

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 機械科

090904

輕鬆發電

學校名稱：國立嘉義高級工業職業學校

作者： 職二 黃子中 職二 何孟鴻 職二 陳俊斌	指導老師： 羅文毅 張弘智
---	-----------------------------

關鍵詞：運動發電、DC 發電機、人機介面

摘要

本作品結合運動與發電，探究一種用上更輕鬆的發電裝置，操作者只要站立偏移身體重心，由身體重心與旋轉軸所產生的力矩經由機構增速來驅動直流發電機旋轉，藉以產生發電能量。

在機構設計上當踏板左右踩踏時會驅動四組曲柄搖桿倒置機構，將擺動轉換為旋轉運動，延長加速驅動時間，連接至發電機增速機構，測試飛輪轉速補償效果，使得發電機轉軸產生一定的發電轉速，設計監視人機介面，可以讓使用者能清楚知道現行電壓、電流、轉速和發電量，提升發電意願和樂趣。

壹、研究動機

現今地球上所儲存的石化能源已經有嚴重的人不敷出的現象，人們便開始發展各式各樣的其他能源，其中電的能源型式是最為被使用的，現今人們的生活缺少不了電，一旦沒了電，人們就會退化到跟原始人一樣的生活，也就是說，『電』主宰了現代的生活，全球人口數已突破 60 億大關的地球，電力的需求已越來越高，火力、水力、風力，甚至是核能都被用在發電方面，我們便在想上述的發電方式都不是一人能完成的發電方式，我們便想創造一個發電方式是可以『一個人輕鬆發電』的發電方法。

我們想要創造的是一個人可以安全且輕鬆的發電方法，雖然發電量比不上火力、核能的電量，但在安全性上絕對可以輕鬆超越核能、火力發電，我們想要使用純機械能而非熱能使發電機發電，所以無論男女老幼都可以利用這套機構進行發電，在發電的過程可以一起與運動做結合，在運動的過程可以發電聽起來似乎非常地有吸引力，尤其是我們是利用重心的偏擺，不像踩腳踏車要令腳做迴轉運動，我們只需輕鬆的踩踏踏板，便可以使發電機發電，相信如果能夠普及於一般生活時，積沙成塔，發電量也可以令一般家庭減少在電費上的支出，這是我們想做到的事。

貳、研究目的

- 一、找出直流發電機的特性曲線。
- 二、找出直流發電機在不同負載的輸出情形。
- 三、設計發電的監視人機介面。
- 四、設計踩踏式的發電機構。

參、研究設備及器材

一. 研究設備

(一)工具機及 CNC 工具機

(二)數位示波器

(三)PLC 可程式邏輯控制器及 4AD 模組

(四)PWM 直流馬達調速器

(五)永磁式直流馬達 DC24V

(六)光學轉速計

二. 使用材料

項次	材料名稱	規 格	備 註
1	直流電源	交換式 DC24V	
2	直流發電機	DC24V，3.5A	
3	光學編碼器	DC5V，兩相式	
4	連座軸承	內徑 20mm	
5	直流電壓錶	DC0-199V，具類比輸出訊號	
6	直流電流錶	DC0-5A，具類比輸出訊號	
7	單向軸承	內徑 20mm	
8	鍍鉻圓軸	20mm、12mm	
9	滾珠軸承	外環 16mm，內環 8mm	
10	黃銅	依設計尺寸	
11	時規皮帶輪及皮帶	5M20T，5M30T，5M50T	
12	工程塑膠	乙炔龍，依設計尺寸	
13	鋁合金板	6061，依設計尺寸	
14	鋁擠型條	20*20mm	
15	內六角沉頭螺絲	M5	
16	固定螺絲	M6	

肆、研究過程或方法

- 一. 資料蒐集及分析：運動結合發電雖然發電量不高，但是在運動中不但能得到滿足與快樂，而且能伴隨著得到想要的電能來手機充電、聽音樂或是照明等，一舉兩得。

(一) 常見運動發電方式

1. 使用發電機：透過健身器材踩踏機構來驅動發電機心軸旋轉，即可達發電效果，達到能量轉換的目的。
2. 使用壓電晶體：利用壓電晶體承受應力所產生的應變使得材料產生電動勢。

(二) 運動健身器材機構分析：一般著重於身體整體運動藉以消耗熱量、燃燒脂肪、常見的器材包括腳踏式健身車、滑步機、跑步機、踏步機等，其運用之機械機構如下說明：

1. 腳踏式健身車：使用旋轉驅動機構如鏈條或皮帶輪裝置驅動負載，如圖 1(左)為健身車，使用時位於後側之飛輪提供一定的運動感覺，有的產品結合風扇負載，在您運動時能享受風吹掠過身體的感覺，圖 1(右)是以強力磁組控制飛輪阻力，可以有變化的運動負載，滿足每個人不同的運動能力。



圖 1 健身車 (左)力阻型 (右)磁阻型飛輪

2. 橢圓機：圖 2 為橢圓機，為改良型之健身車，橢圓機在驅動時腿部承受著較低的反作用力，只要踩上踏板，就會自然帶動步伐以橢圓繞圈的方式運作，可以大幅減低運動時對關節及膝蓋的衝擊，其驅動機構以搖桿、連桿及曲柄所組成。



圖 2 橢圓機

3. 可調步距橢圓踏步機：如圖 3(左)結合曲柄搖桿與雙搖桿之機構應用，這是一種新的運動步伐變異進化的健身設備，容許不同體能者運動使用，可任由使用者運動中自由調整運動橢圓步距或踏步模式，通過簡單方式調整自我動作。



圖 3 具雙搖桿之健身機 (左)可調步距橢圓踏步機 (右)滑步機

4. 滑步機：如圖 3(右)採用雙搖桿機構，兩搖桿均作往復搖擺運動，操作時會產生死點，使用時應避免連桿(耦桿)與任一搖桿成一直線。

(三) 直流發電機基本原理

1. 發電機定則：當導體橫越磁場切割磁力線時，感應電動勢的方向可用佛萊銘右手定則(Fleming's right-hand rule)判定，如圖 4 所示將右手拇指、中指、食指伸直，並使彼此互相垂直，若以拇指表示導體運動方向，食指表示磁場方向，則中指的方向即為感應電動勢的方向。

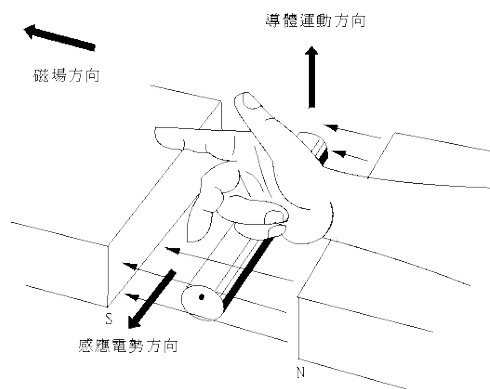


圖 4 佛萊銘右手定則

2. 導體橫越磁場之感應電動勢 e ：一直導體從一對磁極之間隙中以等速度 v 下滑則感應電動勢為

$$e = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = B \cdot \ell \cdot v \quad (1)$$

其中， ϕ ：磁通量； B ：均勻磁場之磁通密度

3. 考量運動方向與磁場方向夾角 θ ：運動方向與磁場方向夾角是時間的常數，故速度必須取與磁場垂直支分量計算，修正之感應電動勢為

$$e = B \cdot \ell \cdot v \cdot \sin\theta \quad (2)$$

4. 直流發電機的基本構造：包含電樞線圈、磁場磁極、集電環、電刷，如圖 5(左)所示。當電樞上僅有一匝線圈，其感應電動勢輸出電壓波形如圖 5(右)。

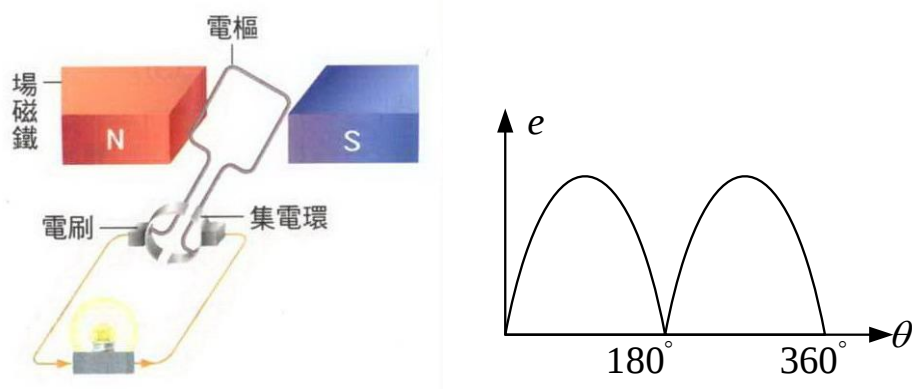


圖 5 單匝基本直流發電機 (左)基本構造 (右) 輸出波形

5. 獲得平滑的感應電動勢 E_A ：增加電樞上之均勻線圈數量則可以獲得平滑的感應電動勢 E_A ，其決定因素為電機之磁通量 ϕ ；電機轉子速率 ω ；電機常數 K ，

$$E_A = K \cdot \phi \cdot \omega \quad (3)$$

$$K = \frac{Z \cdot P}{2\pi a}$$

設發電機轉子每分鐘轉速為 $N(\text{rpm})$ ，則感應電動勢

$$E_A = K' \cdot \phi \cdot N \quad (4)$$

$$K' = \frac{Z \cdot P}{60a}$$

其中， Z 為導體總根數， a 為電流路徑數 P 為極數。

6. 發電機電樞感應電動勢與轉子的轉速的關係：由公式(4)可知直流發電機電樞感應電動勢 E_A 與轉子的轉速 N 的關係呈直線關係，即轉子轉動速度愈快可以產生愈高的電動勢(電源電壓)，所以在發電機轉動機構的設計上應讓轉子電樞保持一定的轉速。

二. 系統架構與功能設計：本作品著重在「輕鬆」，以站立時人體踩踏踏板，利用體重偏移所產生的力矩透過適當的放大機構提升發電機電樞心軸轉速，達到能量轉換，產生電力的目的，透過以下企劃來說明作品從無到有設計流程。

- (一) 操作方式：如圖 6 所示，當人體往左傾斜時，透過放大機構讓發電機心轉正轉，當人體往右傾斜時，發電機心軸不能反轉，也要維持正轉，所以驅動機構的設計需要考慮轉向問題。

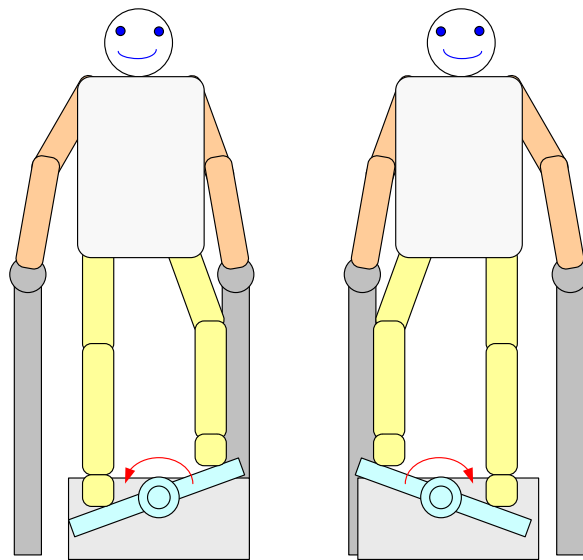


圖 6 發電操作示意圖

- (二) 系統架構：欲達到發電機心軸快速轉動提升發電效能，如圖 7 包含下列幾個部分機構。

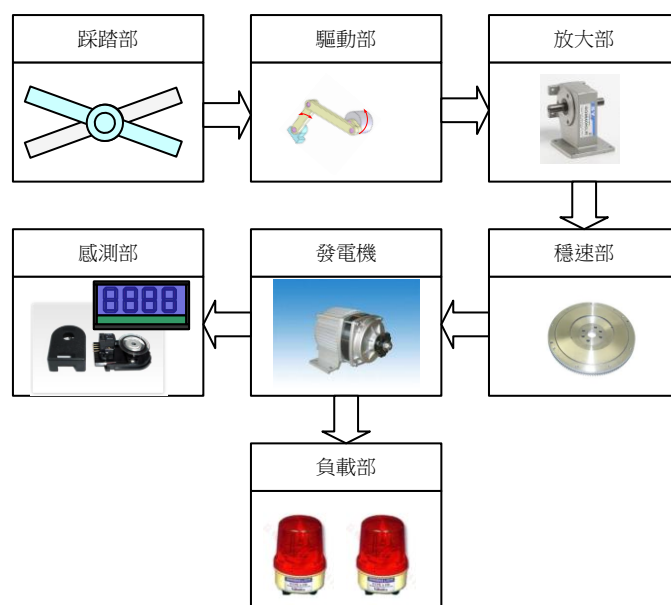


圖 7 系統架構

1. 踩踏部機構：使用者或站立或坐下，使用雙腳讓踏板擺動即可。
2. 驅動部機構：利用四連桿葛式機構(Grashof)中的倒置機構如曲柄滑塊機構 (Slider-Crank mechanism) 或曲柄搖桿機構來驅動轉軸(Crank rocker mechanism)進而使發電機轉軸旋轉。
3. 放大部機構：為了提升輸出軸的轉速，設置以齒輪組或時規皮帶輪組的增速機構。
4. 穩速機構：由公式(5)可知飛輪的動能 E_K 與轉動慣量 I 及轉速 ω 平方成正比，所以當踩動踏板轉動的時候部分的能量會儲存於飛輪，當不踩動踏板時或踩動踏板的速度減少時，飛輪會釋放能量，讓發電機轉軸轉速不會大幅下降，維持一定的轉速。

$$E_K = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (5)$$

$$I = \frac{1}{2} m r^2 \quad (6)$$

5. 測量部機構：設計即時量測功能需要能偵測發電機轉速、輸出電動勢、電流等提供監控介面訊號。
6. 負載部：採用電阻性負載，如直流高瓦數警示燈為負載，透過負載的串並聯希望能獲得最大的功率輸出。

(二) 功能設計

1. 驅動方式：以四組四連桿機構，配合單向軸承，每組各執行 180° 的驅動角度，透過時規皮帶輪組作雙級放大，讓發電機心軸達到較高的轉速。
2. 功率偵測：發電機輸出必須能被偵測，所以選用 PLC 可程式邏輯控制器，搭配類比轉數位(A/D)模組，顯示電壓錶和電流錶的訊號。
3. 發電機轉速偵測：發電機心軸轉速可由兩相式光編碼器偵測。

二. 發電機構設計與製作

(一) 驅動機構設計：採用葛氏機構中曲柄搖桿的倒置機構，形成搖桿輸入、曲柄輸出的方式。

1. 決定桿件尺寸：在四連桿中，令 S 桿為最短桿桿長為 r_s ；L 桿為最長桿長為 r_L ；P、Q 為介於最短桿和最長桿之間長度的桿件桿長分別 r_p 、 r_Q ，若為葛氏機構需符合以下條件：

$$(1) \quad r_s + r_L \leq r_p + r_Q$$

$$(2) \quad r_s \text{ 桿為輸出桿}$$

若輸入之搖桿的擺動角度為 60° ，輸出桿轉動 360° 則可以採用以下的條件：

$$(1) \quad \text{以 S 桿為輸出桿，} r_s = 50\text{mm}。$$

$$(2) \quad \text{以 Q 桿為輸入桿，} r_Q = 3r_s = 150\text{mm}。$$

$$(3) \quad \text{以 P 桿為固定桿，} r_p = 4r_s = 200\text{mm}。$$

$$(4) \quad \text{以 L 桿為耦桿，} r_L = 280\text{mm}。$$

2. Visio 圖面模擬：如圖 8 和圖 9 所示可以得到以下之結果：

- (1) 踏板在水平的位置時，輸入桿應在對稱軸的位置。
- (2) 輸入桿 Q 桿擺動角度 60° 。
- (3) 由操作時死點位置可以知道，Q 桿順時針方向作時，輸出桿轉動 203° 。
- (4) Q 桿逆時針方向作時，輸出桿轉動 157° 。

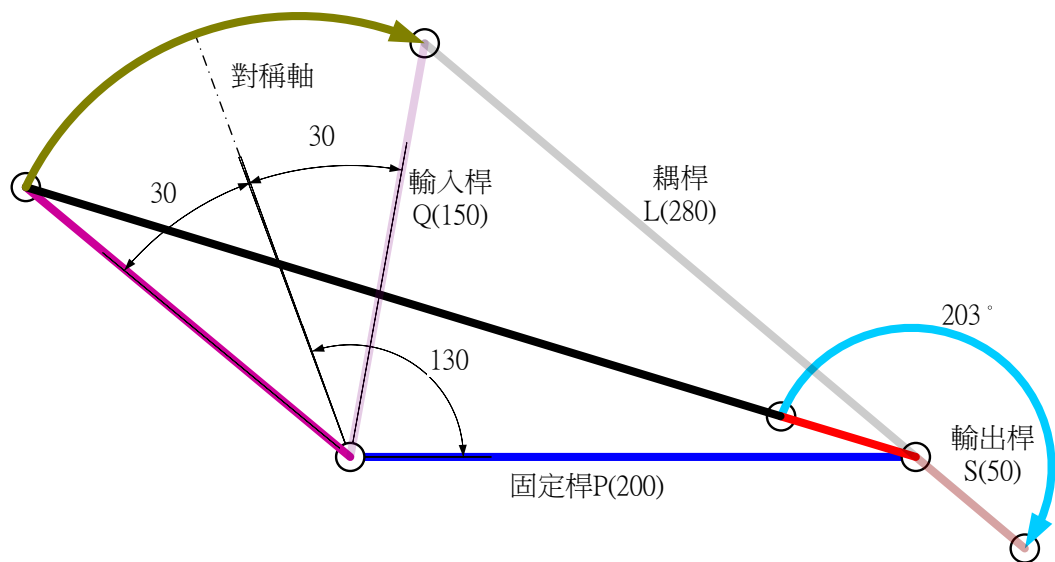


圖 8 輸入桿順時針方向操作之輸出模擬

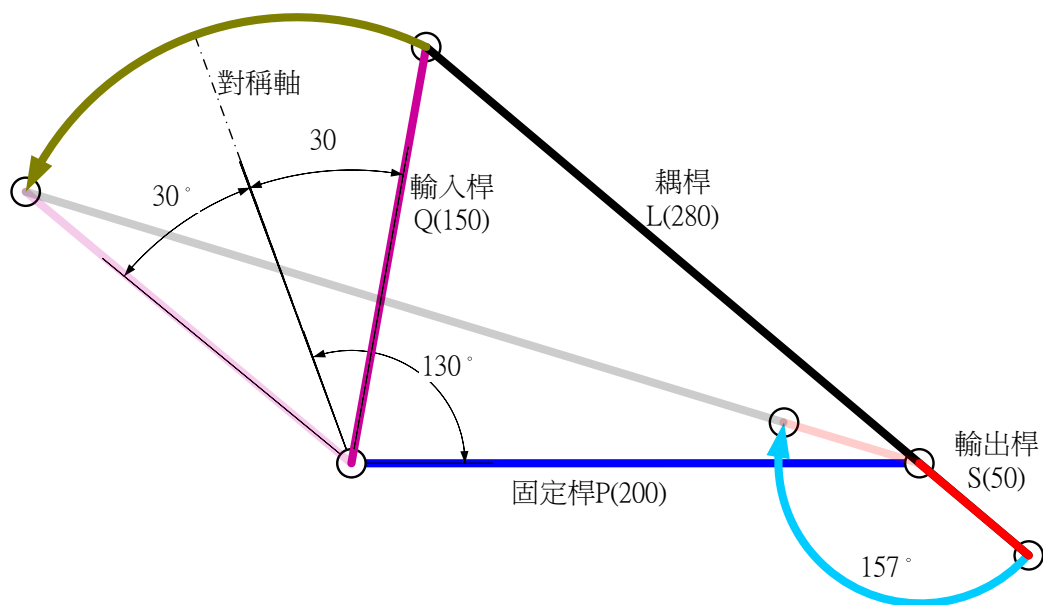


圖 9 輸入桿逆時針方向操作之輸出模擬

3. 單向驅動：單向軸承：又稱為單向離合器，一般可分為滾柱型、撐柱型及凸輪型三種型式，其動作原理，是為了要使兩個在不同速率下獨立轉動的物件分離或結合，達成機械功能二物件間的結合或分離。一般有機械式鎖緊、機械式摩擦及電磁方式來達到功能，但在簡便及可靠度佳的考量下，一般以機械式鎖緊為最佳方式，具有以下特性功能：

(1) 驅動功能：單向軸承因動力咬合，使動力由輸入軸傳遞至輸出軸。

- (2) 止逆功能：為傳輸動力所需，或為克服機件之慣量，以防止因飛輪之動力儲藏所造成後退動作，致使被加工件損毀或失準，謂之止逆。
- (3) 過轉速功能：但機件動作達到一定要求，即切換分離，致使動力輸入輪轉速大於動力輸出輪，而造成兩獨立個體各別轉動，謂之過轉速。
- (4) 定位功能：要將被加工件輸送到一定位置做一定之加工，並連續不斷，則謂之定位。一般皆利用連桿機構，或空油壓缸以上下死點方式，將此運動轉換成直線定點送料來達到功能。
4. 單向軸承的使用：在設計上我們使用以兩組四連桿組搭配來完成輸入桿往復搖擺一次，輸出桿轉動一周的功能要求，配合機構的大小，所選用的單向軸承規格為CSK12PP，其外還具有止逆溝槽，內環具有 4mm 鍵槽，可以用 4mm 方鍵結合驅動軸完成機構驅動。
5. 動力輸出：輸入桿 Q 桿與固定軸樞之軸心中加裝單向軸承，欲完成圖 8 和圖 9 不同的驅動方向，兩組的單向軸承的裝置方向應相反，如圖 10 所示，Q 桿之轉動軸心嵌入單向軸承，可傳達動力至軸心，箭頭方向表示自由轉動方向；另一方向為傳動方向。

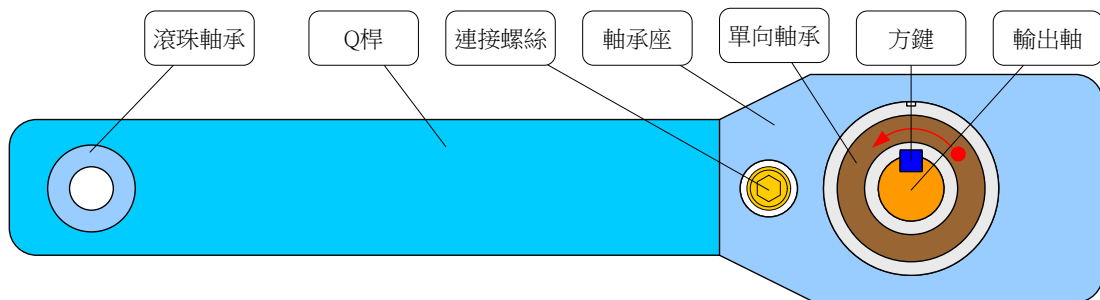


圖 10 Q 桿設計

- (1) 止逆功能：欲限制驅動軸的轉向達到止逆的功能可以在軸的固定座上加裝單向軸承，如圖 11 所示，箭頭方向表示 Free，另一方向(X 記號)為止逆方向。

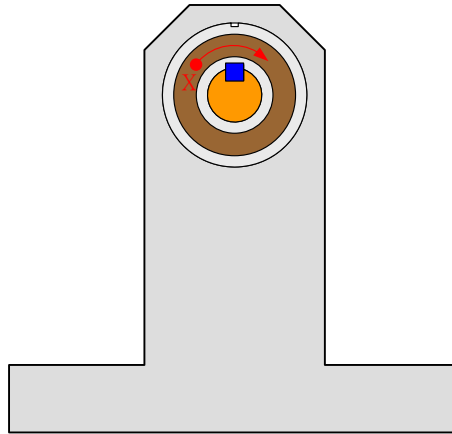


圖 11 單向軸承止逆設計

6. 驅動之搖桿-曲柄四連桿機構：以兩組四連桿機構為一對，如圖 12 的設計方式，每對 Q 桿的單向軸承的驅動方向應相反，形成一組順時針方向驅動；一組逆時針方向驅動，讓所連接的驅動軸以相同方向轉動，繼而帶動轉速放大機構轉動。

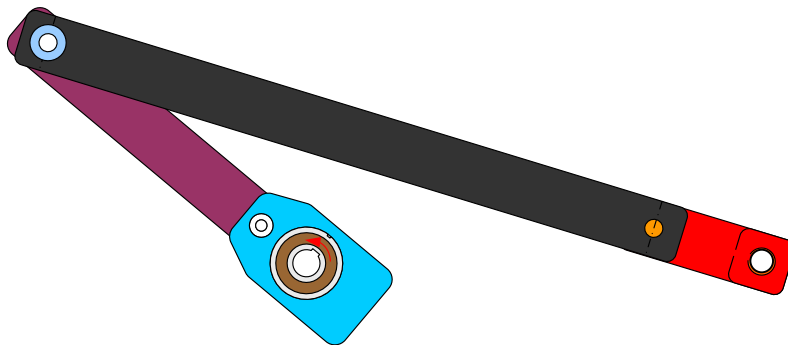


圖 12 曲柄四連桿機構設計圖

(二) 踏板設計：以直徑 20mm 的鍍鉻圓軸，兩側裝上連座軸承，中間承載踏板分成兩片以接合座接合而成，軸之兩端再以時規皮帶輪組將踩踏的動力傳達到四連桿組的 Q 桿，操作時時規皮帶輪呈現 $\pm 30^\circ$ 度的往復轉動，如圖 13 所示。

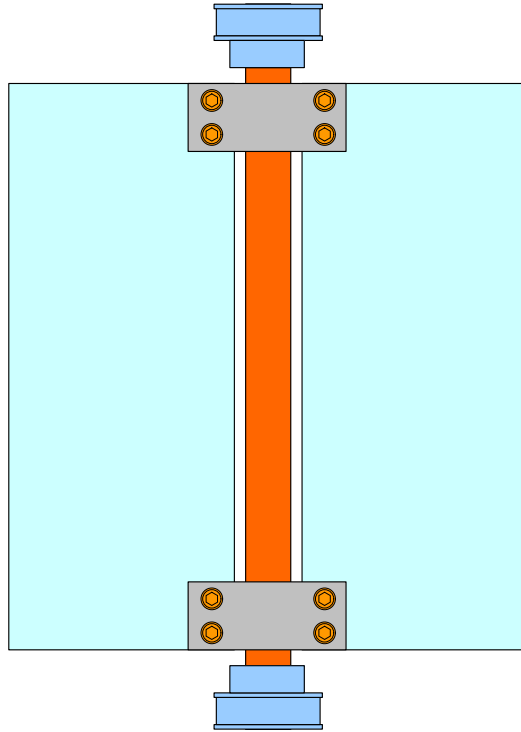


圖 13 踏板機構設計

(三) 轉速放大機構：以兩組 Pitch 5mm 齒數配合分別為 50T 和 20T 的時規輪組串接放大，可以得到 6.25 倍的轉速放大效果。

(四) 穩速機構設計：採用圓柱形飛輪，其儲存之能量可由公式(5)、公式(6)計算而得，在飛輪之一側裝上單向軸承傳遞動力，同時利用單向軸承的驅動功能，除了確保發電機轉動轉向，希望在輸入踩動功率停止後飛輪就能釋放所儲存的能量，進而穩定發電機轉速。

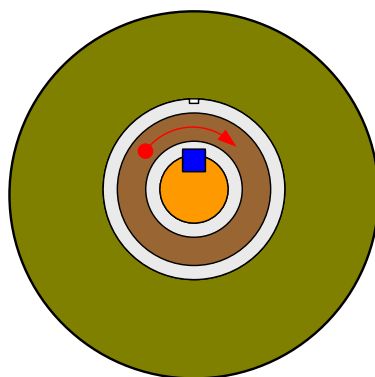


圖 14 穩速飛輪設計

二. 直流發電機測試

(一) 測試裝置硬體設計：依據發電機銘牌顯示額定規格可以有 DC24V，3.5A 的輸出在 2300rpm 時，欲量測出發電機特性曲線，我們設計如圖 15 的測試裝置。

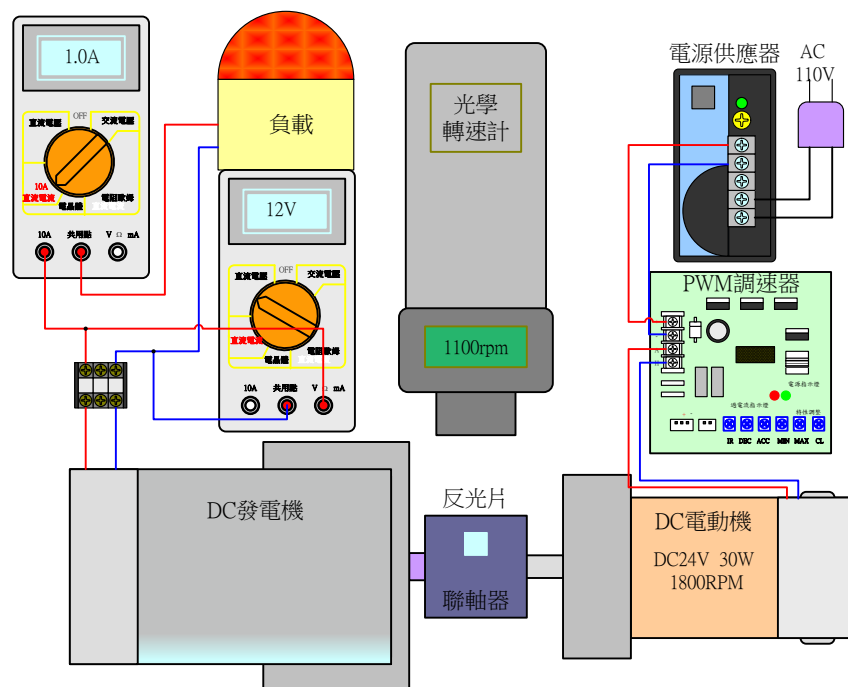


圖 15 直流馬達特性曲線測試裝置

(二) 選用測試儀器及器具

1. 電動機：DC24V，30W，1800 RPM，模擬發電機機構轉動
2. PWM 調速器：以脈波寬度調變方式調節平均電流，達到控制轉速的目的。
3. 光學轉速計：非接觸型轉速偵測，使用時須先在轉軸上放置反光片。
4. 數位電錶：用來顯示發電機電動勢及輸出電流。
5. 直流電源供應器：交換式電源需匹配電動機規格。

(二) 測試結果

1. 無載時發電機轉速與發電機輸出電動勢之關係如圖 16 所示，可以看出轉速-電動勢的曲線非常近似直線。

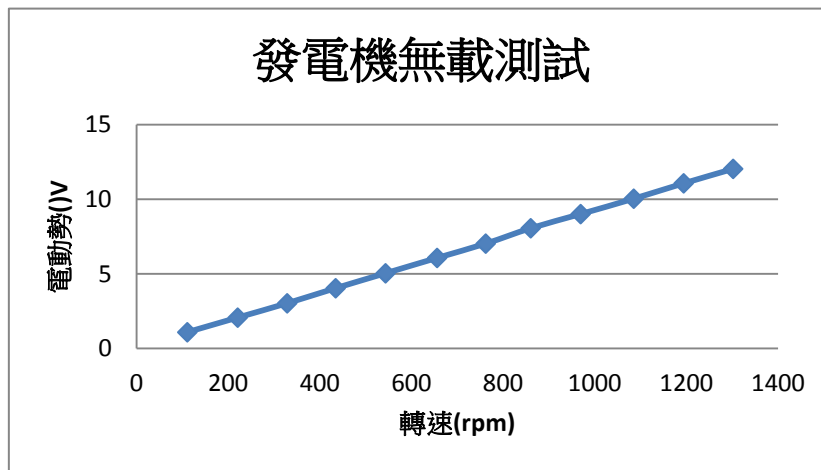


圖 16 發電機無載特性曲線

三. 穩速飛輪測試：找出方法測試飛輪對發電機轉速之影響，並且得到轉速變動率，提供穩速參考。

(一) 測試條件

1. 發電機規格：DC24V，3.5A 在 2300rpm。
2. 飛輪尺寸及重量：重量 1kg、直徑 65mm。
3. 電動機規格：DC24V，30W；負載規格：DC12V，20W。
4. 加速到 600rpm 後電動機斷電。

(二) 測試裝置：如圖 17 所示，飛輪左端連接發電機；右端裝上單向軸承後連接直流電動機，電動機之轉動以 PWM 調速器調節。

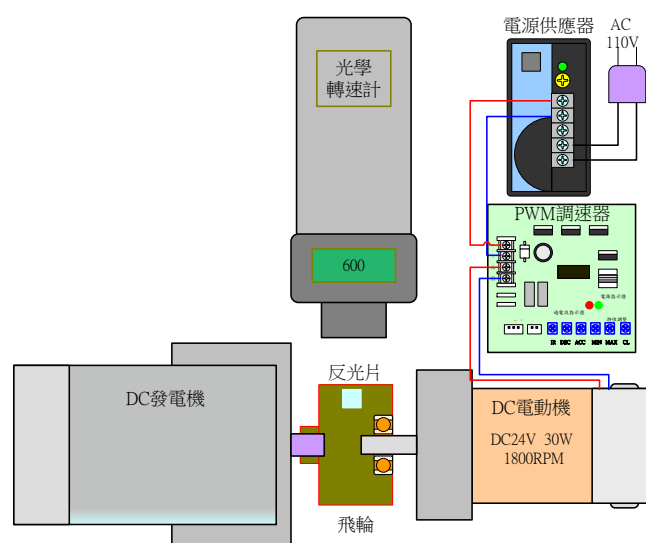


圖 17 飛輪穩速測試

(三) 測試結果：由於飛輪儲能太低，僅能延長發電機轉動 1/3 圈。

四. 發電監視系統設計與製作

(一) 硬體裝置：

1. 三菱 PLC 可程式邏輯控制器，機型 FX3U。
2. A/D 類比輸入模組：具有 4 個訊號通道(CH1~CH4)。
3. 電壓表：偵測範圍 DC0~199V，具類比電壓輸出，訊號輸出符合工業規格 0~10V。
4. 電流表：偵測範圍 DC0~5A，具類比電壓輸出，訊號輸出符合工業規格 0~10V。

(二) HMI 介面規劃：同時顯示發電機輸出電壓、輸出電流、輸出功率及轉速，如圖 18

所示，顯示以下參數：

1. 發電機輸出電壓。
2. 發電機輸出電流。
3. 發電機輸出功率。
4. 發電機心軸轉速。



圖 18 監控介面規劃

(三) PLC 系統配線：以 PLC 為中心結合 A/D 模組、電壓錶、電流錶和光編碼器

1. A/D 模組配線：A/D 模組和電壓錶及電流錶的配線如圖 19 所示，。

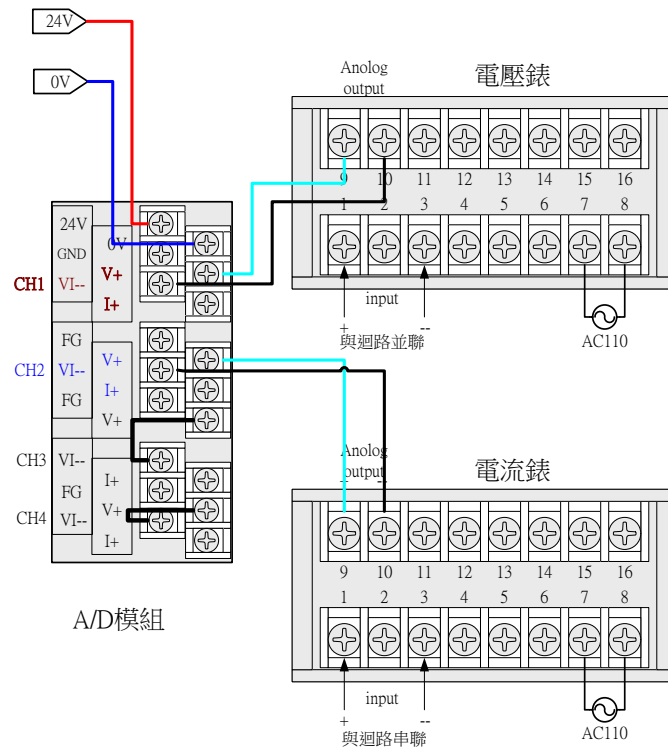


圖 19 A/D 模組配線

2. 光編碼器配線：選用的光編碼器為 DC5V，兩相式，有四條出線，分別為黑線(0V)、白線(A 相)、紅線(5V)和綠線(B 相)，裝妥電源線後，將白線接至 PLC 的 X0 端，如圖 20 所示。

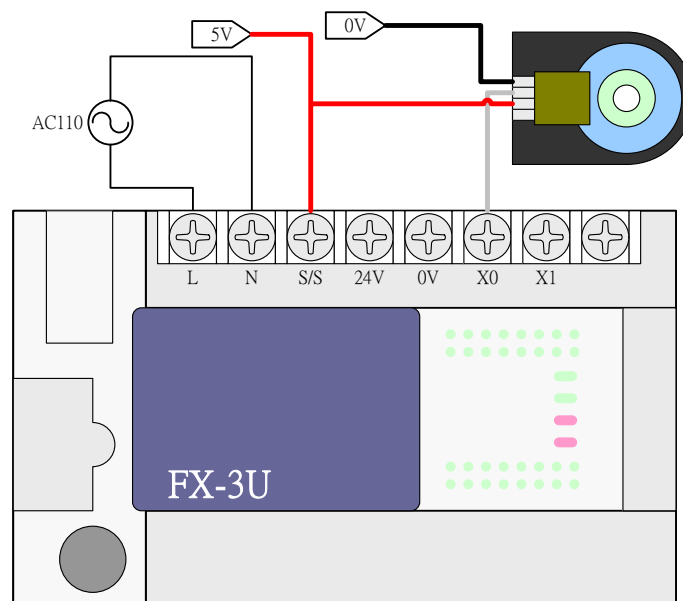


圖 20 光編碼器配線

(四) PLC 程式

1. A/D 模組取樣：由 CH1 和 CH2 分別取樣載入資料暫存器 D。
2. 以 SPD 指令讀取光編碼器轉速訊號(X0)。
3. 得到發電機心軸轉速解析度 1 rpm 的轉換公式為

$$\frac{1000}{T} \times \frac{60}{CPR} (rpm) \quad (7)$$

其中 T 為 SPD 取樣時間；CPR 為光編碼器轉動一圈的訊號數；1000 為毫秒轉換為秒；60 為秒轉換為分鐘。

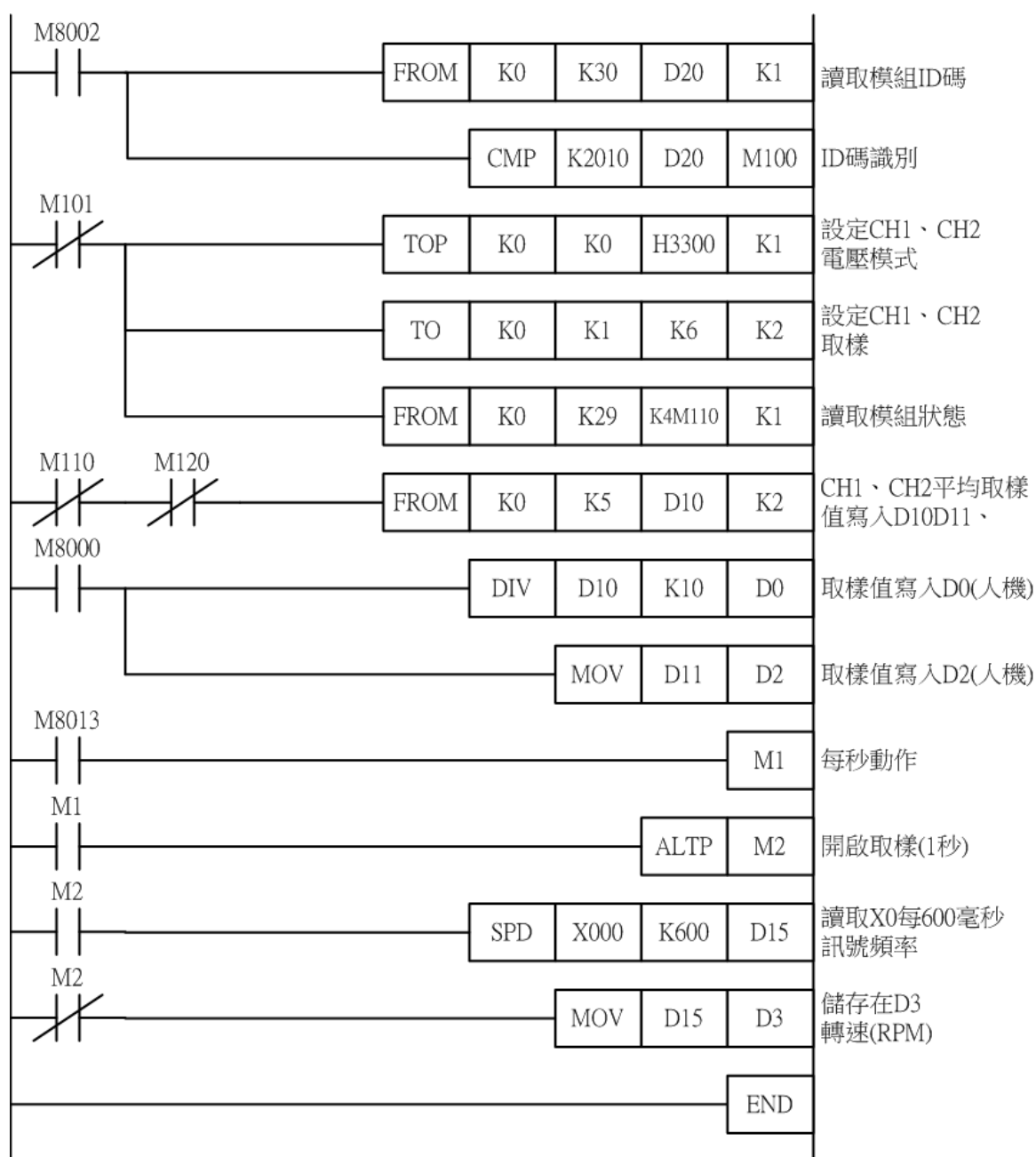


圖 21 PLC 程式及說明

伍、研究結果

一. 重要機構零件

(一) 踏板機構：踏板以直徑 20mm 鍍鉻圓軸當旋轉軸，兩側以時規皮帶輪帶動到四連桿機構，如圖 22 所示。

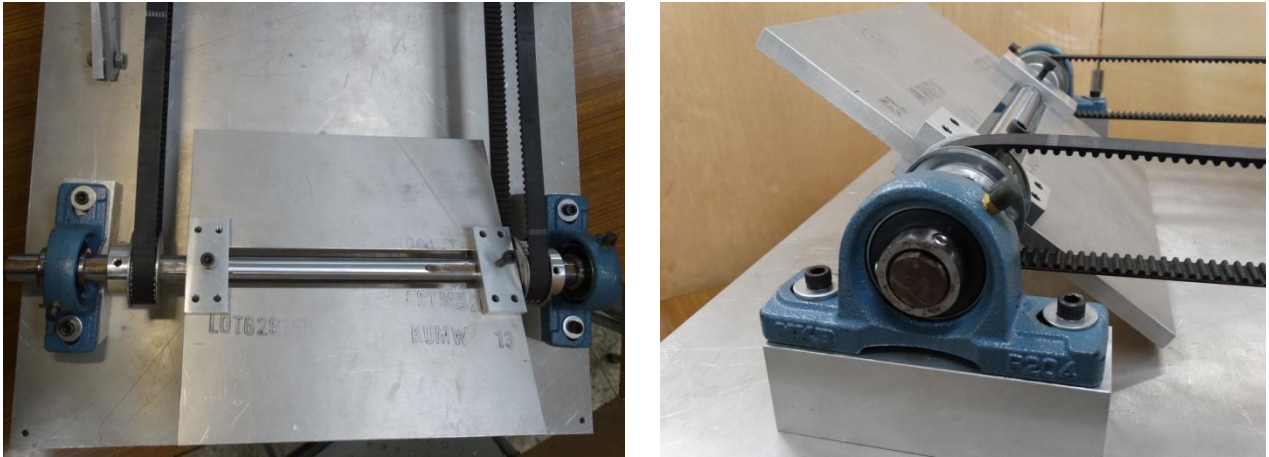


圖 22 踏板機構組裝

(二) 搖桿曲柄四連桿驅動機構：圖 23 之輸入桿 Q 桿裝上單向軸承，一桿以順時鐘方向驅動；另一桿以逆時針方向驅動。

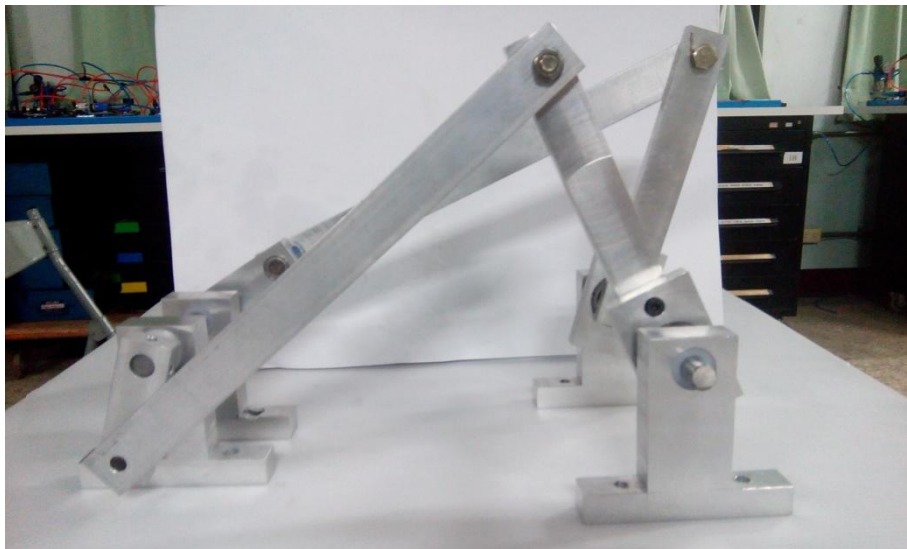


圖 23 搖桿曲柄四連桿驅動機構組裝

(三) 皮帶輪放大機構：兩組皮帶輪可以作 6.25 倍的轉速放大，如圖 24 所示。

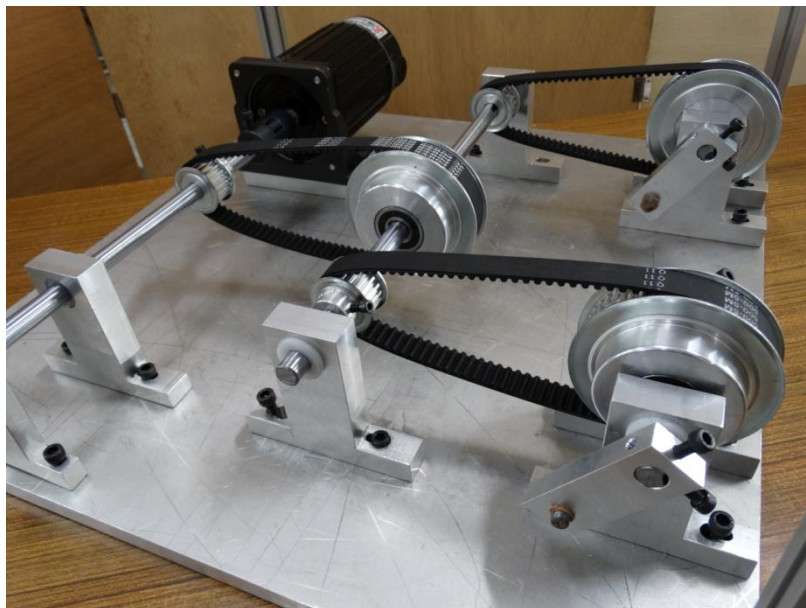


圖 24 皮帶輪放大機構

(四) 轉速偵測機構：在腳座上安裝光編碼器，如圖 25 所示。

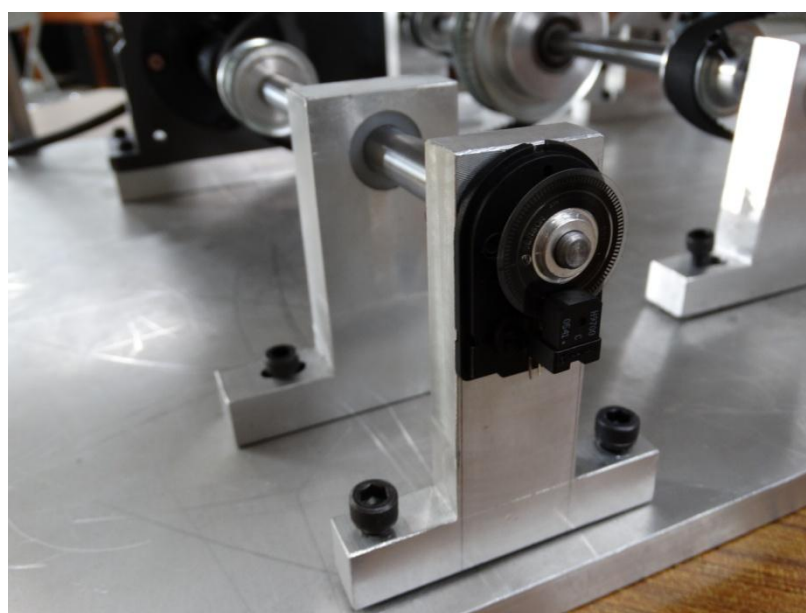


圖 25 轉速偵測機構

二. 機構組立總成

(一) 上層機構

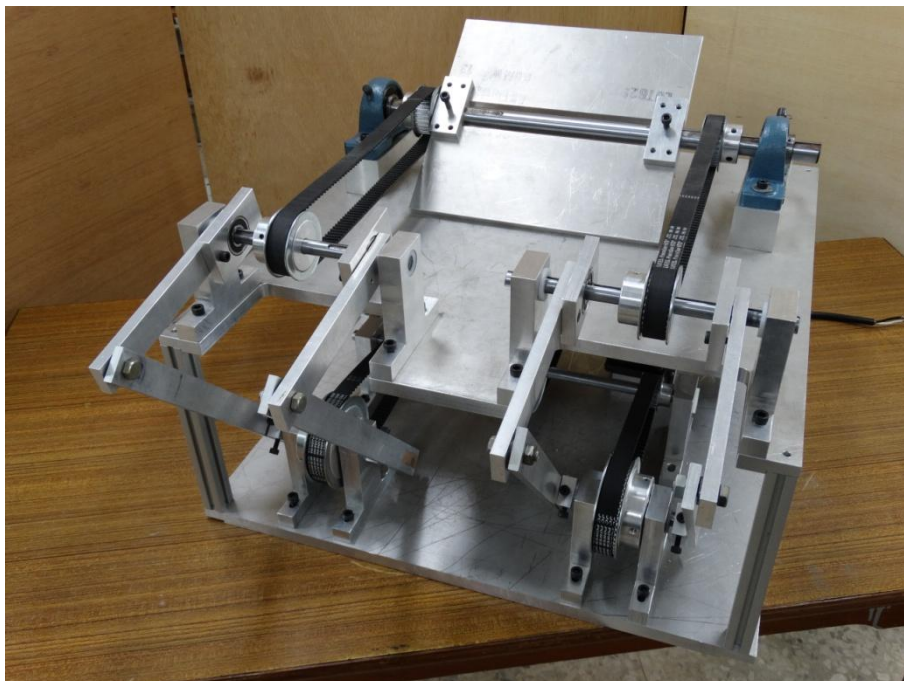


圖 26 上層機構組立圖

(二) 下層機構



圖 27 下層機構組立圖

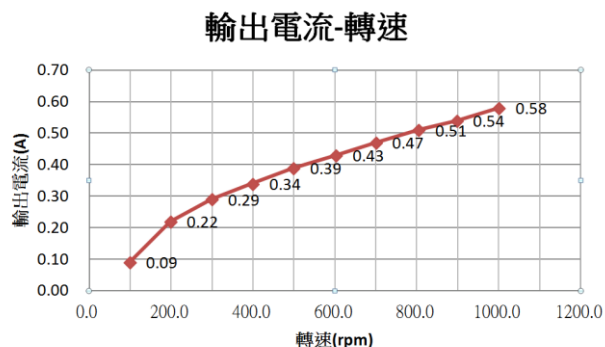
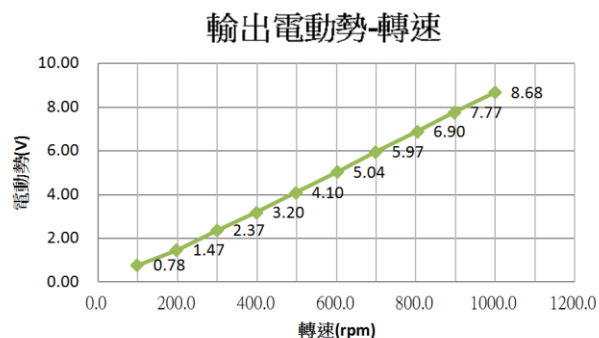
三. 踏板操作功能



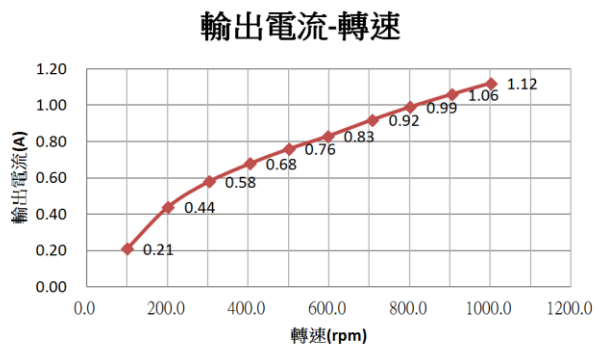
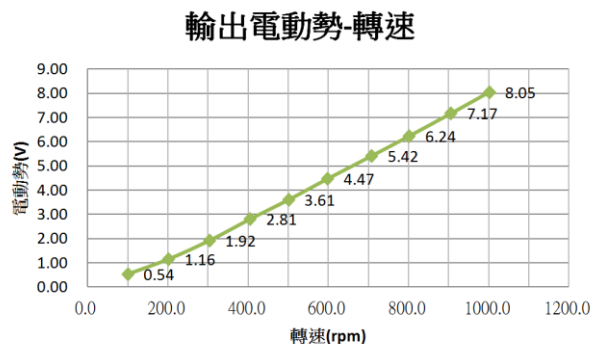
圖 28 踏板操作功能 (上)上死點位置 (中)對稱點位置 (下)下死點位置

四. 發電機特性曲線：

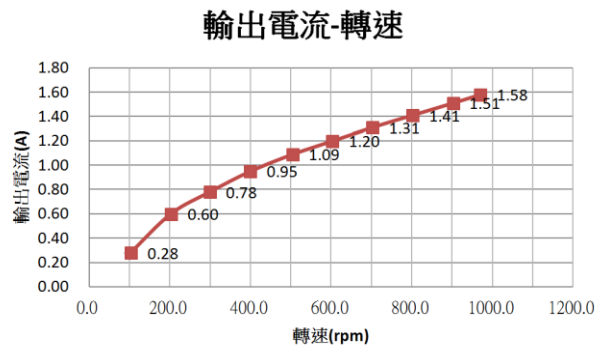
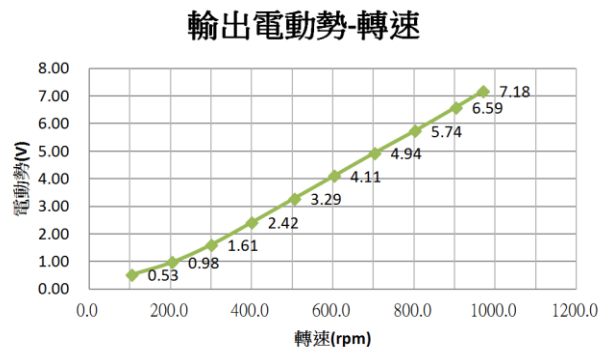
(一) 負載 DC12V，10W



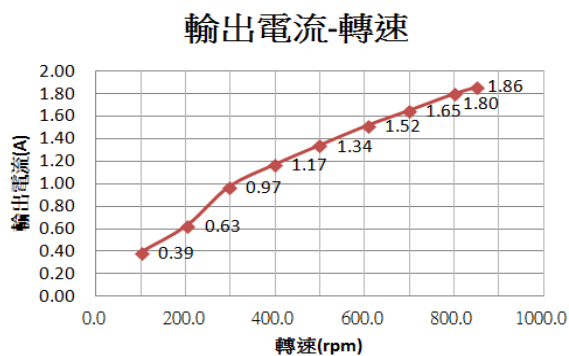
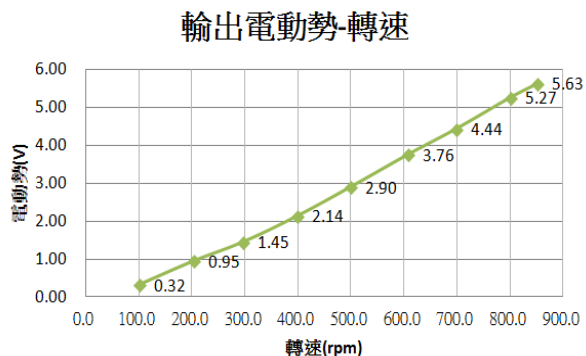
(二) 負載 DC12V，20W



(三) 負載 DC12V，30W



(四) 負載 DC12V，40W



五. 監視介面讀取訊號：以 DC12V，20W 的指示燈負載，量測出在 393rpm 時發電機輸出電動勢 2.4V，輸出電流 0.67A，輸出瓦數 1.61W。



圖 29 發電機監控介面量測結果

陸、討論

一、驅動機構為曲柄搖桿機構的倒置機構有死點的問題，應該如何解決？

(一) 輸入桿為搖桿，輸出桿為曲柄的情況下，可以將輸出桿件做成圓盤。

(二) 圓盤上可以加裝配重讓桿件越過死點。

二、機構在設計或組裝時的注意事項？

(一) 使用時規皮帶和時規皮帶輪作為傳動用可以減少打滑的機率。

(二) Q 桿加裝單向軸承組裝時每組的驅動方向應該要相反，即左桿向下驅動時另一桿為從動；另右桿往上驅動時另一桿為從動。

(三) 單向軸承應銑 4mm 之鍵槽，銑削深度 3mm。

三、如何製作監控介面？

(一) 電壓錶和電流錶需使用有類比訊號輸出，透過 A/D 模組才能讀取訊號。

(二) 光編碼器使用 DC5V 的電源具有良好波形，PLC 可以使用 SPD 指令將訊號轉換為轉速，利用適當的轉換可以得到 1 rpm 的解析度。

(三) VB 需要連線函式和監控函式，以 Timer 元件定時讀取 PLC 暫存器的值。

四、發電機構操作時如何避免危險發生？

(一) 年長者可坐在椅子上操作該發電機構。

(二) 年幼者使用時可攙扶牆壁，以避免跌倒。

(三) 製作時可設計平行桿輔助，讓使用者使用時可用來支撐以方便運動。

柒、結論

- 一、建立發電機特性曲線的測量方式，以 PWM 調速器改變電動機轉速，並找出發電機的特性曲線，可以發現發電機在無載輸出的條件下，輸出電動勢與轉速之間呈良好線性關係。
- 二、發電機有載測試中發現，所採用的直流發電機輸出電動勢與轉速之間呈良好線性關係；輸出電流在 200rpm 以上具有良好線性關係。
- 三、建立飛輪對於發電機心軸穩速的測量方式，在飛輪加裝單向軸承，當電動機停止運轉時，飛輪將釋放所儲存的動能，延長發電機轉動時間，惟飛輪質量及直徑太小無法提供給發電機的穩速能量，可以增大飛輪能量做進一步的探討。
- 四、完成發電系統的監視介面，涵括發電機輸出電壓、輸出電流、輸出功率和發電機心軸轉速等訊息，提供使用者即時的資訊。
- 五、完成以踏板搖擺的發電機構，透過適當地轉速增速比搭配，得到良好的發電功率。

捌、參考資料及其他

- 一、陳海清 (民 100)。機械力學。新北市：全華。
- 二、葉倫祝 (民 100)。機件原理。新北市：全華。
- 三、吳之泰 (民 85)。電機學。台南市：台灣復文。
- 四、范盛祺、魏有騰、黃煌嘉、陳春明 (民 101)。機械電學實習。新北市：全華。
- 五、廖文輝 (民 98)。圖形監控實務。台北縣：全華。
- 六、蘇國嵐、羅仁權、蕭智煒、巫信輝 (民 99)。機器人原理與實務寶典。台北市：宏友。
- 七、双象貿易 (民 89)。三菱可程式控制器 FX2N 中文使用手冊。台北市：文笙。
- 八、陳天青、廖信德、戴任詔 (民 92)。機電整合。台北縣：高立。
- 九、許華清 (民 96)。Visual Basic 2005 程式設計。台北縣：普林斯頓。
- 十、健身器材 喬山健康科技 <http://www.johnsonfitness.com.tw>。
- 十一、健身器材 BH <http://www.i-bh.com.tw>。

【評語】 090904

本創作利用身體左右擺動之踏板的力量，經由機械連桿、包括傳動件、皮帶、曲柄搖桿裝置，轉換擺動為旋轉運動，並具加速之機械裝置，帶動發電機發電，是為本創作重點。團隊已經完成硬體裝置，並已經進行實驗、也產生發電量，獲得不同負荷下之發電量。唯獨四連桿機構存在之死點，左右擺動踏板之運動，難以推動死點位置之同方向運動，目前團隊以人力拉動方式，克服機構死點之運動，是本案尚待突破之處。