

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學科

佳作

030812

我是電動車我不充電

學校名稱：臺北市私立薇閣高級中學(附設國中)

作者： 國一 鍾英宇 國一 陳弘家 國一 王維鴻	指導老師： 張宏銘
---	------------------

關鍵詞：無線傳電、電磁鐵、電動車

我是電動車我不充電

摘要

本實驗運用法拉第電磁感應原理 (Electromagnetic induction)，設計無線感應電動模型車。利用電源供應器、訊號產生器、訊號放大器等工具，輸入特定頻率的電壓、電流產生方形波後，可成功使模型車高速前進。

第一代模型車因車體線圈匝數多、車體重、軌道線圈纏繞技術欠佳、圓形軌道不平整，雖成功展示了無線充電技術的實用性，但跟我們玩四驅車時車速相差太多，於是著手改良第二代機，希望再提高傳電效率、減少車體重量及避免能源消耗。

實驗結果發現系統條件改變時，僅在某一狀態出現電感電容共振現象，因此不宜盲目增加線圈數量。本研究建議，將來設計此類感電系統時，不論微型化或大型應用上，均應注意最佳共振效率的表現，以免造成材料或能源浪費。

壹、研究動機

2011 年我們看到 Panasonic 的無線感應式手機充電座，只要是 Panasonic 廠牌的手機，任意放在一個像滑鼠墊的充電板上，手機就可以立即快速充電。後來 Samsung 也有類似產品發表，幾乎已可預期未來以無線充電方式的產品，將帶來一波消費革命。

在新竹的竹科園區有一套調撥車道用的交通號誌設備，是無線感應式的 LED 發光貓眼，先挖開馬路埋入一條電纜，再把手掌大的 LED 發光圓盤排列在馬路上，經由行控中心的電腦控制，即可以點亮或閃爍任一線要調撥的車道，警察就可以不用每天辛苦去馬路上放三角錐。

學校有上生活與科技課，我們自己練習水果電池的製作後，對於電學有更強烈的好奇心和求知欲，於是我們想進一步探討有關無線充電的技術。向學長借了自然與生活科技課本來先修，參考裡頭有些關於電與生活、電流的磁效應、電流與磁場的交互作用與電磁感應等章節，幫我們奠定基本知識。

為了探索這神奇的電與磁的應用，我們先參考網路影片，試著用一支日光燈管和特斯拉線圈 (Tesla Coil) 做星際大戰的光劍，而且成功的將兩端都沒有接線的日光燈點亮。

於是更有信心，希望可以利用本次科展的機會，來探究無線傳電，同時討論它與傳統接線充電比較是否會比較消耗電能。

貳、研究目的

現在交通工具都標榜節能減碳，各大車廠均致力推銷油電混合車或電動車的好處，電視節目Discovery探索頻道也在討論其實用性及對環保的幫助，結論大都是可以成功達到減少二氧化碳排放總量的目標，對減緩地球暖化頗有幫助；但是電動汽機車因為電池的關係，每次充電均需要花費較長時間，加上電池重量及使用壽命都仍有許多限制。因此至今尚未大量普及，未真正改變大家的使用習慣，也未能改善我們的環境。

所以我們希望動手操作，利用無線充電的原理，改善上述設計的缺陷，實作模型車來展示我們前衛的設計概念。在今年首度參展發表品後，我們遵循評審老師的建議還設法改善整組展示器材，希望可以如願提高電動車模型的效率，更上層樓、讓大家耳目一新。

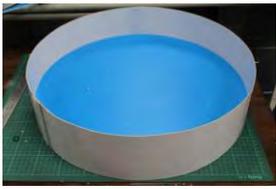
研究一	無線充電時漆包線所纏繞的線圈匝數與線徑對效率的影響。
研究二	改善第一代機，車體過重、軌道不平整的問題。
研究三	是否可以把電源供應器與信號產生器縮小以達到輕便的效果。
研究四	在國道高速公路上是否有方法可以讓純電動車從基隆一直開到高雄。
研究五	台北市的公車專用道，是否能一直供電，讓專用道內的公車不用加油。

參、研究設備及器材

一、儀器類

電源供應器		示波器	
訊號產生器		訊號放大器	
三用電錶		桌上型電錶	

二·材料

軌道 保麗龍板		漆包線	
電動馬達		模型車	
鐵粉芯			

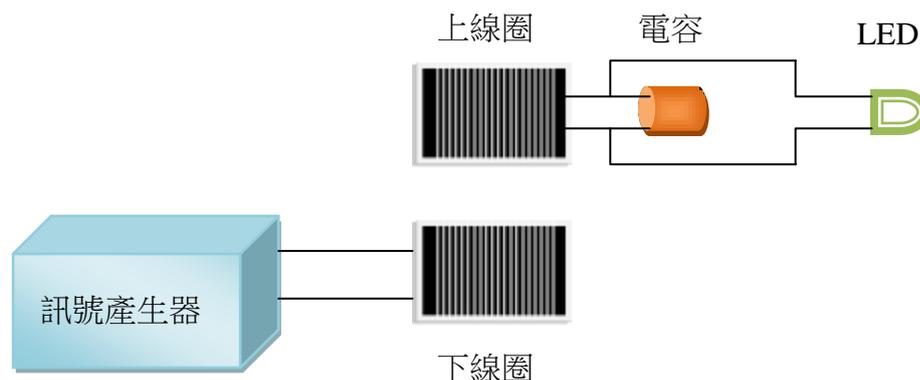
肆、研究過程或方法

一·驗證法拉第電磁感應定律－用線圈點亮 LED 的實驗

(一) 步驟

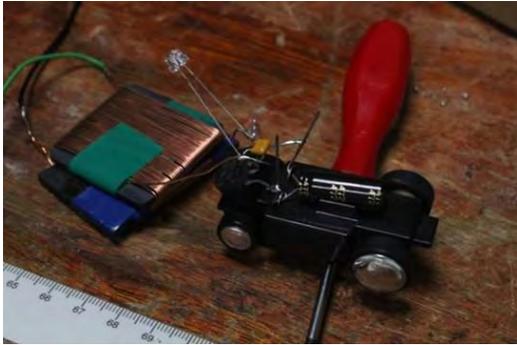
1. 製做一個電磁線圈來驗證法拉第電磁感應定律，用 0.5mm 的漆包線在方型鐵芯上繞 50 圈，做 2 個後上下疊放在一起。
2. 下面的線圈頭尾兩端接到訊號產生器。(圖一)
3. 上面的線圈頭尾兩端接一顆小電容及 LED。(圖一)
4. 調整訊號產生器的輸出頻率，觀察後發現 LED 在訊號 38KHz~40KHz 赫茲時的亮度最亮，代表在這個頻率帶內上線圈和電容會產生共振，內阻最小，流過的電流最大。
5. 調整波形至方波，觀察到波形從三角形變成方形時亮度最亮，方形波有最大的能量密度，因此能量面積最大。(圖二)

(二) 接線圖

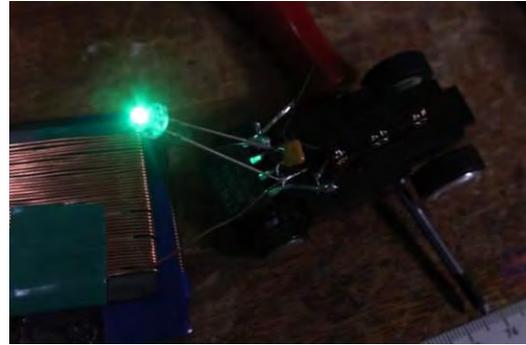


(三) 實驗結果

我們有成功地驗證法拉第電磁感應定律，且觀察並記錄到當訊號產生器輸出波形為方形波，且線圈跟電容的共振頻率在38KHz~40KHz間時，可讓LED燈亮度最亮，顯示其感電效率最高。



圖一 設計模型，驗證法拉第電磁感應定律



圖二 LED 燈獲得感應電流後，成功發光

二·無線感應傳電的原理



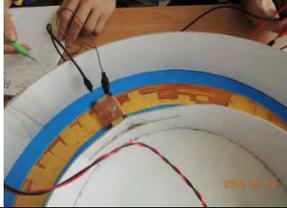
示意圖顯示，將電源供給訊號產生器之後，送出特定波形及頻率的電流，通過埋在路面下的線圈，產生變動的磁場，可視為將電力發射出去的發射端；上方車輛內的感應線圈，則可視為收集電力的接收端，接收到的電力，可立即轉動馬達或儲存起來成為備用電力。

三·製作過程

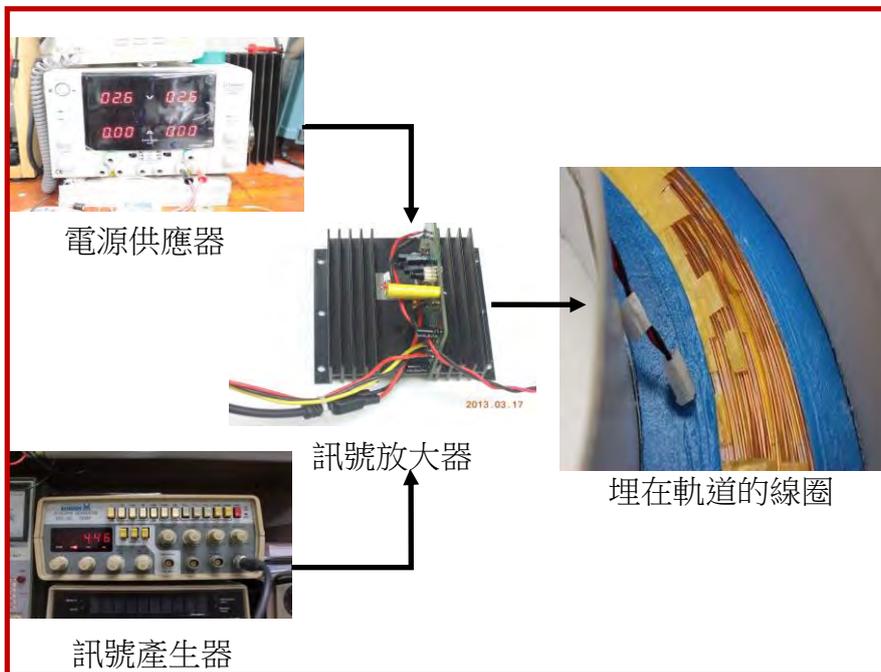
(一).一代機製作過程

1	將模型四驅車初步組合，把不必要的車殼去除及簡化底盤，使車身重量減輕，將感應線圈固定在原來裝電池的地方。車體幾乎拆光，僅留必要結構。	
2	把厚 3 公分的保麗龍板用 DIY 大圓規割下約直徑 50 公分的圓，再用厚紙板做圍牆，最後蓋上一片藍色珍珠板完成一個圓型軌道。	
3	埋入發射端線圈： 圓型跑道路面底下埋入線徑 1.0mm 的發射線圈，並將頭尾的漆包線都穿到背面底部留約 25 公分接電源供應器。	
4	繞製車用接收端的感應線圈： 用直徑 0.65mm 的漆包線繞 400 圈。	
5	將繞好的線圈直接接觸在軌道上，接上馬達及訊號產生器，將電壓及電流記錄下來。	
6	初步研究結果得知，感應線圈採用直徑 0.65mm 的漆包線繞 400 圈，可以成功感應，但為求出最適當的線圈數量，且若線圈匝數過多，則需消耗較多材料，不符合經濟原則，同時導致車體過重，因此我們決心動手製作第二代機。	

(二).二代機製作過程

1	<p>保留大部分的四驅車車體，將表面車殼部分拆除，減輕車體總重量，將感應線圈固定在原來設置電池的部位。因為已經有前幾次製造、拆解的經驗，所以本次製作車體時，我們覺得更得心順手。</p>	
2	<p>步驟與一代機相同，將厚 3 公分的保麗龍板用 DIY 大圓規割下約直徑 50 公分的圓,再用厚紙板做圍牆,最後蓋上一片藍色珍珠板完成一個圓型軌道。</p>	
3	<p>底盤埋入發射端線圈： 圓型跑道底下埋入線徑 1.0mm 的發射線圈，並將頭尾的漆包線都穿到背面底部留約 25 公分接電源供應器，要讓線圈規則排列依照圓形軌道纏繞需要熟練的技巧，我們已漸入佳境。</p>	
4	<p>繞製車用接收端的感應線圈： 採用直徑 0.65mm 的漆包線分別纏繞 50 圈、100 圈、150 圈、200 圈、250 圈、300 圈。</p>	
5	<p>分別將繞好的線圈直接接觸在軌道上，接上馬達及訊號產生器，將電壓及電流記錄下來。 (詳細請看 伍、研究結果 之 結果二)</p>	
6	<p>從研究結果得知，最有效率的感應線圈是用直徑 0.65mm 的漆包線繞 250 圈，因此將此感應線圈安裝在電動模型車上，完成我們設計的無線傳電電動車。在軌道中成功快速地奔跑。</p>	

四·無線傳電車接線圖



無線隔空傳電



伍、研究結果

結果一、電力

一·發射線圈軌道的耗電量

這次的研究平均耗電量約為 18W，計算如下：

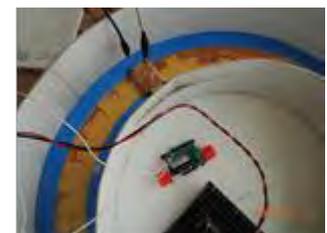
$$P = I \times V \quad \text{功率} = \text{電流} \times \text{電壓}$$

$$(\text{正電流} \times \text{正電壓}) + (\text{負電流} \times \text{負電壓}) = \text{耗電量}$$

$$(0.48 \times 30.6) + (0.14 \times 30.5) = 18.958$$

二·接收線圈擺放位置的高低對接收電力的影響

將線圈接上單獨的一顆馬達並上下移動位置，發現直接將接收線圈接觸軌道時電力最大，馬達轉速最高，平放及站立比較時，平放時馬達轉速高於站立。將接收線圈放上模型車後，因為距離軌道跟直接接觸軌道相比，位置高度增加，因此馬達轉速有減弱現象。

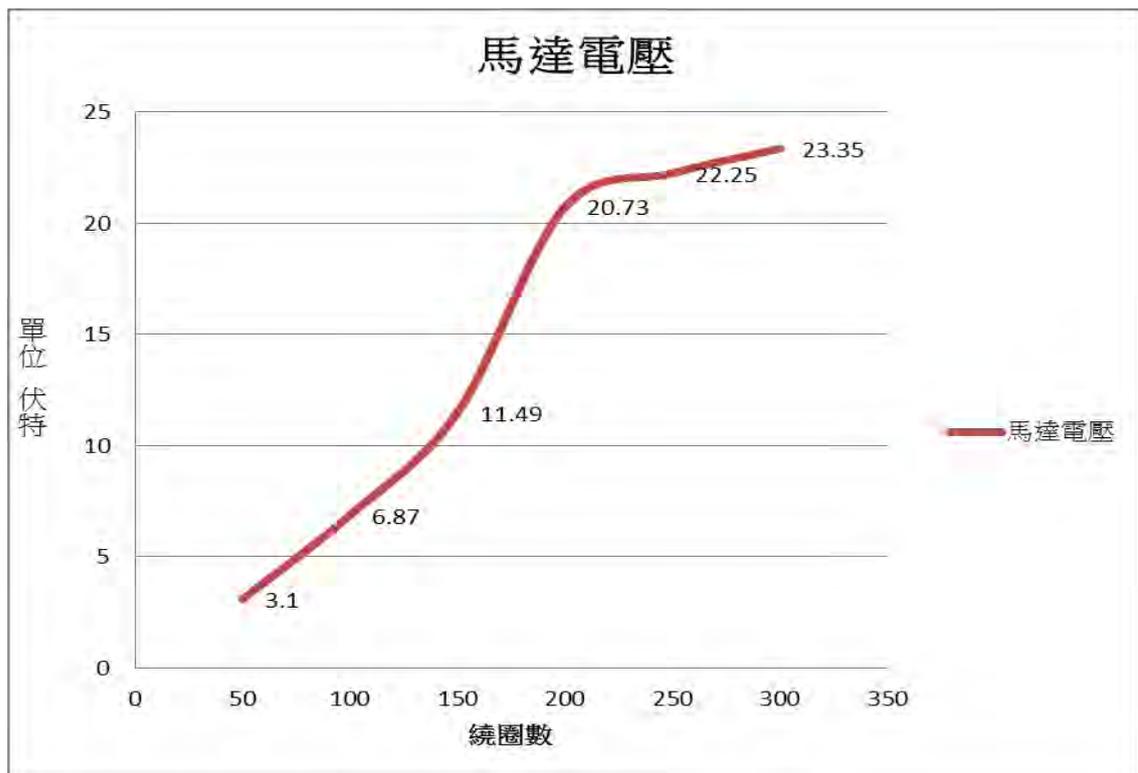


結果二、一代機接收線圈的效率表及曲線圖

繞圈數	馬達電壓 V	馬達電流 mA	*得到的電力 mW	系統消耗的電力 W	*傳送效率%
50	3.10	50.39	156.32	31.44	0.50
100	6.87	69.79	479.74	26.15	1.83
150	11.49	79.84	917.04	18.96	4.84
200	20.73	139.23	2886.24	18.85	15.31
250	22.25	137.59	3061.38	19.66	15.57
300	23.35	129.21	3017.05	19.52	15.45

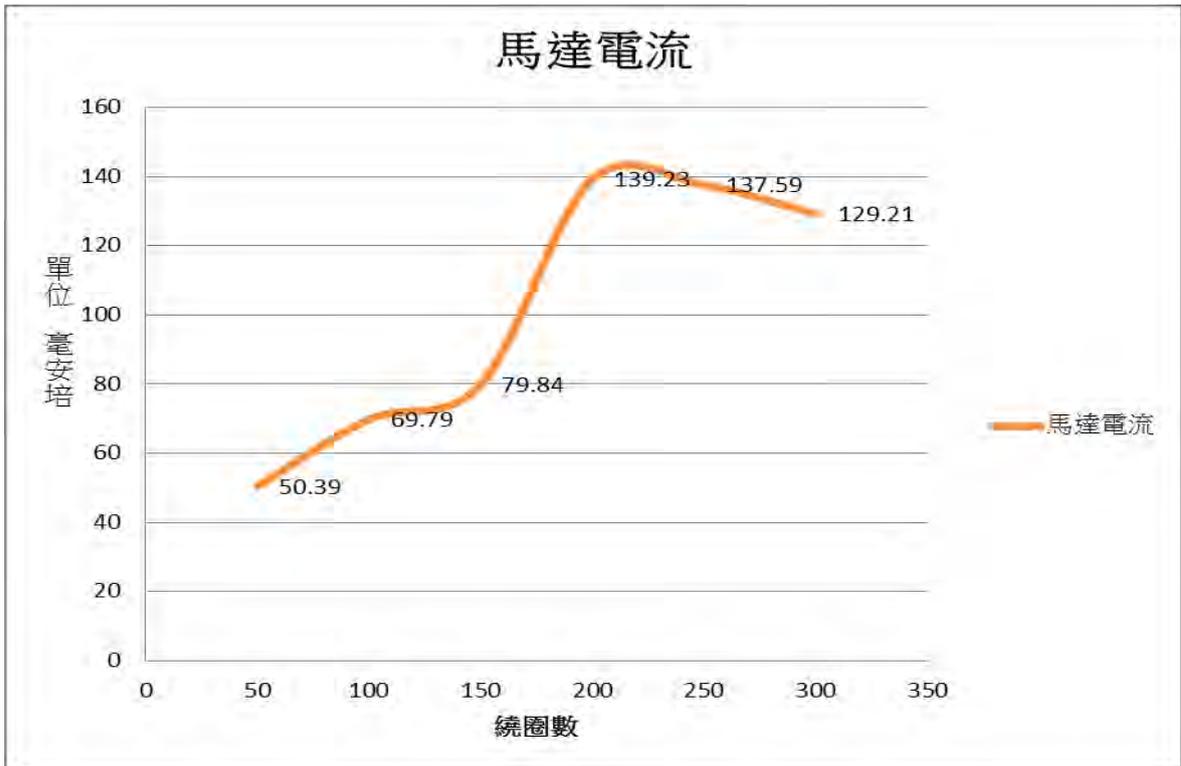
*計算公式註解

1. 得到的電力 = 馬達電壓 x 馬達電流
2. 傳送效率 = (得到的電力 / 1000) / 系統消耗的電力 x 100



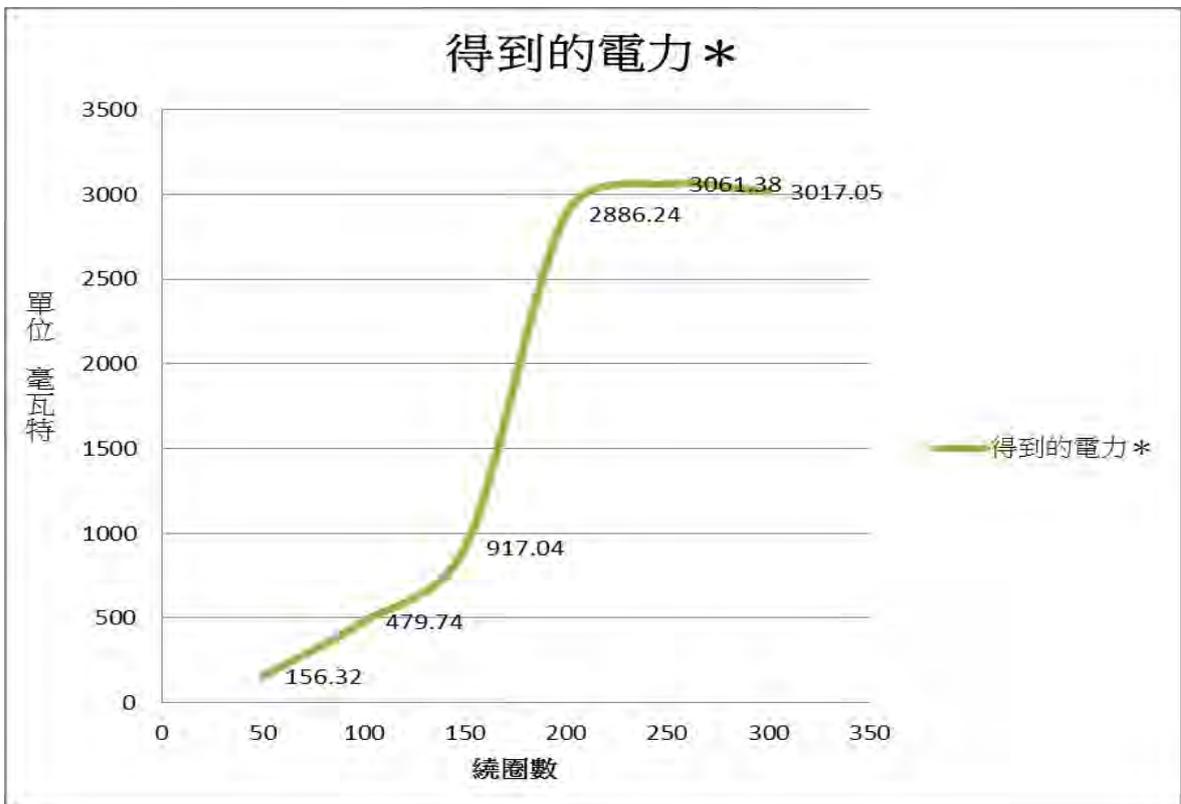
測量儀器：桌上型電錶

由圖可知 200 圈時電壓的增加趨於平緩，代表這個系統感應的電壓，已接近最佳。

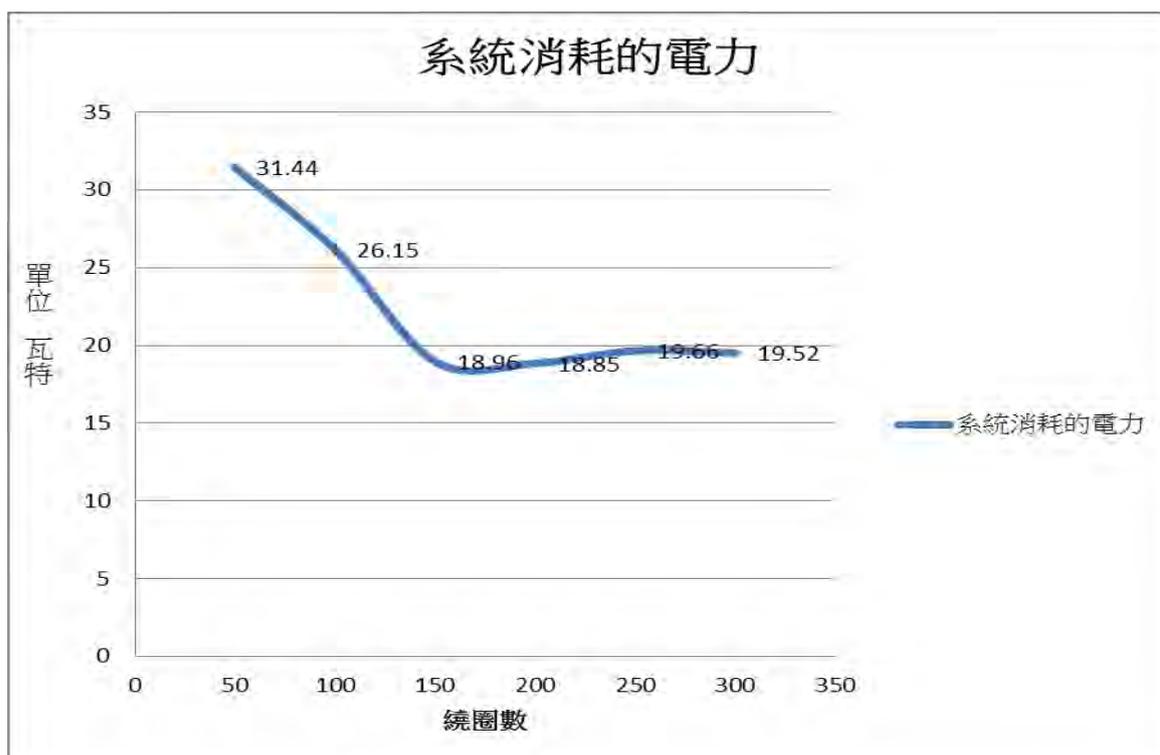


測量儀器：三用電錶

由圖可知 200 圈時已取得最大電流。

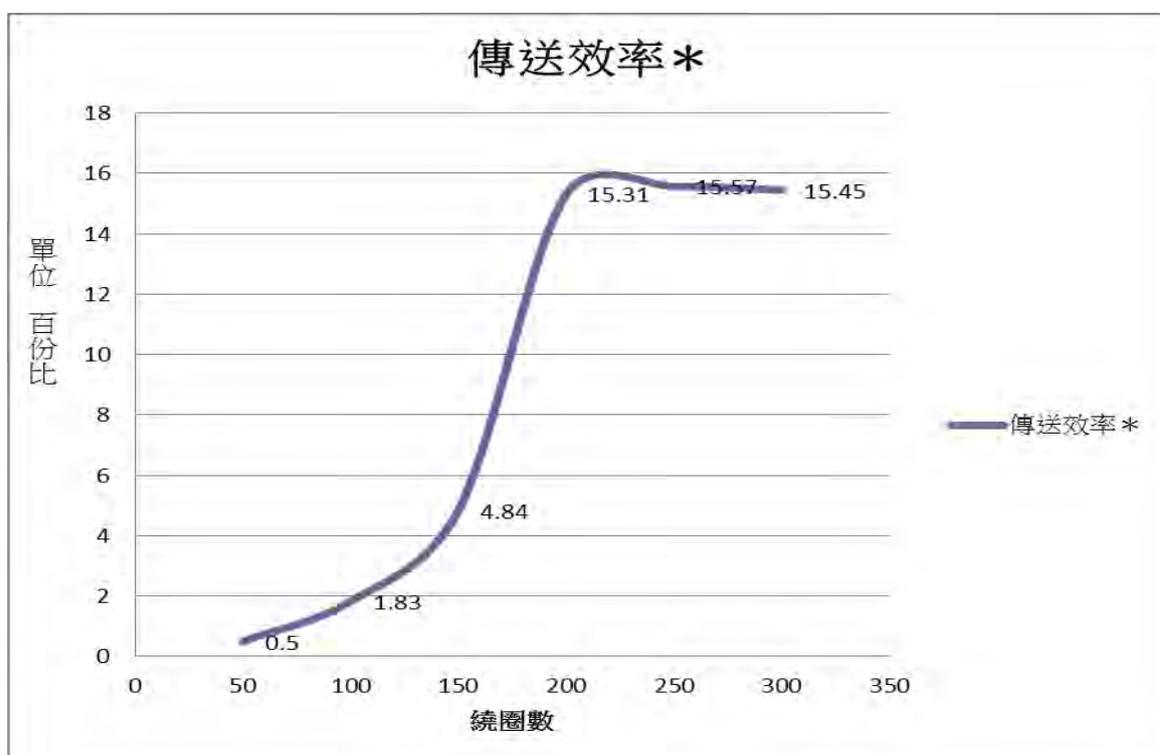


經由計算 $P = I \times V$ 功率 = 電流 x 電壓 結果為 250 圈時得到最大電力，能量最大。



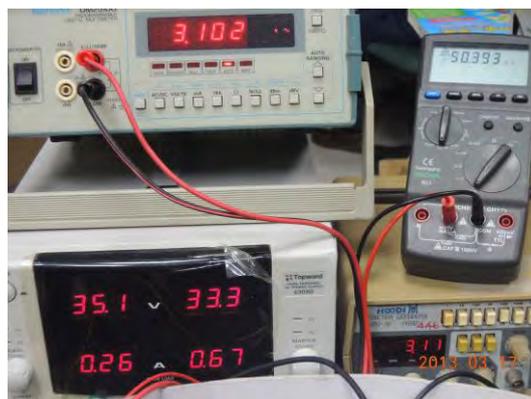
測量儀器：電源供應器

圈數不同時其最佳共振頻率也不同即最佳工作點不同，在非最佳工作點時需要消耗較多電力，所以發射端在不同頻率的磁場下所消耗的電力會有差異。



分析結果在 250 圈時傳送效率可達百分之 15.57。

由上表結果可得知，二代機當線圈繞 250 圈時接收到的電力及效率最高，不會因為繞愈多圈得到傳送的電愈多，因為圈數增加時電流路徑也會增長，阻力會增高，效率不會隨著提高。由這個研究了解到無線傳電最高效率為 15.57%，直接計算後的結果代表有 84.43% 的能量流失，相較於直接有線送電，效率相對較低且磁場對人體有不確定的影響。



陸、討論

一、線徑粗細的影響

本次的實驗主要是在研究線圈數，數據證明繞的多效率並不會較好，漆包線的線徑是固定用 0.65mm 的，如果不同的線徑是否會有不同的效率？粗細對效率有沒有幫助？

拿出線徑較細的 0.45mm 繞製 50 圈，接上馬達並且和 0.65mm 比較後發現，細的 0.45mm 馬達轉速並沒有比較高。這代表線徑的粗細會影響效率，粗的漆包線效率比較高。但是體積及重量也會跟著增加，0.65mm 的線圈重量約比 0.45mm 的線圈重約 1.8 倍。對這次的模型車來說，0.65mm 是可以承受的上限。所以線圈的設定是影響無線傳電效率很重要的因素。

二、電源供應系統的縮小化

打從開始構想要進行實驗，到實際動手做的過程，我們都沒有能力製造訊號產生器、示波器和訊號放大器，幸好我們可以選用家裡和學校既有的儀器設備來組合、搭配使用。

因此我們的模型車，不論是一代或二代機所採用的電源供應器和信號產生器所占體積都很大、在攜帶和安裝上都有一些不便。再來我們希望可以尋求協助，按照我們測試結果所參數，設計可以輸出適當電壓、電流、波形的發射端，並縮小其外觀整體的體積和重量。

我們的模型車雖然帥氣地奔跑著，但我們也知道，在未來若希望可以實際應用於真實生活，那麼不管是發射端、接收端的縮小或擴大，都還是充滿挑戰。

三、生活上的應用及傳電時磁場對人體的影響

1. 汽車

很多汽車大廠都在研究無線供電的電動車，其中已經研發成功並希望是第一台上市的無線電動車是瑞典富豪汽車 (Volvo) 和日本豐橋技術科學大學在 2012 年 7 月發佈的消息，他們將接收電力端設在車頂，這樣有面積平坦及較不受異物侵襲的好處。但是這樣發射端可以裝的地方就比較少了。

2. 手機

最早是 NOKIA 公司出的手機有這個功能，現在 EPSON 及 Panasonic 也已經可以在商店裡買得到，但是試用過發現有二個問題，一個是手機會一直發熱，另一個問題是有金屬的東西靠近也會傳電及發熱。所以目前這種商品，還是有效率轉換的問題，傳電過程會有損失的情況發生。

3. 磁場對人體的影響

在傳電過程中會產生磁場，所以會產生電磁波（SAR）單位是 W/Kg（瓦/公斤），現在世界衛生組織公佈的安全範圍是在 2.0 以下，有一間 Qi 的公司公佈他們的商品最高時是 4.0，並表示對人體是安全的，因為是近距離的接觸磁場，不會有影響。但是如果是在開放空間對很多手機遠距離傳電，例如到便利商店買東西時，包包內的手機也接收電力充電時，手機對人體影響應該比較大，相較汽車會比較小，因為手機充電時，人大都是在旁邊活動，而汽車的駕駛者都是坐在車子裡面，汽車金屬車殼可以隔離電磁波，對人體比較有保護的作用，但是如果市區公車用無線傳電對等公車的乘客就會有影響，所以如果可以架設在高速公路或禁止人通行的地方，應該會比較適當。

四·無線傳電的好處

1.方便性

接觸放著即可以傳電，手機要一般接有線充電時，因為電源接頭孔徑愈做愈小，年紀較大的阿公阿嬤常常對接耗時耗力；有時接孔變形或內部斷線，早上起床要出門時才發現接觸不良或不小心接頭脫落沒有充電。

2.密閉性

無線傳電的應用因為沒有更換電池的機會，所以物品可以做成全密閉式的機身，減少漏電的危險，還可以防塵防水，尤其是在潮濕的環境中使用，像我們使用已久的電動牙刷就是無線傳電在生活中最好的科技應用。

3.多工性

無線傳電可以同時對多個接收體傳電，要出去旅行時，同時對手機、相機、平板電腦充電，是很省時快速的。

五. 台北市的公車專用道，可不可以一直供電，讓專用道內的公車不用加油？

技術上應是可以的，但是大眾對於高壓電塔、手機基地台等電磁波均存有安全疑慮或健康上的顧忌，因此無線傳電的技術所發射車的電磁波是否會對路人造成傷害，還需要更多的研究。另外就是投資經費，因為鋪設於地下的線圈的費用可能也相當可觀。

六、在國道高速公路上是否有方法可以讓純電動車從基隆一直開到高雄？

我們認為，從我們展示的模式車來看，這是有可能實現的夢想。如果擔心發射線圈在地下的線路費過高，或許可以在車上加裝有可以瞬間充電的超級電容器（Super Capacitor），還可以將電力儲存起來，這樣就不用整條高速公路都鋪發射的線圈，只要在收費站等特定路段，或進休息站時瞬間無線傳電並儲存，要從基隆開著這樣的電動車到高雄是可行的。

柒、結論

- 一、利用無線充電技術，漆包線所纏繞的感應線圈數對發電效率有顯著影響，以本實驗所用線徑 0.65mm 的漆包線來說，繞方型鐵粉芯 250 圈時，效率最高。因此線圈纏繞的圈數與品質會影響到後續應用是否耗能。
- 二、本模型車試驗結果顯示電力的傳送效率最高大約僅能達到 15.57%，應該比其他利用電池電力輸出的效能還低，雖然實驗可以成功使得我們的模型車快速移動，但是背後散亂消耗的電能與產生的熱能也很可觀。
- 三、未來無線充電產品若充斥市場造成流行，恐怕又使得消費市場耗能的情況更進一步，因此未來持續改善傳送效率的目標更顯得重要了。我們的實驗顯示無線傳電還是有無限可能，雖然現在還在等我們去進步，但對人類的便利性是另人期待的。

捌、參考資料

1. 白中和 (民 82)。實用類比電路全集(3 版)。台北市:建興出版社。
2. 白中和 (民 77)。電磁學原理與應用(3 版)。台北市:建興出版社。
3. 沈在崧 (民 71)。電工學圖釋(2 版)。台北市:徐氏基金會。
4. 國小科學促進會。我的第一堂有趣的物理常識課。美藝學苑社。
5. 國家教育研究院。自然與生活科技領域。國家教育研究院。
6. 森榮二 (民 92)。LC 濾波器的設計與製作(2 版)。台北市:建興出版社。
7. 電子工程月刊 <http://www.eettaiwan.com/>。
8. 劉禹秀 (民 61)。無線充電之感應線圈耦合與電路分析。台北市:國家圖書館。
9. 翰林編輯委員。自然與生活科技(理化)。翰林出版社。
10. Qi 無線充電聯盟 <http://www.wirelesspowerconsortium.com/>

【評語】 030812

1. 此作品利用電磁耦合驅動玩具車，為不錯的想法。
2. 作品從發想至實作完整。
3. 對於使為頻率及電磁場耦合關係可再深入研究。