

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學(一)科

第一名

032804

無線傳電「遠」又「多」

— 利用特斯拉線圈自製無線傳電系統

學校名稱：臺北市立敦化國民中學

作者： 國二 高浩鈞	指導老師： 劉睿荷
---------------	--------------

關鍵詞：特斯拉線圈、無線傳電、感應線圈

得獎感言

無心插柳柳成蔭~我與特斯拉的一場美麗邂逅

一開始做這研究，純粹是我對人稱交流電之父的「尼古拉·特斯拉」感到好奇，也想看看特斯拉線圈產生的美麗火花與電弧，沒想到因為好奇心的驅使與我那追根究柢的固執精神，一步步走來，竟有了今天的研究成果，而且能獲得如此佳績，真的是非常開心！

研究過程中，我深刻體會到幾件事：當實驗碰到瓶頸時別輕言放棄，因為常常突然靈機一點的點子會讓你有「柳暗花明又一村」的感覺。其次，在尋找答案的過程中累積的挫折越多，解決問題後那豁然開朗的歡樂感也會越大。還有，就是很多事情往往不是表象看到的那樣，必須深入、反覆的探討，才能一窺真貌。最後，我覺得科學研究是一種忍受挫折、訓練毅力的過程，因為在結果被證實之前，必須承受心理上的種種壓力，這其中包括對自我的懷疑。

我很感謝北市輔導工作團隊在參賽過程中提供的種種協助，很多教授、老師們的經驗分享也非常受用。我記得有位教授說：「研究過程中，當你發現一個跟現有理論、經驗、數據不一樣的結果時，千萬別忽略它，因為往往這就是一個突破點。記住！魔鬼永遠藏在細節裡」。老師們也說：「科研本是一分證據說一分話，不應浮誇」、「參賽是一個過程，獲得佳績固然重要，但它不是我們唯一目的，記住參加科展的基本精神，好好享受與體會過程中的種種樂趣」。我認為這些理念傳承對我的影響不單單只是這次全國科展，而是一輩子的科研精神、甚至是人生態度。

最後，我謝謝所有指導過我的師長們，更謝謝一路走來支持、陪伴我的家人。未來，我也會秉持著「實事求是」加點創意的精神，在科學研究的路上繼續邁進！

摘要

本研究主要是利用特斯拉線圈製作一個簡單、便宜的無線傳電系統，因為目前最熱門的無線應用非「手機」莫屬，所以此研究也以手機為實驗對象。研究結果發現自製的無線傳電系統在充電效能上可以和市售產品相互媲美，而且只要更改感應線圈的擺放方式，在 20 公分~30 公分遠的距離都可以有效充電，也可以支援多支手機同時充電，並且沒有必須「精準」對位才能使用的問題，這些都是遠遠優於市售產品的地方。若能以此傳電系統為雛形，發揮其「遠」又「多」的優勢，相信在未來的無線世界裡，必能提供更廣泛、便利的應用。

壹、研究動機

一次偶然的機會，我讀到特斯拉的傳記，得知他曾經做出可以無線點亮燈泡的特斯拉線圈，也曾想要在紐約長島建造一座無線電力發射塔，雖然計畫最後因故停擺，但自此我便對特斯拉線圈產生莫大的興趣，深深被它迷人的「無線」能力所吸引。剛好，最近「無線充電」是一個很熱門的話題，很多應用與產品也雨後春筍般地冒出來，這時候，我便萌生一個念頭：利用特斯拉線圈自製一個簡單、便宜的無線傳電系統，同時結合了九下的電磁感應原理，於是便展開了這一次的研究。

貳、研究目的

- 一、了解特斯拉線圈的運作原理。
- 二、利用特斯拉線圈自製無線傳電系統並以手機為實驗對象。
- 三、研究如何增加無線傳電距離。
- 四、設計可同時充多支手機的無線傳電系統。
- 五、比較市售的無線充電產品和自製的無線傳電系統各方面效能。

參、研究設備及器材

		
電源供應器	數位示波器	三用電表
		
電流計	市售感應線圈	市售無線充電器
		
手機	膠槍	砂紙
		
烙鐵、焊錫	鋸子	各式線材
		
PVC水管	各式燈具	各式電子零件

圖 1. 設備與材料

肆、研究流程

特斯拉
線圈
運作原理

實驗一

設計特斯
拉線圈電
路

實驗二

次線圈、
感應線圈
的影響

自製
無線傳電
系統

實驗三

第一代

實驗四

第二代

實驗五

第三代

實驗六

第四代

實驗七

第五代

增加無線
傳電距離
與
多支手機
同時充電
系統

實驗八

增加無線
傳電距離

實驗九

多支手機
同時充電
系統

比較
市售產品
和
自製系統

實驗十

充電效率

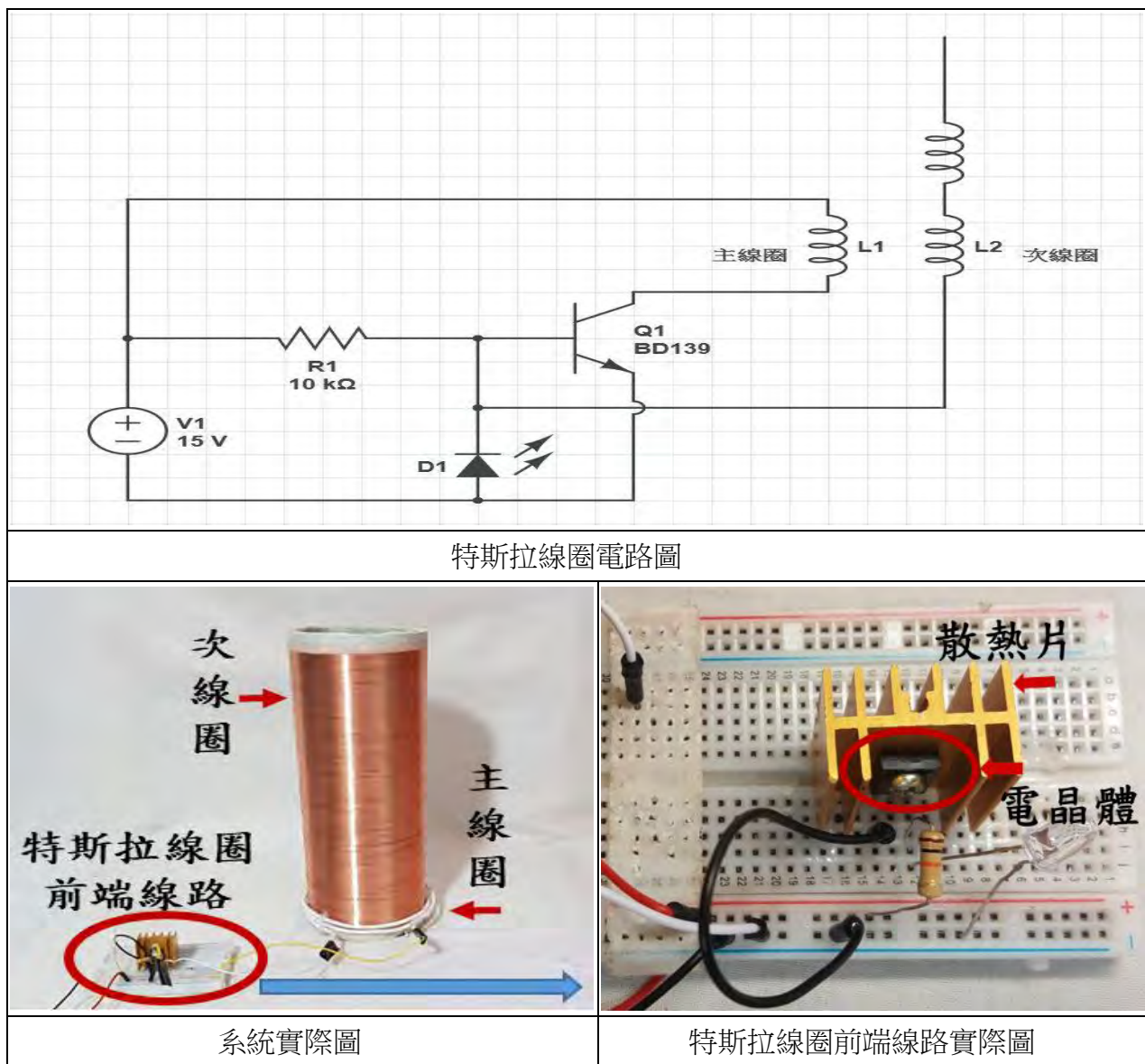
無線距離

可否多支
手機同時
充電

價格

一、 實驗一: 設計特斯拉線圈電路

利用簡單的電子零件設計一個特斯拉線圈電路，藉由一些參數改變觀察其對結果的影響，進而了解特斯拉線圈的運作原理。所設計的電路如圖 2 所示。



特斯拉線圈電路圖

圖2. 特斯拉線圈電路圖

原理: 電壓經過電晶體使得電晶體打開，電流流經主線圈，主線圈電流變化產生磁場變化，進而讓次線圈產生感應電壓，次線圈的電壓變化又造成電晶體關閉再打開，如此週而復始形成交流電流經主線圈。次線圈匝數越多，感應到的電壓就越高，次線圈累積的高壓會讓空氣成為導體，在一定範圍內的裝置就可以接收電能進行充電。

(一) 製作各式線圈

為了進行實驗，製作各式線圈，共計有

主線圈	8cm寬次線圈	2cm寬次線圈	感應線圈
			
匝數: 3 線徑: 1.6cm 直徑: 8cm、2cm	匝數: 1000、500、200 線徑: 0.25mm 直徑: 8cm	匝數: 1000、500、200 線徑: 0.25mm 直徑: 2cm	匝數: 50、10 線徑: 0.25mm 直徑: 4.5cm

圖3. 各式自製線圈

(二) 實驗

想了解設計的特斯拉線圈電路是否正常運作。能否點亮燈具、產生電弧?

1. 實驗步驟:

- (1) 使用 8cm 寬 1000 匝的特斯拉線圈，電路連結如圖 2。
- (2) 將各種燈具靠近特斯拉線圈，觀察不同位置下燈具發亮情形以及電弧產生狀況。
- (3) 依序更換 8cm 寬 500、200 匝及 2cm 寬 1000、500、200 匝特斯拉線圈，重複步驟(2)。

2. 實驗結果:



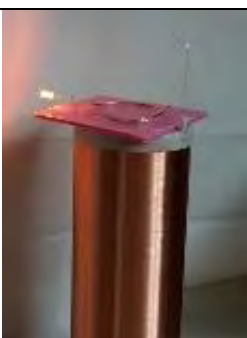


點亮燈管		點亮LED	產生電弧	
				
8cm寬1000匝	2cm寬500匝	8cm寬1000匝	8cm寬1000匝	2cm寬500匝

圖4. 實驗一結果

3. 實驗討論:

- (1) 各種不同寬度、匝數的特斯拉線圈都可以點亮燈具以及連接感應線圈的 LED。燈具越靠進特斯拉線圈發光程度越亮，以 8cm 寬 1000 匝而言，最遠約 50cm 左右還可以

看到 27W 燈泡發出微弱的光。

(2) 電弧不一定都能產生，1000、500 匝的線圈可以產生電弧，但 200 匝則否。輸出電壓較弱時，電弧不明顯，必要時可以螺絲起子牽引，以便觀察。

二、實驗二：次線圈、感應線圈的影響

觀察特斯拉線圈電路在主線圈固定下，不同次線圈寬度、匝數以及感應線圈匝數對感應電壓有無影響。

實驗 2-1: 主線圈 3 匝、感應線圈 10 匝，依序更換 8cm 寬次線圈 1000、500、200 匝。

實驗 2-2: 主線圈 3 匝、感應線圈 10 匝，依序更換 2cm 寬次線圈 1000、500、200 匝。

實驗 2-3: 主線圈 3 匝、感應線圈 50 匝，依序更換 8cm 寬次線圈 1000、500、200 匝。

實驗 2-4: 主線圈 3 匝、感應線圈 50 匝，依序更換 2cm 寬次線圈 1000、500、200 匝。

(一) 實驗步驟:

1. 依實驗 2-1 取 8cm 寬 1000 匝次線圈、10 匝感應線圈，將感應線圈放在次線圈上端並連接示波器探針，電路連結如圖 5。
2. 紀錄示波器上顯示電壓。
3. 依序改變次線圈匝數 500、200 匝，重複步驟 1、2。
4. 依實驗 2-1 流程，陸續完成實驗 2-2、2-3、2-4。



圖 5. 測量感應電壓

(二) 實驗結果: 實驗數據整理如下表

表 1. 實驗一數據

	實驗 2-1			實驗 2-2			實驗 2-3			實驗 2-4		
感應線圈匝數	10			10			50			50		
次線圈管徑	8cm			2cm			8cm			2cm		
次線圈匝數	1000	500	200	1000	500	200	1000	500	200	1000	500	200
感應電壓(V)	61	42.5	15.5	108	45	27.5	102	65	43	141	63	40

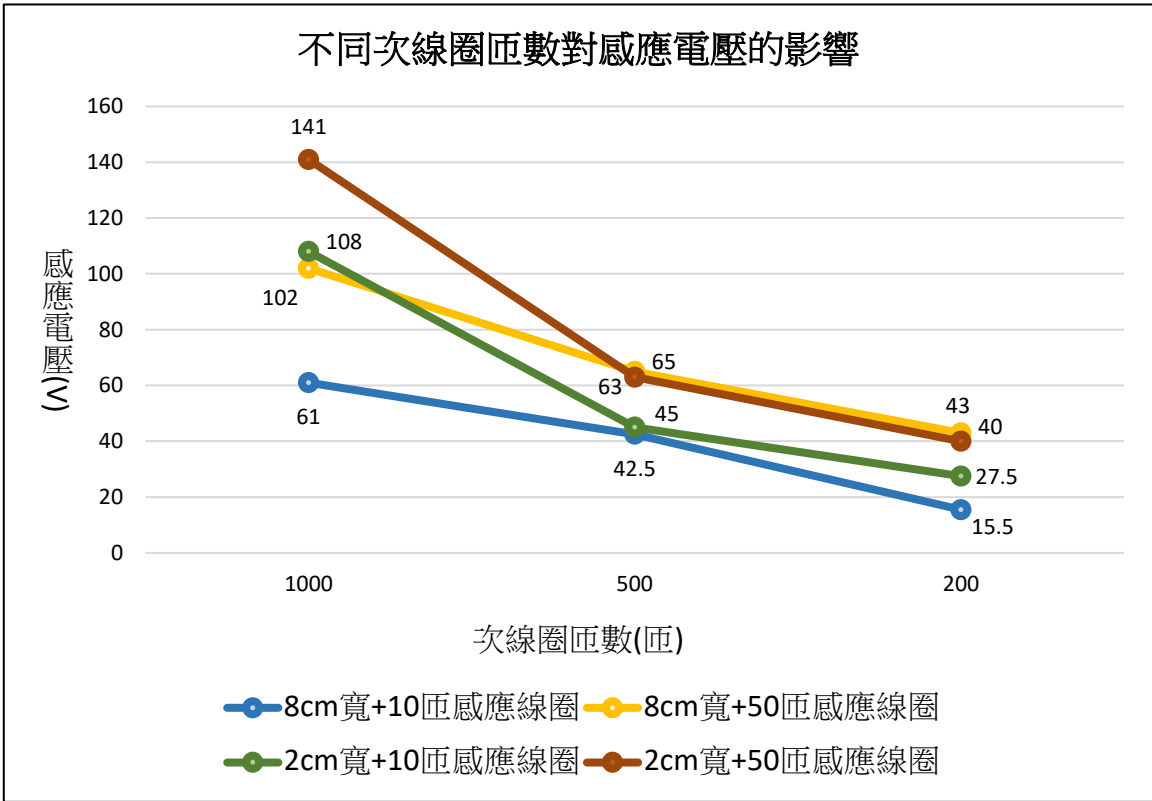


圖6. 次線圈匝數和感應電壓關係圖

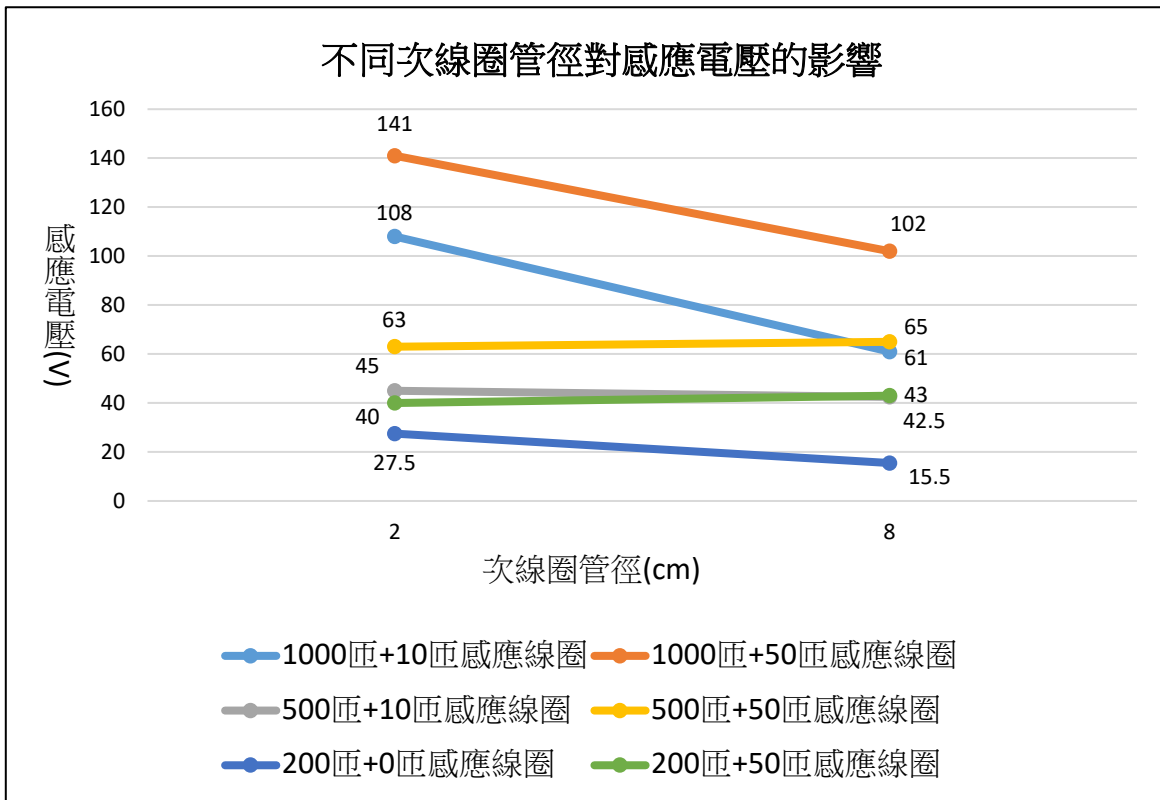


圖7. 次線圈管徑大小和感應電壓關係圖

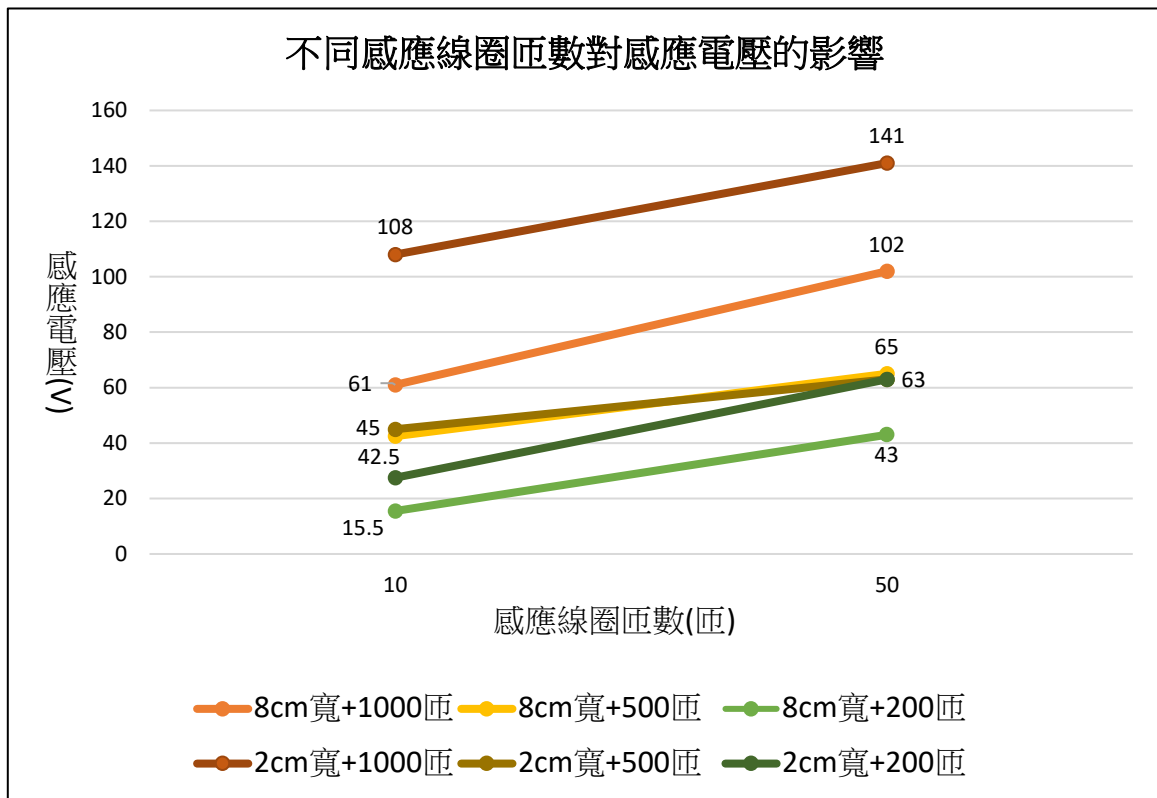


圖8. 感應線圈匝數和感應電壓關係圖

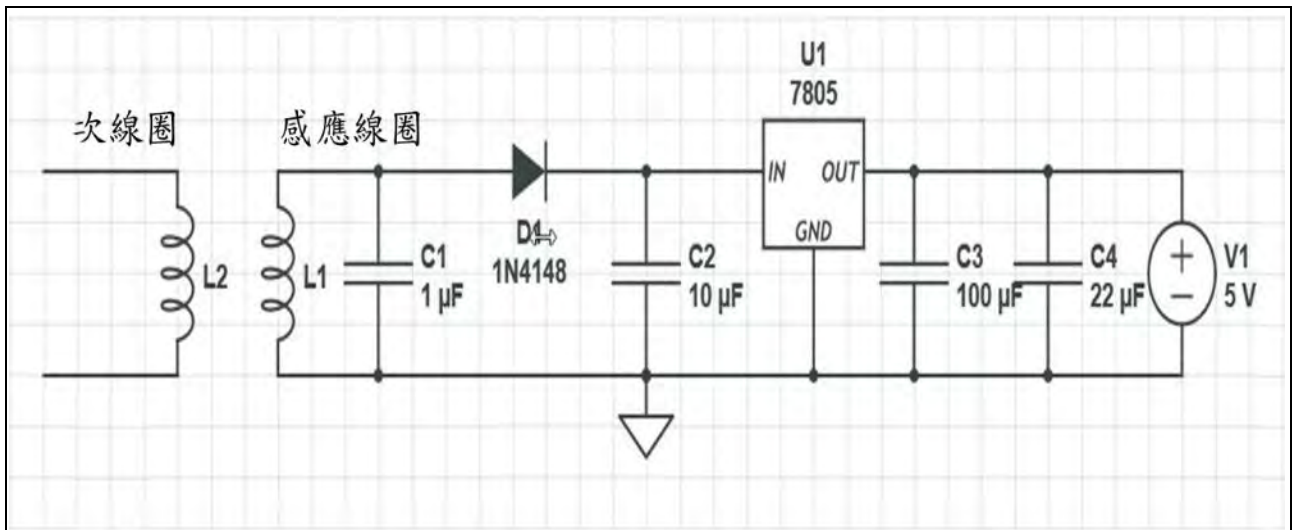
(三) 實驗討論:

1. 特斯拉線圈電路在主線圈固定下，次線圈匝數越多，感應電壓就越高。
2. 特斯拉線圈電路在主、次線圈、感應線圈匝數固定下，不同管徑的次線圈對感應電壓沒有明顯影響。
3. 特斯拉線圈電路在主、次線圈固定下，感應線圈匝數越多時，感應電壓就越高。

三、 實驗三: 第一代無線傳電系統

本研究想利用特斯拉線圈自製一個無線傳電系統，而目前市面上最熱門的無線充電應用非「手機」莫屬，所以此實驗也以手機為對象。目前市面上支援無線充電的手機，例如: Apple8、 Samsung6、 Note8、……等，它們手機裡均有內建符合目前「無線充電規格」的感應線圈、整流、變壓模組，但這些模組不適合自製的特斯拉線圈，於是另外設計一組可以為手機進行無線充電的整流、變壓電路。

(一) 設計特斯拉線圈充手機電路



特斯拉線圈充手機電路圖



系統實際圖

整流變壓線路實際圖

圖 9. 特斯拉線圈充手機電路圖

原理: 感應線圈感應到磁場及空氣中的游離電子, 經過整流電路及電容的蓄電就成為直流電, 再經過 7805 變壓 IC 變壓為 5V 為手機進行充電。

因為一般手機充電規格為 5V、數百毫安培至 1 安培, 若想對手機進行充電, 此系統必須可以穩定產生 5V 電壓。於是在後端整流變壓線路進行量測, 更換不同管徑、匝數的次線圈, 若系統可以穩定產生 5V 的特斯拉線圈電路才有機會為手機進行充電。

(二) 實驗:

此實驗使用市售無線充電模組的感應線圈，實驗手機品牌型號為 SAMSUNG Galaxy S6。

1. 實驗步驟:

- (1) 取 8cm 寬 1000 匝的特斯拉線圈，電路如圖 2。
- (2) 將市售感應線圈置於次線圈上端、下端，如圖 10，並分別記錄電流計上顯示電壓值。
- (3) 依序更換 8cm 寬 500、200 匝，2cm 寬 1000、500、200 匝的次線圈，重複步驟(2)。
- (4) 由以上結果尋找可以穩定輸出 5V 的特斯拉線圈電路後，連接手機觀察是否可以為其充電，並記錄相關數值。

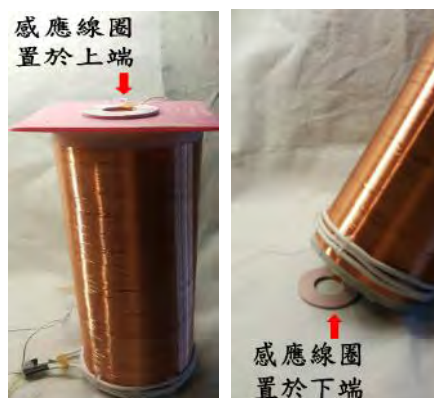


圖 10. 感應線圈放置圖

2. 實驗結果: 實驗數據整理如下表

表 2. 實驗三數據

次線圈管徑	8cm	8cm	8cm	8cm	8cm	8cm
次線圈匝數	1000	1000	500	500	200	200
示波器顯示電壓(V)	2.8	27.0	2.8	2.8	0	0
能否穩定產生5V電壓	能	能	否	否	否	否
感應線圈置於上或下	上	下	上	下	上	下

次線圈管徑	2cm	2cm	2cm	2cm	2cm	2cm
次線圈匝數	1000	1000	500	500	200	200
示波器顯示電壓(V)	0	0	0	0	0	0
能否穩定產生5V電壓	否	否	否	否	否	否
感應線圈置於上或下	上	下	上	下	上	下

- (1) 由結果可知，只有 8cm 寬 1000 匝的次線圈可以穩定產生 5V 電壓。
- (2) 將感應線圈置於 8cm 寬 1000 匝的次線圈下方並對手機進行充電，由電流計觀察到電壓 4.27V、電流 141mA，手機螢幕顯示在充電模式。由此可知，此系統確實可以用來為手機進行無線充電，功率為 0.6W，電池增加 1%需 8.4 分鐘。

3. 實驗討論:

(1) 由實驗結果得知雖然將感應線圈置於 8cm 寬 1000 匝的次線圈上方時也可以產生 5V 電壓，但因電流太小以至於無法對手機進行充電。

(2) 使用市售無線充電模組感應線圈是為了減少變因以確認自製系統是否可以運作。

四、 實驗四: 第二代無線傳電系統

第一代系統雖然可以為手機進行無線充電，但效能太慢，而且實驗過程中發現感應線圈位置、角度、……等對結果有顯著的影響，所以自製感應線圈，希望可以提升充電效率。

(一) 實驗步驟:

自製各式感應線圈，計有 0.5mm 圓形 23 匝、0.5mm 方形 25 匝、0.5mm 圓形 20 匝雙層、1.6mm 圓型 8 匝。

1. 電路連結如圖 2。
2. 將感應線圈置於不同位置、角度，紀錄充電功率最好時的資訊。
3. 依序更換不同的自製感應線圈，重複步驟 2。
4. 由以上數據尋找充電效率最好的感應線圈及其放置位置、角度。
5. 手機關機狀態下充電一小時，紀錄電池變化量以及電流計數值。
6. 換算電池每增加 1% 變化量所需時間。

(二) 實驗結果:


0.5mm 圓形 23 匝	0.5mm 方形 25 匝	0.5mm 圓形 20 匝雙層	1.6mm 圓型 8 匝
			
電壓: 4.62V 電流: 292.5mA 功率: 1.35W	電壓: 4.53V 電流: 264.0mA 功率: 1.20W	電壓: 4.58V 電流: 176.0mA 功率: 0.81W	電壓: 4.61V 電流: 267.0mA 功率: 1.23W

圖 11. 各式自製感應線圈

1. 結果可知 0.5mm 圓形 23 匝的自製線圈功率最高，故以它作為感應線圈。

2. 電池增加 1% 需 4.6 分鐘。

(三) 實驗討論:

1. 實驗過程中發現感應線圈的位置、角度、匝數、……等對結果有顯著的影響。0.5mm 圓型 23 匝、距底部約 9cm、平行放置時感應效果最好，如圖 12 所示。



圖 12. 最佳感應線圈

五、 實驗五: 第三代無線傳電系統

雖然第二代系統比起第一代已進步 45%，但還不夠好，於是將輸入電壓由 12V 提升至 15V，觀察充電較能否再次提升。

(一) 實驗步驟:

1. 線路連結、感應線圈及其擺放位置同實驗四。
2. 將電源供應器電壓由 12V 調高至 15V。
3. 手機關機狀態下充電一小時，紀錄電池變化量以及電流計數值。
4. 換算電池每增加 1% 變化量所需時間。

(二) 實驗結果:

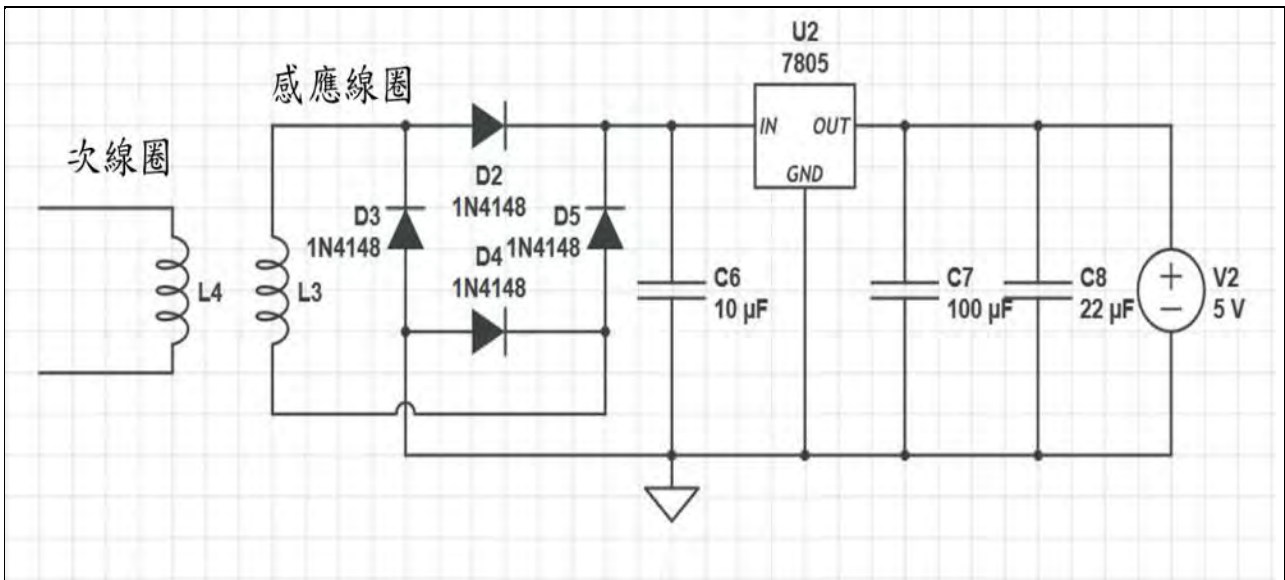
1. 手機充電時，電流計顯示電壓為 4.92V，電流 389.5mA，換算功率為 1.93W。
2. 電池增加 1% 需 3.3 分鐘。

(三) 實驗討論:

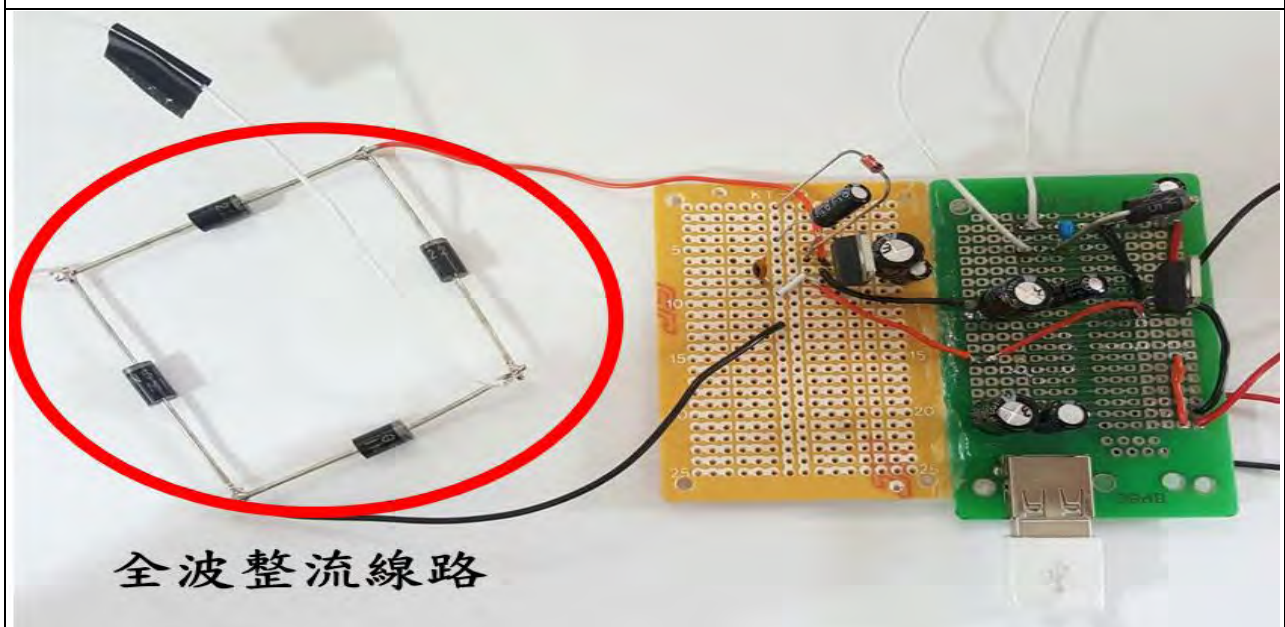
1. 調高電壓前，必須確認電路板上每一個零件耐壓程度，否則零件會有損壞風險。

六、 實驗六: 第四代無線傳電系統

第三代以前的系統後端整流線路為「半波整流」，嘗試將其換為「全波整流」並觀察充電效能的變化。全波整流線路如下



全波整流線路圖



全波整流線路實際圖

圖 13. 全波整流線路

(一) 實驗步驟:

1. 將後端整流線路中的「半波整流」改為「全波整流」。
2. 線路連結、感應線圈及其擺放位置同實驗四。
3. 電源供應器輸入電壓 15V。
4. 手機關機狀態下充電一小時，紀錄電池變化量以及電流計數值。
5. 換算電池每增加 1%變化量所需時間。

(二) 實驗結果:

1. 手機充電時，電流計顯示電壓 4.95V，電流 582.7mA，換算功率為 2.88W。
2. 電池增加 1% 需 2.2 分鐘。

(三) 實驗討論:

1. 依整流器導通情形，可分為半波整流與全波整流，圖形如下

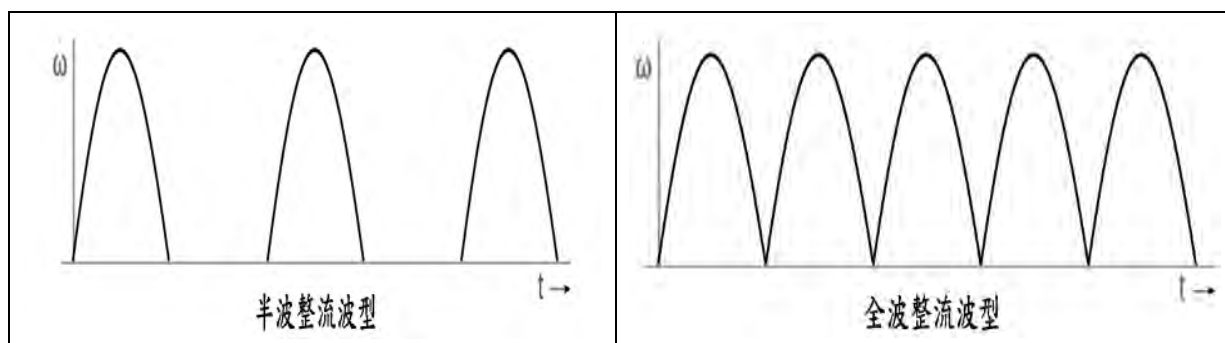


圖 14. 整流波型

理論上全波整流效率較高，但不管是半波或全波整流都必須利用電容來濾波。

2. 實驗發現全波的電流計數值較半波穩定而不易跳動，而且可以產生較高電流，所以充電效能比半波好。

七、 實驗七: 第五代無線傳電系統

第四代系統效能雖可接受，但希望可以再精進，於是嘗試將一筒特斯拉線圈改為兩筒，利用電流並聯的概念達到效能提升的目的。

(一) 實驗步驟:

1. 製作兩組實驗六的特斯拉線圈、感應線圈，以及兩組後端整流變壓模組，一為全波整流、一為半波整流。
2. 電路連結如圖 15。
3. 電源供應器輸入電壓 15V。
4. 手機關機狀態下充電一小時，紀錄電池變化量以及電流計的數值。
5. 換算電池每增加 1% 變化量所需時間。

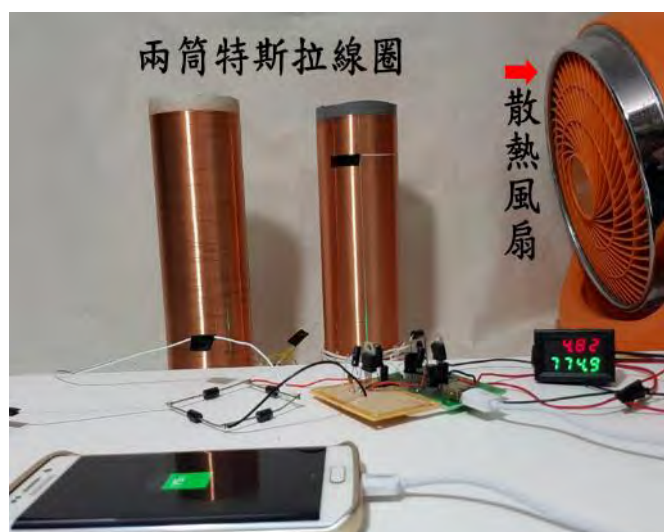


圖 15. 兩筒特斯拉線圈

(二) 實驗結果:

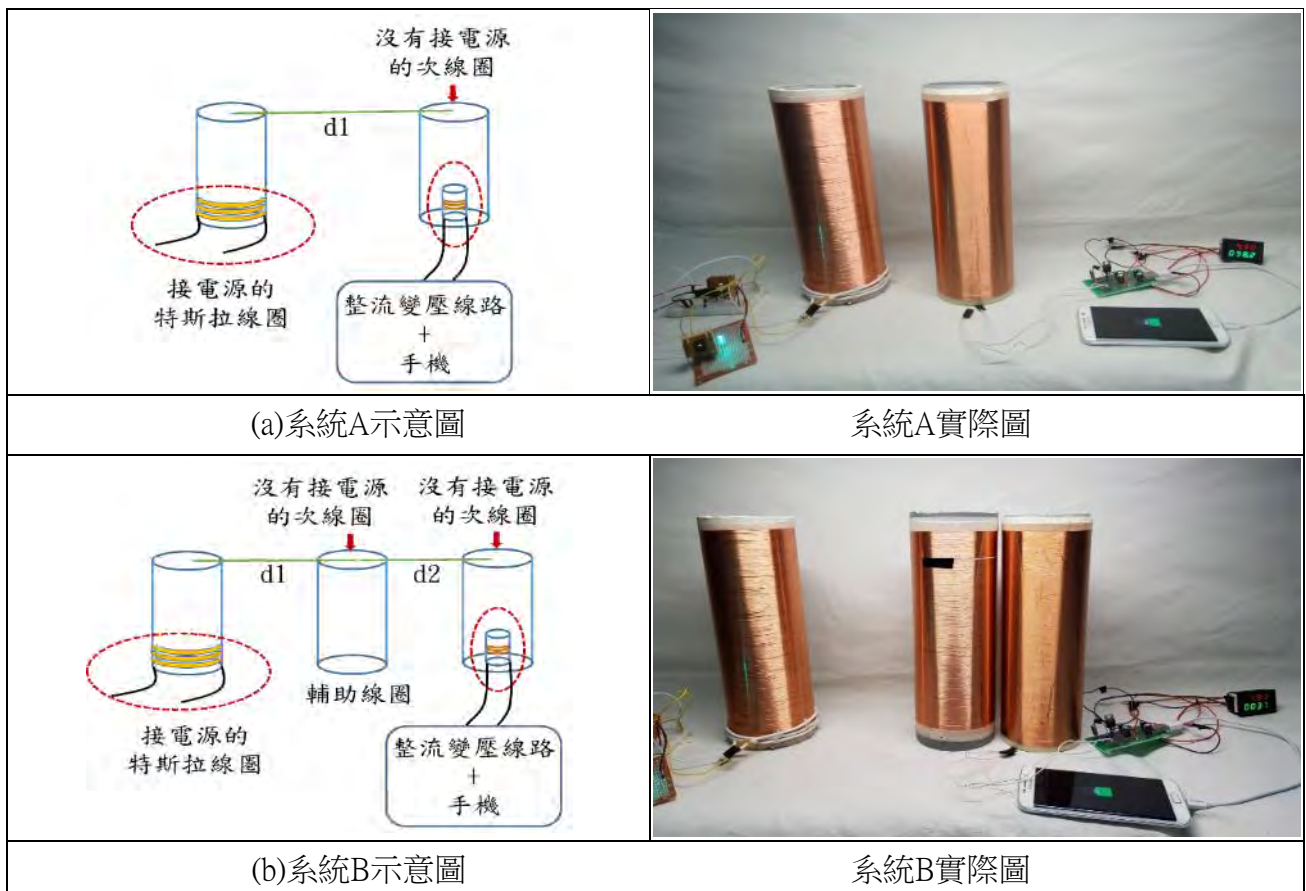
1. 手機充電時，電流計顯示電壓 4.88V，電流 775.4mA，換算功率為 3.78W。
2. 電池增加 1% 需 1.6 分鐘。

(三) 實驗討論:

1. 實驗過程中曾發生系統極度不穩定的狀況，手機充到一半，電流計上顯示的數值便開始跳動，電流甚至掉到 390mA 左右。後來發現是兩筒特斯拉線圈同時運作造成系統過熱，使用散熱風扇降溫後便恢復正常。

八、 實驗八: 增加無線傳電距離

本實驗想增加無線傳電系統的電源發射端與接收端間的「無線」距離，並觀察功率變化和距離的關係。將實驗四中的感應線圈改變擺放方式與位置做成系統 A，如圖 16(a)；在系統 A 感應線圈與主線圈間加入一個輔助線圈變成系統 B，如圖 16(b)；在系統 B 輔助線圈與主線圈間再加入另一輔助線圈成系統 C，如圖 16(c)，並分別對其做實驗，此實驗輸入電壓為 15V。



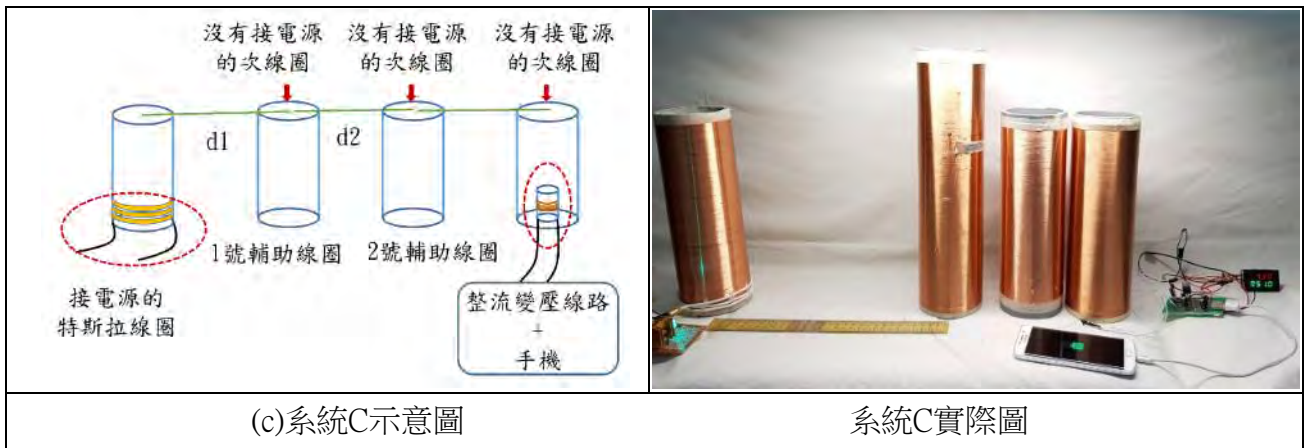


圖16. 增加無線傳電距離

(一) 實驗步驟:

1. 電路連結如圖 16(a)，測量系統 A 的距離 d1 並紀錄電流計上數值。
2. 漸漸增加感應線圈和主線圈間的距離，重複步驟 1。
3. 電路連結如圖 16(b)，測量系統 B 的距離 d1、d2 並紀錄電流計上數值。
4. 調整感應線圈、輔助線圈、主線圈之間的距離，重複步驟 3。
5. 電路連結如圖 16(c)，測量系統 C 的距離 d1、d2、d3 並紀錄電流計上數值。
6. 調整感應線圈、1 號輔助線圈、2 號輔助線圈、主線圈之間的距離，重複步驟 5。

(二) 實驗結果: 實驗數據整理如下表

表 3. 系統 A 實驗數據

系統 A						
電壓(V)	4.48	4.42	4.39	4.40	4.37	4.33
電流(mA)	338.8	250.3	211.2	200.4	149.3	111.6
功率(W)	1.518	1.106	0.927	0.882	0.652	0.483
d1(cm)	10	11	12	13	15	17
總距離(cm)	10	11	12	13	15	17
系統 A						
電壓(V)	4.33	4.30	4.92	4.90	4.47	0
電流(mA)	79.0	50.1	3.4	2.8	1.9	0
功率(W)	0.342	0.215	0.017	0.014	0.008	0
d1(cm)	19	21	23	25	26	27
總距離(cm)	19	21	23	25	26	27

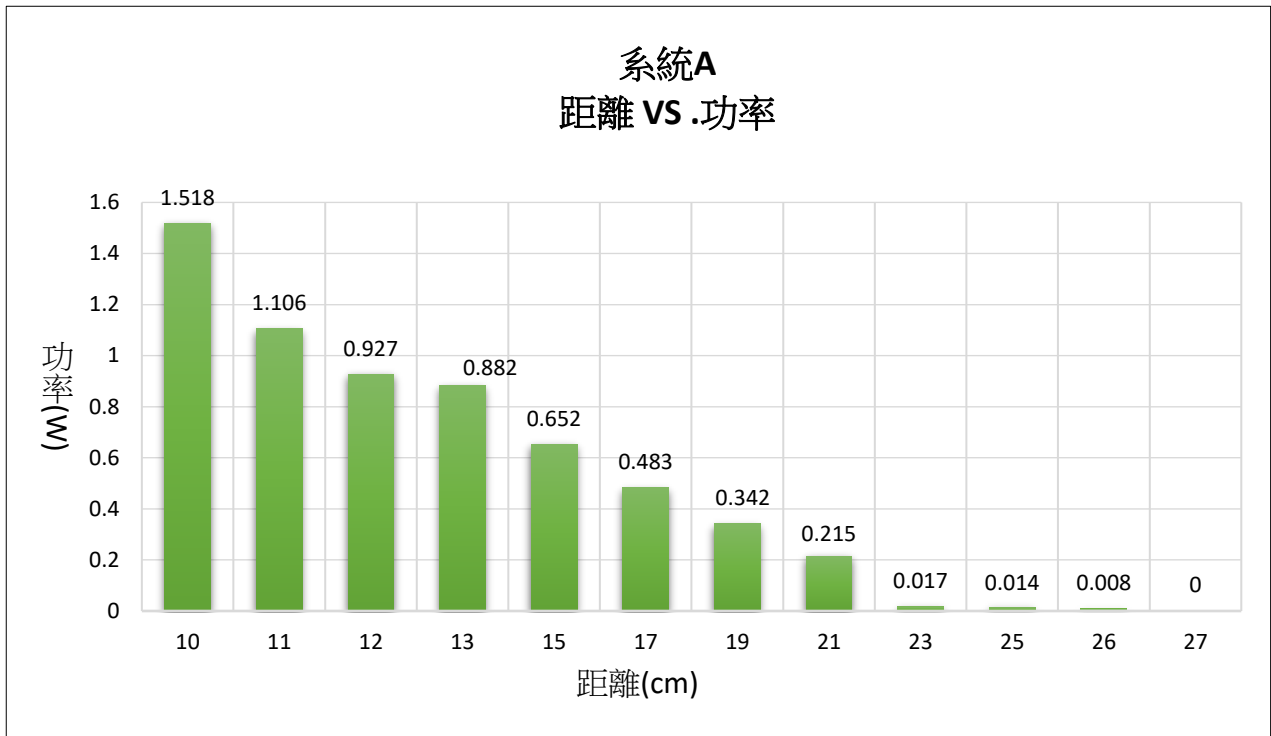


圖 17. 系統 A 距離功率關係圖

表 4. 系統 B 實驗數據

系統 B							
電壓(V)	4.36	4.40	4.48	4.58	4.54	4.44	4.39
電流(mA)	114.6	162.7	229.0	348.8	288.8	199.1	142.0
功率(W)	0.500	0.716	1.026	1.598	1.311	0.884	0.623
d1(cm)	10	11	13	15	17	19	21
d2(cm)	10	10	10	10	10	10	10
總距離(cm)	20	21	23	25	27	29	31
系統 B							
電壓(V)	4.34	4.31	4.91	4.93	4.92	4.81	0
電流(mA)	97.8	62.2	4.6	3.9	3.4	2.8	0
功率(W)	0.424	0.268	0.023	0.019	0.017	0.013	0
d1(cm)	23	25	27	28	29	30	31
d2(cm)	10	10	10	10	10	10	10
總距離(cm)	33	35	37	38	39	40	41

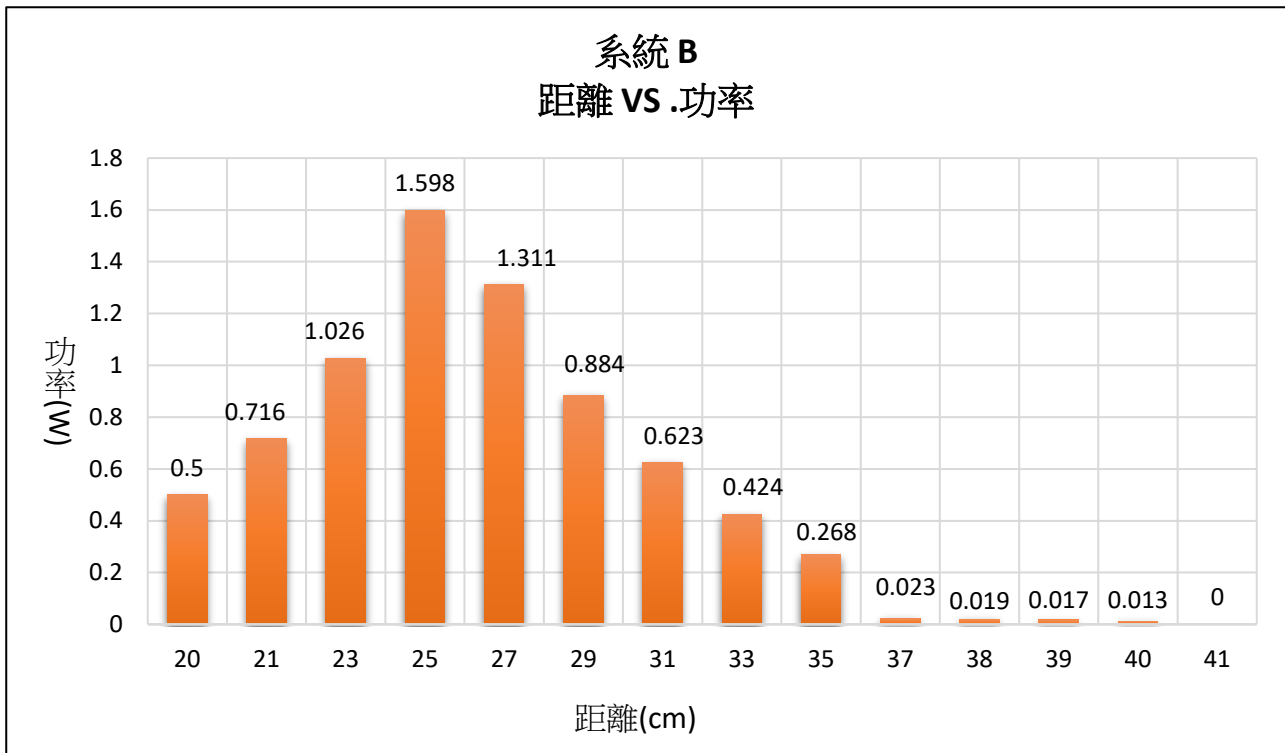


圖18. 系統B距離功率關係圖

表5. 系統C實驗數據

系統 C							
電壓(V)	4.69	4.39	4.43	4.43	4.42	4.39	4.36
電流(mA)	2.8	191.5	253.9	263.2	236.5	186.4	151.4
功率(W)	0.013	0.841	1.125	1.166	1.045	0.818	0.660
d1(cm)	10	11	12	13	15	17	19
d2(cm)	11	11	11	11	11	11	11
d3(cm)	10	10	10	10	10	10	10
總距離(cm)	31	32	33	34	36	38	40
系統 C							
電壓(V)	4.33	4.31	4.30	4.30	4.93	4.63	0
電流(mA)	114.0	89.2	63.8	51.9	3.0	2.1	0
功率(W)	0.494	0.384	0.274	0.223	0.015	0.010	0
d1(cm)	21	23	25	27	29	33	35
d2(cm)	11	11	11	11	11	11	11
d3(cm)	10	10	10	10	10	10	10
總距離(cm)	42	44	46	48	50	54	56

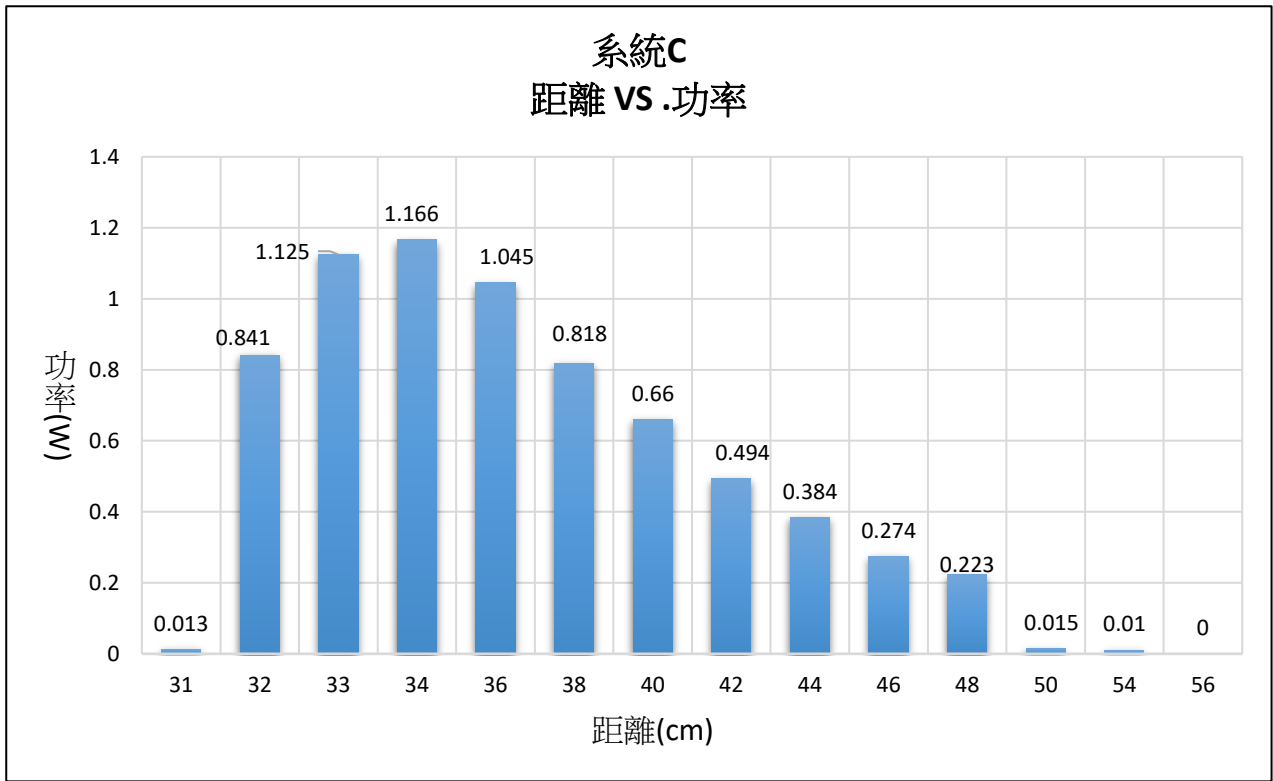


圖19. 系統C距離功率關係圖

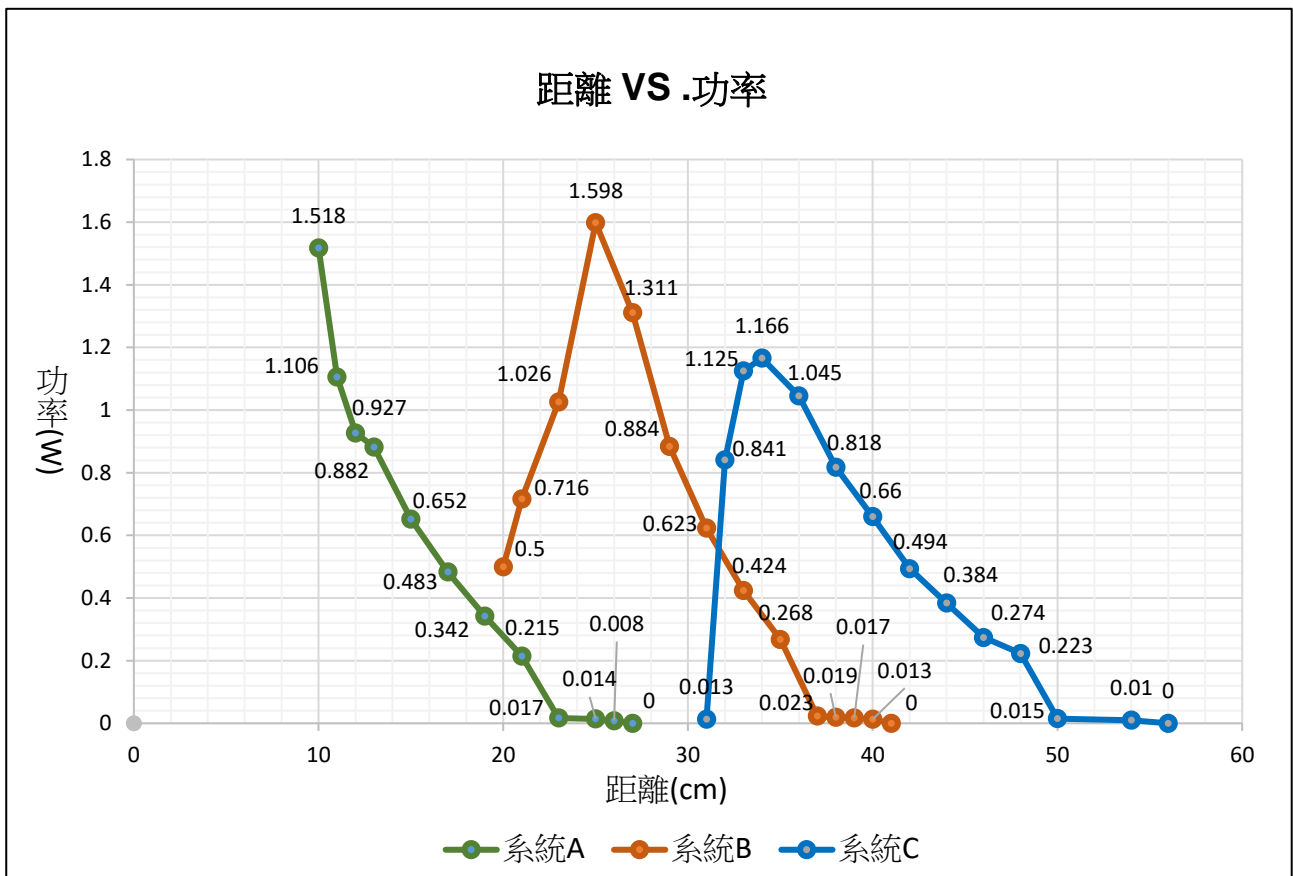


圖20. 無線傳電距離和功率比較圖

(三) 實驗討論:

1. 由實驗結果得知無線距離 25cm 時功率 1.598W，電池增加 1%需 3.78 分鐘；無線距離 34cm 時功率 1.166W，電池增加 1%需 5.19 分鐘。雖說跟第四代系統相比，充電時間變久，但無線距離卻可以遠遠拉長。以系統 C 而言，距離 50cm 時手機都還顯示在充電狀態，這證明此種增加「無線傳電距離」的方式確實可行。
2. 實驗中發現系統 C 的「d3」對結果影響很大，一旦「d3」大於 10cm，則輸出電壓、電流均為 0。此原因為只要感應線圈距離 2 號輔助線圈超過一定距離，則感應不到電壓。
3. 實驗中發現系統 B、系統 C 中的「d1」對結果影響也很大，當「d1」小於 11cm 時，若輸入電壓小於 8V，此時感應線圈仍可正常運作，當電壓等於 8V 時，電流約 50mA 至 60mA，但輸入電壓一旦大於 8V，感應線圈則無法正常感應。推論此一現象為一旦輸入電壓提高，特斯拉線圈和 1 號輔助線圈又太近時，則 1 號輔助線圈感應到的電壓太高，造成 2 號輔助線圈感應到的電壓也跟著過高，導致之後的感應線圈無法正常運作。
4. 從系統 B 和系統 C 實驗結果得知「d1」並不是越小功率越高，輔助線圈距特斯拉線圈大約 13cm~15cm 時感應效果最好，推論此原因和「實驗討論 3」相同。
5. 實驗過程發現: 系統運作時線圈上方 10cm 處有一盞長 55cm 的燈管，其罩子為金屬材質，實驗中發現此罩子會影響輸出功率約 20%，例如: 讓手機充電電流由 250mA 變成 200mA，推論此一原因為此金屬罩子吸收掉一部分特斯拉線圈發出來的能量。

九、 實驗九: 多支手機同時充電系統

此實驗想設計一個可以同時充多支手機的無線傳電系統，並觀察充電效能在一支與多支手機時的變化情形。電路連結如圖 21，圖 21(a)「一對一」充電表示一次充一支手機，圖 21(b)「一對二」充電表示一次充兩支手機，輸入電壓 15V，實驗手機為 SAMSUNG Galaxy S6 和 HTC One。

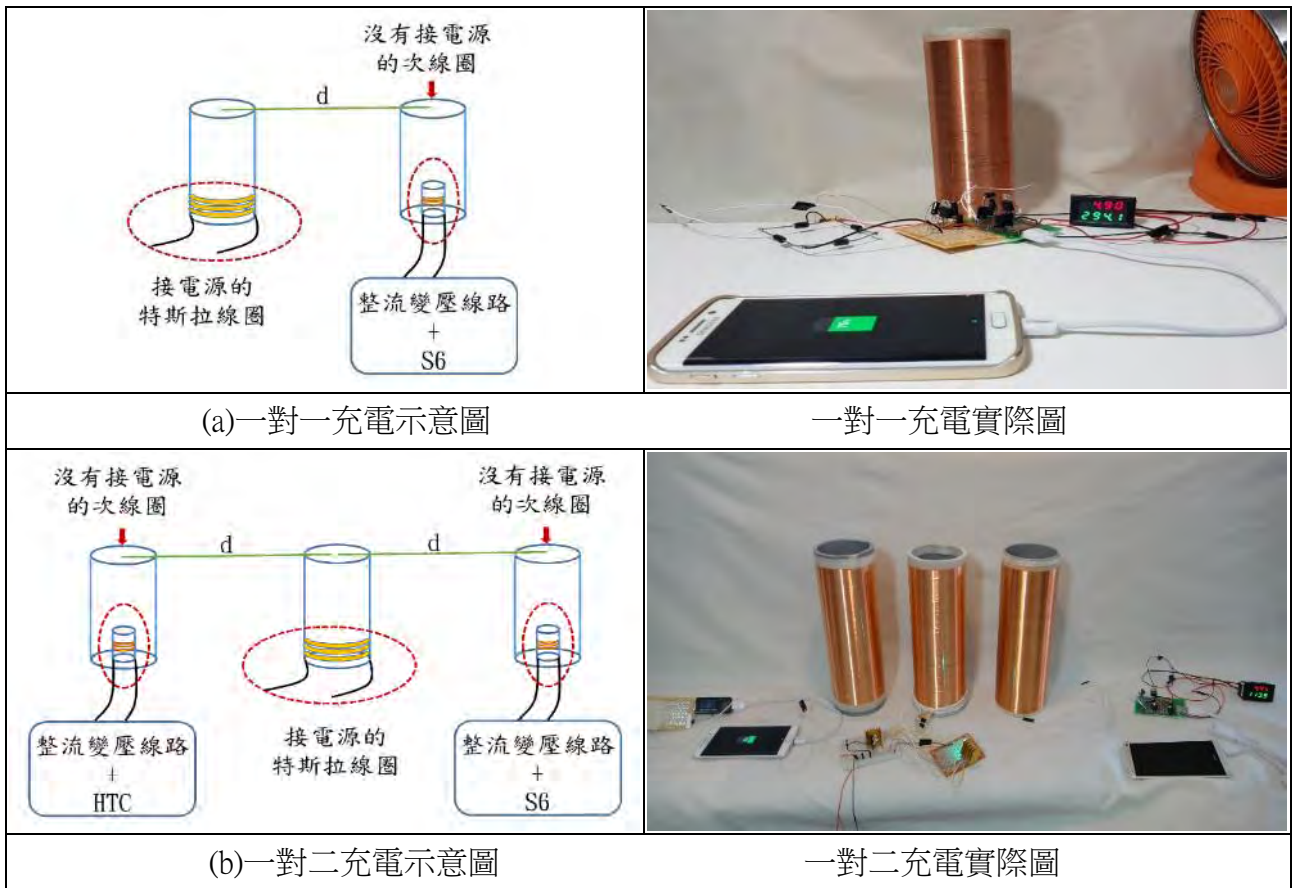


圖21. 多支手機同時充電系統

(一) 實驗步驟:

1. 電路連結如圖 21(a)，漸漸增加距離「d」值，觀察手機狀態並記錄電流計上數值。
2. 電路連結如圖 21(b)，重複步驟 1。

(二) 實驗結果: 實驗數據整理如下表

表 6. 「一對一」充電實驗數據

一對一充電							
電壓(V)	4.45	4.42	4.39	4.37	4.35	4.33	4.32
電流(mA)	292.1	250.3	211.2	172.1	144.7	125.0	104.4
功率(W)	1.300	1.106	0.927	0.752	0.629	0.541	0.451
距離(cm)	10	11	12	13	14	15	16
一對一充電							
電壓(V)	4.31	4.29	4.29	4.93	4.93	4.92	4.90
電流(mA)	88.2	65.5	54.5	6.8	6.3	6.0	5.8
功率(W)	0.380	0.281	0.234	0.034	0.031	0.030	0.028
距離(cm)	17	18	19	20	21	22	23

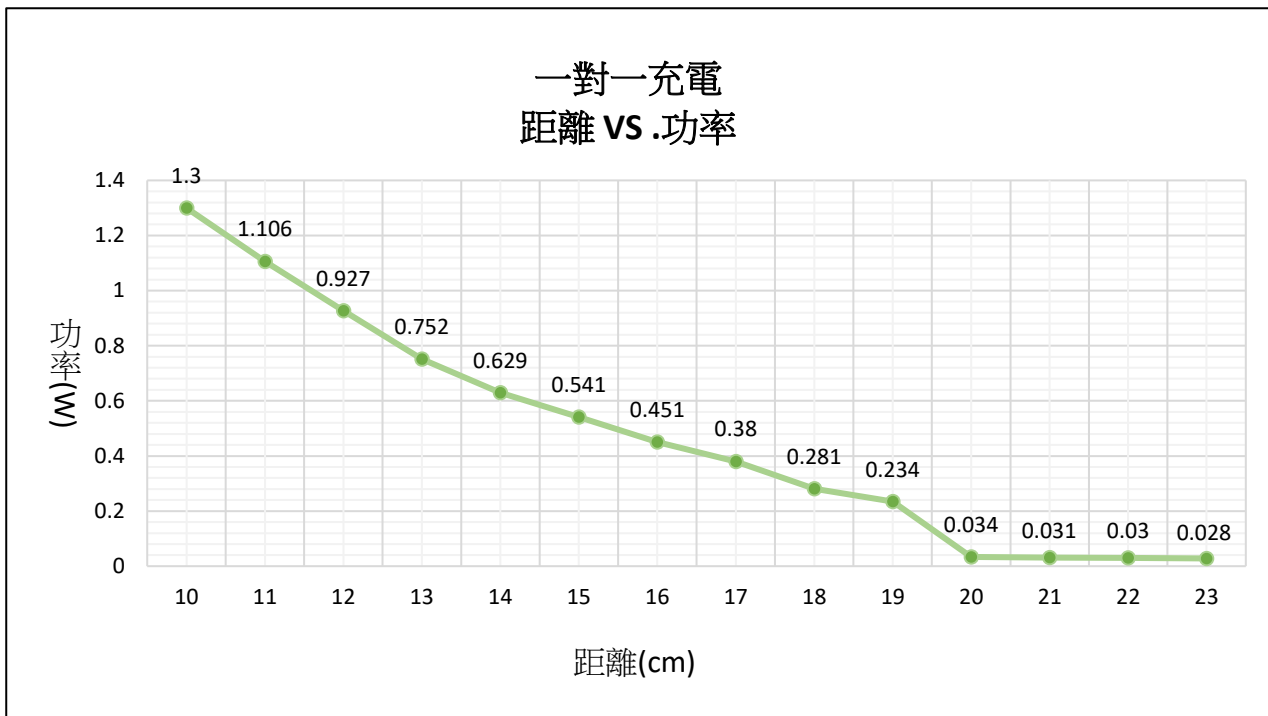


圖22. 「一對一」充電距離功率關係圖

表7. 「一對二」充電實驗數據

一對二充電										
	HTC	S6	HTC	S6	HTC	S6	HTC	S6	HTC	S6
電壓(V)	4.46	4.32	4.59	4.33	4.61	4.36	4.59	4.34	4.57	4.33
電流(mA)	100	92	130	118	130	143	120	107	110	101
功率(W)	0.446	0.397	0.597	0.511	0.599	0.623	0.551	0.464	0.503	0.437
距離(cm)	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14
一對二充電										
	HTC	S6	HTC	S6	HTC	S6	HTC	S6	HTC	S6
電壓(V)	4.55	4.31	4.55	4.30	4.57	4.30	4.51	4.94	4.50	4.93
電流(mA)	110	101	90	84	60	68	40	59	40	6
功率(W)	0.501	0.435	0.410	0.361	0.274	0.292	0.180	0.291	0.180	0.030
距離(cm)	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19

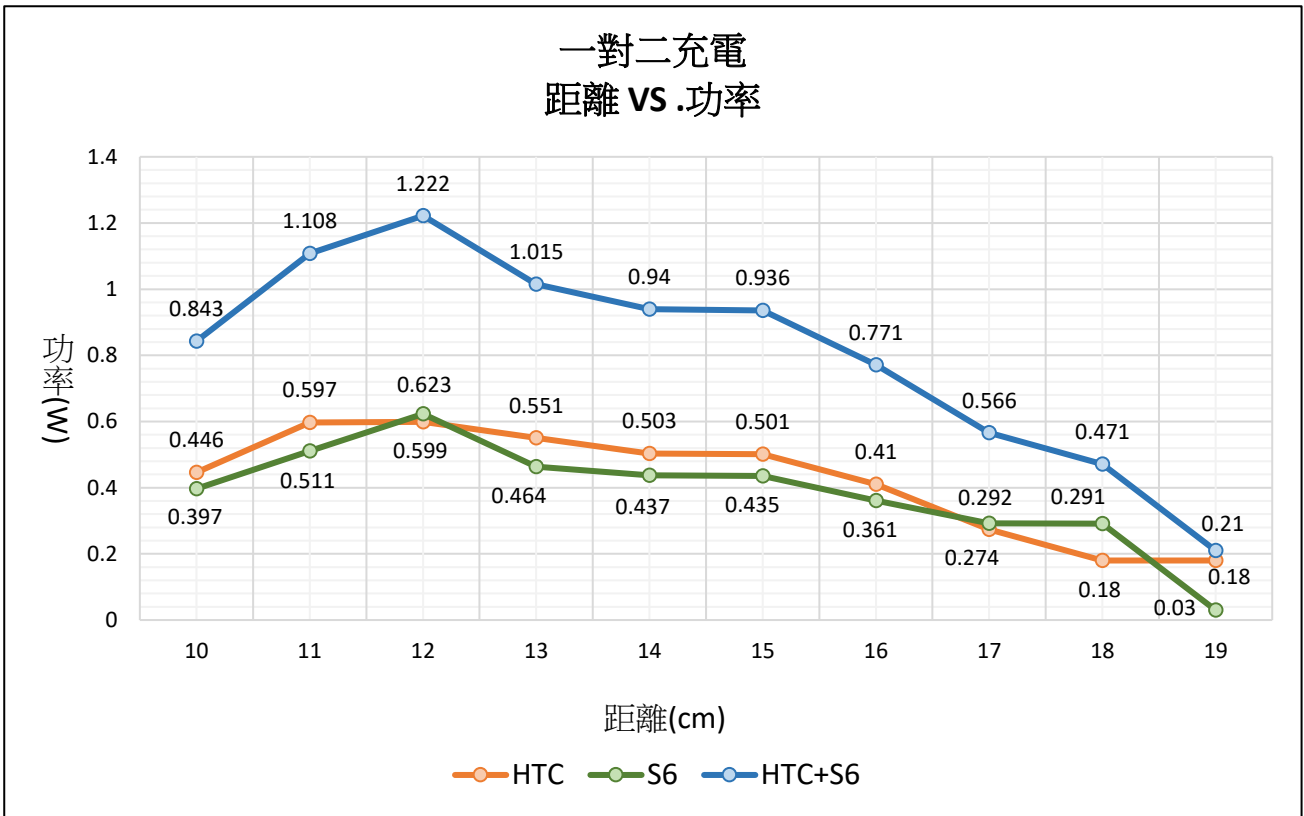


圖23. 「一對二」充電距離功率關係圖

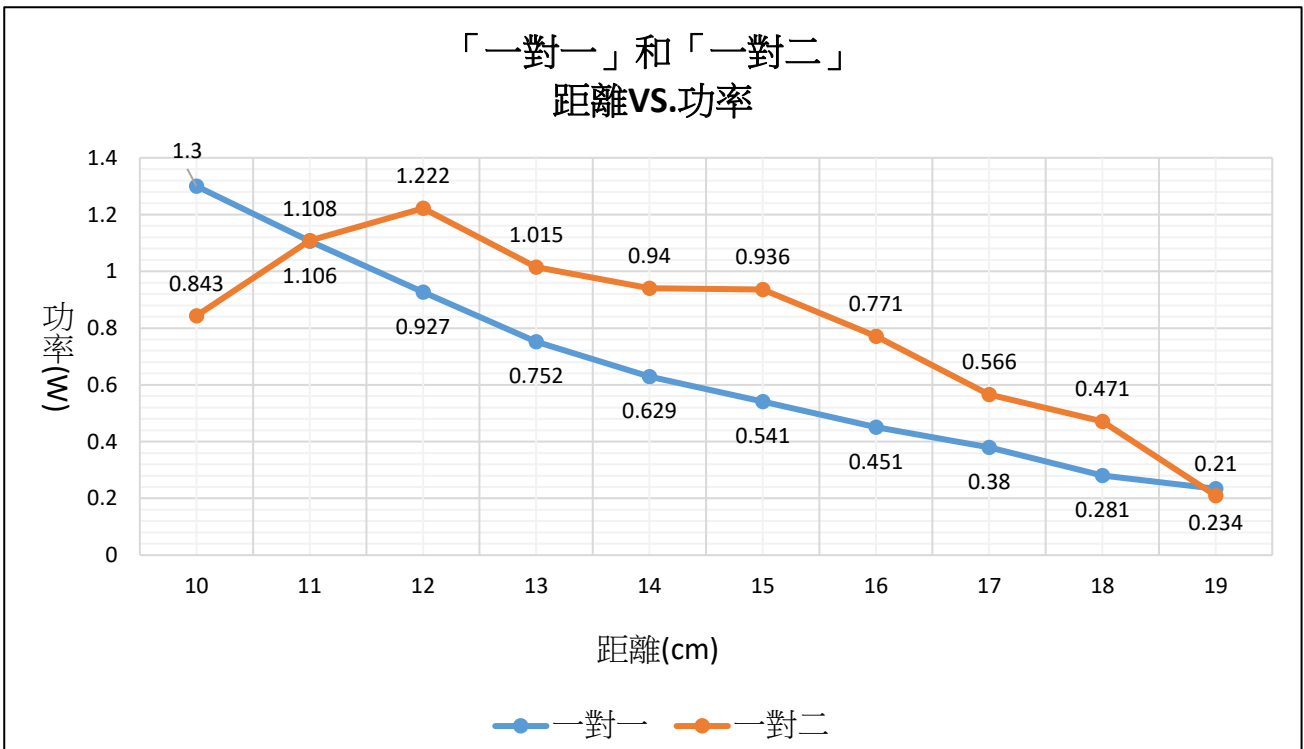


圖24. 「一對一」和「一對二」充電距離功率比較圖

(三) 實驗討論:

1. 實驗結果發現此系統最遠在距離 19cm 時，兩支手機還是可以同時充電。
2. 充兩支手機時，單一手機的功率雖然都比充一支時小，但功率並不是和手機數成反比。當距離 12cm 時，「一對一」充電的功率 0.927W，換算電池電量增加 1% 需 6.5 分鐘，而「一對二」兩支手機功率分別為 0.599W、0.623W，換算電池電量增加 1% 需 10.1 分鐘、9.7 分鐘。以這麼遠的無線充電距離來看，當兩支手機須要充電時，以「一對二」模式可以節省 2.9 分鐘，約 22% 的時間。
3. 從圖 24 可知，「一對二」兩支手機功率總和大於「一對一」單支手機功率，這代表在「一對一」充電時，有些能量散在空間中被浪費掉。同理可知，「一對二」充電時，一定也有些能量散失，若善用這些消失的能量，一定可以同時充更多支手機。

十、 實驗十: 比較市售產品和自製系統

此實驗比較市售手機無線充電器和自製系統的優劣，主要比較「充電效率」、「無線距離」、「可否多支手機同時充電」以及「價格」。本實驗使用的市售無線充電器型號為「Samsung 閃充無線充電座」以及雜牌「無線充電板」。

(一) 實驗步驟:

1. 將手機關機放在「Samsung 閃充無線充電座」以及雜牌「無線充電板」上，觀察「充電效率」、「無線充電距離」以及「可否多支手機同時充電」。

(二) 實驗結果:

1. 「Samsung 閃充無線充電座」以及雜牌「無線充電板」電池電量增加 1% 所需時間分別為 1.4 分鐘、1.7 分鐘，而自製系統第五代則須 1.6 分鐘。
2. 「Samsung 閃充無線充電座」以及雜牌「無線充電板」的無線充電距離為 1cm。而實驗八的系統 C 最遠可達 50cm。
3. 市售產品只能「一對一」充電，不能同時充多支手機，而自製系統則可。
4. 「Samsung 閃充無線充電座」市價 2000 元、雜牌「無線充電板」市價 300 元，而自製系統成本價 200 元。

(三) 實驗討論:

1. 雜牌「無線充電板」感應線圈範圍窄，很難「精確對準」充電，這點非常不方便。
2. 本實驗選擇「Samsung 閃充無線充電座」是為了配合實驗手機 SAMSUNG Galaxy S6，理論上手機搭配原廠充電座可達到最佳充電效能。而選雜牌「無線充電板」則是因為大部分使用者考量 C/P 值，不見得會使用原廠充電座而是使用雜牌產品。所以這兩項產品的實驗數據極具參考價值。
3. 有些市售產品號稱可以同時多支手機一起充電，其實是利用「矩陣線圈」把感應線圈可感應的範圍擴大，進而在此範圍內多放幾支手機同時充電，原理如圖 25.，但並非是真正的「一對多」充電。
4. 在價格方面，市售產品是量產品、售價，自製產品是實驗品、成本價，雖然比較基準點不同，但自製系統成本非常低，若有機會量產，相信一定可以比 2000 元便宜。



圖 25. 矩陣線圈

伍、結論

一、 特斯拉線圈運作原理

- (一) 特斯拉線圈的主、次線圈方向必須一為順時鐘一為逆時鐘才能正常運作。
- (二) 次線區匝數越多，感應電壓越高；次線圈管徑大小對結果影響則不明顯。
- (三) 感應線圈匝數、角度、位置對感應電壓有顯著的影響。

二、 自製無線傳電系統

- (一) 第一代到第五代硬體主要差異如下表所列

表 8. 第一代到第五代硬體主要差異

自製系統	感應線圈	輸入電壓(V)	整流線路	特斯拉線圈數量
第一代	市售	12	半波	一筒
第二代	自製	12	半波	一筒
第三代	自製	15	半波	一筒

第四代	自製	15	全波	一筒
第五代	自製	15	半波+全波	兩筒

(二)第一代到第五代充電效能比較如下表

表 9. 第一代到第五代充電效能比較

	輸入電壓(V)	輸入電流(mA)	輸入功率(W)	電量增加 1%所需 時間(分鐘)
第一代	4.27	141.0	0.60	8.4
第二代	4.62	292.5	1.35	4.6
第三代	4.92	389.5	1.92	3.3
第四代	4.95	582.7	2.88	2.2
第五代	4.88	775.4	3.78	1.6

(三)比較第一代與第二代，可知感應線圈的圈數、形狀跟充電效能有很顯著的關係。

(四) 比較第二代與第三代，提高電路板上的零件耐壓進而提高輸入電壓，可以讓充電效能提升，此點在學理上也很容易理解。

(五) 比較第三代與第四代，發現全波整流較半波整流可以穩定輸出較高、較接近 5V 的電壓，而且電流也較高，所以可以提高充電速率。

(六) 比較第四代與第五代，因為電流並聯的關係，兩筒特斯拉線圈比一筒特斯拉線圈可以產生更高的電流進而提升充電效能。

(七) 實驗時若溫度過高會造成系統不穩定，所以必須使用風扇降溫以維持正常運作。

三、 增加無線傳電距離

(一) 由實驗結果得知在 25cm 遠的距離進行無線充電，電池增加 1%需 3.78 分鐘；距離 34cm 時，電池增加 1%需 5.19 分鐘；以系統 C 而言，距離 50cm 時手機都還顯示在充電狀態。雖說此系統的充電效能會隨距離增加而下降，但在有限的功率損耗下距離卻可以遠遠拉長，這點是目前市售產品所無法比擬的。

四、 多支手機同時充電系統

(一) 實驗結果發現此系統的確可以同時充兩支手機，雖然以單支手機來看充電功率會隨手機數增加而減少，但兩支手機的功率總和卻大於充一支手機時的功率，這代表充一支時有些能量是被浪費掉的，只要善用這些能量，相信可同時充電的手機數一定可以再

增加。

五、市售產品和自製系統的比較

(一) 目前市售無線充電器主要利用「磁感應」技術。它有幾個主要缺點:

1. 手機必須「精確對準」感應線圈的位置才能使用。
2. 無線充電的距離很短。
3. 一次只能充一支手機。

(二) 市售產品和自製系統各方面效能比較如下表

表 10. 市售產品和自製系統各方面效能比較

	Samsung 閃充無線充電座	雜牌 無線充電板	第五代 無線傳電系統
電池電量增加1% 所需時間(分鐘)	1.4	1.7	1.6
價格	市價 2000元	市價 300元	成本價 200元
	Samsung 閃充無線充電座	雜牌 無線充電板	實驗七之系統C 無線傳電系統
無線距離(cm)	1	1	50
	Samsung 閃充無線充電座	雜牌 無線充電板	實驗八 無線傳電系統
同時充電手機數	一支	一支	多支

1. 就充電效率而言，第五代無線傳電系統和市售產品差異不大。
2. 雖然實驗七的自製系統傳電功率會隨著距離增加而下降，但以「無線距離」來看，可以說是遠遠優於市售的無線充電產品。
3. 實驗八自製系統可以同時充多支手機，市售產品則否。
4. 在價格方面，只要花 200 元動手自製一個簡單的電路就可以得到比市售產品還要好的無線傳電系統，可以說是非常具有經濟效益。

六、未來應用

若以此自製系統為雛形，發揮它充得「遠」又充得「多」的優勢，相信在未來的無線世界一定可以提供更廣泛、便利的應用。除了基本的手機、行動裝置、穿戴裝置外，列舉以下兩種

(一) 想像一：每一個家庭裡，有一台特斯拉無線充電器，在這空間裡需要充電的移動式物體，均可隨時充電且自由移動，如手機、平板、吸塵器、掃地機器人、……等等。你將不再需要將手機、平板固定在一個地方充電，走到那兒充到那兒；掃地機器人也不會掃到一半就電力不足，因為可以邊掃邊充電。

(二) 想像二：在馬路上埋設特斯拉線圈，電動車上則裝有感應線圈。如此一來，電動車就可以在馬路上邊行駛邊充電。

陸、參考文獻

佚名 被世界遺忘的天才-特斯拉回憶錄 北京：法律出版社

無線充電技術 科學發展期刊 540 期

充電像 Wi-Fi 一樣自由，迪士尼展現無線供電房間 科技新報 20170202 網址:

<http://technews.tw/2017/02/22/quasistatic-cavity-resonance-for-ubiquitous-wireless-power-transfer/>

無線充電系統發展技術介紹 車輛研測資訊 108 期 2015-10 網址:

https://www.artc.org.tw/upfiles/ADUplod/knowledge/tw_knowledge_501525427.pdf

20170614 Wireless charging of moving electric vehicles overcomes major hurdle Stanford University

網址: <https://news.stanford.edu/press-releases/2017/06/14/big-advance-wireless-charging-moving-electric-cars/>

【評語】 032804

1. 該作品以自製無線線圈進行手機充電裝置，利用特斯拉線圈製作無線充電系統，困難度相當高，含振盪電路、電磁感應電路、整流濾波電路，都是很不簡單的知識。
2. 無線充電是近年熱門話題用線圈磁電感應原理達到充電效果主要是距離、線圈感應裝置大小、充電效率之問題能否達到實用標準？
3. 綜合來看此作品除具低成本外，亦具有高效能充電性，可加以包裝成為商業產品。

摘要

本研究主要是利用特斯拉線圈製作一個線路簡易、成本低廉的無線傳電系統，並以手機為實驗對象。研究結果顯示：在充電效能上自製系統可以和市售手機無線充電產品相互媲美，而且只要更改感應線圈的擺放方式，在20cm~30cm遠的距離都可以充電，也可以支援多支手機同時充電，沒有必須「精準」對位才能使用的問題，這些都是市售產品沒有的優點。若以此傳電系統為雛形，發揮其「遠」又「多」的優勢，相信在無線世界裡，必能提供更廣泛、便利的應用。

壹、研究目的

- 一. 了解特斯拉線圈的運作原理
- 二. 利用特斯拉線圈自製無線傳電系統
- 三. 研究如何增加無線傳電距離
- 四. 設計可同時充多支手機的無線傳電系統
- 五. 比較市售手機無線充電產品和自製無線傳電系統之效能

貳、研究流程

特斯拉線圈運作原理

- 實驗一 設計特斯拉線圈電路
- 實驗二 次線圈、感應線圈的影響

自製無線傳電系統

- 實驗三 第一代
- 實驗四 第二代
- 實驗五 第三代
- 實驗六 第四代
- 實驗七 第五代

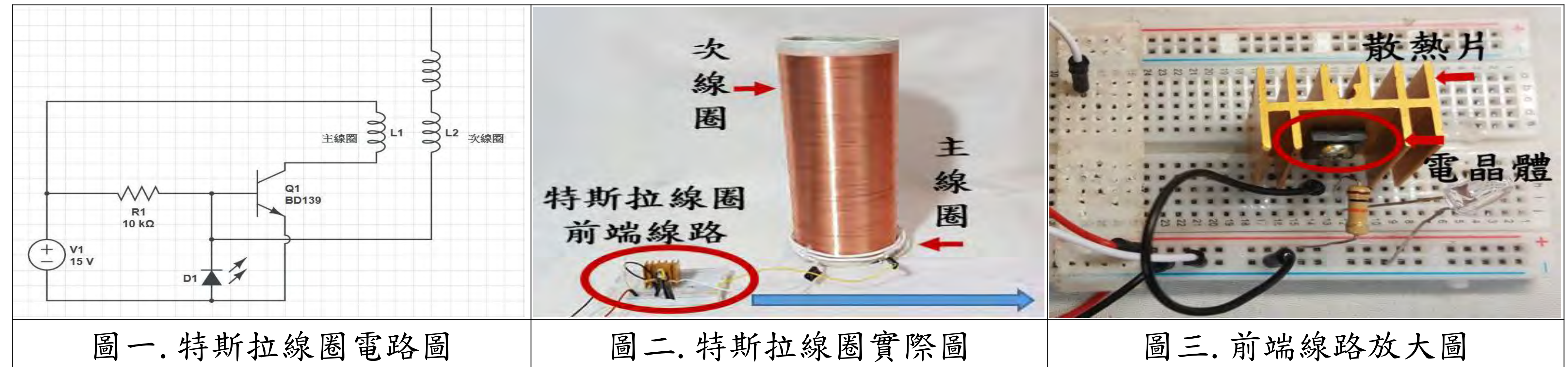
實驗八 增加無線傳電距離

實驗九 多支手機同時充電系統

- 實驗十 比較市售產品和自製系統之效能
 - 充電效率
 - 無線距離
 - 價格
 - 精確對準使用
 - 可否多支手機同時充電

參、研究結果

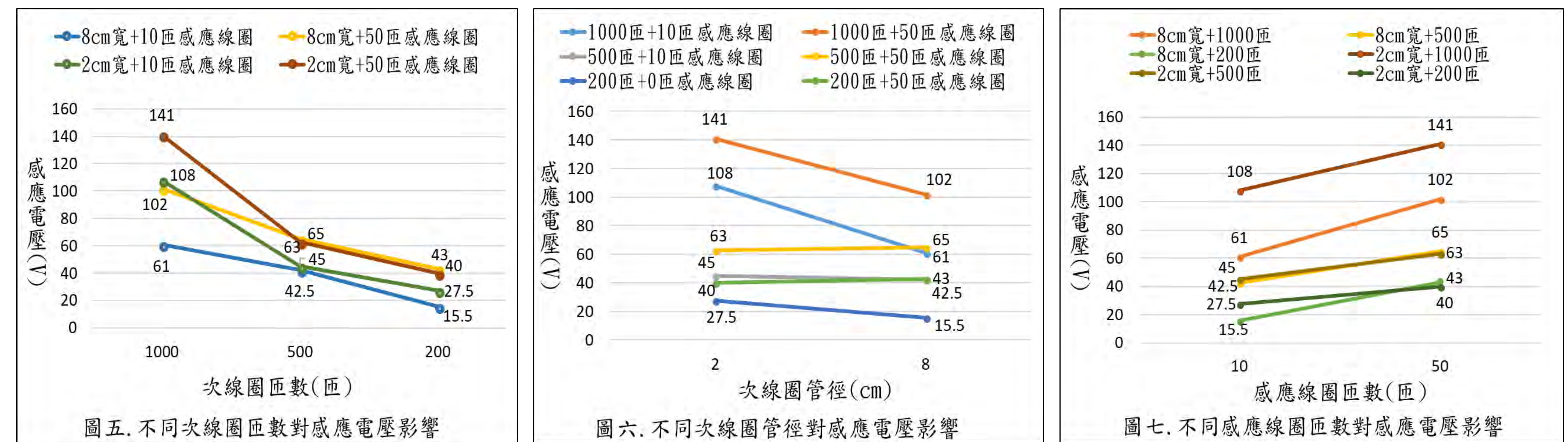
一、實驗一：設計特斯拉線圈電路



圖四. 特斯拉線圈運作情形

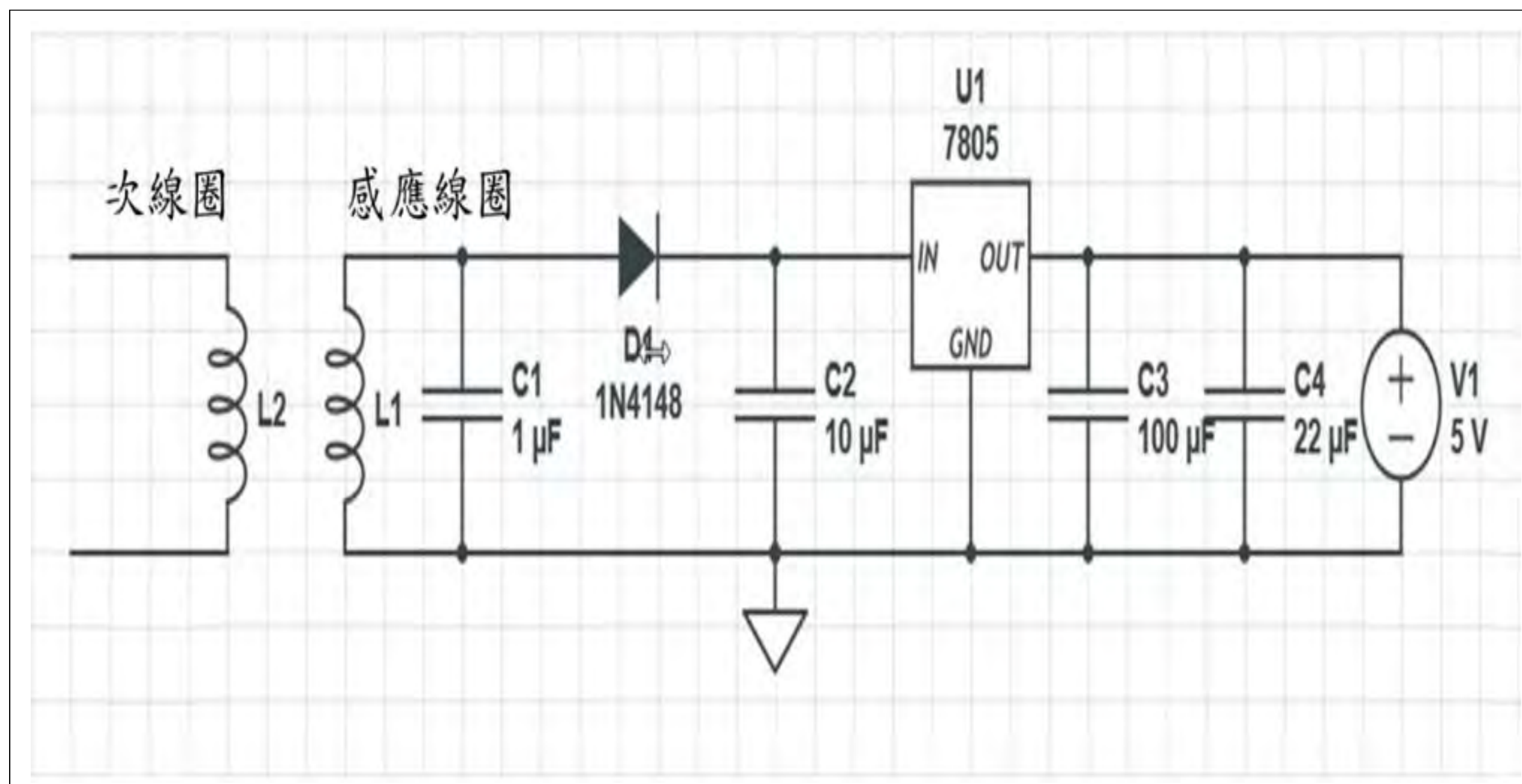
- (一) 不同寬度、匝數的次線圈都可以點亮燈具以及連接感應線圈的LED燈泡。
- (二) 電弧不一定都能產生，1000、500匝的次線圈可以產生電弧，但200匝則否。

二、實驗二：次線圈、感應線圈的影響

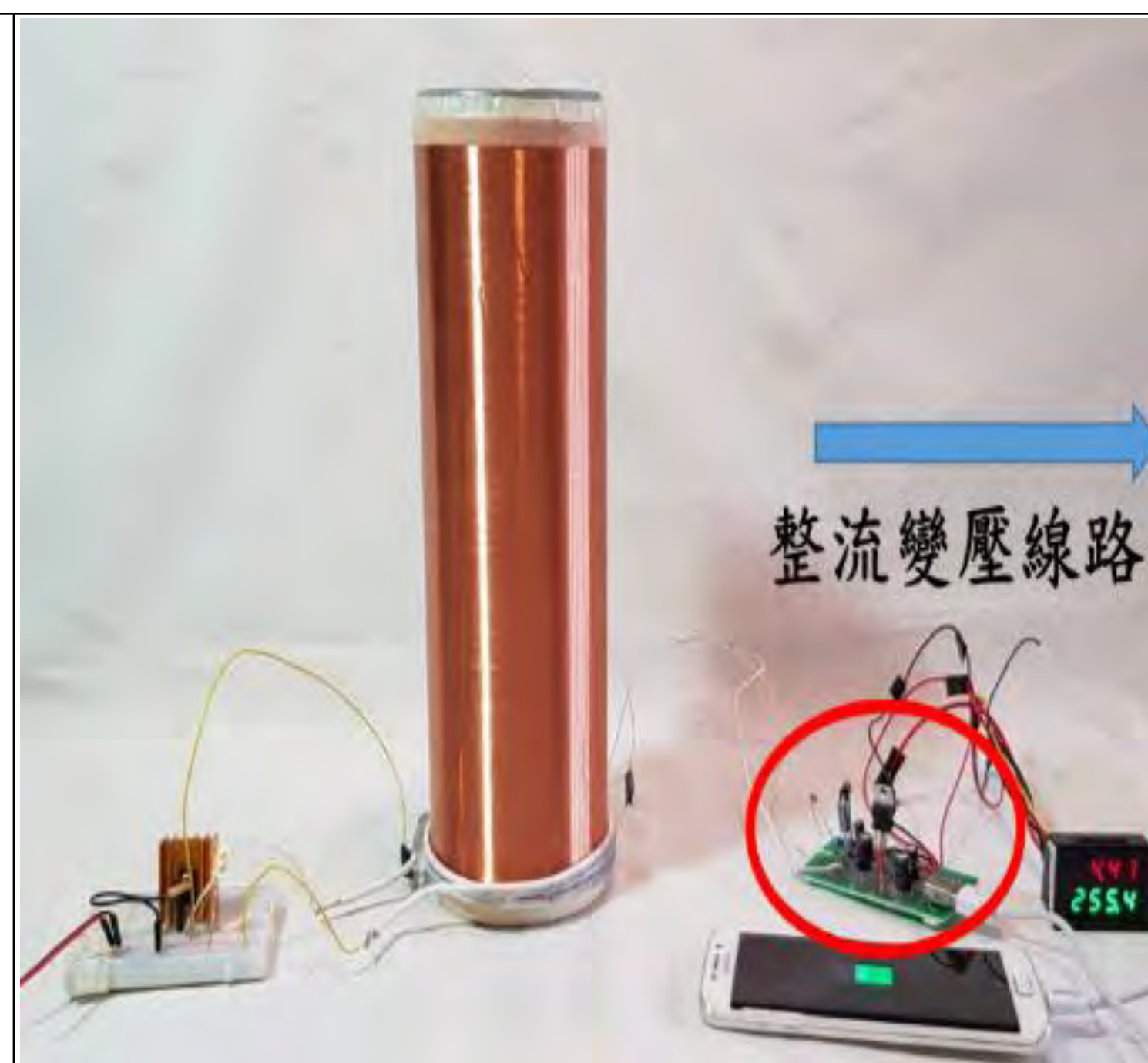


- (一) 主、感應線圈固定，次線圈匝數越多時感應電壓越高。
- (二) 主、次、感應線圈匝數固定，不同管徑大小的次線圈對感應電壓沒有明顯影響。
- (三) 主、次線圈固定，感應線圈匝數越多時感應電壓越高。

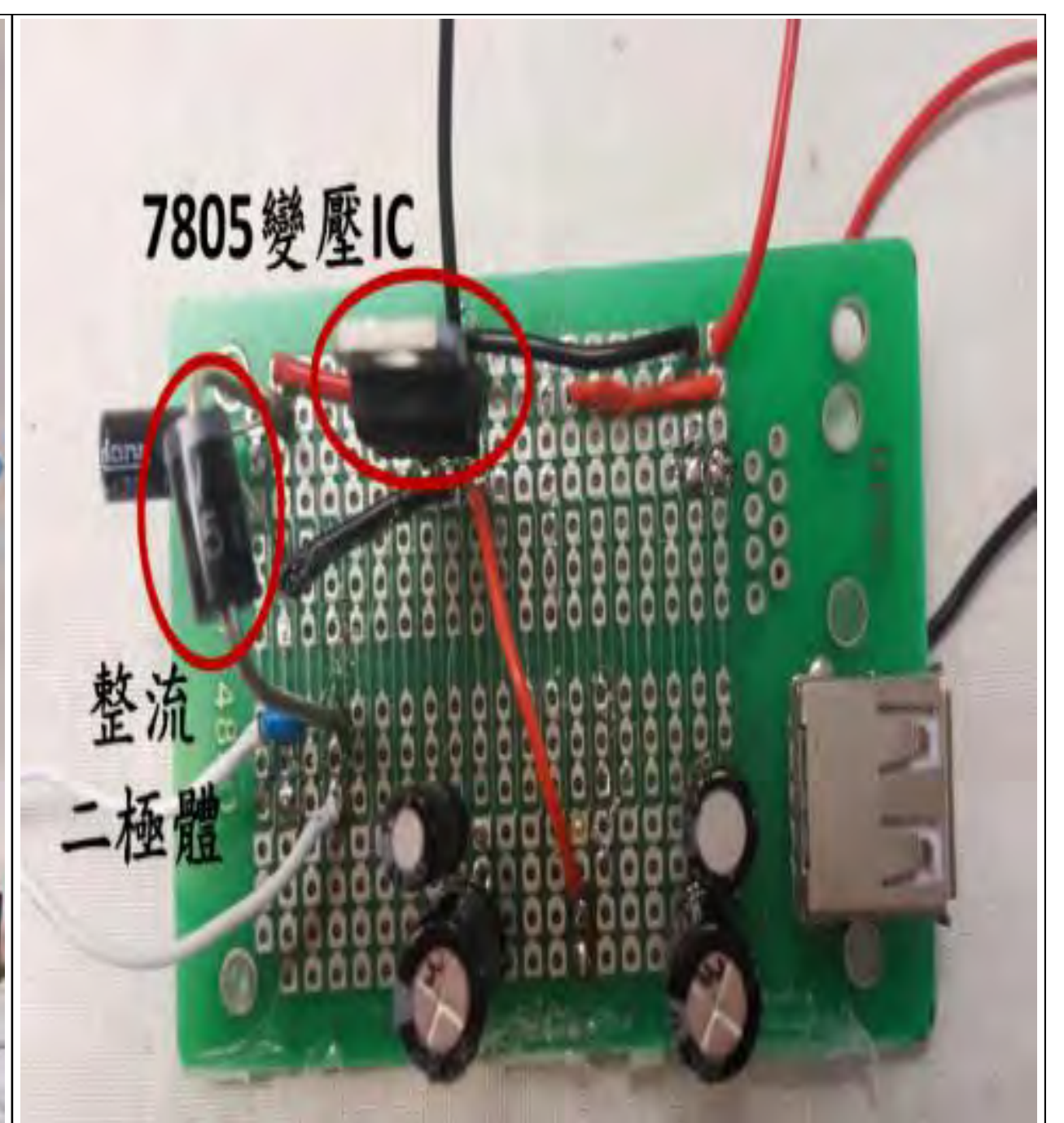
三、實驗三~實驗七:自製無線傳電系統



圖八. 特斯拉線圈充手機電路圖



圖九. 特斯拉線圈充手機實際圖



圖十. 整流變壓線路放大圖

表一. 各代系統主要硬體差異和充電效能比較

實驗	自製系統	感應線圈	輸入電壓(V)	整流線路	特斯拉線圈數量	手機輸入電壓(V)	手機輸入電流(mA)	手機輸入功率(W)	電量增加1%所需時間(分鐘)
三	第一代	市售	12	半波	一筒	4.27	141.0	0.60	8.4
四	第二代	自製	12	半波	一筒	4.62	292.5	1.35	4.6
五	第三代	自製	15	半波	一筒	4.92	389.5	1.92	3.3
六	第四代	自製	15	全波	一筒	4.95	582.7	2.88	2.2
七	第五代	自製	15	半波+全波	兩筒	4.88	775.4	3.78	1.6

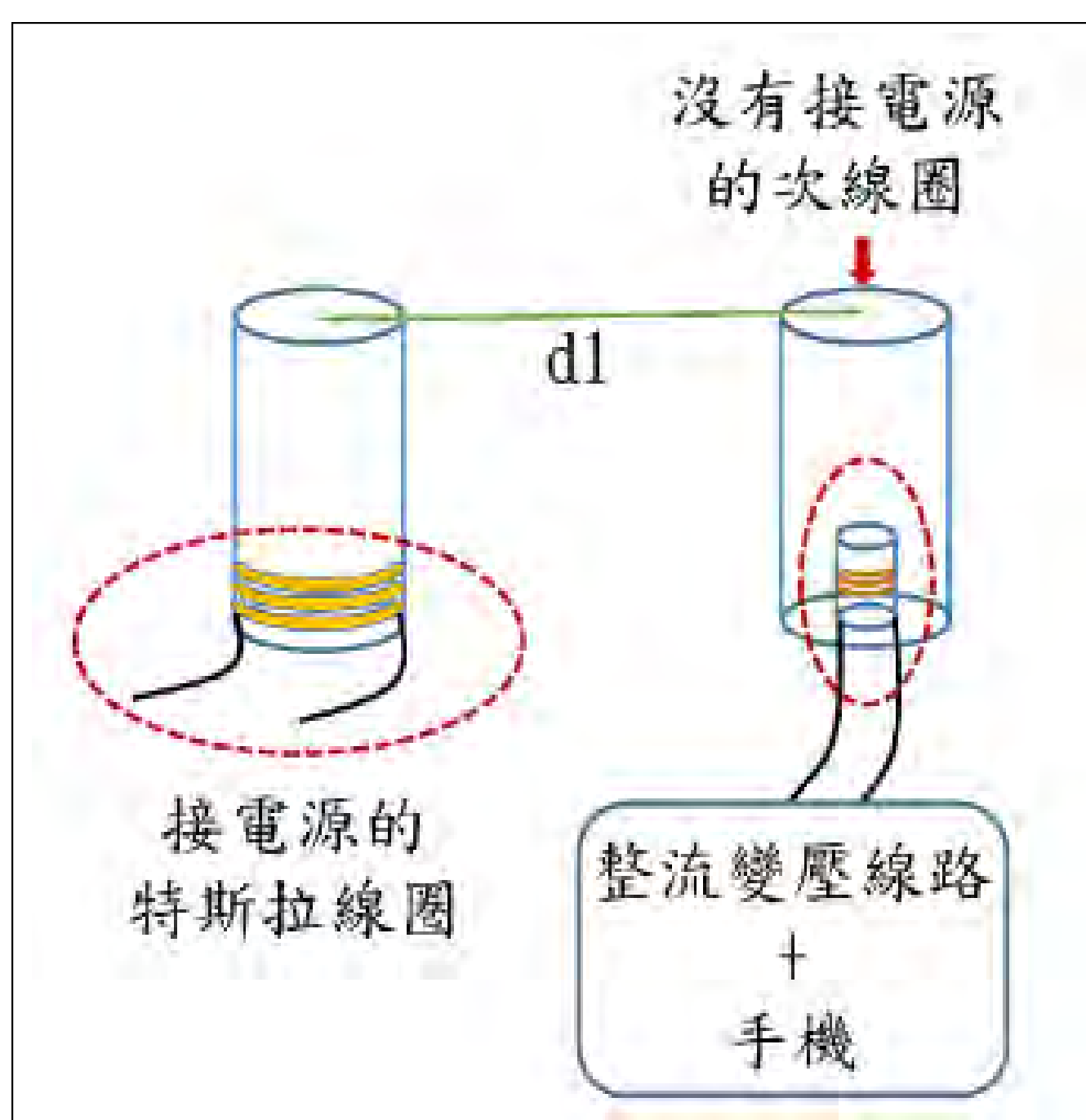
(一)比較第一、二代系統，感應線圈的圈數、形狀跟充電效能有很顯著的關係。

(二)比較第二、三代系統，提高電路板上的零件耐壓進而提高輸入電壓，可以讓充電效能提升。

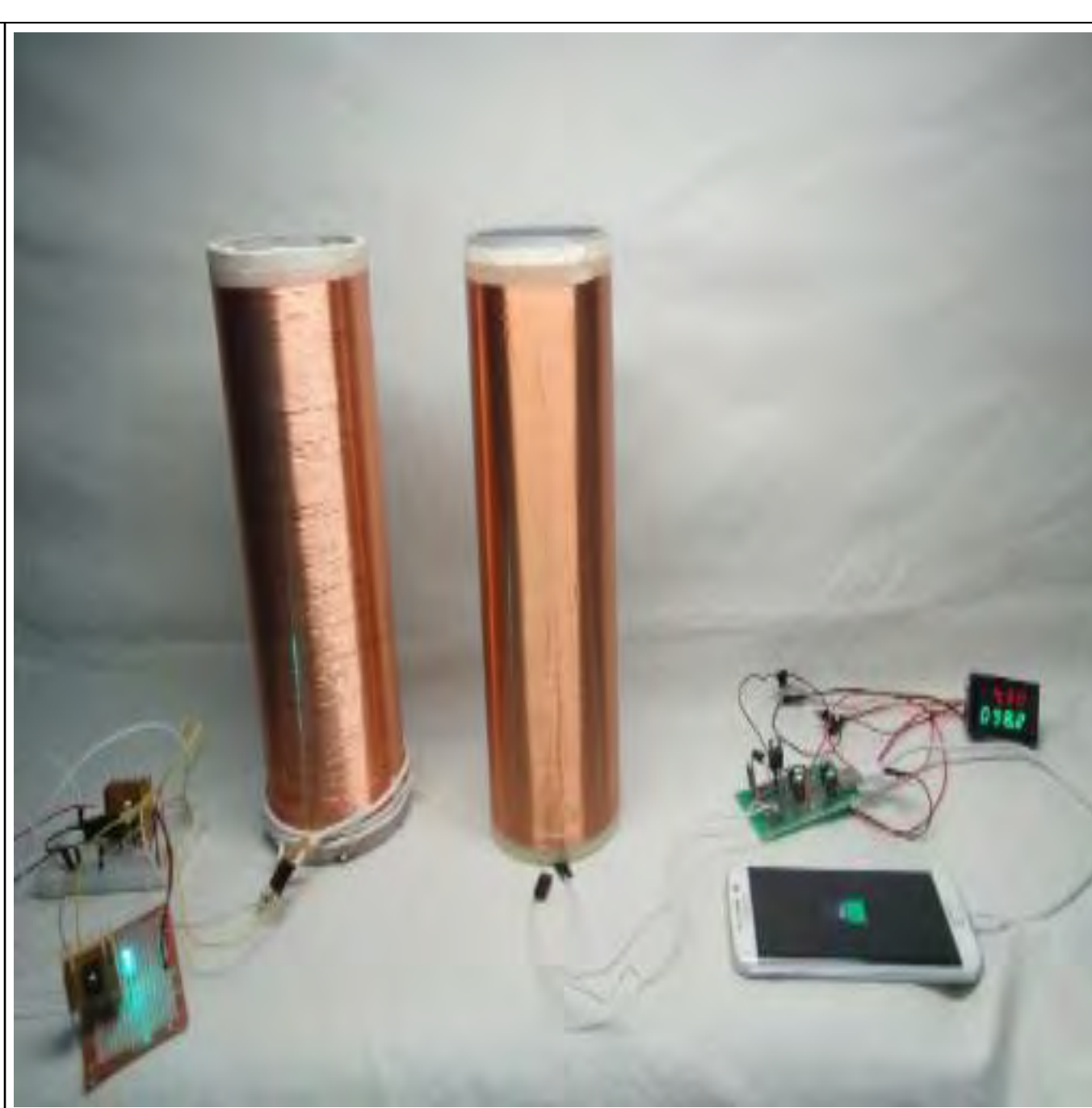
(三)比較第三、四代系統，全波整流較半波整流輸出較穩定且接近5V的電壓，而且電流也較高，所以可以提高充電速率。

(四)比較第四、五代系統，因為電流並聯的關係，兩筒特斯拉線圈比一筒特斯拉線圈可以產生更高的電流進而提升充電效能。

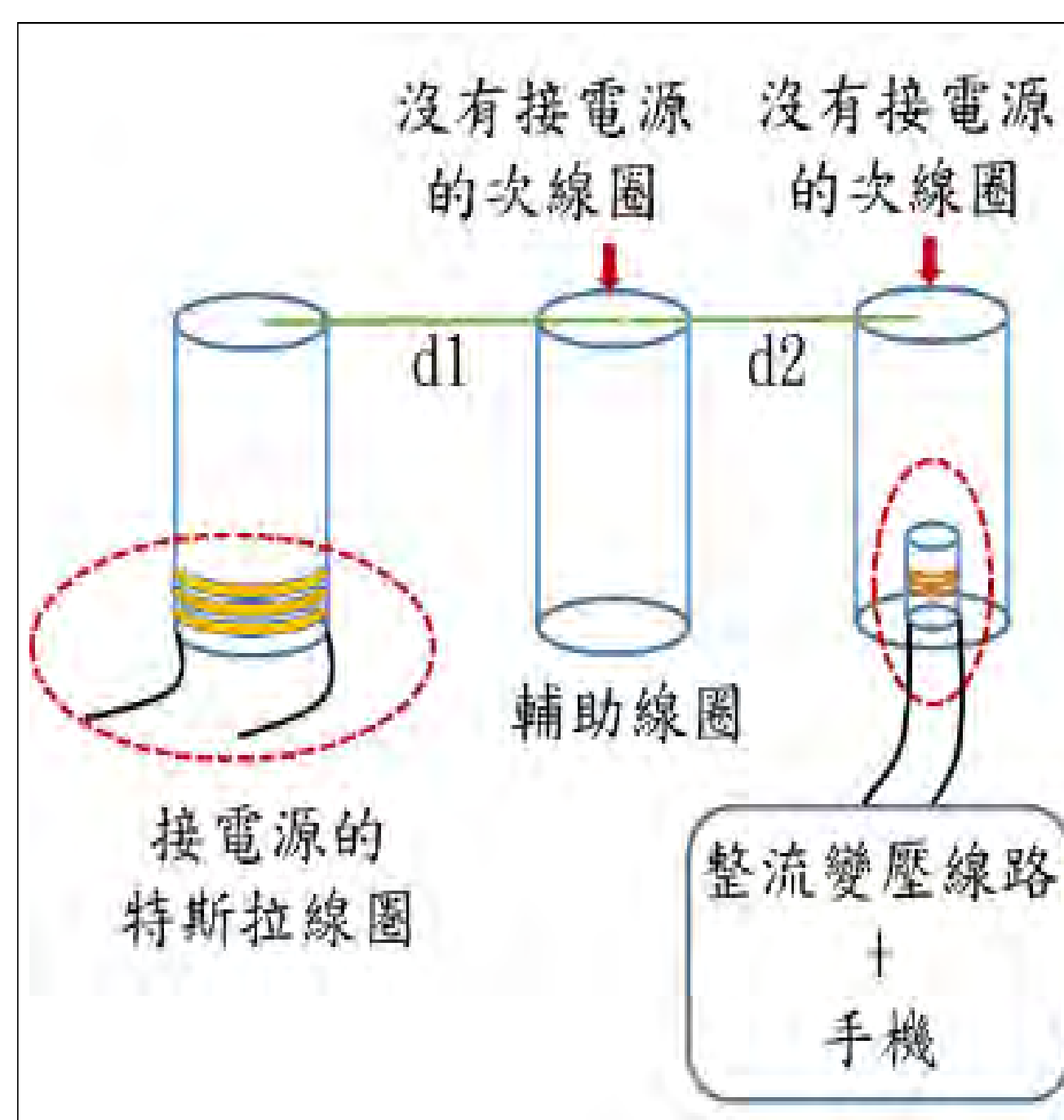
四、實驗八:增加無線傳電距離



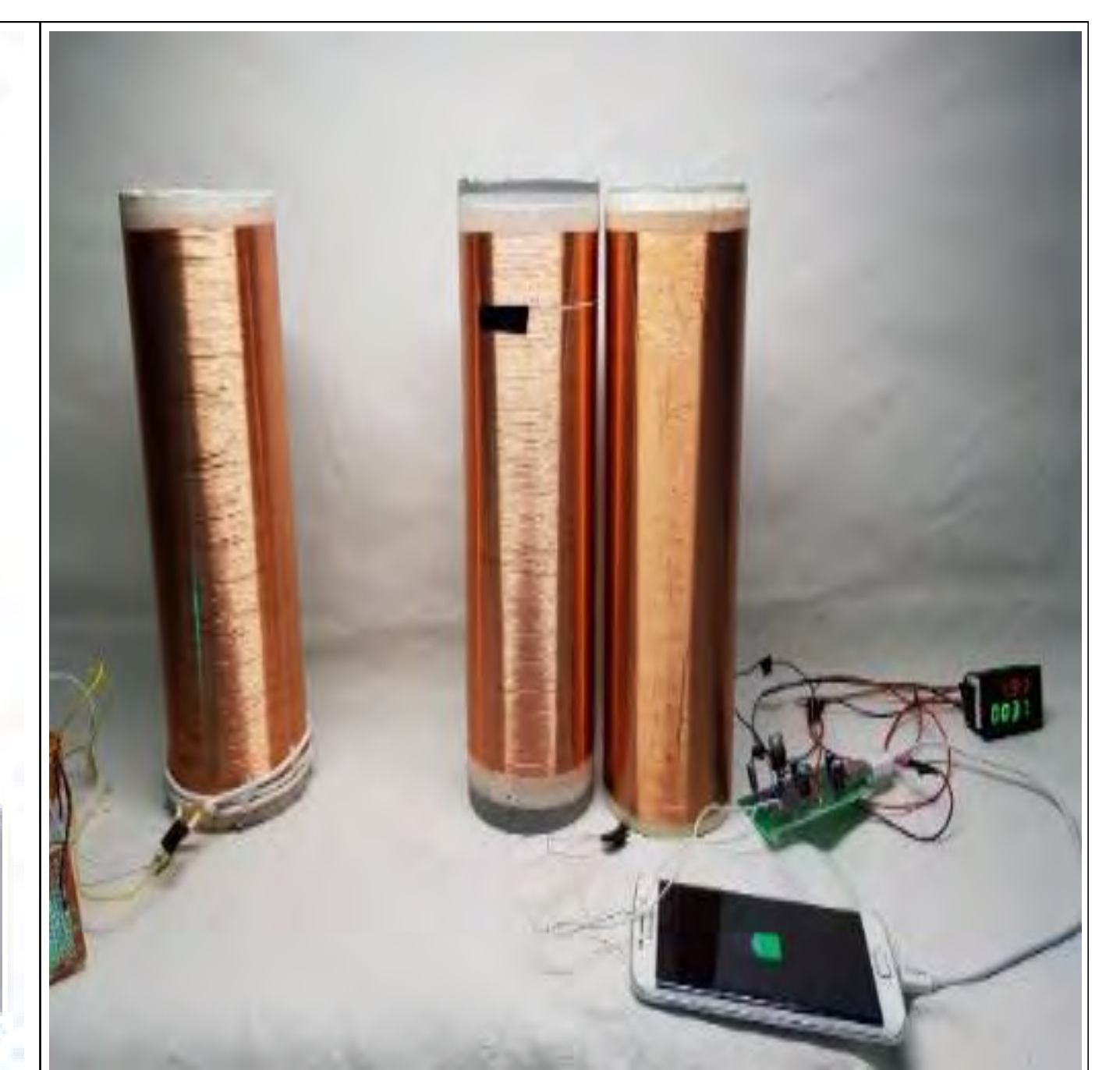
圖十一. 系統A示意圖



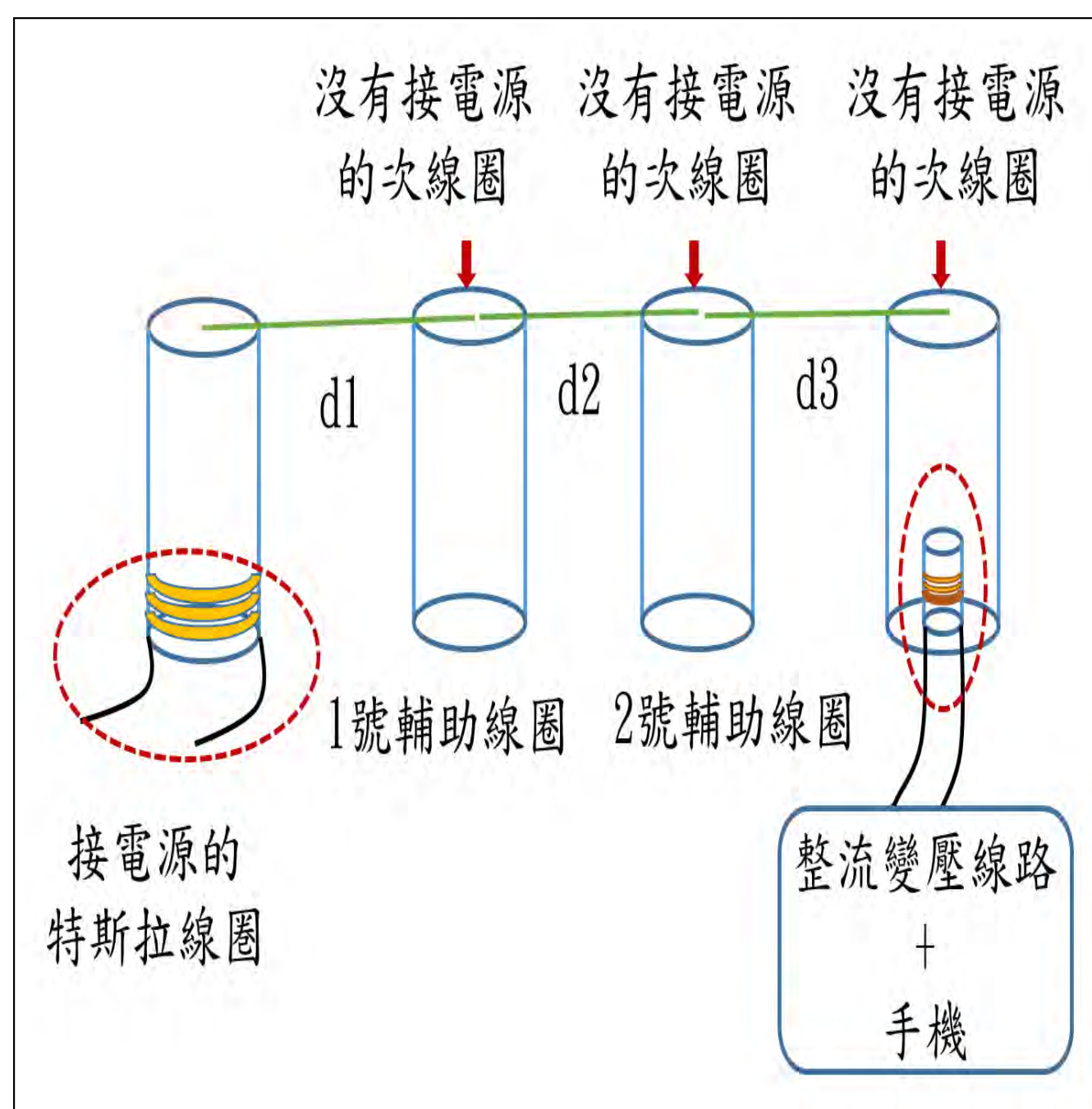
圖十二. 系統A實際圖



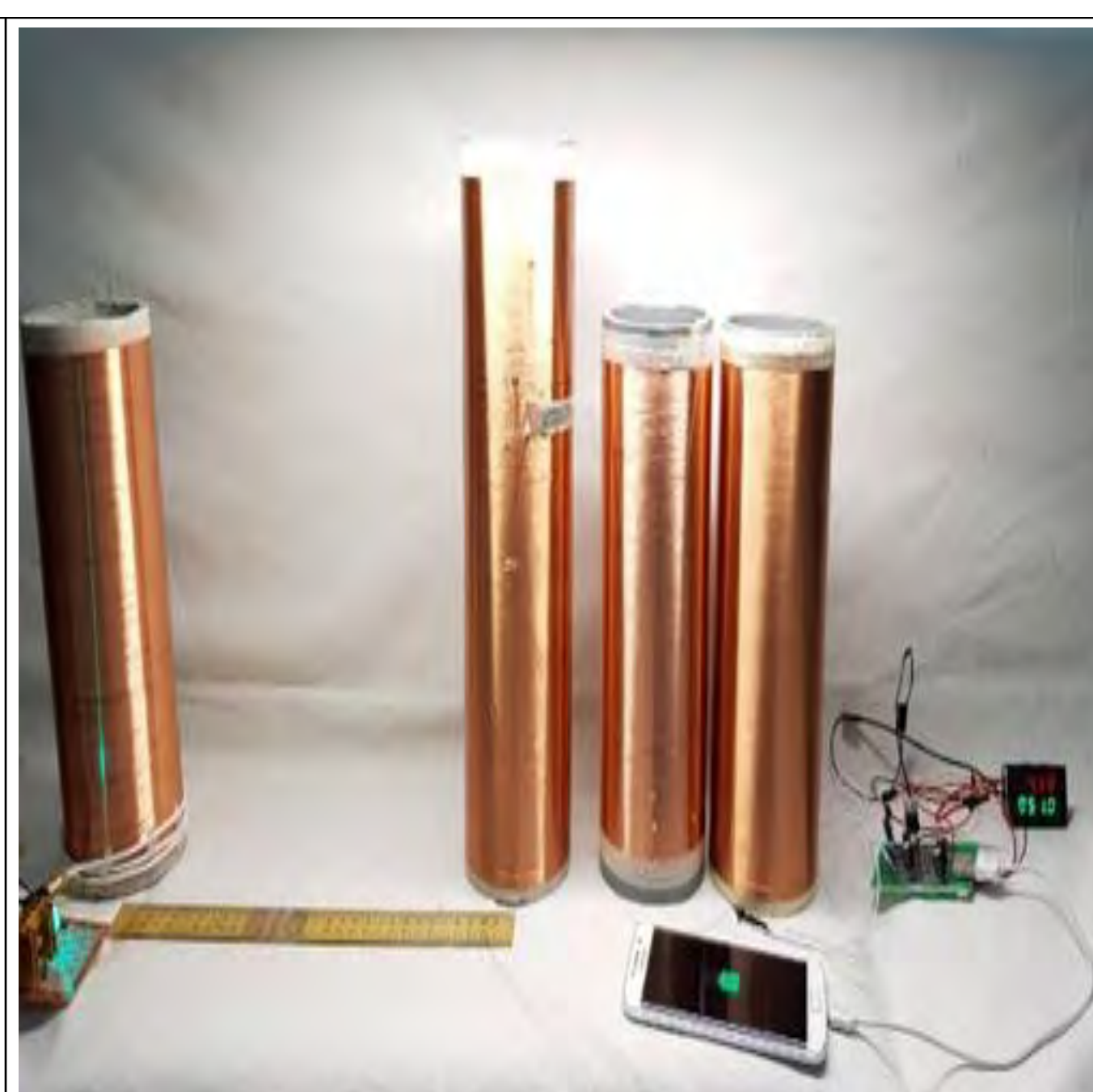
圖十三. 系統B示意圖



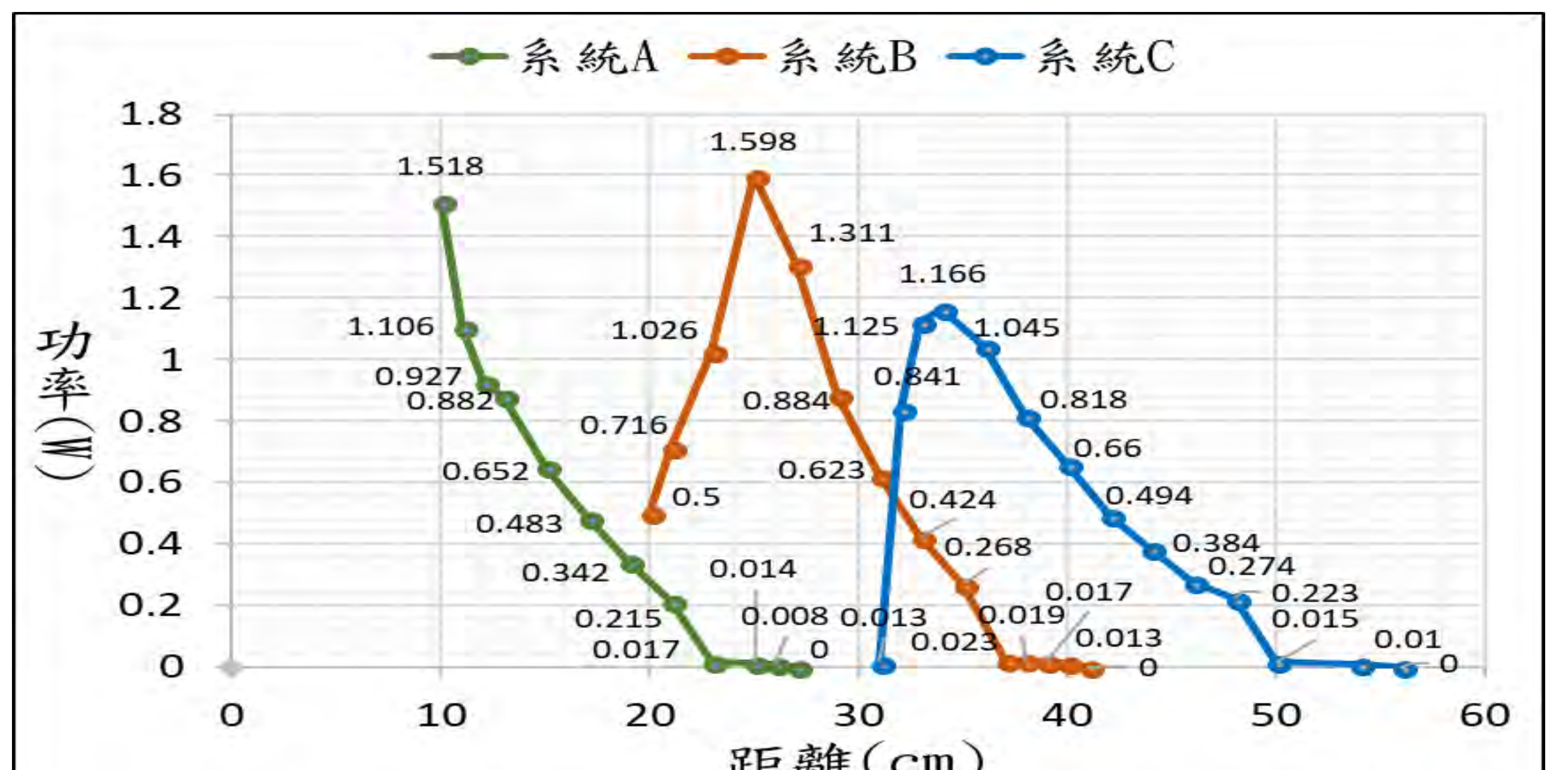
圖十四. 系統B實際圖



圖十五. 系統C示意圖



圖十六. 系統C實際圖

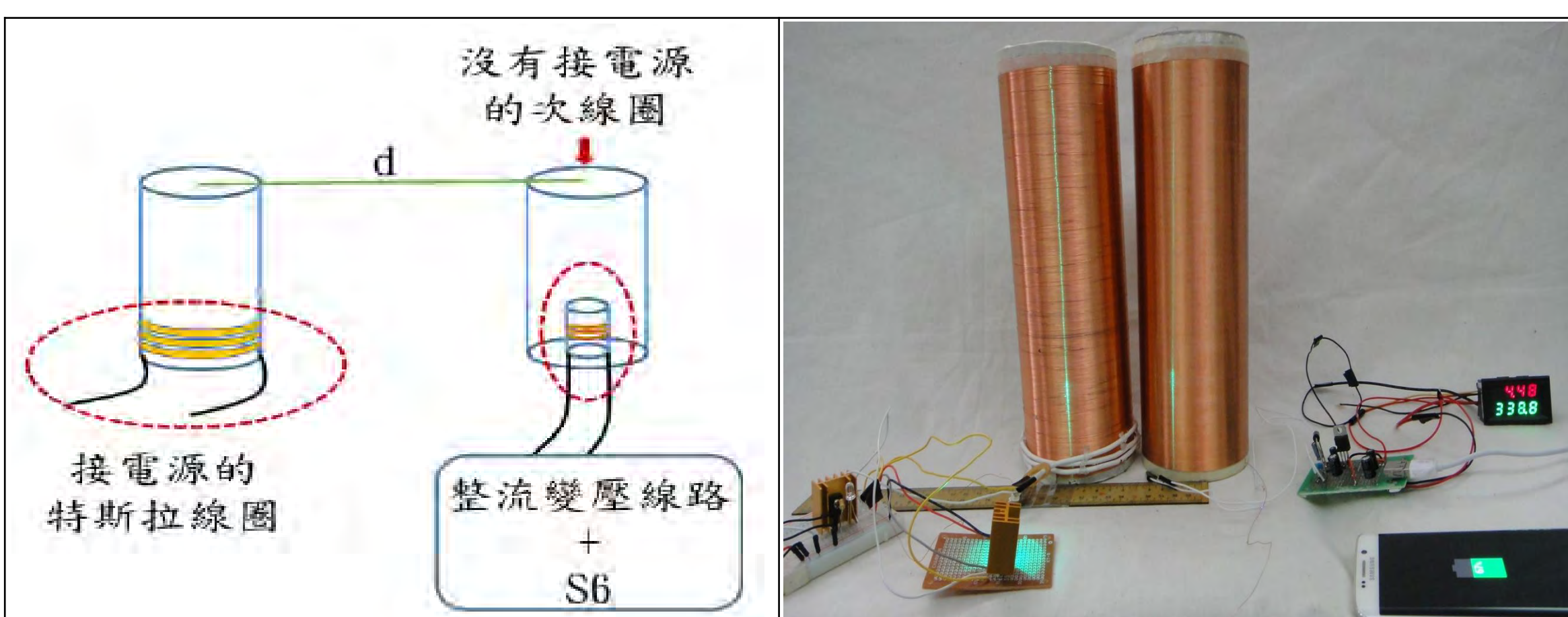


圖十七. 無線傳電距離和功率關係圖

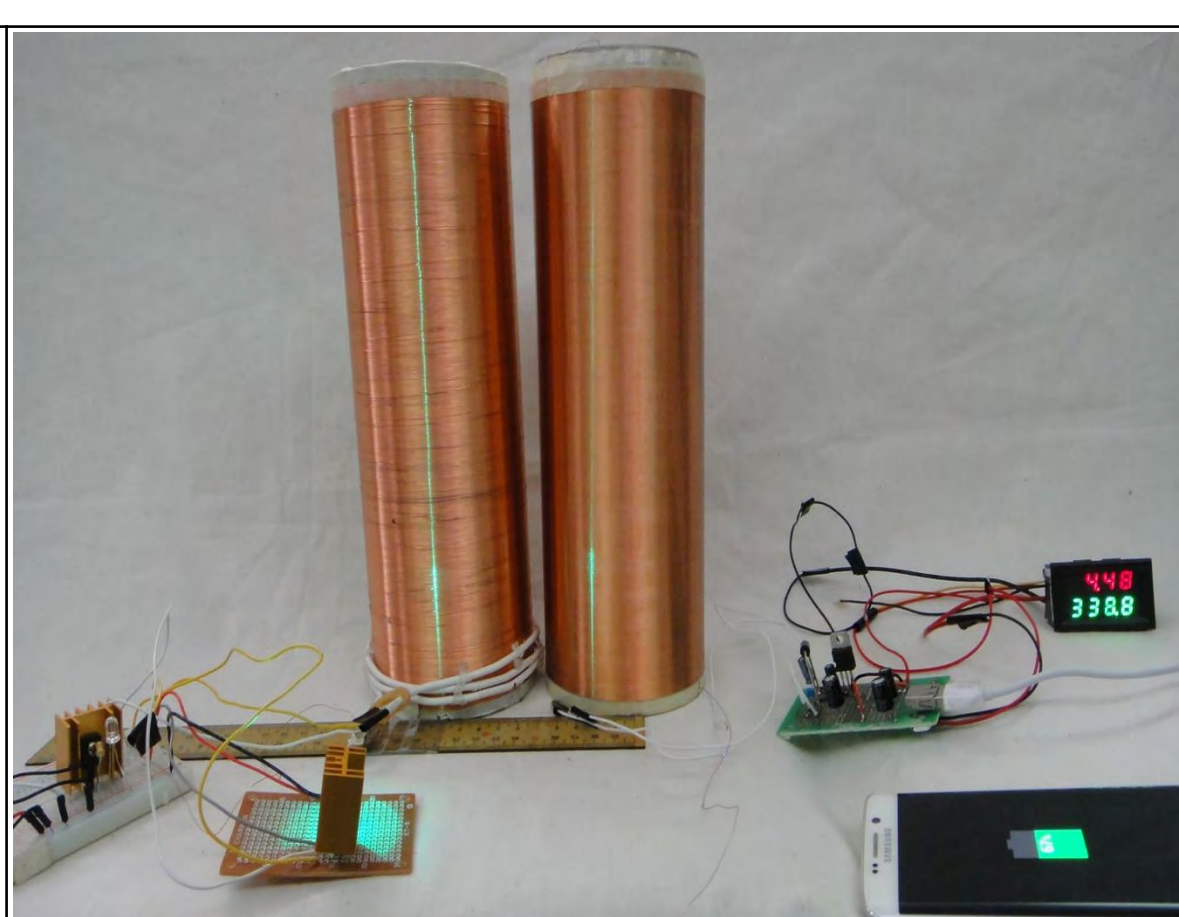
(一)無線距離25cm時功率1.598W，電池增加1%需3.78分鐘；無線距離34cm時功率1.166W，電池增加1%需5.19分鐘，跟第四代系統相比，雖然充電時間變久，但無線距離卻可以大為增加。

(二)以系統C而言，在距離50cm遠的地方，手機都還顯示在充電狀態。

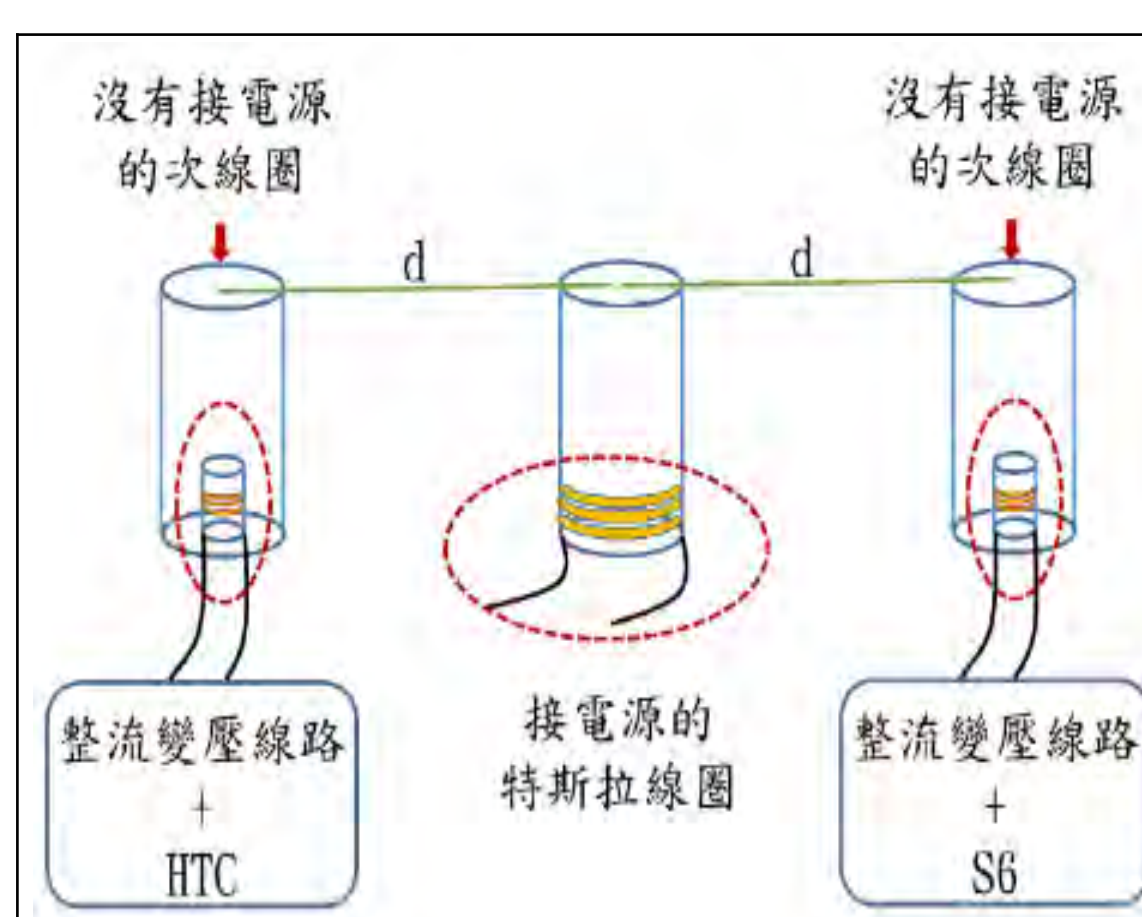
五、實驗九:多支手機同時充電系統



圖十八.
一對一充電示意圖



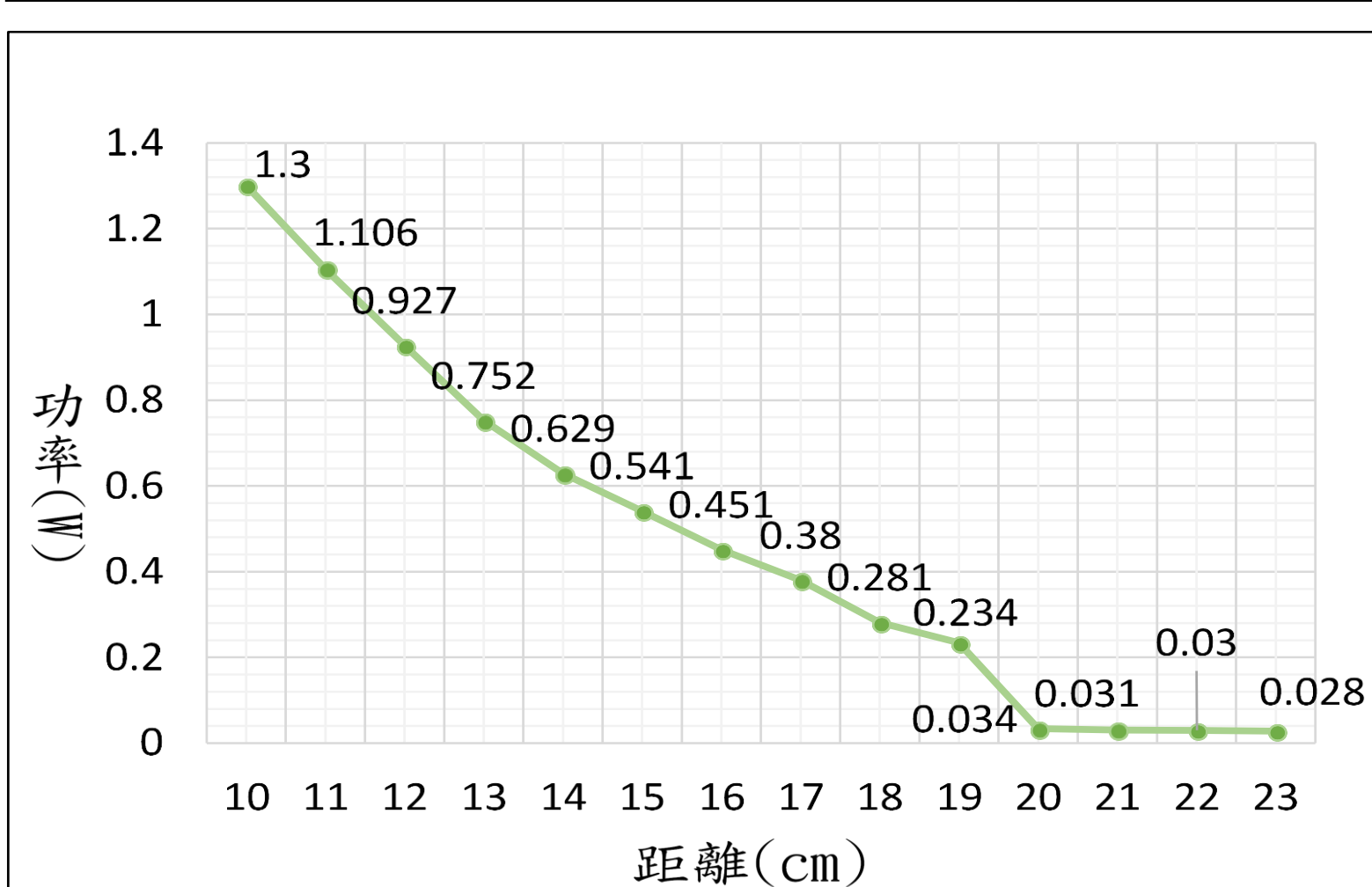
圖十九.
一對一充電實際圖



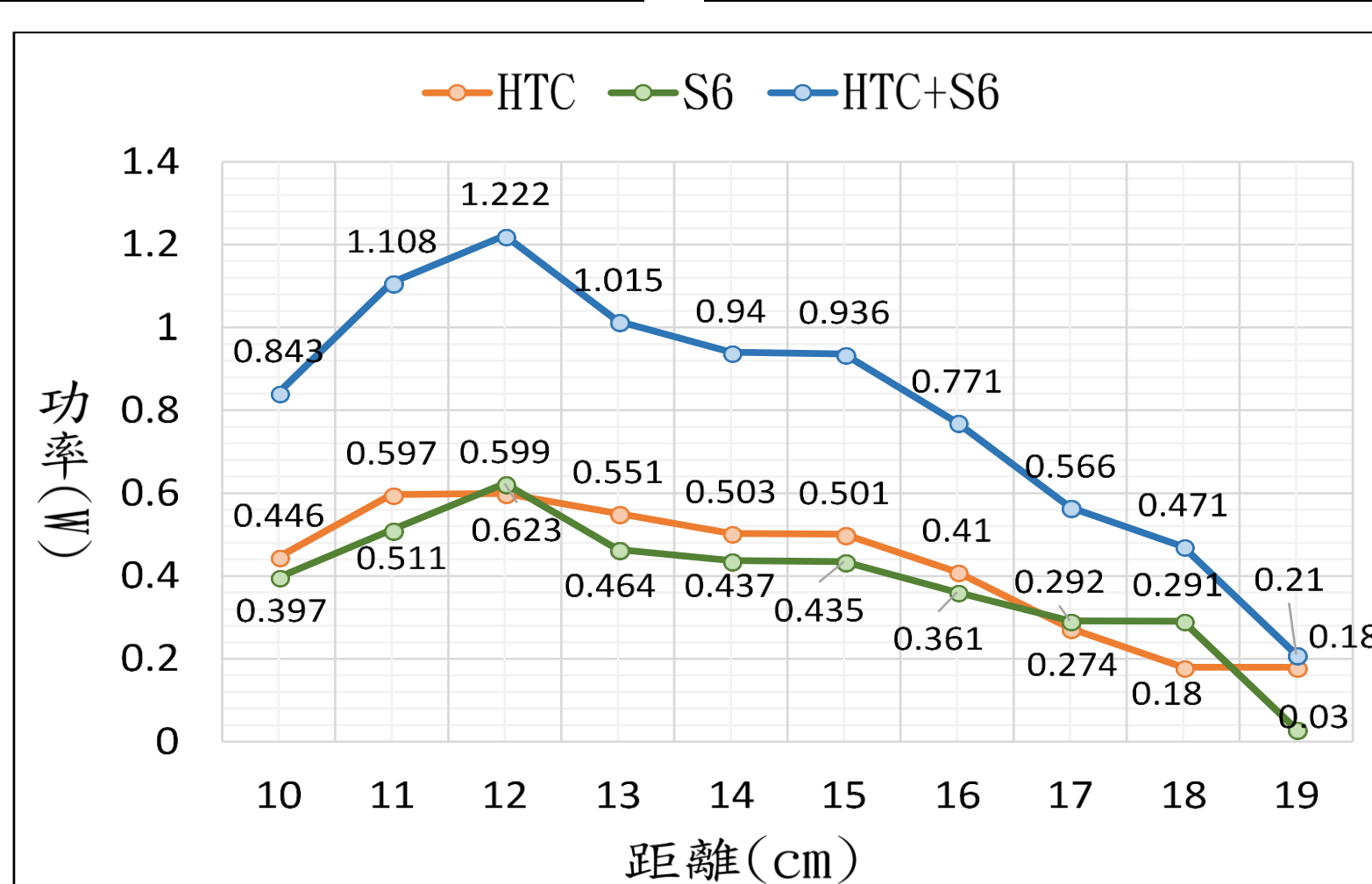
圖二十.
一對二充電示意圖



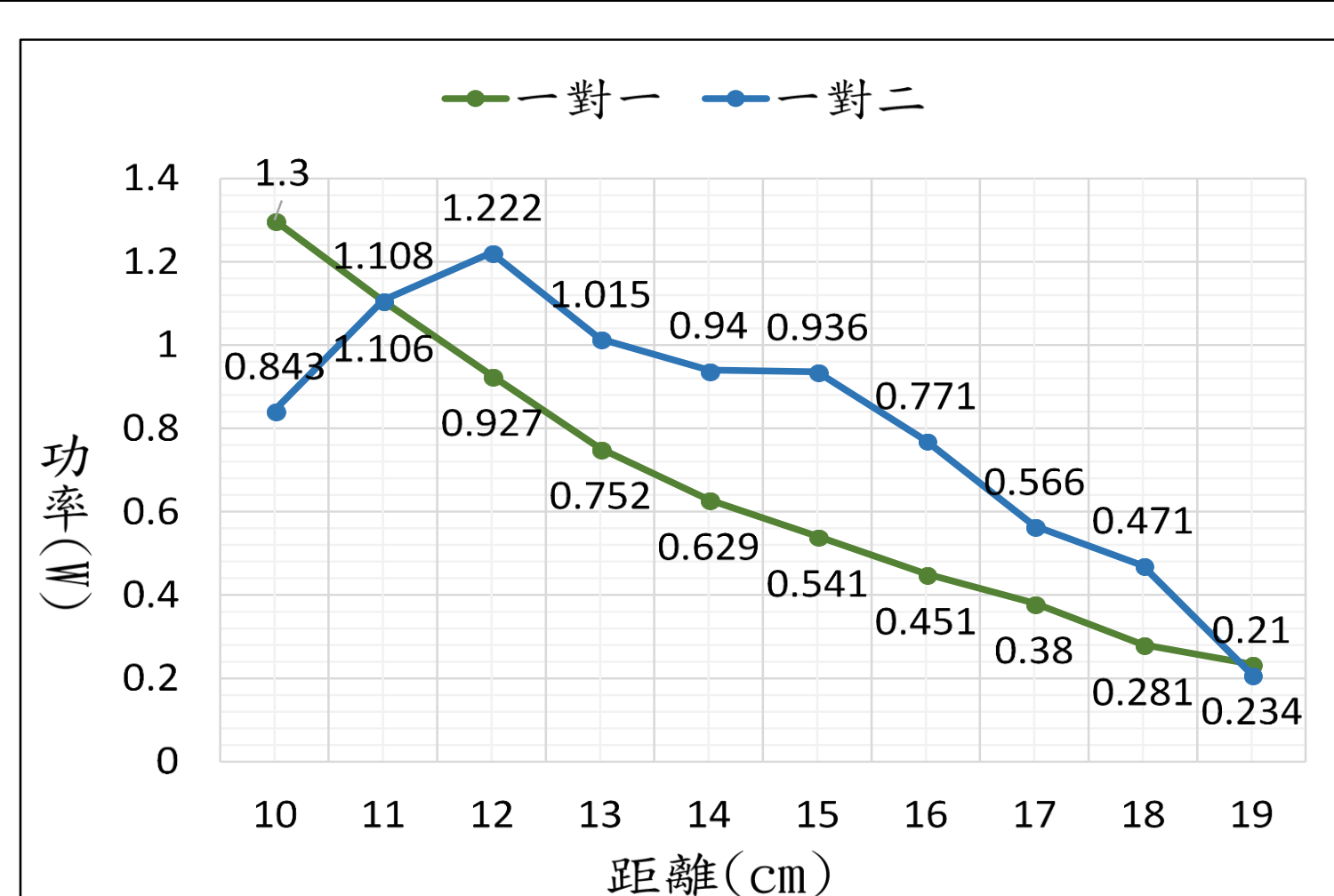
圖二十一.
一對二充電實際圖



圖二十二, 「一對一」
充電距離功率關係圖



圖二十三, 「一對二」
充電距離功率關係圖



圖二十四, 「一對一」和「一對二」
充電距離功率比較圖

(一) 充兩支手機時，單一支手機的功率雖然都比充一支時小，但功率並非和手機數成反比。當距離12cm時，「一對一」充電的功率0.927W，換算電池電量增加1%需6.5分鐘，而「一對二」兩支手機功率分別為0.599W、0.623W，換算電池電量增加1%需10.1分鐘、9.7分鐘。以這麼遠的無線充電距離來看，當兩支手機須要充電時，以「一對二」模式可以節省2.9分鐘，約22%的時間。

(二) 「一對二」充電模式兩支手機的功率總和大於「一對一」單支手機的功率，這代表在「一對一」充電時，有些能量散在空間中被浪費掉，善用這些散失的能量一定可以同時充更多支手機。

六、實驗十:比較市售產品和自製系統

表二. 市售產品和自製系統比較一

	Samsung閃充無線充電座	雜牌無線充電板	第五代無線傳電系統
電池電量增加1%所需時間(分鐘)	1.4	1.7	1.6
價格	市價2000元	市價300元	成本價200元
精確對準位置	需要	需要	不需要

表三. 市售產品和自製系統比較二

	Samsung閃充無線充電座	雜牌無線充電板	實驗八之系統C無線傳電系統
無線距離(cm)	1	1	50

表四. 市售產品和自製系統比較三

	Samsung閃充無線充電座	雜牌無線充電板	實驗九無線傳電系統
同時充電手機數	一支	一支	多支

肆、結論

- (一) 本研究使用的特斯拉線圈電路可以點亮燈泡、產生電弧。
- (二) 實驗所設計的無線傳電系統可以為手機進行無線充電。
- (三) 更改感應線圈的擺放方式，可以在20cm~30cm遠的距離進行無線充電，雖然充電效能會隨距離增加而下降，但在有限的功率損耗下，操作使用之距離可以大為增加。
- (四) 利用特斯拉線圈散佈在空間中的能量，本實驗設計的系統可以同時充多支手機。
- (五) 自製系統的充電效能和市售產品相當，但無線充電距離遠遠超過市售產品，也可以同時充多支手機，製作成本低廉，並且不須精確對準線圈位置即可使用。

伍、參考文獻

- 佚名 被世界遺忘的天才-特斯拉回憶錄 北京：法律出版社
- 無線充電技術 科學發展期刊 540期
- 充電像Wi-Fi一樣自由，迪士尼展現無線供電房間 科技新報 20170202 網址：
<http://technews.tw/2017/02/22/quasistatic-cavity-resonance-for-ubiquitous-wireless-power-transfer/>
- 無線充電系統發展技術介紹 車輛研測資訊 108期2015-10 網址：
https://www.artc.org.tw/upfiles/ADUpload/knowledge/tw_knowledge_501525427.pdf