

2024年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱:「圈」進「線」在,「拉」近未來「無線」可能 - 探討不同組合線圈傳電效果,並開發諧振電路裝置組合來進行瓶罐材質分類

Through coil combinations for recycling classification, development and evaluation of resonant circuit device combinations for the classification of cans.

一、摘要

利用特斯拉線圈的無線傳電原理,開發快速分類回收瓶罐的系統。此應用利用不同材質瓶罐通過線圈產生的電磁場時,會因電磁特性差異而影響線圈的固有頻率和接收電壓。我們發現塑膠瓶的干擾較小,而鐵鋁罐則是產生雙凹波並伴隨電壓下降,裝水寶特瓶則為單次凹波,亦有電壓下降,利用波型的不同來偵測瓶罐材質。這項技術的優點是能快速辨識材質,且可以將有裝水的和空的塑膠瓶區別開來,確保回收時內容物已經清空。但相反的,有裝水的寶特瓶和鐵鋁罐的電壓下降量差異小,可能造成誤判。未來研究需更精確區分這兩種情況,避免分類錯誤。研究基於特斯拉線圈的無線能量傳輸,假設不同材質對電磁場的干擾不同,透過偵測電壓波動實現分類。

二、探究題目與動機

近幾年,我們注意到了大量未經妥當回收的瓶罐被隨意丟棄在路邊、山上、甚至是海洋,對環境與生態造成極其嚴重的污染及破壞,因此,我們決定利用可以在短時間內大量製作的特斯拉線圈,並利用其會因為不同材質導致固有頻率與接收到的電壓不同的特性,來製作一個可以快速分類瓶罐的系統。

三、探究目的與假設

目的:

- (一)組裝特斯拉線圈發射系統與感應線圈系統。
- (二)探討以不同長度線圈作為特斯拉發射系統所發出電波相對強度的影響。
- (三)探討以不同長度線圈作為特斯拉接受系統所接受電波相對強度的影響。
- (四)利用訊號波動偵測不同材質瓶罐所產生的波動

假設:

- (一)接受線圈越長則自製裝置所接收的初始訊號越大
- (二)發射線圈越長則自製裝置所接收的初始訊號越大
- (三)橋氏整流器不會影響到電流與電壓

(四) 塑膠材質瓶子偵測出的訊號波動較鐵鋁罐的波動小

四、探究方法與驗證步驟

(一)、實驗器材

儀器：電源供應器、電晶體、電線、LED燈泡、麵包板、驗電筆、信號產生器、示波器、各種尺寸的線圈、主線圈

(二)、實驗架構圖

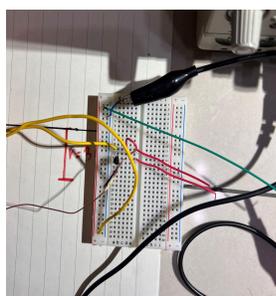


(三)、建立特斯拉線圈裝置

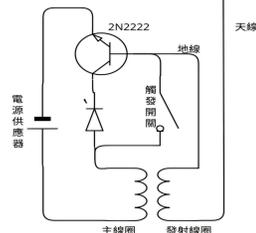
第一步驟：組裝電路[圖1][圖2]，並且可以利用電路上的LED，來確認裝置是否可以正常運作[圖3]，並在接收端線圈連接示波器偵測感應電壓。

第二步驟：感應線圈所感應的特斯拉電場原始訊號[圖4]是交流電，沒辦法作為偵測電磁波強度變化的依據，因此需要利用橋式整流器[圖5]將交流電轉成直流電。

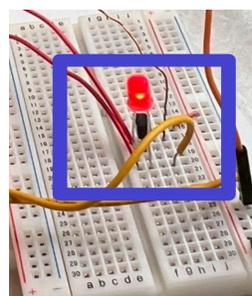
第三步驟：用燈管與驗電筆確認中置可以成功運行，以確保特斯拉裝置可以發射出磁場，初步的裝置就完成了[圖6]。



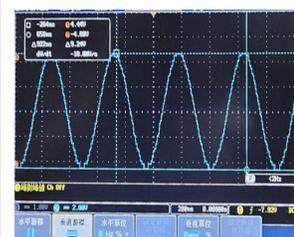
▲【圖1】電路裝置



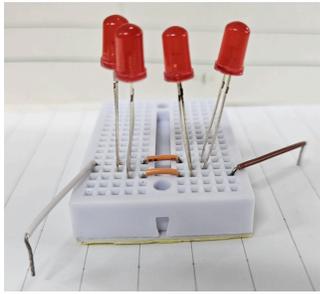
▲【圖2】裝置電路圖(作者自繪)



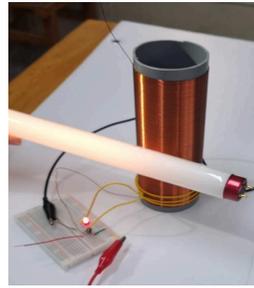
▲【圖3】以LED燈確認



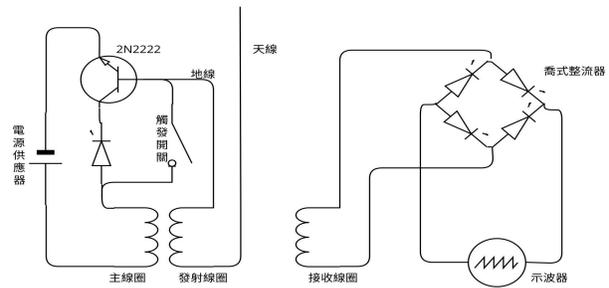
▲【圖4】感應線圈原



▲【圖5】橋氏整流器



▲【圖6】燈管檢驗



▲【圖7】整體裝置電路圖(作者自繪)

(四)、探究歷程和討論

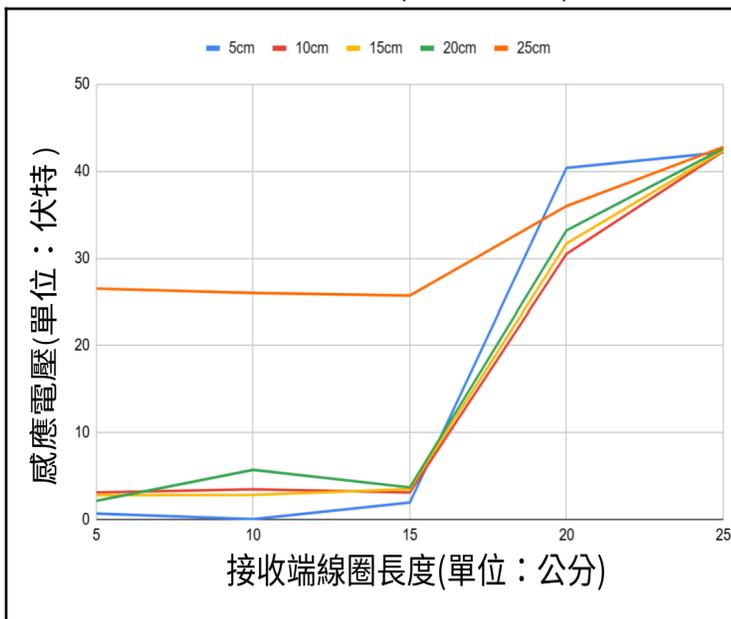
討論4-1: 探討以不同長度發射線圈與接收線圈組合

測試不同組合所接收到的電壓。並且為了在長度上方便計算，我們製作了五種款式的線圈，分別是 5、10、15、20、25 公分[圖8]，進行交叉測試。

控制變因：主線圈三圈、同型號的電晶體 (2N2222)、輸入電壓 (7 V)

兩兩配對的電壓結果如[圖9]得知結果後，我們發現 5 公分的線圈由於電感值太小導致信號太弱，因此首先 5 公分排除作為感應線圈的考量。最後，我們也發現在 15 到 20 公分的感應線圈之間有傳遞電壓增高的斷層，也就是 20 公分的電壓遠大於 15 公分的電壓，因此在考量成本與電壓變涼的情況下，我們最後決定使用發射端線圈 / 接受端線圈 = 20 公分 / 20 公分作為感應線圈的組合。

註：【圖9】橫軸為：感應電壓 (單位：伏特) 縱軸為：接收端線圈長度 (單位：公分)



▲【圖8】所有尺寸的特斯拉線圈

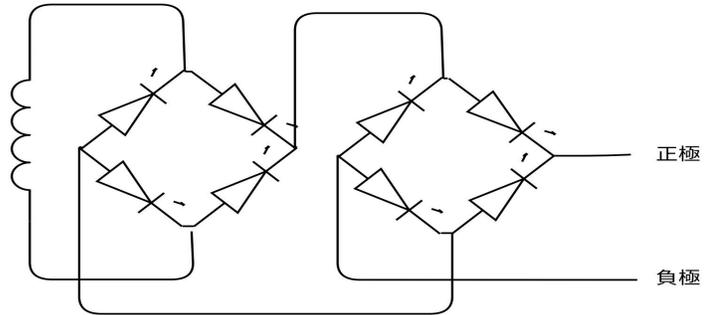
◀【圖9】不同線圈組合(發射線圈5~25 cm+接受線圈5~25 cm)製成諧振電路發出電波經感應接收後示波器所呈現的電壓訊號大小

討論4-2: 雙橋式整流器的應用與製作

經由討論4-1實驗結果, 在考量到製作成本與接收到電壓的雙重衡量下, 我們決定使用發射端線圈 / 接受端線圈 = 20 公分 / 20 公分作為測試塑膠與鐵鋁罐干擾固有頻率的線圈組合。然而因為能量損耗的問題, 所以我們將電晶體換成訊號產生器, 如但在此高頻率的交流電下, 單一個橋氏整流器無法做到完全整流, 因此我們設計了可以整流兩次的雙橋氏整流器已到整合成直流電的效果。【圖10】【圖11】



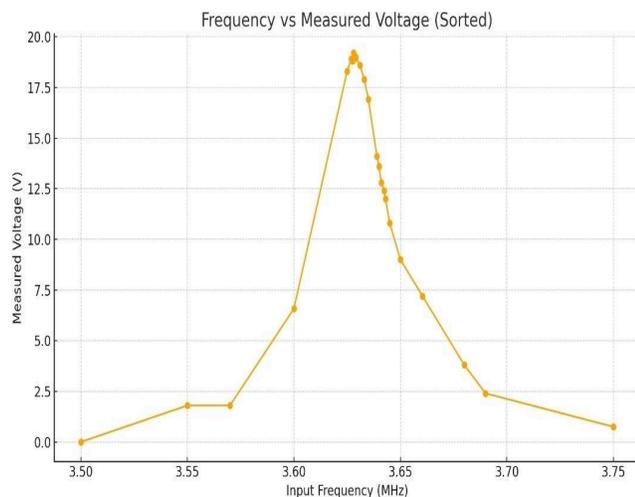
▲【圖10】雙橋氏整流器



▲【圖11】雙橋式整流器之電路圖(作者自繪)

討論4-3: 尋找線圈固有頻率

在找到最適合的線圈組合後, 為了減少材料耗損, 因此我們已經將電晶體(固態特斯拉線圈裝置)換成訊號產生器, 然而如果要用訊號產生器, 就必須得知道發射線圈的固有頻率, 才能順利傳訊。因此我們先以每 0.05 MHz 為單位, 測量感應電壓, 並利用繪圖軟體的輔助, 將回歸曲線做出來[圖12], 最高點即為固有頻率。



▲【圖12】尋找20 cm線圈的固有頻率

(五)、生活中的應用

5-1 測試完最佳的線圈組合後，本實驗所使用的裝置規格為：

(1)主線圈數 3 圈(因為發射的電波強度最強)。

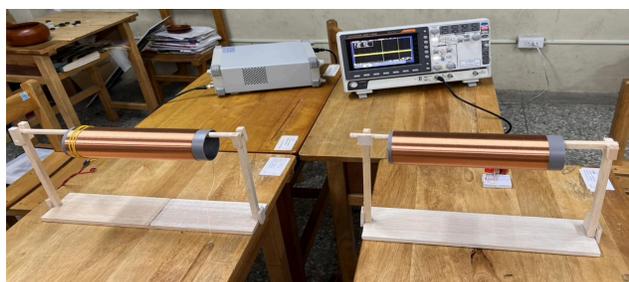
(2)發射線圈使用高度為 20 公分的線圈。

(3)接收線圈使用高度為 20 公分的線圈。

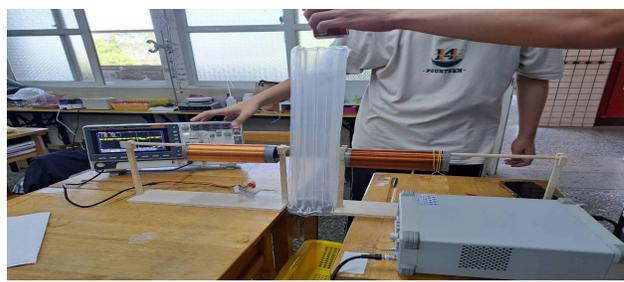
(相較於 15 公分以下的線圈, 20 公分和 25 公分的線圈的感應出的電壓有明顯的提升, 然而製作出 20 公分所需要的價錢、時間等等成本都比 25 公分的還少, 故選擇 20 公分的線圈。)

5-2 應用

本實驗將此特斯拉線圈裝置分置於兩張不同的桌上, 並且發射線圈和接收線圈間距約為 20 公分, 瓶子下落的離地高度為 155 公分【圖14】



▲【圖13】裝置圖



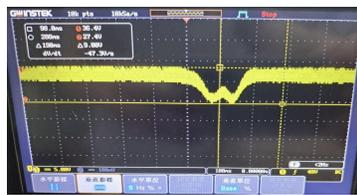
▲【圖14】物體經過裝置的圖

5-3根據示波器顯示的結果，我們可以推測：

空塑膠瓶在波形上基本沒有變化，裝一半水的下降量為鐵鋁罐的一半，裝滿水的下降量則基本超過鐵鋁罐，目前已知能區分兩者的方法是：鐵鋁罐為兩次凹波，而裝水的寶特瓶則只有一次，或者是利用下降量判斷。



▲【圖15】裝水寶特瓶的凹波



▲【圖16】鋁罐的雙凹波

項目	下降量(伏特)
寶特瓶	0
鋁罐	5
裝滿水寶特瓶	7

▲【圖17】垃圾分類依據(下降量)

(六)、實驗討論

假設一：接收線圈越長則自製裝置所接收的初始訊號越大

假設成立。本實驗測得接收線圈越長，傳電效果越好，尤其是 25公分的線圈。

假設二：發射線圈越長則自製裝置所接收的初始訊號越大

假設成立。本實驗測得發射線圈越長，傳電效果越好，其中25公分為最佳。

假設三：橋氏整流器不會影響到電流與電壓

假設不成立。本探討中發現，若未接上橋式整流器的原始訊號的值皆會小於有接橋式整流器的，故不成立。

假設四：塑膠材質瓶子偵測出的訊號波動較鐵鋁罐的波動小

成立。本應用發現雖說含水時，塑膠瓶會產生波動，但是波型起伏不如鐵鋁罐大，故成立。

五、結論與生活應用

首先，經由數次一系列的實驗，我們發現在實驗時前，必須確認每個電子元件正常運行，才能保證在數據取得上的精確與可信度。再者，在探討最佳的裝置組合的過程中，本研究得出了三個結論。第一，接收線圈和發射線圈都使用 20 公分為最佳組合。第二，單橋式整流器有可能因頻率過高導致無法整流，此時需利用雙橋式整流器。第三，20 公分線圈的固有頻率是 3.62 MHz。最後，本組決定將本實驗結果用於高效率的資源回收系統中，其優點在於能迅速分辨不同材質的瓶罐，而缺點是在裝滿水的寶特瓶與鐵鋁罐之間有較難分辨的問題，因為雖然兩者下降的波形不同，但是因為在同意組線圈組合下最大下降量僅差大約 2 V，因此單看波形會難以區分裝滿水的寶特瓶與鐵鋁罐。所以在試讀上容易有誤判的情況發生。

六、參考資料

1. Chiou, A. (2025). *Tesla Coil Wireless Power Transmission Experimental Notes*.

Unpublished personal communication.

<https://chatgpt.com/share/67f5276a-9af0-8001-988b-662cd65c774b>

2. 葉祖恩, SA22-241 探討幾何螺線管在磁耦合諧振電路的偏差 The Deviation of Geometrical Solenoid Applied for Resonant Inductive Coupling Circuit, 22屆旺宏科學獎。

3. 林鄧恩、張棋翔、呂柏鑾、樊佳瑄, C0213「特」立獨行的「斯」考如何「拉」開「線」速的「圈」內奧妙 Create a tesla-coil-based detector to determine the velocity of body motion , 2024年【科學探究競賽-這樣教我就懂】普高組