#1， $V_{rms}=1.5$ ，討論波形對實驗的影響，其結果如下：



圖（九）正弦波與方波的磁場振幅 B_0 - f 比較圖

由圖知，相同條件下，正弦波產生的磁場比方波大。

轉成 $1/B_0$ 對 f 圖如下，也顯示方波的 $1/B_0$ - f 圖斜率比正弦波大，表示方波產生的磁場受到頻率 f 的影響較大。



圖（十）正弦波與方波的 $1/B_0$ - f 比較圖

七·結論與展望

結論：

- (1) 利用高中現有的函數產生器、電源供應器，加上廉價的功率放大器，可以組成自製可變頻交流電源。
- (2) 跨接低頻率交流電源時，螺線管的磁場振幅 B_o 會隨頻率 f 的升高而降低，實驗經驗式為 $1/B_o = Kf + C$ ， K 為 $1/B_o$ 對 f 圖的斜率。
- (3) 由實驗知， $1/B_o$ 對 f 的斜率 K ，受輸入電壓 V_{rms} 、螺線管體積 ∇ 及漆包線密度 n 影響。斜率 K 約與 $\frac{n\nabla}{V_{rms}}$ 值成正比關係。
- (4) 我們認為 $1/B_o$ 對 f 的理論關係式為 $\frac{1}{B_o} = \frac{\sqrt{2}\pi n \nabla}{V_{rms}} f + \frac{R}{\sqrt{2}\mu_o n V_{rms}}$ ，理論上斜率為 $\frac{\sqrt{2}\pi n \nabla}{V_{rms}}$ ，由本實驗的結果也得到初步驗證。
- (5) 輸入不同波形的交流電，會影響螺線管磁場的產生，sin 波產生磁場的效果較佳。

展望：

如果還有時間繼續進行實驗，希望

- (1) 進行更精準的磁場測量，定量驗證理論斜率的正確性。
- (2) 提升功率放大器的效能，擴展實驗頻率範圍至較高頻率，探討高頻率交流電的磁場行為。
- (3) 針對本實驗之 $1/B_o$ 對 f 圖的截距 C ，進行定量討論。
- (4) 輸入電壓 V 固定時，感應磁場 B 受頻率 f 的影響，主要來自螺線管纏繞密度 n 及螺線管的體積 ∇ ，如果要降低頻率 f 的影響，應採用體積 ∇ 較小的螺線管。所以後續進行電解質渦電流的研究時，應採用扁平盤狀螺線管。
- (5) 進行電解質渦電流現象的探討。

八・參考文獻

1. Serway&Jewett 著，Principles of Physics 3rd 物理學(下)第三版，滄海書局，2005
2. 林明瑞等，高中物理，南一書局，2005
3. 楮德三等，高中物理，龍騰書局，2005
4. 網頁資料：http://www.nani.com.tw/big5/content/2004-01/01/content_20055.htm
5. http://www.nani.com.tw/senior/seniorteach/stfastnews/stnfastnews/stnfastnews4/stnfastnews4_5.htm
6. <http://www.ppaen18.fcu.edu.tw/new1/trans.htm>
7. <http://www.cna.edu.tw/department/AS/doc/93/magnet.doc>
8. <http://www.ntsec.gov.tw/activity/race-1/42/pdf/e/1/040116.pdf#search='%E8%9E%BA%E7%B7%9A%E7%AE%A1'>

九・實驗數據：

(1) 螺線管 #1 ($\nabla = 221.6$ 、 $n=32$) 電壓=1.2V

頻率(hz)	電壓 (v)	Bmax	Bmin	Bo	1/Bo
60	1.2	2.9298	-5.3713	4.1506	0.240929
70	1.2	1.4649	-4.8830	3.1740	0.31506
80	1.2	0.4883	-3.9064	2.1974	0.455083
90	1.2	-0.9766	-4.3947	1.7091	0.585103
100	1.2	-1.9532	-4.8830	1.4649	0.68264

(2) 螺線管 #1 ($\nabla = 221.6$ 、 $n=32$) 電壓=1.5V

頻率(hz)	磁場 max	磁場 min	振幅 Bo	1/Bo
60	3.9064	-6.3478	5.1271	0.1950
70	2.4415	-5.3713	3.9064	0.2560
80	1.4649	-4.3946	2.9298	0.3413
90	3.4181	-1.9532	2.6857	0.3723
100	2.4415	-0.9765	1.7090	0.5851

(3) 螺線管 #2 ($\nabla = 659.8$ 、 $n=32$) 電壓=1.5V

頻率(hz)	磁場 max	磁場 min	振幅 Bo	1/Bo
60	2.9298	-4.883	3.9064	0.25599
70	1.9532	-3.9064	2.9298	0.34132
80	1.4649	-3.4181	2.4415	0.409584
90	0.9766	-2.4415	1.70905	0.58512
100	0.4883	-1.9532	1.22075	0.819169

(4) 螺線管 #2 ($\nabla = 659.8$ 、 $n=32$) 電壓=3.0V

頻率(hz)	磁場 max	磁場 min	振幅 Bo	1/Bo
60	1.4649	-2.9298	2.1974	0.4551
70	0.9766	-2.4415	1.7091	0.5851
80	0.4883	-1.9532	1.2208	0.8192
90	-2.9298	-4.8830	0.9766	1.0240
100	0.0000	-1.4649	0.7325	1.3653

(5) 螺線管 #3 ($\nabla = 659.8$ 、 $n=24$) 電壓=1.5V

頻率(hz)	磁場 max	磁場 min	振幅 Bo	1/Bo
60	2.4415	-2.4415	2.4415	0.4096
70	1.9532	-1.9532	1.9532	0.5120
80	1.4649	-1.4649	1.4649	0.6826
90	1.2207	-1.2207	1.2207	0.8192
100	0.9766	-0.9766	0.9766	1.0240

(6) square 波的數據

螺線管 #1 ($\nabla = 221.6$ 、 $n=32$) 電壓=1.5V

頻率(hz)	磁場 max	磁場 min	振幅 Bo	1/Bo
60	2.9298	-5.8595	4.3947	0.227547
65	2.4415	-5.3713	3.9064	0.25599
70	1.9532	-4.8830	3.4181	0.29256
75	1.4649	-4.3946	2.9298	0.34132
80	0.9766	-3.9064	2.4415	0.409584
85	0.4883	-3.9065	2.1974	0.455083
90	0.4883	-3.4181	1.9532	0.51198
95	0.0000	-3.4181	1.7091	0.585103
100	0.0000	-2.9298	1.4649	0.68264

040113 變頻磁場的研究

本作品計劃用電解質溶入水中，取代導線中的電子流，再觀測電解質在外加磁場下的渦電流現象，惜因時間不足未能及時完成，盼能繼續努力，所完成之變頻交流電之磁場研究亦有創意唯所取數據涵括之頻率範圍可更大。