

無線充電探究與實作

張鈺奇²、賴高範³、洪連輝¹

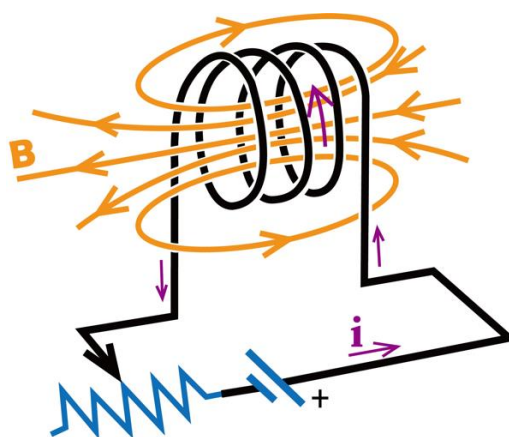
國立彰化師範大學物理學系

¹E-Mail:phlhorng@cc.ncue.edu.tw

「電」和「磁」之間有相關聯嗎？1820年，丹麥物理學家厄斯特（Hans Christian Orsted）無意中發現，通有直流電流之導線附近的小磁針會偏轉，若將直流電的電流反向，則小磁針會偏向反方向，代表通有電流的導線周圍會產生磁場（如圖一、圖二），此種現象稱為「電流磁效應」（又稱電生磁）。

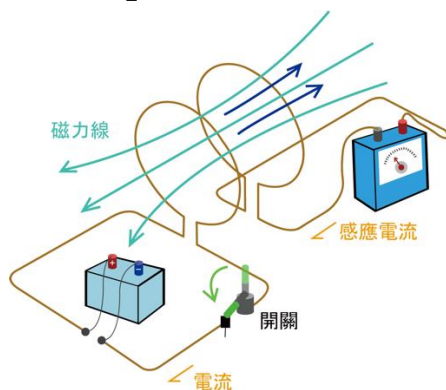


圖一 長直導線周圍產生同心圓的磁場



圖二 線圈周圍產生的磁場

1831年，法拉第纏繞兩組線圈，第一組發射線圈通過穩定電流，藉由電流磁效應使該線圈產生磁場。另一組接收線圈與電流計串聯形成封閉迴路，並置於第一組發射線圈旁邊。法拉第發現，當第一組發射線圈接通或切斷電流的瞬間，在接收線圈的電流計指針會來回擺動（如圖三），因而得到「磁場變化產生電」的結論，稱為「電磁感應」(electromagnetic induction)。



圖三 電磁感應示意圖

「電流磁效應」和「電磁感應」這兩個現象，是馬克斯威爾方程式（Maxwell's equations）的兩大核心定律。這兩大定律，讓「電生磁、磁生電」的關聯性建立起來，開啟了「電磁學的世界」堅實的理論基礎。之後的馬達、發電機、天線、電磁爐、有線與無線的電子電機設備等設計發明，都是依靠這兩個定律所打造出來的設備。

法拉第發現在封閉導線迴路上產生的感應電動勢和通過該迴路的磁通量變化率成正比，也就是說，當通過封閉迴路的磁通量變化時，感應電流會在這個封閉迴路導線內流動。法拉第電磁感應定律指出，任何封閉電路中感應電動勢的大小，等於穿過一個繞著 N 匝的線圈封閉電路磁通量的變化率，其感應電動勢為

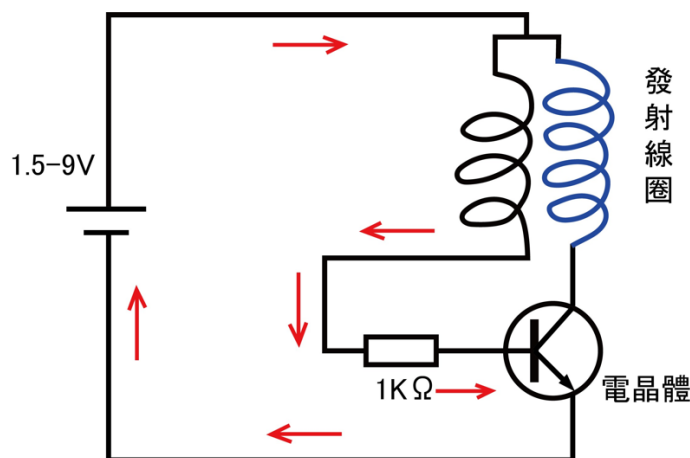
$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

其中， ε 是感應電動勢，單位為伏特； Φ_B 是磁通量，單位為韋伯； Δt 表示磁通量改變的時間。

現代科技發達，手機充電不再只靠「實體充電線」，「無線充電」已是新的技術，學生一定會有興趣自己做一個無線充電。無線充電的原理來自於「電流磁效應」和「電磁感應」原理，目前市面上已有一些無線充電裝置的教具，但都是模組化設計，學生只可以看到無線充電的現象，無法探究其變因，這也讓我們思考設計一個無線充電的探究與實作的教材，引導學生從基本原理思考與探究，幫助學生專題研究，進而轉化課堂上學習的知識，成為日後生活或就業的技能與背景知識。

無線充電主要是利用上述的電流磁效應與電磁感應，發射線圈電流改變產生磁通量變化，然後將接收線圈放至於發射線圈上，則接收線圈內會感應出電流。但如果只利用法拉第的兩組線圈設計，當線圈接通電流或切斷電流的瞬間，接收線圈才會瞬間產生感應電流，這是無法充電的。因此必須是發射線圈的磁場持續不斷的變化，接收線圈就會感應出交流電，經過整流成直流電後就可以幫手機充電。

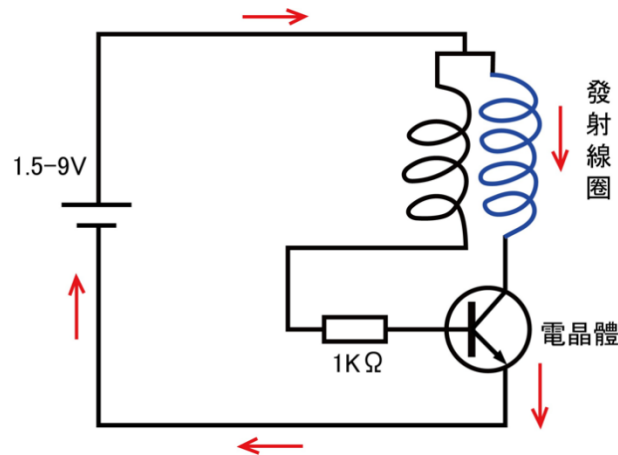
在法拉第的式子中，產生感應電動勢有三個變因： N 、 Φ_B 、 Δt 。如果使用直流電池，發射線圈無法產生磁通變化。所以如何將 Δt 時間縮短，就可以增大磁通變化率。這裡設計是利用一個電晶體當開關，發射線圈由兩個線圈組成，開關持續不斷的切換不同的兩個線圈，這兩個線圈的磁場不斷的改变方向，造成很大的磁通改變率，圖四是電路設計圖。



圖四 I_B 的電流迴路

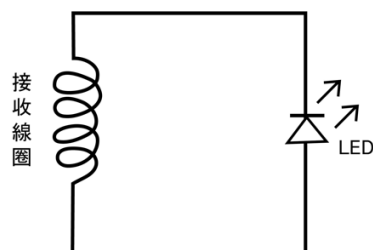
這個電路設計的發射線圈由兩個線圈A、B並聯而成，可以兩條漆包線一起繞成並聯的線圈，或一條線繞A線圈後，留一點線頭後再繼續繞成B線圈。電路中利用一個雙極性接面電晶體(BJT)來控制發射線圈的電流，通過電晶體基極(B)接線的少量電流，就可以讓集極(C)和射極(E)之間的電流開關打開，藉此達到小電流 I_{BE} 控制大電流 I_{CE} 的目的，所以無線充電裝置圖的動作原理如下：

1. 一開始電源未導通時，電晶體未有電流流過，但是CE通道之間的電阻較大，BE通道之間的電阻較小。
2. 電源接通時，電流選擇較小電阻的路徑，小電流 I_B 只流經發射線圈A， I_C 還未出現，如圖四。
3. 當 I_B 導通，流經B極時，CE之間的通道會打開，可讓大電流 I_C 由C極流向E極， I_C 的路徑也跟著導通，但是因為 I_C 是大電流，幾乎搶走所有電流，所以 I_B 消失。如圖五所示。



4. 當 I_B 消失時， I_C 的路徑也跟著斷掉， I_C 消失。電路又回到2的情況， I_B 又出現了。
5. 步驟2到步驟4的過程，不斷重複且所須時間甚短，使得線圈在短時間之內不斷改變電流方向，發射線圈形成很大的磁通量變化率。

將接收線圈放在發射線圈上面，就能讓接收線圈因電磁感應產生感應電動勢，而感應出交流電，就可以讓LED燈閃爍發亮（如圖六、圖七），但因頻率夠快，超過視覺暫留，LED燈看起來就一直發亮。

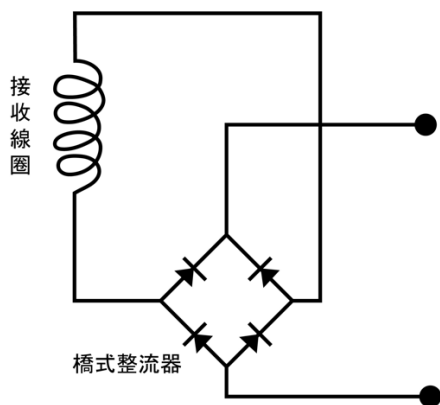


圖六 接收線圈連接LED示意圖



圖七 簡易無線充電裝置圖

本探究教材，可以先使用同一個發射線圈（大約直徑 5 公分約繞 20 匝至 50 匝），學生可以自由改變接收線圈的直徑及匝數，接上橋式整流電路，將交流轉換成直流（如圖八），這樣就可以利用三用電錶直接測量接收線圈的感應電壓。另外，改變發射線圈和接收線圈的垂直距離（如圖九）（可以用厚紙板隔開，厚紙板數量可以換算成距離），探究了解無線充電兩線圈間的距離的相關性。

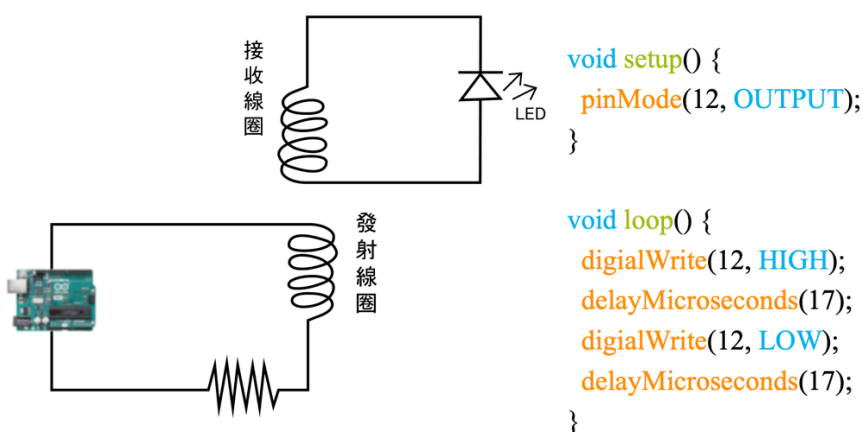


圖八 接收線圈與橋式整流電路圖



圖九 隔空點亮 LED 燈

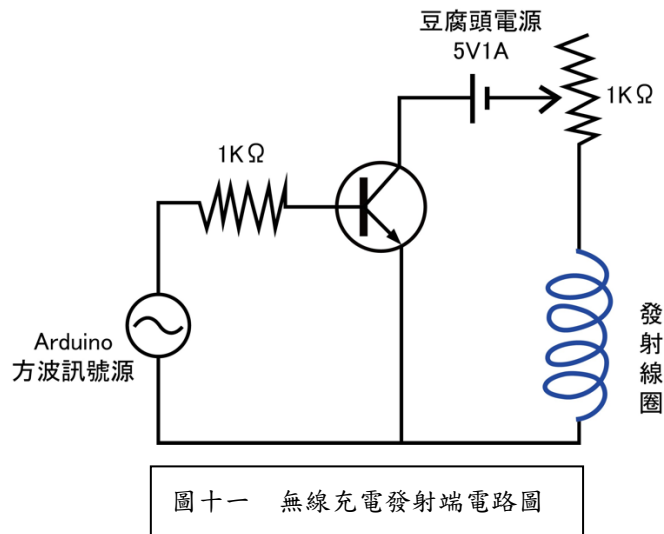
為了可以改變發射線圈的輸出電流頻率，利用 Arduino 開發板輸出特定頻率的方波訊號，用一個簡單的 Arduino 程式來改變發射線圈電流開關的頻率，調整磁通改變時間 Δt 。Arduino 開發板輸出 5V 方波，開斷電形成磁場的變化，如圖十。程式中 `delayMicroseconds(T)`，通電時間為 $T \mu s$ ，斷電 $T \mu s$ ，一個方波週期等於 $2T$ ，頻率為 $1/(2T)$ 。如下圖，選定通斷電時間 T ，就可以觀察到接收線圈 LED 亮度變化。



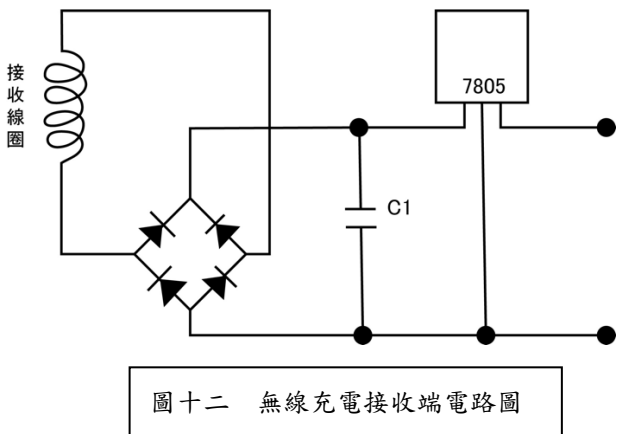
圖十 利用 Arduino 與簡易程式，控制訊號輸出

但 Arduino 開發板的功率不夠大，無法幫手機無線充電。這裏發射線圈電路設計必須外加一個放大電路才可以，電路設計圖如圖十一。利用一個功率 NPN 電晶體（TIP41C），將 Arduino 方波訊號經過放大電路後輸入發射線圈，產生隨時變化的磁場，藉由 Arduino 改變頻率（也就是改變 Δt ），放大電路的電源可用 5V1A 豆腐頭，並串聯一個可變電阻，可調整放大

的電流磁效應磁通 Φ_B 。此線路可以探究發射線圈電流大小產生的磁通及磁通變化頻率對接收線圈電壓的影響。下圖是整合 Arduino 開發板的放大電路：



為了將接收線圈收集到的能源拿來充電手機，手機充電需要穩定的 5V 直流電源，接收線圈收到的交流電，經由橋式整流濾波電路而得到直流電，加並聯一個電容，可以得到更平滑的直流輸出，另加上一顆穩壓元件 7805，如圖十二。若最後電壓達 5V 以上，就可在手機上看到電池已在充電的符號如圖十三。至於充電的效率就要看兩個線圈間的傳輸效率，或在接收線圈的感應電流大小。無線充電過程會有大量的能量耗損，或以熱能的形式損耗，導致感應電壓下降。



以 STEM 教育作為一個跨領域的教材設計，結合自然科學與生活科技，以探究、實作教學發展自然科跨領域的實作教材，我們也希望在開發教材的過程，重視科學、科技、工程與數學的課程概念及學習目標的統合（表一），以培養學生探究思考及解決問題的能力。

表一 無線充電 STEM 課程概念表

	課程概念	學習目標
科學(Science)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 磁場 2. 電流磁效應 3. 電磁感應 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能夠理解何謂磁場，了解產生磁場的方法。 2. 導線輸入電流，周圍會產生磁場，了解電流磁效應 3. 能夠理解電磁感應的概念，在變動的磁場中，線圈可以感應出電流。
科技(Technology)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 無線充電 2. Arduino 控制晶片 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 學生必須理解無線傳輸能量的方式，了解磁感應線圈。 2. 學生須編輯適當的程式，透過 Arduino 對教具進行控制。
工程(Engineering)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 放大電路 2. 電磁感應線圈 3. 磁共振 4. 解決課程上遭遇的問題 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 學生必須了解電磁感應線圈的原理，並利用其原理解決無線充電所遇到的問題。 2. 學生必須了解線圈之間如達成磁共振可大幅減少能量消耗。 3. 學生必須了解訊號大小與距離的變化是無線通訊的基礎，對線圈輸入特定訊號，使接收端隨著訊號產生變化。 4. 學生必須依據流程來解決課程中所遭遇的問題，而非依靠直覺與猜測
數學(Mathematics)	利用數學算出訊號強度與距離變化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 學生能夠利用數學工具，進行實驗結果的定量分析並歸納整理。

參考文獻

1. 電子學實習(上)-二極體與電晶體電路，王炳聰、蔡榮峰、李振興、黃清池。
2. 超圖解 Arduino 互動設計入門，趙英傑。
3. <https://www.youtube.com/watch?v=9eL5bUhG8M0&t=9s>，How to Make Wireless Mobile Charger。
4. <https://www.youtube.com/watch?v=eNZ8KPHYDvg&t=168s>，Wireless Charger | Theory & Homemade Circuit。
5. <https://www.youtube.com/watch?v=E6idWRIsAIw&list=PLTQ2T0cDHYPdwqJTNdhCNVgvR8dCNxIRg&index=1>，電磁感應【觀念】電磁感應的現象（選修物理IV）。
6. <https://www.youtube.com/watch?v=YRCsz-kUKM0&list=PLTQ2T0cDHYPdwqJTNdhCNVgvR8dCNxIRg&index=2>，電磁感應【觀念】法拉第電磁感應（1/4）：磁通量（選修物理IV）。