

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學(一)科

第三名

052306

達靈頓尋找特斯拉

學校名稱：新北市立中和高級中學

作者： 高二 蔡宇安	指導老師： 華光永
---------------	--------------

關鍵詞：達靈頓、尋找、特斯拉

摘要

本科研主要運用達靈頓電晶體將微訊號放大，以感應特斯拉線圈產生的高頻訊號，再將感應到的訊號輸出給科技寶輪型機器人，接著依撰寫於機器人之操控程式進行訊號強弱的判斷，進而得知特斯拉線圈所在的距離和方向，最終得以控制機器人在不同模式下有自動轉向特斯拉線圈所在的位置，或跟隨其前進的動作。

壹、研究動機

去年(2020)參加新北創新教育加速器計畫-STEAM 跨領域程式設計培訓課程，學到科技寶輪型機器人的組裝與程式控制方法，對機器人控制產生興趣，開始進一步組裝加強機器人的防護及改良遙控程式，並主動找同學組隊，於 2020.11.22 參加 TEMI 全能機器人技藝技能競賽，結果很幸運的，我們榮獲冠軍，此提昇並鼓舞了我進一步對機器人的研究與興趣。

在去年的自主學習電感電子元件特性時，接觸到特斯拉線圈電子套件，在完成特斯拉線圈套件焊接實作後，對特斯拉線圈產生的高壓微電流電弧感到好奇。

另外，在自主學習電晶體特性時，接觸到使用達靈頓電晶體的電場感應套件，感應裝置接近特斯拉線圈時，裝置上的 LED 會亮起，蜂鳴器會發出蜂鳴聲，感覺頗為有趣。

基於以上產生的興趣與好奇心，想研究是否能將三者結合，創作一個能感應特斯拉訊號，並依特斯拉線圈的位置，自動轉向或跟隨前進的機器人。

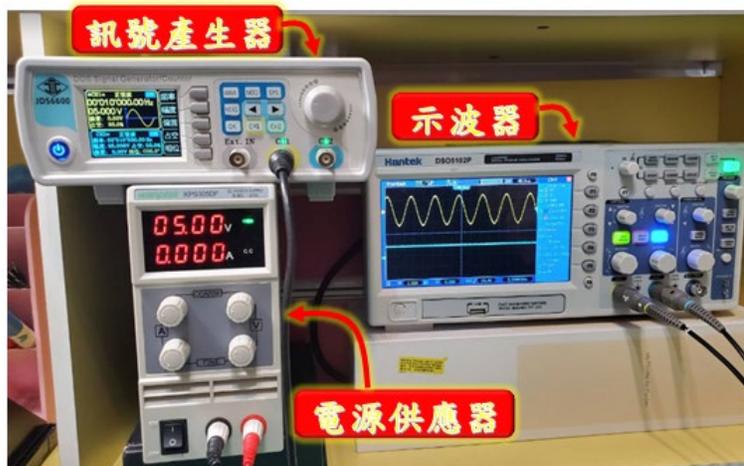
貳、研究目的

本科研主要以學習為出發點，以開發對生活有幫助的科技用品為目的，列述如下：

- 一、了解特斯拉線圈電路原理。
- 二、了解達靈頓電路。
- 三、了解選頻與檢波電路。
- 四、了解科技寶輪型機器人。
- 五、電路實作與整合。
- 六、機器人組合。
- 七、開發應用程式。

參、研究設備與器材

一、示波器，電源供應器，訊號產生器



二、電表：主要用於量測電壓，電晶體腳位，電感值



三、熱熔膠條+熱熔膠槍

用於固定電子零件與導線，避免零件移位短路或導線扯動斷線。



四、高電壓示波器測試棒

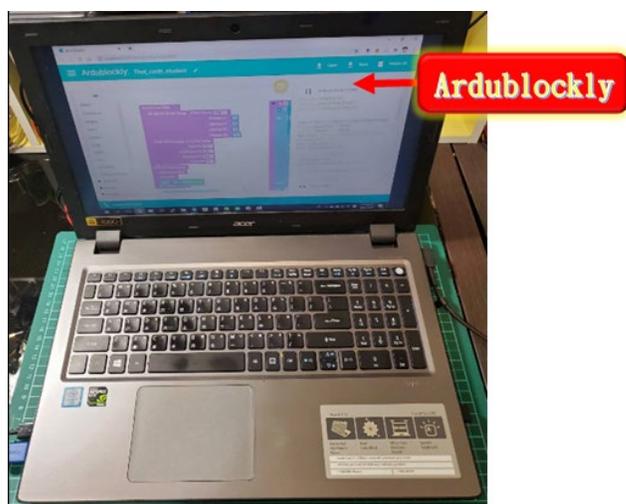
用於量測特斯拉線圈產生的高壓電，將一仟多伏特的高電壓訊號衰減 1000 倍，變成一點多伏特，以便在示波器上進行檢測。



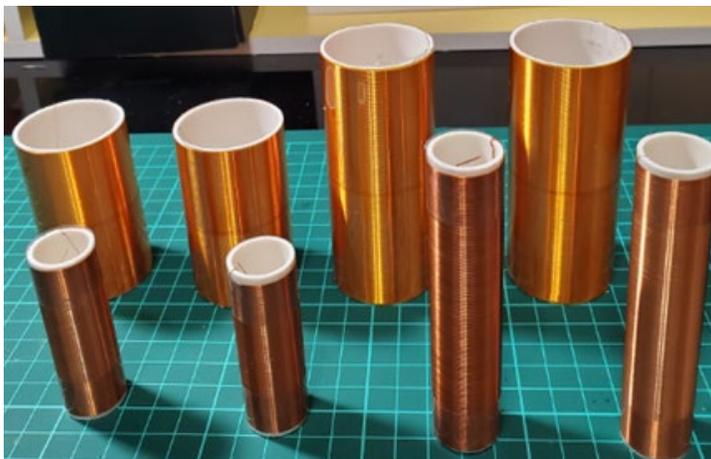
五、科技寶輪型機器人 (含 PS2 無線遙控器)



六、筆記型電腦 (安裝 Ardublockly 科技寶輪型機器人程式開發環境)



七、特斯拉線圈 (次級線圈)



八、裸銅線 (初級線圈的實驗線材)



九、基礎實驗材料: 麵包板, 蜂鳴器, 電阻, 電感, 電容, 電晶體, 可調電容, 可調電感



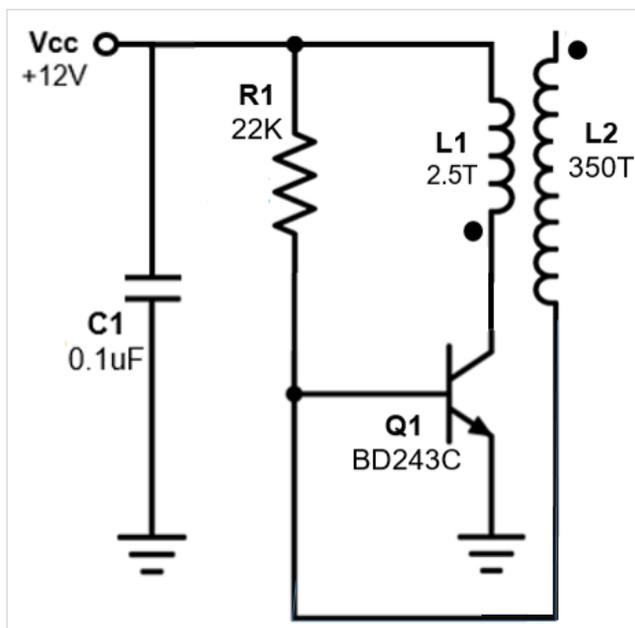
十、焊接實作器材: 萬用板，烙鐵，LED、功率電晶體、散熱片等



肆、研究過程與方法

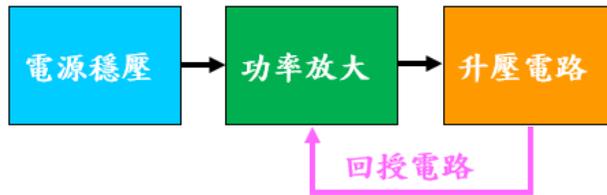
一、了解特斯拉線圈電路原理

(一) 特斯拉線圈基本電路

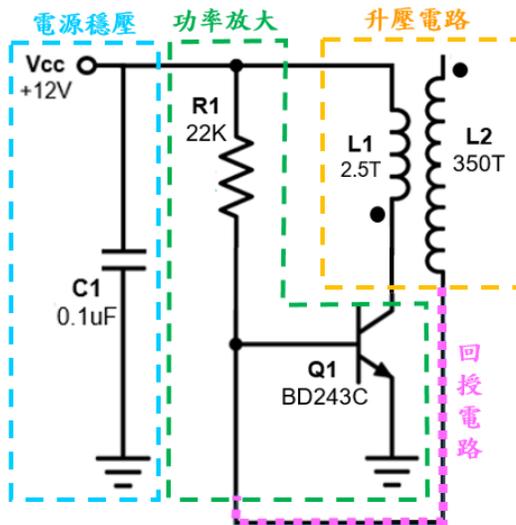


(二) 結構圖

【功能結構】



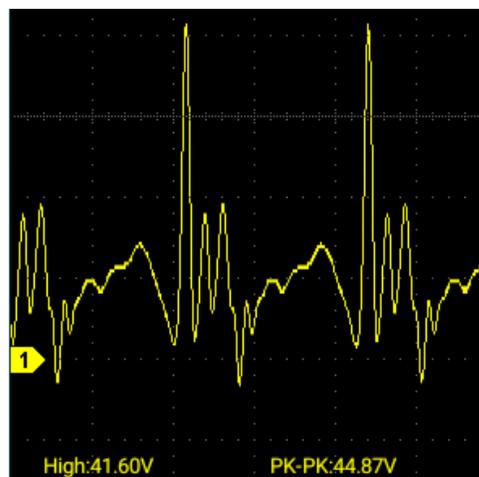
【電路結構】



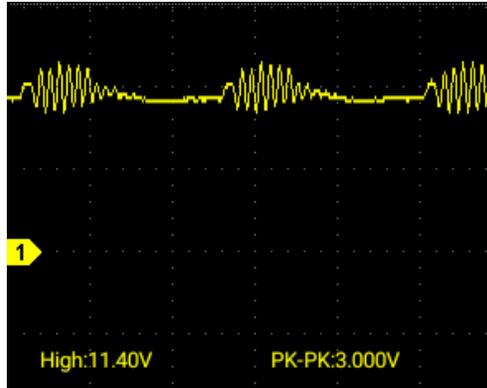
電源穩壓：

- (1) 電源：使用三顆 3.7V (流飽電約 4V) 18650 電池，提供約 12V 的直流電。
- (2) 穩壓：使用 0.1uF 電容以濾除高頻振盪訊號穩定電源，以示波器量測電源 Vcc 到地的訊號，有加電容的電源波形明顯較為穩定。

【未加電容】+12V 電源起伏振劇烈，供電不穩。



【有加電容】+12V 電源起伏較小，供電較穩定。



2. 功率放大：

以電晶體測試電表量測電晶體共射極電流放大係數 (hFE) 值為 123。

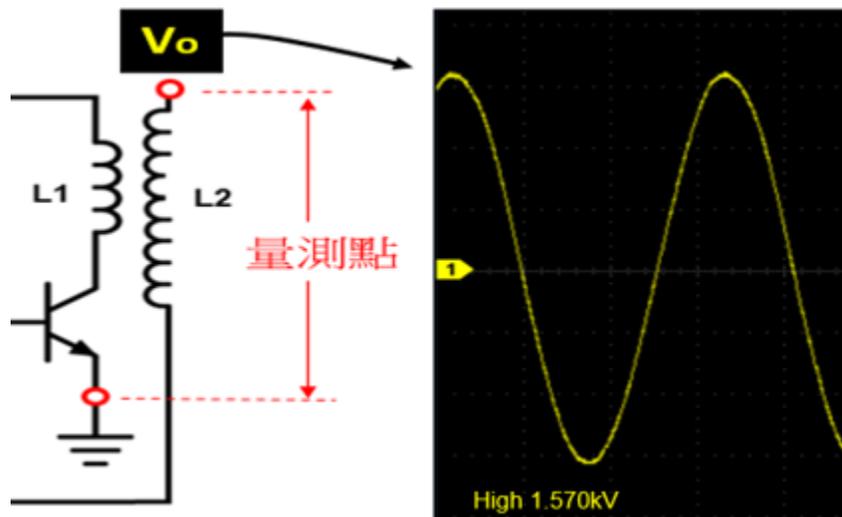


迷你特斯拉線圈使用功率電晶體 (BD243C，集極電流可高達 6A)，將基極電流放大 123 倍，以提供升壓電路足夠大的集極電流來進行升壓。

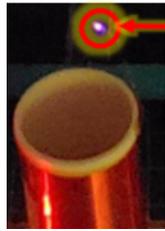
3. 升壓電路：

(1) 升壓：使用 2.5 匝的初級線圈 (L1)，350 匝的次級線圈 (L2)，形成變壓器，將將初級電壓提升 $350 / 2.5 = 140$ 倍。

以高壓探棒量測次級線圈峰值為 1.57kV，實測大約放大 $1570V / 12V = 130$ 倍。



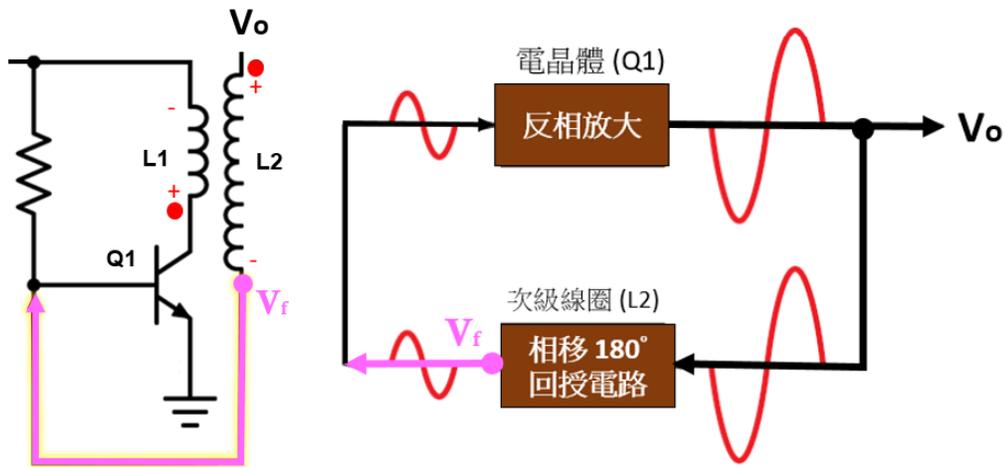
(2) 放電：當電壓強度超過空氣的介質強度 (30kV/cm) 時，高壓電會擊穿介質對地放電，放電的尖端會產生電弧。



當電壓 = 1.57 kV 時，依空氣介質強度計算
 弧長 = $1.57 \text{ (kV)} / 30 \text{ (kv/cm)}$
 = 0.0523 cm
 = 0.523 mm

4. 回授電路：

Q1 電晶體共射極放大電路，將基極訊號反相放大，經 L2 再反相 (相移 180°) 接回基極，形成正回授，將輸出的部份電壓傳回輸入，以維持振盪。



(三) 諧振分析

1. 頻率量測

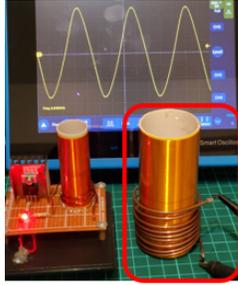
高壓示波器探棒本身有微小的輸入電容 (約 3pF)。

Input Resistance	100MΩ ±5%
Input Capacitance	3.0PF ±0.5PF

直接量測 Vo 會造成振盪頻率下降，與隔空量測比對如下。

直接量測 Vo	隔空量測
1.59MHz	4.54 MHz

【隔空量測】以感應線圈，隔空量測特斯拉線圈發出的高頻訊號。

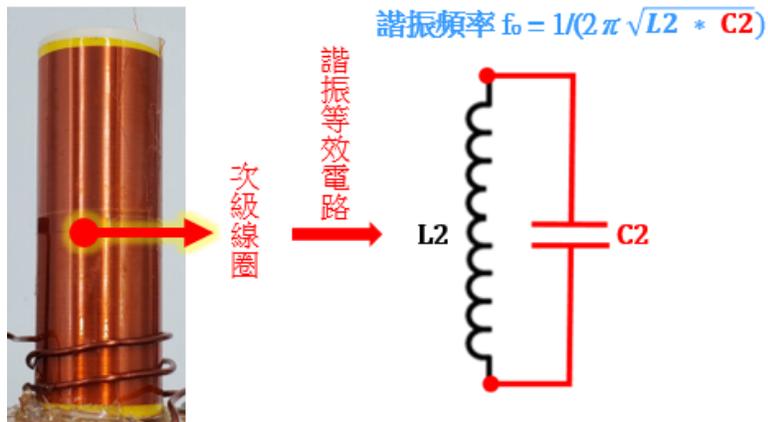


以示波器量測感應線圈所感應到的
特斯拉線圈訊號頻率。

2. 等效電容

次級線圈 (L2) 在高頻時，纏繞的線圈與線圈之間會有寄生電容，並且當電壓高於空氣介質強度時，會隔空放電並產生電弧，等同線圈兩端有個以空氣為介質的對地等效電容。

【次級線圈諧振時的等效電容計算】



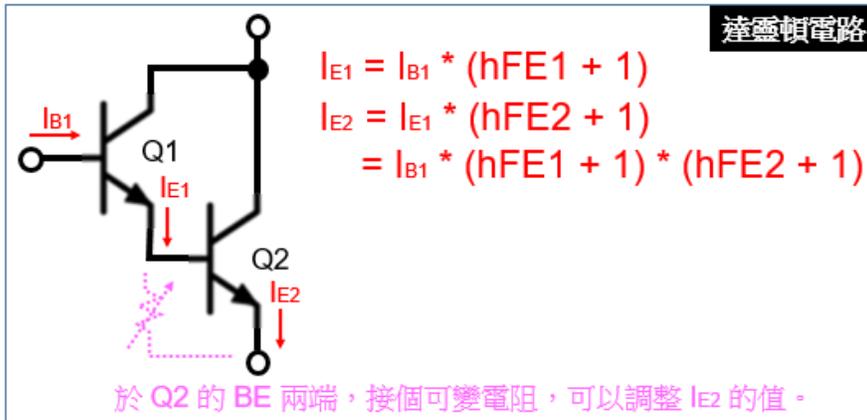
依下列步驟，算出寄生電容+等效電容 (C2) 值：

- (1) 以示波器量測感應的諧振頻率 $f_0 = 4.594\text{MHz}$
- (2) 以 LCR 電表量測 L2 的電感值 = 792 uH
- (3) 依諧振頻率公式 $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{L2 * C2})$ 計算，得到 C2 電容值

$$C2 = [1/(2\pi f_0)]^2 / L2 = 1.5 \text{ pF}$$

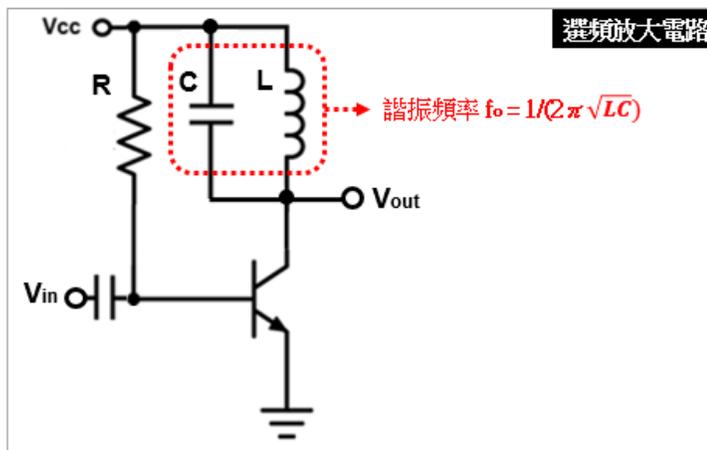
二、了解達靈頓電路

達靈頓電路，是由兩顆電晶體組成，主要功能是提供較高的電流增益，如下圖所示，Q1 與 Q2 的電流放大倍數分別為 $hFE1$ 與 $hFE2$ ， I_{B1} 經 Q1 放大 $(hFE1+1)$ 倍，再經 Q2 放大 $(hFE2+1)$ 倍，得 $I_{E2} = I_{B1} * (hFE1+1) * (hFE2+1)$



三、了解選頻與檢波電路

(一) 選頻放大電路：針對諧振頻率予以放大，可用以篩選所要尋找的特斯拉訊號。



(二) LC 值選擇

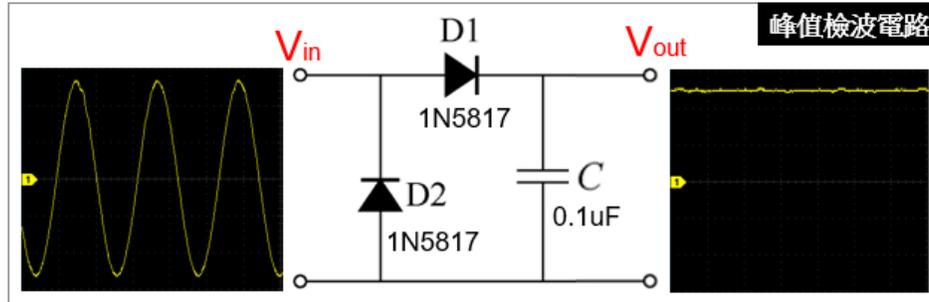
目前依諧振頻率公式 $f_o = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ ，使用 Excel 試算，選用手上有的電感與電容元件分別為 $L = 0.56 \mu\text{H}$ ， $C = 2.2 \text{ nF}$ ，以針對特斯拉頻率 4.54MHz 進行放大。

L (uH)	C (nF)
1	1.2
0.82	1.5
0.68	1.8
0.56	2.2
0.47	2.6
0.39	3.2
0.22	5.6
0.1	12.3

(三) 峰值檢波電路

1. 正半週：選頻放大後的交流訊號(下圖的 V_{in})的正半週經由 D1 二極體向電容 C 充電，充至峰值後，電壓維持在峰值，以供後級電路檢測峰值電壓。

負半週：由 D2 濾除，但 D1 可阻斷負半週的訊號，所以，D2 可省略不接。



四、了解科技寶輪型機器人

(一) 輪型機器人主體與介面

1. 主板：

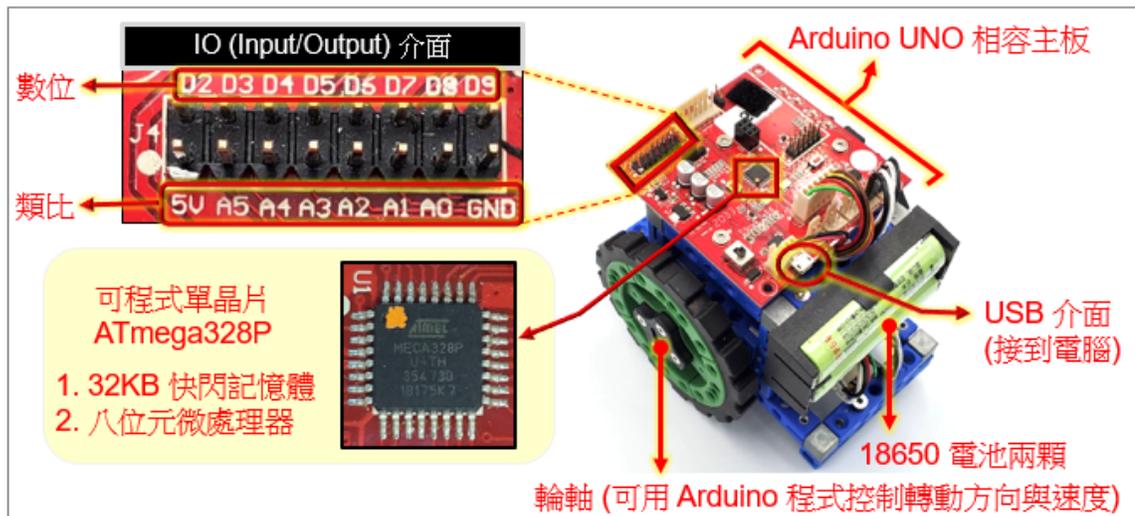
與 Arduino UNO 相容，核心使用 ATmega328P（八位元微處理器，內建 32KB 的快閃記憶體）微控制器。

2. I/O 介面：提供數位與類比的輸入/輸出介面，用以感測或控制外部電路。

3. USB 介面：與電腦連接，將編譯好的程式燒寫到微控制器的快閃記憶體。

4. 電池：使用兩顆 3.7V 18650，提供機器人電力。

5. 輪軸：程式可控制左右輪的轉動方向及速度，以控制機器人前進後退與左右轉。



(二) 基本操控

1. 如下圖所示，科技寶輪型機器人是透過 PS2 無線搖桿來操控，PS2 的接收器組裝於機器人的底部。

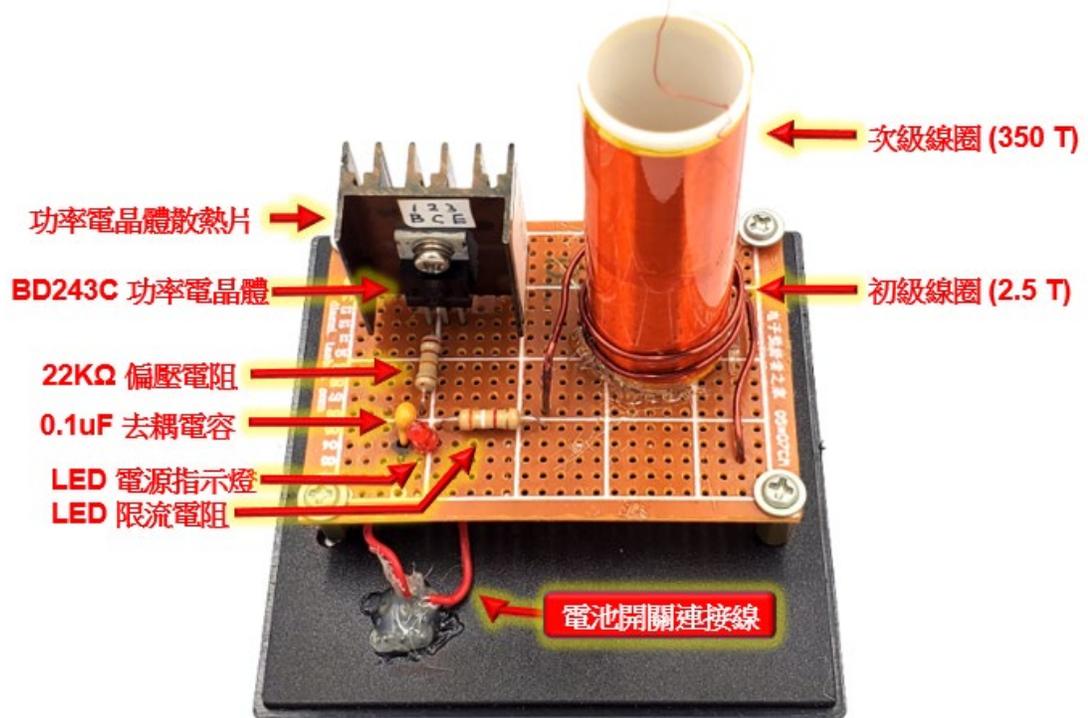
2. 科技寶提供基本前進、後退、左轉、右轉操控程式，其餘按鍵功能自行開發。



五、電路實作與整合

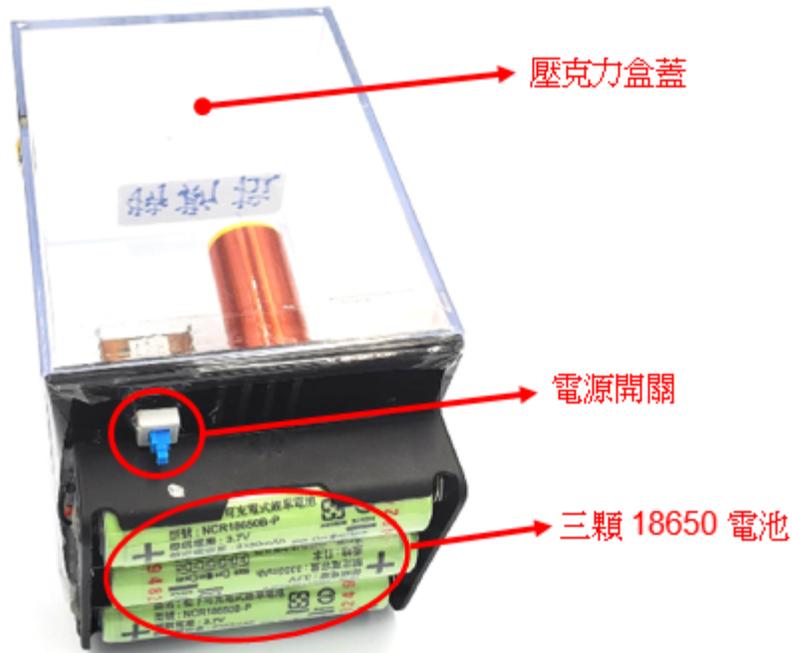
(一) 特斯拉線圈

1. 實作：整合電源開關與電源指示燈，以萬用板焊接實作，照片如下：



2. 組裝：

- (1) 底座下方：安裝電源開關，以及三顆 3.7V 的 18650 電池。
- (2) 底座上方：用透明壓克力盒蓋著，以避免碰撞。



(二) 特斯拉距離感測器

整合 1. 感應線圈：接收特斯拉無線訊號。

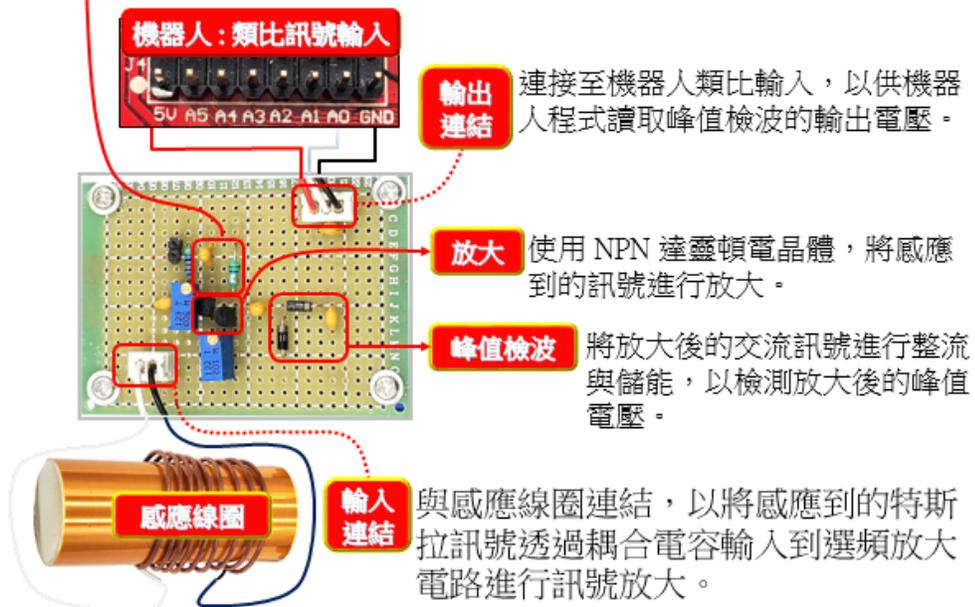
2. 選頻放大：(1) 針對特斯拉訊號進行放大。

(2) 電晶體用兩顆組成達靈頓電路。

3. 峰值檢波：檢出放大後的特斯拉訊號峰值電壓 (距離越近，電壓值越高)。

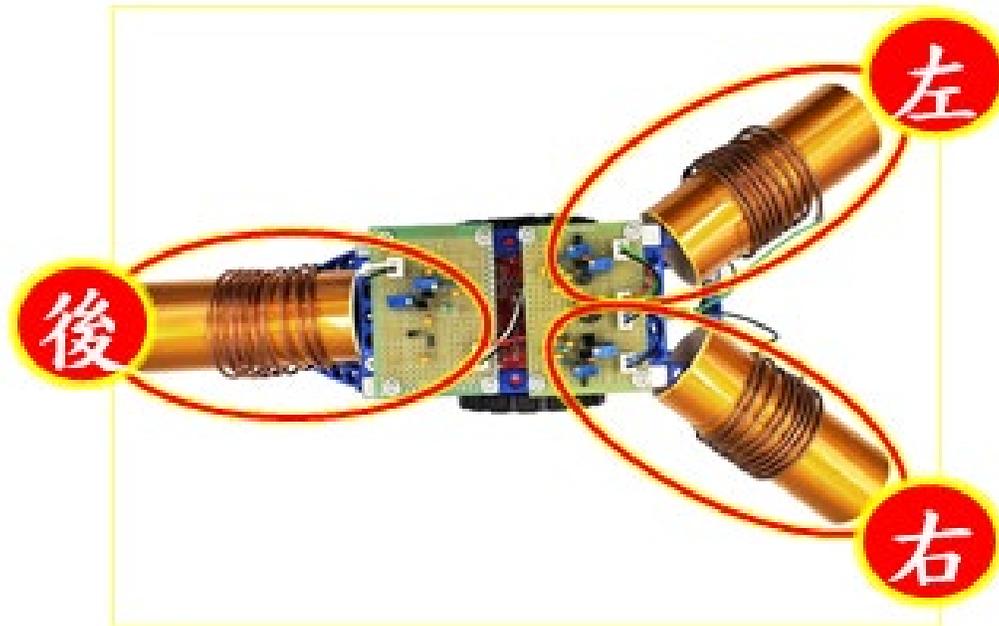
4. 機器人類比輸入：供程式讀取峰值電壓，依電壓大小判斷特斯拉的距離。

選頻 依諧振頻率公式 $f_0=1/(2\pi\sqrt{LC})$ 計算，選用電感與電容值 $L=0.56\mu\text{H}$, $C=2.2\text{nF}$ ，以針對特斯拉振盪頻率 4.5MHz 進行選頻放大。



(三) 方位感測器

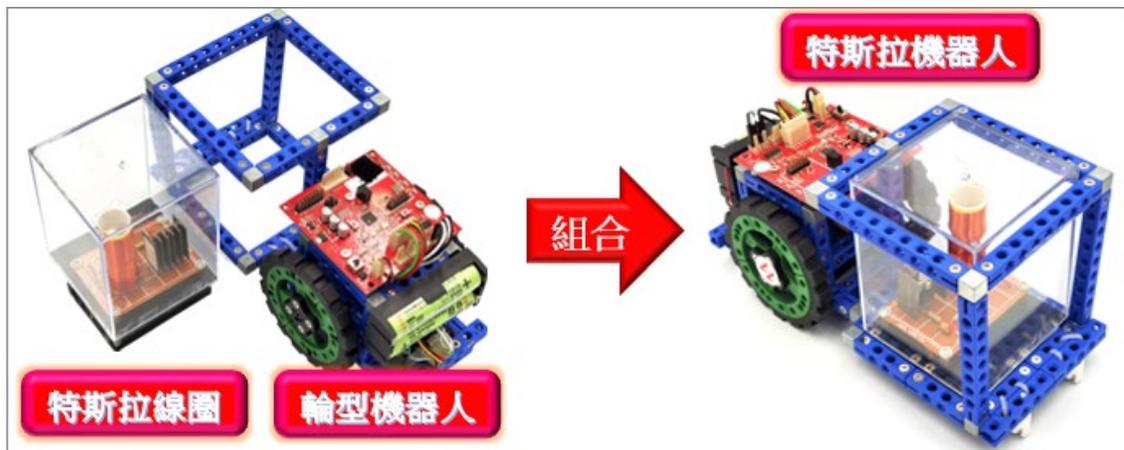
方位感測器，是由三組特斯拉距離感測器所組成，這三組，分別用於偵測特斯拉位於方位感測器左側、右側、後側的距離，以供程式判斷特斯拉目前是靠近感測器的左側、右側，還是後側。



六、機器人組合

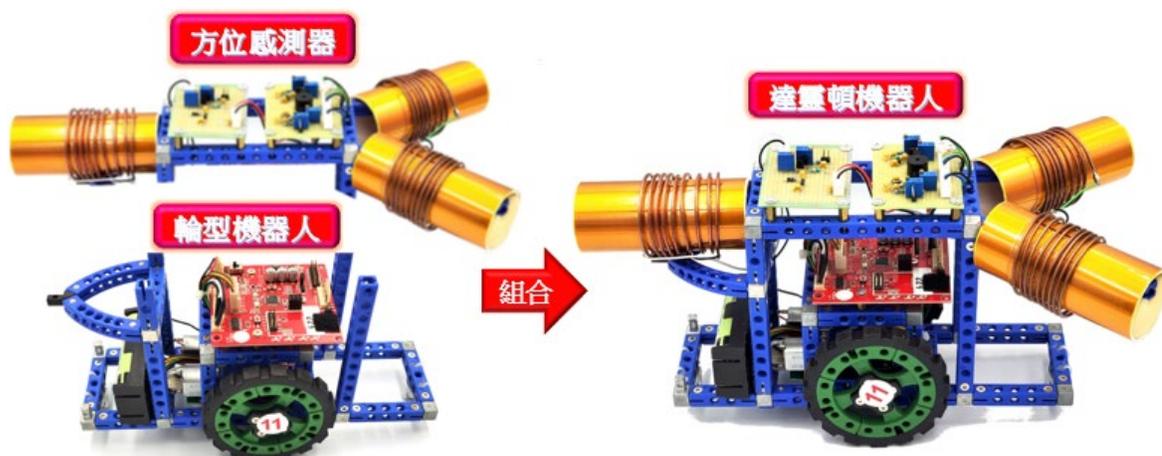
(一) 特斯拉機器人

使用科技寶積木，將特斯拉線圈與機器人組裝在一起，以組成可以手動遙控的特斯拉機器人，成為特斯拉行動發射基台，供達靈頓機器人偵測找尋與自動跟隨。



(二) 達靈頓機器人

使用科技寶積木，將方位感測器與機器人組裝在一起，以組成可以偵測特斯拉方位的達靈頓機器人，透過程式可以指向、尋找或自動跟隨特斯拉機器人前進。



七、開發應用程式

(一) 達靈頓機器人自動模式

1. 指向模式：原地等待，當感應到特斯拉時，自動轉向特斯拉所在位置。
2. 追隨模式：原地等待，當感應到特斯拉時，自動轉向並跟隨著特斯拉前進。
3. 搜尋模式：原地轉圈，當感應到特斯拉時，自動切換成追隨模式。
4. 取消操作：取消並停止進行中的上列自動功能，回復為單純手動遙控功能。

(二) PS2 自動模式操作鍵



伍、研究結果

一、感應距離：

加入特斯拉距離感測器，可有效提升感應距離，感應器中的兩大主要影響因素：

(一) 感應線圈：管徑較大的 (直徑 4 cm) 的感應效果優於管徑較小的 (直徑 2 cm)。



線圈直徑	感應距離
2 cm	10 cm
4 cm	40 cm

(二) 選頻放大：選頻放大電路可有效提供感應效果。

在加入選頻放大電路前，感應距離無法突破 100 cm，加上選頻放大電路後，感應距離可超過 100 cm，實測最遠可達 205 cm。

選頻放大	感應距離
無	40 cm
有	205 cm

二、方向感：特斯拉距離感測器的組數越多，方向感越好。

感應器組數	特斯拉的位置判斷
2	只能判別左或右，無法判別前後。
3	可判別左，右及後方。

本科研初期只製作兩組感應器，實測追隨模式，當特斯拉的位置繞到後方時，達靈頓機器人未能判別是在後方，所以仍只會往前走，導致離特斯拉越來越遠，所以，後來增加一組，以判別特斯拉是在前方還是後方，若是在後方，則先原地轉向後方再前進。

陸、討論

- 一、能否製作比迷你特斯拉線圈體積更小的微型特斯拉線圈？
- 二、本科研有哪些應用？
- 三、有無實際操作影片？

柒、結論

一、微型特斯拉：

經實驗，可使用可調電感來製作比迷你特斯拉更小的微型特斯拉線圈：

[製作方法] 使用 50T 的可調電感當次級線圈，用線徑 0.5mm 漆包線手動繞製 3T 初級線圈。



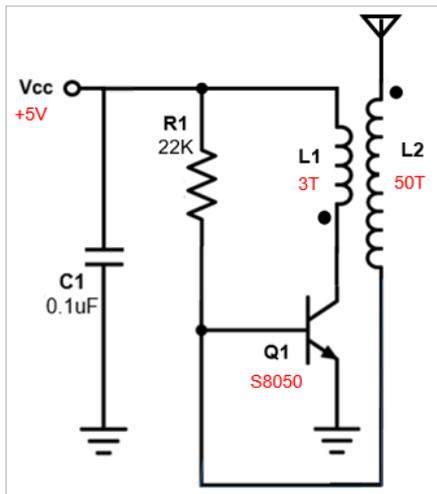
鐵氧體磁芯: 轉動磁芯可微調電感量 (17uH ~ 37uH)

次級線圈 (50T)

初級線圈 (3T)

整體大小 (長x寬x高) : 1 cm x 1cm x 1.5cm

[電路圖]



[實作]

依上列電路，直接焊接相關元件，最後用熱熔膠固定於 3.5 cm x 3.5 cm 半透明塑膠盒中。



[頻率]

接上 +5V USB 行動電源，轉動可調電感的鐵氧體磁芯，可將頻率調成與迷你特斯拉相同的 4.54MHz (可調振盪頻率範圍 = 3.7MHz ~ 5.9MHz)。

[感應距離]

實測，感應距離最遠約 135 cm。

[成品圖] 接上行動電源的成品照片



二、相關應用

本科研以學習無線原理為出發點，持續鑽研，未來可開發相關的應用，例如：失物協尋，隨行行李。

捌、參考資料及補充說明

本科研，以套件實作為基礎，以 YouTube 關鍵字 “特斯拉線圈”、“達靈頓”、“電晶體放大” 查詢學習了解相關電路原理，結合科技寶機器人的學習與參賽經驗，將特斯拉線圈、達靈頓和選頻放大電路等，與科技寶機器人進行組合與實驗，過程中，相關參考資料與補充說明如下：

一、套件: 特斯拉線圈科學實驗套件

<https://shopee.tw/特斯拉線圈科學實驗套件-i.133509649.6352534626>

二、套件:達靈頓科學實驗套件套件 (【佑之呼吸】電之型-靈能探測器)

<https://shopee.tw/product/8448550/6842357575/>

三、YouToube 學習影片 - 簡單特斯拉線圈實作

<https://www.youtube.com/watch?v=w22EwQ3KfTg>

四、YouToube 學習影片 -音樂特斯拉套件實作

<https://www.youtube.com/watch?v=FB-0IU-PcV4&t=22s>

五、YouToube 學習影片 -特斯拉線圈工作原理

<https://www.youtube.com/watch?v= d5USXhvd6U>

六、YouToube 學習影片 -達靈頓電路原理

<https://www.youtube.com/watch?v=bhMsJ-JmAVw&t=454s>

七、YouToube 學習影片 -電晶體基本放大組態

<https://www.youtube.com/watch?v=o17n4vxpbDs>

八、去耦電容原理

<https://www.itread01.com/content/1547202961.html>

九、空氣介質強度 30kV/cm

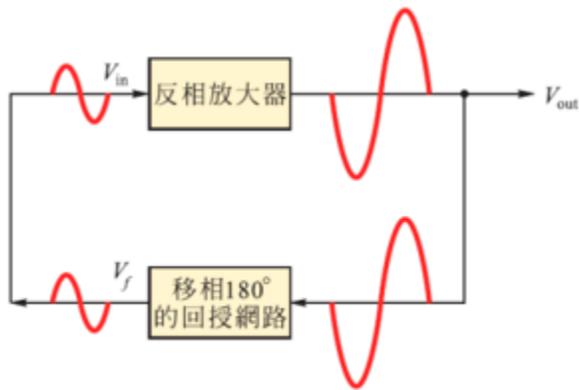
●表 5-4 常見之介質的介質強度

介質	介質強度 (kV/cm)
空氣	30
陶瓷	40

https://www.sphs.hc.edu.tw/ischool/public/resource_view/open.php?file=05b819ee7c17859975df6f0948aff384.pdf

十、回授網路

http://bweb.hcvs.ptc.edu.tw/web3/uploads/tad_uploader/tmp//53/ CH-11 基本振盪電路.pdf



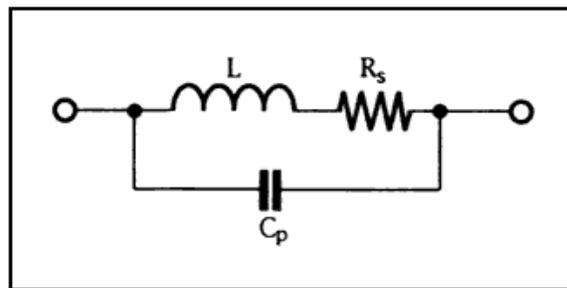
反相放大器必須加上移相 180° 的回授網路，才可組成振盪器

十一、寄生電容

<https://www.qsl.net/bv3fg/cqm/44/44126.htm>

我們可以從圖 1 的電感等效線路，看出電感有多麼複雜。串連電阻 R_s 表示是電感導體的微小電阻。電感的 Q 值是由感抗 (X_L) 與串連電阻的比例來決定的。要電感有高 Q 值，就要減少電感繞線的電阻，這可以加大繞線直徑，或是在繞線上鍍金或銀。但是在電感的應用中， Q 值也是視情況須要而定的，並不是電感的 Q 值越高越好。像是電源線路、雜訊濾波器、及雜訊抑制應用時，低 Q 值電感反而比較有利。通常高 Q 值的電感是用在調諧線路當中，因為這些線路須要有很高的效率才行。

圖 1：電感等效電路。



電感也會有共生的電容，也就是等效線路內的 C_p ，這是寄生在電感線圈與線圈之間的。由於電感有寄生電容存在，往往使電感成為一完全的調諧線路，而產生在某一頻率的自我共振。為了減少寄生電容，電感盡量要採用單層繞法，或者是利用繞製電感的技巧來克服，比如，初端與結束端盡量遠離，也可以減少寄生電容。

十二、共射極 (Hybrid Forward common Emitter, hFE) 電流放大係數

<https://kknews.cc/zh-tw/news/mkjej5g.html>

對於 hFE (或者叫 β ，是一樣的)，被稱為共發射極電流放大係數，我們可以理解為是將基極電流的多少倍變成集電極電流的控制係數，和各端子的電流關係

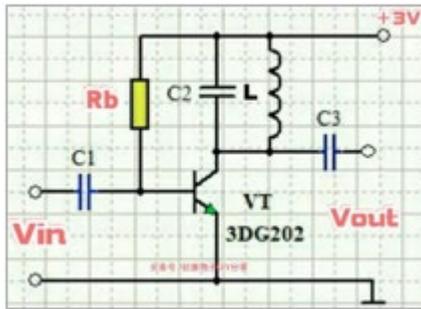
十三、科技寶輪型機器人報名培訓 (2020 機器人踢足球)

<https://www.tirtpointsrace.org/52/News/1058>



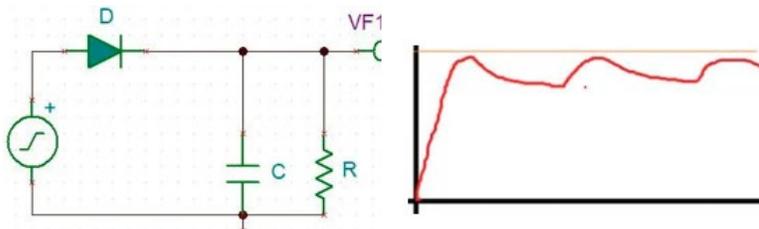
十四、選頻放大電路

https://www.luoow.com/dc_news/funny_GjKS



十五、峰值檢波電路

<https://kknews.cc/news/gapvo39.html>



十六、特斯拉線圈基本電路

<https://kknews.cc/news/j4gm6r6.html>

【評語】 052306

1. 本作品主要運用達靈頓電晶體，特斯拉線圈產生的高頻訊號，再訊號輸出給機器人，以控制機器人在不同模式下的動作，值得鼓勵！
2. 建議針對目標機器人的功能規格，例如：不同應用的距離與方位角需求等，應進行定義與評估分析。
3. 建議針對所擬開發的方向感測子系統，例如：方位與距離的準確度等，應從學理上進行定義需求功能規格與評估分析。
4. 整體而言，作品設計具有創新性，簡報內容與時間掌握相當好。

作品簡報

中華民國第61屆中小學科學展覽會

作品簡報

科 別：高級中等學校組

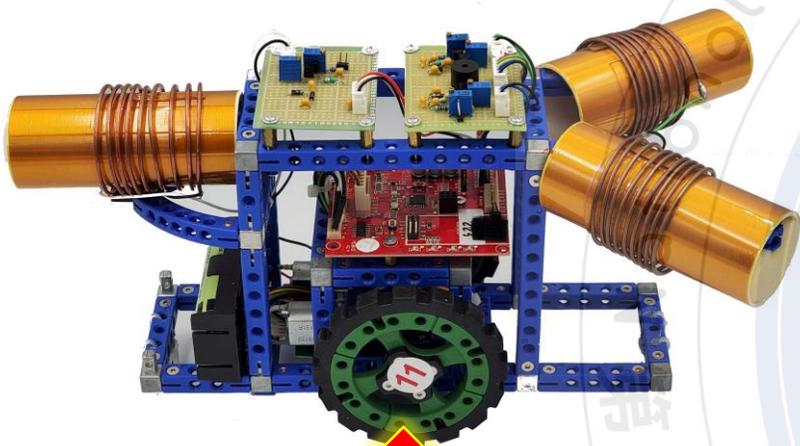
組 別：工程學科(一)

作品名稱：達靈頓尋找特斯拉

關鍵詞：達靈頓、尋找、特斯拉

功能簡介

達靈頓機器人



1. 尋找特斯拉訊號位置。
2. 找到後依遙控尋找模式行動。

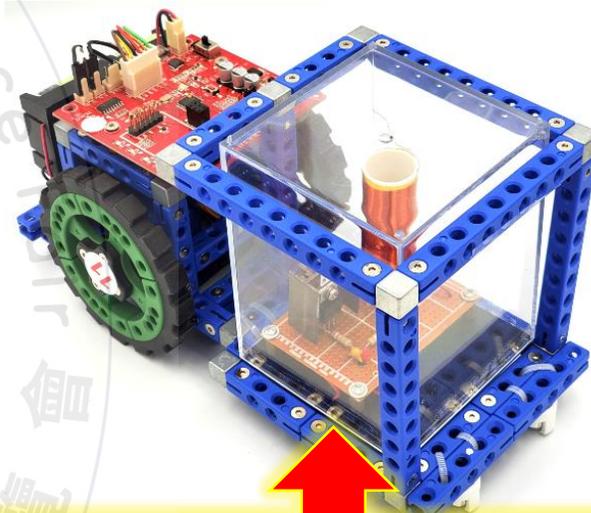
遙控尋找



控制達靈頓機器人的自動行動模式：

1. 指向模式：三角形按鍵，原地轉向特斯拉所在的位置。
2. 追隨模式：四方形按鍵，往特斯拉位置前進並保持距離。
3. 搜尋模式：正圓形按鍵，原地旋轉，偵測到特斯拉後，自動切換為追隨模式。

特斯拉機器人

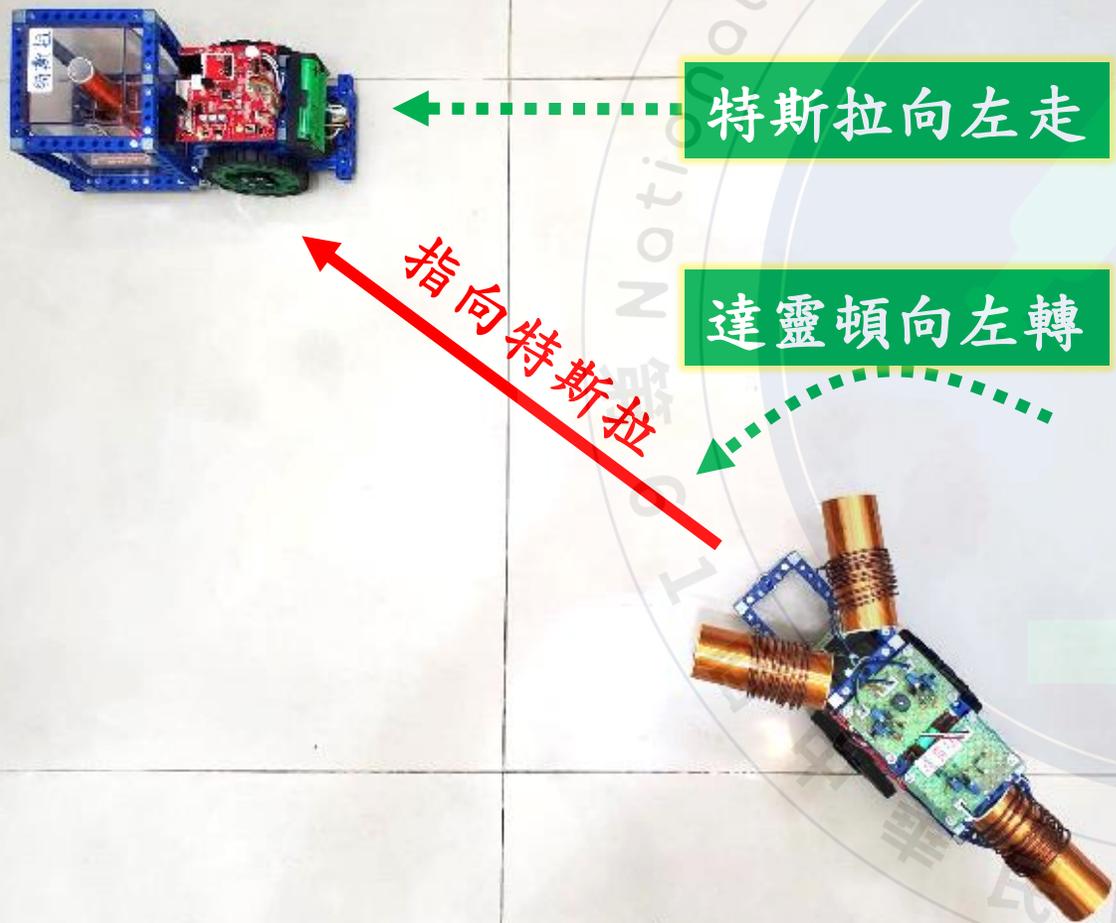


- 發射固定頻率的高頻無線訊號，供達靈頓機器人偵測搜尋。

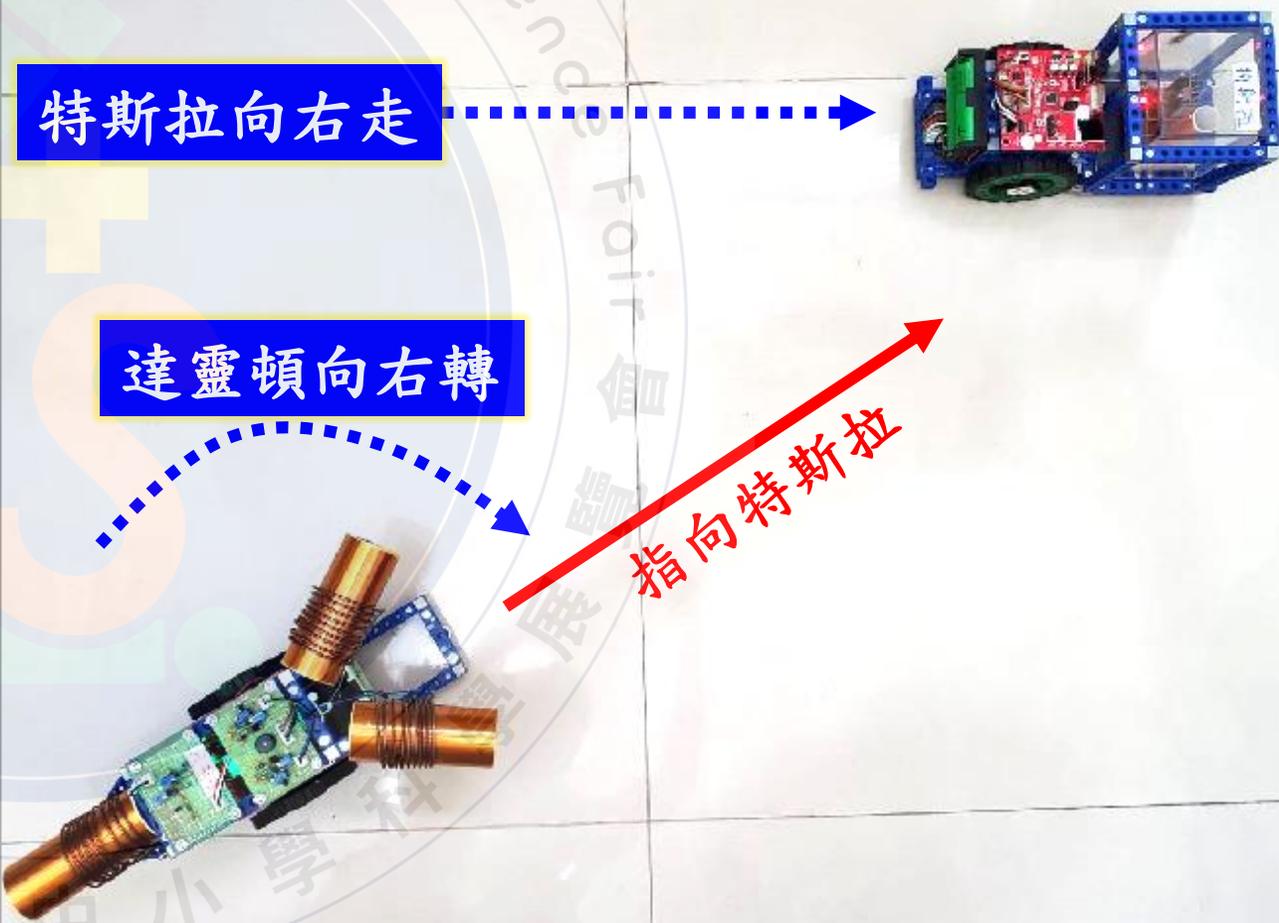
指向模式

原地轉向特斯拉線圈所在的位置。

特斯拉機器人在左方時，轉向左。



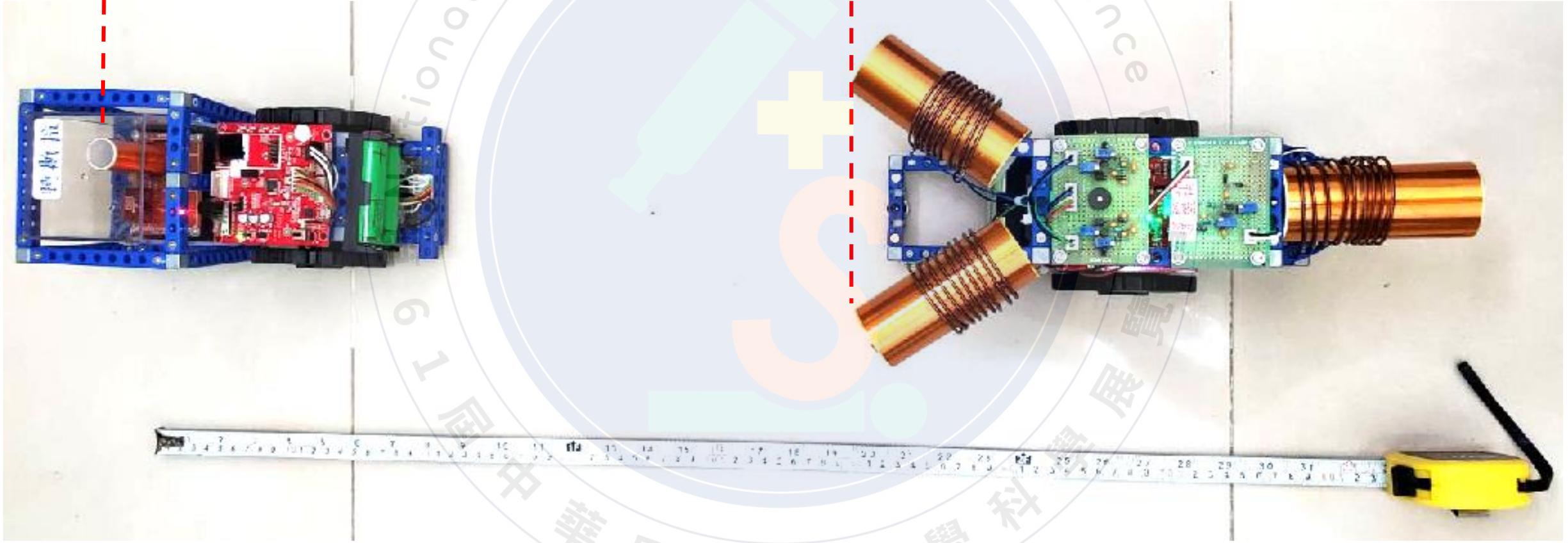
特斯拉機器人在右方時，轉向右。



追隨模式

往特斯拉位置前進，並與特斯拉保持 50 cm 的距離。

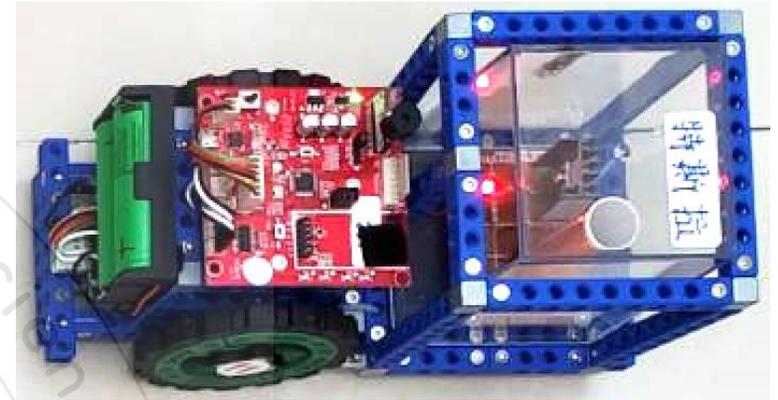
保持 50 cm 距離



最遠感應距離 = 205 cm

搜尋模式

1. 原地轉圈，以最大搜尋範圍（205 cm 內）
搜尋特斯拉訊號所在位置。

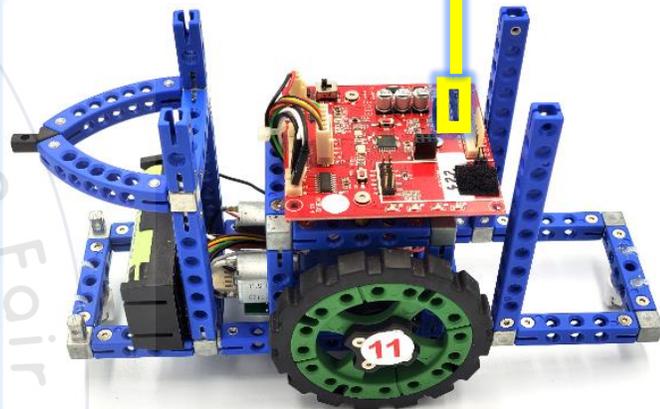
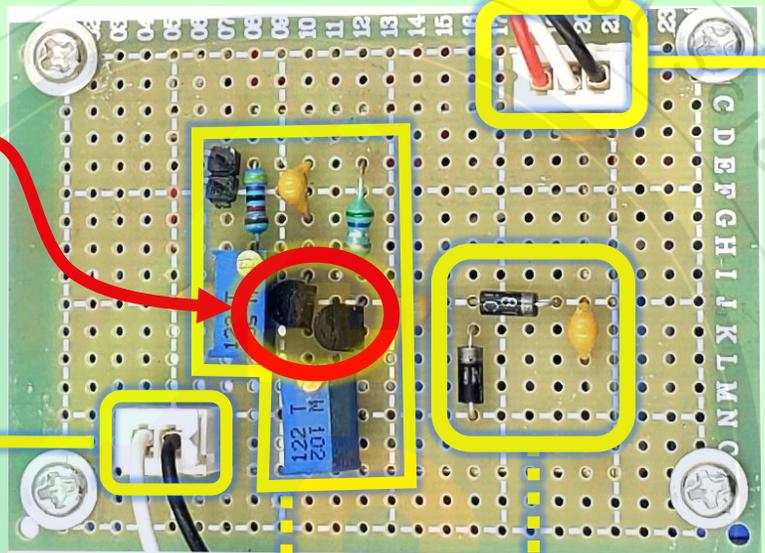
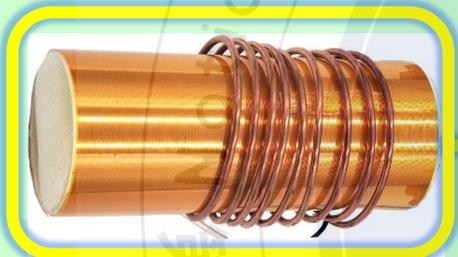
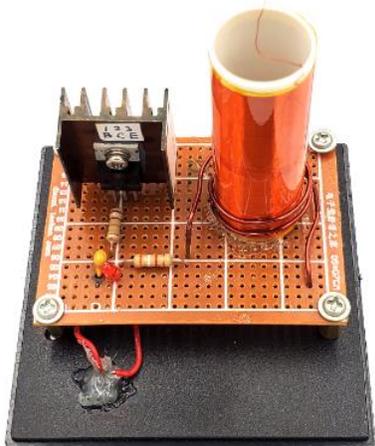


2. 找到特斯拉後，自動切換為追隨
模式，往特斯拉方向前進，並與
特斯拉保持 50 cm 距離。

距離感測

距離感測器

達靈頓



特斯拉線圈



感應線圈

選頻放大

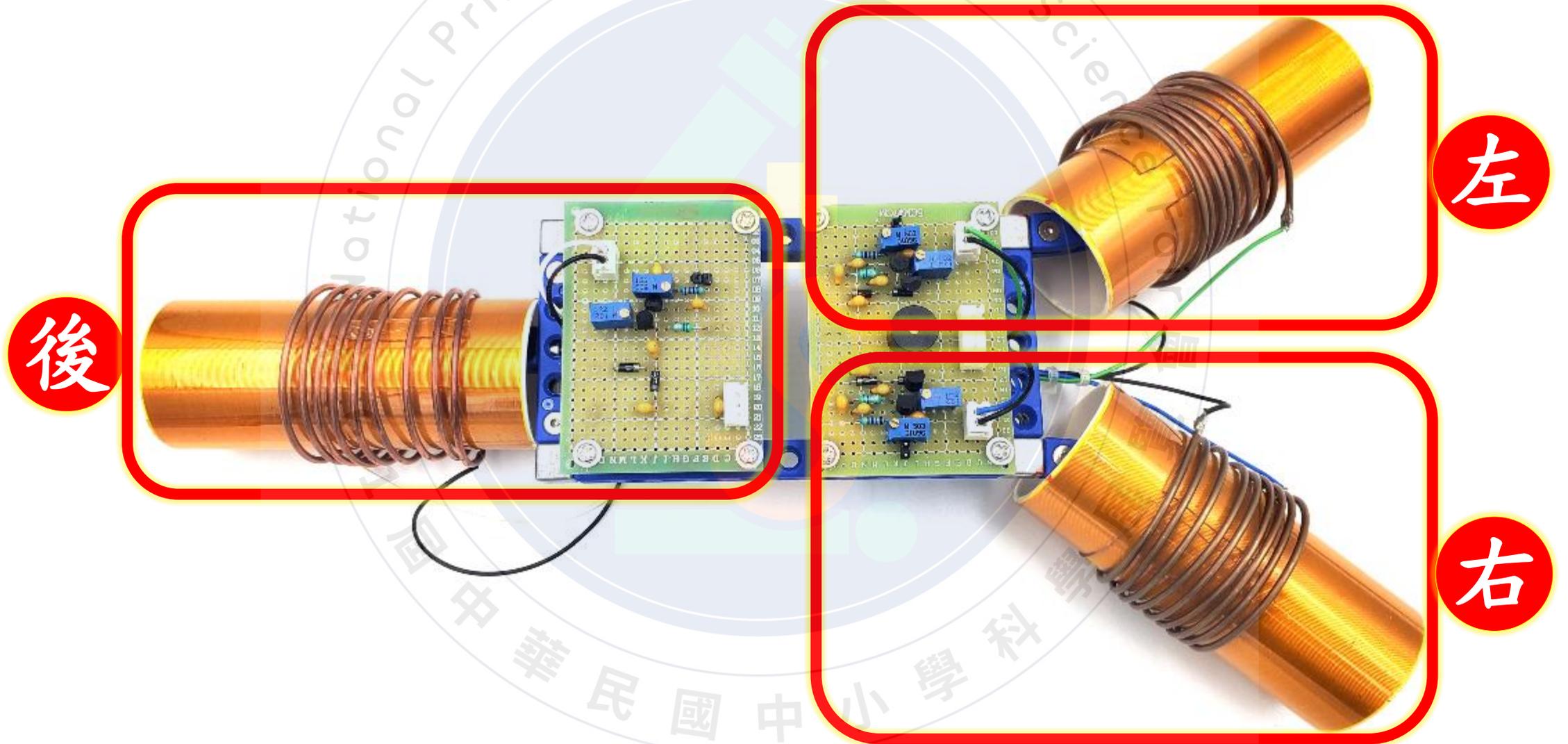
峰值檢波

輪型機器人



方位感測

方位感測器 = (左 + 右 + 後) 距離感測器，供機器人程式讀取各感應電壓值，以判斷特斯拉所在的位置。

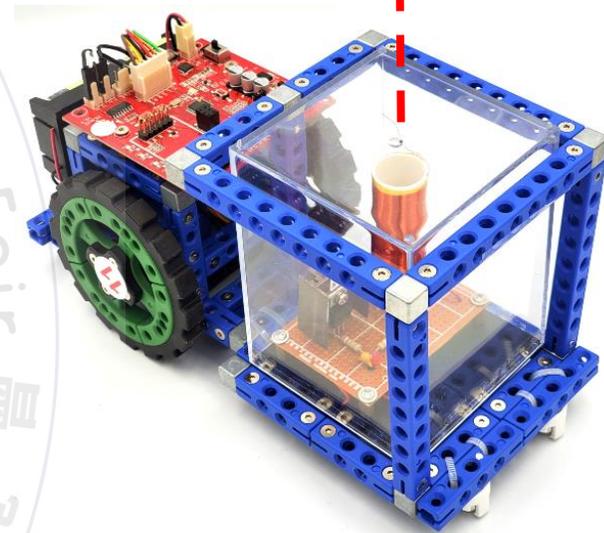
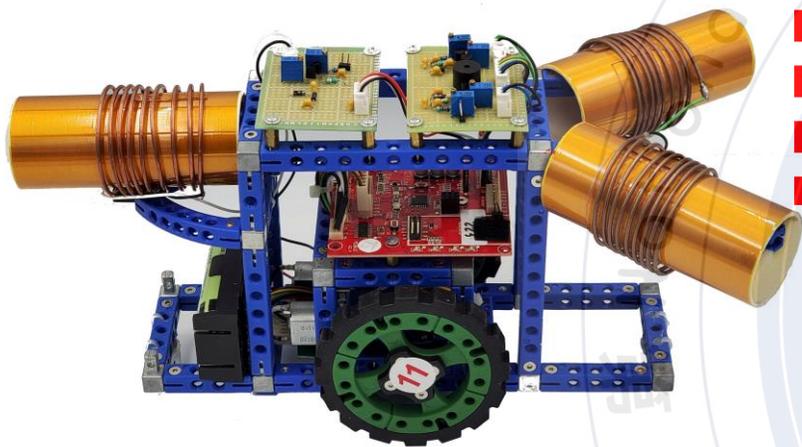


微型特斯拉

使用可調電感當特斯拉線圈，
以縮小體積，可手持或帶於身
上。



感應距離



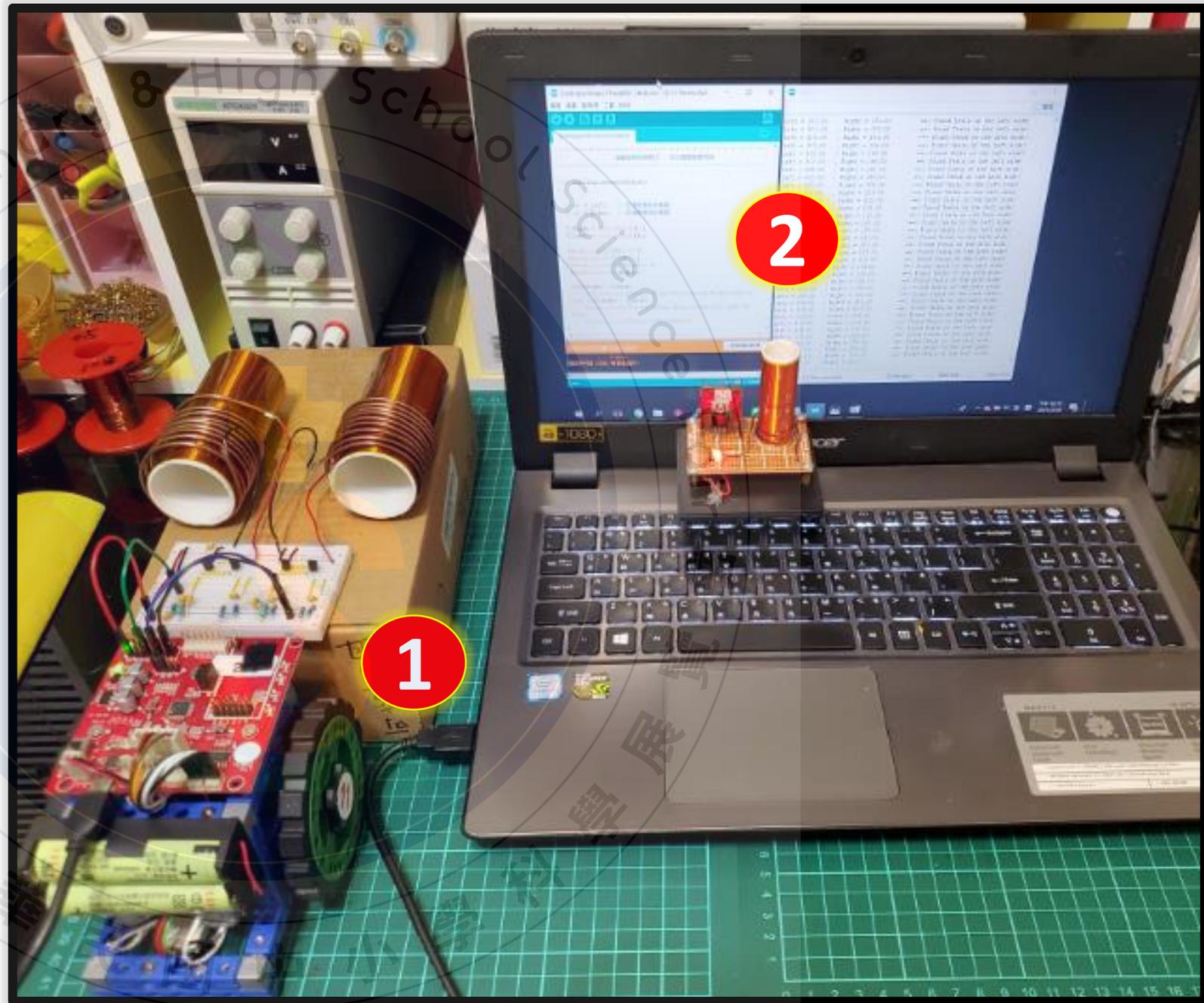
迷你特斯拉：205 cm

微型特斯拉：135 cm

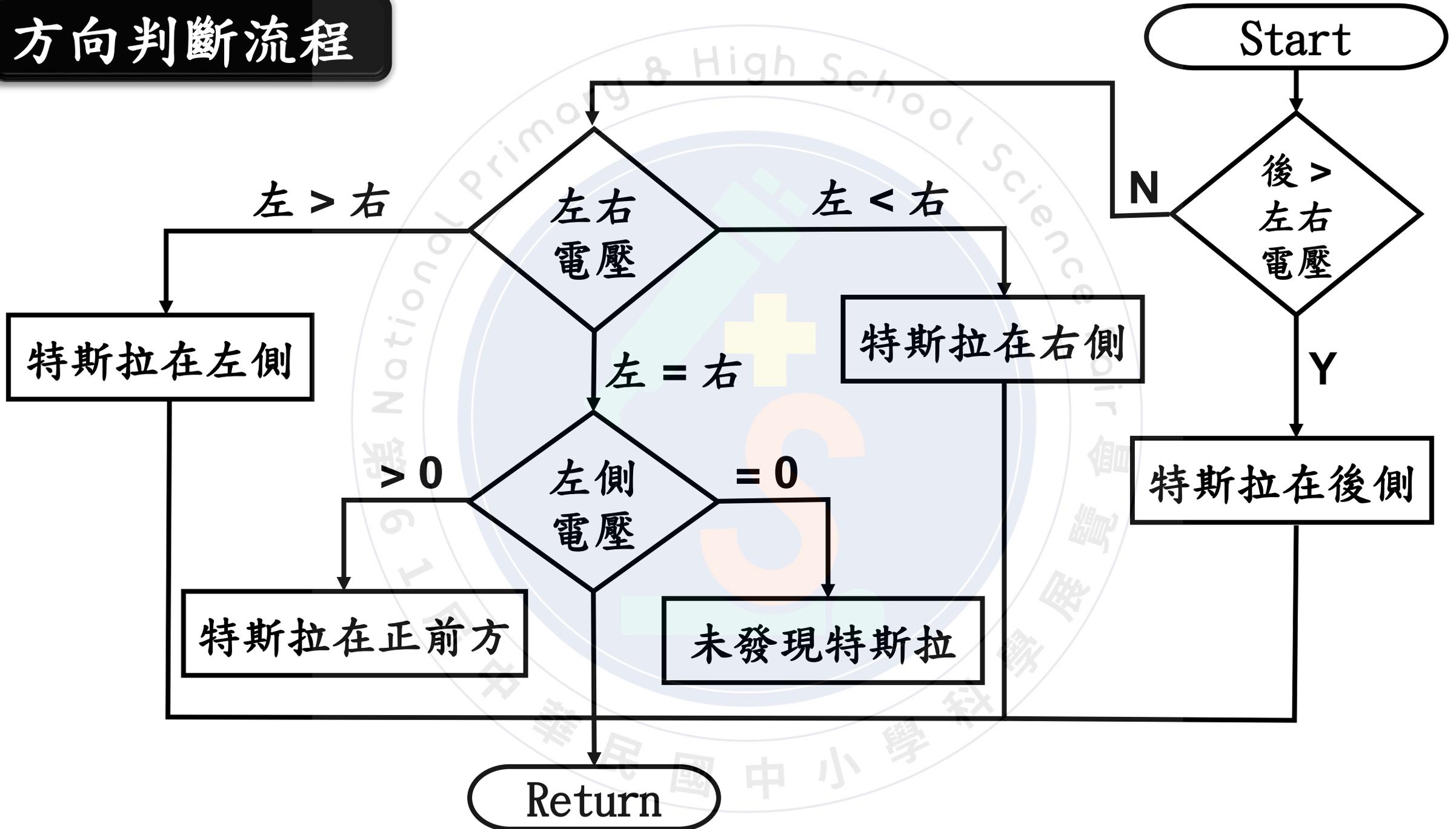
91 National Primary & High School Science Fair

程式開發環境

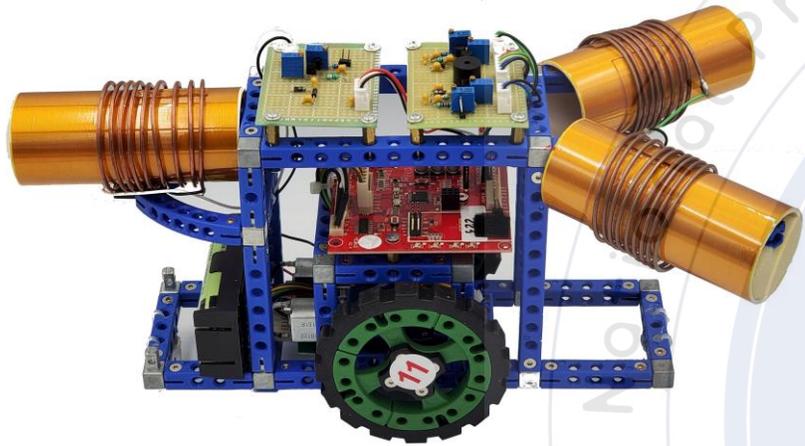
1. USB 連接機器人與電腦。
2. 使用 Arduino 整合開發環境，進行機器人自動模式(指向、追隨、搜尋)程式開發。



方向判斷流程



未來應用



自動隨行



持續研究改進，可將達靈頓機器人改裝為：

1. 行李：成為隨行行李，適用於旅遊，逛街，重物免手提。
2. 餐車：成為隨行餐車，可一次載齊餐點，減少來回取餐。
3. 羅盤：加裝顯示裝置或將感應器改接於手機，顯示方向。
4. 重機：工廠運物的重型機具，自動跟隨，協助重物搬運。