

中華民國第 59 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

052312

神奇的雙線智能無線開關-無源無線開關之研究

學校名稱：新竹市立成德高級中學

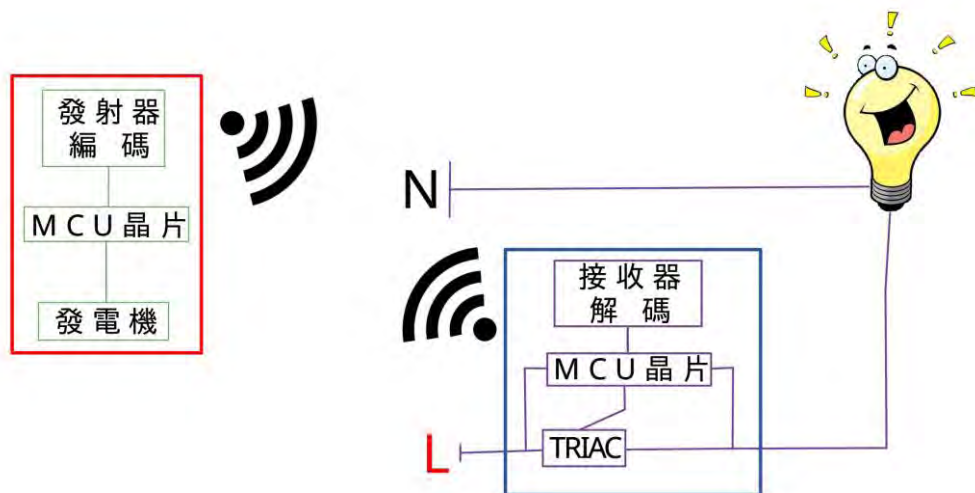
作者： 高二 黃千碩 高二 蔡佩妤 高二 程宇揚	指導老師： 涂悅朱
---	------------------

關鍵詞：無源無線、按壓發電、鬼火

摘要

自發明電燈以來，一直採用有線的控制方式，須在牆上開槽、埋管線、穿電線來安裝開關，以控制燈泡，若要加其他開關須重新鋪線。為解決此問題而發明無源無線開關，但成本高、配線複雜，是目前的痛點。

本研究特色在於直接使用內建無線接收模組的控制器開關取代傳統 2P（二個接點）開關模式，從雙向開流體的開關接點上取得漏電流的能量來提供接收模組所需電源，且無鬼火發生的問題，以取代市面上需額外加電源線的問題，只要雙線且不分極性，以達到接收器無源的目的；利用電磁感應定律，藉由按壓方式使線圈內磁力變化進而產生感應電流，以達到發射器無源的目的，將此二種設計整合即可達到無源無線多控的目的，且降低製造和配線的高額成本。

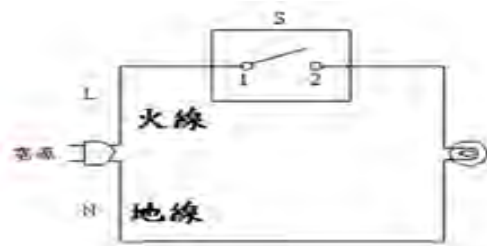


圖(0-1)

壹、研究動機

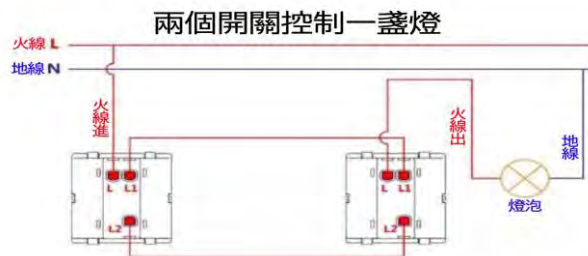
在現代社會中，我們的身邊充斥著許多年齡較高且行動不便的長者，對於行動不便者而言，即使是走去開燈也是一件艱難的事，因此我們開始尋找方便使用的開關，卻發現無源無線開關不但價格高昂且配線複雜，對於需要的人來說，想使用的慾望大幅降低。看到上述的困難，我們決定自己設計，把配線簡單化，再搭配 1~N 個無線的分身開關，使無源無線開關附有遙控器且價格降低，令行動不便者即使坐著也可以輕鬆的開關電燈。

一、家用開關(原有 2P 開關配線)



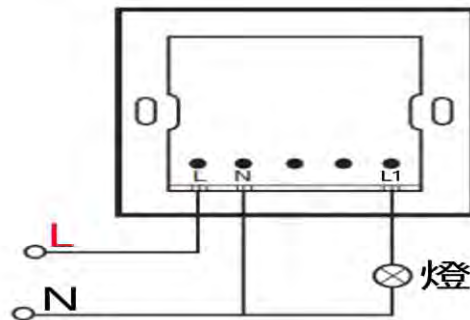
圖(1-1)

二、家用開關改雙開關，傳統配線，需在牆壁上開槽、埋管線、穿電線，並更改為 3P 開關



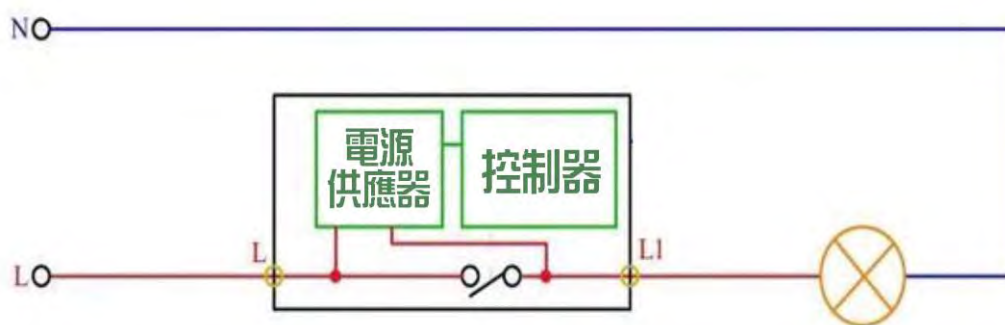
圖(1-2)

三、遙控開關附三條線 (N、L、L1) 的控制器，一條線只能控制一盞燈，且非真的無電源，價格高配線複雜，又比較耗電。



圖(1-3)

四、遙控開關附雙線控制器，接收器內含多種元件成本高且耗能，所以發射器需加電池，並非真的無電源。



圖(1-4)

貳、研究目的

一、研究中希望可以使價格相對於市面上更為低價的無源無線開關。

目前市面上的無源無線開關因為內建 Wi-Fi 模組和外掛的控制器單價昂貴，一個遙控開關約 500~1000 元，因此較無法普及。

二、研究中希望可以將原有的開關改換為內建無線接收控制器的開關，不需再多配線。

三、研究中希望可以實現免電池節能的開關。

目前市面上的無源無線開關設計上有的採用降壓式電源供應器，輸入電壓大於輸出電壓，希望改用其他方式設計低功耗的控制方式節能，以達真正的無源無線控制。

四、配線簡單化。

價格昂貴主要是因為配線太過於複雜，需找專業水電師傅施工，如果使配線簡單化，不但可以節省大量成本，且可迅速進入智能家居生活。

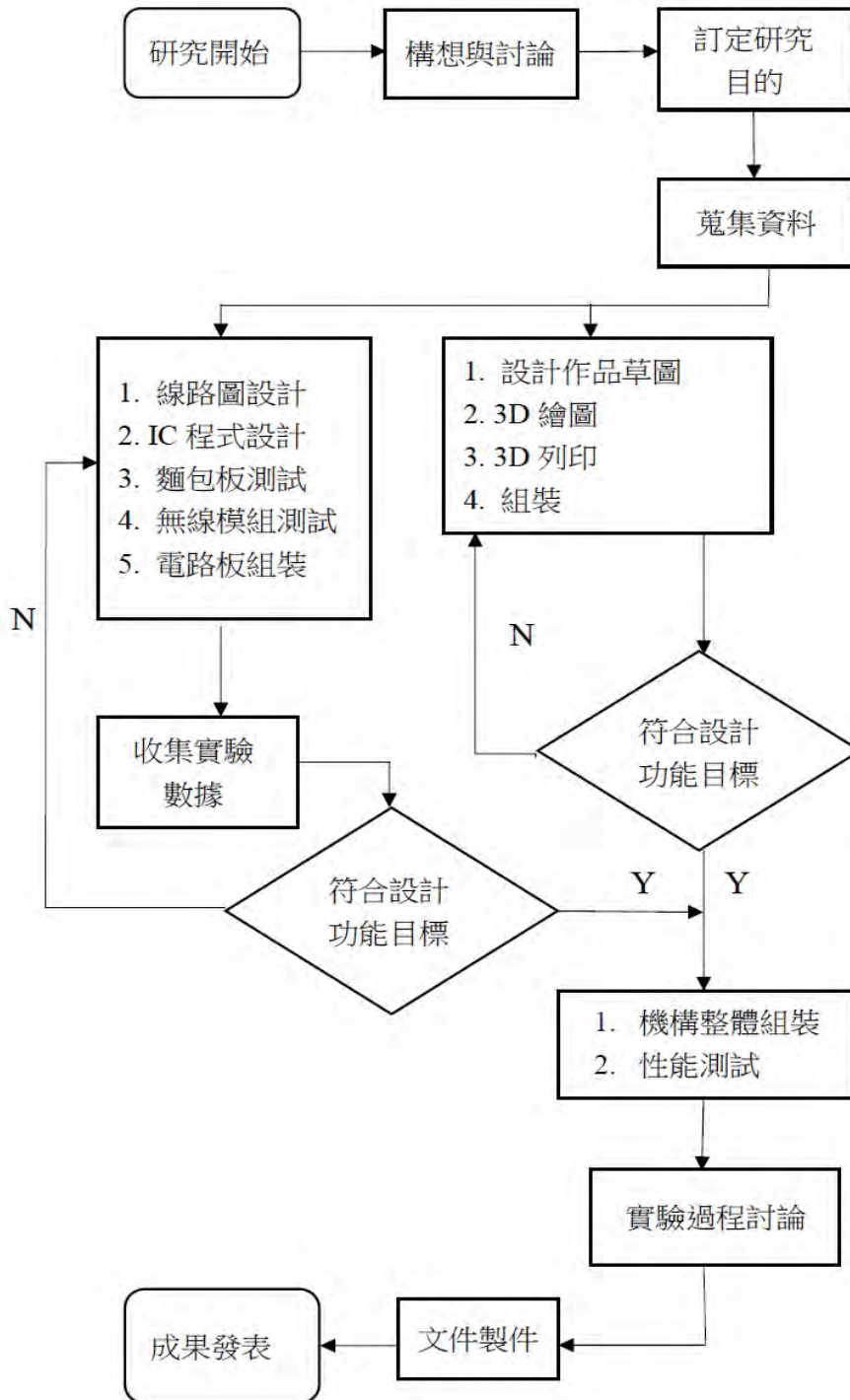
參、研究設備及器材

設備與器材 (測試工具)				
說明	電子模擬系統	測試線	示波器	電源供應器
設備與器材 (軟體、程式 燒錄)				
說明	Microchip 燒錄軟體	Microchip 燒錄器	Microchip 晶片 PIC16F54	自製 Microchip 燒錄用麵包板
設備與器材 (軟體、3D、 耗材)				
說明	SolidWorks 2016	3D 印表機	3D 線材	鎗刀
設備與器材 (電路板製 作、材料元 件)				
說明	TRIAC	線材	洞洞板	麵包板
設備與器材 (電路板製 作、材料元 件)				
說明	電阻	H34S 發射模組	H3V4F 接收模組	電容
設備與器材 (工具)				
說明	電烙鐵	尖嘴鉗	焊錫	十字起子

肆、研究過程或方法

一、製作流程圖

本研究之製作流程圖,如下所示:



圖(4-1)

二、蒐集資料

(一)、尺寸的設定

- 1、無線按壓遙控開關：依實驗後實際需求為設計依據
- 2、無線控制開關：以一般牆壁上的開關尺寸為設計依據

(二)、價格的調查

目前市面上的無源無線開關，採用無線傳輸，並外加一個控制器，且需要額外請水電工施工配線，此種設計成本高很多，故售價約落在 500~2000 元。

(三)、電能的來源

目前無源無線開關，控制器需用市電，故設計上需 3 條線，按壓式開關則不需用電或裝電池。



圖(4-2)

(四)、機構設計

市面上三線無源無線開關，圖(4-3)，除遙控開關外還需外加一個控制器，原有的牆壁開關也不能用了，配線相當複雜；而雙線無源無線開關，圖(4-4)，遙控開關須加電池。



圖(4-3)



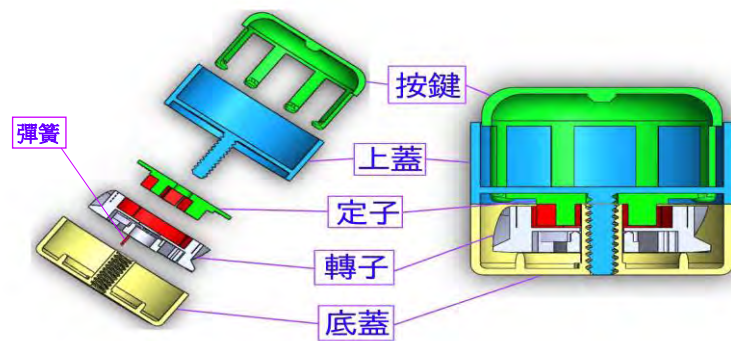
圖(4-4)

三、製作暨測試

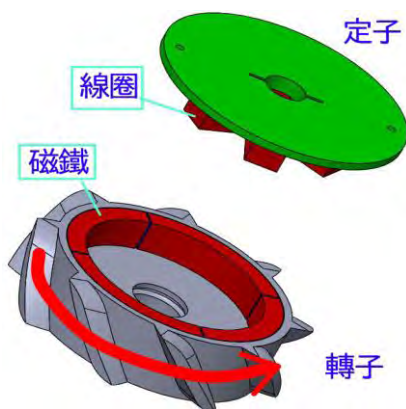
為達到研究目的，規劃出三階段的實驗：**第一階段**為「製作按壓開關」，利用 3D 繪圖軟體配合 3D 印表機，做出了一個按壓開關雛形，確認按壓動作可以發電。**第二階段**為「製作無線控制開關」，修改原有的開關並且加入控制器，確認可以接收無線按壓遙控開關傳出的信號，並可控制電燈的開與關。**第三階段**為「整合成品」，將先前二階段的研究結果整合，以設計出與市面上不同的無源無線開關。

(一)製作無線按壓遙控開關

按壓開關的製作，先研究討論後，再利用繪圖軟體將設計出的工作圖以 3D 印表機列印出成品，經過數次設計及改良，我們做了很多修正，有作品一 (圖(4-5)、圖(4-6)、圖(4-7))，作品二 ((圖(4-8)、(圖(4-9)))。



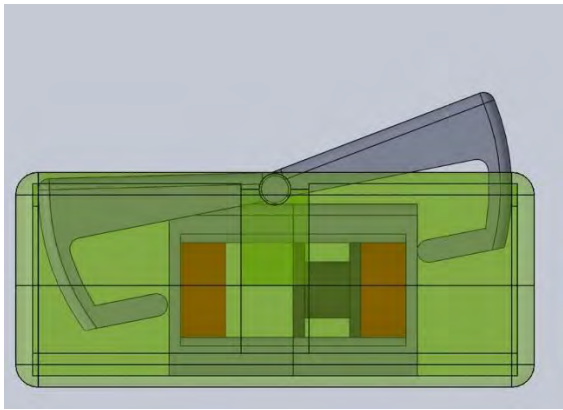
圖(4-5)



圖(4-6)



圖(4-7)



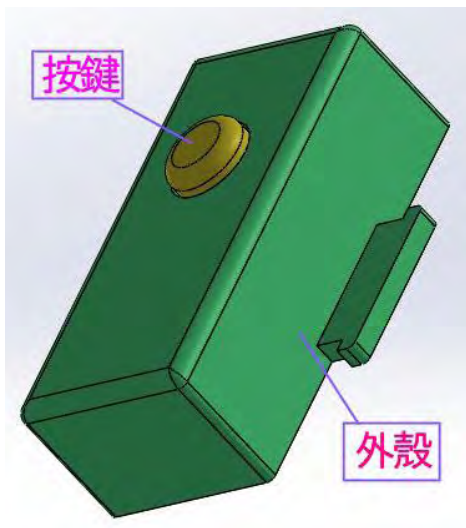
圖(4-8)



圖(4-9)

(二)製作無線控制開關

控制開關的製作，先研究討論後，再利用繪圖軟體將設計出的工作圖以 3D 印表機列印出成品，經過數次設計及改良，我們做了很多修正，有作品三 (圖(4-10)、(圖(4-11))，作品四 ((圖(4-12)、(圖(4-13)、(圖(4-14))。



圖(4-10)



圖(4-11)



圖(4-12)



圖(4-13)



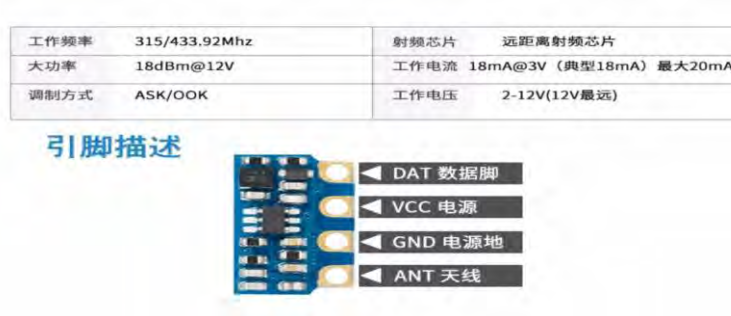
圖(4-14)

(三)作品整合

1、主要元件簡介

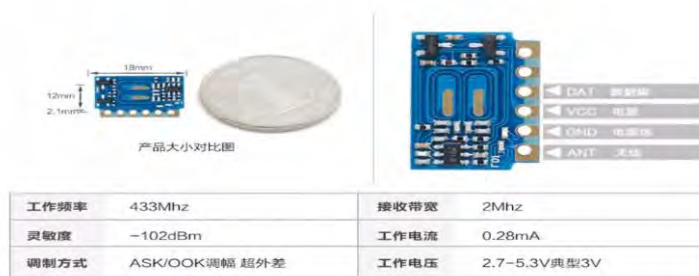
(1)RF 模組：

- ① H34S 無線發射模組 / 433 MHz：具有小體積、低功耗、寬電壓範圍、穩定性高等優點。



圖(4-15)

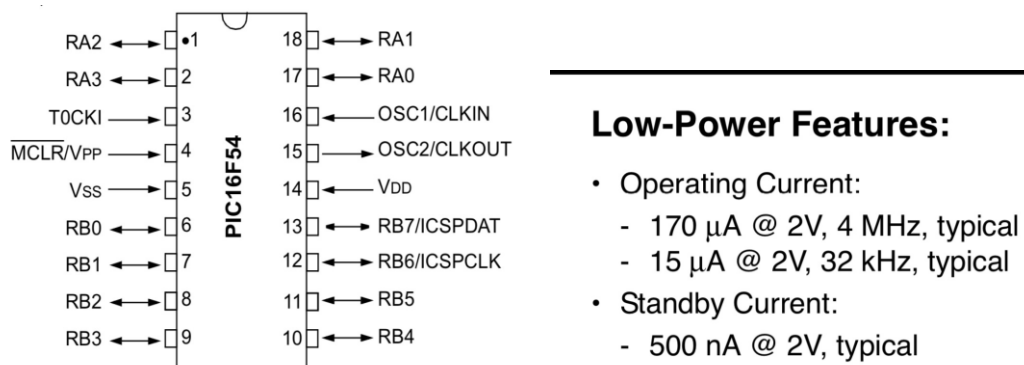
- ② H3V4F 無線接收模組 / 433 MHz：具有小體積、低功耗、高靈敏度等優點。



圖(4-16)

(2)MCU 晶片：Microchip 晶片 PIC16F54

使用串行方式編程，具有設計靈活性，用在編解無線模組的串列碼及各種控制。



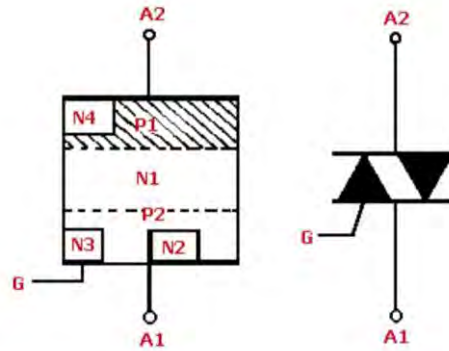
圖(4-17)

(3) TRIAC(Triode AC Semiconductor Switch)

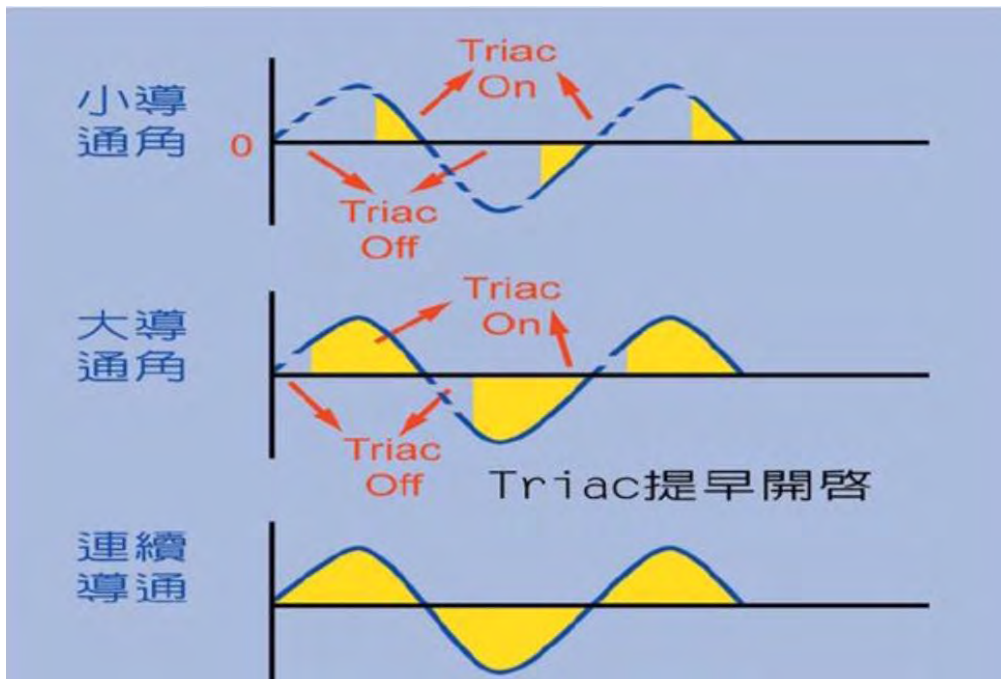
雙向閘流體(TRIAC)是一種半導體器件，常用於功率控制的應用。如圖 (4-19) 是一功率控制電路，該控制電路以串聯的方式，與交流電和負載(燈泡)相連。其主要功能適用於控制整個電路的導通時間。導通時，控制電路如同短路，並可使電路導通。



圖(4-18)



圖(4-19)

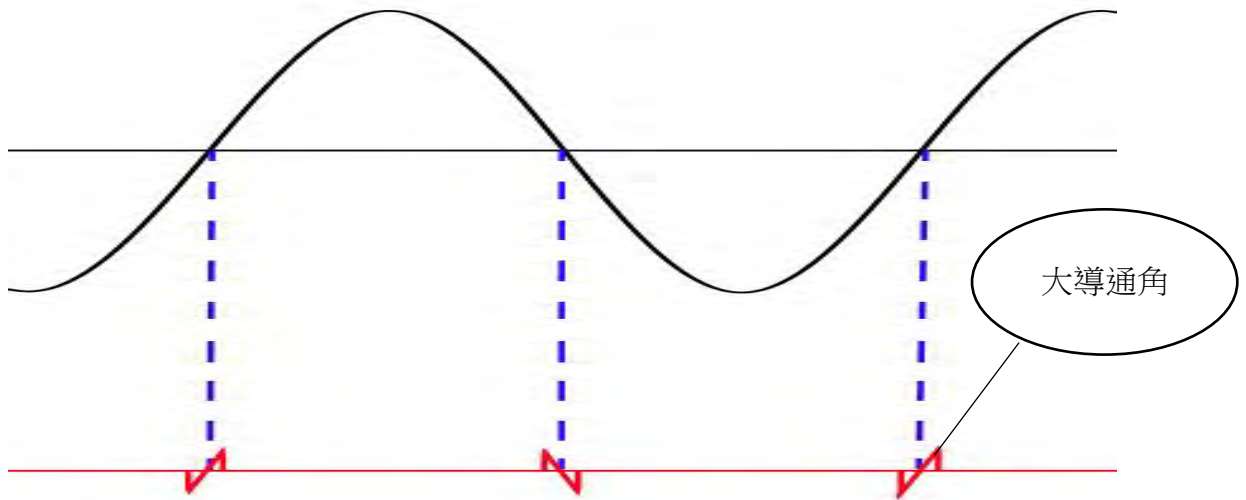


圖(4-20)

2、無線控制開關之雙線(L, N)設計：使用漏電流的方式取電

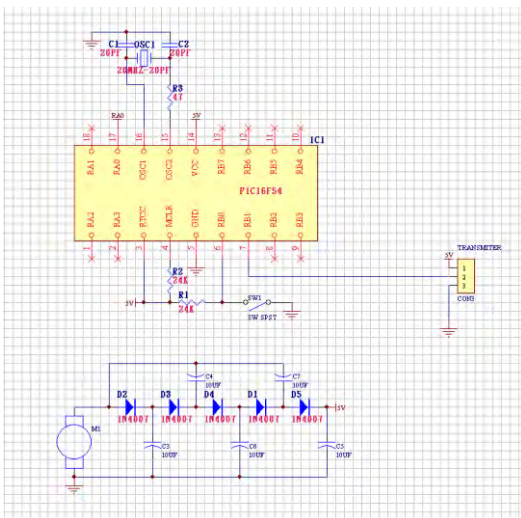
如圖(4-23)，利用雙向閘流體(TRIAC)在 ON 時，會出現大導通角(如圖 4-21)，使得 A1, A2 上會出現未被觸發的電源，此時 MCU 經由二極體 D1、電阻 R1 及 R2 兩個路徑供電，產生驅動電晶體 Q1 的信號使得電晶體 Q1 導通，MCU 可獲得更多的能量。

當雙向閘流體(TRIAC) OFF 時，電晶體 Q1 亦 OFF，MCU 經由二極體 D1，電阻 R1 供電，因此可以只在雙線的情況下，不管雙向閘流體(TRIAC)如何，可由控制電晶體 Q1 來取得 MCU 的工作電源。



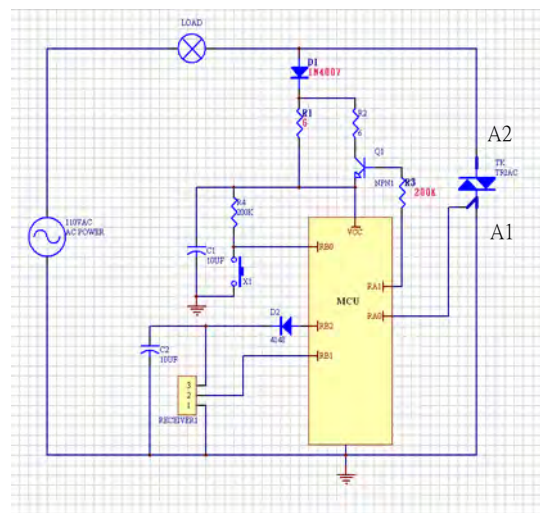
圖(4-21)

3、第一代線路圖設計



無線按壓遙控開關

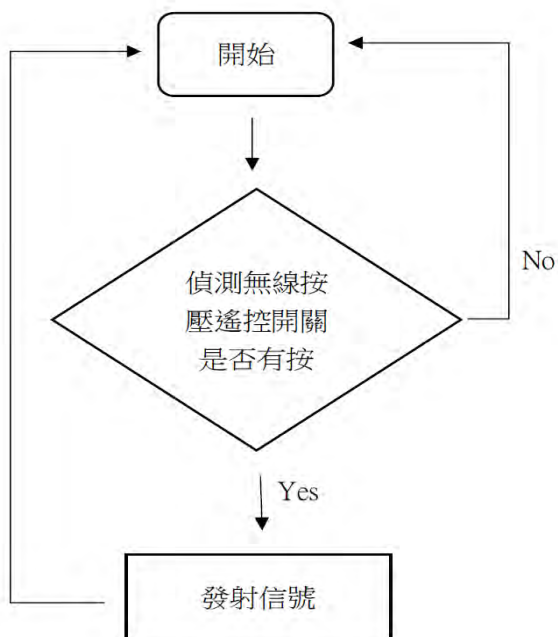
圖(4-22)



無線控制開關

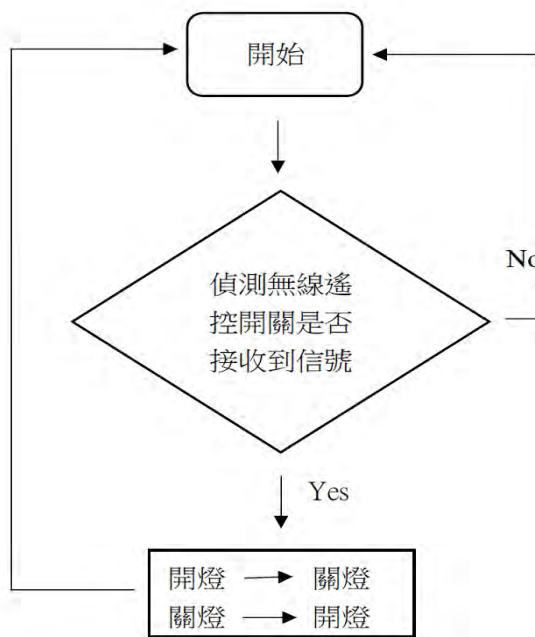
圖(4-23)

4、製作程式流程圖



圖(4-24)

無線按壓遙控開關程式流程圖



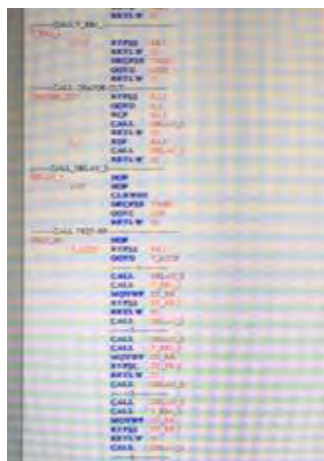
圖(4-25)

無線控制開關程式流程圖

5、第一代作品整合

(1)MCU 程式設計

程式經多次修正測試後，可按照程式流程圖的步驟執行。



圖(4-26)

無線按壓遙控開關程式



圖(4-27)

無線控制開關程式

(2)無線按壓遙控開關發射信號測試：

<實驗 1>

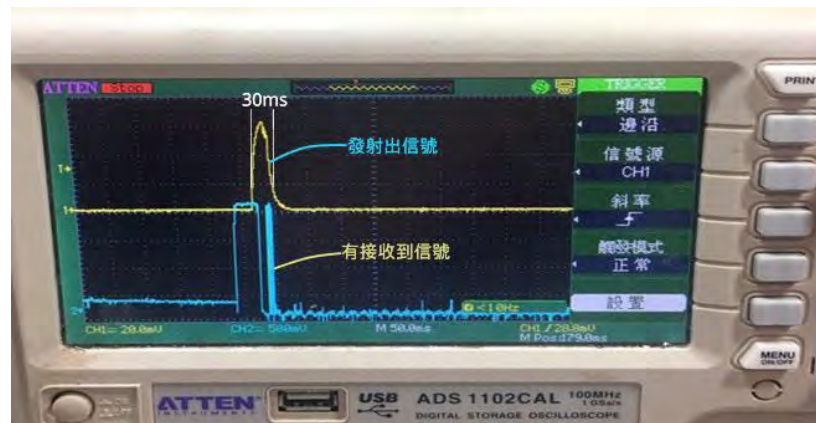
目的：測試接收器的信號反應，找出按壓遙控開關所需的最佳電能條件。

步驟：利用信號產生器模擬發射器的電源及時間，接收器則一直處於工作狀態，發射器連續發射信號以測試接收器的信號反應。

結果：

提供 3V 電源時間至按壓遙控開關	接收器是否有收到信號	訊號穩定度
10 ms	沒有	/
20ms	間斷	
30 ms	有	低 ↓ 高
40 ms	有	
50 ms	有	
60 ms	有	

表(4-1)



接收器信號反應 圖(4-28)

結論：依據發射模組供應的時間長短測試接收器的信號反應，由實驗結果可知，20ms 在信號接收與否的臨界處，穩定度較差，而 60ms 耗電量過大，而 40ms 與 50ms 相較之下，50ms 在傳輸信號靈敏度方面較佔優勢，綜合以上分析，將選擇 50ms 的發射時間作為下階段實驗的固定時間(控制變因)。

(3)無線控制開關接收信號測試

<實驗 2>

目的：測試發射器要發多少的電壓，才可使接收器收到信號。

步驟：將按壓距離、磁石、定子線圈、發射時間(50ms)四項為控制變因的條件，改變按壓開關內彈簧的外徑，測試按壓開關後所獲得的電壓可以讓無線控制開關接收到信號，觀察燈泡是否可控制。

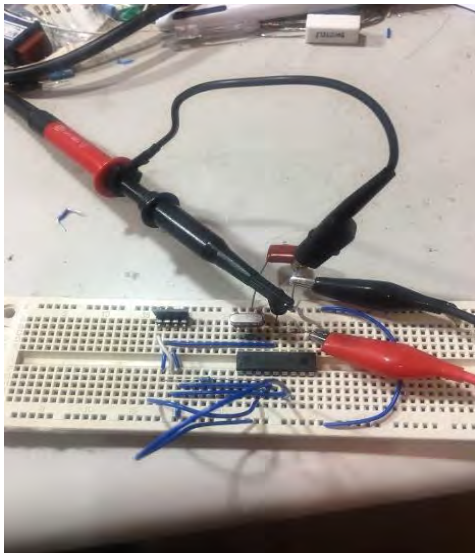
結果：

彈簧外徑 (mm)	轉子旋轉 的圈數	按壓所獲得 的電壓	發射次數	燈泡是否 可控制
0.2	0.3	2V	0	不可
0.4	0.8	5V	2	可
0.6	1.5	5V	5	可

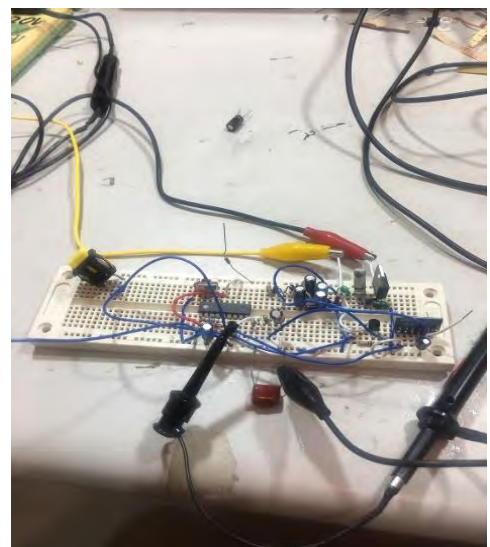
表(4-2)

結論：按壓發射器後獲得的 5V 電壓，可以讓接收器接收到信號以控制燈泡。

(4)第一代作品基礎整合成功



圖(4-29)
發射器



圖(4-30)
接收器

(5)第一代成品性能測試

將電路板、磁石轉子等元件置入 3D 列印成品中，組裝完成後進行操作，當按壓開關時，發電機會產生電能而發射信號，當無線控制開關接受到信號後，晶片會下指令以控制負載(燈泡)的開或關，如圖(4-31)。



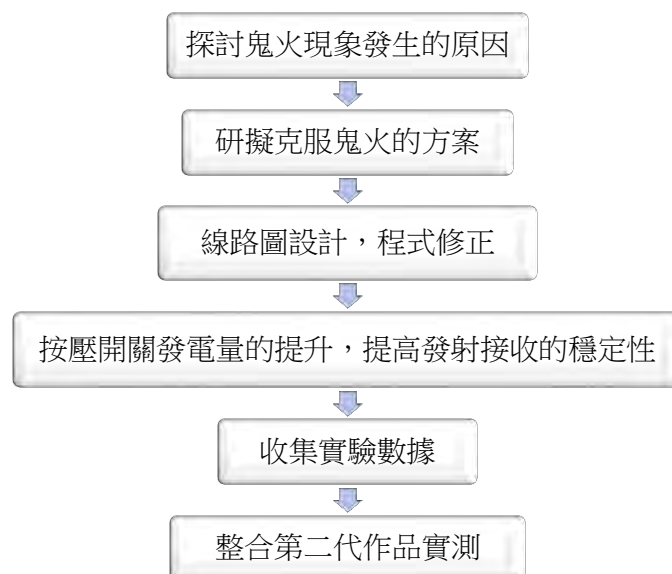
圖(4-31)

但當將燈泡換成 LED 燈時，關燈後竟然會有偶發性閃爍的現象，也就是俗稱的鬼火現象，且發射接收不穩定的狀況，這兩種問題將導致日後無法量產，所以我們再重新找問題及設計實驗方法，並整合成第二代作品。

6、第二代作品整合

(1)第二代無線控制開關製作流程圖

將燈泡換成 LED 燈後，關燈後會有偶發性閃爍的現象，也就是俗稱的鬼火現象，且發射接收有不穩定的狀況，所以重新規劃第二代作品製作流程圖。



圖(4-32)

A. 探討鬼火現象發生的原因

<實驗 3>

目的：測試在關燈後，什麼燈具會發生鬼火現象。

步驟：使用第一代無線控制開關個別控制以下三種燈具，量測漏電流並觀察關燈後是否有鬼火現象發生。

結果：

燈具種類	瓦數	電源漏電流	關燈後是否會發生鬼火現象
燈泡	10W	300 μ A	不會
節能燈	21W	200 μ A	會
LED 燈	8W	150 μ A	會

表(4-3)

結論：

- 1) 燈泡因為是電阻性負載，需要比較大的電流才會發光，所以不會有鬼火。
- 2) LED 燈和節能燈都使用電源供應器的方式轉換能量，所以很省電，小小的電流就會讓它們內部的電容慢慢充電，最後導致系統瞬間啟動後熄滅造成閃爍發光，此種情況就是俗稱的鬼火現象，而我們這個開關的原理就是使用漏電流的方式取電，依據此實驗結果，得知第一代無線控制開關會造成鬼火現象。

B. 克服鬼火的方案

為使雙向閘流體(TRIAC)在不導通時避免鬼火現象的發生，我們想了三種方案，並做了以下的實驗：

<方案一>：控制接收器之接收及不接收的週期時間分配率

<實驗 4>

目的：測試接收器的週期時間分配率，可使接收器的電源平均漏電流下降。


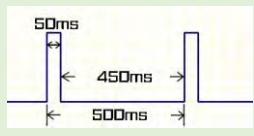
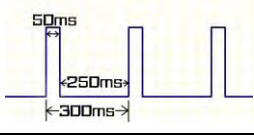
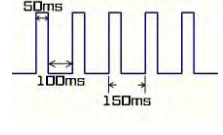
步驟：

- 1) 使用第一代作品，將負載換成 8W 的 LED 燈。
- 2) 依據<實驗 1>結果得知，發射器在 50ms 的發射時間傳輸信號可讓接收器接收到的信號最佳，可提高接收信號的穩定性，所以將接收器 MCU 晶片的工作時間固

定為 50ms，睡眠時間為變因，設計出接收器一週期的時間分配率。

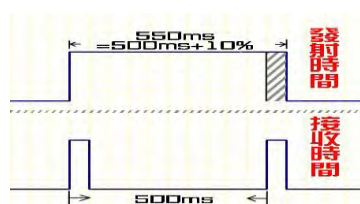
- 3) 為使接收穩定性提高，所以設計發射器發射時間必需要大於接收器的週期時間，又發射器及接收器為個別的獨立元件，其之間的頻率一定有誤差所以加入 10%的誤差修正參數，所以發射出更長一點的時間以確定信號能確定被接收器收到，因此我們增加 10%的修正參數。
- 4) 測試接收器電源漏電流、發射器發射能量，及觀察關燈後是否會出現鬼火。

結果：

發射器發射時間 (接收器一週期時間+10%)	接收器的分配率 (工作時間/睡眠時間) 	發射器 發射能量 mJ $= V \times I \times t$	接收器 電源 平均漏電流	關燈後 是否會 發生 鬼火現象
550ms (500ms+50ms)	1/10 (50ms/450ms) 	29.7mJ $= 3V \times 18mA \times 0.55s$	80 μA	無
330ms (300ms+30ms)	1/6 (50ms/250ms) 	17.8mJ $= 3V \times 18mA \times 0.33s$	120 μA	有
165ms (150ms+15ms)	1/3 (50ms/100ms) 	8.9mJ $= 3V \times 18mA \times 0.165s$	230 μA	有

結論：

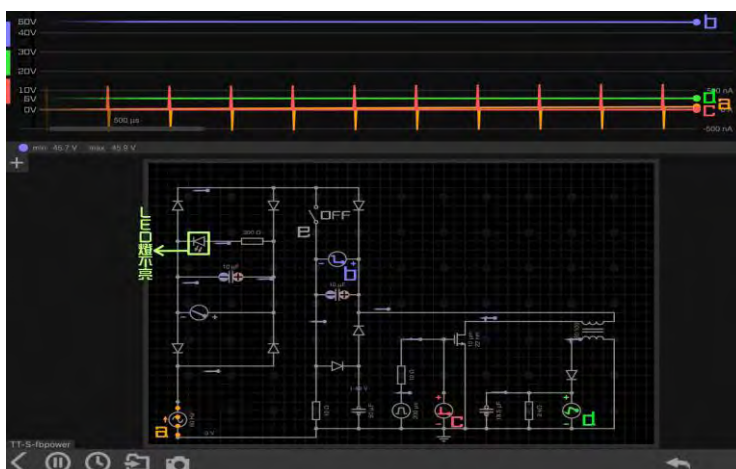
- 1) 將發射器發射時間設計為接收器週期+10%，結果可使發射接收的穩定性提高。



圖(4-33)

結果：

(1) 關燈時模擬結果，如圖(4-35)。

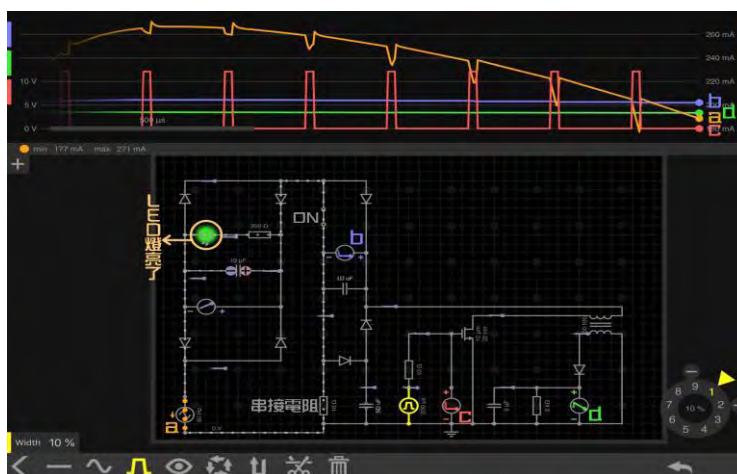


圖(4-35)

代號	線色	代表意義	結果
a	橘色	模擬市電 110V / 60Hz 的電源輸入電流	很小，接近 0，平均約 $0.5 \mu A$
b	藍色	儲存漏電流電容 $10 \mu F$ 的能量	約 50V
c	紅色	驅動電源供應器的模擬開關信號，為一個脈波調變信號	1% (分配率 1/100)
d	綠色	經電源供應器轉移過後的電壓，做為 MCU 單晶片及接收器的操作電源，並在其旁邊並入一個 2K 電阻和電容做為等效負載	超過 5V
e		開關，代表雙向閘流體(TRIAC)	OFF(TRIAC 不導通) LED 燈不亮

電源建立的電壓超過 5V，表示足夠啟動 MCU 晶片及接收器，因此在關燈時此線路鬼火可以控制且 5V 電源可以建立。

(2) 開燈時模擬結果，如圖(4-36)。



圖(4-36)

代號	線色	代表意義	結果
a	橘色	模擬市電 110V / 60Hz 的電源輸入電流	為負載電流
b	藍色	儲存漏電流電容 10 μ F 的能量	約 6V
c	紅色	驅動電源供應器的模擬開關信號，為一個脈波調變信號	10% (分配率 1/10)
d	綠色	經電源供應器轉移過後的電壓，做為 MCU 單晶片及接收器的操作電源，並在其旁邊並入一個 2K 電阻和電容做為等效負載	低於 3V
e		開關，代表雙向閘流體(TRIAC)	ON(TRIAC 導通) LED 燈亮了

電源轉移電壓低於 3V，表示無法啟動 MCU 晶片及接收器，即開燈後無法接收發射信號以關燈，所以此線路在開燈的情況下無法關燈。

我們嘗試把開關上串接電阻由 10 Ω 提高為 20 Ω ，相對的我們取得儲存漏電流電容 10 μ F 的能量其電壓就會更高，但這種做法會使得電阻上的耗電提高，造成 LED 燈上的電壓下降，使得整體的效率下降很多，不節能。

結論：

- 1) **關燈時**，我們希望漏電流全部轉移到儲存漏電流電容 10 μ F 上面，因此電壓越高越好，由結果得知在接近 50V 時鬼火可以控制且 5V 電源可以建立，所以我們希望儲存在電容上的電壓能夠在 50V 以上。
- 2) **開燈時**，開關的串接電阻要愈小愈好，如此電壓越小，才能將大部分的能量都給負載使用，效率才越高，因此我們希望儲存在電容上的電壓能夠在 2V 以下，電路線的損失才會越小(2V/110V=1.8%)，若要解決這個問題，必需要再加升壓迴路，如此將增加材料成本。
- 3) 綜合以上兩點，電源供應器的儲存漏電流的電容上的電壓必須在開關 ON 時在 2V 以下，開關 OFF 時在 50V 以上，都要能轉換出 5V 的操作電源，且必須再不增加很多材料下完成這個目標是有困難的，所以不可行。

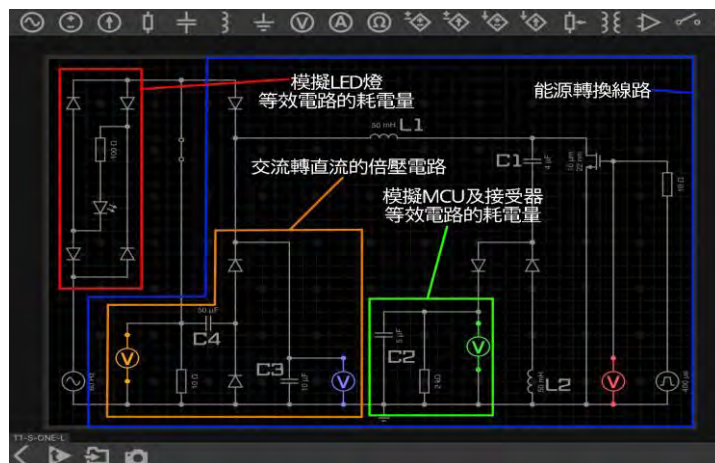
<方案三>：在無線控制開關內用使用倍壓迴路及能源轉換器做能量互換轉移

<實驗 6>

目的：在無線控制開關加上一組能源轉換器，不管在雙向閘流體在導通及不導通時，都可轉換出 5V 的操作電源，提供給 MCU 單晶片及接收器，並能克服鬼火的出現。

步驟：

- 1) 根據行動電源的充電曲線的概念，設計線路架構。
- 2) 使用電子模擬系統畫線路圖。
- 3) 設定各元件的假設值，假設 $L1=50\text{mH}$ 、 $L2=50\text{mH}$ ，且能源轉換以 3.3KHz 週期為 $300\mu\text{s}$ 為操作切換頻率，假設 $C2=5\mu\text{F}$ ，改變 $C1$ 的電容值及分配率的大小，看輸入及輸出電壓的變化，我們希望當輸入電壓在 2V 至 50V 時，若能獲得 5V 的操作電壓，代表結果正確假設成立。
- 4) 進行模擬測試，如圖(4-37)。



圖(4-37)

結果：

(A)關燈時模擬結果：

分配率	電容 C1	$4\mu\text{F}$	$8\mu\text{F}$	$12\mu\text{F}$
2%	C3 上輸入電壓	49V	46V	44V
	C2 上輸出電壓	5.4V	6.9V	8.2V
3%	C3 上輸入電壓	53V	46V	43V
	C2 上輸出電壓	6.5V	7.8V	9V

(a)電容 $C1$ 越大，輸入電壓越低，且輸出電壓越高。

(b)分配率越大，輸出電壓越高。

(c)依據<實驗 5>C3 輸入電壓越高，鬼火越小，所以 $C1$ 選擇使用 $4\mu\text{F}$ 。

(B)開燈時模擬結果：

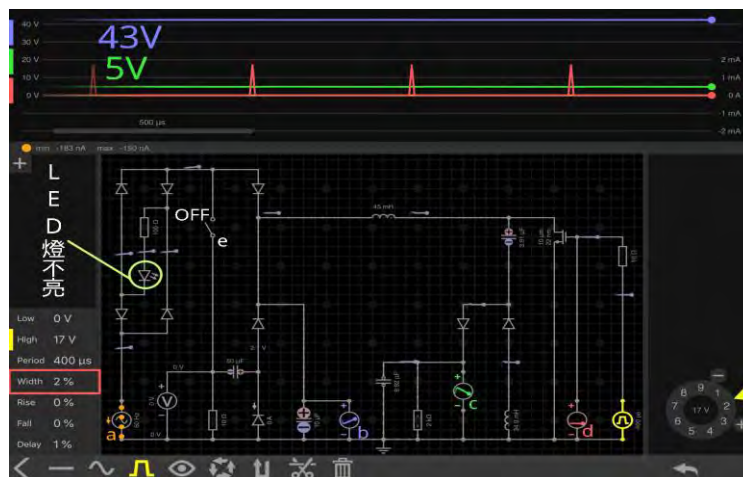
分配率	電容 C1	4 μ F	8 μ F	12 μ F
35%	C3 上輸入電壓	3.5V	4.6V	4.9V
	C2 上輸出電壓	5.06V	5.1V	5.15V
50%	C3 上輸入電壓	2.5V	3.2V	3.5V
	C2 上輸出電壓	5.3V	5.3V	5.3V
70%	C3 上輸入電壓	2.4V	2.5V	2V
	C2 上輸出電壓	8V	7.2V	6.4V

(a)當分配率在調變時，C1 使用 4 μ F 測得的 C3 輸入電壓變動率最小。

(b)分配率越大，C3 輸入電壓越低，輸出電壓越高，代表效率高。

(C)由結果(A)、(B)得知(步驟 3)的假設值成立，決定 C1 使用 4 μ F 的電容，

關燈後模擬的結果，如圖(4-38)。

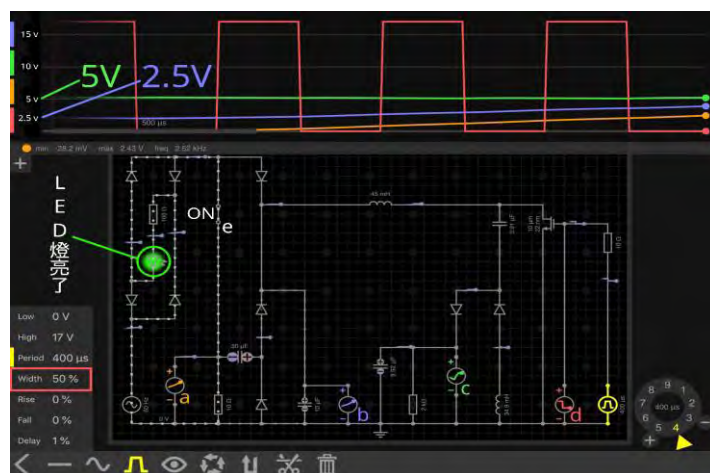


圖(4-38)

代號	線色	代表意義	結果
a	橘色	模擬市電 110V / 60Hz 的電源輸入電流	很小，幾乎為 0A
b	藍色	儲存漏電流至電容 C3 10 μ F 的電壓	約 43V
c	綠色	經電源供應器轉移過後電容 C2 的電壓，做為 MCU 單晶片及接收器的操作電源，並在其旁邊並入一個 2K 電阻和電容做為等效負載	約 5V
d	紅色	驅動電源供應器的模擬開關信號，為一個脈波調變信號	2% (分配率 1/50)
e		開關，代表雙向閘流體(TRIAC)	OFF (TRIAC 不導通) LED 燈不亮

電源建立的電壓超過 5V，表示足夠啟動 MCU 晶片及接收器，因此在關燈時，此線路鬼火可以控制且 5V 電源可以建立。

(D)由結果(A)、(B)得知(步驟 3)的假設值成立，決定 C1 使用 $4\mu F$ 的電容，開燈後模擬的結果，如圖(4-39)。



圖(4-39)

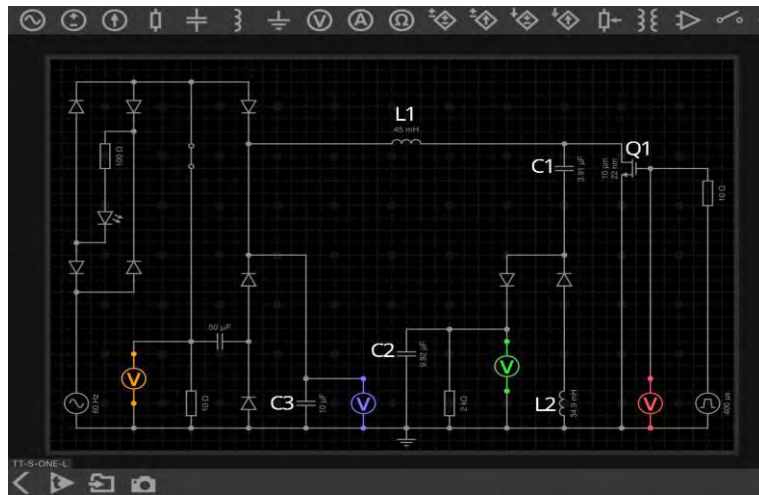
代號	線色	代表意義	結果
a	橘色	交流電流通過串接電阻 10Ω 上獲得的正負交變的電壓	$\pm 2.2V$
b	藍色	經倍壓迴路後電容 C3 $10\mu F$ 的電壓	約 $2.5V$
c	綠色	經電源供應器轉移過後電容 C2 的電壓，做為 MCU 單晶片及接收器的操作電源，並在其旁邊並入一個 $2K$ 電阻和電容做為等效負載	約 $5V$
d	紅色	驅動電源供應器的模擬開關信號，為一個脈波調變信號	50% (分配率 1/2)
e		開關，代表雙向閘流體(TRIAC)	ON(TRIAC 導通) LED 燈亮了

此時漏電流儲存的能量只有 $2.5V$ ，但電源轉移過後的電壓約 $5V$ ，表示可以啟動 MCU 晶片及接收器，所以此線路在開燈的情況下可以接收發射信號以關燈。

結論：

- 1) 關燈時，我們希望漏電流全部轉移到儲存漏電流的電容上面，因此電壓越高越好，由結果得知在接近 $50V$ 時鬼火可以控制且 $5V$ 電源可以建立。
- 2) 開燈時，交流轉直流的倍壓迴路將交流電流通過串接電阻 10Ω 上獲得的正負交變的電壓，轉換成兩倍的直流電壓，此兩倍的直流電壓經過這個電源轉換器時因此再獲得更高的電壓，電壓超過 $5V$ ，表示足夠啟動 MCU 晶片及接收器，因此可在開燈的情況下可以關燈。

3) 此線路的設計原理，如圖(4-40)。



圖(4-40)

把儲存漏電流電容 C3 上的能量經電晶體 Q1 ON-OFF 動作轉移到電感 L1 上，產生恆定電流同時對兩個電容 C1 及 C2 串聯充電，因此 C1、C2 都可以獲得需要的電壓而 C1 的電壓又會轉移到電感 L2，且 L2 的能量又會轉移到 C2，所以 C2 可獲得 2 種能量來源對 C2 充電，當 5V 電源上的電容 C2 充飽至 5V 即可達到啟動 MCU 晶片及接收器的 5V 恆定電壓。

- 4) 因為過程中都是儲能元件的轉移，不耗能轉換效率提高，所儲存的能量可以很容易達到足夠啟動 MCU 晶片和無線接收器的 5V 恆定電壓。
- 5) 依據此電子模擬系統的分析，此線路可行性極高，我們將依此繼續完成第二代作品。

C、發射器發電量的提升，提高發射接收的穩定性。

<實驗 7>

目的：使用作品二 ((圖 4-8)、(圖 4-9))之按壓開關，找出無線按壓開關所需的最佳電能條件。

步驟：利用信號產生器模擬發射器的電源儲能至 100 μF 的電容，測試接收信號的反應。

結果：

提供 3V 電源時間	接收器是否有收到信號	訊號穩定度
1 ms	沒有	/
2 ms	間斷	
3 ms	有	低 ↓ 高
4 ms	有	
5 ms	有	
6 ms	有	

表(4-4)

結論：選擇 4 ms 的發射時間作為下階段實驗的固定時間(控制變因)。

<實驗 8>

目的：測試無線按壓遙控開關上的線圈所需的圈數與磁鐵數量如何匹配，才可達到 3V / 4 ms 使無線控制開關收到信號。

步驟：在線圈下方置入一個 16 x 4 mm 的磁鐵做為控制變因，改變上方磁鐵的數量並快速敲擊線圈，測試無線控制開關是否接收到信號，燈泡是否可控制。

結果：

線圈圈數 (Ts)	下方磁鐵	上方磁鐵	所獲得的電壓	燈泡是否可控制
1000	16 x 4 mm 1 個	16 x 4 mm 1 個	1.8V	不可
1000	16 x 4 mm 1 個	16 x 4 mm 1 個 加 15 x 4 mm 2 個	2.3V	不可
1700	16 x 4 mm 1 個	16 x 4 mm 1 個	2.3V	不可
1700	16 x 4 mm 1 個	16 x 4 mm 1 個 加 15 x 4 mm 2 個	3~4V	可

表(4-5)

結論：利用**法拉第電磁感應定律**因為線圈切割磁力線，當**速度愈快**，**發電量愈大**，故使用 1700Ts 的線圈並在下方置 1 個 16 x 4 mm 的磁鐵，上方用 1 個 16 x 4 mm 加 2 個 15 x 4 mm 的磁鐵，**快速撞擊線圈**，可獲得所需的能量，達到 3V / 4 ms 使無線控制開關收到信號。

(2) 第二代成品性能測試

<實驗 9>

目的：將電路板、磁石、線圈等元件置入 3D 列印成品中，組裝完成後進行操作，看是否能達到我們設計的目標。

步驟：

- 1) 將電路板、磁石、線圈等元件置入 3D 列印成品中組裝。
- 2) 將無線控制開關接上兩條電源線 (N、L)，不需分極性。
- 3) 將負載分別裝上燈泡、LED 燈、節能燈，並各別測試。
- 4) 接上市電 110V/60Hz。
- 5) 操作無線控制開關控制負載的開或關，並在關燈時觀察有無鬼火的現象。
- 6) 操作無線按壓開關控制負載的開或關，測試發射接收的穩定性。

結果：關燈時無鬼火現象的發生，發射接收的穩定性達 100%。

結論：當按壓開關時，無線按壓開關會產生微弱的電能發射信號，當無線控制開關接受到信號後，晶片會下指令得以控制負載的開或關，且當負載**換成 LED 燈或節能燈時，關燈不會有偶發性閃爍的現象，亦即沒有鬼火現象，且發射接收的穩定性佳，第二代作品整合成功。**

伍、結果

一、由實驗中，發現當雙向閘流體導通的時候串接一個低電阻會有微弱的電壓出現，因此我們設計的重點就是把這微弱的電壓取下來，作為我們無線接收開關的操作電源，如此我們就可以完成一個不需要電源線的無線接收開關。

二、由實驗中，發現使用 LED 燈時，關燈後會有偶發性閃爍的現象，也就是俗稱的鬼火現象，為消除此現象，發現只要在電源端取得的能量小於 $80 \mu A$ 就證不會有鬼火現象產生，所以我們設計在控制開關內用儲存能量的方式，如此不但轉換效率提高，而且零件少，同時解決鬼火現象和發射接收信號穩定性的問題。

三、由實驗中，發現我們這個開關的原理就是使用漏電流的方式取能量，所以 LED 燈本身很省電，很容易在有小電流的時候就會發光，造成鬼火現象，而要使鬼火現象消除的方式，就是第二代作品最重要的設計重點，這也是市面上雙線無源無線開關的痛點，實驗中發現只要在電源端取得的能量小於 $80 \mu A$ 就不會有鬼火現象產生，所以我們設計在無線控制開關內用使用倍壓迴路及能源轉換器做能量互換轉移，先將能量儲存到電感，再轉儲存到電容又將能量儲存到另一電感，再轉儲存到輸出電容，因為過程中都是儲能元件的轉移，不耗能轉換效率提高，所儲存的能量足夠啟動晶片和無線接收晶片，按壓開關的能量也就不需要那麼多了。

四、由實驗中，發現控制接收器的週期時間分配率，加長接收器內 MCU 晶片的睡眠時間，可讓接收器的電源平均漏電流下降，以避免鬼火現象的發生，並將發射器發射時間設計為接收器週期+10%，可使發射接收的穩定性提高。

五、由實驗中，發現無線控制開關儲存漏電流的電容上的電壓，必須在開關 ON 時 2V 以下效率才高及開關 OFF 時 50V 以上才避免鬼火發生的情況下，都要能轉換出 5V 做為 MCU 單晶片及接收器的操作電源。

六、由實驗中，發現第二代發射器所需的最佳電能發射時間為 4ms，利用法拉第電磁感應定律因為線圈切割，當速度愈快，發電量愈大，磁鐵快速撞擊線圈，可獲得所需的能量。

陸、討論

Q1：在第二區科展參展的第一代作品缺點是「製品穩定度需再加強」，該如何改善？

A1：我們發現負載種類、發射器發射能量與週期、接收器週期及控制器能源轉換效率都會影響，所以我們決定重新找問題及設計實驗方法，製出第二代作品。

Q2：第二代作品要如何消除鬼火現象和開關發射接收信號穩定性的問題？

A2：我們討論了很多方式，如下：

(一) 方案一：控制接收器之接收及不接收的週期時間分配率

(二) 方案二：在無線控制開關再加上一組電源供應器

(三) 方案三：在無線控制開關內用使用倍壓迴路及能源轉換器做能量互換轉移

優點：1. 關燈時，5V 電源可以建立，且鬼火可以控制。

2. 開燈時，5V 電源可以建立，因此可在開燈的情況下可以關燈。

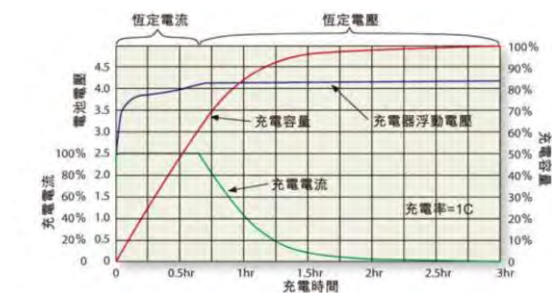
3. 因為過程中都是儲能元件的轉移，不耗能且轉換效率高，所儲存的能量可以很容易達到足夠啟動 MCU 晶片和無線接收器的 5V 恆定電壓。

4. 使用元件少，成本低。

因為方案三的可行性極高，所以我們採用此線路完成第二代作品，改善了消除鬼火現象和開關發射接收信號穩定性的問題。

Q3：在方案三中，如何根據行動電源充電曲線的概念設計出可建立足夠啟動 MCU 晶片及接收器的 5V 電壓？

A3：1. 根據行動電源的充電曲線，如圖(6-1)的概念，行動電源在充電的時候會先以恆定電流去充行動電源，此恆定電流的大小就代表充電速度的快慢，當充到快飽的時候，電壓會接近 4.2V，此時充電器會轉換為恆定電壓。



圖(6-1)

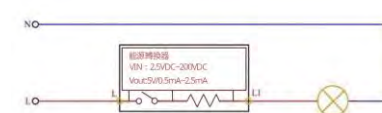

2. 依據<實驗 5>得知，儲存漏電流的電容上的電壓必須在開關 ON 時在 2V 以下，開關 OFF 時在 50V 以上，也要能夠轉換出 5V 的操作電源給 MCU 晶片及接收器使用，因此我們要把這個儲存漏電流的電容上的能量充飽至 5V，達到啟動 MCU 晶片及接收器的 5V 恆定電壓。

Q4：短距離無線傳輸有很多方式，為何採用 RF 無線模組？

A4：依據搜集的資料與實驗，RF 具有不易受干擾、傳輸距離遠、耗電量低、擴充性高等優點，遠優於其他短距離無線模組，故而採用。

Q5：如何得知本研究無線控制開關之成本及節能控制原理，優於目前市面上的產品設計？

A5：與目前最暢銷的米 X 智能開關做比較，如下表得知，我們的設計確實有絕對的優勢。

	無線控制開關	米 X Aqara 牆壁開關
漏電流 取電方式 原理方塊圖	 <p>在 ON-OFF 都使用能源轉換器 做能量互換轉移</p>	 <p>需電源轉換器取電與控制器配合， 才能 ON-OFF 取電</p>
接線方式	雙線	雙線
鬼火現象	無鬼火	無鬼火
元件數	約少一半	多
成本	低	高
線路損失	低	高
無線遙控開關 供電方式	不需電池	米 X Aqara 無線開關 需裝鈕扣電池供電

柒、結論

第二代作品經過設計及研究結果驗證，確實能成功地達到研究的目的，以下為本研究

「無源無線開關」之優點：

一、創新性

- 1、我們的設計採用內含控制器的開關，在不改變原有開關的接線設計下，雙線設計，除了省下配電或電池等相關控制的材料和元件，成本相對低很多，還省下日後須時常更換電池的支出與麻煩。
- 2、更換無線控制開關不需考慮電線配電的方向性，可輕鬆 DIY。
- 3、在按壓開關方面，利用電磁感應定律，藉由按壓方式使線圈內磁力變化進而產生感應電流控制開關，以達到發射器無源的目的。
- 4、在控制開關內用轉換能量的方式，不但轉換效率提高，而且零件少成本低，同時解決鬼火現象和發射接收信號穩定性的問題。

二、節能性

目前市面上的無源無線開關，採用降壓式電源供應器，輸入電壓大於輸出電壓，耗能量大，而我們的設計是輸入電壓可低於亦可高於輸出電壓，非常節能。

三、實用性與普及性

我們的設計是內含控制器的開關，直接更換取代原有開關，即可馬上升級為多控開關，適宜居家及醫療院所使用，成本低適宜商業化。

四、環保性

因為無源無線又節能，所以免用電池，免配線。

捌、未來展望

市面上有遙控功能的開關雖然早就有了，但不論是簡單的無線控制或功能強大的物聯網智能控制，最終都是要通過開關來控制燈具或負載，而本研究是直接取代原有開關，不須額外配線或外掛控制器，且更換無線控制開關不需考慮電線配電的方向性，可 DIY，未來希望可以將此低成本高品質的無源無線開關推廣至社會每個地方，相信可以幫忙解決很多年長者或行動不便的人的困擾，再者亦可設計成無源無線插座控制一般電器，配合物聯網智能控制達到智能家居生活化。

玖、參考資料及其他

一、Microchip 單晶片 PIC16F54 Datasheet，from

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41207D.pdf>

二、胡茂林(2004) • 實用 PIC16C5X 系列單晶片軟硬體設計實務(1 版) • 益眾。

三、立雅科技(2005) • SolidWorks 2005 實戰演練基礎入門(初版) • 知域數位。

四、[David Thornburg, Norma Thornbur](#) • 3D 列印教室：翻轉教育的成功秘笈(初版) • 基峰。

五、小米官網 • 小米 Aqara 單火線智慧開關所使用的單火線技術， from

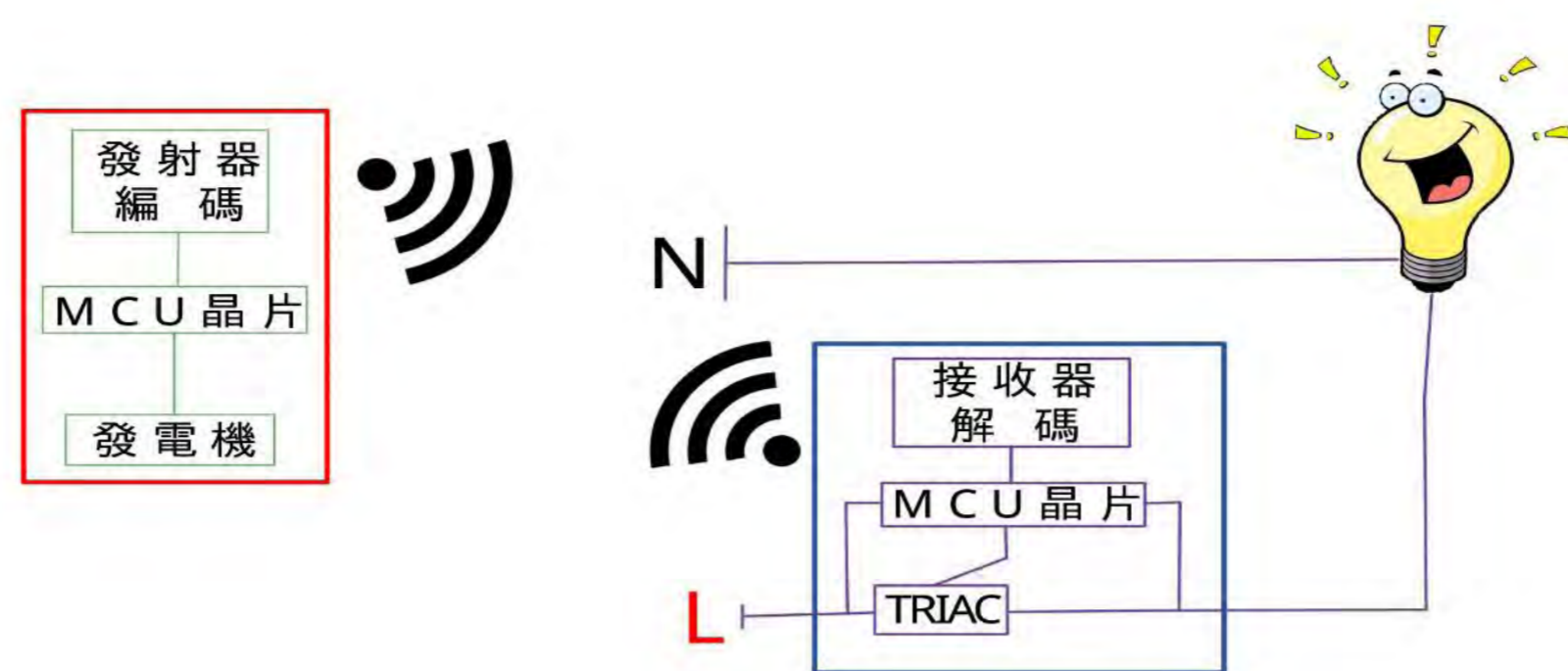
<http://bbs.xiaomi.cn/t-13528034>

【評語】 052312

此作品主要是以無源且架構單純的按壓式開關來取代市面上雙線之遙控開關，在電路的設計與檢測上都相當完整，且成本大幅降低，由於是採用機械性的按壓式動作，可能因為能量不足導致系統失常，應可考慮不同的機械性動作來產生足夠的能量，以維繫系統之正常運作。

摘要

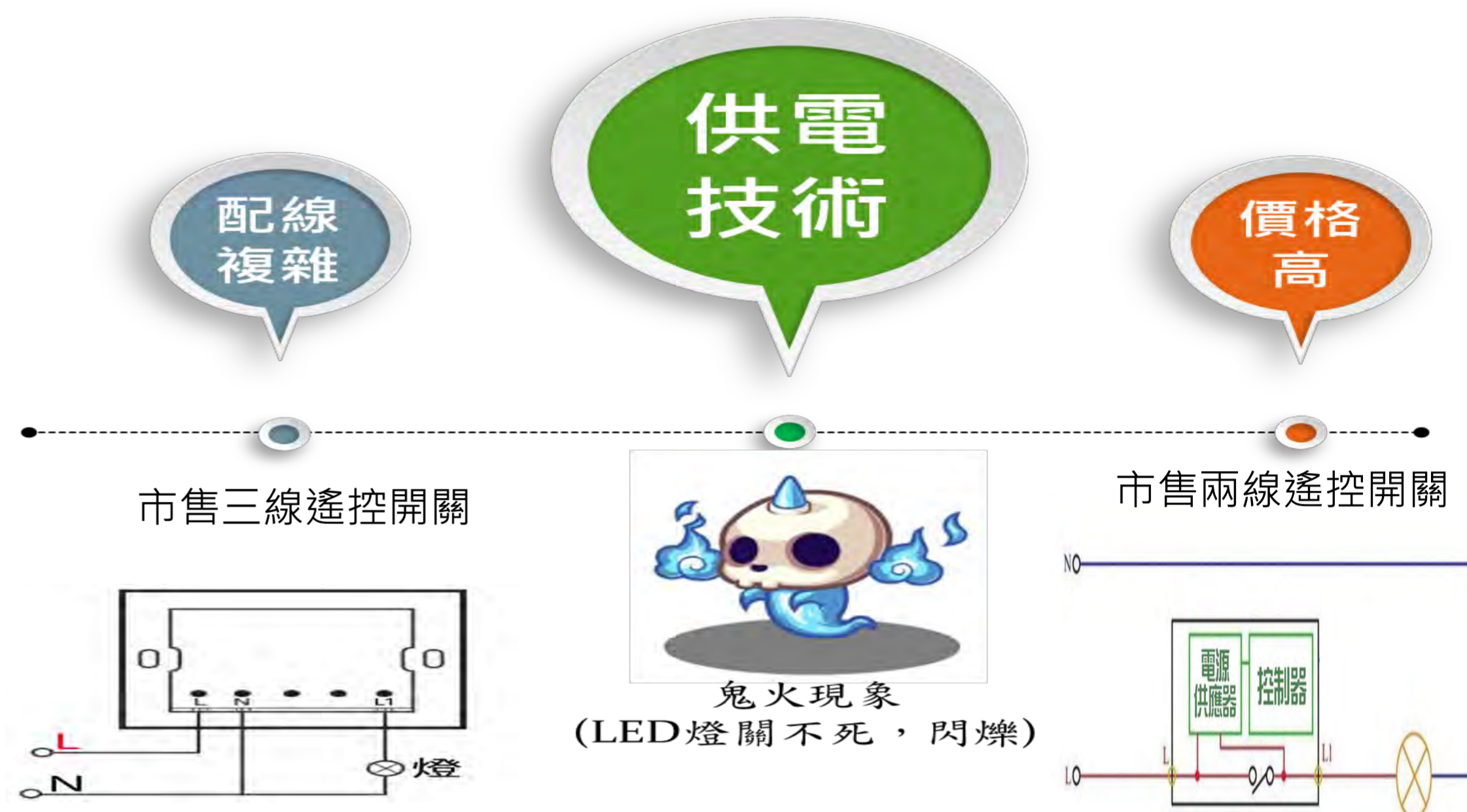
本作品特色在於**使用內建無線接收模組的控制器開關直接取代傳統2P（二個接點）開關**模式，從雙向閘流體的開關接點上取得**漏電流**的能量來提供接收模組所需電源，且**無鬼火發生**，以取代市面上需額外加電源線的問題，只要**雙線且不分極性**，以達到接收器無電源的目的；利用電磁感應定律，**藉由按壓方式使線圈內磁力變化進而產生感應電流**，以達到發射器無源的目的，此二種設計即可達到無源無線多控的目的，且降低製造和配線的高額成本。



壹、研究動機

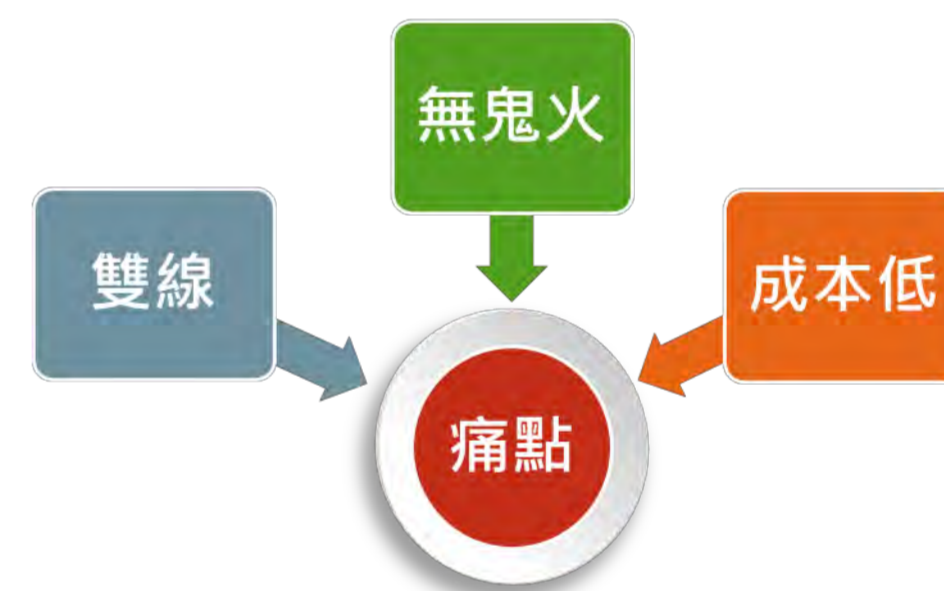
現今社會，我們的身邊有許多年齡較高且行動不便的長者，走去開燈也是一件艱難的事，因此尋找方便使用的開關，發現無線開關無法普及的痛點，配線複雜成本太高，對於需要的人，想使用的慾望大幅降低。所以我們決定自己設計，把配線簡單化。

【痛點分析】 智能開關為何難普及



貳、研究目的

- 一、可使價格相對於市面上更為**低價**的無源無線開關。
- 二、可將原有的牆壁開關**直接改換**，不需再多配線。
- 三、可以實現**免電池**節能的遙控開關。



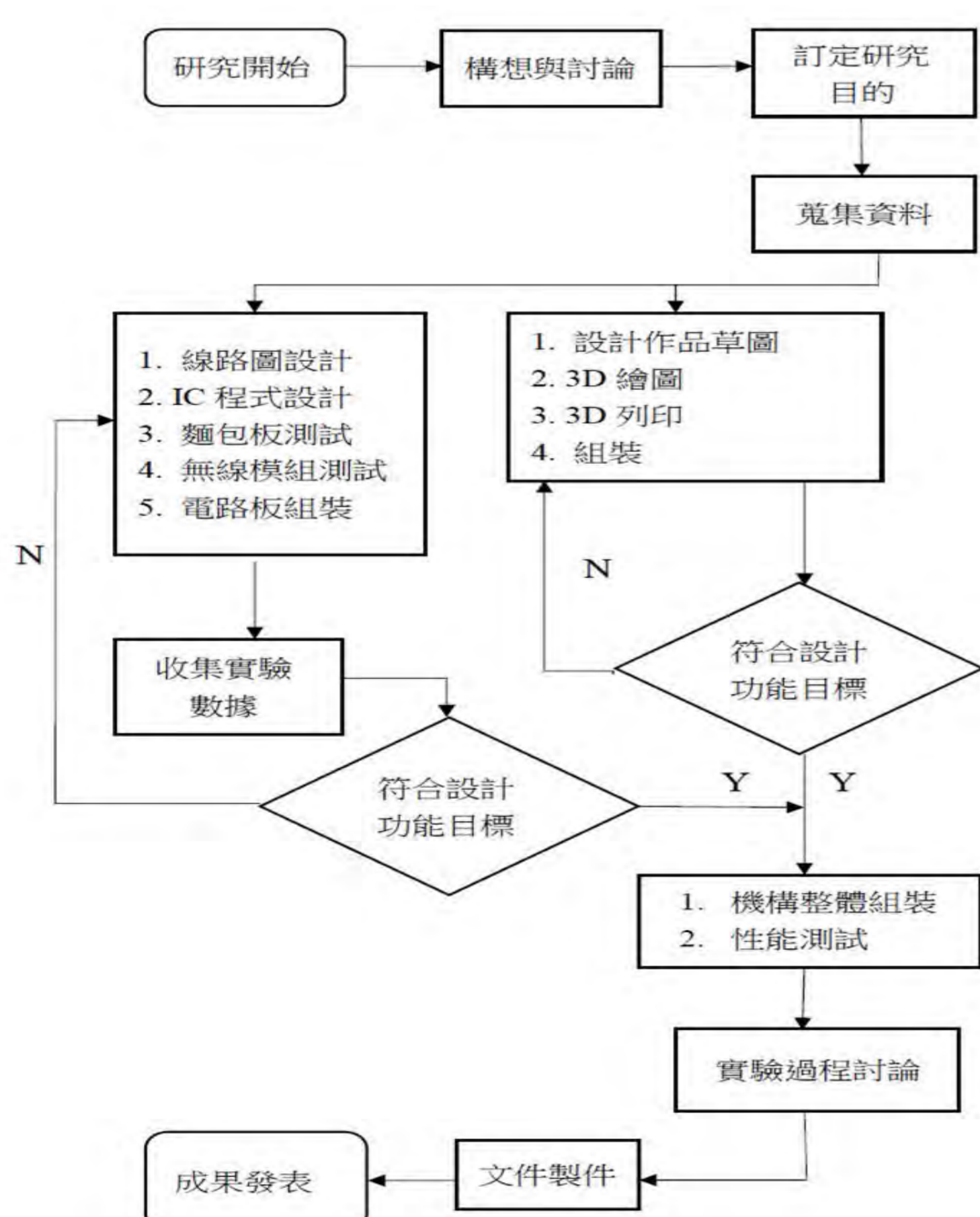
參、研究器材

設備與器材 (測試工具)				
說明	電子模擬系統	測試線	示波器	電源供應器
設備與器材 (軟體、程式燒錄)				
說明	Microchip 燒錄軟體	Microchip 燒錄器	Microchip 晶片 PIC16F54	自製 Microchip 燒錄用麵包板
設備與器材 (軟體、3D、耗材)				
說明	SolidWorks 2016	3D 印表機	3D 線材	鎊刀

設備與器材 (電路板製作、材料元件)				
說明	TRIAC	線材	洞洞板	麵包板
設備與器材 (電路板製作、材料元件)				
說明	電阻	H34S 發射模組	H3V4F 接收模組	電容
設備與器材 (工具)				
說明	電烙鐵	尖嘴鉗	焊錫	十字起子

肆、研究方法

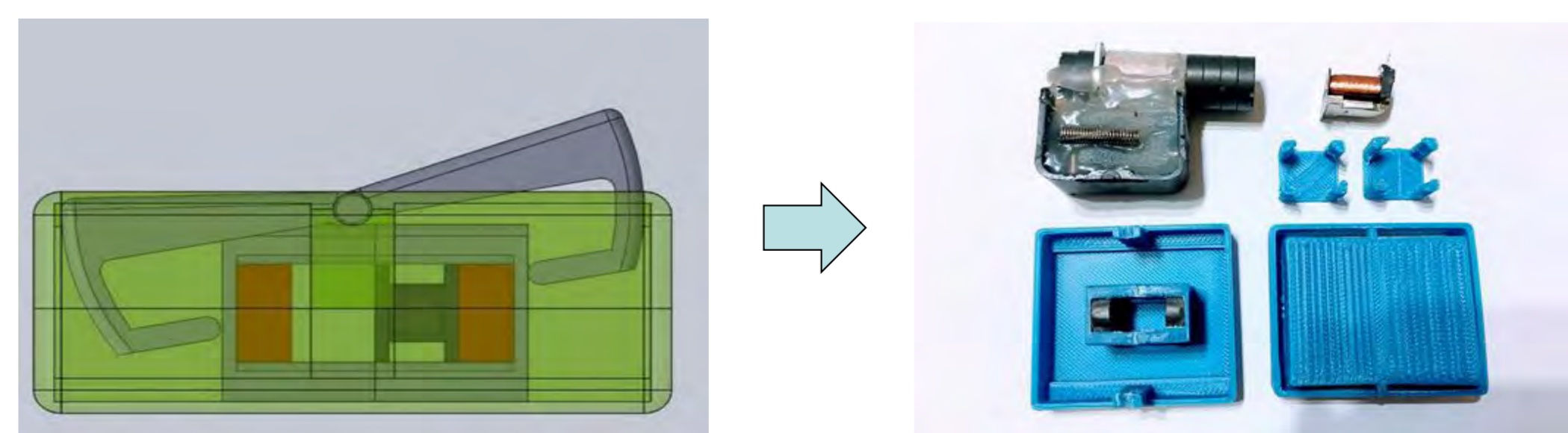
一、製作流程圖



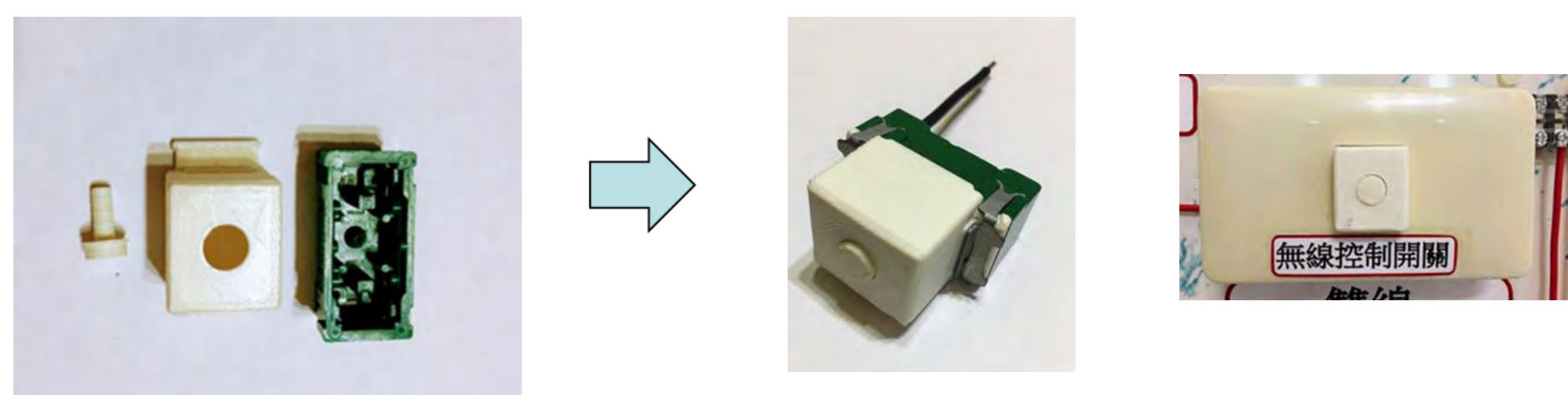
二、製作暨測試

為達到研究目的，規劃出三階段實驗：

(一) 製作按壓開關



(二) 製作控制開關



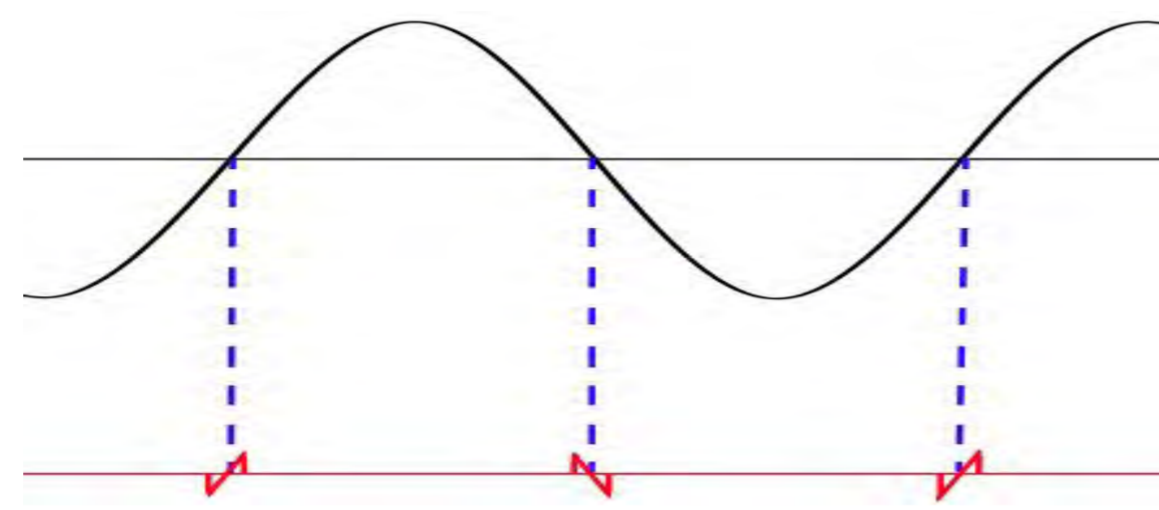
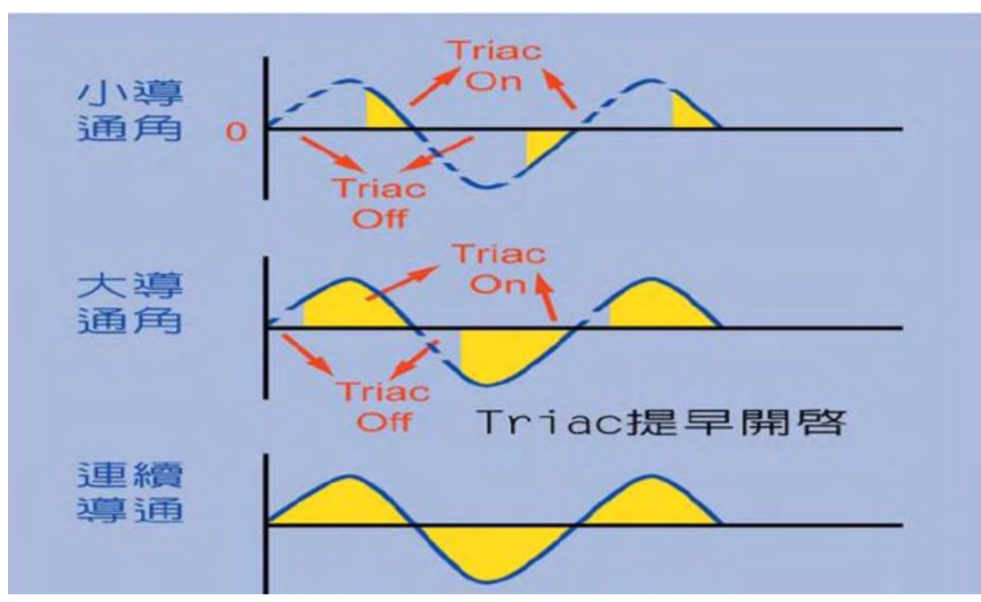
(三) 第一代作品產品整合

1. 無線控制開關雙線(L, N)設計

利用雙向閘流體 (TRIAC) 在 ON 時，會出現大導通角，使得 A1, A2 上會出現未被觸發的電源，此時 MCU 經由二極體 D1、電阻 R1 及 R2 兩個路徑供電，產生驅動電晶體 Q1 的信號使得電晶體 Q1 導通，MCU 可獲得更多的能量。

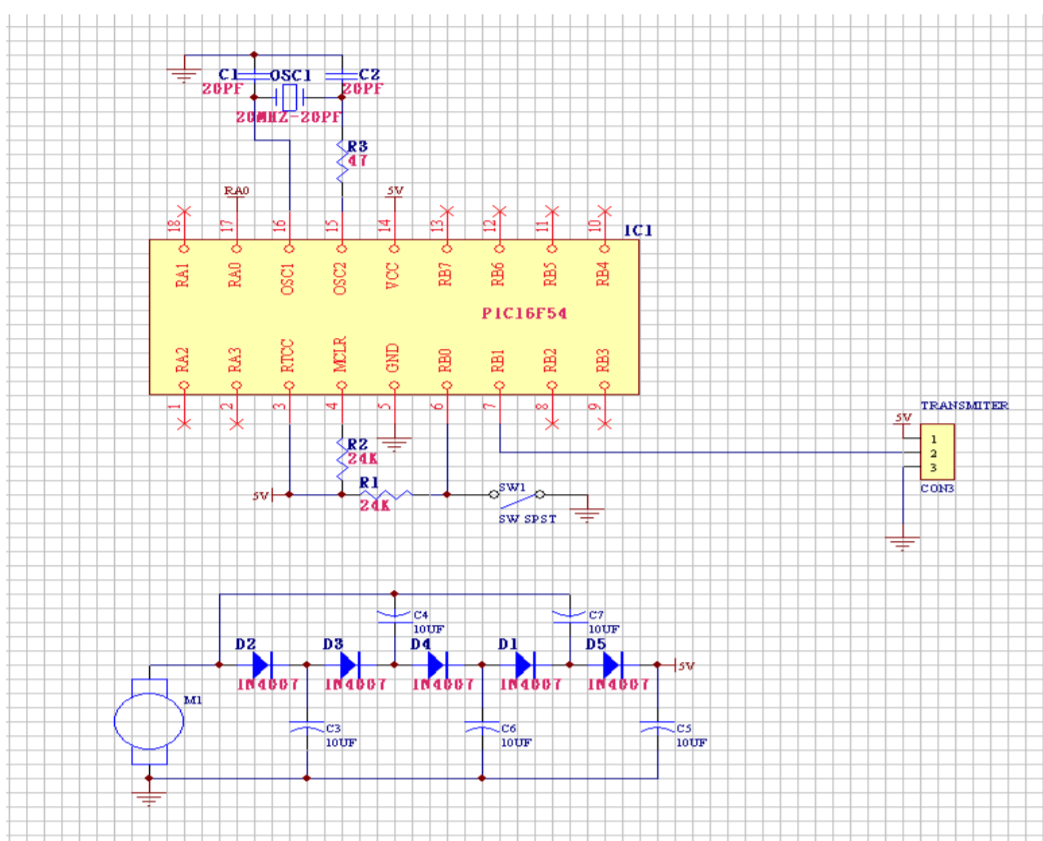
當雙向閘流體 (TRIAC) OFF 時，電晶體 Q1 亦 OFF，MCU 經由二極體 D1，電阻 R1 供電。

因此可以只在雙線的情況下，不管雙向閘流體 (TRIAC) 是在 ON 還是 OFF，都可由控制電晶體來取得 MCU 的工作電源。

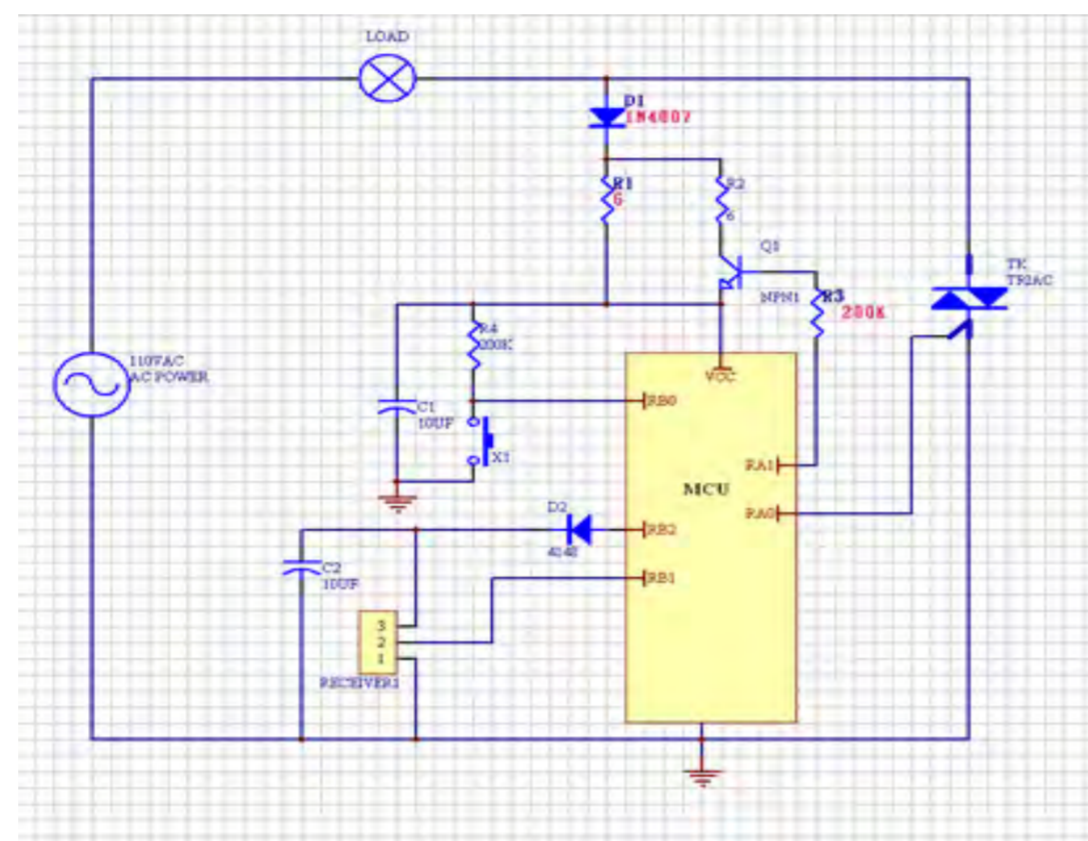


2. 線路圖設計

無線按壓遙控開關



第一代無線控制開關

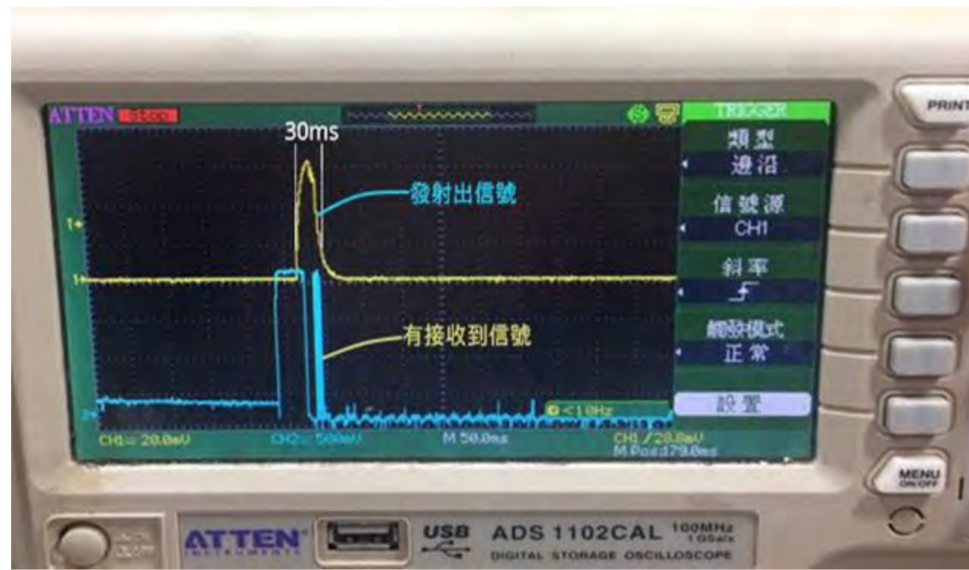


3. 無線按壓遙控開關發射信號測試

目的：測試接收器的信號反應，找出發射器所需的最佳電能條件。

結果：

提供 3V 電源時間至按壓遙控開關	接收器是否有收到信號	訊號穩定度
10 ms	沒有	低 ↓ 高
20ms	間斷	
30 ms	有	
40 ms	有	
50 ms	有	
60 ms	有	高

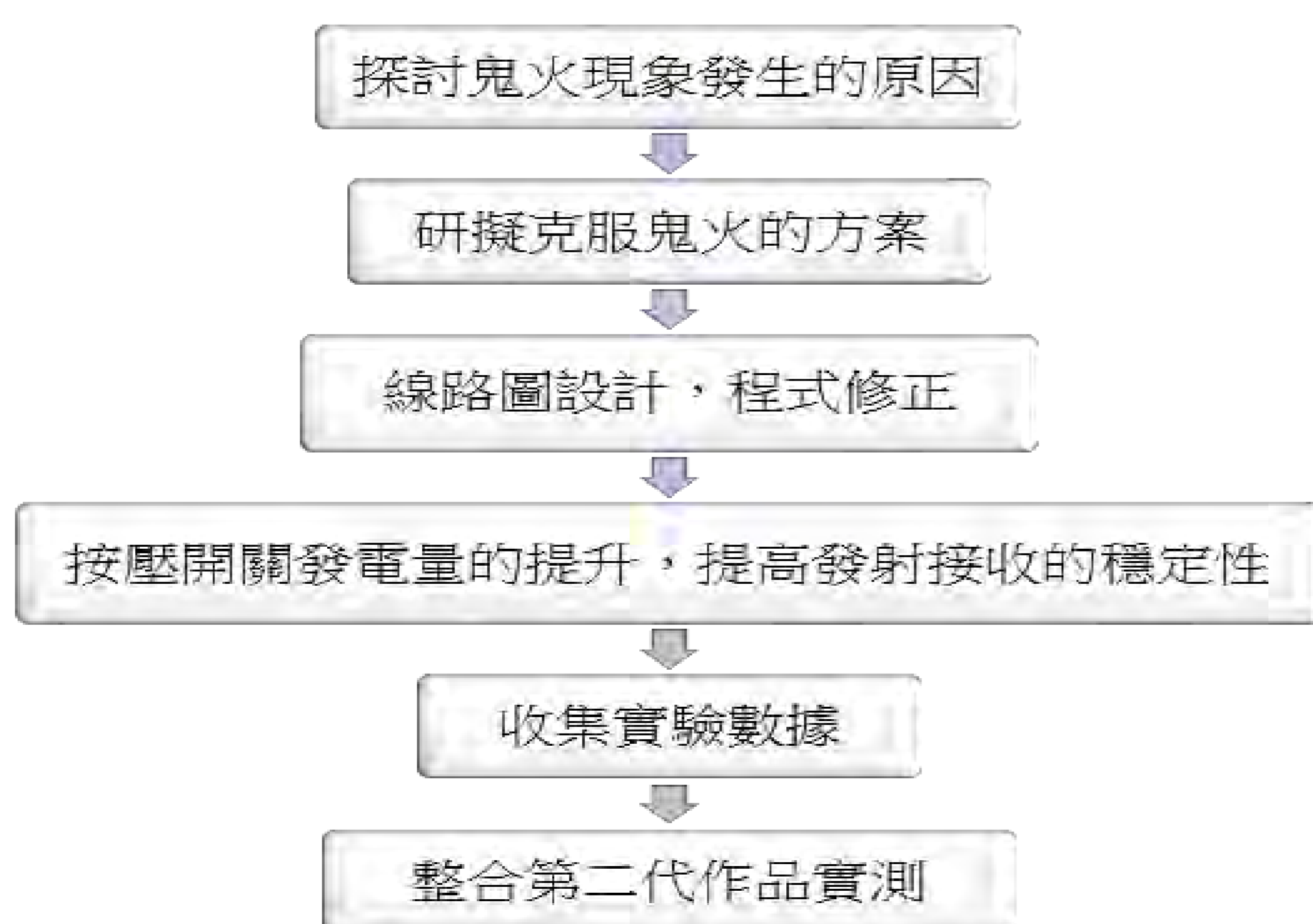


結論：選擇**50ms**的發射時間作為固定時間。

4. 第一代產品整合成功，但當將燈泡換成 LED 燈時，關燈後竟然會有偶發性閃爍的現象，也就是俗稱的**鬼火現象**，且發射接收不穩定的狀況，這兩種問題將導致日後無法量產，所以我們再重新找問題及設計實驗方法，並整合成第二代作品。

(四) 第二代作品產品整合

第二代無線控制開關製作流程圖



A. 探討鬼火現象發生的原因

LED 燈使用高頻電源供應器的方式，小小的電流就會讓它們內部的電容慢慢充電，導致系統瞬間啟動後熄滅造成閃爍發光，此種情況就是俗稱的**鬼火現象**，而使用**漏電流的方式取電**，第一代無線控制開關線路設計會造成鬼火現象。

B. 克服鬼火的方案

<方案一>：控制接收器之接收及不接收的週期時間分配率

目的：測試接收器的週期時間分配率，可使接收器的電源平均漏電流下降。

結果：

發射器發射時間 (接收器一週期時間+10%)	接收器的分配率 (工作時間/睡眠時間)	發射器發射能量 mJ = V x I x t	接收器電源 平均漏電流	關燈後 是否會發生 鬼火現象
550ms (500ms+50ms)	1/10 (50ms/450ms)	29.7mJ = 3V x 18mA x 0.55s	80 μA	無

結論：將發射器發射時間設計為接收器週期+10%，可使接收器平均漏電流下降，達到控制鬼火，但不節能，發射器需加電池。

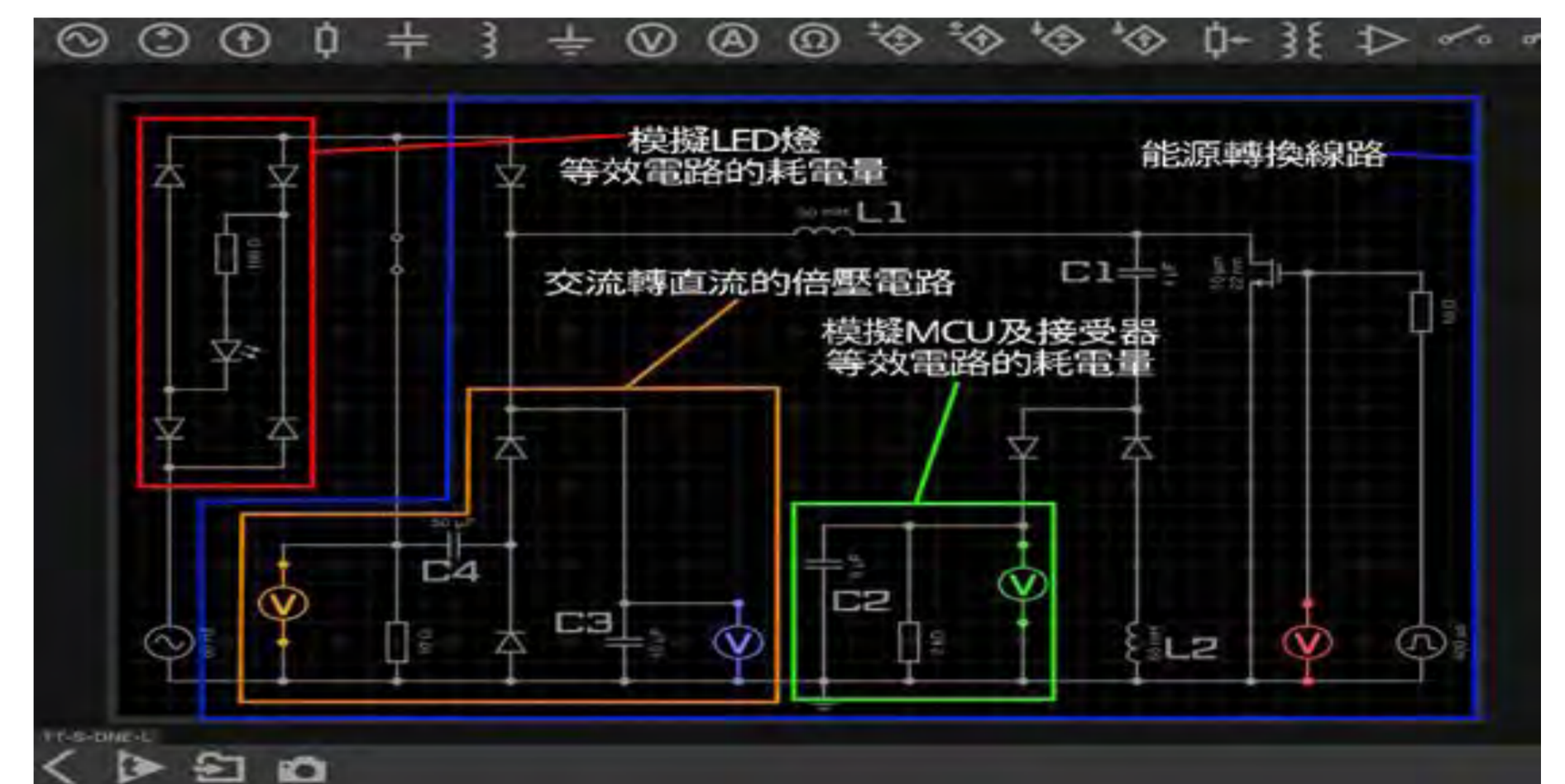
<方案二>：在無線控制開關再加上一組電源供應器

結論：開燈時，期望由 2V 升壓至 5V 操作電源，電路線的損失才會越小越好，此設計不能達成；而關燈時，此設計可以達到。

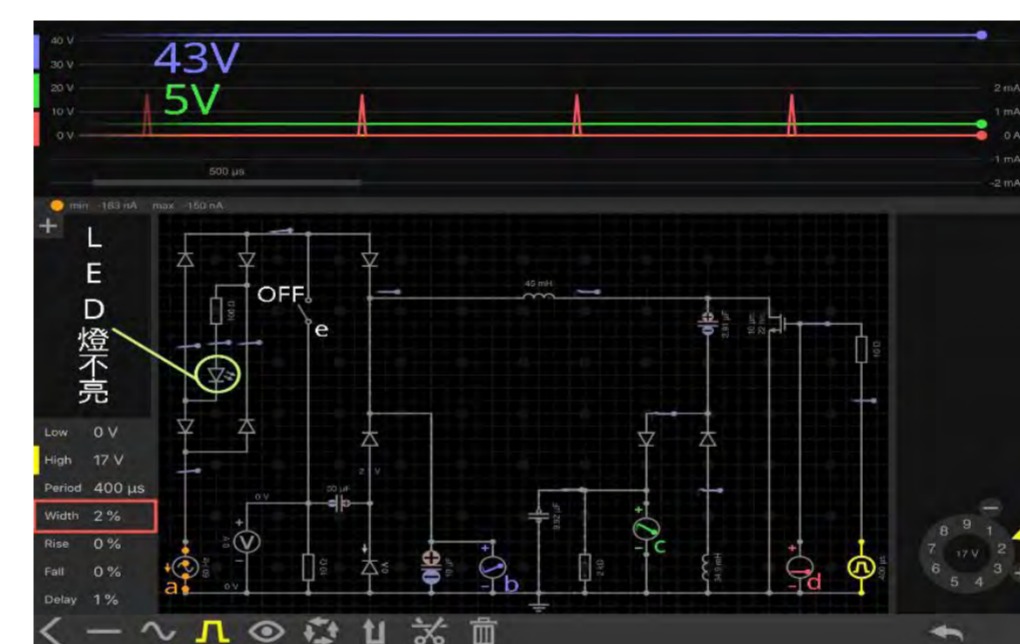
<方案三>：在無線控制開關內用使用倍壓迴路及能源轉換器做能量互換轉移

目的：在開燈時，期望由 2V 升壓至 5V 操作電源；而關燈時，期望儲存漏電流的電容上之電壓在 50V 以上，都可轉換出 5V 的操作電源，提供給 MCU 及接收器，並能克服鬼火。

步驟：根據行動電源的充電曲線的概念設計線路架構後，使用電子模擬進行模擬測試。

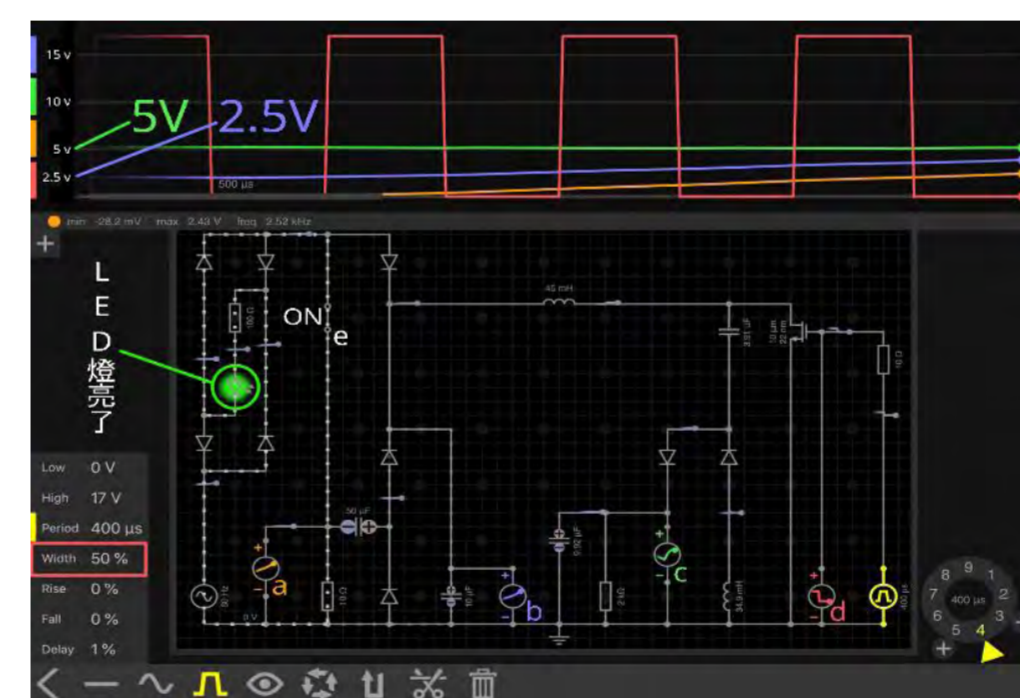


結果：
(1) 關燈時模擬結果



代號	線色	代表意義	結果
a	橘色	模擬市電 110V / 60Hz 的電源輸入電流	很小，幾乎為 0A
b	藍色	儲存漏電流至電容 C3 10 μF 的電壓	約 43V
c	綠色	經電源供應器轉移後電容 C2 的電壓，做為 MCU 單晶片及接收器的操作電源，並在其旁邊並入一個 2K 電阻和電容做為等效負載	約 5V
d	紅色	驅動電源供應器的模擬開關信號，為一個脈波調整信號	2% (分配率 1/50)
e		開關，代表雙向閘流體 (TRIAC)	OFF (TRIAC 不導通) LED 燈不亮

(2) 開燈後模擬的結果



代號	線色	代表意義	結果
a	橘色	交流電流通過串接電阻 10Ω 上獲得的正負交變的電壓	± 2.2V
b	藍色	經倍壓迴路後電容 C3 10 μF 的電壓	約 2.5V
c	綠色	經電源供應器轉移後電容 C2 的電壓，做為 MCU 單晶片及接收器的操作電源，並在其旁邊並入一個 2K 電阻和電容做為等效負載	約 5V
d	紅色	驅動電源供應器的模擬開關信號，為一個脈波調整信號	50% (分配率 1/2)
e		開關，代表雙向閘流體 (TRIAC)	ON (TRIAC 導通) LED 燈亮了

結論：

- 1) 關燈時，儲存漏電流的電容上之電壓接近 50V 時，鬼火可以控制且 5V 電源可以建立，因此可在關燈的情況下可以開燈。
- 2) 開燈時，儲存漏電流的電容上之電壓約 2.5V，且 5V 電源可以建立，因此可在開燈的情況下可以關燈。

C. 發射器發電量的提升，提高發射接收的穩定性

1. 目的：模擬電源儲能至 100μF 電容，找出無線按壓開關所需的最佳電能條件。

結果：

提供 3V 電源時間	接收器是否有收到信號	訊號穩定度
1 ms	沒有	低 ↓ 高
2 ms	間斷	
3 ms	有	
4 ms	有	
5 ms	有	
6 ms	有	

結論：線圈產生的能量必須在 4ms 對電容能充電至 3V。

2. 目的：匹配發射器上的線圈與磁鐵數量，才能在 4 ms 對電容充電達到 3V。

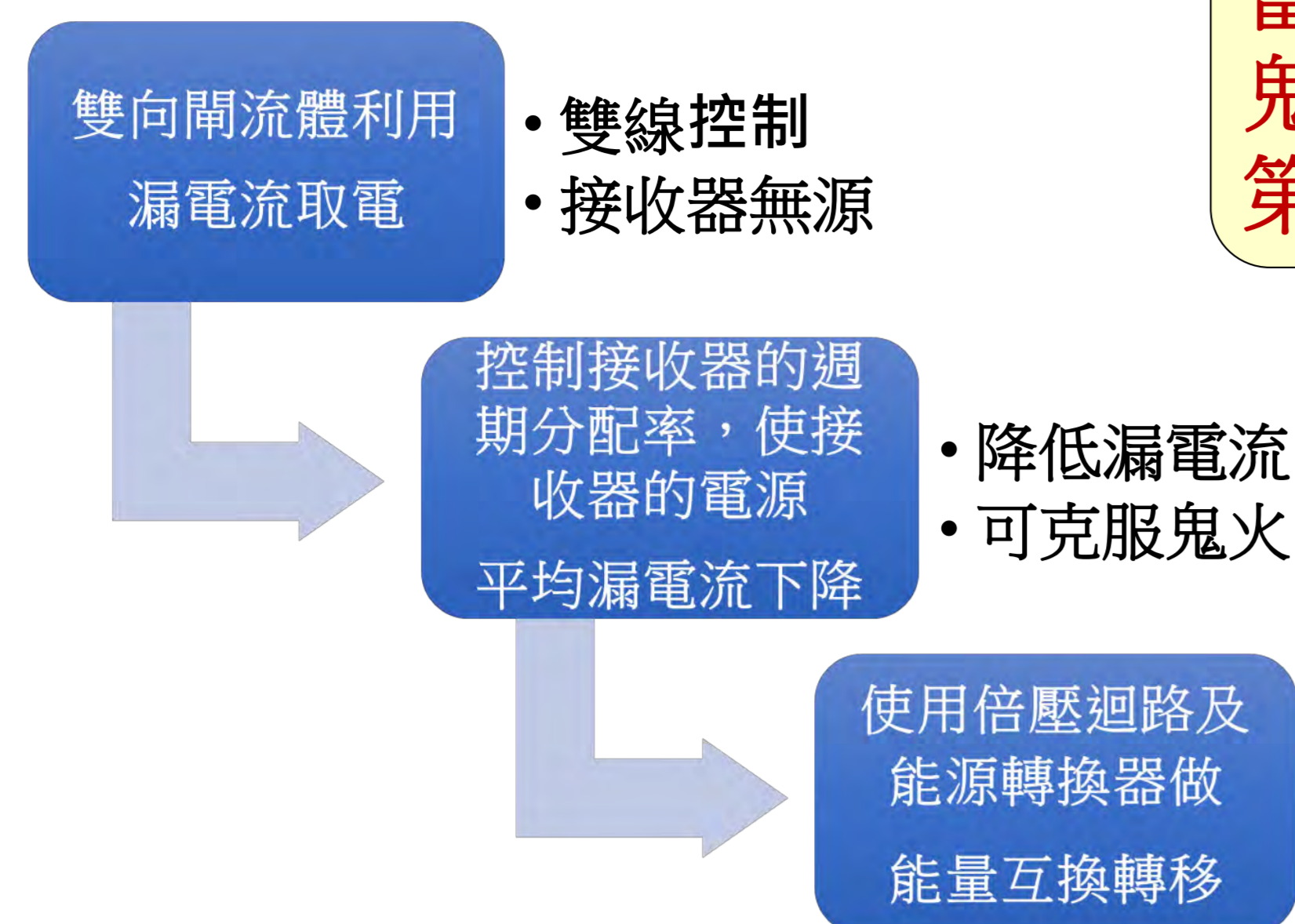
結果：

線圈圈數(Ts)	下方磁鐵	上方磁鐵	所獲得的電壓	燈泡是否可控制
1700	16 x 4 mm 1 個	16 x 4 mm 1 個 加 15 x 4 mm 2 個	3~4V	可

結論：線圈切割磁力線，當速度愈快，發電量愈大，所以磁鐵快速撞擊線圈，可獲得所需的能量。

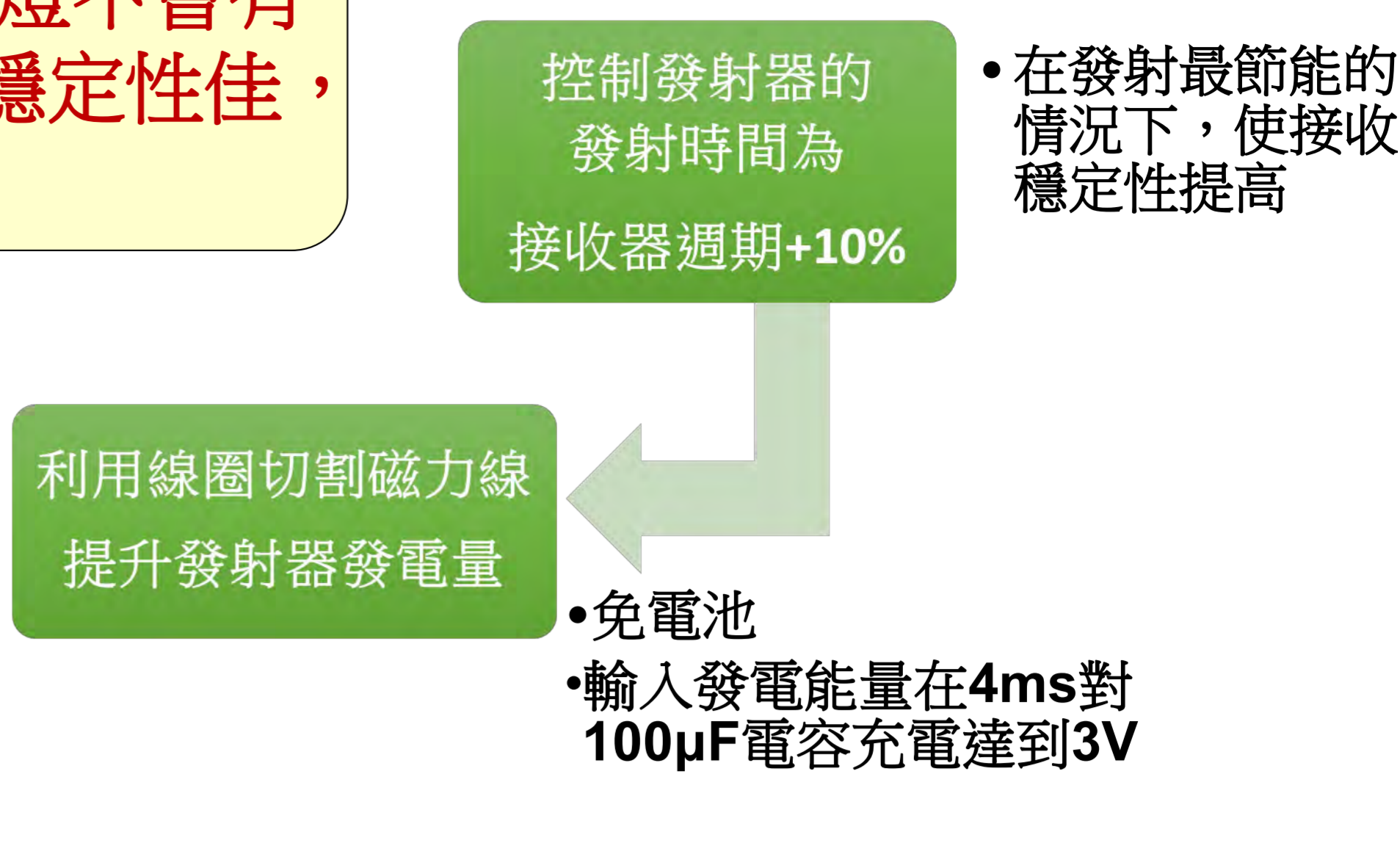
伍、研究結果

第二代無線控制開關



當負載換成LED燈時，關燈不會有鬼火現象，且發射接收的穩定性佳，第二代作品整合成功。

第二代無線按壓遙控開關



陸、討論

Q：如何得知本研究無線控制開關之成本及節能控制原理，優於目前市面上的產品設計？

A：與目前最暢銷的米X智能開關做比較得知，我們的設計確實有絕對的優勢。

	無線控制開關	米 X Aqara 牆壁開關
漏電流取電方式原理方塊圖	 在 ON-OFF 都使用能源轉換器做能量互換轉移	 需電源轉換器取電與控制器配合，才能 ON-OFF 取電
接線方式	雙線	雙線
鬼火現象	無鬼火	無鬼火
元件數	約少一半	多
成本	低，只需 1 個晶片	高，需 3 個晶片
線路損失	低	高
無線遙控開關供電方式	不需電池	米 X Aqara 無線開關需裝鈕扣電池供電

柒、結論

智能開關要想實現智慧控制，就必須考慮無線傳輸和待機等候兩種情況，而待機及開機時智能開關都必須有電源供電才能正常工作，又可避免鬼火的發生，這是本研究的技術優勢所在。

一、創新性

在控制開關內用轉換能量的方式，不但轉換效率提高，而且零件少成本低，同時解決鬼火現象和發射接收信號穩定性的問題。

二、節能性

在控制開關內設計使輸入電壓可低於亦可高於輸出電壓，非常節能。

三、實用性與普及性

直接取代原有開關後升級

四、環保性

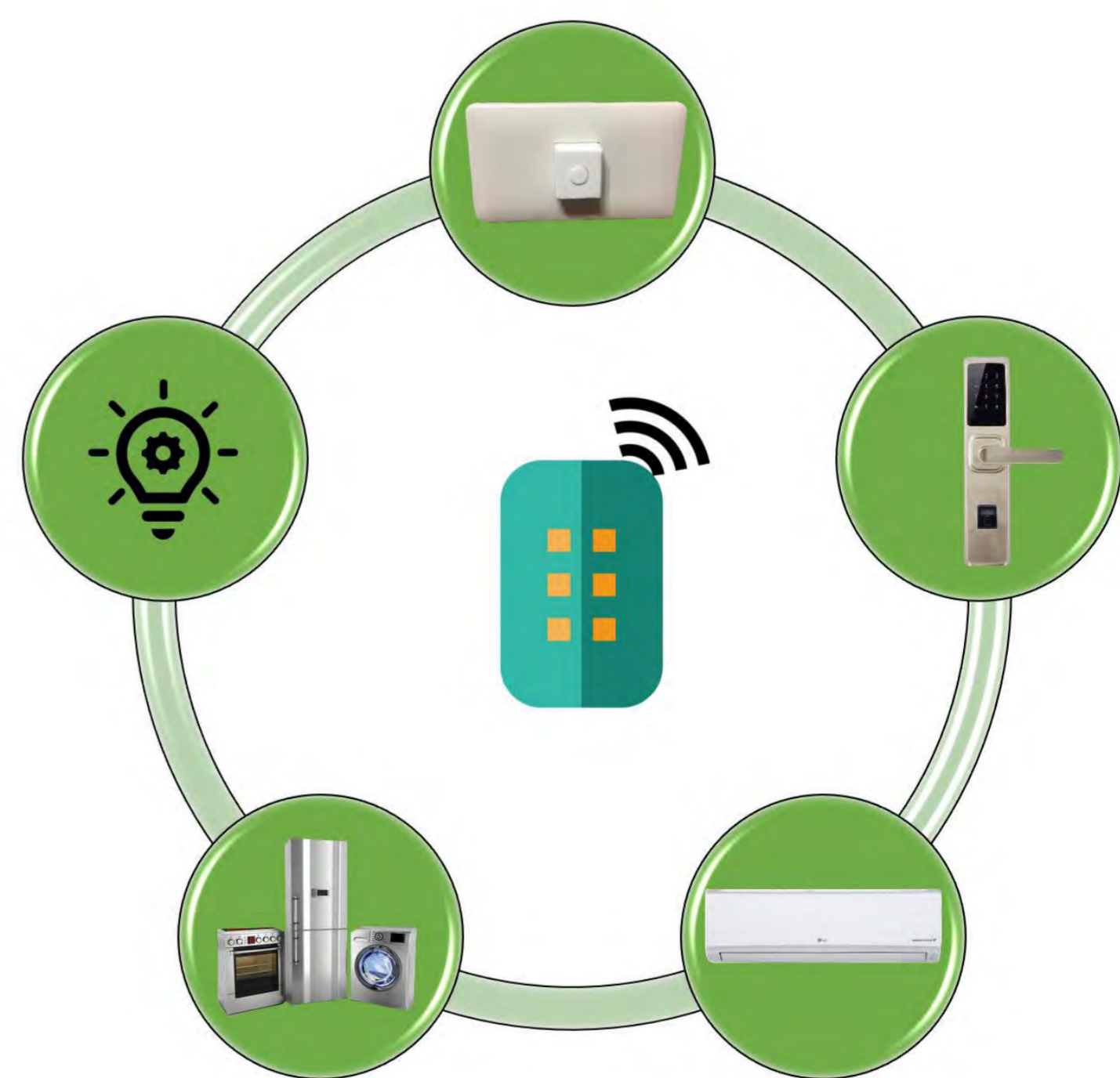
免電池，免配線



捌、未來展望

智能家居生活化由一個小小的開關開始 ~

不論是簡單的無線控制或功能強大的物聯網智能控制，最終都是要通過開關來控制燈具或負載，而本研究是直接取代原有開關，未來希望可以將此低成本高品質的無源無線開關推廣至社會每個地方，相信可以幫忙解決很多年長者或行動不便的人的困擾，再者亦可配合物聯網智能控制達到智能家居生活化。



玖、參考資料及其他

- Microchip單晶片 PIC16F54 Datasheet, from <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41207D.pdf>
- 胡茂林(2004)·實用PIC16C5X系列單晶片軟硬體設計實務(1版)·益眾。
- 立雅科技(2005)·SolidWorks 2005實戰演練基礎入門(初版)·知域數位。
- David Thornburg, Norma Thornbur·3D列印教室：翻轉教育的成功秘笈(初版)·碁峰。
- 小米官網·小米Aqara單火線智慧開關所使用的單火線技術, from <http://bbs.xiaomi.cn/t-13528034>