

臺北市立大安高級工業職業學校專題製作競賽

「專題組」作品說明書



群別：電機與電子群

作品名稱：超同步輪盤·時之真理

關鍵詞：時鐘、齒輪、同步

## 目錄

壹、摘要	1
貳、研究動機	1
參、主題與課程相關性或教學單元之說明	2
一、使用軟體	2
二、大型機具	2
三、電子元件	2
肆、研究方法	3
一、硬體結構	3
二、動作設想	3
三、軟體設計	3
四、元件介紹	6
五、電路布置	7
伍、研究結果	9
一、硬體結構	9
二、電子元件	12
三、軟體設計	12
陸、討論	13
一、硬體	13
二、電子元件與軟體	13
柒、結論	14
捌、參考資料及其他	14

## 圖目錄

圖1、	Arduino	2
圖2、	Altium Designer	2
圖3、	Autodesk Inventor	2
圖4、	RDWorks	2
圖5、	計算齒輪比的草稿	3
圖6、	RDWorks 工作介面	3
圖7、	Arduino IDE 工作介面	3
圖8、	Arduino 程式動作流程圖	4
圖9、	APP Inventor 工作介面	5
圖10、	手機 APP 動作流程圖	5
圖11、	Arduino Mega 2560	6
圖12、	BYJ-48 步進馬達	6
圖13、	ULN2003A	6
圖14、	7805	6
圖15、	LED 燈條	7
圖16、	微動開關與觸發點	7
圖17、	電路板與麵包版	7
圖18、	電路板背面	7
圖19、	元件接線圖	8
圖20、	20 齒的原動齒輪正面	9
圖21、	20 齒的原動齒輪背面	9
圖22、	30 齒與 9 齒的雙層齒輪	9
圖23、	分盤的內齒輪	9
圖24、	模數三的大齒輪	10
圖25、	時盤的內齒輪	10
圖26、	48 齒與 10 齒的雙層齒輪	10
圖27、	8 齒小齒輪與秒盤	10
圖28、	三個刻度盤	10
圖29、	塗色的部分	10
圖30、	底盤正面	11
圖31、	底盤背面	11
圖32、	底座正面	11
圖33、	底座背面	11
圖34、	紅光照明效果	12
圖35、	紫光照明效果	12
圖36、	白光照明效果	12
圖37、	手機程式主選單功能說明	12

圖38、 固定時盤位置的檔片.....13

# 【超同步輪盤·時之真理】

## 壹、摘要

受到了超同步電動機的啟發，我們想要研發一款指針固定，而讓轉盤轉動的時鐘。為此，我們使用 3D 列印與雷射切割製作硬體機構，並使用步進馬達加上 Arduino 等元件使其轉動，再加上藍芽模組與手機 APP 實現調整時間與改變燈光的功能。

只要再增加精確度與穩定度，相信這會是一款兼具創意與美觀，能夠進到家中的產品！

## 貳、研究動機

在二年級的電工機械課程中，提到了超同步電動機，這是一種同步電動機的啟動法，用於啟動負載很大的場合。啟動時，先讓定子作為感應機旋轉，之後將定子逐漸煞住，使轉子得以順勢旋轉。受此啟發，我們想，既然轉子可以靜止；定子亦可以選擇，為何我們不能讓時鐘的指針靜止，而讓定子轉動呢？

於是，一個指針固定向上，而讓時、分、秒三個轉盤轉動的時鐘，就是我們的設計目標。

為了維持穩定的轉速，我們打算使用步進馬達驅動整個盤面，然而，步進馬達有著不俗的靜止轉矩，讓使用者在需要調整時間時不好直接以手轉動。我們也曾考慮過讓齒輪進行切換，但那所需要的技術可不是我們幾個平凡的學生做得來的。此外，手動調整的時間多少會有一點誤差，尤其像是大部分手錶，分和時都就定位之後，還需要等待正確的秒數到來之際按下按鈕。如果，時鐘會自己調整時間就沒有這個問題了！

於是，它不僅是受到了超同步電動機的啟發而生，連它本身也能夠與時間進行同步。

這。正是「同步」的真理！

## 參、 主題與課程相關性或教學單元之說明

### 一、 使用軟體

- (一)、 Arduino 以及 C++(圖 1)：皆為二年級實習課的內容之一。
- (二)、 Altium Designer (圖 2)：在二年級介紹過，可惜由於疫情影響，僅有說明軟體使用方法，並未在當時實操電路雕刻。
- (三)、 Autodesk Inventor(圖 3)：在一、二年級的部分彈性課程有教過，此外，三年級的實習課中，「硬體組」的同學也會學到。
- (四)、 RDWorks(圖 4)：二年級時，我們已在老師的帶領下操作過。



圖 1、Arduino



圖 2、Altium



AUTODESK®  
INVENTOR®

圖 3、Autodesk Inventor



圖 4、RDWorks

### 二、 大型機具

- (一)、 雷射切割機：搭配 RDWorks，同樣在二年級時操作過。
- (二)、 3D 列印機：在一、二年級的部分彈性課程中已實際使用過。

### 三、 電子元件

- (一)、 麵包版、單芯線與杜邦線：電子學實習中基本上每次都要用。
- (二)、 步進馬達：在電工機械中提及相關原理與計算，但實際的驅動方法還是自己摸出來的。
- (三)、 ULN2003A：由數對達靈頓電路組合而成，電子學有教達靈頓。
- (四)、 LED 燈條：發光二極體，亦屬於電子學的範疇。

綜上所述，超同步輪盤·時之真理與我們的課程具有不小的相關性

## 肆、 研究方法

### 一、 硬體結構

#### (一)、 3D 列印

我們先透過 Autodesk Inventor 繪製許多扁圓柱，透過其半徑計算齒輪比並且規劃齒輪擺設的位置。(如圖 5)

#### (二)、 雷射切割

齒輪由 Autodesk Inventor 經過特殊程序轉換而來，刻度盤上的文字由內建的功能打上，刻度則由 PowerPoint 繪製而成。(如圖 6)

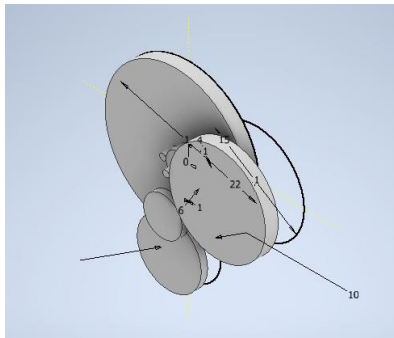


圖 5、計算齒輪比的草稿

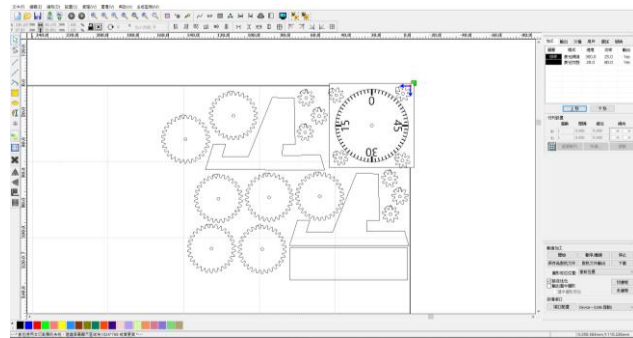


圖 6、RDWorks 工作介面

### 二、 動作設想

超同步輪盤·時之真理將能夠在平時轉動時、分、秒三個轉盤，以此顯示時間。透過手機程式，還能夠直接遙控馬達的轉動、LED 燈條，以及令其自動矯正對時。在自動對時情況下，馬達將以最高速度運轉，直到時盤轉到 12 點的位置，微動開關被觸發，之後將根據計算，使轉盤轉動至對應當前時間加上校正期間時間差的位置。

### 三、 軟體設計

#### (一)、 Arduino

參照網路上的資料，並使用 Arduino IDE(如圖 7)撰寫能夠驅動步進馬達與 LED、接收來自手機藍芽訊息的程式。

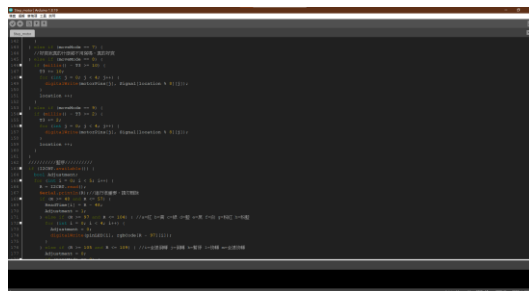


圖 7、Arduino IDE 工作介面

Arduino 工作的具體流程圖如下(圖 8)：

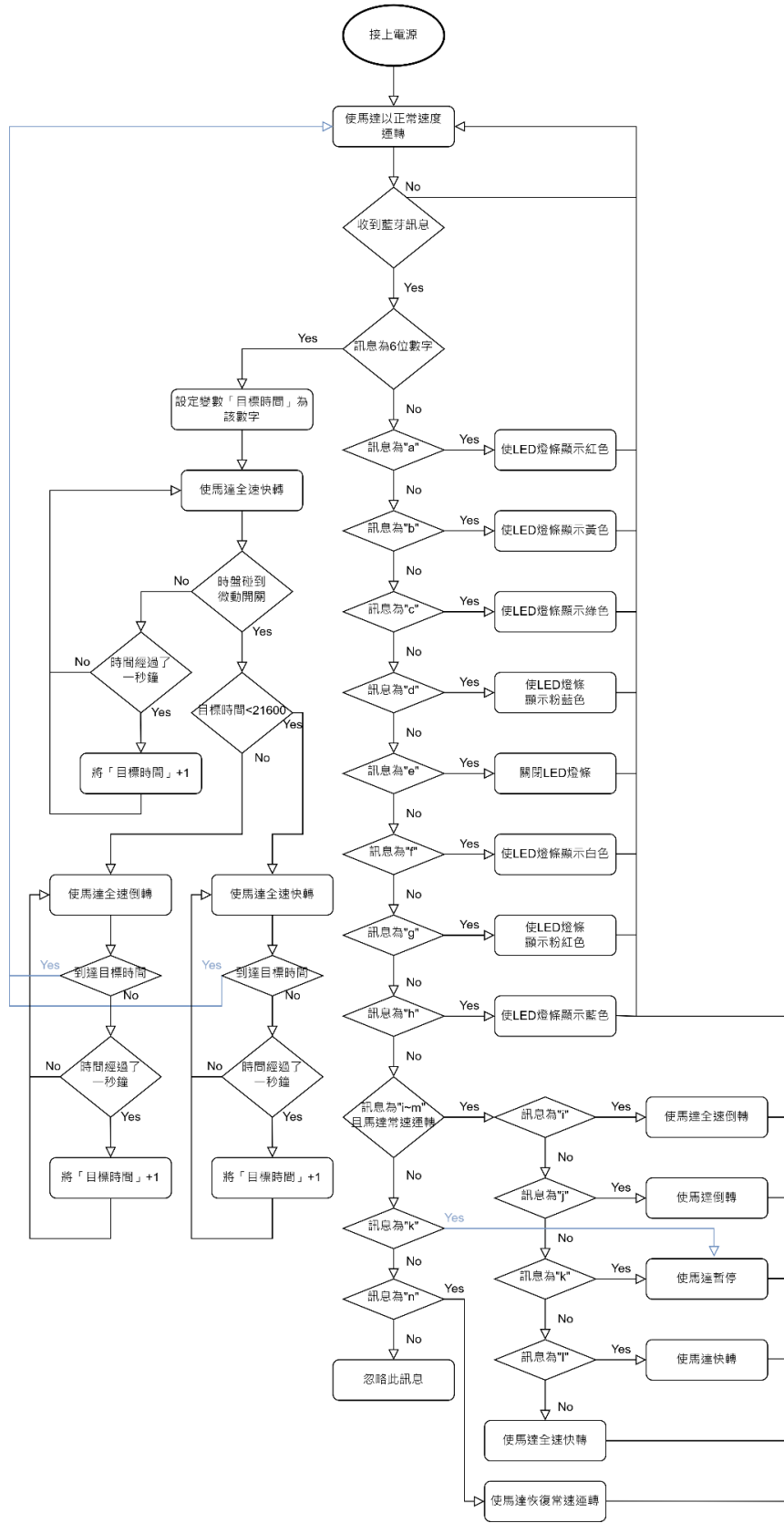


圖 8、Arduino 程式動作流程圖



(二)、 手機 APP

使用 APP Inventor (如圖 9)進行開發，使其能夠偵測手機的時間，以及傳送訊息給藍芽模組等，運作流程如下(圖 10)：

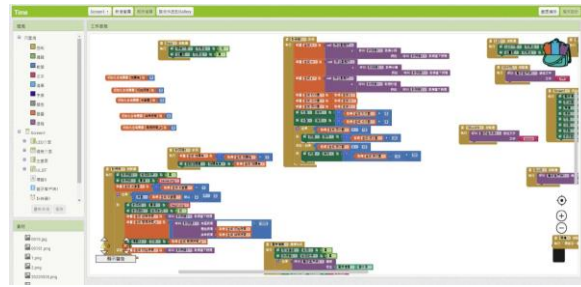


圖 9、APP Inventor 工作介面

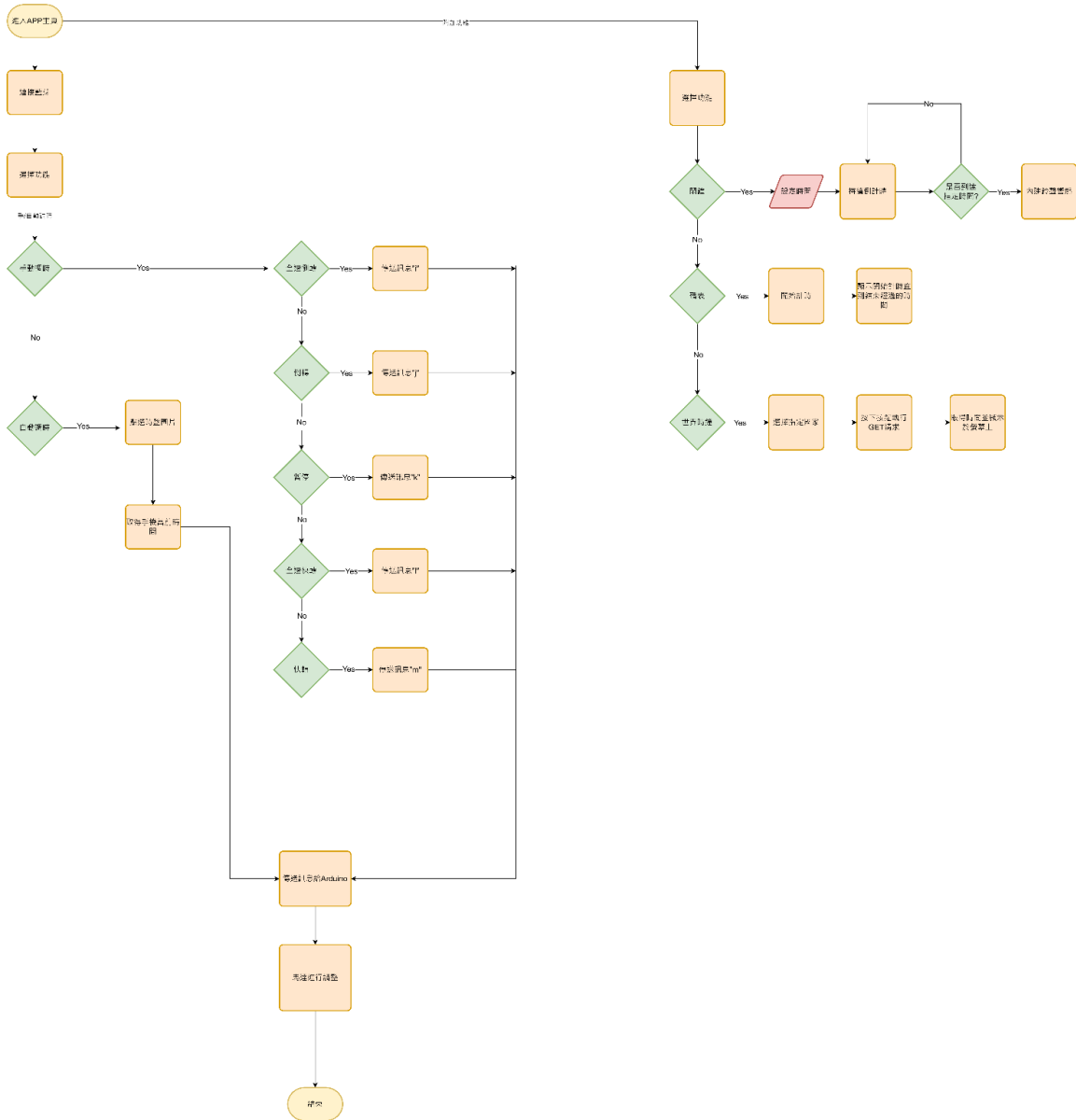


圖 10、手機 APP 動作流程圖

#### 四、 元件介紹

(一)、 Arduino Mega 2560(圖 11)：

常見的開發板，之所以選用 Mega 是為了方便增加未來的擴充性。

(二)、 BYJ-48(耐壓 12V)步進馬達(圖 12)：

負責帶動整個齒輪組，為 5 線式。



圖 11、Arduino Mega 2560



圖 12、BYJ-48 步進馬達

(三)、 ULN2003A 驅動 IC(圖 13)：

內含七組達靈頓對，可視為高態驅動的電子開關。耐壓、耐流大，還有能保護馬達的飛輪二極體(freewheeling diode)，是驅動 BYJ-48 的不二之選。

(四)、 7805 穩壓 IC(圖 14)：

將 DC12V 的電源轉為 5V 並供給 Arduino 和 LED 等元件使用。交流變壓還要兩球線圈，直流變壓卻只要一片指甲大的 IC，電晶體的力量真是太神奇了！

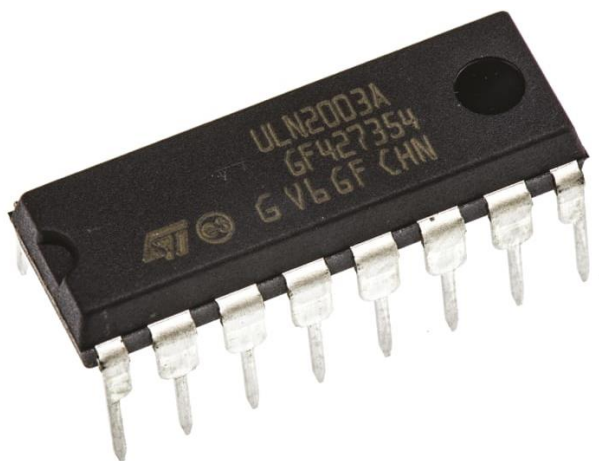


圖 13、ULN2003A



圖 14、7805

(五)、 LED 燈條(型號不明，但腳位分別為 5V、R、G、B) (圖 15)：  
提供夜間照明效果。

(六)、 微動開關&電晶體(圖 16)：  
偵測時盤的位置，電晶體因為形狀很剛好就被拿來當成觸發點了。



圖 15、LED 燈條

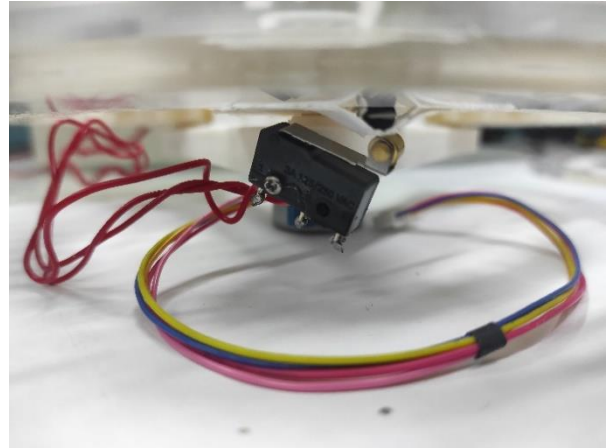


圖 16、微動開關與觸發點

## 五、 電路布置

(一)、 使用 Altium Designer 搭配電路雕刻機做出一塊能插在 Arduino Mega 版上的電路板(如圖 17、18)，遍布其上的針腳比起原本 Arduino 的母座能夠更加穩定的固定杜邦線，並且已經接好了藍芽模組的線路，只要把腳焊上去較能用。此外，每一個腳位也都連到一個洞，方便日後將單芯線焊接上去。

(二)、 使用了一塊迷你麵包版作為輔助(如圖 17)，所有的電路皆乘載於這兩片板子上

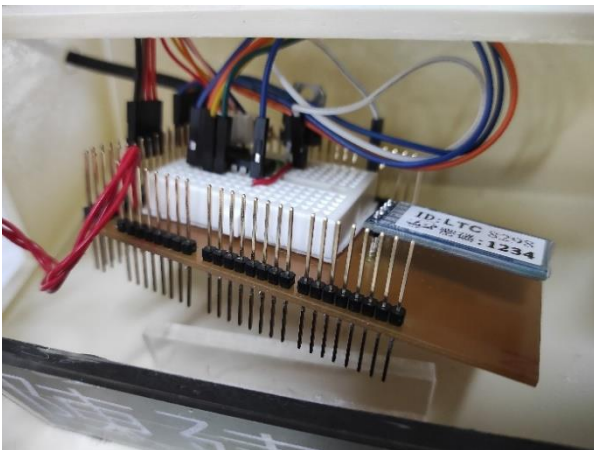


圖 17、電路板與麵包版

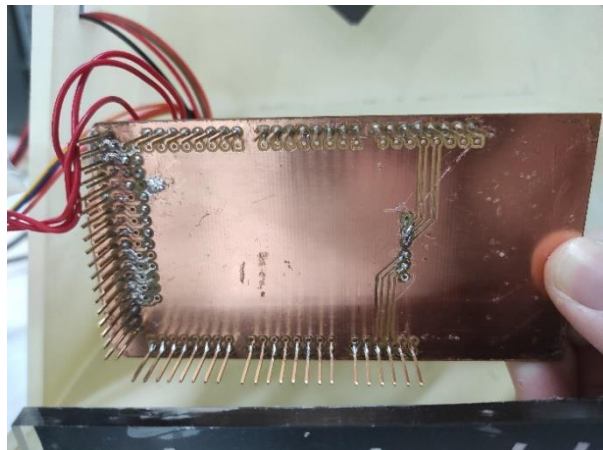


圖 18、電路板背面

(三)、 其他元件之線路可參照下圖(19)

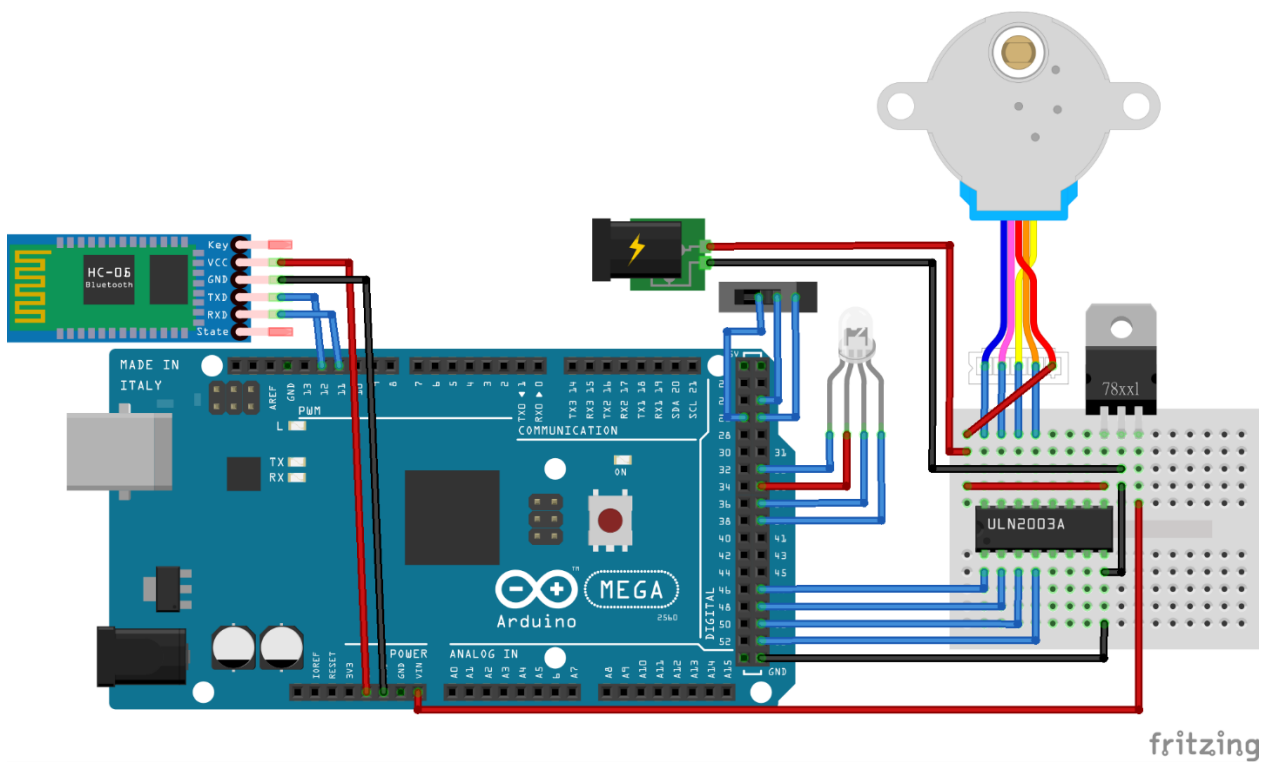


圖 19、元件接線圖

## 伍、 研究結果

### 一、 硬體結構

#### (一)、 齒輪：

超同步輪盤·時之真理使用行星齒輪組驅動，最中心直接與馬達相連的原動齒輪是 20 齒（如圖 20、21），接著連結到旁邊的雙層齒輪，該齒輪之上層為 30 齒，下層為 9 齒（如圖 22），30 齒的齒輪會直接連到有 80 齒內齒輪的分盤（如圖 23），9 齒的齒輪則會連接到另一顆上層為 60 齒下層為模數 3、齒數 9 的雙層齒輪（如圖 24），9 齒的部分再連結到有著 43 齒內齒輪的時盤內齒輪（如圖 25，模數為 3）。秒盤則是由 30 齒雙層齒輪連到一顆上層為 48 齒，下層為 10 齒的雙層齒輪（如圖 26）的 10 齒部分，48 齒的部分連結到一個 8 齒的小齒輪，而小齒輪則與秒盤黏合（如圖 27）。

透過如上架構，時盤、分盤、秒盤將以約為 1:12:720 的比例連動。

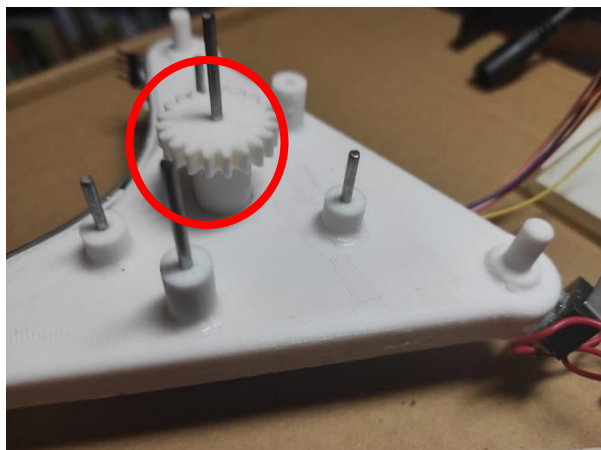


圖 20、20 齒的原動齒輪正面

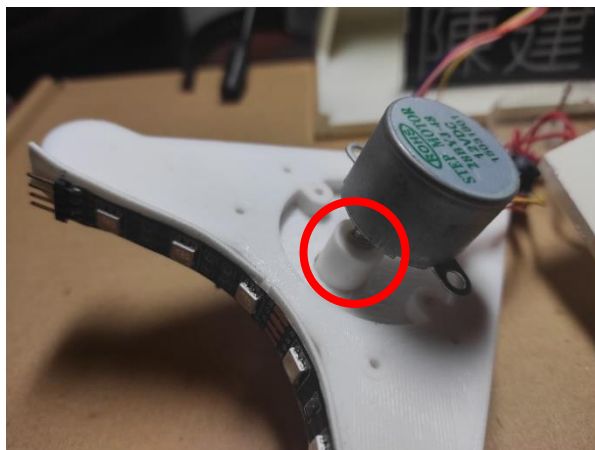


圖 21、20 齒的原動齒輪背面



圖 22、30 齒與 9 齒的雙層齒輪



圖 23、分盤的內齒輪



圖 24、模數三的大齒輪



圖 25、時盤的內齒輪



圖 26、48 齒與 10 齒的雙層齒輪



圖 27、8 齒小齒輪與秒盤

(二)、 刻度盤：使用雷射切割製作(如圖 28)，上面的數字則是雷射掃描而成，受熱融化的壓克力與紙張混合之後就變成了這白色的模樣，還可以用麥克筆塗上顏色，以做出紅色的整點標記和黑色的阿拉伯文數字(如圖 29)



圖 28、三個刻度盤



圖 29、塗色的部分

### (三)、 底盤：

使用 3D 列印製成的底盤中心有一個圓孔，用來固定原動齒輪。位於三個頂點的突起則是用來固定模數 3 的大齒輪，其他的突起上皆有貫穿整個底盤的小孔，用鑽子擴大後可以放上 2mm 轉軸(如圖 30)，背面的洞可以鎖螺絲，固定馬達與微動開關(如圖 31)，而上方的弧形區域則是燈條的落腳點。

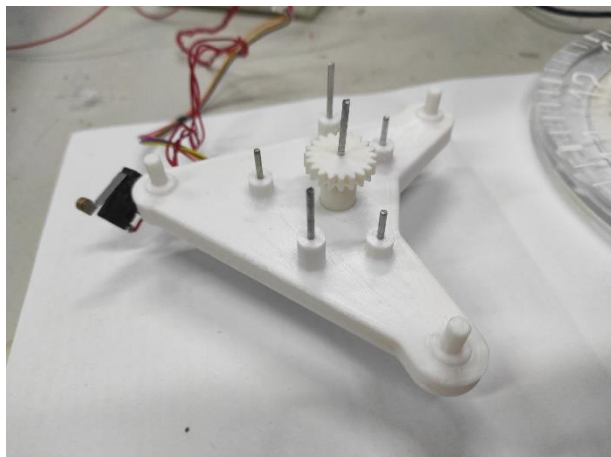


圖 30、底盤正面

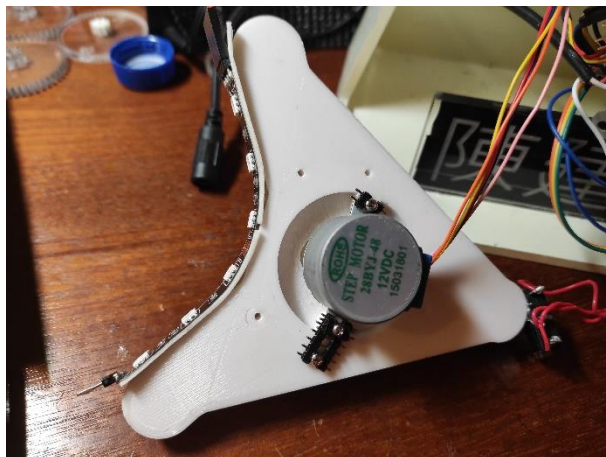


圖 31、底盤背面

### (四)、 底座：

採用雙層設計，下層有前蓋，用於放置 Arduino 版、藍芽模組，以及電路板。下層的前、左、上方皆有開口，分別穿過微動開關、電源，以及馬達加上 LED 燈條的線路。上層則無前蓋，方便置於其中的馬達散熱，上面有個神似笑臉的圖案，其中兩個洞可以讓線穿過去，讓超同步輪盤·時之真理既可以放在桌上，也能掛在牆上，而弧形則可以放上黑色色紙，使盤面上的白色數字更容易閱讀。(如圖 32、33)

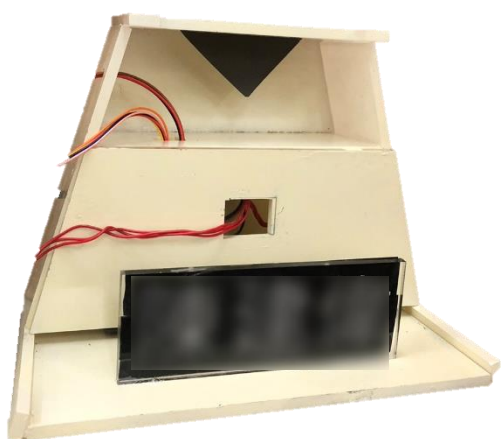


圖 32、底座正面



圖 33、底座背面

## 二、 電子元件

- (一)、 微動開關鎖於底盤的下方，並且在時盤的約 6 點位置裝置一個突起的觸發器，用於偵測時盤是否已轉到 12 點的位置。(可參照圖 16)
- (二)、 LED 燈能在夜晚提供良好的照明效果，並可顯示 7 種顏色，分別為紅(如圖 34)、藍、綠、粉紅、黃、紫(如圖 35)、白(如圖 36)。



圖 34、紅光照明效果



圖 35、紫光照明效果



圖 36、白光照明效果

## 三、 軟體設計

- (一)、 Arduino：

平時使步進馬達用極慢的速度運轉(221ms 一步)使刻度盤依照時間流逝的速度轉動，並隨時等待手機的指令，調整馬達轉速或 LED 燈的狀態。

值得一提的是自動調整時間的功能，收到手機傳送當前時間的訊息後，將使馬達全速運轉，直到時盤轉到 12 點的位置並觸發微動開關，之後用全速正轉或反轉(取決於何者的路徑較短)，直到抵達設定時間。調整期間所度過的秒數也會自動加到設定時間上。(可參見圖 8 之流程圖)

- (二)、 手機 APP：

能夠透過藍芽，實現超同步輪盤·時之真理手、自動調整時間的功能，同樣也能改變燈條的顏色，同時還有一些附加的小功能，除了方便我們進行調試外，也能讓使用者擁有更加豐富的使用體驗。(如圖 37)

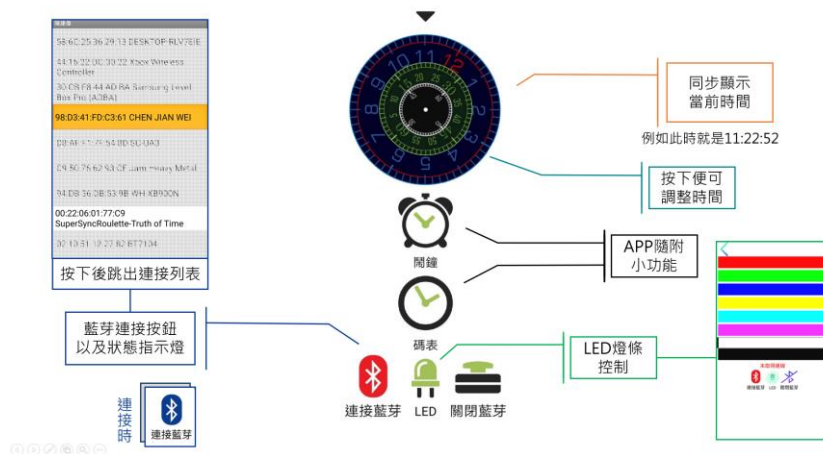


圖 37、手機程式主選單功能說明



## 陸、 討論

### 一、 硬體

- (一)、 超同步輪盤·時之真理的齒輪比其實仍然有所誤差，例如時對分的比例實際上是 11.944 而非 12，這些誤差長久累計下來，終究會造成不小的差異。
- (二)、 由於缺乏指針，以及分盤缺少刻度，在判讀超同步輪盤·時之真理的時間時容易產生人為的誤差，若能加上指針並重新設計分盤外觀將能夠改善此問題。
- (三)、 若在盤面數字處塗上螢光塗料，並調整 LED 燈的位置，應該可以使數字變得更明顯。
- (四)、 3D 列印的齒輪會出現磨損問題，加上容易產生誤差，以及製作時程長，因此我們已經將不少齒輪替換為雷射切割。然而，雷射切割的缺陷正在於他很硬，邊緣許多的稜角容易讓運轉不順，因此，例如秒盤下方的小齒輪就仍然使用 3D 列印。
- (五)、 微動開關的觸發很可能因為乘載時盤的齒輪被推到前方而產生誤差，雖然已經在底座加裝了擋片(如圖 38)減少這樣的情況發生，但如果能在分盤甚至秒盤上偵測位置，將能夠更大幅減少相關的判斷誤差。

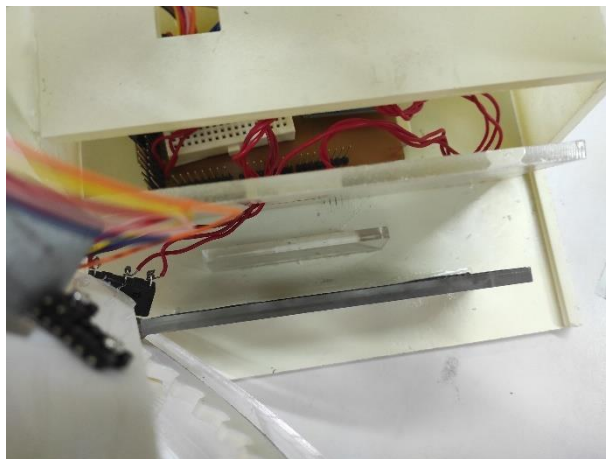


圖 38、固定時盤位置的擋片

### 二、 電子元件與軟體

- (一)、 據學長的經驗所言，Arduino 內建的時間並不那麼準確，如果能夠加上 DS1302 時間模組，就能使超同步輪盤·時之真理的時間顯示更準確，此外，由於 DS1302 本身具有電池，若能再加上外部儲存模組，便可使超同步輪盤·時之真理在斷電後自動計算期間的時間差再行調整。

- (二)、 如果加上蜂鳴器等元件，再配合手機 APP，超同步輪盤·時之真理將可以實現鬧鐘功能。
- (三)、 LED 燈條還具有更多的可能性，比如根據設定時間自動開啟或關閉，或者更加動態與多彩的效果等等，都是未來可以再研究的方向。

## 柒、 結論

超同步輪盤·時之真理可以在平時穩定運轉，顯示當前的時間。還能透過 APP，遙控馬達的轉動、自動調整時間，以及改變 LED 燈條的顏色。若能再增加精確度與穩定度，相信這會是一款兼具創意與美觀，能夠進到家中的產品！

這是一段將天馬行空化為現實的故事，這是一段征服路上重重困難的旅程，這是高中三年中最累也最快樂的時光，這是凝聚眾人與技術之力的結晶……

「我們做到了」，這就是最好的結論吧。

## 捌、 參考資料及其他

### 一、 書本資料：

1. 楊德明、陳伯爵(2020)。《技術型高級中等學校電機與電子群 電工機械下冊》。
2. 小原敏治(2006)。《齒輪 ABC 入門篇》。

### 二、 網路資料：

1. Cubie(2014)。HC-05 與 HC-06 藍牙模組補充說明 (三)：使用 Arduino 設定 AT 命令。取自：<https://swf.com.tw/?p=712>
2. terry2346(2021)。App Inventor 學習記錄 113-用網路元件，取得網頁上的資料。取自：<https://www.omidte.com/app-inventor%E5%AD%B8%E7%BF%92%E8%A8%98%E9%8C%84113-%E7%94%A8%E7%B6%B2%E8%B7%AF%E5%85%83%E4%BB%B6%EF%BC%8C%E5%8F%96%E5%BE%97%E7%B6%B2%E9%A0%81%E4%B8%8A%E7%9A%84%E8%B3%87%E6%96%99/>