



# 交流磁化量測器 Xacf-G

## 操作與維修手冊

201411-1



磁量生技股份有限公司 (MagQu Co., Ltd.)

新北市 231 新店區中正路 538 巷 12 號 3 樓

網址: [www.magqu.com](http://www.magqu.com)

電子郵件: [info@magqu.com](mailto:info@magqu.com) 電話: 886-2-86671897 傳真: 886-2-86671809

# 目 錄

安全性須知	2
環境注意事項	3
第一章 交流磁化率原理與量測	4
第一節 交流磁化率物理原理	4
第二節 交流磁化率量測原理	5
第二章 交流磁化量測器 Xacf-G 介紹	6
第一節 線圈組	7
第二節 訊號放大電路/積分線路	8
第三節 電源供應器	9
第三章 操作程序	10
第一節 梯度式法拉地線圈之功能測試	10
第二節 軟磁材料交流磁化率振幅及相位 之觀察	11
第三節 軟磁材料交流磁化率振幅及相位差 隨外加磁場頻率之變化	13
第四節 軟磁材料交流磁化率實部及虛部 隨外加磁場頻率之變化	14
第四章 實際應用範例	15
第五章 討論	16
附錄 A. 規格表	17
B. 產品及附件總覽	18
C. 警告圖示說明	19

## 安全性須知

請檢視下列的安全警告以避免傷害，並預防對此產品或任何相關產品的損害。  
為避免潛在的危險，請僅依照指示使用此產品。

### 避免火災或人身傷害

**使用適當的電源線。**請只使用本產品所指定以及該國使用認可的電源線。

**正確的連接與中斷連接。**在連接電腦之前，請確認電腦是否開啟，並在電腦開啟後，打開本機台之電源開關；中斷與電腦間的連接時，請先中斷軟體並作移除之動作，始能將機台關機。

**將產品接地。**本產品是透過電源線的接地導線與地面連接。為了避免電擊，接地導線必須連接到地面。在與產品的輸入與輸出端子連接之前，請確定產品已正確的接地。

**觀察所有的端子功率。**為了避免火災或是電擊的危險，請注意產品上的功率及標記。在與產品連接之前，請先參閱產品手冊以便進一步了解有關功率的資訊。

**電源中斷連接。**電源開關已中斷產品與電源的連接，請參閱指示以確定位置。請勿阻礙電源開關，使用著必須可以隨時電源開關。

**請勿在蓋子為蓋上之前即進行操作。**如果蓋子取下請勿操作本產品。

**懷疑有故障時，請勿操作。**若您懷疑此產品已遭損壞，請讓合格的維修人員進行檢查

**避免電路外露。**當有電流通過時，請勿觸碰外露的連接器及元件

**請勿在潮濕的狀態下操作。**

**請勿在易燃易爆的空氣中操作。**

**請維持產品表面的清潔與乾燥。**

**保持空氣的流通。**請參考手冊的安裝說明以了解有關如何安裝產品使其具有良好通風的詳細資訊。



警告。警告聲明中可能導致受傷或喪命的情況操作。



小心。小心聲明中指明了可導致損壞此產品或其他物品的情況或操作。

## 環境注意事項

本節提供此產品對環境所造成的影響之相關資訊。

### 產品報廢處理

回收儀器或元件時，請參閱下列指引：

**設備回收：**本設備的生產作業需要自然資源之回收與利用。本設備在產品報廢階段若未正確處理，可能會產生對環境或人類健康有害的物質。為了避免此類物質釋放到環境，並減少使用自然資源，建議您透過適當的系統回收此產品，以確保大部分的材料均適當地回收再利用。



# 第一章 交流磁化率原理與量測

## 第一節 交流磁化率物理原理

磁性物質在外加磁場  $H$  下，其磁偶極  $M$  方向，會傾向沿著外加磁場方向。當外加磁場強度愈大時，磁性物質所受到的磁化愈強，磁偶極強度愈大，最終會到達一個飽和值。繼之若將磁場降低，對於軟磁性材料而言，磁偶極強度也會隨之減弱；當外加磁場降低到零時，軟磁性材料的磁偶極強度不會歸零，而是保有一

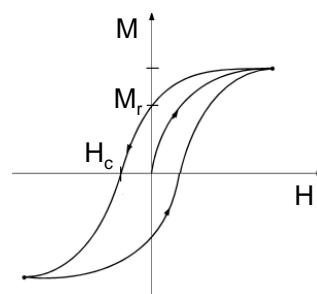


圖 1. 磁性材料的磁滯曲線。

個磁偶極強度  $M_r$ ，此現象稱之為殘磁。而將外加磁場反方向增強時，該殘留的磁偶極強度會降低，直到反方向外加磁場到達某一特定強度時，才會讓殘留的磁偶極強度消失，此時的外加磁場強度稱之為矯頑力  $H_c$ 。當此反方向的外加磁場繼續加強時，磁性材料又會有非零的磁偶極強度。如此的行為會隨著外加磁場強度與方向的改變，讓磁性材料的磁偶極有特定的變化行為，此行為稱之為磁滯曲線，如圖 1 所示。

而當外加磁場是交流磁場且交流頻率不太高時(一般在微波頻率以下)，磁偶極的方向可隨著此交流磁場，作週期性變化，此即交流磁化率的物理源由。每一瞬間，磁性物質之磁偶極方向不一定與外加交流磁場同方向，因此磁性物質的交流磁化率  $\chi_{ac}$ ，可用振幅  $\chi_{ac,o}$  及相位差  $\theta$  來表示：

$$\chi_{ac} = \chi_{ac,o} e^{-i\theta}$$

本公司推出之交流磁化量測器 Xacf-G，搭配上函數產生器與示波器，可供作量測磁性物質在不同頻率下的交流磁化率  $\chi_{ac}$  的振幅  $\chi_{ac,o}$  與相位差  $\theta$ ，並讓使用者了解相位差的具體觀念。亦可透過換算，得到交流磁化率  $\chi_{ac}$  的實部  $\text{Re}[\chi_{ac}]$  與虛部  $\text{Im}[\chi_{ac}]$ 。

建議之頻率調變範圍由 200 Hz 到 20 kHz。值得注意的是，本實驗儀器所形成的外加磁場振幅很小，因此所觀察到的交

流磁化率是在磁滯曲線  $H \sim 0$  處。

## 第二節 交流磁化率量測原理

本量測器中，藉由外加的函數產生器，產生一個交流電壓，以使螺線圈中有交流電流流動，進而在螺線圈內產生交流磁場。將待測磁性物質置於此螺線管內，因受到交流磁場的作用，該磁性物質會被引發產生交流磁化率之訊號。本量測器中，利用梯度式法拉地線圈，將此交流磁化率訊號轉換成交流電壓訊號，再經過放大線路及積分器，將輸出訊號接於示波器上，可觀察到交流磁化率振幅及相位差。透過改變由函數產生器所輸出交流電壓的頻率，可建立磁性物質交流磁化率與外加磁場頻率間的關係。

在第二章中，將就構成交流磁化量測器 Xacf-G 的各項重要器件，一一介紹。

## 第二章 交流磁化量測器 Xacf-G 介紹

交流磁化量測器 Xacf-G 的內容物如下列：

1. 線圈組
2. 訊號放大電路/積分線路
3. 電源供應器

以上所列各部份的規格與功能，將在以下各節述明。

## 第一節 線圈組

交流磁化量測器 Xacf-G 中的線圈組，可以分成兩部分。其中之一是用來產生交流磁場的激發線圈；另一是用來擷取交流磁化訊號的梯度式法拉地線圈。此兩部分線圈的構造，簡介如下：

### 1. 激發線圈

激發線圈的管架剖面圖如圖 2 所示，由塑鋼材料加工而成。其外圍再經銅線圍繞，即成激發線圈。此激發線圈經由 LCR 儀量測出，其阻抗(Impedance)隨頻率(f)的變化關係，如圖 3 所繪。

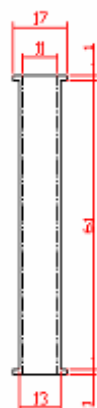


圖 2. 激發線圈剖面尺寸圖。

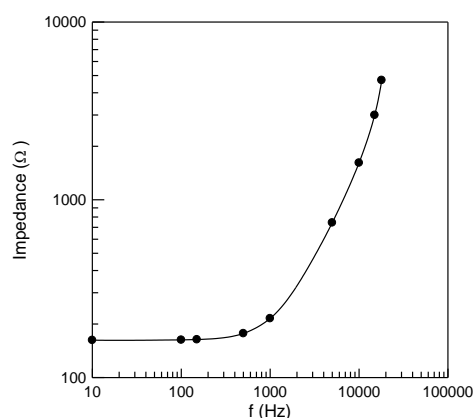


圖 3. 激發線圈阻抗(Impedance)隨頻率(f)的變化關係。

### 2. 法拉地線圈

此處所採用的法拉地線圈是屬於梯度式法拉地線圈，其剖面圖如圖 4 所示。使用塑鋼材料製作管體，再以銅線圍繞而成。管體可分為上下兩段，銅線在上下兩段的圍繞方向是相反的，其主要目的在盡可能地消除由激發線圈所產生之交流磁場對法拉地線圈輸出訊號的影響。

梯度式法拉地線圈直接套入激發線圈，與激發線圈同軸。待測樣品則置放在上段（或下段）管體內。激發線圈、梯度式法拉地



圖 4. 梯度式法拉地線圈剖面尺寸圖。



線圈、及樣品之相對位置，如圖 5 所示。

法拉地線圈的作用原理，是利用待測物質所產生的交流磁化訊號，其穿透線圈所圍成之平面的磁通量隨時間作週期性變化，而使法拉地線圈產生一個週期性交流電壓。此交流電壓之振幅大小，正比於交流變化頻率及交流磁化訊號大小的乘積。

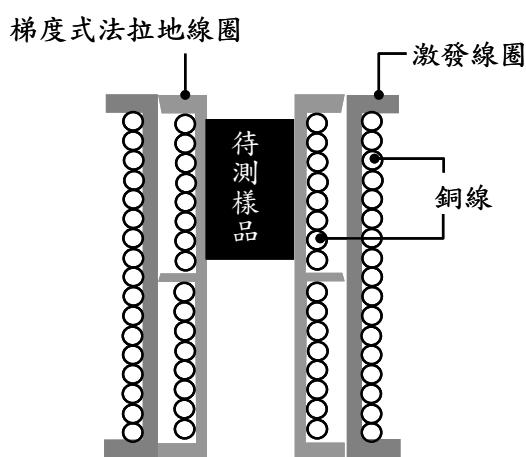
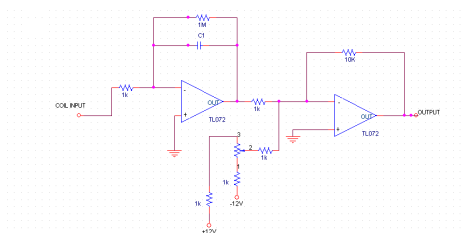


圖 5. 激發線圈、梯度式法拉地線圈、及樣品之相對位置

## 第二節 訊號放大電路/積分線路

由梯度式法拉地線圈所輸出的交流電壓，會先經過訊號放大電路/積分線路，該線路圖如圖 6(a)及 6(b)所示。

(a)



(b)



圖 6. 訊號放大電路/積分線路(a)示意圖及(b)實體照片。

### 第三節 電源供應器

交流磁化量測器 Xacf-G 中採用的電源供應器其實是一個將市電轉換成直流電的轉換器，輸入的交流電壓可以是 50/60 Hz、100 V 到 240 V。輸出則是  $\pm 12$  V 的直流電壓，提供作訊號放大器/積分線路所需之電源。

### 第三章 操作程序

交流磁化量測器 Xacf-G 的主要功能在量取磁性材料於不同頻率的交流磁場下，其交流磁化率隨頻率的變化行為。然而在此主要功能下，為讓使用者更了解交流磁化量測器 Xacf-G，我們有附加了幾項操作程序。各項操作程序介紹如下：

#### 第一節 梯度式法拉地線圈之功能測試

1. 將交流磁化量測器、函數產生器與示波器依照圖 7 的實驗系統架構連接。

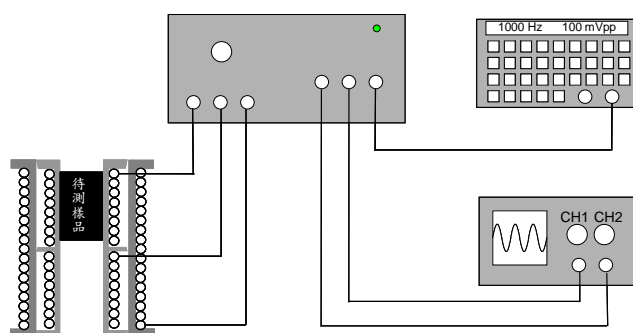


圖 7. 實驗系統連接架構圖。

2. 圖 7 中示波器輸入的訊號是給線圈組中的激發線圈。但在激發線圈與示波器中間，有一個串接的電阻，如圖 8 所示。CH1 所輸出的訊號就是這一個串接於激發線圈的電阻端電壓。其功能是來監控流經激發線圈的電流大小，亦即監控激發線圈所產生的磁場強度。

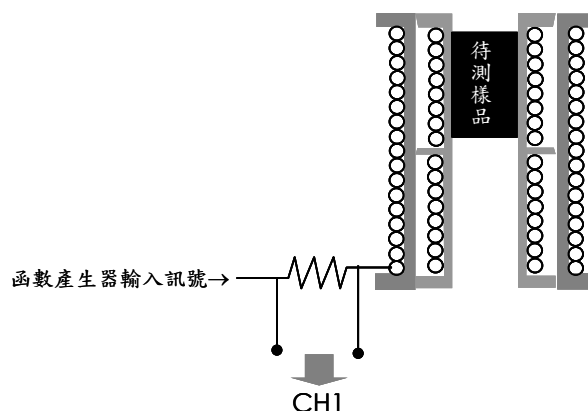


圖 8. 透過量測與激發線圈串接的電阻之電壓，可以監控激發線圈的磁場強度。

3. 圖 7 中 CH2 所量測到的訊號，是由梯度式法拉地線圈所擷取到的樣品交流磁化所造成的感應電動勢，再經過訊號放大電路/積分線路的輸出訊號，其所代表的是放大的交流磁化訊號。
4. 固定函數產生器輸出頻率為 1000 Hz，電壓峰對峰值為 10 V 的正弦波。
5. 旋轉交流磁化量測器的切換旋鈕，選擇梯度式法拉地線圈為同相串接與反相串接（同相串接與反相串接的示意圖如圖 9 所示），並觀察示波器 CH2 輸出的波形(所擷取之訊號大小)。分別將示波器於同相串接與反相串接時所觀測到的電壓峰對峰值，紀錄在實驗紀錄表一。

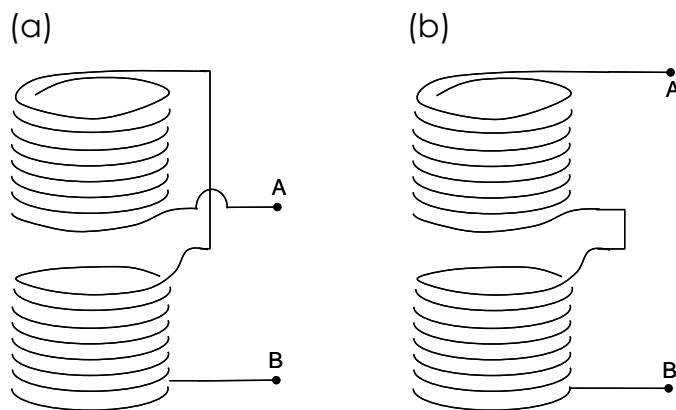


圖 9. 梯度式法拉地線圈(a)同相串接與(b)反相串接示意圖。

6. 將同相串接與反相串接時所觀測到 CH2 的電壓峰對峰值相除，計算出此梯度式訊號擷取線圈的平衡度 (Balance) 誤差百分比。
7. 實驗紀錄表一：
  - i. 同相串接時的電壓峰對峰值 = \_\_\_\_\_ mV -- (a)
  - ii. 反相串相接時的電壓峰對峰值 = \_\_\_\_\_ mV -- (b)
  - iii. 線圈組平衡度誤差百分比  $(b/a \times 100 \%) = \underline{\hspace{2cm}}$

## 第二節 軟磁材料交流磁化率振幅及相位之觀察

1. 將交流磁化量測器的切換旋鈕選擇梯度式法拉第線圈

為反相串接，並放入待測軟磁樣品鐵芯（黑色棒）。

- 將示波器調成交流耦合狀態，另將函數產生器的輸出頻率調整至 20 kHz，調整並紀錄函數產生器的輸出電壓 ( $V_{out}$ )，使得示波器 CH1 所觀測到的波形峰對峰值為 1 V，如圖 10 所示。

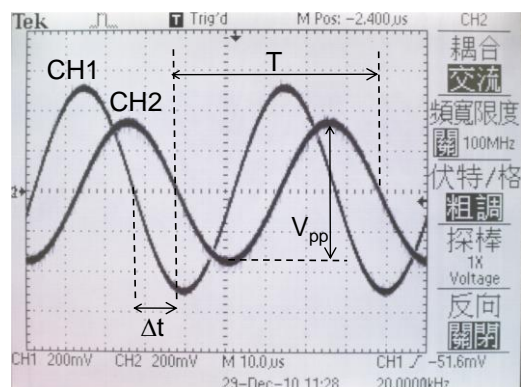


圖 10. 將鐵芯樣品置入交流磁化量測器後，於示波器上所觀察到的 CH1 及 CH2 的輸出訊號。

- 記錄此時示波器 CH2 波形的峰對峰值 ( $V_{pp}$ )、週期 ( $T$ )、與電壓零點與 CH1 波形的時間差 ( $\Delta t$ )，如圖 10 所示。將這些數值紀錄於實驗紀錄表二。
- 觀察示波器上 CH1 與 CH2 之波形時請注意，CH2 的波形應該位於 CH1 波形的右方。這是因為鐵蕊的交流磁偶極與外加磁場會有相位差，且因為交流磁偶極的相位跟不上外加磁場的相位，導致 CH2 的波形位於 CH1 波形的右方。交流磁偶極相對於外加磁場的相位延遲，通常以負值相位表示。

#### 5. 實驗紀錄表二：

示波器輸出頻率 $f$ (Hz)	20000	17500	15000	12500	10000	7500	5000
函數產生器輸出電壓 $V_{out}$ (V)							
CH2 峰對峰值 $V_{pp}$ (mV)							
週期 $T$ ( $\mu s$ )							
時間差 $\Delta t$ ( $\mu s$ )							
相位差 $\theta$ ( $^\circ$ )							
$Re[\chi_{ac}]$							
$Im[\chi_{ac}]$							

示波器輸出頻率 f (Hz)	2000	1000	800	600	400	200
函數產生器輸出電壓 $V_{out}$ (V)						
CH2 峰對峰值 $V_{pp}$ (mV)						
週期 T ( $\mu$ s)						
時間差 $\Delta t$ ( $\mu$ s)						
相位差 $\theta$ ( $^\circ$ )						
$\text{Re}[\chi_{ac}]$						
$\text{Im}[\chi_{ac}]$						

6. 所記錄的 CH2 之  $V_{pp}$  是一個與交流磁化率振幅成正比的量，而相位差  $\theta = -(\Delta t/T) \times 360^\circ$ 。
7. 將上列實驗中的軟磁樣品鐵芯（黑色棒）換成金屬的銅棒（金黃色棒），重覆步驟 1-5，並與軟磁樣品鐵芯（黑色棒）的結果比較。
8. 再將銅棒（金黃色棒）會成絕緣體的壓克力棒（透明棒），重覆步驟 1-5，並與軟磁樣品鐵芯（黑色棒）及銅棒（金黃色棒）的結果比較。

### 第三節 軟磁材料交流磁化率振幅及相位差隨外加磁場頻率之變化

1. 實驗架構如第二節，改變函數產生器的頻率(由 20 kHz 至 20 Hz)，重複第二節的步驟 2 及 3，將所量到的數值，紀錄於實驗紀錄表二。在每次改變頻率後，必須調整函數產生器輸出電壓，使得示波器 CH1 所觀測到的波形峰對峰值固定為 1 V，以確保在各不同頻率下時，激發線圈所產生的磁場大小是固定的。
2. 經由上述實驗數據，重覆第二節步驟 6，計算鐵蕊在不同交流磁場頻率下，其交流磁導率振幅及相位差。將計算結果紀錄於表二，並繪函數產生器輸出電壓-頻率 ( $V_{out}$ -f)、交流磁化率振幅-頻率 ( $V_{pp}$ -f)、與相位差-頻率 ( $\theta$ -f)的關係曲線。
3. 本實驗設計中，由上列步驟所繪的函數產生器輸出電壓-頻率 ( $V_{out}$ -f) 曲線，代表線圈阻抗隨頻率的變化關係。原理上，線圈屬電感與電阻的串聯元件，阻抗會隨頻率的

增加而增大。請確定所繪出函數產生器輸出電壓-頻率 ( $V_{out}-f$ ) 曲線是否符合此特性。

4. 本實驗設計中，由本節步驟 2 所繪的相位差-頻率 ( $\theta-f$ ) 曲線，理論應該會得到在愈高頻率時，相位差會負的愈大。原因是，交流磁偶極相對於外加磁場的相位延遲，在高頻時會愈明顯。請確定所繪出相位差-頻率 ( $\theta-f$ ) 曲線是否符合此特性。

#### 第四節 軟磁材料交流磁化率實部及虛部隨外加磁場頻率之變化

1. 依據第三節所得到的交流磁化率振幅 ( $V_{pp}$ ) 與相位差 ( $\theta$ )，換算出交流磁化率實部  $\text{Re}[\chi_{ac}]$  及虛部  $\text{Im}[\chi_{ac}]$  隨外加磁場頻率  $f$  的變化關係：

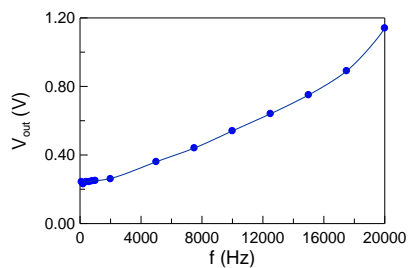
$$\text{Re}[\chi_{ac}] = V_{pp} \cos \theta$$

$$\text{Im}[\chi_{ac}] = -V_{pp} \sin \theta$$

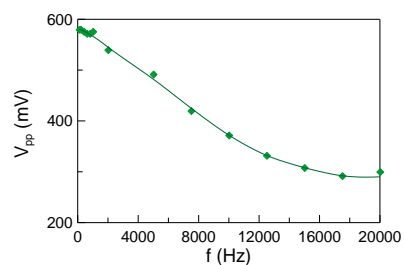
2. 繪製交流磁化率實部-頻率 ( $\text{Re}[\chi_{ac}]-f$ )、交流磁化率虛部-頻率 ( $\text{Im}[\chi_{ac}]-f$ ) 的關係曲線。
3. 交流磁化率虛部  $\text{Im}[\chi_{ac}]$  代表材料吸收外加磁場的效率， $\text{Im}[\chi_{ac}]$  愈大，材料越會吸收磁能。故從  $\text{Im}[\chi_{ac}]-f$  曲線可釐清該材料對各種頻率的交流磁場之吸收情形。

## 第四章 實驗結果範例

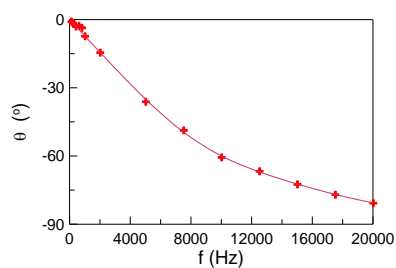
一、函數產生器輸出電壓-頻率( $V_{out}$ - $f$ )曲線：線圈阻抗隨頻率的變化關係



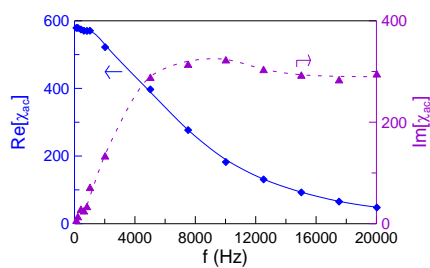
二、交流磁化率振幅-頻率( $V_{pp}$ - $f$ )曲線



三、相位差-頻率( $\theta$ - $f$ )曲線



四、交流磁化率實部-頻率( $\text{Re}[\chi_{ac}]$ - $f$ )及虛部-頻率( $\text{Im}[\chi_{ac}]$ - $f$ )曲線





## 第五章 討論

- 一、將實驗紀錄表二中的函數產生器輸出電壓平方後，與頻率的平方作圖(即  $V_{out}^2 - f^2$  曲線)，求出該曲線的斜率與  $V_{out}^2$  軸截距，並討論此斜率與  $V_{out}^2$  軸截距的物理意義。
- 二、請畫出交流磁偶極相對於外加交流磁場的相位差分別是  $-30^\circ$ 、 $-60^\circ$ 、及  $-90^\circ$  時，磁偶極  $M$  與外加磁場  $H$  隨時間  $t$  的變化關係，即  $M-t$  與  $H-t$  圖（磁偶極的振幅設為外加磁場振幅的一半）。
- 三、交流磁化率實部在適當的外加磁場頻率範圍內，其隨交流磁場頻率的變化關係，可下列方程式來描述

$$\text{Re}[\chi_{ac}] = \frac{\chi_{ac,o}}{1 + (2\pi f \tau_B)^2}$$

其中  $\chi_{ac,o}$  代表磁場頻率趨近於零的交流磁化率實部值， $\tau_B$  代表樣品磁偶極布朗磁鬆弛（Brownian relaxation）時間常數中， $f$  是外加磁場頻率。請由所量測到之  $\text{Re}[\chi_{ac}]$  隨磁場頻率的變化結果（建議僅取頻率由 2000 Hz 到 15000 Hz 的結果），找出  $\tau_B$ 。

## 附錄 A. 規格表

1. 輸入電壓：AC 100/240 V, 50/60 Hz
2. 螺線管組規格：
  - 激發線圈：電阻 = 100 ~ 200  $\Omega$   
線圈密度 = 400 ~ 550 turns/cm
  - 梯度式訊號擷取線圈：電阻 = 40 ~ 70  $\Omega$   
線圈密度 = 400 ~ 550 turns/cm
3. 工作分析頻率範圍：100 Hz ~ 25 kHz

## B. 產品及附件總覽

Xacf-G 產品及配件總覽	
品 名	數 量
Xacf-G 主機	1
線材 (含電源線 x1、BNC 線 x6)	1
操作與維修手冊	1

### C. 警告圖示說明



正面朝上



小心易碎



保持乾燥



遠離磁場