

汽電兩用型輪椅之研製

王孟輝 洪清寶 白能勝

國立勤益技術學院電機工程系

摘要

本研究以開發汽電兩用型輪椅為目標，主要用以解決傳統電動輪椅僅以蓄電池電力為動力來源，續航能力不足之問題。汽電兩用型輪椅，顧名思義，即輪椅所採用的動力來源包括電池電力及汽油。由於汽油為能量密度極高的能源，利用汽油為替代能源，可大幅提昇輪椅的續航力。如何設計能達成此一功能的電動輪椅，並開發輪椅驅動控制所需相關的技術，如電池電力/特性檢測系統、快速充電電路設計，直流馬達驅動器與控制器的設計，及耦合機構的開發等，皆為本研究設計的重點。在本文中則著重於汽電兩用型輪椅的電控電路部分作設計及分析。

關鍵字：汽電兩用輪椅，電動輪椅，電池電力檢測，充電電路。

一、簡介

電動輪椅為肢體殘障人士所廣泛使用的代步工具，為了讓使用者更易於操控電動輪椅，並且提昇殘障人士的生活品質，電動輪椅之製造業者已發展出輕便型電動輪椅[1]、可摺疊式電動輪椅[2]等，大大的提昇了輪椅攜帶的便利性。為了增進電動輪椅傳動時之平穩性，不僅輪椅的傳動結構經過了多次的改良[3]，在電動輪椅椅背的調整構造[4]、扶手的設計上均以人體工學作為考量[5]，因此提昇了長時間乘坐輪椅的舒適性。操控方式的改良[6]亦使得輪椅的操控更為容易。

隨著國內公益彩卷的發行，殘障人士多了一條謀生的管道。對於每天必須仰賴輪椅謀生的殘障人士而言，當下所面臨之最大問題為電動輪椅之充電時間冗長，亦即續航力不足之問題。經國內從事輪椅製造之專業廠商指出，依靠輪椅四處兜售商品的人士，其每日平均所行駛的距離約為 120 公里，而目前電動輪椅依其所配備的蓄電池大小能提供的移動距離卻遠小於此。因此殘障人士所能移動的範圍受到很大的限制，亦直接影響其謀生的能力。因此，如何提昇電動輪椅的續航能力，以擴大依靠電動輪椅行動人士的生活圈，並進而增加其謀生能力，以改善殘障同胞的生活品質，便成為電動輪椅研製的重要工作。

採用較大容量之蓄電池為提昇續航能力最簡單的解決方法，但如此將使電動輪椅過於笨重或體積過於龐大，並非為良好的解決方法。另外增加電池能量密度以避免電池體積過於龐大不失為較佳之解決之道。惟高能量密度電池的應用多半為攜帶型的小型電器用品，對於電動輪椅而言，其裝置費用顯得過於昂貴而缺乏使用的價值。因此解決之道可朝向汽電兩用型

輪椅之方向加以研製，亦即使電動輪椅的動力來源可依其使用狀況予以選擇使用燃燒汽油的引擎或電動馬達。

依據國內外專利資料庫的檢索，並探詢國內專業輪椅製造商的資料，目前國內外有關汽電兩用型輪椅的研究報告或專利申請案是付之闕如的。雖然已有汽電兩用型電動汽車的問世，但需使用輪椅代步的殘障人士，一般為脊椎損傷，僅能藉由手腕的輕微移動操控電動輪椅的方向及加減速，其設計架構與操作模式與電動汽車並不相同，因此如何研製汽電兩用型輪椅的重要性是不容置疑的。由於汽油相較於電瓶而言為能量密度極高的能量來源，少許的汽油便可使輕型輪椅的續航力大大的提昇。因此研究汽電兩用型的電動輪椅，以提昇輪椅的續航能力，即為本研究之主要目標。

二、汽電兩用型輪椅之架構

(一)、機械結構之設計

如圖一所示為輪椅的基本外觀。傳統的電動輪椅為後輪驅動，兩個後輪分別由兩個直流馬達驅動，再利用差速器的原理來改變輪椅的前進方向。而前輪則只作為平衡的支撐及從動功能，並無需加以控制。當操縱者從搖桿下達控制命令時，控制器將檢知前進速度及方向的分量，進而對兩顆馬達下達不同的轉速控制命令，而達成輪椅的驅動。而本研究的汽電兩用型輪椅，其基本外觀與習用輪椅相同，但因為加入了使用汽油為能量的動力來源，在機械結構必須作部分的變更。其主要變更部分係將後輪的驅動，由傳統兩個直流馬達驅動，改成一由引擎驅動而另一則由直流馬達驅動，如圖二所示。而為控制輪椅之行進方向，前輪則裝設有方向控制馬達，如圖三所示。亦即電動輪椅的操控，後輪傳動的主要動力來源，可依據狀況採引擎驅動或馬達驅動，而前輪則作為方向之控制。為因應此一設計之變更，輪椅的電控架構亦必須作相關調整。

設計電動輪椅的骨架設計成型，是屬於最重要也是最基本的前驟，所以我們首要的設計目標為：

1. 機械結構須考慮造型及美觀。
2. 在最輕量考慮之下，使用最適當之材料及結構。
3. 負載達 350 磅。
4. 重心要低，要平穩，且在任何情形之下，不會翻車。
5. 須裝避震器且彈性可調。
6. 零件結構須考慮容易製造組裝。

(二)、電控系統之架構

如圖四所示為汽電兩用型輪椅的電控架構圖。整個控制的核心為 8051 微控制器[7]。微控制器可檢知來自搖桿電路的方向分量及速度分量，以便進行數位控制時可據以分別控制後輪的轉動速度及前輪之轉動角度。目前本研究的進度，有關馬達的驅動控制暫以類比電路完成，詳如後述。在此微控制器主要擔任電池電壓之檢測，當電池電壓值低於一預設值時，自動切換為引擎運轉模態，改由引擎提供主要的動力來源，並進而帶動發電機對電池進行回

充，以補充電池之能量。而各方塊所職司的功能敘述如後。

1. 電池電力偵測電路

決定是否切換為引擎驅動模態主要的依據因素有二。其一為使用者手動切換，其主要的應用場合如郊區行駛或較不受噪音管制之區域，使用者可依據行駛環境決定是否切換為引擎驅動模態。其二則為自動切換，主要是依據電池的電力檢測狀況而定，當電池電壓低下或電池故障，微控器必須自行切換為引擎驅動，且當電池電壓已充電飽滿時，則切換回馬達驅動。因此電池電壓的偵測，以及電池是否故障等之判斷為重要的一環。如何進行電池的電壓檢測及非破壞性電池故障檢知，可參閱[10]。在本研究中主要採用的電池電壓檢測的依據則簡化如下(以兩顆 12 伏特鉛蓄電瓶串聯供應電源，相關電路正常動作的最低工作電壓為 15 伏特為例)：

- (1). 連續 30 分鐘所偵測的電壓值低於 18 伏特，則判定為電壓低下。
- (2). 充電中一個分電池之電壓達 15~16.8V，且一小時以上不再上昇，則判定為充電飽滿。
- (3). 充電量已達電瓶放電量的 1.5 倍以上（充電電流 × 充電時間），則判定電池已充電飽。
- (4). 判定充電飽滿後，短時間內(一小時)電池電壓驟降，則判定電池為故障。

2. 搖桿檢知電路

本研究所採用搖桿內部構造如圖五所示，有一隻雙軸的機械連接桿，可使每一電位器由一根動桿來控制其轉動。將動桿上下移動時，只改變電位器 R_1 的電阻值，將動桿左右移動時，只改變電位器 R_2 的電阻值，再向右上、左上、右下、左下方向移動時，則同時改變 R_1 和 R_2 的電阻值，因此， R_1 和 R_2 的電阻值為動桿位置的函數，分別代表 Y 軸和 X 軸的相對座標位置。當動桿置於中央時，電位器的電阻值應等於中間值。因此當操控搖桿時，檢知的 X 軸電壓分量表示輪椅的前進方向，而 Y 分量則表示前進或後退的速度分量。搖桿的 X 及 Y 分量的輸出電壓值介於+5 伏特到-5 伏特之間。將搖桿輸出之電壓送至類比控制電路，即可進行馬達轉動之控制。或透過 8 位元類比數位轉換器的轉換，由微控制器讀進，可藉以進行數位式高階控制程式之運作。

(三)、前後輪驅動電路之設計

為便於控制馬達之轉動角度及轉速，本研究採用雙極性驅動電路，如圖六所示[9]。切換 A 組或 B 組功率晶體之導通可控制馬達之轉動方向。而前級則採用 PWM 控制電路，以調整馬達的轉動速度。而當切換為引擎驅動模態時，為簡化控制電路之設計，引擎啟動後暫採用定速運轉，油門並不作大小之調整控制。有關引擎模態的速度控制，則有待進一步之研究。

(四)、馬達的選擇[12]

馬達驅動機構，因馬達是旋轉運動，故馬達必須輸出轉矩 T_M ，機構負載也要換算成負

載轉矩 T_L ，除此之外還有旋轉慣性轉矩 $J \cdot \frac{d\omega}{dt}$ ，以式子表示：

$$\begin{aligned} T_M &= J \cdot \frac{d\omega}{dt} + T_L \\ &= \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{d\omega}{dt} + T_L \\ &= \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{2\pi}{60} \frac{dn}{dt} + T_L \end{aligned} \quad (1)$$

上式 n 是馬達每分轉數 (rpm)， G 表示重量， D 為直徑， g 則為重力加速度。由 (1) 式，很明顯的表示出，只要能計算出等值的 GD^2 與 T_L ，就可得到馬達所需輸出的 T_M ，由此 T_M 就可選擇馬達。接下來就要找出 GD^2 與 T_L 了。這裡提出一重要觀念： GD^2 的換算。馬達是直接驅動，或說馬達與負載同軸，則 GD^2 直接計算。但大部分馬達不是直接驅動，而是透過齒輪或其他機件傳輸動力；那麼這時需將負載的 GD^2 換算到馬達軸上。換算的方法因傳動機構不同而有所差異。如圖七中由軸 2 與軸 3 所需的旋轉動能計算，因是同一台馬達，故動能 $E_1 = E_2 = E_3$ ，因此

$$E_2 = \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{GD_2^2}{4g} \omega_2^2 = \frac{GD_2^2}{8g} \omega_2^2 \quad (2)$$

$$E_3 = \frac{1}{2} J_3 \omega_3^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{GD_3^2}{4g} \omega_3^2 = \frac{GD_3^2}{8g} \omega_3^2 \quad (3)$$

$$E_1 = \frac{1}{2} J_1 \omega_1^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{GD_1^2}{4g} \omega_1^2 = \frac{GD_1^2}{8g} \omega_1^2 \quad (4)$$

$$GD^2 = GD_1^2 + GD_2^2 \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^2 + GD_3^2 \left(\frac{E_3}{E_1} \right)^2 \quad (5)$$

利用(1)~(5)式即可由負載 T_L 決定出所需馬達之馬力數及相關傳動齒輪之齒輪比。

馬達加上電壓時，會因內部電感的影響，使其電流顯示出 1 次延遲的上升特性。在馬達方面稱此為電氣延遲（電氣時間常數）。電氣時間常數可用下式表示

$$\tau_e = \frac{L_a}{R_a} \quad (6)$$

其中

L_a : 馬達電樞電路之電感

R_a : 馬達電樞電路之電阻

除此之外，在馬達還有所謂的機械延遲因素，這對伺服馬達的性能有很大的影響。所謂機械延遲，就像電樞般，是具有某重量的物體開始回轉時的延遲。在馬達裡，表示驅動電流流過後，到轉子開始動作的過渡變化，此稱為馬達的機械時間常數。對馬達而言，要多下功夫使機械時間常數儘可能小。這裡的機械常數可用下式表示。

$$\tau_n = \frac{J \cdot R_a}{K_e K_t} \quad (7)$$

其中

J : 轉子慣性轉矩

K_e : 反電動勢常數

K_t : 扭矩常數

R_a : 電樞線圈電阻

(6)(7)式可列入馬達選擇的參考要件，過大的時間常數表示馬達反應的特性慢，無法快速反應緊急之操控狀況。一般正常人的操作頻寬不超過 30Hz，時間常數以小於 1/30 秒為原則。

(五)、電池電力顯示介面

電池電力顯示介面主要是透過 LCD 顯示器顯示目前的電力狀況及顯示必要之操作資訊，此一部份仍透過微控制器與文字型 LCD 模組介面連接，所需顯示之字型則內建於微控制器晶片內部之程式記憶體。

(六)、整流濾波及充電電路

發電機之輸出為交流電壓，經簡單的整流濾波及穩壓處理後，輸出一 30 伏特的直流電壓。此 30 伏特的直流電壓經一開關晶体對電池充電，當判定為充電飽滿時，功率晶体截止停止對電池之充電。本研究之充電電路目前所採用之充電技術為定電壓充電。開發快速充電電路的研究工作仍在進行中。

三、硬體電路設計及軟體控制流程圖

(一)、電池電壓量測電路

圖八所示為電池電壓量測電路之簡圖，將電池電壓適度降壓後，透過類比數位轉換器讀進微控制器，微控制器以一預定的週期中斷讀取電池的電壓值，並依據前述電壓低下或故障的判斷準則來監測電池的電力狀況，據以決定電動輪椅的運轉模態。微控制器多餘的輸出

入埠則作為與 LCD 模組介面及切換信號之下達，惟本圖中並未圖示此一部分之電路圖。

(二)、馬達控制及驅動電路

圖九所示為馬達控制及驅動電路[9-11]，搖桿所檢知的 X 及 Y 方向分量輸出電壓介於 ± 5 伏特之間，經適當的電壓準位調整，與一三角波信號作比較，而產生 PWM 的切換信號，控制功率晶體的工作週期，進而控制直流馬達的轉動速度。本研究目前進行的進度，尚未將直流馬達的轉速控制數位化，圖九即表示以簡單的類比電路進行控制之電路。該電路可同時運用於前後輪之馬達驅動。此一電路之運作係以操作者操作控制器，乘坐輪椅的人士，依其所需要之速度及方向下達操控指令。如何結合數位化控制技術，利用強健性控制理論以進行各種控制的補償，諸如力矩的補償，以增進輪椅的操控性，則是未來進一步的研究目標。

(三)、整流濾波及穩壓充電控制電路

圖十為將發電機所產生之電壓，經整流濾波穩壓後的電路圖，穩壓後的電壓經一功率開關晶體及二極體直接對電池作定電壓的充電，功率晶體接受來自微控制器的控制信號決定是否繼續對電池充電。當電池充電飽滿時，截止信號使晶體截止，將不對電瓶充電。而二極體則在避免電池電流的回流。

(四)、軟體程式設計

微控制器(89C51)主要控制程式的軟體流程圖示於圖十一。此控制程式目前主要用以作電池電壓之檢測、故障之判斷、相關信號之顯示，並提供引擎啟動及充電控制之觸發信號。

四、電路實測結果

本研究之部分的電路則已分別進行測試。其中，主要的後輪馬達驅動電路及搖桿操控電路，搖桿操控於不同的位移量時，PWM 的觸發信號其工作週期便會有所調整，馬達的轉速亦隨之而變。圖十二和圖十三分別為搖桿位移量不同時，馬達端電壓在正逆轉時的實測波形，圖中之脈波是採用 PWM 觸發電路所產生，圖中顯示馬達在正轉電樞端電壓為正值，馬達在逆轉電樞端電壓為負值。另外，馬達在無載正逆轉時的電流實測波形如圖十四和十五所示，圖中電流波形相當平順，主要是電樞電路之電感具濾波效果。

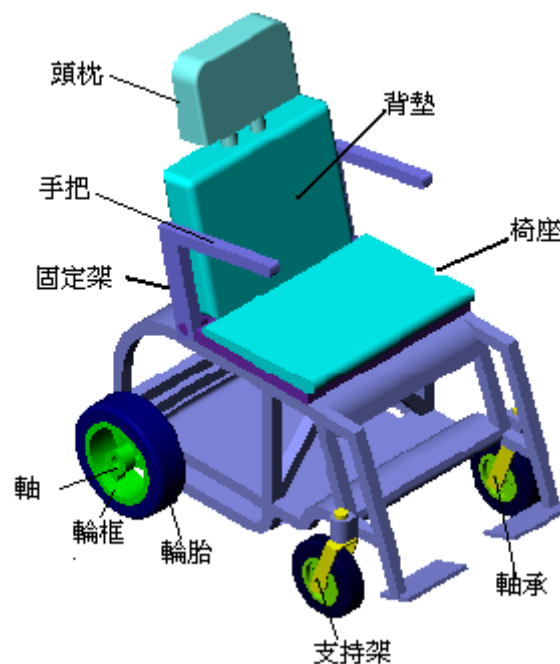
五、結論及未來研究方向

本研究提出汽電兩用型輪椅雛型之電控電路的基本設計架構，以解決電動輪椅續航力不足之問題。個別功能方塊的電路設計已具基本之功能。惟一部實用型之電動輪椅，相關電路之穩定性的要求很高，必須經反復的實際測試與改進，才能達到實用之功效。諸如充電時間長短的設計，續航里程數之估算，保護電路之設計，機械結構設計的平衡性，不同行駛路面的力矩補償等，均有待作更進一步之研究。本文僅揭櫫初步雛型之構想及部分相關電控電路的設計，將此一含括電機電子與機械領域的系統作進一步的整合測試及改良，使其具實用之

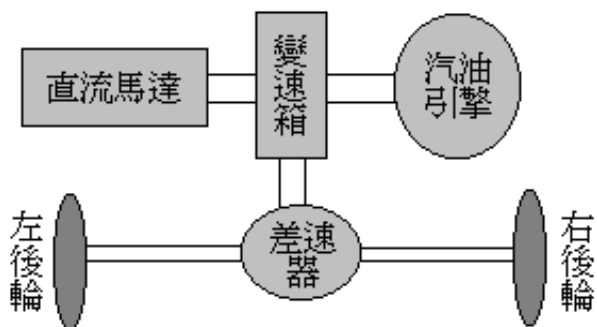
價值，以增進殘障人士的活動空間及生活品質，為我們繼續研發的目標。

六、參考文獻

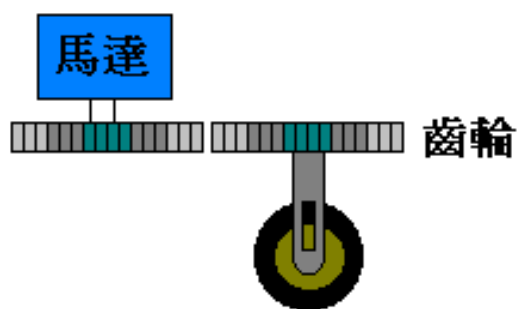
- [1] 德林股份有限公司，『輕便電動輪椅』，中華民國新型專利第 076696 號。
- [2] 王渝生，『可折疊式輪椅』，中華民國新型專利第 176839 號。
- [3] 林春成，『電動輪椅之傳統結構改良』，中華民國新型專利第 103434 號。
- [4] 李茂順，『電動輪椅椅背調整構造』，中華民國新型專利第 257068 號。
- [5] 羅患壹，『電動輪椅扶手結構之改良』，中華民國新型專利第 271603 號。
- [6] 吳光雄、徐秀鳳、羅患壹，『電動輪椅之操控方式』，中華民國新型專利第 325688 號。
- [7] 蔡朝洋，『單晶片微電腦 8051/8751 原理與應用 ~ 包含 8751 在可程式控制器 PLC 上之應用』，修訂版，全華科技圖書股份有限公司，民國 85 年 9 月。
- [8] 洪清寶、許文賢，『汽車電力電池偵測器』，國立勤益技術學院 87 級研究製作報告。
- [9] 江炫樟，『電力電子學』，修訂版，全華科技圖書股份有限公司。
- [10] 梁超，『電熱、照明、馬達控制電路應用與設計』，第一版，大眾電子文化事業出版社，pp.208-209，民國 75 年。
- [11] 盧明智、黃敏祥，『數位 IC 應用與實習』，全華科技圖書股份有限公司。
- [12] 羅煥茂，『小型電動機控制—機電整合』，初版，東華書局股份有限公司。



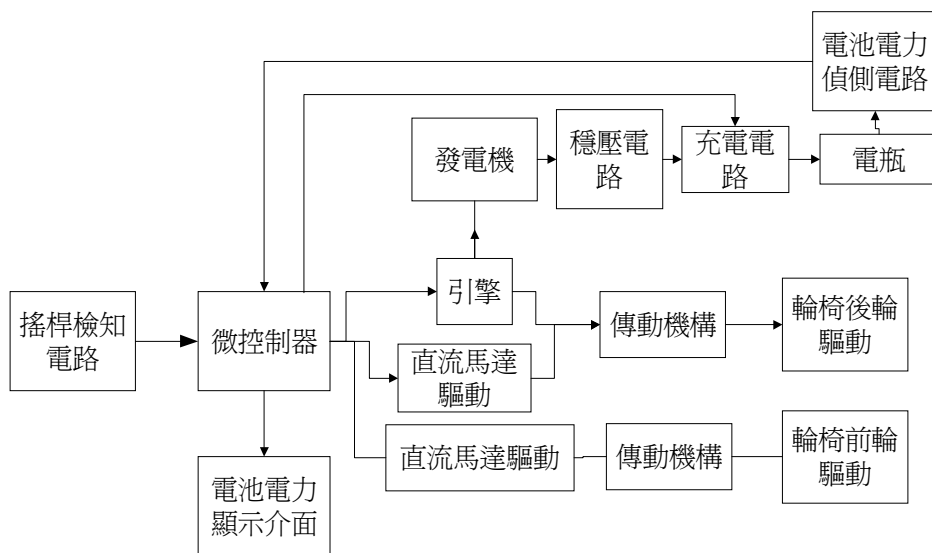
圖一 汽電兩用輪椅之骨架外觀圖



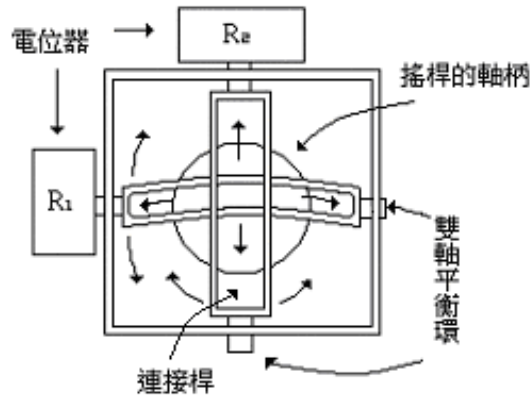
圖二 後輪驅動之機構圖



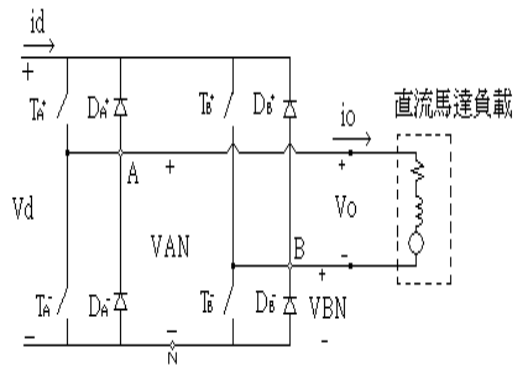
圖三 前輪結構設計圖



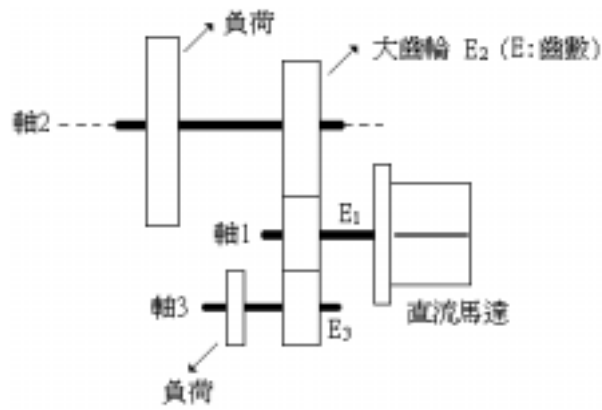
圖四 汽電兩用型輪椅功能方塊圖



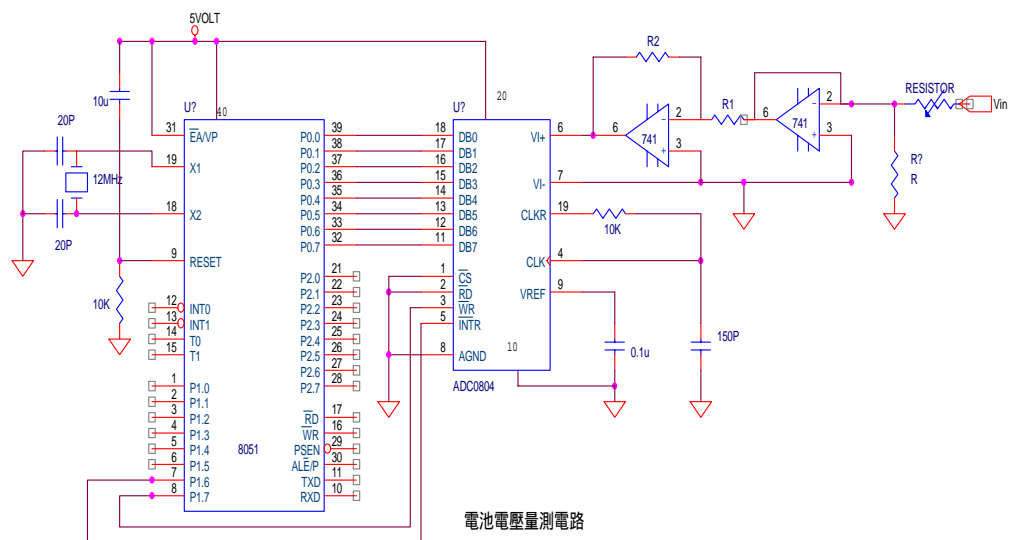
圖五 搖桿內部結構圖



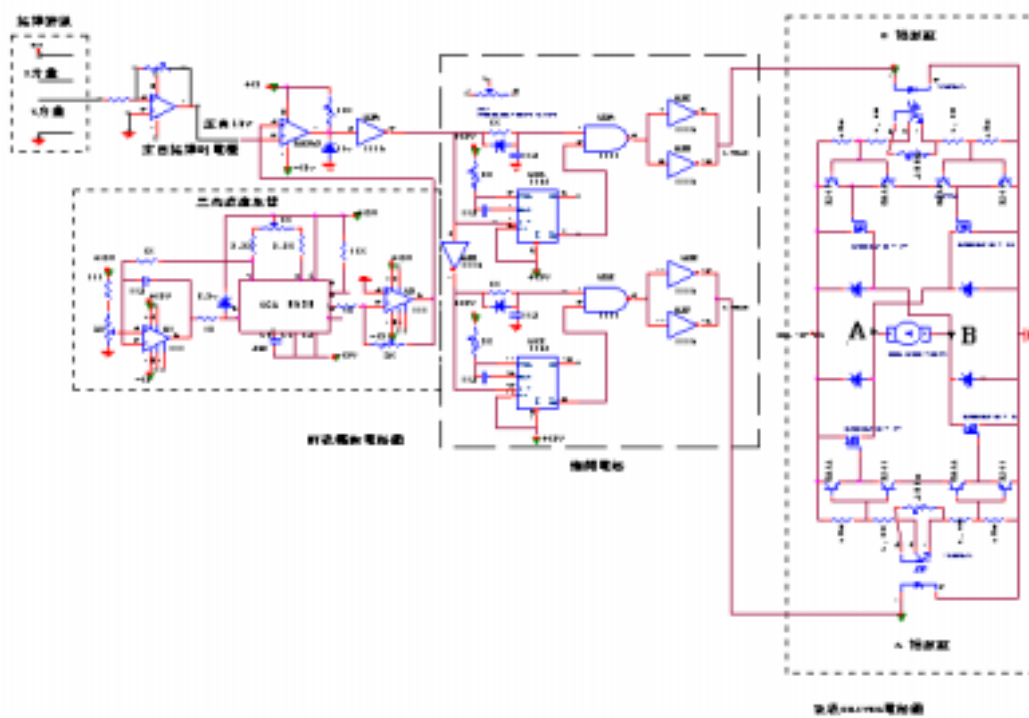
圖六 全橋式轉換器



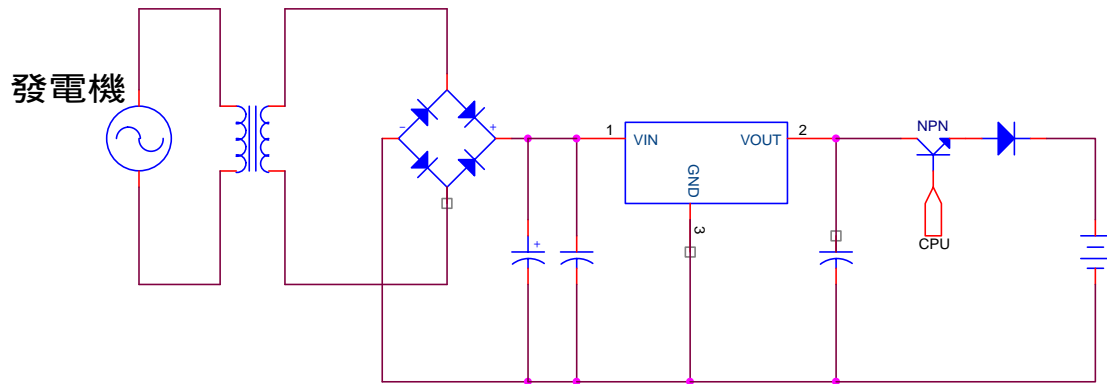
圖七 齒輪機構



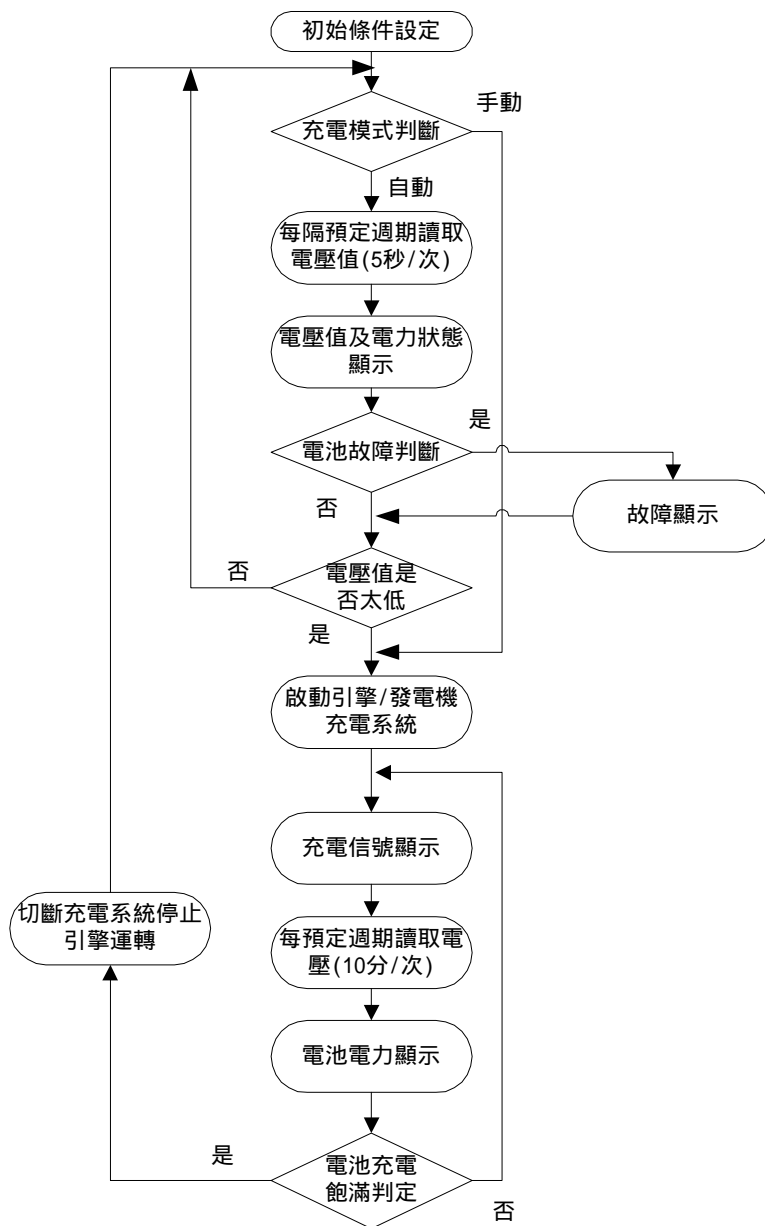
圖八 電池電壓量測電路



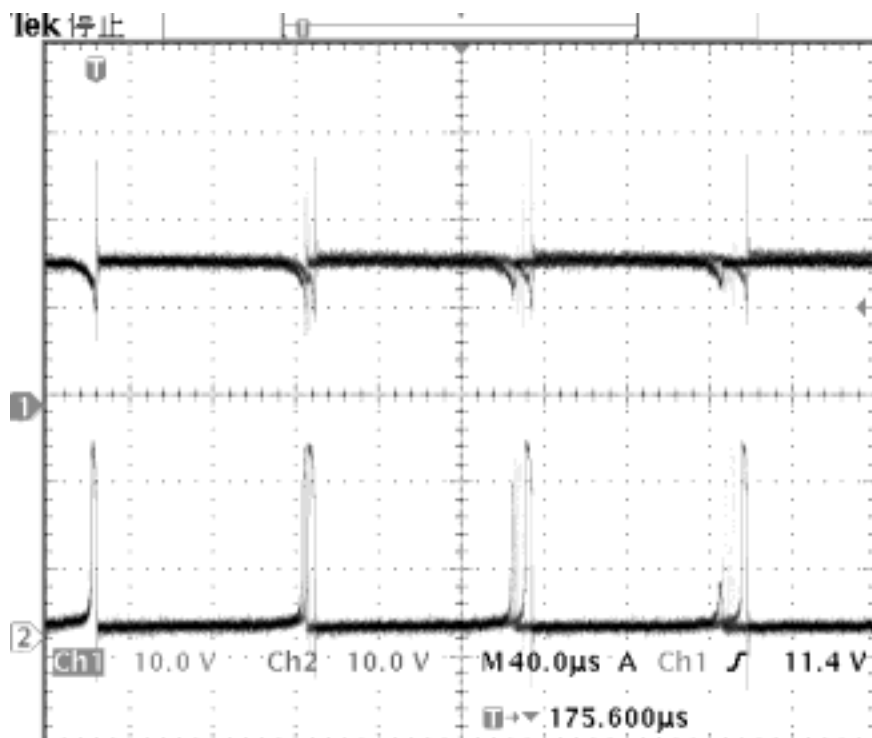
圖九 馬達控制驅動電路圖



圖十 整流濾波穩壓及充電電路圖

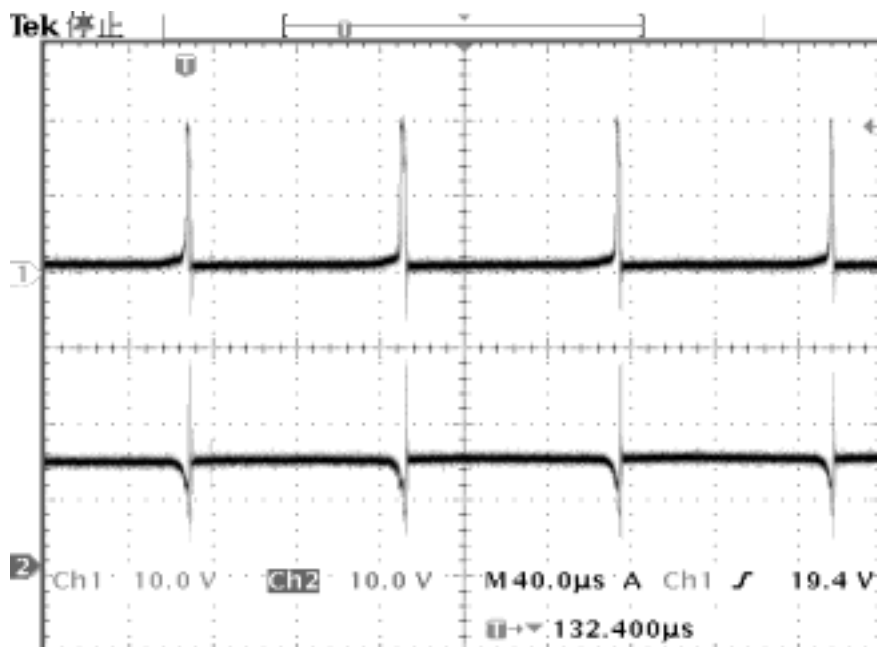


圖十一 軟體控制流程圖



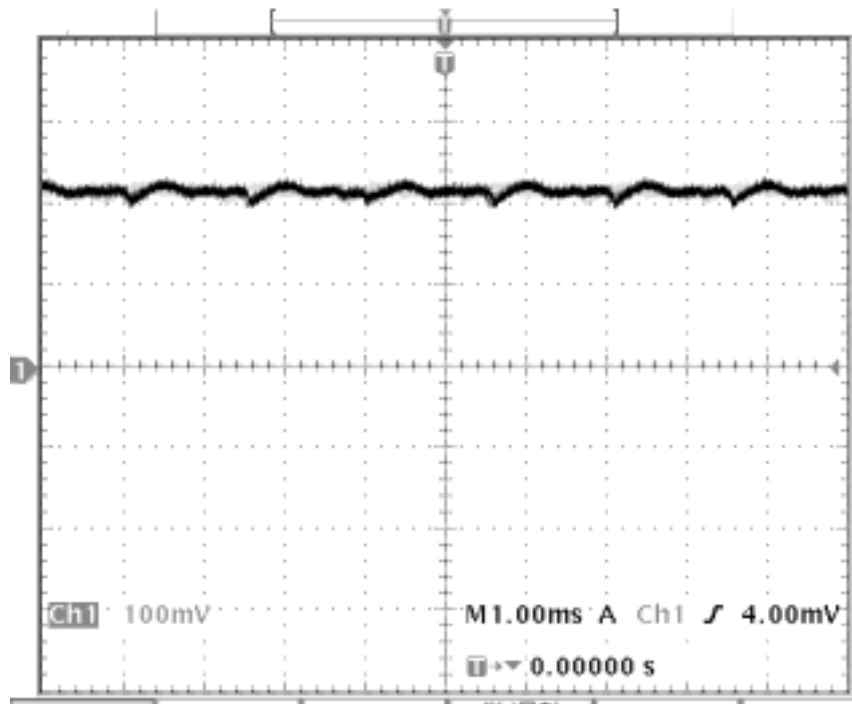
CH1 馬達 A 端 CH2 馬達 B 端

圖十二 馬達正轉電壓之波形

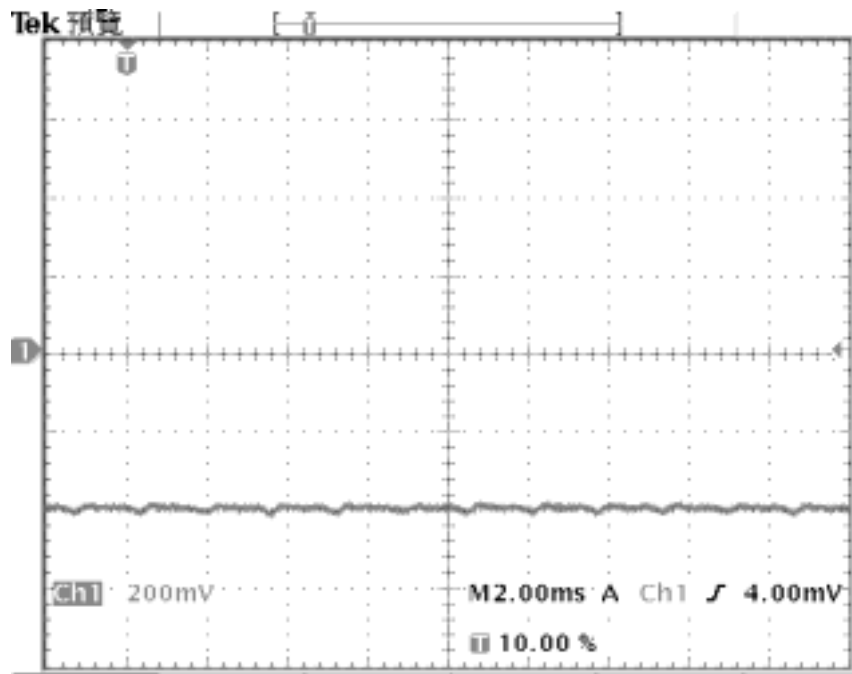


CH1 馬達 A 端 CH2 馬達 B 端

圖十三 馬達逆轉電壓之波形



圖十四 馬達無載正轉時之電樞電流波形



圖十五 馬達無載逆轉時之電樞電流波形