

# 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

佳作

030111

通風球發電機之效能最佳化分析

學校名稱：花蓮縣立壽豐國民中學

作者：  國二 陳宗誠  國二 黃采妍  國二 許玲瑄	指導老師：  陳錦松  李建華
---	-----------------------------

關鍵詞：通風球、發電、最佳化

## 摘要

二年前學長姐突發奇想把廢棄吊扇和鐵皮屋頂上的通風球（排熱風扇）結合，製作出一個風力發電機。所產生的電能足夠讓 30 顆 LED 燈發亮，接上手機充電器也可順利充電。

吊扇發電機轉動時的波形分析，若沒有穩定的轉動速率，就不可能會有穩定的感應電壓波形，數據量測就不準確。而我們的通風球風力發電機正好解決了這個最大困難。

我們的通風球發電機，因為16組線圈結構是固定的，所以改變不同的磁鐵組合，根據不同實驗設計所得的波形輸出，得到了一些具教學意義的結論。

未來期盼有更佳品質的磁鐵材料，來強化通風球的效能輸出。目前正進行著通風球串並聯及線圈組件串並聯的實驗，也積極尋找結構更大的廢棄吊扇，來最佳化通風球的效能。

## 壹、研究背景與動機

二年前的夏天，學長姐們協助總務處更換教室內廢棄的吊扇，校長給了一個題目，要學長姐利用吊扇自製一個發電機，在不同磁鐵的排列方式下，測量吊扇發電機所感應出的電壓大小。這可是大難題，因為吊扇發電機需要人力轉動，轉速並不固定，測量到的電壓數值也不準確。

研究了一段時間之後，學長姐們突發奇想地把廢棄吊扇和鐵皮屋頂上的通風球（排熱風扇）結合在一起，製作出了一個風力發電機。而這個發電機所產生的電能足夠讓 30 顆 LED 燈發亮，接上手機充電器也可順利充電，這讓我們這些學弟妹們非常佩服，也相當感興趣。

在學長姐們操作展示給我們看的時候，看到示波器因通風球的轉動，產生了高高低低的電壓波形，我們覺得好有趣。為什麼轉動通風球，就會有電壓產生？為什麼產生的波形是漂亮的交流電波形。學長姐告訴我們是因為有貼強力磁鐵在轉盤上，轉動的時候就會產生感應電流。那磁鐵貼愈多，產生的電壓不就愈大嗎？為什麼學長姐們不多貼些磁鐵，這其中的奧秘在那裡呢？這引起了我們的好奇與興趣！

## 貳、研究目的

我們的研究目的非常清楚，就是想找出通風球發電機發電效能的最佳型式，藉由不同磁鐵的排列組合與轉速的搭配，分析探討所感應出的電流。但因為我們所用的示波器是以檢測電壓波形為主，所以我們還是以所感出的電壓來進行分析研究。我們研究目的有下列幾點：

- 一、通風球發電機的發電原理。
- 二、磁鐵數量與感應電流（壓）的相關性。
- 三、不同磁極組合與感應電流（壓）的相關性。
- 四、磁鐵排列角度與感應電流（壓）的相關性。
- 五、磁力大小與感應電流（壓）的相關性。
- 六、不同轉速與感應電流（壓）的相關性。
- 七、找出風力發電機之最佳效能組合。

## 參、研究設備及器材

我們所需要的器材如下：

編號	名稱	數量	規格	說明
1	廢棄吊扇	4	42 吋	學校廢棄吊扇
2	通風球	1	14 寸	慈濟環保站回收
3	十字起子	1		
4	一字起子	1		
5	三用電錶	1		
6	束線	20		
7	鱷魚夾	5	5 對	
8	泡棉膠	1	固定磁鐵用	
9	強力磁鐵	20	直徑 1.5 公分	
10	強力磁鐵	20	直徑 2.4 公分	
11	強力磁鐵	20	直徑 3.0 公分	
12	智慧型手機	1		充電用
13	LED	50		電源測試用
14	麵包板	1		電源測試用
15	直流變壓器	3	5V, 6V, 12V	轉直流電源
16	手機充電座	2	5V	儲存電源用
17	鉛蓄電池	1	6V	儲存電源用
18	示波器	1	Tektronix TDS1001b	測試波形用
19	相機	1	Nikon D50	記錄用

## 肆、研究過程與方法

我們在學長姐的指導之下，將廢棄吊扇拆解，發現吊扇的零組件非常的多，遠超出我們的想像，我們花了幾天才把吊扇一一拆解完成。接下來，我們按照學長姐們所引導的步驟，將吊扇的線圈組件與通風球結合，完成了我們所要進行研究的風力發電機。通風球發電機的組裝過程如下圖所示。



線圈組件的轉軸用壓床取出，要在通風球的轉軸裝上轉盤和線圈。



我們將通風球拆開，在葉片上固定轉盤，在底座用束線固定線圈組，最後組裝完成。



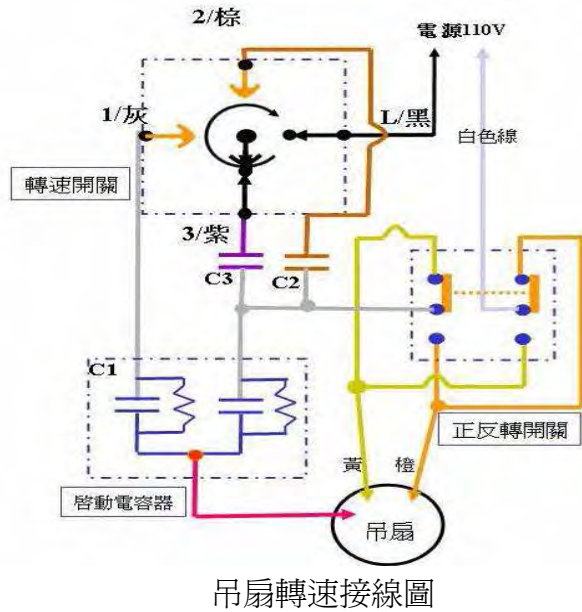
吊扇線圈與通風球連結之風力發電機

### 一、風力發電機的發電原理

我們發現線圈組件連結的電線共有六條，分別為紫色、粉紅色、灰色、棕色、紅色和黃色。我們上網查了吊扇的線路，紅色線和黃色線是電源輸入線，而粉紅色是共用線，灰色線是 1 速，棕色線是 2 速，紫色線是 3 速。

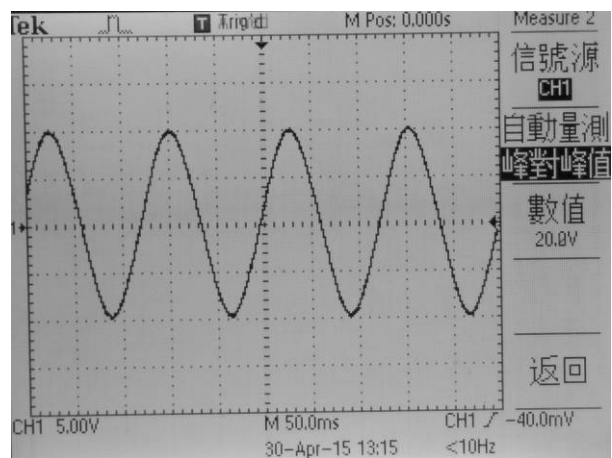
因為我們做的是發電機，所以紅色與黃色線變成電源輸出線，灰色線、棕色線及紫色線就變成了三種大小不同線圈的連接線了。我們發現線圈組件裡，外圈有 16 組大線圈，內圈有 16 組小線圈。

而風力發電的原理就是當風扇轉動時，會帶動吊扇轉盤，而貼在轉盤上的強力磁鐵會跟著轉動。固定不動的線圈在磁鐵轉動時，所感應到的磁場就會發生變化。依據冷次定律，磁場發生改變，線圈就會產生感應電流來抵抗磁場的變化。



灰色 1 速，棕色 2 速，紫色 3 速

我們將組裝好的風力發電機，測試轉動時產生的電壓波形，發現效果非常好。因為通風球的工藝精良，葉片轉動時阻力非常小，只要輕微的空氣流動就能轉動，而且轉速固定，讓我們的測試進行得非常順利。



風力發電機轉速固定，電壓波形穩定，示波器也自動計算出我們要的數據。

## 二、不同實驗的進行及說明

我們將實驗分組進行，以找出通風球發電機效能最佳化為目標，實驗說明條列如下：

實驗一：磁鐵數量與感應電流（壓）的相關性

實驗二：不同磁極組合與感應電流（壓）的相關性

實驗三：磁鐵排列角度與感應電流（壓）的相關性

實驗四：線圈數量、磁力大小及不同轉速與感應電流（壓）的相關性

### 實驗一：磁鐵數量與感應電流（壓）的相關性

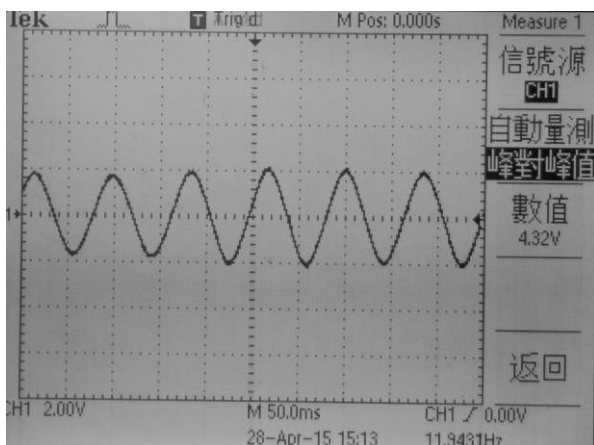
我們用同樣的風速，從貼1個磁鐵開始測量起，然後慢慢增加磁鐵的數量。試著用不同的磁鐵數量來測試波形的變化。我們選用的是直徑為30mm的磁鐵來做測試。

#### （一）1個N極磁鐵

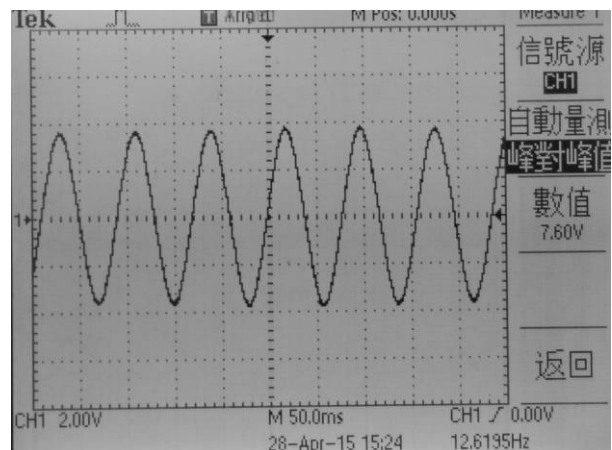
我們發現就算只貼1個N極的強力磁鐵（朝向線圈）在轉盤上，也一樣會產生漂亮的弦波波形。波形的峰對峰值約有4.22V。但如果是貼1個S極磁鐵，產生的電壓會不到N極的一半。

#### （二）2個N極磁鐵相對

接著在相對的位置貼上2個N極強力磁鐵在轉盤上，會產生漂亮的弦波波形，峰對峰值約有7.60V。如果貼2個S極的磁鐵，電壓約只有4.32V。



2個S極磁鐵朝線圈產生的波形



2個相對的N極磁鐵產生的波形

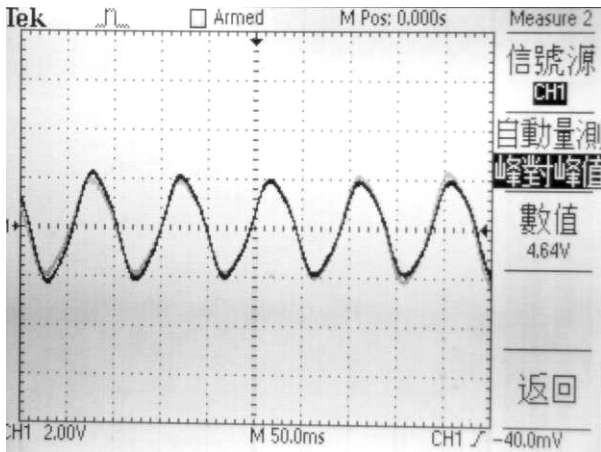
以上的實驗發現，當S極朝向線圈時，所感應出的電壓大小約為N極的一半。因此，我們的實驗呈現皆以N極為主。

### (三) 3個N極磁鐵等距排列

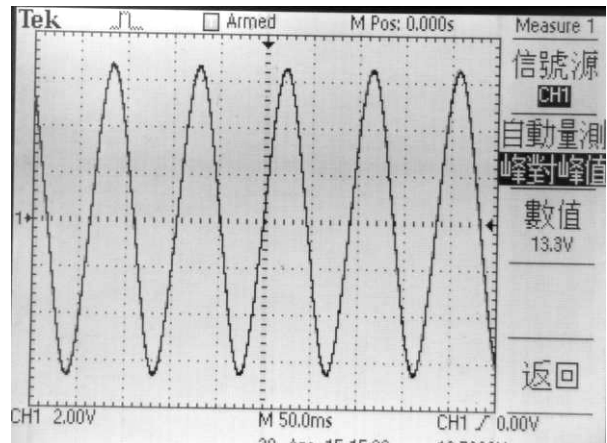
在相等距離的位置上，貼3個N極磁鐵在轉盤上，所產生的波形受到擠壓變形，峰對峰值只有4.64V。

### (四) 4個N極磁鐵等距排列

當我們在相對的位置上各貼上4個N極磁鐵在轉盤上，所產生的波形非常漂亮，峰對峰值有13.3V。



3個N極磁鐵等距排列產生的波形



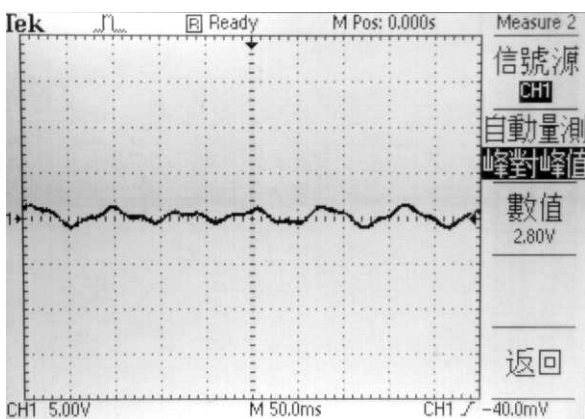
4個N極磁鐵等距排列波形漂亮

### (五) 5個N極磁鐵等距排列的波形

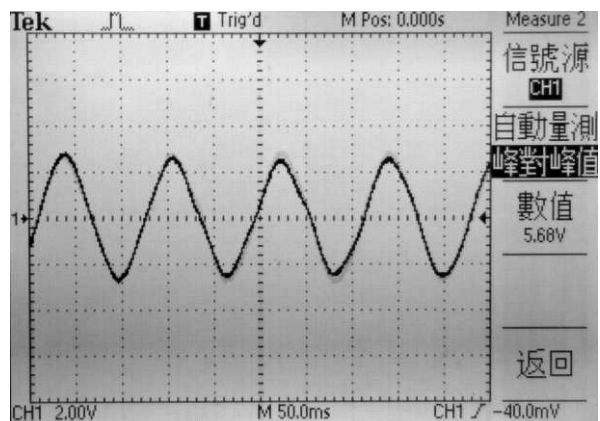
當我們在相對的位置上各貼上5個N極磁鐵在轉盤上，所產生的波形受到擠壓變形嚴重，峰對峰值只有2.80V。遠不如4個N極的13.3V。

### (六) 6個N極磁鐵等距排列的波形

當我們在相對的位置上各貼上6個N極磁鐵在轉盤上，所產生的波形受到擠壓變形，峰對峰值只有5.68V。遠不如4個N極的13.3V。



5個N等距排列的波形亂成一團



6個N極磁鐵等距排列，波形不佳

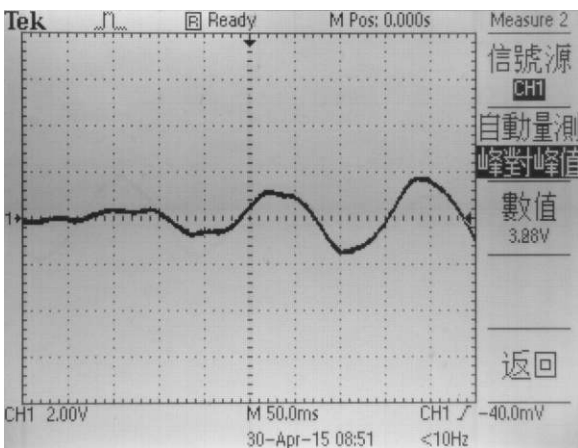


### (七) 7個N極磁鐵等距排列的波形

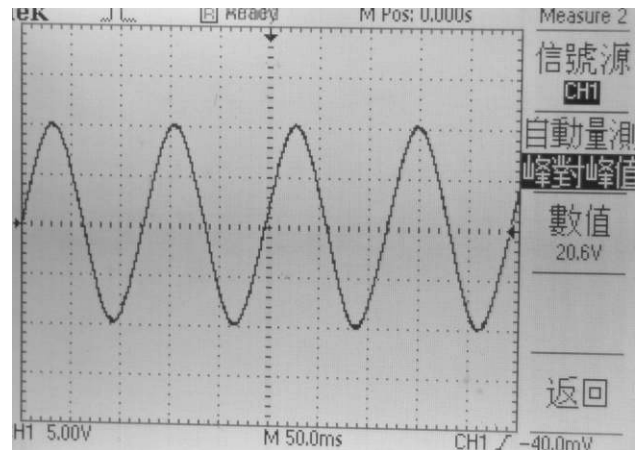
當我們在相對的位置上各貼上7個N極磁鐵在轉盤上，電壓波形受到擠壓變形嚴重。

### (八) 8個N極磁鐵等距排列的波形

當我們在相對的位置上各貼上8個N極磁鐵在轉盤上，產生了漂亮的弦波波形，峰對峰值有20.6V。



7個N極磁鐵等距排列的波形變形嚴重



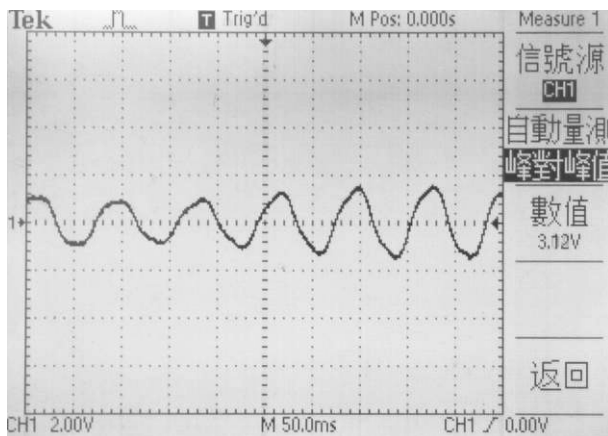
8個N極磁鐵兩兩相對波形漂亮

### (九) 9至15個N極磁鐵等距排列的波形

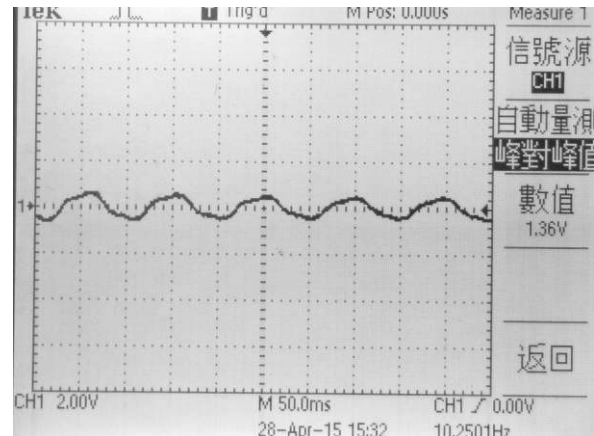
我們依序將9個至15個N極磁鐵，分別等距排列在轉盤上，發現並沒有產生弦波波形，波形受到擠壓嚴重，所生成的電壓無法應用。

### (十) 16個N極磁鐵等距排列的波形

當我們將磁鐵等距排列貼上16個N極磁鐵在轉盤上，發現並沒有產生弦波波形，峰對峰值有1.36V。幾乎沒有電壓生成。



12個N極等距排列波形擠壓變形



16個N極等距排列幾乎沒輸出波形

綜合以上不同的磁鐵數量（N極）所產生的波形及峰對峰電壓，我們製表整理如下：

實驗編號	磁鐵個數	排列方式	峰對峰值	波形描述
<b>1</b>	<b>1個N</b>	<b>無</b>	<b>4.32</b>	<b>漂亮的弦波波形</b>
<b>2</b>	<b>2個N</b>	<b>NN相對排列</b>	<b>7.6</b>	<b>漂亮的弦波波形</b>
3	3個N	NN相對排列	4.64	波形擠壓變形
<b>4</b>	<b>4個N</b>	<b>NN等距排列</b>	<b>13.3</b>	<b>漂亮的弦波波形</b>
5	5個N	NN等距排列	2.80	波形完全擠壓變形
6	6個N	NN等距排列	5.68	波形擠壓變形
7	7個N	NN等距排列	3.88	波形擠壓變形嚴重
<b>8</b>	<b>8個N</b>	<b>NN等距排列</b>	<b>20.6</b>	<b>漂亮的弦波波形</b>
9	9~15個N	NN等距排列	約2~3V	波形擠壓變形嚴重
10	16~18個N	NN等距排列	約1~1.36V	波形完全擠壓變形

如同上述的實驗測試，我們發現在1、2、4及8個N極磁鐵等距排列時，都會產生漂亮的弦波波形。而且1個N的感應電壓約為2個N的一半；2個N的感應電壓約為4個N的一半；4個N的感應電壓約為8個N的一半，**但全部用16個N排列，並沒有電力輸出**。其餘數量的N極磁鐵所產生的波形都受到擠壓變形，甚至變形得非常嚴重。

## 實驗二：不同磁極組合與感應電流（壓）的相關性

我們也試著將N與S二種磁極，搭配不同的磁鐵數量，做不同的排列組合，測試看看通風球發電機所感應出來的電壓波形。我們選用的是直徑為30mm的磁鐵來做測試。

### （一）1個N極及1個S極磁鐵相對

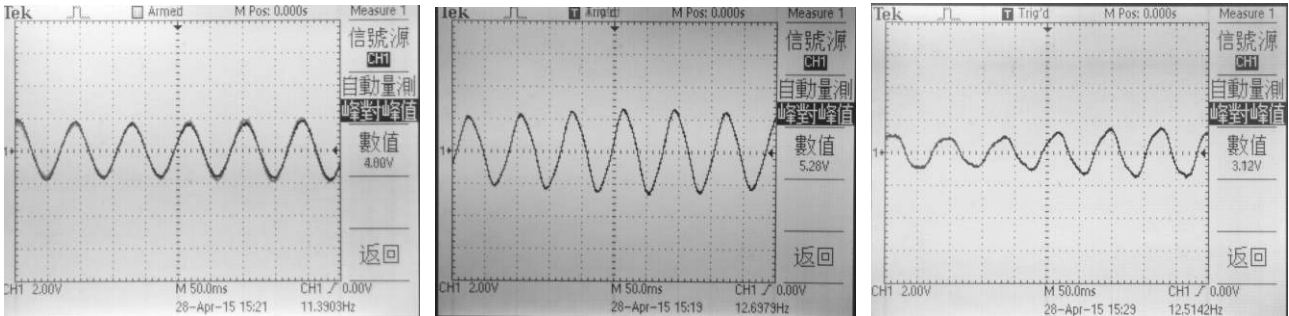
我們也試著在相對的位置各貼上1個N極及1個S極磁鐵在轉盤上，所產生的波形峰對峰值約有4.00V，而且波形似乎有些抖動。比2個N極磁鐵相對排列的7.60V低很多。

### （二）4個磁鐵排列方式為NSNS的波形

我們發現當貼上2組N與S相對的磁鐵時，峰對峰值只有5.28V，而且波形似乎有些抖動。產生的電壓波形遠不如4個N極磁鐵的13.3V。

### (三) 4個磁鐵排列方式為NNSS的波形

我們發現，當磁鐵等距排列成NNSS的時候，波形有受到擠壓而變形，峰對峰電壓值只有3.12V。且波形擠壓變形嚴重。



NS相對排列波形不佳

NSNS等距排列，波形有些變形

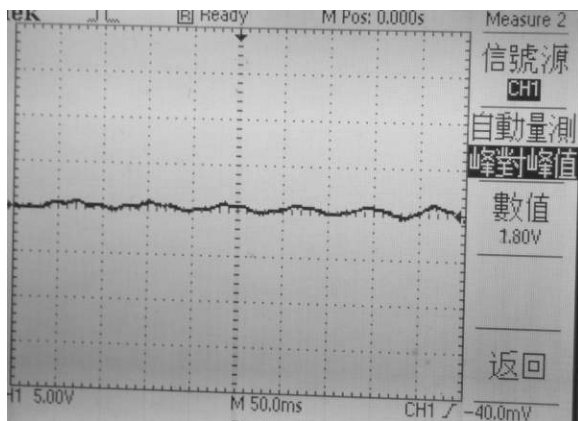
NNSS等距排列，波形變形大

### (四) 6個磁鐵為NSNSNS等距排列方式的波形

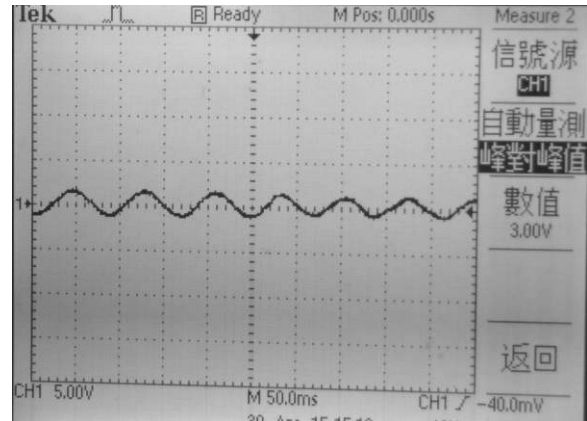
我們發現，當磁鐵等距排列成NSNSNS的時候，波形有受到擠壓而變形，峰對峰電壓值只有1.80V。而且波形擠壓變形嚴重。

### (五) 6個磁鐵為NNSSSS等距排列方式的波形

我們發現，當磁鐵等距排列成NSNSNS的時候，波形受到擠壓而變形的非常嚴重，峰對峰電壓值只有3.00V。



六個NSNSNS等距排列的波形擠壓變形



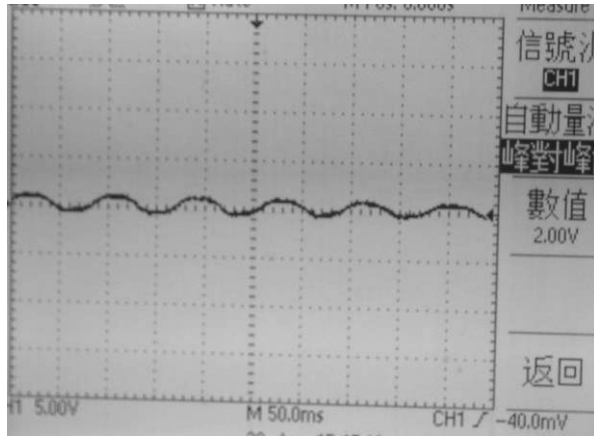
6個NNSSSS等距排列方式的波形

### (六) 8個磁鐵為NSNSNSNS等距排列方式的波形

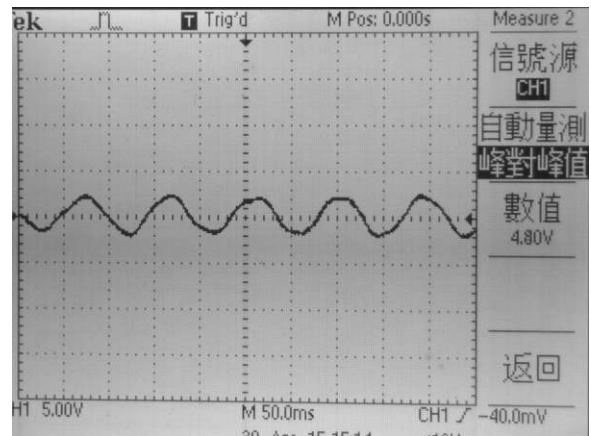
我們發現，當磁鐵等距排列成NSNSNSNS的時候，波形有受到擠壓而變形，峰對峰電壓值只有2.00V，而且波形擠壓變形嚴重。

### (七) 8個磁鐵為NNNNSSSS等距排列方式的波形

我們發現，當磁鐵等距排列成NNNNSSSS的時候，波形受到擠壓而變形，峰對峰電壓值只有4.80V。



8個NSNSNSNS等距排列的波形擠壓變形



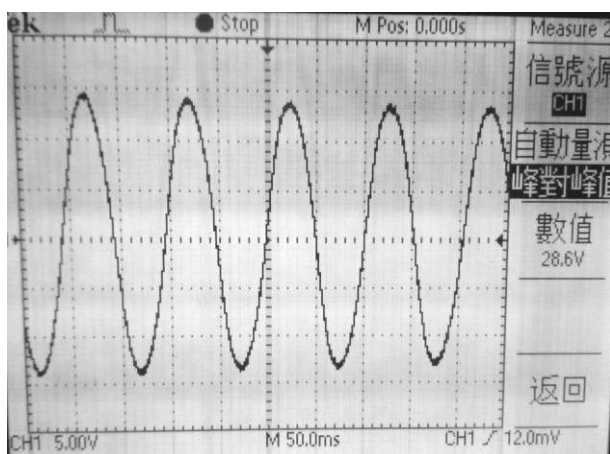
8個NNNNSSSS等距排列方式的波形

### (八) 16個磁鐵為NSNSNSNSNSNSNSNSNSNS等距排列方式的波形

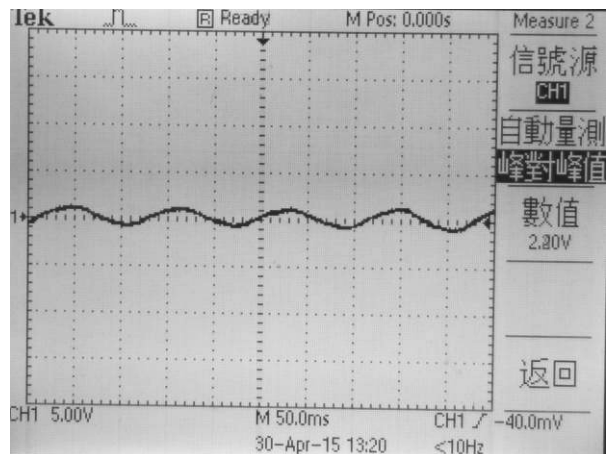
我們發現，當16個磁鐵等距排列成NSNSNSNSNSNSNSNSNSNS交錯等距排列的時候，**電壓波形是完美的弦波波形，峰對峰電壓值高達28.6V**，這是目前所測得最佳電壓。

### (九) 16個磁鐵為NNNNNNNNSSSSSSSS分兩邊等距排列方式的波形

我們發現，當磁鐵等距排列成NNNNNNNNSSSSSSSS的時候，波形受到擠壓而變形嚴重，峰對峰電壓值只有2.20V。



16個NS交錯排列是完美的弦波波形28.6V



16個NS分兩邊等距排列波形受到擠壓嚴重

綜合以上不同的N與S兩種磁極，搭配不同的磁鐵數量所產生的波形及峰對峰電壓，我們製表整理如下：

實驗編號	磁鐵個數	排列方式	峰對峰值	波形描述
1	1個N，1個S	NS 相對排列	4.00	波形受擠壓變形
2	2個N，2個S	NSNS 等距排列	5.28	波形受擠壓變形
3	2個N，2個S	NNSS 等距排列	3.12	波形受擠壓變形
4	3個N，3個S	NSNSNS 等距排列	1.8	波形受擠壓變形
5	3個N，3個S	NNSSS 等距排列	3.00	波形受擠壓變形
6	4個N，4個S	NSNSNSNS 等距排列	2.00	波形受擠壓變形
7	4個N，4個S	NNNNSSSS 等距排列	4.80	波形受擠壓變形
<b>8</b>	<b>8個N，8個S</b>	<b>8組NS 等距交錯排列</b>	<b>28.6</b>	<b>漂亮的弦波波形</b>
9	8個N，8個S	8組NS 分兩邊等距排列	2.80	波形擠壓變形嚴重

我們發現將N與S兩種磁極，依不同的磁鐵數量，做不同的排列組合，測試所感應出的電壓波形，**只有16個磁鐵為NSNSNSNSNSNSNSNSNS等距排列方式，會產生漂亮的弦波波形**，而且峰對峰電壓值是日前所測得最佳，其餘組合都無法產生理想的電壓。

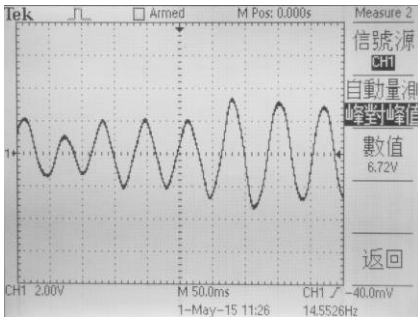
### 實驗三：磁鐵排列角度與感應電流（壓）的相關性

我們也試著在不同的夾角位置貼上不同個N極磁鐵在轉盤上，觀察所產生的波形變化，選用的是直徑為30mm的磁鐵來做測試。我們從2個N極磁鐵開始排列，角度從30度至150度，發現所產生的波形隨著角度改變而不同，最好的波形還是2個N極磁鐵相對夾角為180度的時候，**但在45度、90度及135度的波形也很不錯**，不過波峰波谷會上下晃動，起伏不定。

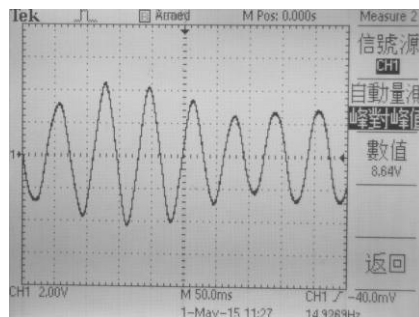
而3個N極磁鐵，角度從30度至120度，進行測試，最佳的波形是夾角45度與90度時的排列方式，當夾角在120度的時候，波形就會受到擠壓變形。我們在進行4個N至8個N極磁鐵測試時，N極磁鐵在相隔45度、90度的波形都不錯，但波形會上下晃動。5N、6N及7N等距排列的波形都不佳。我們將不同數目的N極磁鐵改變排列角度所產生的波形，製表如下：

2個N極磁鐵不同排列角度，所感應出的電壓波形：

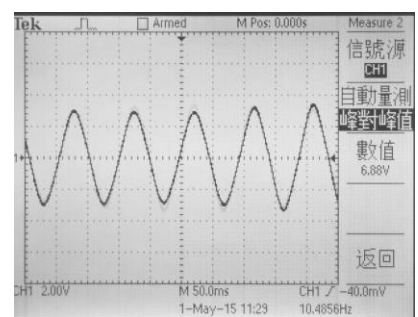
實驗編號	磁鐵個數	所夾角度	峰對峰值	波形描述
1	2 個 N	30	6.0	有弦波波形 波峰波谷高低起伏大 會上下晃動
		45	7.4	
		60	6.72	
		90	8.64	
		120	5.6	
		135	6.88	
		150	5.44	



2 個 N 夾角為 60 度的波形



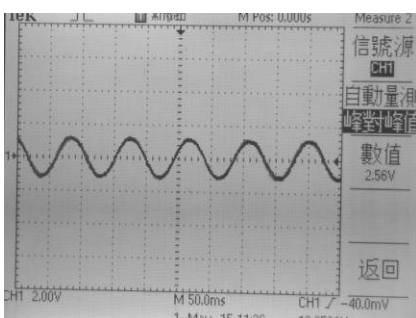
2 個 N 夾角為 90 度的波形



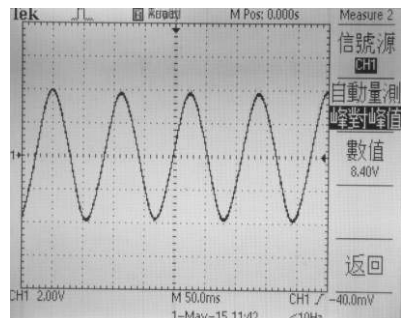
2 個 N 夾角為 135 度的波形

3個N極磁鐵不同排列角度，所感應出的電壓波形：

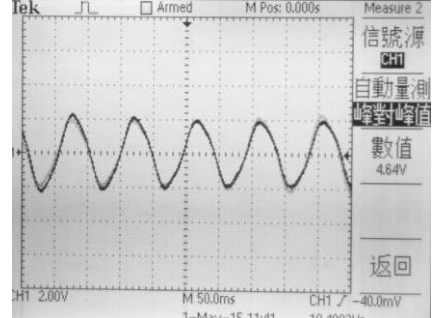
實驗編號	磁鐵個數	所夾角度	峰對峰值	波形描述
2	3 個 N	30	1.12	沒有波形
		45	8.6	弦波波形但上下晃動
		60	2.56	波形受擠壓
		90	8.40	弦波波形但上下晃動
		120	4.64	波形受擠壓變形
		135	8.66	弦波波形但上下晃動



3 個 N 夾角為 60 度的波形



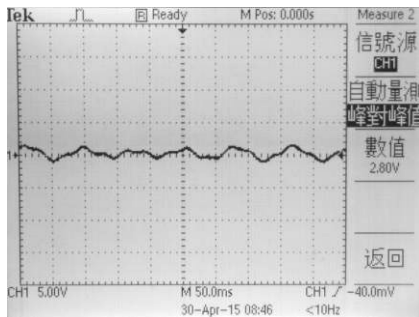
3 個 N 夾角為 90 度的波形



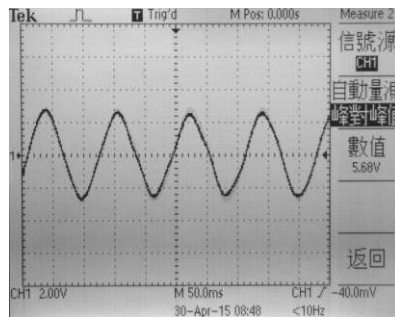
3 個 N 夾角為 120 度的波形

多個N極磁鐵等距排列，所感應出的電壓波形：

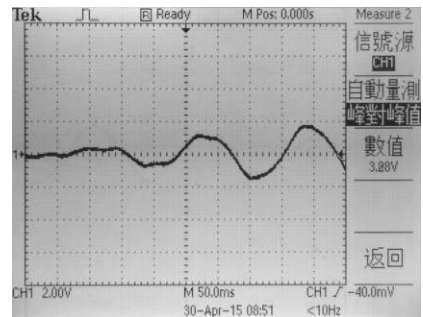
實驗編號	磁鐵個數	所夾角度	峰對峰值	波形描述
3	4個N	等距排列	13.3	漂亮的弦波波形
4	5個N	等距排列	2.80	波形不規則
5	6個N	等距排列	5.68	波形受擠壓
6	7個N	等距排列	3.28	波形不規則
7	8個N	等距排列	20.6	漂亮的弦波波形



5個N等距排列的波形



6個N等距排列的波形



7個N等距排列的波形

#### 實驗四：線圈數量、磁力大小及不同轉速與感應電流的相關性

我們用電風扇模擬風力，共分三段風力，模擬在不同風速的狀況下，發電機所產生的電壓波形及各項數值。依據實驗二的結果，各以8個N與S交錯等距排列（共16個磁鐵），會有最佳的感應電壓，所以我們各用16個大小不同的強力磁鐵（直徑分別為15mm，24mm及30mm的三種磁鐵），來測試三種線圈接線的電壓波形的數值變化。



三種不同尺寸的磁鐵，由左至右磁鐵直徑分別為15mm，24mm及30mm

所以，三種尺寸的磁鐵及三種不同線圈，組合成九種模組，再搭配三段不同風力，改變通風球發電機的轉速，合計會有27種組合，說明及定義如下：

模組1：磁鐵尺寸15mm $\phi$ 搭配紫色接線。

模組2：磁鐵尺寸15mm $\phi$ 搭配棕色接線。

模組 3：磁鐵尺寸 15mm  $\phi$  搭配灰色接線。

模組 4：磁鐵尺寸 24mm  $\phi$  搭配紫色接線。

模組 5：磁鐵尺寸 24mm  $\phi$  搭配棕色接線。

模組 6：磁鐵尺寸 24mm  $\phi$  搭配灰色接線。

模組 7：磁鐵尺寸 30mm  $\phi$  搭配紫色接線。

模組 8：磁鐵尺寸 30mm  $\phi$  搭配棕色接線。

模組 9：磁鐵尺寸 30mm  $\phi$  搭配灰色接線。

我們用示波器測試上列的九個模組，在不同的風力大小狀況下，所產生的電壓數值。風扇轉速 rpm 為每分鐘所轉的圈數。

**(一) 磁鐵尺寸 15mm  $\phi$  的電壓值測試結果 (15mm 系列模組)：**

**模組 1 (紫線測試 15mm  $\phi$ )**

風速大小	電壓頻率	峰對峰值	電壓 rms 值	風扇轉速 rpm
風速 1	6.709	9.0	2.83	50.3175
風速 2	9.025	11.8	4.34	67.6875
風速 3	9.838	13.8	4.58	73.785

**模組 2 (棕線測試 15mm  $\phi$ )**

風速大小	電壓頻率	峰對峰值	電壓 rms 值	風扇轉速 rpm
風速 1	5.171	8.6	3.11	38.7825
風速 2	9.271	14.0	5.20	69.5325
風速 3	10.41	14.2	5.55	78.075

**模組 3 (灰線測試 15mm  $\phi$ )**

風速大小	電壓頻率	峰對峰值	電壓 rms 值	風扇轉速 rpm
風速 1	5.525	9.4	3.11	41.44
風速 2	9.009	13.8	5.21	67.57
風速 3	13.44	21.4	7.73	100.8



(二) 磁鐵尺寸 24mm  $\phi$  的電壓值測試結果 (24mm 系列模組) :

模組 4 (紫線測試 24mm  $\phi$ )

風速大小	電壓頻率	峰對峰值	電壓 rms 值	風扇轉速 rpm
風速 1	4.00	15.4	3.5	30
風速 2	8.72	28.6	10.3	65.4
風速 3	12.62	38.6	13.6	94.65

模組 5 (棕線測試 24mm  $\phi$ )

風速大小	電壓頻率	峰對峰值	電壓 rms 值	風扇轉速 rpm
風速 1	5.00	18.0	5.57	37.5
風速 2	7.72	35.4	12.4	57.9
風速 3	12.432	46.0	16.4	93.24

模組 6 (灰線測試 24mm  $\phi$ )

風速大小	電壓頻率	峰對峰值	電壓 rms 值	風扇轉速 rpm
風速 1	5.0	19.2	6.63	37.5
風速 2	7.5	44.3	12.8	56.25
風速 3	12.36	50.0	18.6	92.7

(三) 磁鐵尺寸 30mm  $\phi$  的電壓值測試結果 (30mm 系列模組) :

模組 7 (紫線測試 30mm  $\phi$ )

風速大小	電壓頻率	峰對峰值	電壓 rms 值	風扇轉速 rpm
風速 1	風扇不動，無法測量			
風速 2	3.28	15.4	4.89	24.6
風速 3	11.63	44.0	13.8	87.225

### 模組 8 (棕線測試 30mm $\phi$ )

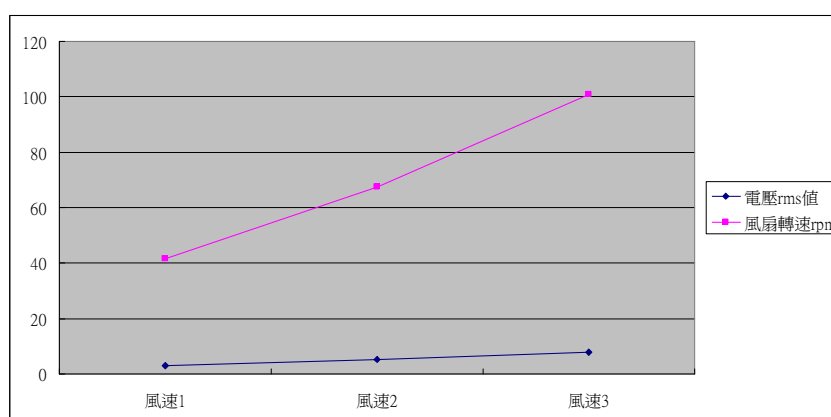
風速大小	電壓頻率	峰對峰值	電壓 rms 值	風扇轉速 rpm
風速 1	風扇不動，無法測量			
風速 2	6.08	21.6	9.70	45.6
風速 3	12.66	55.8	18.9	94.95

### 模組 9 (灰線測試 30mm $\phi$ )

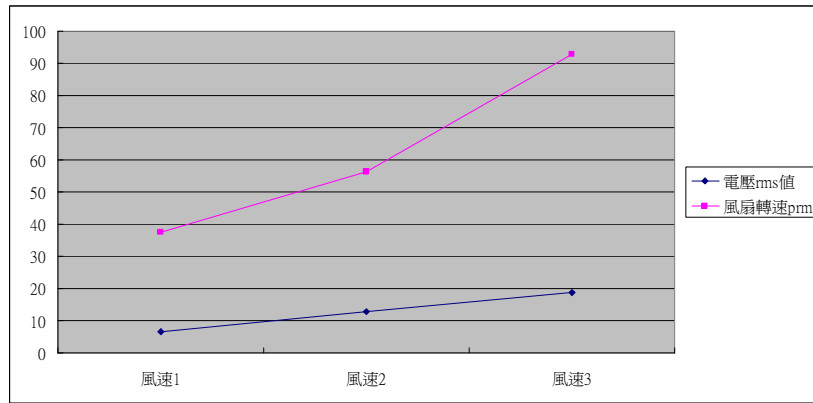
風速大小	電壓頻率	峰對峰值	電壓 rms 值	風扇轉速 rpm
風速 1	風扇不動，無法測量			
風速 2	5.21	26.4	7.77	39.075
風速 3	11.36	56.8	20.3	85.2

由以上的數據，我們的發現整理如下：

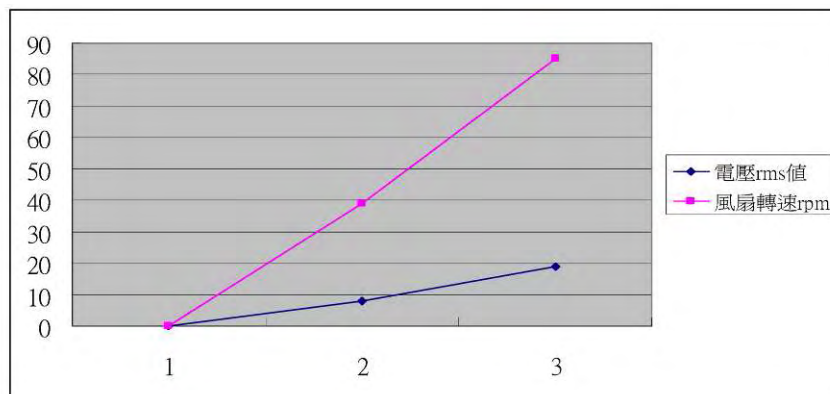
- 1、風扇一定要轉動，風扇不動就感應不出電壓電流。30mm 系列的三個模組，在風速 1 的情況下，風扇都無法轉動。因為磁鐵較重，磁力也較強會有吸住線圈鐵心的狀況。
- 2、同系列磁鐵的測試中，灰線連接所產生的電壓都比較高，符合網路吊扇的線路資料，灰色線是 1 速，棕色線是 2 速，紫色線是 3 速。
- 3、風扇轉動的轉速與感應出的電壓有正比關係。如下圖所示：



15mm 系列模組 3 灰線，風力愈大電壓逐漸加大



24mm 系列模組 6 灰線，風力愈大電壓值上升快



30mm 系列模組 9 灰線，通風球只要轉動，電壓值上升最快

## 伍、研究結果

我們將所有的實驗結果，整理說明如下：

### 實驗一、磁鐵數量與感應電流（壓）的相關性實驗：

我們想試著用不同的磁鐵數量來測試波形的變化，在相同的風速下做通風球的測試比較。選用的是直徑為 30mm 的磁鐵來做測試。

我們發現：（一）N 極朝向線圈所感應出的電壓，大約是 S 極朝向線圈的 2 倍。

（二）1、2、4、8 個 N 極等距排列，電壓波形是完美的弦波，所感應出的電壓與磁鐵數量有正比關係。

### 實驗二、不同磁極組合數量與感應電流（壓）的相關性實驗：

我們發現：（一）不同數量的 N 與 S 二種磁極交錯等距排列，所感應出的電壓波形，都受到擠壓變形。所感應出的電壓，遠不如同數量的 N 極磁鐵相對所感應出的電壓。

(二) 8 個 N 與 8 個 S 交錯等距排列，是本項實驗唯一可行，而且有最大輸出電壓的方式。

### 實驗三、磁鐵排列角度與感應電流（壓）的相關性的實驗：

我們也試著在不同的夾角位置貼上不同個 N 極磁鐵在轉盤上，觀察所產生的波形變化。

我們發現：（一）不同數量的 N 極磁鐵，在夾角 45 度、90 度、135 度及 180 度，所產生的電壓波形都是弦波波形。但以 180 度的電壓波形最佳。

（二）產生最佳弦波波形的磁鐵夾角度數，有 45 的倍數關係。

### 實驗四、線圈數量、磁力大小及不同轉速與感應電流（壓）的相關性的實驗：

我們都是以 8 個 N 極及 8 個 S 極強力磁鐵，交錯間隔等距排列的配置進行測試。三種強力磁鐵搭配三種線路，以三種風速所產生的最大輸出電壓值，整理如下：

風速 1 ---三種強力磁鐵所產生的最大電壓有效值（RMS 值）對照表

強力磁鐵尺寸	16mm $\phi$	24mm $\phi$	30mm $\phi$
最大電壓輸出 (V)	3.11	6.63	風扇不動

風速 2 ---三種強力磁鐵所產生的最大電壓有效值（RMS 值）對照表

強力磁鐵尺寸	16mm $\phi$	24mm $\phi$	30mm $\phi$
最大電壓輸出 (V)	5.21	14.6	7.77 (轉速慢)

風速 3 ---三種強力磁鐵所產生的最大電壓有效值（RMS 值）對照表

強力磁鐵尺寸	16mm $\phi$	24mm $\phi$	30mm $\phi$
最大電壓輸出 (V)	7.73	18.6	20.1

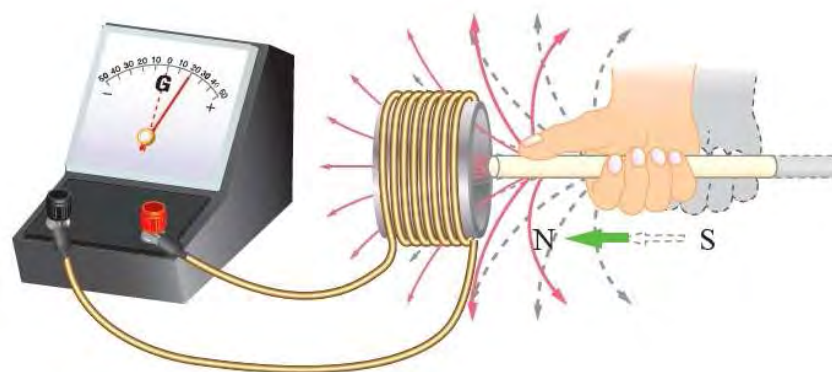
我們發現：（一）風速愈大，通風球轉速愈快，感應出的電壓愈大。

（二）線圈愈多，感應出的電壓愈大。

(三) 磁性愈強，感應出的電壓愈大。

## 陸、討論

關於以上發現，我們嘗試以國中自然與生活科技課本（第6冊，第2章，南一版）中，所說的「電磁感應」原理來進行分析：線圈中感應磁場的變化將產生感應電流。如下圖所示：



### 一、感應電流（壓）的大小 $\propto$ 線圈圈數 $\times$ 感應磁場的變化大小

「線圈圈數」由所採用吊扇的轉盤構造決定，人工更動較困難。

### 二、感應磁場的變化大小 $\propto$ 線圈轉動速率 $\times$ 線圈中的最大磁場強度（差）

「線圈轉動速率」主要由風速決定，線圈中的最小磁場強度為0。因此，線圈中的最大磁場強度差 = 線圈中的最大磁場強度 - 線圈中的最小磁場強度 = 線圈中的最大磁場強度。而影響「線圈中的最大磁場強度」的因素分析應為：

- (一) 強力磁鐵的強度
- (二) 線圈的數量與截面積
- (三) 轉動速率所改變的磁場強度
- (四) 強力磁鐵的數目

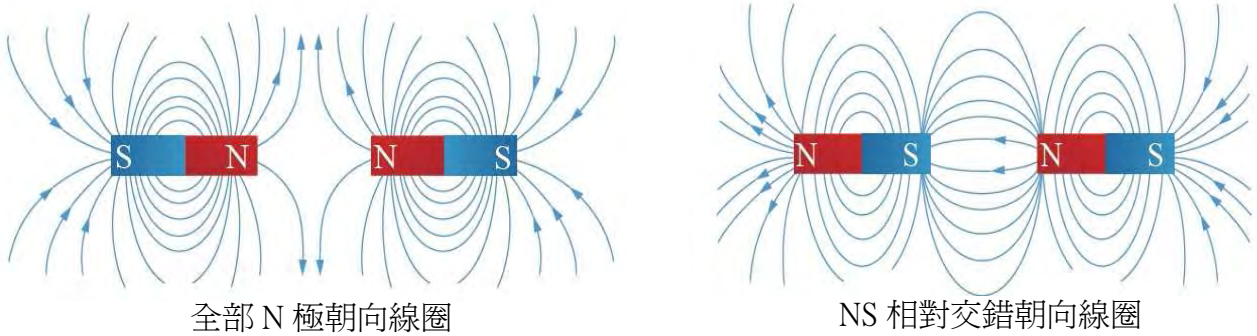
以上解釋說明與實驗四的結果相符，本實驗我們用了16個磁鐵NS交錯排列來進行測試。

### 三、強力磁鐵的排列方式，與感應電流的相關性

依據課本有關「磁場」與「磁力線」概念，摘要如下：

(二) 分布在磁鐵周圍空間代表磁針受力方向的曲線，稱為磁力線，如下圖所示：

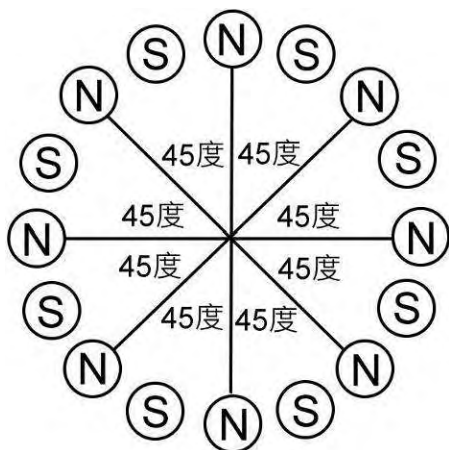
- (1) 磁鐵外部：由磁鐵的 N 極出發，經外部進入 S 極。
- (2) 磁鐵內部：由磁鐵的 S 極指向 N 極。
- (3) 磁力線為封閉的平滑曲線，任意兩磁力線永不相交。
- (4) 磁力線愈密，則磁場愈強。
- (5) 磁力線上某點的切線方向為該點的磁場方向。



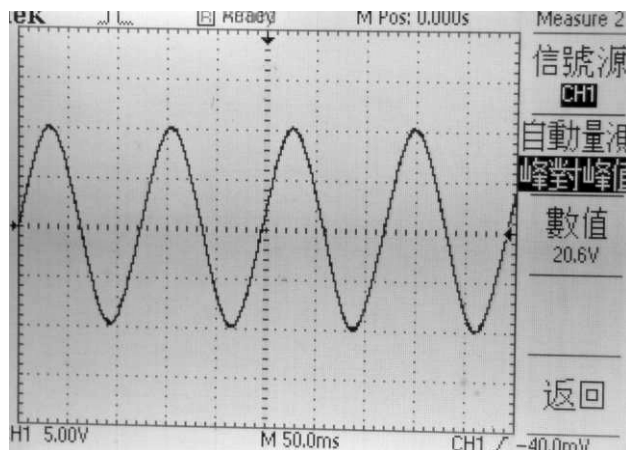
由上圖可知，當全部N極指向線圈時，線圈所感應到的磁場變化會比N極、S極交錯時還要大，所以感應電流（壓）會比較大。同理，也會比只有S極指向線圈時大。

但由實驗一發現，在只用N極磁鐵時，當N=1，2、4、8個時，感應電壓會有正比關係，反而全部16個N極磁鐵沒有感應電壓。而實驗二發現，N極與S極交錯排列時，只有8個N極和8個S極交錯等距排列，會有最大的感應電壓輸出，其餘N與S無論如何排列，都不會感應出有效的電壓波形。

再由實驗三發現，不同數量的 N 極磁鐵，在夾角 45 度、90 度、135 度及 180 度，所產生的電壓波形都是弦波波形。這和實驗二 8 組 NS 磁鐵排列的方式，每個 N 極的夾角正好是 45 度時，會有最大的感應電流的圖形相符。如下圖所示：



8 個 N 極等距排列，相差 45 度



8 個 N 極磁鐵等距排列，完美的弦波波形

**其中的原因，說明如下：**

我們認為，吊扇組件有 16 個線圈，依上述的電磁感應原理，1 個 N 極磁鐵向著線圈轉一圈會產生 8 個弦波（8 個上半波與 8 個下半波），這與我們計算通風球每分鐘的轉速（RPM），公式為（頻率÷8）× 60 相符。

假設 N 極磁鐵經過第一個線圈時所感應的是上半波形，那離開時就會感應出下半波形（冷次定律），而這個下半波形就如同是 S 極所感應出來的。所以當我們以 8 個 N 極、8 個 S 極交錯列時，在 N 極離開線圈時（產生下半波形），S 極剛好進入線圈（與 N 極相反，會產生下半波形），這時所有磁鐵產生的感應電流方向皆相同，累加起來就會產生最大的感應電壓（流）。這可說明實驗二的結果。

如果全部 16 個磁鐵都是 N 極朝向線圈，當第 1 個 N 極離開線圈時（會產生下半波形），下一個 N 極準備進入線圈（會產生上半波形），兩個感應電流方向相反，結果互相抵銷，所以幾乎沒有可應用的感應電流（壓）生成。這可說明實驗一的結果。

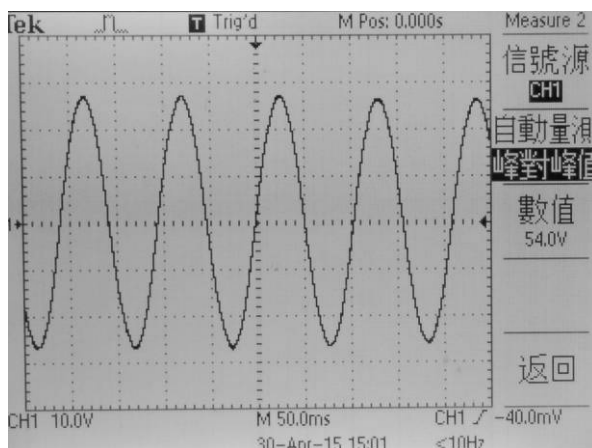
因此，不規律的強力磁鐵排列方式其實不必考慮，因為將可能導致不同線圈之間，各自的感應電流方向相反，結果互相抵銷，所以並無採用的價值。實驗結果也顯示：雖有電力輸出，但波形混亂，無法應用。

#### **四、吊扇線圈圈數與磁鐵角度排列的相關性**

我們發現，磁鐵角度的排列與吊扇線圈的設計相關，因為有 16 個線圈，所以 N 極的夾角以 45 度為最佳（ $360 \div 8 = 45$ ）。如果有 36 個線圈，N 極排列的夾角就以  $360 \div 18 = 20$  度為最佳。所以外線圈數若為 m，N 極的最佳排列度數為  $360 \div (m/2)$  度。再與 S 極交錯等距排列，將會有最佳效能的輸出。根據以上推論，我們將 N 極的夾角設定為 45 度，中間交錯 S 極磁鐵，發現無論幾個磁鐵交錯排列，波形也是完整的弦波，但因結構不穩，波形上下起伏大。

找到上述的原理之後，我們試著找出通風球發電機的最佳效能。我們選用 8 個 N 極、8 個 S 極磁鐵交錯排列，但因為直徑 30mm 的磁鐵過重，磁鐵的間隙過近，容易錯動移位，波形易受影響，也需要較大的風力才能轉動，所以我們改用 8 個直徑為 20mm 的強力磁鐵來替

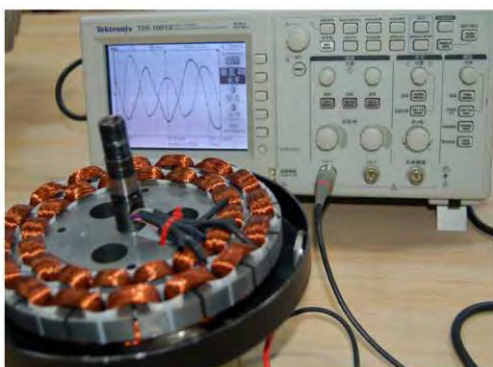
換。依風速 2 的情況下進行，結果發現會有最佳的效能輸出，峰值電壓約為 54.0V，是實驗四，模組 9 灰線測試（26.4V）的 2 倍多。



8 個 24mm  $\phi$  搭配 8 個 30mm  $\phi$  的強力磁鐵，會有最佳效能。

## 柒、結論與展望

我們所研發的風力發電機，利用廢棄吊扇和通風球的連結，是我們創意的發想。吊扇發電機轉動時的波形，是很多學校科展想做的題目。但因為沒有穩定的轉動速率，就不可能會有穩定感應電壓波形，數據量測就不準確。而我們所發明的通風球風力發電機正好解決了這個最大困難，因為只要維持固定的風速，通風球的轉速就會固定，那就會有穩定的波形輸出，讓我們很容易的觀察測試，極具教學功能，這是我們最大的貢獻。



用手轉動吊扇發電機，波形無法穩定



通風球轉速固定，波形穩定，易於觀察

我們的通風球發電機，因為 16 組線圈結構是固定的，所以我們改變不同的磁鐵組合，根據不同實驗設計所得的波形輸出，得到了以下的結論：

- 一、同樣數量的 N 極磁鐵朝向線圈所感應的電流（壓），比 S 極朝向線圈時大。
- 二、N 極磁鐵在夾角 45 度的倍數時，會有較佳的電壓輸出。其餘角度的波形會擠壓變形。
- 三、若吊扇外線圈有  $m$  組，那 N 極磁鐵的最佳排列度數為  $360 \div (m/2)$  度。



展望未來，我們期盼有更佳品質的磁鐵材料，來強化通風球的效能輸出。我們目前也正進行著通風球串並聯及線圈組件串並聯的實驗，也積極尋找結構更大的廢棄吊扇，來最佳化通風球的效能。期許不久的未來，我們的創意發想功德圓滿，能在綠色能源的舞台上，揮灑出一片美麗的色彩。

## 參考資料

- 1、南一，《自然與生活科技》，〈生活中的電與磁〉，台北：南一出版社，2014。
- 2、南一，《自然與生活科技》，〈電磁感應〉，台北：南一出版社，2014。
- 3、花蓮縣第54屆國中小科展，《多多益扇，廢棄吊扇與排熱風扇連結之風力發電裝置》。
- 4、網路影片：<https://www.youtube.com/watch?v=Q2nlxonD67o>

## 【評語】 030111

參與的同學很用心，花很多時間來完成作品，在電力分析及機構完成度高也有不錯的結果，可在電磁感應的原理多下點功夫。