

2014 年臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

作品編號 160029

參展科別 物理與天文學

作品名稱 反轉式風力發電之磁浮轉子研究之探討

得獎獎項 大會獎：三等獎

候補作品：1

就讀學校 臺北市立麗山高級中學

指導教師 吳明德、徐志成

作者姓名 邱嵩庭、廖卉馨、梁晉維

關鍵字 風力旋翼機(Wind turbine)、功率(Power)、
磁浮原理(Maglev)

作者簡介



我是梁晉維，在麗山高中就讀二年級三類組。我在高一進了辯論界，練得不錯的口才，對於推理分析也有自己獨有的一套方法。後來發現自己對自然科比較有興趣，特別是物理。因緣際會的接觸了物理專題課，看到歷年來學長姐的作品集，無法相信這些報告書都是高中生的能力辦得到的事，因此下定決心，發誓超越他們。專題與實驗常常與課業發生衝突，令我兩難，只好把課後時間與假日奉獻給專題實驗。但是專題實驗也給我不同於其他人的獨特經驗。



我是廖卉馨，就讀麗山高中二年級二類組。平常喜歡聽音樂也很嚮往和團員一起表演的感覺，在熱音社裡是擔任 BASS 教學。另外因為受到國小自然老師影響，所以小時候很想要成為讓世界變得更好的科學家。對物理、化學和地科也都很有興趣，在學校的專題課程便選擇了讓我感到課程最充實的物理科。雖然要同時兼顧課業、社團和專題非常困難，期間我也曾經累得想放棄，但看到同伴們的認真投入的模樣使我撐了下來，就是希望能從中學習到更多實用的東西，希望未來的某一天我也能為這個世界有點小小地貢獻。



我是邱嵩庭，就讀麗山高中二年級。我第一個選擇嘗試的研究專題就是物理，雖然一開始並不是非常的熱中，但是隨著實驗的進展以及成果的出現使我越來越享受整個研究的過程。雖然途中是一波三折，不是做錯就是出錯，但卻讓我深刻的了解到「不經一番寒徹骨，焉得梅花撲鼻香」，從失敗中學習，雖然有些辛苦，但我期待結果。感謝這段時間老師們的教導與組員間的相互砥礪，讓我受益良多，真的非常感謝。

摘要

本研究的風力發電裝置除了在轉子裝上旋翼外，再將定子裝上另外反轉旋翼，並分析單雙組旋翼在不同電阻、風速等變因下所受的影響，以及磁浮軸承的擺動軌跡。

以 QBLADE 軟體設計旋翼，並以飛機木製作。利用送風機產生風能，以自耦變壓器控制風速、可變電阻改變電阻並進行單雙組旋翼測量；用不同水平力施於磁浮軸承，觀察其擺動。最後將測得數據製成 Excel 圖表，分析趨勢。

Abstract

Except for adding blades which is made of aircraft wood and designed by the software QBLADE on the rotor and adding reverse blades on the stator of the wind-powered device of this research, also analyze the effect on both devices(with additional blades and without) under the change of resistance, wind speed. In addition, the swing trace of magnetic-suspended bearing is also considered in this research. By providing wind by using blower, controlling the wind speed by the autotransformer, changing the resistance by the variable resistor and exerting different horizontal force on the magnetic-suspended bearing, this experiment measures the power, rotation and swing ...etc of both devices. Finally, we make the data into a chart and analyze the trend.

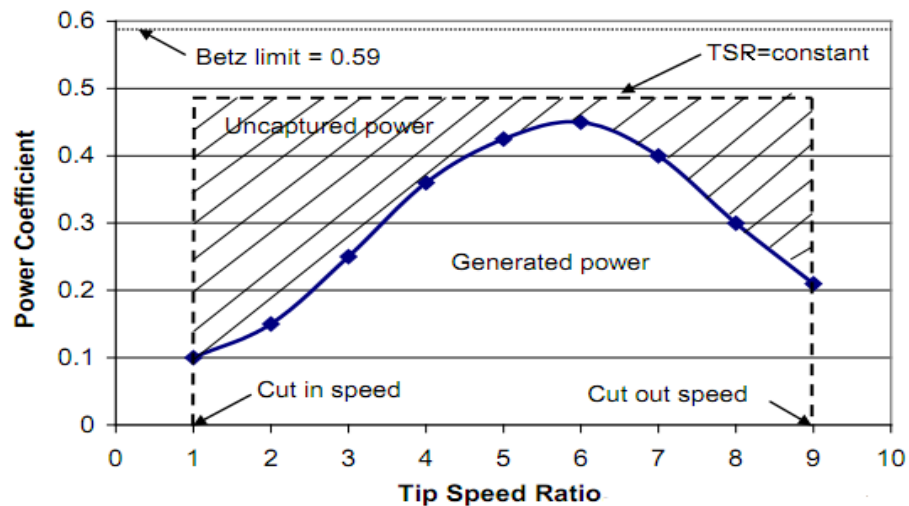
壹、前言

一、研究動機與背景

暖化日益嚴重與非再生能源的枯竭問題，世界各國紛紛發展再生能源，風力發電為其中一種發電方式。首先，風力並不穩定，加上軸承與軸承托架會造成摩擦力，所以風力發電機經常在無風或微風時停擺或處於難以轉動的狀態。我們蒐集了歷年來的文獻，資料如下。

編號	年份	作者	單位	研究論文名稱	成果
1	2009	朱翊誌	中山大學 電機工程 學系	含風力發電為 電網之孤島欲 轉策略	雙饋式風力發電機具備優越師電 器性能，其電力電子轉換器係配 置在轉子回路中，可有效的調整 轉子頻率，相較於其他風力發電 系統，其電力轉換器僅需處理雙 向流動的轉差功率，具有體積 小、重量輕、成本低的特點。
2	2010	程金保、 徐亦駿、 楊士祈、 李坤彥、 廖乙碩	台灣師範 大學機電 科技系 國立台灣 大學工程 科學及海 洋工程學	風力發電機功 率與轉速之數 學模型分析	由實際數據所推算之三次與二次 方程式其判定係數完全等於1， 但三次多項式的三次方項係數幾 乎逼近零，所以沒有意義，而其 餘次方項係數又與二次多項式的 係數近似，代表經過係數修正後 的二次多項式就可完整描述功率 與轉速的關係。
3	2007	王曉光、 菜柴準	武漢理工 大學電機 工程學	磁懸浮轉子系 統中渦流傳感 器的工作特性 研究	磁力軸承的變化磁場及磁滯特性 是影響渦流傳感器測量精密度的 一個重要原因，所以磁浮轉子檢 測系統需要考慮磁場環境對測量 精密度的影響。
4	2005	魏彤、房 建成	北京航天 航空大學 第五研究 室	磁懸浮控制力 矩的動框架效 應其角速率前 饋控制方法研 究	磁懸浮軸承採用角速率前饋控制 後，轉子跳動量被抑制到原來的 18%，大大提高了控制力舉陀螺 磁浮系統的穩定性，同時還改善 了控制力矩陀螺的力矩輸出特性

一般磁浮的風力發電機多用於垂直軸的發電機，而我們想運用在能產生更多效率的水平軸發電機。第二，風力發電機理論上將風能轉換為電能的輸出效率最高為 59.3%(根據貝茲曲線風能利用圖)，我們想到在前旋翼後面加裝反轉旋翼，增加風能的利用率。第三，一般的發電機是轉子接上旋翼，而我們是轉子接旋翼，定子接上反轉旋翼，增加發電機的使用效率。



圖一 貝茲曲線風能利用圖

本風力發電機的優點如下：

1. 減少軸承與軸承托架的摩擦力
2. 讓風力發電機在低風速下還能旋轉發電
3. 發電機能產生更多的電能
4. 提高風能的使用率

二、 研究目的

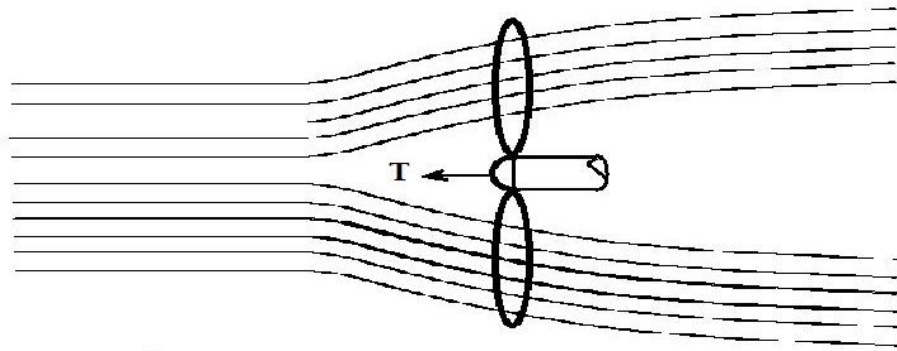
1. 測量加裝反轉旋翼並改變電阻對風能使用率的影響
2. 在同風速下，探討前後旋翼的距離對輸出功率的影響
3. 雙組旋翼之前後旋翼大小排列對輸出功率的影響
4. 製作磁浮軸承發電機組，並觀測磁浮軸承受不同水平力時，位移量與位能(回復力)之變化

貳、 研究方法或過程

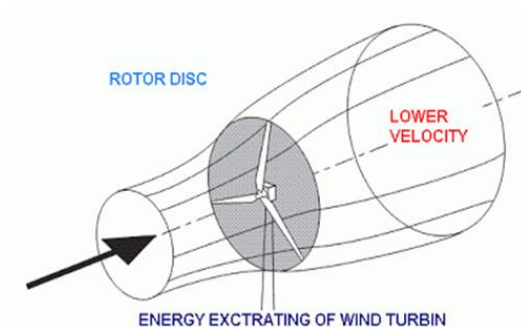
一、 原理

1. 貝茲定律：

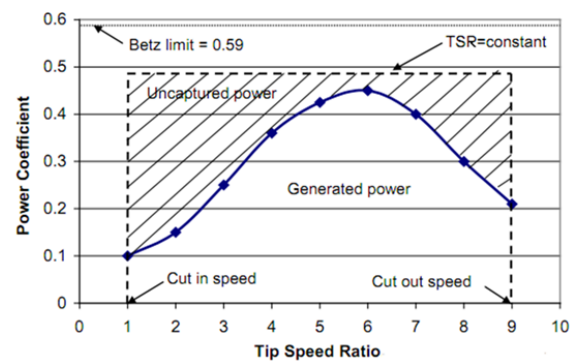
風機從風中取出的動能越多，風離開風機時風速下降越多



圖二 旋翼前、後風速流向



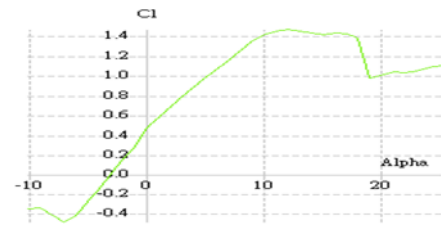
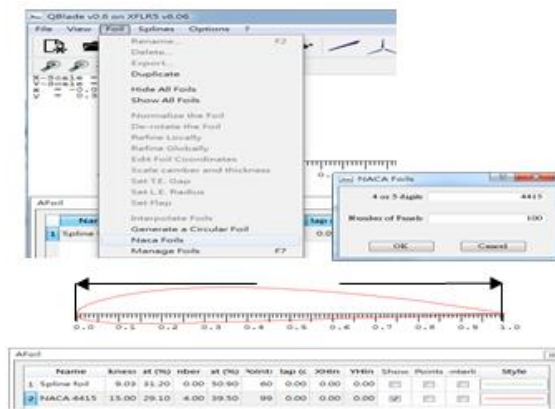
圖三 旋翼前、後風速



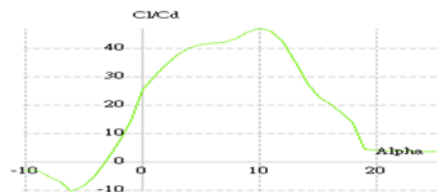
圖四 貝茲風能利用曲線圖

2. 旋翼設計：

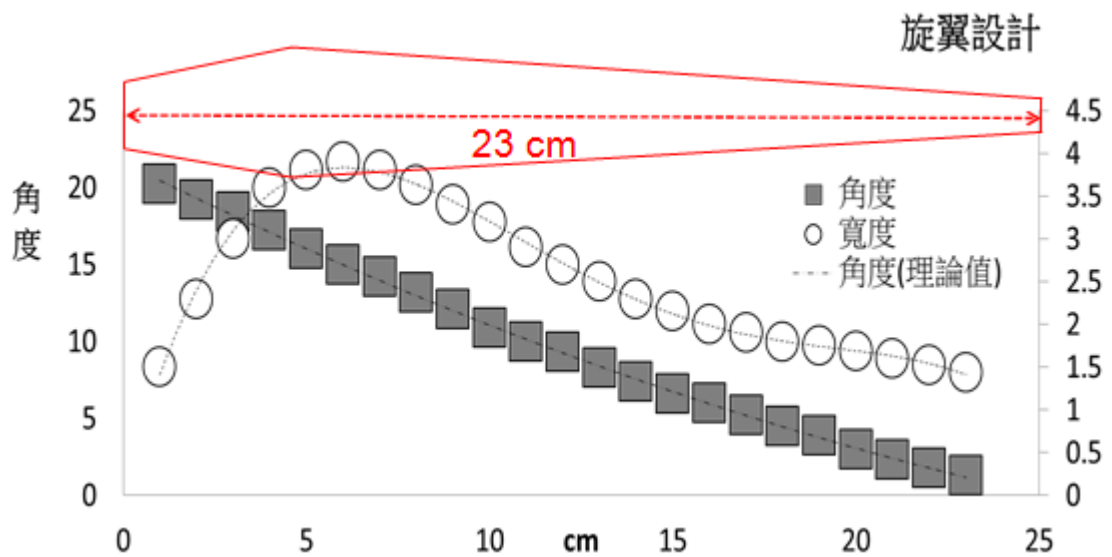
使用 QBLADE 軟體設計旋翼



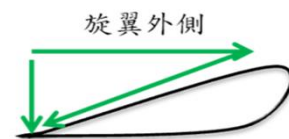
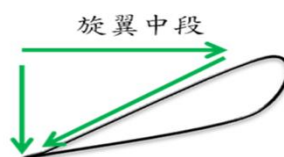
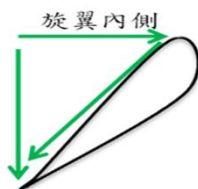
攻角與升力係數關係，最大升力係數約
1.5



攻角與升阻比力關係，在 10 度有極大值



圖五 QBLADE 旋翼模擬



3.發電機原理：

運用「電磁感應」原理將動力所作的功轉換成電能的裝置。

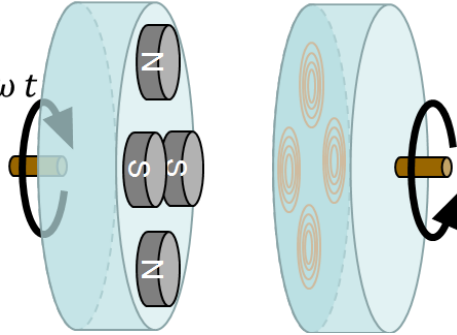
$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N\omega BA \cos \omega t$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R}$$

ε ：感應電動勢 N ：匝數

Φ_B ：磁通量 A ：線圈面積

ω ：角速度



4.功率討論

$$P(\text{風}) = \frac{1}{2} \times \rho \times \pi \times R^2 \times V^3 \times C_p$$



$$P(\text{旋翼}) = \tau \times \omega$$

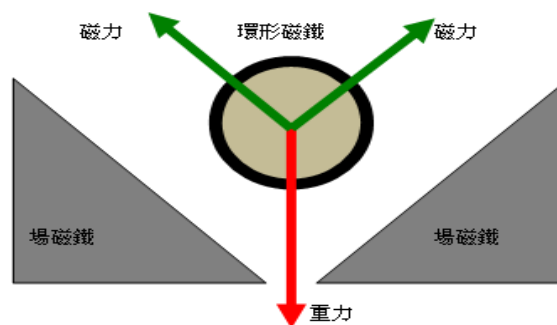


$$P(\text{發電機}) = I \times V$$

$$\lambda(\text{周速比}) = \frac{\omega R}{V(\text{風速})}$$

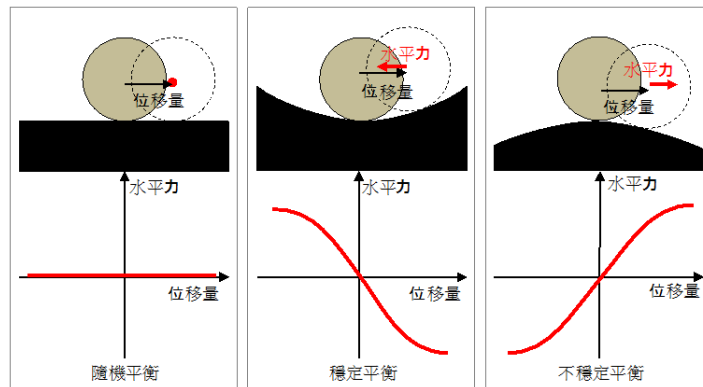
5.自製磁浮轉子

(1)磁浮轉子受力原理



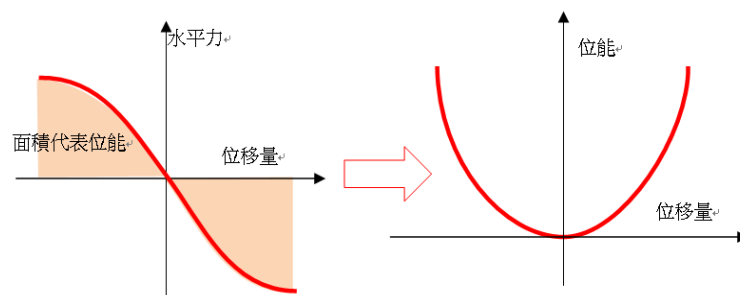
圖六 懸浮轉子受力示意圖

(2)三種平衡狀態水平力與位移量



圖七 三種平衡狀態水平力與位移量示意圖

(3)位能與位移量



圖八 位能與位移量示意圖

(所圍面積代表位能，斜率越陡代表平衡恢復力越大)

二、 器材與設備

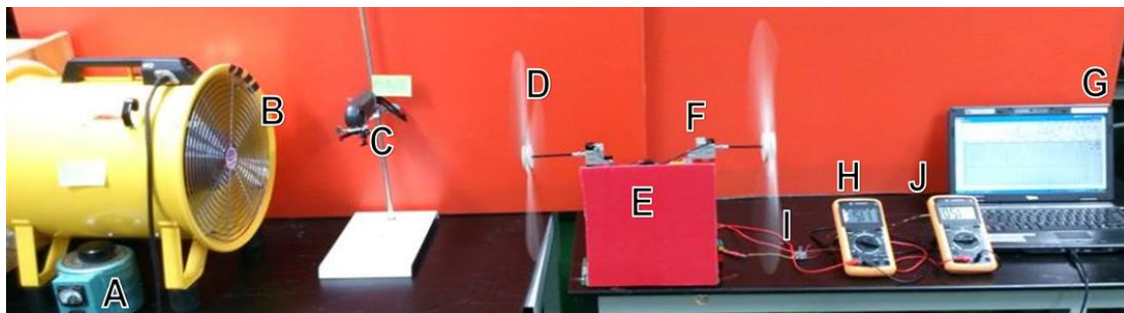
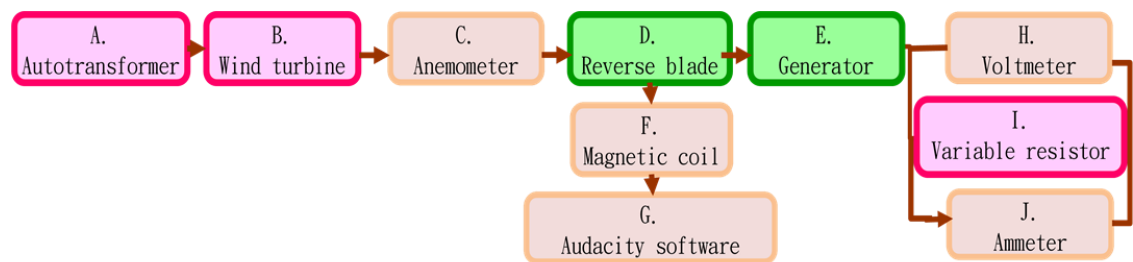
1.實驗器材

名稱	數量	規格	備註
風機	1 個	風速 0m/s~20m/s	
自耦變壓器	1 個	電壓 0V~110V	
可變電阻	1 個	電阻 2.5Ω~2050Ω	
風力發電機	1 個	前旋翼半徑 23cm 後旋翼半徑 27cm	

2.測量設備

名稱	數量	規格	備註
三用電表	3 個	電壓 0V~200V 電流 0mA~200mA	分別用來測量電壓、電流與電阻
風速計	1 個	0m/s~10m/s	
閃頻計	1 個	頻率 0~200(Hz)	

3.實驗裝置



三、 研究過程

1. 自製磁浮軸承、軸承托架、發電機



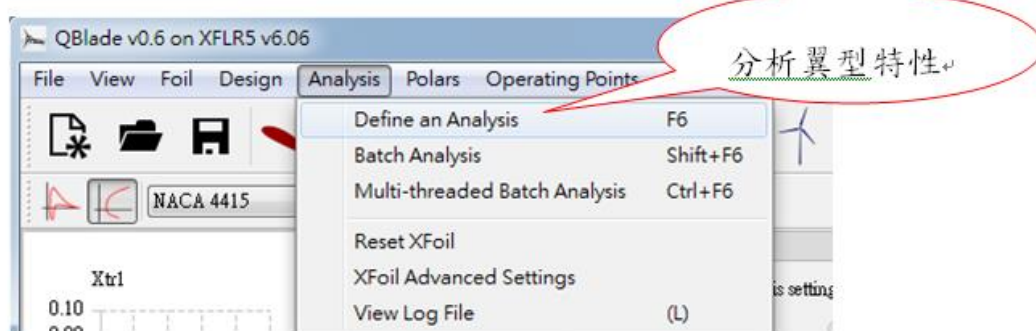
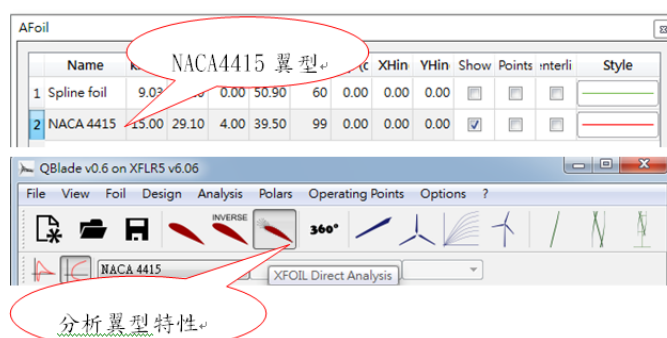
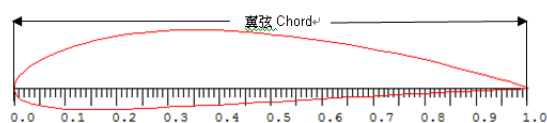
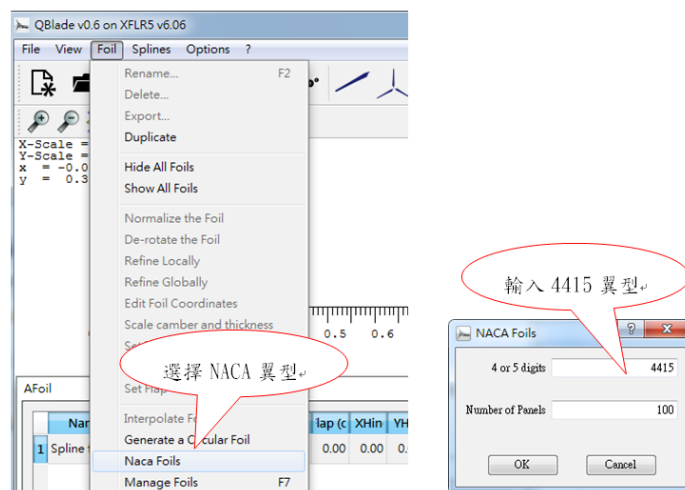
圖九 軸承與轉子裝置圖

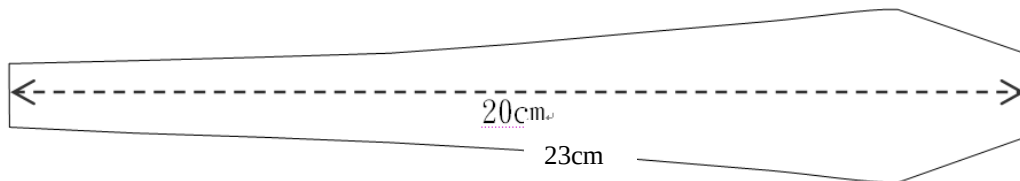
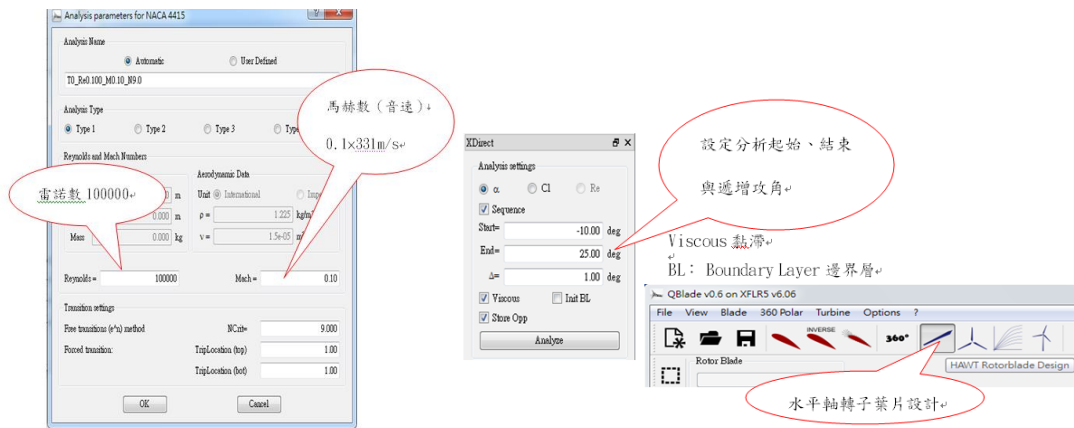
(a)磁浮軸承(b)軸承托架(c)發電機與電刷(d)發電機與電刷放大圖



圖十 磁浮裝置側視圖的照片

2. 利用電腦軟體設計旋翼





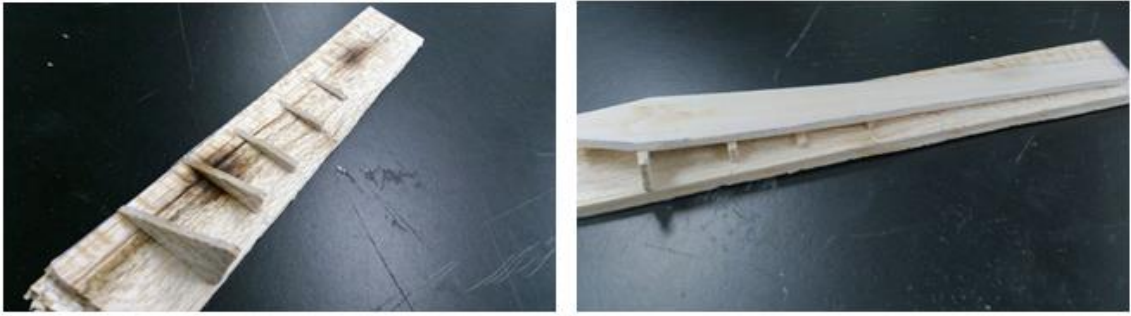
	Pos(cm)	chord(cm)	Twist(degree)	newtwint	Twist(rad)	x=cos	y=sin
1	3	2	0	2.4	0.042	2.00	0.08
2	6	4.3	21	23.4	0.408	3.95	1.71
3	9	3.5	12	14.4	0.251	3.39	0.87
4	12	2.9	6.7	9.1	0.159	2.86	0.46
5	15	2.4	3.5	5.9	0.103	2.39	0.25
6	18	2.1	1.3	3.7	0.065	2.10	0.14
7	21	1.9	0.3	2.1	0.037	1.90	0.07
8	24	1.7	1.5	0.9	0.016	1.70	0.03
9	27	1.5	2.4	0	0.000	1.50	0.00

3. 製作旋翼

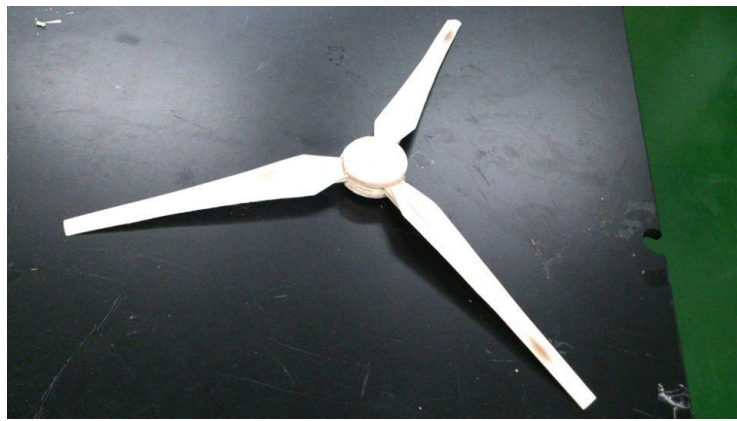
(1) 利用飛機木裁下旋翼並泡水。



(2)製作基座，並將旋翼固定於基座烤乾。



(3)將各部位組裝。



4.實驗部分

實驗一



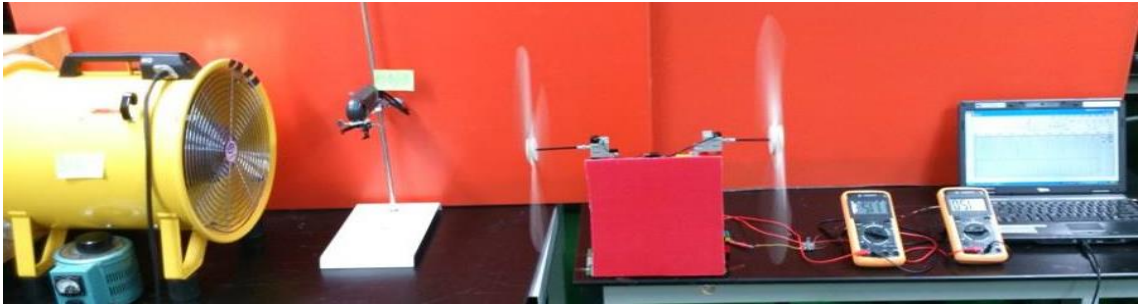
(1)風速、輸出功率與頻率關係

以自耦變壓器調整風速，風速的範圍介於 $5\text{m/s} \sim 7\text{m/s}$ 。

(2)單組旋翼電壓電流、電阻的關係

將半徑 27cm 的旋翼架設在風機前，利用伏特計、安培計、風速計測量在不同的電阻下所產生的電壓、電流。

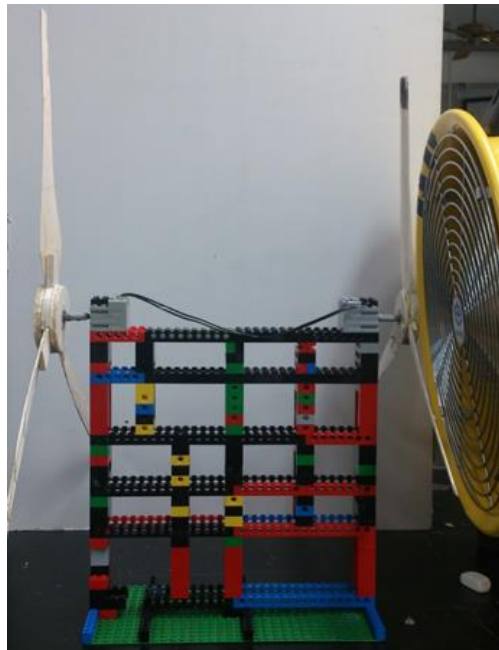
實驗二



單、雙組旋翼功率與電阻關係

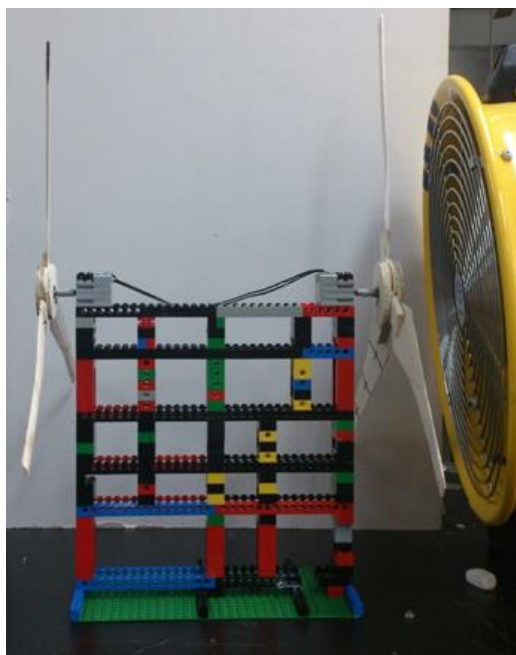
將半徑 27cm 與 23cm 的兩組旋翼組裝、架設在風機前，利用伏特計、安培計和風速計測量在不同的電阻下所產生的電壓、電流、前中後段的風速，並與單一旋翼的發電機所測得的數值相互比較。

實驗三



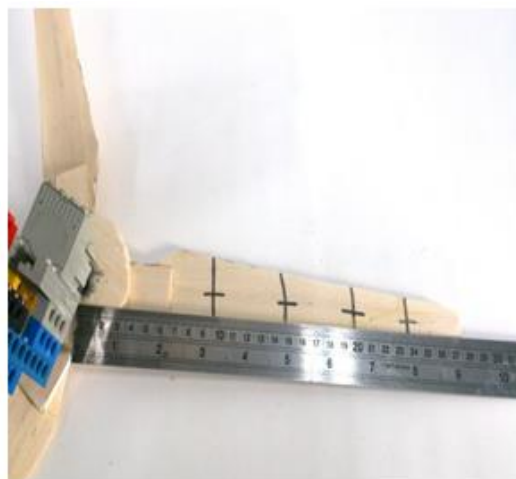
大小旋翼之前後排列與功率關係

在固定電阻下、以自耦變壓器調整不同的風速，並以風速計、安培計、伏特計測量葉片在前小後大的情況下所產生的功率。



在固定電阻下、以自耦變壓器調整不同的風速，並以風速計、安培計、伏特計測量葉片在前大後小的情況下所產生的功率。

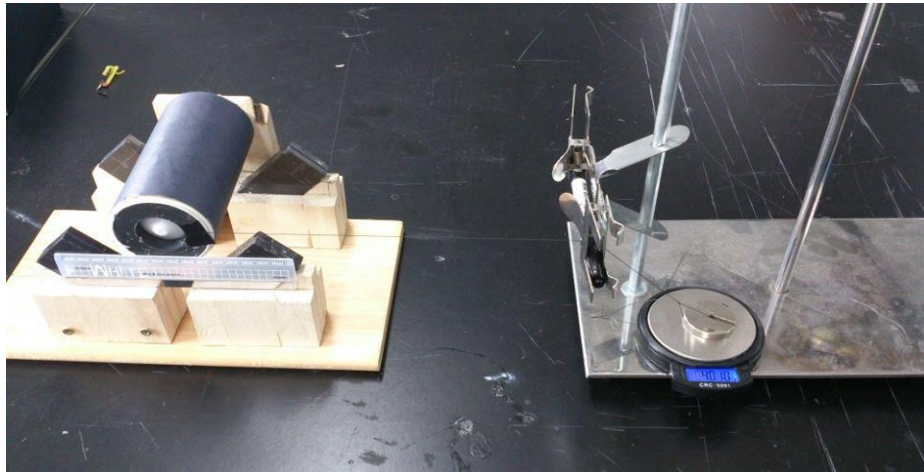
實驗四



前後旋翼間距與發電功率關係

測量兩旋翼在相同風速、不同間隔距離下(16~30 每隔兩公分)，所產生的功率與風速在不同軸心距下的變化。

實驗五



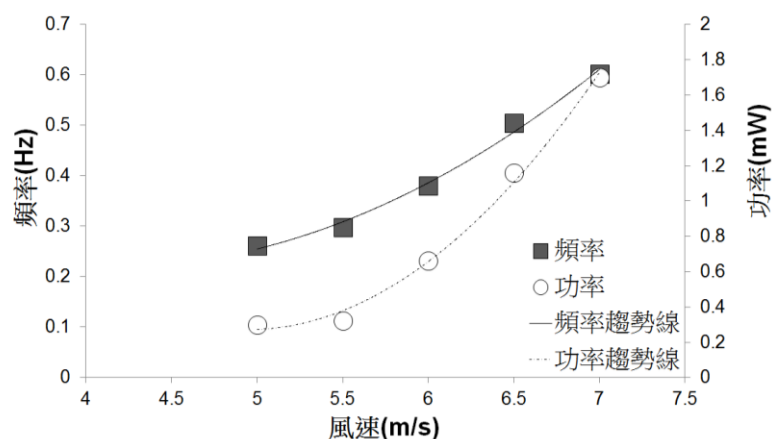
磁浮軸承的擺動軌跡測量-位移量與位能關係

利用細繩拉動磁浮軸承，造成擺動（為了減少人為施力，造成的碰撞），分別將磁浮軸承垂直拉高、水平側拉到不同位置在鬆手，觀察磁浮軸承在不同時間區塊的振動頻率、振幅。測試軸承擺動時，水平與垂直拉動每 0.5 公分為一單位，從 0.5~2.0cm，以攝影法拍下其對照直尺量值，最後以感應線圈量測感應訊號。

參、 研究結果與討論

1. 反轉式發電機與旋翼功率

(1)單組旋翼風速、輸出功率與頻率關係

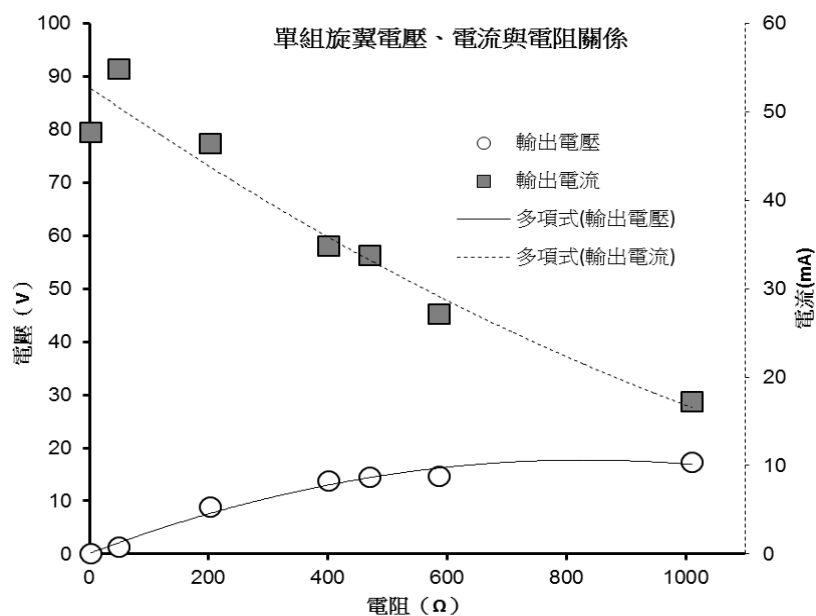


圖十一 由趨勢線看出，電阻越大，其電流越小，電壓越大

(2)單組旋翼電壓電流與電阻的關係

提高電阻使電流減少，轉動發電機所需力距變小使轉速增加。

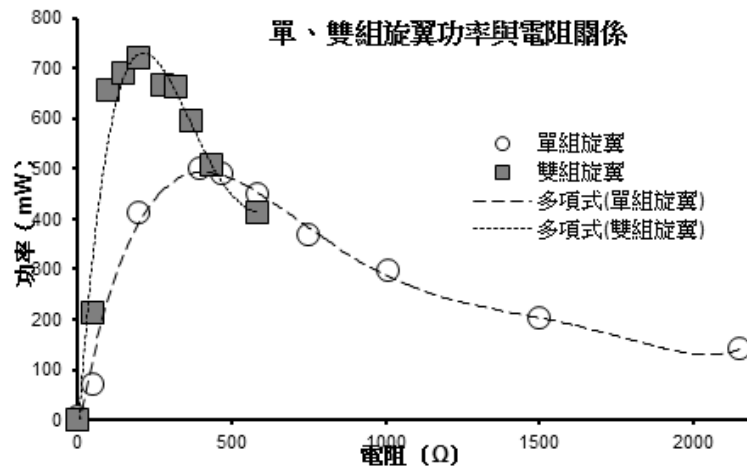
而發電機轉速增加，磁通量的時變率增加，使感應電動勢（電壓）增加。



圖十二 單組旋翼電壓、電流與電阻關係圖

(3)單、雙組旋翼功率與電阻關係圖

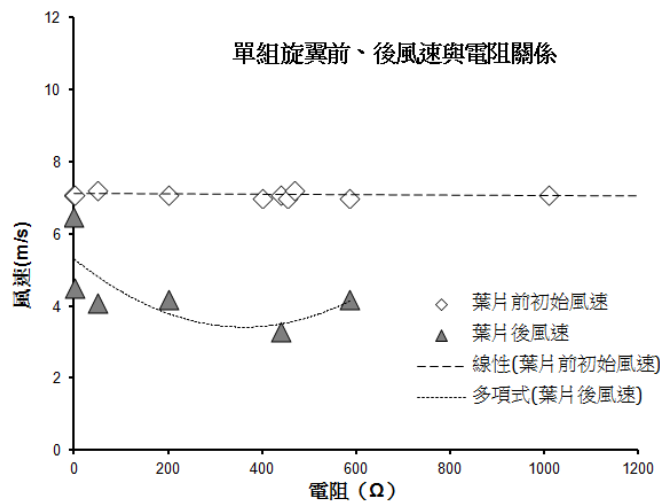
利用電阻改變風機轉速，單組旋翼在電阻為 440Ω 時有最大 500.9mW 輸出。而雙組旋翼在 200Ω 時有最大 718.4mW 輸出，計算得到雙組為單組旋翼 143.4% 輸出功率。



圖十三 單、雙組旋翼功率與電阻關係圖

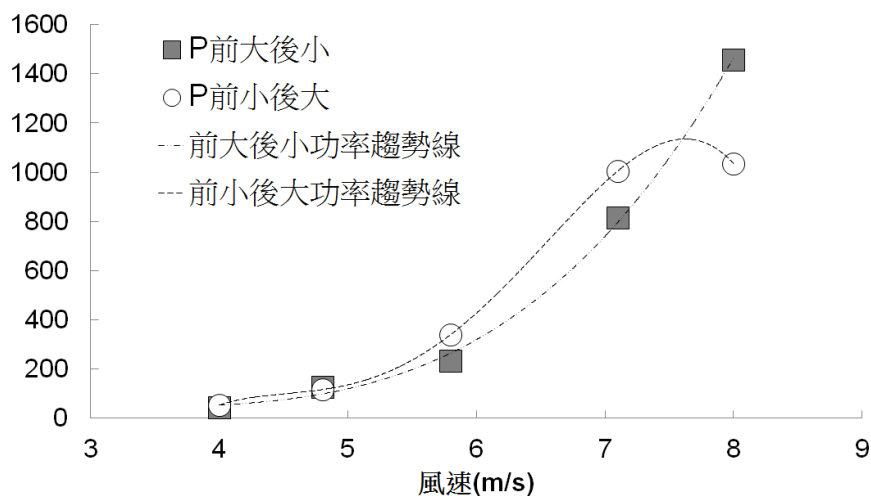
(4)單組旋翼前、後風速與電阻關係圖

利用電阻改變風機轉速，單組旋翼前風速均為 7.1m/s ，通過旋翼後在電阻為 440Ω 附近有測到最低風速 3.3m/s 。而 400Ω 也是測得最大電功率輸出點，並由風能功率為速度立方計算，約有一成左右風能流失未加以利用。



圖十四 單組旋翼前、後風速與電阻關係圖

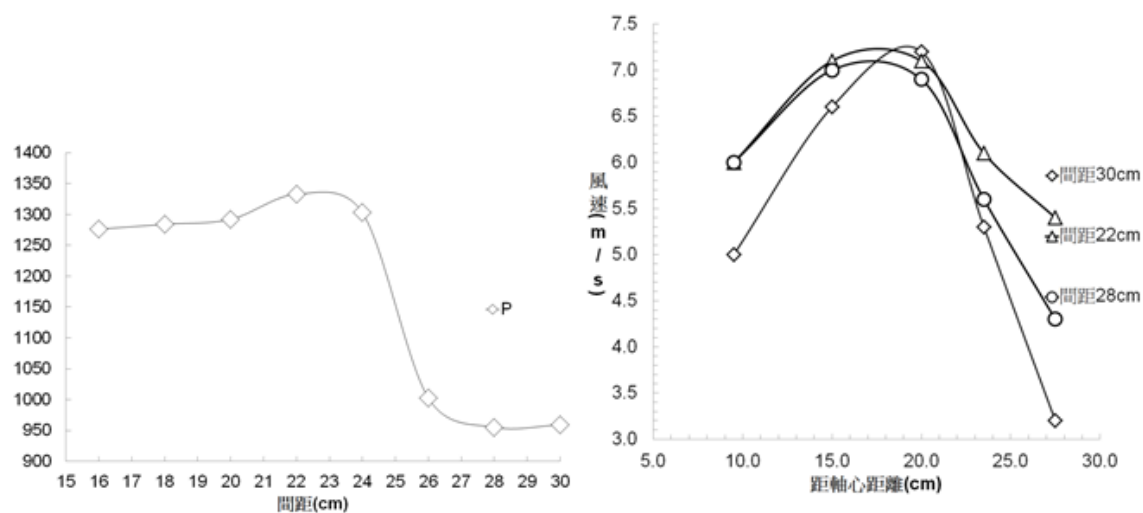
2. 大小旋翼之前後排列與功率關係



圖十五 風速、輸出功率與頻率關係

在低風速下($< 8\text{m/s}$)，前小後大的輸出功率高於前大後小的輸出功率

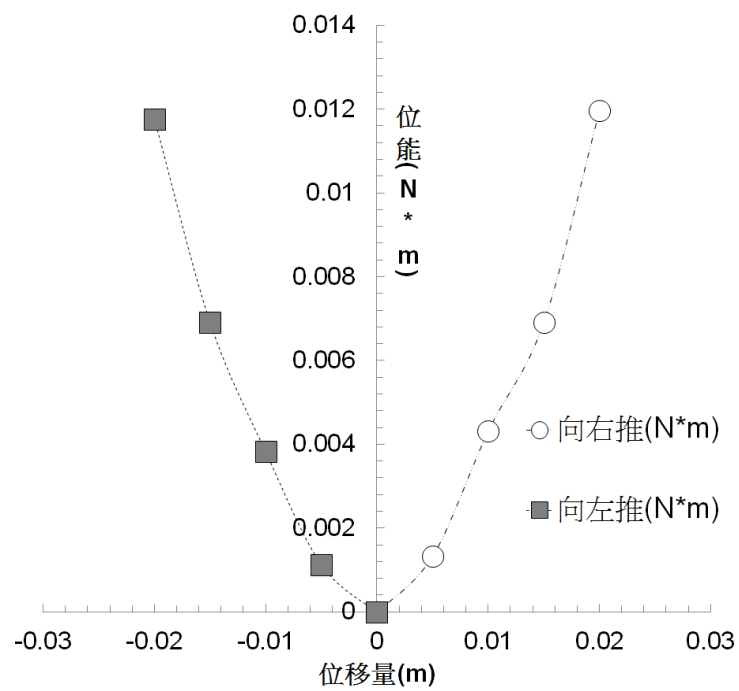
3. 前後旋翼間距與發電功率關係



圖十五 前後旋翼間距與發電功率關係

兩旋翼在間距 22 cm 下功率出現峰值為 1332.68m。

4. 磁浮軸承位能與位移量



圖十六 磁浮軸承位能與位移量關係圖（令向右為正）

肆、 討論、結論與應用

一、 討論

1. 實驗一:由 $V=IR$ ，推測在固定電阻時，風速的大小影響轉速，因而影響電流大小，轉速愈大電流和電壓會隨之增加，所以功率會與轉速呈正向關係。當固定風速而改變電阻時，推測當電阻愈大時，其感應電流變小，造成線圈感應的磁力(即阻力)變弱，造成轉速愈快。
2. 實驗二:因為雙組旋翼的後旋翼將前旋翼未利用之風能再利用。所以雙組旋翼的輸出功率高於單組旋翼。
3. 實驗三:在風速低於 8m/s 時，前旋翼若小於後旋翼，根據貝茲風流向曲線，後旋翼能利用前旋翼未利用之風能，使風能利用率與輸出功率高於對照組；當風速高於 8m/s 時，雖然前旋翼大於後旋翼的輸出功率較高，但整體風能利用率卻較低。
4. 實驗四:前後旋翼距離越短，後旋翼風能流失越少，末端風速越高，理論上輸出功率會愈高，但是當兩旋翼距離過近，會使中間的風產生亂流，使得功率下降。
5. 實驗五:測量後得知施予磁浮軸承不同的水平力，會使水平力、位移量與位能(回復力)呈現正相關。

二、 結論

1. 單組旋翼在電阻為 440Ω 時有最大 500.9mW 輸出。而雙組旋翼在 200Ω 時有最大 718.4mW 輸出，雙組旋翼之輸出功率為單組旋翼的 1.43 倍。

2. 後旋翼末端風速與間距成負相關，當前後旋翼間距 22 cm 下功率出現峰值為 1332.68mW。
3. 低風速(低於 8m/s)時，前旋翼小於後旋翼的風能利用率與輸出功率較高。
4. 磁浮軸承位能(回復力)與位移量呈現正向平方關係。

三、 未來展望

1. 未來可利用抽風的方式來轉動反轉旋翼裝置，使轉動的穩定度提升。
2. 嘗試利用磁浮裝置來固定旋翼，使其在轉動時，減少能量的損失。
3. 希望利用本研究裝置體型小的特色，將風機設置於高樓之間，有效利用高樓間的大樓風來發電。

伍、 參考文獻

1. 朱翊誌 2009 含風力發電為電網之孤島運轉策略
2. 程金保、徐亦駿、楊士祈、李坤彥、廖乙碩 2010 風力發電機功率與轉速之數學模型分析
3. 王曉光、萊柴準 2007 磁懸浮轉子系統中渦流傳感器的工作特性研究
4. 魏彤、房建成 2005 磁懸浮控制力矩的動框架效應其角速率前饋控制方法研究

評語

本件作品在小渦輪之後加裝大型反轉渦輪，以提高風能使用率，研究發現如此設計可以增加約 50%的效率，此一研究結果非常具有應用價值，後續亦有很大的改善風能使用率的空間，是一件相當好的作品。