

國科會/環保署環保科技合作研究計劃（空污費）精簡報告

風能轉換系統於電動機車充電之應用

計畫編號：NSC88-EPA-Z-009-004

執行期限：87 年 7 月 1 日至 88 年 6 月 30 日

主持人：呂宗熙 國立交通大學 機械工程研究所

一、摘要

電動汽機車的優點在於低噪音、低振動和無空氣污染。可是過長的充電時間、太短的巡航距離和低車速仍為其主要之缺點。本計劃旨在探討利用電動機車行駛時產生之風的能量轉換成電瓶電力的可行性。本計劃探討了可變磁阻電機用於發電機時的激勵電路和激勵角度。在完成激勵電路的設計後，再以 PSpice 軟體模擬電路，計算出響應。在模擬過程中，電路中所有電路元件之數值皆經過適當選擇以期能夠達成能量轉換及升壓的目的。在路試的實車測試裡，用實際的可變磁阻電機連接激勵電路，以電腦加以控制激勵角度之電路切換。最後計算風能轉換成為電能的能量轉換效率。

關鍵詞：電動機車、風能轉換、充電電路

ABSTRACT

Less noise, vibration, and air pollution constitute merits of electric vehicles. However, long charging time, short cruising distance, and low speed are their disadvantages. This study aims to exploit feasibility of transforming wind energy generated during riding into battery energy for electric motorcycles. Excitation circuits and angles, when using the switched reluctance machine as generators, are investigated. To design excitation circuits, the PSpice software is executed. Both simulation and experiments are carried out.

Keywords: Electric Motorcycle, Wind Energy Transformation, Charging Circuit

二、前言

電動機車藉由蓄電池組供應電源，並且用馬達來控制其動力系統，優點在於低噪音、低振動及低污染。上述優點皆說明了電動運輸工具將取代傳統運輸工具的趨勢。然而，即使電動汽機車在許多方面皆優於燃油運輸工具，現今的電動汽機車仍存在問題待克服。例如：充電時間過長、可巡航距離過短、速度較慢都為目前的缺點。

此研究計畫旨在開發使用電動機車騎乘時產生風力能源的再生使用。重點在於盡可能的回收風力能源並達成最高之風力轉換效率。

三、文獻探討

在考量電動機車效率方面，Mohamed-Nour 等人[1997]提出設計符合經濟性電動機車的過程和實驗計算，比較了理論模式和將內燃機引擎機車改裝成為電動機車的實試結果，但是並未提出任何改善電動性能的方案。Miller 等人[1997]則提出在定額 V/Hz 下簡單的頻率控制，藉著追隨已知的功率係數對於風葉末端速度比的曲線，使能量轉換隨時操作在最高效率處。但是此方法前提是必須事先建立該曲線。在使用可變磁阻馬達為發電機方面，Fulton [1986]認為可變磁阻馬達在特性和性能上皆適用於風力轉換。Radun [1994]提出可變磁阻電機使用在馬達及發電機時的對偶性，並將之延伸至控制方法上。這是一個好構想，本計劃亦從此觀點出發進行研究；事實上，本計劃中實驗所採用的發電機原本的用途就是可變磁阻馬達。Cardenas [1995]以一個 7.5 仟瓦的可變磁阻馬達操作使用

做發電機並討論在此情況下的控制方法，這是本計劃的重要參考文獻之一。Torrey [1993] 則提出兩種使用可變磁阻馬達轉換能量的方法，第一種為使用電壓源激發可變磁阻馬達，其二則採用電流源。本計劃係採用電壓源追蹤發電機的相位變化而做激發。

一般使用發電機由風力轉換而得的電壓值皆低於電動機車上鉛蓄電池組之電壓值。因此欲將電力回充於電池組必須先將發電機所得電力提升。目前一般商用電動機車所配備之電池組電壓為 24 伏特，故由發電機所得之電壓需提升至 24 伏特以上。但爾後上市的點動機車以 48V 為最大量，因此本計劃亦對 48V 的電瓶模組作測試。

四、研究方法

當電動機車行駛於極速時，可得之風力能量來自於約每秒十公尺的風力。理想的風力轉換可得能量之公式可寫成 [Gipe, 1995]

$$P_w = \frac{w}{w} \rho A V^3$$

(1)

其中 ρ 為空氣， A 為風扇之截面積， V 為風速。然而，在實際情況中，可獲得之能量為

$$P_T = \frac{w}{w} C_p \rho A V^3$$

此處之 C_p 為風扇之輸出係數。

接著討論風力能量的可用性。考慮兩種例子：一為平板另一為風扇面板，假設其中兩者有相同受風面積。風力作用於平板和風扇的相關能量式子為

$$\text{平板: } E_{wind1} = W_{resis1} + E_{resid1}$$

風扇:

$$E_{wind2} = W_{resis2} + E_{rot} + E_{resid2}$$

其中 E_{wind1} , E_{wind2} 為風力能量

E_{resid1} , E_{resid2} 為殘餘風力能量

W_{resis1} , W_{resis2} 為阻力所做之功

E_{rot} 為風扇之轉動能量

在 $E_{wind1} = E_{wind2}$ 和 $E_{resid1} = E_{resid2}$ 的假設下

$$W_{resis1} = W_{resis2} + E_{rot}$$

因此 $W_{resis2} \leq W_{resis1}$ 。延伸至電動機車系統，裝置有風扇面板取代平板表面的電動機車在能量消耗上較小，且風扇裝置可將轉換能量回存於電池組。

鑑於自然界風速的變化，發電機轉換風力的運作需求為能在不同風速下，甚至在低風速皆能轉換能量。而為了取得最大之能量，高效率也是選擇發電機的另一考量。本計畫以可變磁阻馬達做為發電能力研究的主要電動機。可變磁阻電機用做馬達和發電機之控制方法及原理上具有對偶性。其產生之力矩公式如下 [MacMinn et al. 1992]

$$T_e = \frac{1}{2} I^2(\theta) \frac{d}{d\theta} L(\theta)$$

其中 θ 為轉子角度、 I 為相電流、 L 為相電感。欲將可變磁阻電機使用為馬達，必須在相電感對轉子角度斜率為正下做激磁相電流才能提供正力矩。相對的，欲做發電機用途時，相電流必須在相電感對轉子角度斜率為負之狀況下做激發，如此即為由外界提供力矩。

五、研究結果

首先探討可變磁組發電機 (SRG) 的激磁。Torrey [1993]、Radun [1994] 以及 Cardenas [1995] 等人已經提出可變磁組發

電機的不同激磁方法。

以下提出可變磁組發電機的激磁電路的模擬結果，執行 PSpice 軟體，模擬工作分成三階段進行。第一階段之中，對於圖一，方波輸入電壓 V_1 打開了 BJT 的開關 Q1 和 Q2，並且啟動電源 V_s ，提供電能俾激磁線圈。第二階段之中，開關 Q1 和 Q2 被 V_1 的低電壓狀態關掉，但由於電感的連續電流特性，在 L 衰減至零之前， L 的激磁電流持續流經過元件 D2 與 D4 而達到 C1 和 C2。如果電容值 C2 適當 C2 的電壓會加大。最後的第三階段之中，C2 的電壓升至大於電瓶電壓 V_{dc} ，C2 於是經由 D5 釋放能量給 R_c 。依據圖一所示的電路圖，電容 C2 逐步增加電壓，如圖二所示，直到 1.1s 時刻成為 24V。在 1.1s 之後，C2 會重複充電達稍高於 24V 的動作，並且放電給負荷端 R_l 。C2 的電壓有一點起伏。理論上而言，一旦 C1 的電壓被提昇到高於 V_s ，C1 應該會取代 V_s ，扮演供應激磁能量予線圈的角色。然而由於電阻的存在消耗了 C1 所儲存的能量。

為了驗證前述設計出來並且從事了模擬工作的 SR 馬達的激磁電路，適用於電動機車的可行性，本計劃進行實驗量測。實驗裝置包括 PC 配備介面卡、電源供應器、函數產生器、控制電路、混合型的步進馬達，以及 SR 步進馬達；配置 LabVIEW 軟體及介面卡的 PC 將連結激磁電路。實驗步驟說明如下：

(一)、 充電電路的性能量測

1. 以步進馬達帶動 SRM 馬達。
2. 將圖六的升壓電路設計實現於麵包板。
3. 在 PC 上以 LabView 軟體偵測相位，驅

動升壓電路無外接電池，進行升壓測試將結果顯示於 PC 上，驗證電路。

(二)、 室內風能轉換實驗

以電風扇吹動另一塑膠材質三葉式的風扇，被吹的風扇有兩種大小，分別是直徑 165mm 和 340mm，俾比較風扇葉片大與小的發電效果。經過軸帶動 SRM 可變磁阻馬達。利用運算放大器元件，改善圖一的升壓電路成為圖三之升壓電路，並且實現於電路版。現在說明電路設計原理：

(1) 利用 SRM 各相輸出相位差 90 度的關係設計充電電路。

紅-黑線與綠-白線相位差 180 度，將紅-黑線的極性反接，

則黑-紅線與綠-白線的輸出相位相同。

(2) 運算放大器 U1 及 U2，將綠、白線兩相輸出波型整型為方波。

因白線相落後綠相 90 度，S1 的上升緣即黑-紅線與綠-白線的正半週的峰值。

(3) S2 為 Low 時，黑-紅線的負半週，7473 的 CL Enable，Q=Low。S2 為 High 時，黑-紅線的正半週，7473 的 CL Disable，當 S1 的上升緣時，Q 由 Low 變為 High，直至 S2 為 Low。Q=High 的時間：黑-紅線相位 90-180 度間。測試步驟如下：

1. 外加 48V 鉛酸蓄電池進行充電測試。
2. 將電壓約 48V 的電瓶放電至 23V，然後用風能充電，所得結果如圖四曲線；接著再度放電至 18.6V，再度利用風能，充電歷史如圖五的曲線結果，用風扇的風能充電時間雖然兩次均達到二十小時，電壓並不回復至 48V，而且電瓶的性質第二次的表現不如第一次。從兩個圖可見不論是大或小風扇，充電曲線均無法回復至 48V。

(三)、 戶外路試

將風扇、充電電路及 SRM 架設於電動機車上的置物籃子，以矽膠固定於籃子上，電線則連接至電瓶，如圖六所示。然後量測路試前後之電解液比重及電瓶電壓，如表一所示。最後進行利用風能及未用風能各兩次之

路試，如圖七所示。

六、結論與討論

為了實現風能轉換於電動機車，所需電路板元件、風扇、電動機、纜線等合計費用約三千元，因此經濟上並不會增加可觀的負擔。如表一所示，路試共四回，比較未利用和有利用風能轉換成電能裝置的比重和電壓值，並未呈現明顯差異亦即看不出來風能被有效利用。本裝置之基本目的，在不加重載具風阻負擔情形下轉換貯存風阻消耗能量。考量載具即電動機車平均行駛時消耗功率，本裝置所得回饋之效益偏低，並再加入非理想狀態因素後，將更加降低其效益：

1. 能量轉換系統包括：風扇：風能至轉動能；SRM+升壓充電電路：轉動能至電能。
2. 能量轉換系統本身所給予載具之重。
3. 能量轉換系統實際轉換效率：
風能至轉動能；動能至電能皆低於 1。
4. 驅動升壓充電電路會消耗能量。
5. 裝置之設備與維護費用。

由理想能量轉換公式可得，當風速 V 非極高速時，所產生之風阻能量消耗相對於驅動載具所需能量比為極小。

根據前述風力轉換可得能量之公式(1)，其中 ρ 為空氣密度 $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ ， A 為風扇之截面積 $A = \frac{1}{4} \pi d^2 = 0.0214 \text{ m}^2$ ， V 為風速 $V = 8.33 \text{ m/sec}$ ；所以 $p_w = 7.43 \text{ watt}$ 。即時速 30 km/h 下，風扇直徑 165 mm ，風能所能提供之最大功率為 7.43 瓦 ；車行風阻面積約為 0.5 m^2 (含騎士)，故風阻損耗約為 173.6 瓦 。路試過程中，行駛 10.6 公里 ，平均時速是 30 km/h ，總風損約為

$$J = P t = 173.6 \times 10.6 / 30 \times 3600 / 1000 = 220.8 \text{ 仟焦耳}$$

$$\text{風阻: } F_d = P/v = 173.6 / 30 \times 3.6 = 20.83 \text{ N}$$

設電動機車在水平無風下需 50 N 拉

動，則風損約佔車行功率的比例是

$$F_d/F = 20.83 / (50 + 20.83) = 29.4\%$$

由上面的估算，可發現風損佔車行功率的比例頗大，若全數回收，很有幫助。這亦可用以說明路試的結果中，電池放電在使用風力充電與不使用之情況下無明顯差異的原因。平均速率 30 Km/h 下，風扇最大可回收功率佔車行功率的

$$29.4\% (0.0214 / 0.5) = 1.258\%$$

設風扇效率為 $=0.6$ 且充電電路效率為 $=0.9$ ；但是因為 SRM 電路設計的關係，僅使用其中的 $1/8$ 作為充電用；因此

$$1.258 \times 0.6 \times 0.9 / 8 = 0.085\%$$

亦即每行駛 10 Km ，可獲得額外行駛距離： 8.49 m 。設最大可裝設風扇面積佔車行風阻面積的五分之一，由上的計算方式：風阻損耗：

$$P_w = 0.5 \times 1.2 \times 0.5 \times (35/3.6)^3 = 275.7 \text{ watt}$$

$$\text{風阻: } F_d = P_w/v = 275.7 / 35 \times 3.6 = 28.36 \text{ N}$$

$$\text{藉風扇回收最大功率: } P_1 = 275.7 \times 0.2 = 55.14$$

watt，獲得額外推力是

$$F_1 = P_1/v = 55.14 / 35 \times 3.6 = 5.67 \text{ N}$$

設風扇效率為 $=0.6$ ；設充電電路效率為 $=0.9$ ，則回收功率佔車行功率之百分比計算為

$$0.54 F_1 / F = 0.54 \times 5.67 / (50 + 28.36) = 3.9\%$$

由以上的推論，使用風力回收電能為風速的三次因次關係。在車速不高的情況下，架設回收風力的裝置，效益不大。實驗結果顯示即使加大風扇尺寸，仍然無法有效提昇發電效率。欲達到實用階段，本實驗裝置仍須進一步改善效率，但是現階段存在無法突破的技術困難。在實驗過程中，我們建立了以 SRM 作為發電機的基本技術。

計畫對空氣污染防治

之具體貢獻或應用之可行性分析

本計劃已經建立了以 SRM 作為發電機的基本技術，以及利用風能轉換成為

電動機車電能，並且將之儲存的電路技術。根據本計劃實車測試結果，架設回收風力的裝置，使用風力回收電能效益非常有限，因為騎乘速度不夠快，而且機車與騎士的風阻係數頗大。雖然本計劃利用風能轉換獲取電能的方法未能奏效，環保署與永續會未來仍應持續支持嘗試開發創新的能源技術：燃料電池、風力、太陽能等等，為我國的環境保護貢獻心力。

七、參考文獻

Cardenas, R., Ray, W.F., and Asher, G.M., 1995, "Switched Reluctance Generator for Wind Energy Applications", PESC 95 Record. 26th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol.1, pp.559-564.

Fulton, N.N. and Pandall, S.P., 1986, "Switched Reluctance Generators for Wind Energy Applications", Proceedings of the 8th BWEA Wind Energy Conference, pp.211-218.

Gipe, P., "Wind Energy Comes of Age", John Wiley & Sons, 1995.

MacMinn, S.R., Rzesos, W.J., Szczesny, P.M., and Jahns, T.M., 1992, "Application of Sensor Integration Techniques to Switched Reluctance Motor Drives", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.28, No.6, pp.1339-1343.

Miller, A., Muljadi, E., and Zinger, D.S., 1996, "A Variable Speed Wind Turbine Power Control", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.12, No.2, pp.181-186.

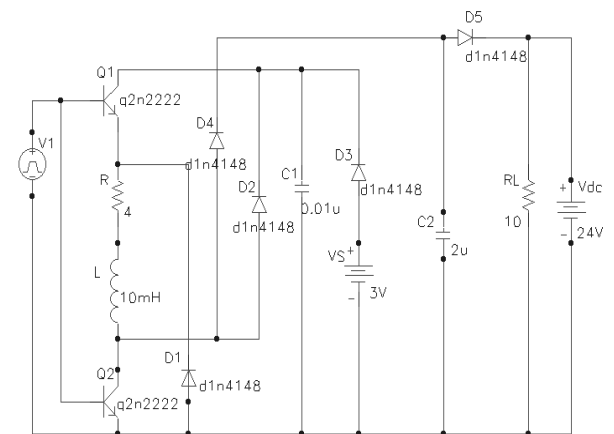
Miller, T.J.E., "Switched Reluctance Motor Drives: A reference Book of Collected Papers", Ventra, CA, 1988.

Mohamed-Nour, H.I., Quigley, J.W., and Das, R., 1997, "Design Consideration in an Efficient Electric Motorcycle", Proceedings of the 12th Annual Battery Conference on

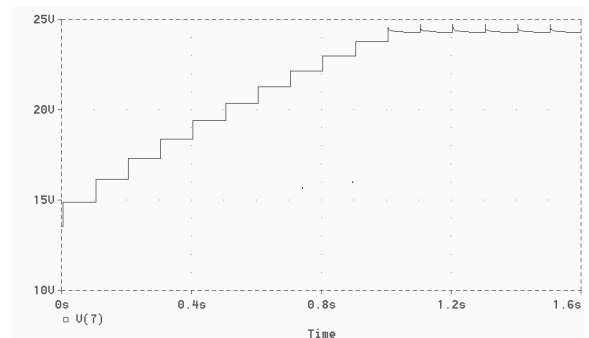
Applications and Advances.

Radun, A., 1994, "Generating with the Switched Reluctance Motor", 1994, Ninth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition, Vol.1, pp.41-47.

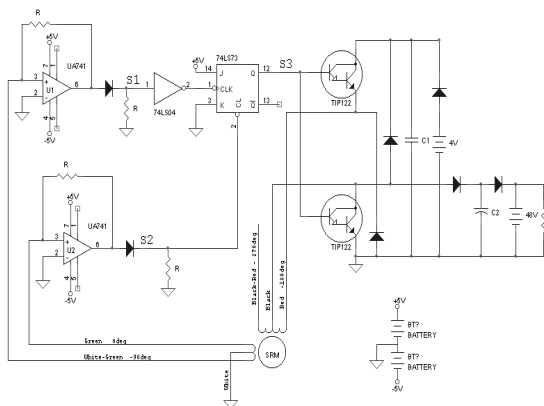
Torrey, D.A., 1993, "Variable-Reluctance Generators in Wind-Energy Systems", 24th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp.561-567.



圖一 模擬電路



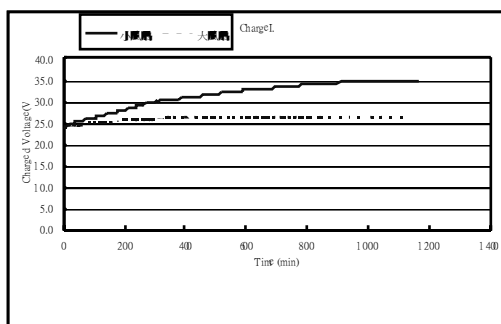
圖二 圖一所示模擬電路的電容 C2 充電呈現的電壓變化



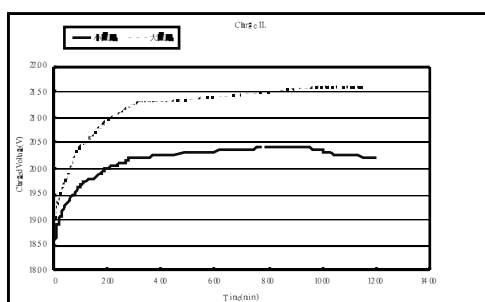
圖三 48V 電瓶之充電電路



圖七 車速三十五公里的路試實況



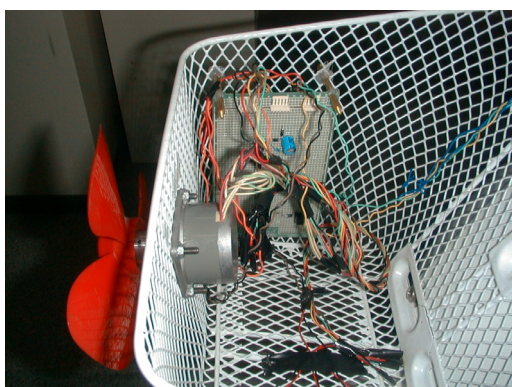
圖四 第一次室內 48 伏特電瓶充電實驗結果



圖五 第二次室內 48 伏特電瓶充電實驗結果

表一 路試前後之電瓶量測結果

		路試	比重	伏特
未用風能	第一次	前	1.150	25.9
		後	1.115	23.8
未用風能	第二次	前	1.150	25.6
		後	1.115	23.5
利用風能	第一次	前	1.195	24.6
		後	1.110	23.3
利用風能	第二次	前	1.145	26.0
		後	1.120	23.8



圖六 風扇發電機及電路板裝置情形

