

## 小型化往復式發電機之設計 Design of Miniaturization Reciprocating Electric Generator

林浚偉 余嗣英

Hung-Wei Lin, Szu-Ying Yu

黎明技術學院電機工程學系

Department of Electronic Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

林群耀 蔡淳博

Chiun-Yau Lin, Chuen-Bo Tsai

財團法人紡織產業綜合研究所 產品部

Department of Products, Taiwan Textile Research Institute

### 摘要

本研究主要討論往復式發電機的線圈與磁鐵的排列方式，對發電電壓的影響。透過自行開發設計實驗環境，量測各項參數變化對發電的影響，進而改善發電效率，由實驗的所量測的數據可得，線圈的匝數、磁鐵的極對數、磁極的排列方式、速度等均對發電量有直接的影響，透過此過程修改設計以得到最大的發電電壓。這些實驗結果，將可以提供未來最佳化往復式發電機開發設計。

**關鍵詞：**線性發電機、往復式發電機

### Abstract

This study focused on reciprocating generator coil and magnet arrangement, impact on the power voltage. By independently designed and developed an experimental environment, measuring the impact of parameter variation on power generation, thereby improving the efficiency of electricity generation, measurement by the experimental data are available, number of turns of the coil, logarithmic, arrangement of magnetic pole of the magnet and the speed has a direct impact on power generation through this procedure to modify a design to get the maximum power voltage. The results of these experiments will provide reciprocating generator optimization design in the future.

**Key Words:** Linear Generator, Reciprocating Electric Generator



## 1. 前言

目前全球主要仰賴化石能源，然而，根據世界能源會(WEC)的估計，世界的石油將於 50 年內用盡，天然氣 70 年、煤礦 300 年內也將開採耗盡，核能所需的鈾礦則將於 70 年內用盡。目前台灣所使用的電能，主要仰賴火力、核能、水力和少數的再生能源。其中火力發電佔發電量的最大比例，約為 78.6%。核能 14.2%、抽蓄水力 7.2%、再生能源 5.3%。而再生能源目前包括為太陽能、生質能、地熱、海洋能、風力、非抽蓄水力等各種能源。

可看出現在全世界依賴最深的主要能源—石油及天然氣，在二十一世紀的前半，就將日趨枯竭。目前全球因為石油、天然氣等能源生產設備過度投資，造成市場供過於求，但隨著諸多產地蘊藏量降低甚至枯竭，全球將面臨能源價格劇烈波動，將衝擊全球經濟發展。在我國能源情勢方面，我國能源百分之九十七仰賴進口，因此化石燃料的枯竭問題與主要能源產地的動盪，都衝擊我國的能源情勢，使我國能源使用安全與成本受到挑戰，而化石能源使用產生污染等問題所造成的外部社會成本，也越來越必須去面對。

就長期能源發展的展望而言，雖然現階段化石能源及核能還是必要的選擇，但隨著能源新科技的發展，當未來出現價格合理、可穩定供應、乾淨、低社會成本的新能源或再生能源時，則不但滿足我們經濟發展及生活品質的需求，更將協助我國建立「非碳家園」及「非核家園」的無污染能源使用環境的終極目標。

## 2. 研究動機

自 1920 年代的鐘錶匠製造出的自動上發條手錶，來自一個偉大的點子：以機

械的方式從戴錶者晃動的手臂獲取能量，重新上緊手錶發條。研究人員正以數種不同的方式來研發這種小型發電器。

在 1990 年代後期的便有科學家集中於奈米碳管研究。發明了一些方法，能夠量測個別奈米碳管在顯微鏡下的機械性能、電性和場發射特性，但卻無法控制奈米管的電性，只需要呼吸、走動甚至是血液流動時的微小能量，就可以驅動奈米級的發電機[1-3]。

美國加州的 SRI International 研發這種能將走路產生的機械能轉換成電力，以供小型電子儀器、電池和其他設備使用的“高科技”鞋。這種高科技鞋的鞋跟，採用一種特殊的彈性聚合物製造，它內含一顆微型電池，正負兩極分別與彈性物質兩端相接。當穿著者行走時，彈性物質被壓縮釋放，正負極之間的距離隨之改變，從而產生電力[4,5]。

美國華裔科學家王中林領導的科研小組最新研制出一種能產生電能的新型奈米纖維。只要受到拉扯、摩擦或微風吹拂即可自行發電。借助這種纖維奈米發電機，走路、心跳這將來都能用來發電[6]。

1990 年代後期，美國麻省理工學院的媒體實驗室，便利用壓電效應當特定的晶體物質受到機械性壓力時，便會放電設計出一種節能鞋。近年來，科學家已利用壓電和電磁轉換器，建造出小型的震動型發電器。微型電磁發電器以移動中的磁鐵或線圈，在電路中製造出感應交流電。即便已經可以在 MEMS 的尺度中製造出某些微型發電器，但技術仍繼續朝向 1~75 立方公分的尺度邁進，能在 50~5000 赫茲的震動中運作。典型的壓電震動發電器使用的是雙層鉛鈦酸鉛橫桿，它對橫桿懸空的一端施加重量，有點像是跳水選手在跳板



末端平衡的姿態。當橫桿因重力而向下彎曲時，上層壓電材料便處於伸展狀態，而下層則處於壓縮狀態，如此一來，橫桿就會產生正電壓和負電壓。而當尾端的重物來回振盪，便會出現交流電壓[7,8]。

雖然微型發電系統歷經百年的發展與努力，但受限於發電量的關係，往往對民生可攜式電器產品受益不大，本研究的目的是發展發電量較大的微型發電系統，並結合超級電容器，發展可攜式電源供應系統，解決目前攜帶式電子產品能源補給的關鍵問題。

### 3. 研究的方法

發電機是把動能或及其它形式的能量轉化成電能的裝置。一般的發電機是通過各種動力如水力、風力，使線圈在磁鐵的兩極間轉動；當線圈轉動時，線圈內的磁場改變，因此產生感應電流，是運用「電磁感應」原理將動力所作的功轉換成電能的裝置，經輸配電網送往各種用電場合。本研究可分為兩個階段來進行，第一個階段為研究開發環境的建立，第二階段為往復式發電機的設計。

#### 3.1 往復式測試與量測平台

為了有效的量測實驗數據，本研究特地針對本實驗開發一往復式的震動測試平台，往復式測試平台是靠一個圓盤配合連桿，將圓週的週期性運動轉換為轉為線性之往復式運動。利用電壓改便可以調整馬達之轉速，與調整圓盤上之支撐點，而改變待測物行進間的距離，不斷的旋轉，造成轉盤的支撐點，進而達到測試夾具具有的往復式的運動模式，該測試平台採用一往復式概念，利用一組 12V 馬達，將馬達 1800 轉速透過 6：1 減速齒輪，將轉速降

為 300 轉之旋轉速度，馬達軸心帶動一主圓盤，利用圓盤上的軸心偏軸並結合一線性滑軌，形成往復式測試環境，將旋轉動力轉換成直線運動，可以利用中間的圓盤達到多種行程，其線性範圍以主圓盤直徑為最大運動範圍，實體機構圖如下圖。

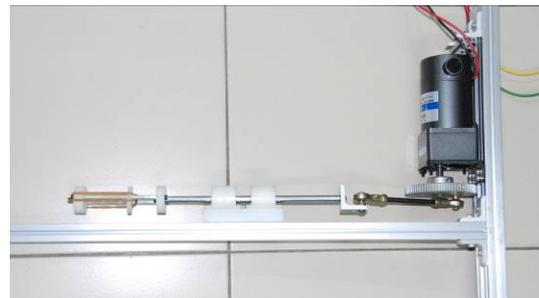


圖 1 往復式測試與量測平台

#### 3.2 測試平台速度控制器設計

運動速度以提供馬達之電源供應電壓來控制，本實驗裝置所採用的調速裝置為實驗室自製 PWM 直流調速裝置，控制電壓大小以調整轉速，電壓的調整範圍為 0V ~ 12V。配合轉速計量測取得所需轉速，速度的量測可分為接觸式與非接觸式的量測方式，接觸式的轉速量測透過接觸的過程，使量測儀器與待測物之轉速同步，進而計算轉盤儀器上之轉盤轉速而取得待測物之轉速，但大多數用於低轉速 20 至 8000rpm 的量測。

非接觸式轉速是在待測物上貼一片反光貼紙，利用量測儀器所反射光線所產生脈衝信號，將測量儀器接收到反射波後，經過處理而得到轉速。此量測方式要比機械測量法準確、安全。本研究便是透過接觸式的轉速計，透過控制電路之 PWM 調變的方式以提供穩定的轉速，以產生穩定的發電能量，得以記錄發電機所產生的電量，加以紀錄並分析。控制電路圖如圖 2。



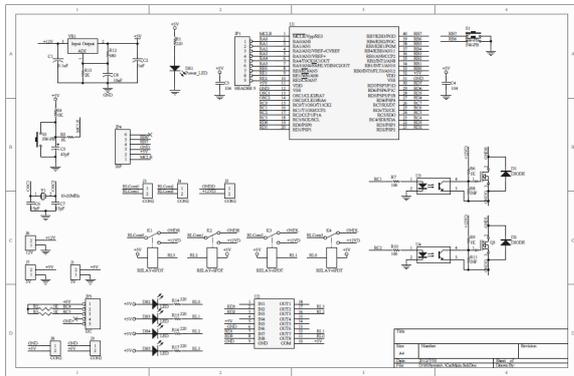


圖 2 電路圖

第二階段為往復式發電機的設計：

### 3.3 發電機的選擇與設計

目前大多數將機械能轉換成電能的發電方式，大多以旋轉運動為主，但線性發電機有其不可取代的地位。一般常見的可攜式發電模式大致可分為兩種方式來第一種為手搖式發電機、第二種為往復式。一般而言手搖發電模式，其發電效能最高，能量損耗最小，轉換率最高，但所需要佔用的體積也最大。第二種往復式，其發電效能低、能量損耗大，但所需要佔用的體積可以大幅的縮小，是非常適合發展可攜式的發電系統。採線性發電來進行發電量的分析與設計，此設計現階段發展較適合於低耗電量的使用環境下，但由於線性發電仍有不可取代的重要性，因此本研究仍對此部分做一分析與探討。

### 3.4 線圈外框設計與磁鐵的選擇

本研究線圈採多樣模組化設計，以塑鋼塑料為加工材質，進行加工外框以現今市售 3A 電池為參考體，配合實際各式磁鐵的選用進行設計與製作，依不同需求纏繞所需的線圈，並且有多組線圈可供實驗對照之用，進而可以執行不同線圈間數的比較、不同線徑的比較與線圈間不同距離的實驗測試。採用的磁鐵為圓柱體磁鐵，

體積外框如下圖所示。其中磁鐵的選擇，本研究取得的兩款磁鐵直徑 10mm 厚度 10mm 與直徑 12mm 厚度 3mm 兩種不同外型的磁鐵來作分析與比較。其線圈外框實體圖與磁鐵外觀如圖 3、圖 4。



圖 3 磁鐵直徑 10mm 厚度 10mm 與線圈外框實體圖



圖 4 磁鐵直徑 12mm 厚度 3mm 與線圈外框實體圖

### 3.5 繞線機的設計

經過了一連串的設計與製作終於到了繞線的階段，初步採用人工的方式繞線，由於手工繞線過程往往曠日廢時，一組線圈製作往往花費數個小時，而且該物體體積不大，所繞的漆包線線徑又細，依不小心可能因為掉落而導致全部線圈需要重新繞過，費時費工又浪費資源。又面對未來測試的多樣性等種種的因素考量，特地製作一組簡易型的繞線機如圖 5。



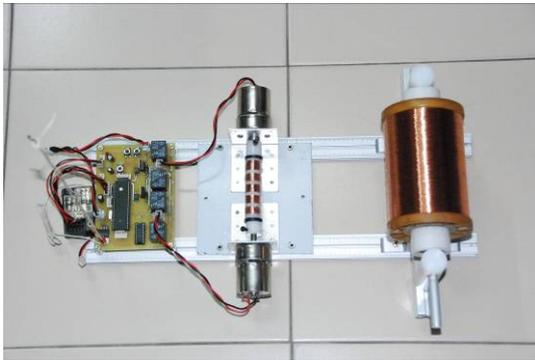


圖 5 半自動繞線機實體圖

其每分鐘最大繞線圈數約 100 圈，設計本簡易繞線機需注意，繞線啟動需要有緩啟動的功能，所謂的緩啟動乃是系統由靜止情況下到正常運轉的轉速度，需經過一段緩慢的加速過程，加速度過快會造成漆包線的斷裂，因次也需要本章前面所述的轉速控制電路。控制電路可參考 3.2 節之介紹。

本半自動的繞線機設計完成為本實驗減少的許多的繞線時間，且讓所繞出來的線圈也叫手動繞線更加整齊，對未來各式線圈的製作增添了一項利器。實際繞線完成圖如圖 6 與圖 7。



圖 6 內徑 10mm 框架無段繞線實體圖



圖 7 內徑 12mm 框架分段繞線實體圖

#### 4. 實驗結果

目前大多數的研究均致力於旋轉電動機或者發電機上，如果用於往復式線性發電機，因為將磁通集中於磁鐵中央，故線圈勢必要安裝磁鐵陣列中央的空間，導致線圈可以纏繞的圈數變少效能將明顯的下降，或者線圈的排列方式將受到限制。如果將磁鐵陣列加大，對於整體發電機的體積增大不利於商業應用與發展。因此本研究採以線圈包覆磁鐵的方式來設計。

表 1 無段 1000 圈所產生的電壓表

行程 (mm)	20	25	30	35	40	45	xx
電壓 (V)	--	--	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4

表 2 無段 1500 圈所產生的電壓表

行程 (mm)	20	25	30	35	40	45	xx
電壓 (V)	--	--	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5

表 3 無段 2000 圈所產生的電壓表

行程 (mm)	20	25	30	35	40	45	xx
電壓 (V)	--	--	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6



表 4 分段繞線 1000 圈所產生的電壓表

行程 (mm)	20	25	30	35	40	45	xx
電壓 (V)	--	--	0.6	1.0	1.2	1.5	1.62

表 5 分段繞線 1500 圈所產生的電壓表

行程 (mm)	20	25	30	35	40	45	xx
電壓 (V)	--	0.6	1.1	1.4	1.7	2.0	2.18

表 6 分段繞線 2000 圈所產生的電壓表

行程 (mm)	20	25	30	35	40	45	xx
電壓 (V)	0.6	1.1	1.5	1.9	2.2	2.5	2.71

由研究量測到的數據可以發現以下幾點對發電量有影響：

#### 1. 磁鐵數量對電壓的影響

當磁鐵的數量越多時，相對磁力越強磁通量增大，所能產生的電壓就越高。發電電壓成線性關係。

#### 2. 線圈圈數對電壓的影響

將三組線圈梭子分別繞上 500 圈、1000 圈、2000 圈的線圈，以固定磁鐵、固定行程的方式，分別量測三組線圈對於發電電壓的影響，當線圈圈數越多，相對發電電壓越大，故可得線圈圈數與發電電壓成正比關係。

#### 3. 線圈行程對電壓的影響

不同的行程實驗之下可以發現，當行程越大，代表線圈通過磁鐵的距離越遠時電壓越高，當線圈與磁鐵距離太遠時，此時磁通量趨近於零，而此距離為最佳發電行程。

#### 4. 轉速對電壓的影響

當轉速越快時，代表線圈通過磁鐵的速度越快，當速度越快時，則發電電壓越高。

#### 5. 線徑對電壓的影響

不同線徑對於電壓影響影響很小，其主要的原因為本系統電壓量測均在於無載的情況下，因此對於電壓所量測的實際值影響不大，但對未來的應用發電的功率卻是一項重要的影響因子。

#### 6. 磁鐵的排列方式

NS,SN 交替的排列方式所組合的詞性體，可以取得更高的發電量。透過不同的排列組合可以取得最佳的發電效能，如第 3 點所示線圈行程對電壓的影響，透過不同的排列組合，同時能有效的提升發電組數，也就是透過不同的磁級與線圈的距離的最佳化，在單一時間內能有效的提升發電量，如此無論是單一組數的發電量最大，單一時間發電的組數也最多，理論上以此最佳化的概念便可以設計出具有高效能的往復式線性發電系統。

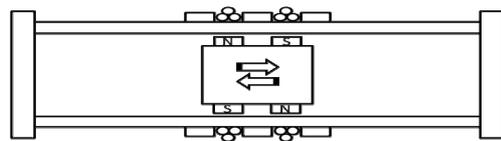


圖 8 理想往復式自發電電池模型

綜整上述所有的特性可以找到其排列最佳的典型代表如圖 8。未來研究便是針對該模型進一步分析其相關性，如磁性體級對數、磁性體間距、線圈間距、線圈匝數等特性。

## 5. 結論

半自動的繞線平台，已能有效的解決高難度繞線所造成挑戰，並且改善了繞線



的密合度低落的問題，線圈繞的更加緊實，提升有效的磁通量，增加往復式發電模組的發電量。線性測試量測平台，提供一個具可控速、可調整行程距離，配合示波器、三用電表等儀表，可將量測的數據詳實紀錄與分析。目前本研究已經完成往復式發電機的特性分析，並建立一理想往復式發電電池模型，其能有幫助後續往復式發電模組研究的開發與設計。

## 致謝

財團法人紡織產業綜合研究所，(分包)  
委託研究契約，契約編號：10191202

## 參考文獻

1. T. Starner and J.A. Paradiso, "Human-Generated Power for Mobile Electronics," *Low-Power Electronics Design*, C. Piguet, ed., CRC Press, 2004, chapter 45, pp. 1–35.
2. E.M. Yeatman, "Advances in Power Sources for Wireless Sensor Nodes," *Proc. Int'l Workshop Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, Imperial College, 2004, pp. 20–21; [www.doc.ic.ac.uk/vip/bsn\\_2004/program/index.html](http://www.doc.ic.ac.uk/vip/bsn_2004/program/index.html).
3. H. Schmidhuber and C. Hebling, "First Experiences and Measurements with a Solar Powered Personal Digital Assistant (PDA)," *Proc. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conf.*, ETA-Florence and WIP-Munich, 2001, pp. 658–662.
4. P.D. Mitcheson et al., "Architectures for Vibration-Driven Micro power Generators," *J. Micro electro mechanical Systems*, vol. 13, no. 3, 2004, pp. 429–440.
5. S. Roundy, P.K. Wright, and J. Rabaey, "A Study of Low Level Vibrations as a Power Source for Wireless Sensor Nodes," *Computer Communications*, vol. 26, no. 11, 2003, pp. 1131–1144.
6. D.L. Churchill et al., "Strain Energy Harvesting for Wireless Sensor Networks," *Smart Structures and Materials 2003: Modeling, Signal Processing, and Control*, *Proc. SPIE*, vol. 5005, *Int'l Soc. Optical Eng.*, 2003, pp. 319–327.
7. O. Yaglioglu, "Modeling and Design Considerations for a Micro-Hydraulic Piezoelectric Power Generator," master's thesis, Dept. Electrical Eng. and Computer Science, Massachusetts Inst. of Technology, 2002.
8. M. Laibowitz and J.A. Paradiso, "Parasitic Mobility for Pervasive Sensor Networks," to be published in *Proc. 3rd Ann. Conf. Pervasive Computing*, Springer-Verlag, 2005.

