

東元科技創意競賽

作品企劃書

全電式雙變頻洗衣機

摘要

全球洗衣機總產量每年約 5000 萬台，台灣地區年產量約 30~40 萬台，目前國內的洗衣機業者多以生產波輪式與滾筒式洗衣機為主，洗衣容量多為 10 公斤以上，其中波輪式洗衣機為目前國內市場的主要機種。波輪式洗衣機主要透過改變水流方向來提升洗衣機的洗淨力與洗滌均勻度，以降低衣物磨損率與纏繞狀況；但由於波輪產生水流的成長空間有限，現有產品改善的空間受到限制。近年來，由於環保意識高漲，各家洗衣機產品明顯朝向節水、節能、高效率等方向發展，有別於現有的波輪式洗衣機，本作品藉由機構設計結合控制技術，使內筒與波輪可相互反向同時在不同轉速下運轉，產生新式水流，可有效縮減洗衣時間與用水量。此外近幾年由於單身外宿族群增加，在選購洗衣機種類時，小容量洗衣機在省水、省電與空間上具有較高優勢。本作品因應節能減碳與都會區小家庭之特殊需求，成功開發全球第一台 3 公斤全自動雙變頻迷你洗衣機，可藉由改變內筒與波輪的轉向與轉速，形成多種迴旋反向水流，達到大幅降低衣物纏繞與增加洗滌力。由於內筒與波輪屬於同垂直軸傳動，經由機構耦合，造成洗衣機運轉時彼此干擾。本作品設計耦合補償控制器與負載補償控制器，改善兩顆馬達因傳動機構所造成的干擾，並針對不同的洗衣量，進行負載估測與補償機制，產生最佳的馬達轉速與應答性，並決定最佳的注水量。本作品以無線通訊進行人機界面與驅動控制器的溝通，控制面板可放置乾燥處，可以大幅降低人機界面因為受潮而故障面板故障問題與簡化生產及組裝的成本，並提高系統的可靠度與使用彈性。最後透過實驗建立多種洗衣行程，探討內筒與波輪之間的匹配關係，達到可同時省水、省電及最佳的洗淨效果。

目錄

摘要	I
目錄	II
表目錄	III
圖目錄	IV
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 研究動機	2
1.3 研究目的	3
第二章 全電式雙變頻洗衣機之研製	4
2.1 全電式雙變頻洗衣機傳動機構	4
2.2 無刷直流馬達電子換相技術與調速原理	5
2.3 波輪與內筒的補償機制與解耦控制	6
2.4 衣物重量估測器	7
2.5 洗衣行程的建立	8
2.6 簡化脫水機構與提升脫水率	8
2.7 可程式無線控制面板之研製	9
第三章 實驗系統架構	10
3.1 系統架構	10
3.2 程式流程圖	11
3.3 實驗結果與討論	14
第四章 結論	16
參考文獻	17

表目錄

表 1 雙變頻洗衣機多功能洗衣行程控制表	8
表 2 標準洗衣行程之總用水量比較圖	14
表 3 波輪式與雙變頻式洗滌行程設定	15

圖目錄

圖 1.1 波輪式洗衣機與滾筒式洗衣機[3][4]	1
圖 1.2 一個人一天換洗的衣物量	2
圖 1.3 市售迷你洗衣機產品實體圖[6][7]	3
圖 2.1 傳統與全電式雙變頻洗衣機結構比較圖	4
圖 2.2 無刷直流馬達反電動勢 (上方虛線)、電樞電流(斜線部分)與霍爾訊號(下方實線)關係圖	5
圖 2.3 波輪與內筒同動雙變頻調速系統控制方塊圖	6
圖 2.4 全電式雙變頻估測衣物重量方塊圖	7
圖 2.5 傳統與全電式雙變頻洗衣機控制面板	9
圖 3.1 本作品系統架構	10
圖 3.2 本作品開發之可程式洗衣機人機界面	10
圖 3.3 洗衣機波輪驅動控制器的主程式、計時計數器 1、計時計數器 2 中斷副程式與速度控制副程式架構流程圖	11
圖 3.4 洗衣機波輪驅動控制器的過載保護、PWM、驅動控制、串列傳輸 1 與串列傳輸 2 中斷副程式架構流程圖	12
圖 3.5 洗衣機內筒驅動控制器的主程式、計時計數器 1、計時計數器 2 中斷副程式、速度控制副程式、過載保護、PWM、驅動控制與串列傳輸 1 中斷副程式架構流程圖	13
圖 3.6 本作品與市售大容量波輪式洗衣機在 1~3 公斤注水量比較圖	14
圖 3.7 洗衣打結率比較圖	15

第一章 緒論

1.1 前言

隨著人們生活水平的提高，洗衣機已成為日常生活中不可或缺的家電用品，目前世界上洗衣機年總產量近 5000 萬台，台灣地區年產量約 34 萬台，主要以單槽為主，約佔 94.68%，雙槽僅佔 5.32%。洗衣機依洗滌方式可分波輪式、滾筒式與攪拌式三種類型，而國內販售的洗衣機多為家庭式 10 公斤至 14 公斤波輪式與滾筒式洗衣機為主[1]，如圖 1.1 所示。單槽波輪式洗衣機為目前各大賣場的主力產品，波輪式洗衣機採用波輪作為洗淨帶動來源，洗滌時，波輪正反轉產生水流，藉由水流拍打衣物與洗滌衣物間的摩擦，達到洗淨效果，但漩渦式水流易使衣物打結，且水流變化較單調，因此各家業者開發重點朝向波輪形狀與內筒形狀作改變。滾筒式洗衣機則是採用滾筒作為洗淨帶動來源，洗滌時，衣物部分浸入水中，靠滾筒定時正反轉或連續轉動進行洗滌，使衣物在桶內翻滾與洗滌之間產生碰撞、摩擦，使衣物達到拍打、揉搓的效果，最大優點為省水和不傷衣物，最大缺點則是在相同洗衣容量下，需要較大的洗滌槽，且需要特殊的減震及消音設計，價格相對也較高[2]。



(a)波輪式洗衣機



(b) 滾筒式洗衣機

圖 1.1 波輪式洗衣機與滾筒式洗衣機[3][4]

1.2 研究動機

台灣平均每戶家庭人口數，從 1990 年的 4.19 人，驟降至 2010 年的 2.95 人，由 1~2 人組成的「迷你家庭」人口數，占全國總人口的比重，從 25.6% 上揚到 33.8%，成長幅度達 32.0% [5]，目前家庭每人每日用水量約為 204 公升，洗衣用水量佔家庭用水比重 22%。一般型洗衣機，洗淨每公斤衣物耗水量約為 30 公升至 40 公升，而具省水標章之洗衣機，洗淨每公斤衣物耗水量小於 20 公升，使用標準洗衣行程需消耗約 100 公升用水。對於迷你家庭與單身外宿族群而言，選購洗衣機時，洗衣機的體積與用水量是兩個最重要的考慮因子。因此，本作品統計一人一天的衣物量，分為夏天與冬天，如圖 1.2 所示。由於市售家庭式洗衣機容量遠大於迷你家庭每天所需的洗衣量，造成洗滌過程中水資源的浪費及額外的電費支出。



圖 1.2 一個人一天換洗的衣物量

近年來市面上陸續推出 1.5 公斤至 3.2 公斤單槽與雙槽式迷你型洗衣機，如圖 1.3 所示，其輕巧、體積小、洗滌時間短與省水，另可單獨清洗貼身衣物、嬰兒衣服、寵物物品及臭襪子，避免細菌感染較為乾淨衛生，廣受大眾喜愛。但目前迷你型洗衣機多為半自動洗衣機，需手動給水及排水，洗衣行程單一，無法針對衣物種類進行合適的洗程選擇。



(a) 單槽迷你洗衣機



(b) 雙槽迷你洗衣機

圖 1.3 市售迷你洗衣機產品實體圖[6][7]

1.3 研究目的

由於波輪式洗衣機主要以波輪正反轉，產生漩渦式水流，水流變化率少，且衣物容易產生纏繞現象[8]；此外脫水時，需藉由離合機構，使離合支具嚙合內筒軸與波輪軸同向旋轉，達到脫水效果。現有洗衣機內部佈滿了許多接線，主要用來控制各個閥門與馬達及各裝置與控制面板間的溝通，由於洗衣機工作環境為非常潮濕的環境，因此容易因內部接線或控制面板問題而故障。

本作品為了改善以上諸多缺點，設計與實現了全球第一台 3 公斤迷你全電式雙變頻波輪式洗衣機，以滿足新的市場需求。本作品之雙變頻洗衣機以兩顆無刷直流馬達分別獨立控制波輪與內筒，透過控制波輪與內筒的轉向與轉速，產生多種水流變化、洗衣行程與降低衣物打結率，同時以軟體實現數位解耦控制，進而達到波輪與內筒的轉速能不互相干擾，另以電流回授機制來偵測衣物重量，給予最合適的水位，搭配適當的洗衣行程，提高衣物的洗淨度與縮短洗滌時間，達到省水與省電的功能。此外，本作品透過弱磁控制提升脫水轉速來提高脫水率，以降低烘乾衣物的時間。以全電式雙變頻洗衣機進行脫水時，無需離合機構與煞車機構，即可完成脫水，具有高可靠度與高轉換效率。為了解決洗衣機內部多接線與面板受潮問題，本作品以無線通訊進行人機界面與驅動控制器的溝通，控制面板可放置乾燥處，可大幅降低人機界面因受潮而故障的問題與簡化生產及組裝的成本，並提高系統的可靠度與使用彈性。

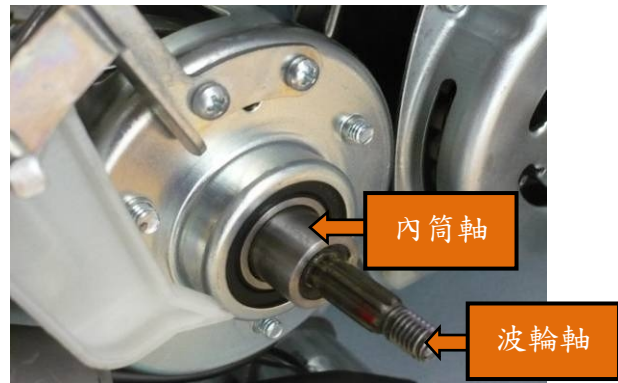
第二章 全電式雙變頻洗衣機之研製

2.1 全電式雙變頻洗衣機傳動機構

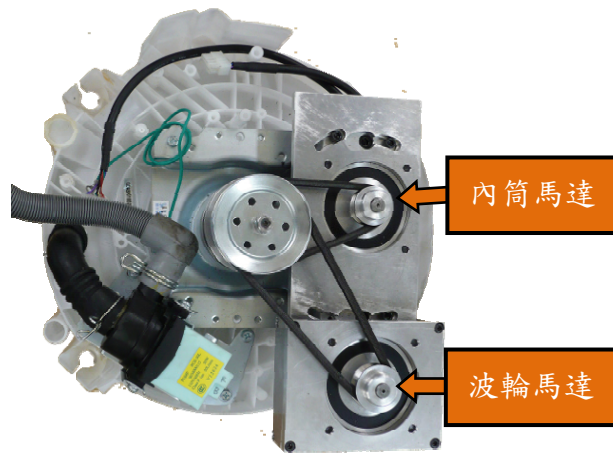
在經費有限的前提下，本作品把現有傳統波輪式單槽洗衣機改為全電式雙變頻洗衣機，將原本效率較差的單相永久電容式感應馬達，換成具有高效率、高功率密度與應答性佳的無刷直流馬達，並把切換洗衣與脫水程序的同步馬達、離合機構及煞車機構等卸除，透過傳動機構與內筒軸心結合，達到同時獨立控制內筒及波輪的轉向及轉速，圖 3.1 所示為本作品傳動機構實體圖。由於全電式雙變頻洗衣機可同時控制內筒與波輪進行雙動力同時驅動、反向旋轉，及產生多種水流組合，不但可縮短洗滌時間，有效達到節水、節能，還可以防止衣物纏繞，降低衣物的磨損，提高洗淨力。



(a) 傳統洗衣機結構實體圖



(b) 傳統洗衣機傳動軸實體圖



(c) 本作品設計之全電式雙變頻洗衣機結構實體圖

圖 2.1 傳統與全電式雙變頻洗衣機結構比較圖

2.2 無刷直流馬達電子換相技術與調速原理

無刷直流馬達的轉子磁場由永久磁鐵提供，定子磁場則藉由變壓變頻器產生三相交流電源投入定子繞組所提供，採用電子換相的無刷直流馬達，一般利用三個霍爾位置感測器偵測轉子磁極位置，獲得三組相差 120 度電氣角的換相訊號，進行 120 度方波電流驅動。換相過程中，每相電流每次導通 120 度電氣角後即關閉 60 度，隨後電流再持續導通 120 度，但此時電流方向與先前相反，再關閉 60 度，如此完成一個電氣週期，如圖 2.2 所示，圖中虛線部分為馬達三相各差 120 度之反電動勢波形，反電動勢中斜線部分為所對應之電樞電流。因為反電動勢領先轉子磁場 90 度電氣角的關係，故將各相反電動勢與所對應之相電流保持同相關係，可使定子磁場與轉子磁場維持正交，獲得最大轉矩輸出。由圖 2.2 中亦可得知，電樞電流在每隔 60 度電氣角時發生變化，即每隔 60 度電氣角改變一種導通狀態，一個電氣週期共有六種組合，經歷六次的換相，因此一般利用位置感測器回授轉子位置資訊，做為電流換相之參考依據。

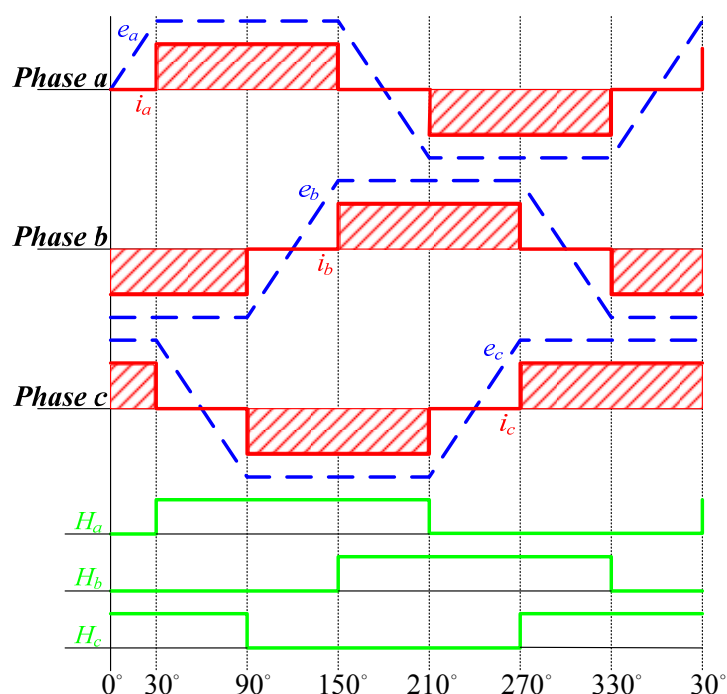


圖 2.2 無刷直流馬達反電動勢 (上方虛線)、電樞電流(斜線部分)與霍爾訊號(下方實線)關係圖

2.3 波輪與內筒的補償機制與解耦控制

如果只有單獨驅動洗衣機的波輪或內筒時，可藉由式(2.1)得知波輪馬達的轉速與波輪實際轉速的關係，以及式(2.2)得知內筒馬達的轉速與內筒實際轉速的關係，但是當進行雙變頻同動驅動時，波輪與內筒的實際轉速便無法從式(2.1)及式(2.2)所獲得，原因是波輪式洗衣機的波輪軸與內筒軸屬於同一垂直軸傳動，如圖 2.1(b)所示，由於透過機構進行耦合，因此在實行雙變頻同動驅動時，洗衣機的波輪與內筒會在耦合機構中發生相互干擾，影響洗衣時的輸出轉速。為了改善此問題，本作品透過實驗紀錄，針對波輪與內筒同動驅動時，設計一耦合補償控制器，補償波輪與內筒之間的轉速干擾。另一方面，洗衣機的波輪與內筒所承受的負載大小取決於衣物量與用水量的多寡，因此為了提高洗衣系統的應答性與符合不同負載下所需的最佳運轉轉速，本作品利用低成本的分流電阻回授直流鏈電流資訊，透過自行設計的負載補償控制器給予適時補償，使波輪及內筒轉速能不受負載變化所影響。圖 2.3 為本作品波輪與內筒同動雙變頻調速系統控制方塊圖。

$$\frac{\text{波輪馬達的轉速}}{\text{波輪實際的轉速}} = 9 \quad (2.1)$$

$$\frac{\text{內筒馬達的轉速}}{\text{內筒實際的轉速}} = 2.44 \quad (2.2)$$

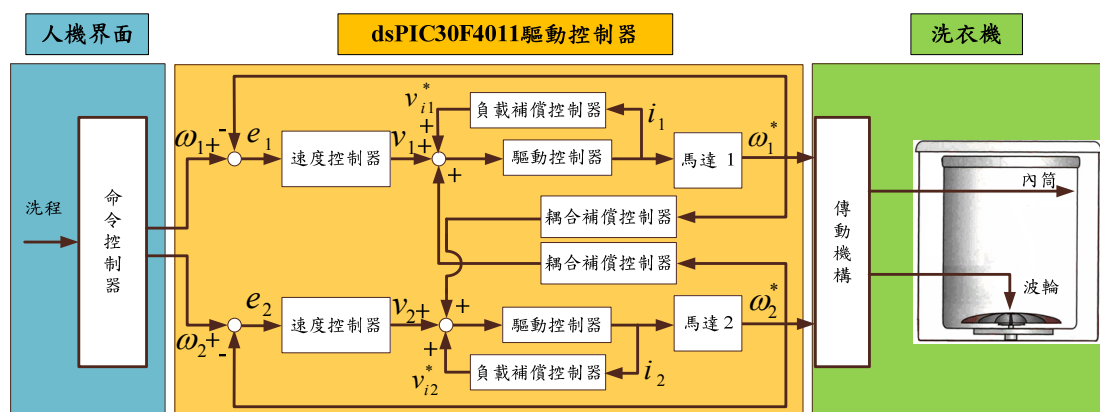
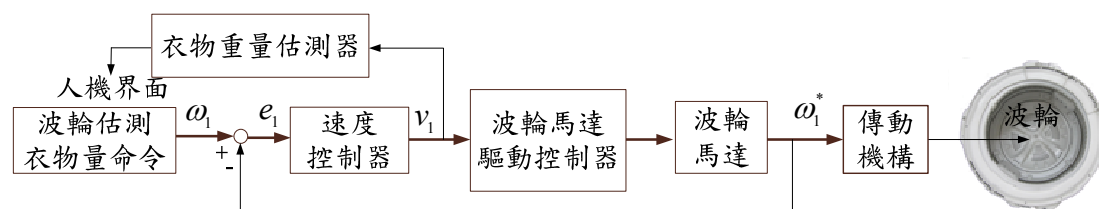


圖 2.3 波輪與內筒同動雙變頻調速系統控制方塊圖

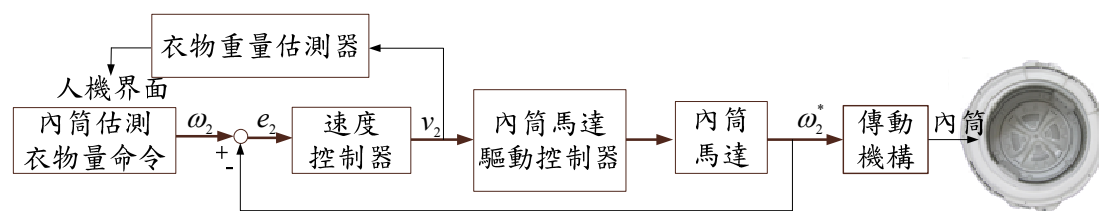
2.4 衣物重量估測器

估測衣物重量為節水節能全自動洗衣機的主要關鍵步驟，不僅可依據衣物量進行用水量的調整，更決定了洗衣行程所需的時間，直接影響用水量、用電量及衣物洗淨等效益。常見的大容量波輪式洗衣機可分為回授馬達所承受的負載電流或藉由底部波輪的速度變化率來判斷衣物重量。相較於大容量全自動洗衣機具有智慧型的衣物重量感測功能，性能單一的小容量洗衣機因不具有偵測衣物重量功能，多數以使用者自行手動加水與洗衣機預設的有段加水供選擇為主，常造成使用上的不便與水資源不必要的浪費等問題。

有別於目前市售的全自動波輪式洗衣機偵測衣物重量方式，本作品為了提高估測衣物重量的精確度，且在不增加額外硬體架構下，利用可獨立控制波輪及內筒的特色，分別設計波輪與內筒的衣物重量估測器。圖 2.4 為全電式雙變頻估測衣物重量方塊圖，利用速度閉迴路控制波輪與內筒各別操作在預先設計的轉速下，紀錄衣物負載程度與責任週期大小進行比對，以建立衣物量與用水量的關係式，實驗結果證實可準確的估測衣物重量。



(a)波輪估測衣物重量方塊圖



(b)內筒估測衣物重量方塊圖

圖 2.4 全電式雙變頻估測衣物重量方塊圖

2.5 洗衣行程的建立

有別於傳統波輪式洗衣機只有波輪單獨進行正反轉洗衣，全電式雙變頻洗衣機具有分別獨立控制波輪與內筒的轉向與轉速特點，可進行任意多種洗衣行程組合，表 1 以下列舉出洗衣機波輪與內筒在一次正反轉週期的轉速狀態關係式。

表 1 雙變頻洗衣機多功能洗衣行程控制表

	波輪轉速		內筒轉速	
	正轉	反轉	正轉	反轉
行程一	強	弱	強	弱
行程二	強	弱	相同	
行程三	強	弱	弱	強
行程四	相同		強	弱
行程五	相同		相同	
行程六	相同		弱	強
行程七	弱	強	強	弱
行程八	弱	強	相同	
行程九	弱	強	弱	強

本作品可在完整的洗衣行程中，依衣服性質及使用者喜好，進行多種多種洗衣水流組合，主要的目的為提升洗淨度及洗滌均勻度、降低衣物打結率、衣物磨損率及縮減洗衣時間與用水量，達到節水、節能及適合各種不同的洗滌物。

2.6 簡化脫水機構與提升脫水率

脫水是洗衣行程中最後一個步驟，也是影響使用者在洗衣頻率上與後續曬衣時間的關鍵，提升脫水率的主要方法為增加脫水轉速及脫水時間，其中又以前者成效較佳，式(2.3)為脫水率的定義。傳統波輪式洗衣機進行脫水時，主要藉由控制離合機構，使離合支具嚙合波輪軸與內筒軸，達到同向旋轉進行脫水，繁複的脫水機構是引起震動與噪音的主要原因之一。以單相永久電容式感應馬達為動力來源的洗衣機，在出廠時，即透過傳動機構決定洗衣與脫水的轉速比關係，因此難以藉由改變硬體機構來提高脫水轉速。

本作品不需使用傳統洗衣機的離合機構，即可控制內筒完成脫水行程，且在

不增加機械硬體架構下，藉由弱磁控制提高內筒輸出轉速，另外，本作品以再生煞車取代傳統式的煞車機構，具有高可靠度與高轉換效率等優點。

$$\text{脫水率(\%)} = \frac{\text{乾燥布的質量(kg)}}{\text{脫水後布的質量(kg)}} \times 100 \quad (2.3)$$

2.7 可程式無線控制面板之研製

本作品有別於傳統有線控制，洗衣機的人機界面與驅動控制器以無線傳輸的方式，進行洗衣行程控制與相關感測器及閥門命令的傳送與接收，降低傳統有線控制在生產與組裝的成本與難度，並提高系統可靠度，達到人機界面可與主機獨立分開使用；可有效避免人機界面因為受潮而故障，且使用者不需在潮濕的環境下操作洗衣機，圖 2.5 為傳統有線控制洗衣機面板與本作品開發之無線控制洗衣機面板。



(a)傳統有線控制洗衣機面板



(b)本作品開發之無線控制洗衣機面板

圖 2.5 傳統與全電式雙變頻洗衣機控制面板

第三章 實驗系統架構

3.1 系統架構

本作品以 dsPIC30F4011 作為主要的控制核心，以兩顆無刷直流馬達分別獨立控制波輪及內筒的轉向與轉速，系統架構如圖 3.1 所示，雙變頻設計之目的主要是結合波輪與滾筒式洗衣機的特性，在同時驅動波輪及內筒下達到提高衣物的洗淨度與縮短洗滌時間。本作品透過耦合補償控制器與負載補償控制器，改善波輪與內筒馬達因傳動機構所造成的干擾。另外以無線傳輸進行人機界面與驅動控制器的溝通，人機界面如圖 3.2 所示，以無線技術實現控制訊號的傳輸，可以大幅簡化生產及組裝的成本並提高系統的可靠度。

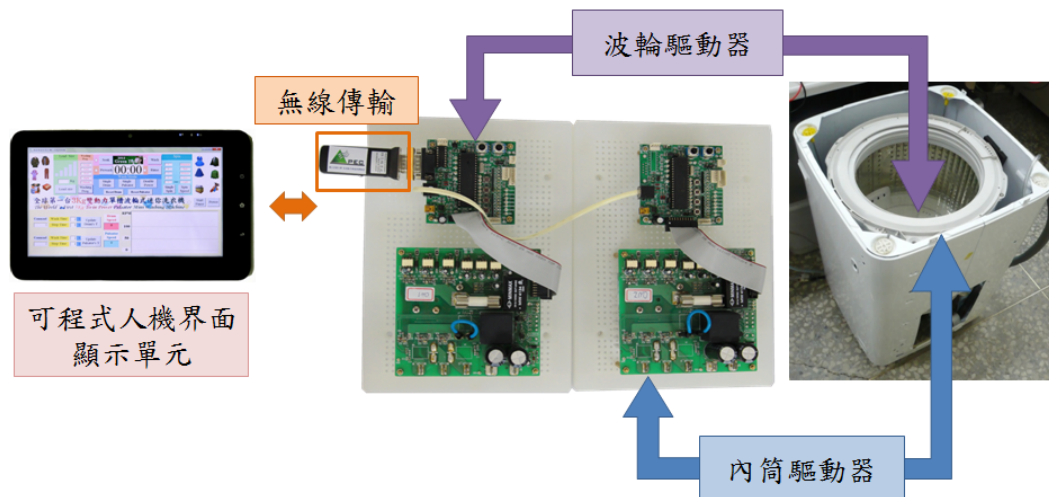


圖 3.1 本作品系統架構



圖 3.2 本作品開發之可程式洗衣機人機界面

3.2 程式流程圖

本作品採用 Microchip 公司生產的 dsPIC30F4011 微處理器做為主要的控制核心，該微處理器擁有許多馬達驅動控制專用的硬體週邊與暫存器，可稱為馬達控制專用的微處理器。程式的撰寫以可讀性較高的 C 語言為主，透過 MPLAB IDE 軟體、C30 編譯器以及線上及時除錯器 ICD2，進行程式的撰寫、編譯、模擬、除錯以及燒錄，完成程式作品開發的所有工作。

圖 3.3 到圖 3.6 為本作品分別開發波輪馬達及內筒馬達驅動控制器的主程式、中斷副程式以及副程式的所有流程圖。

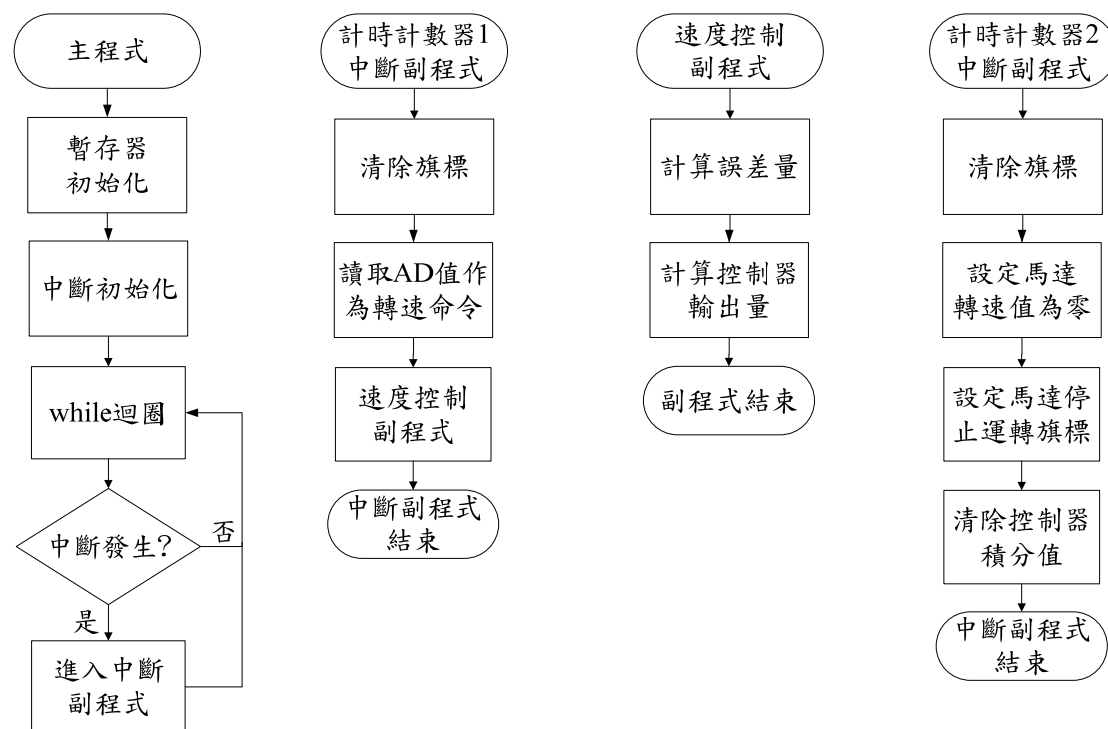


圖 3.3 洗衣機波輪驅動控制器的主程式、計時計數器 1、計時計數器 2 中斷副程式與速度控制副程式架構流程圖

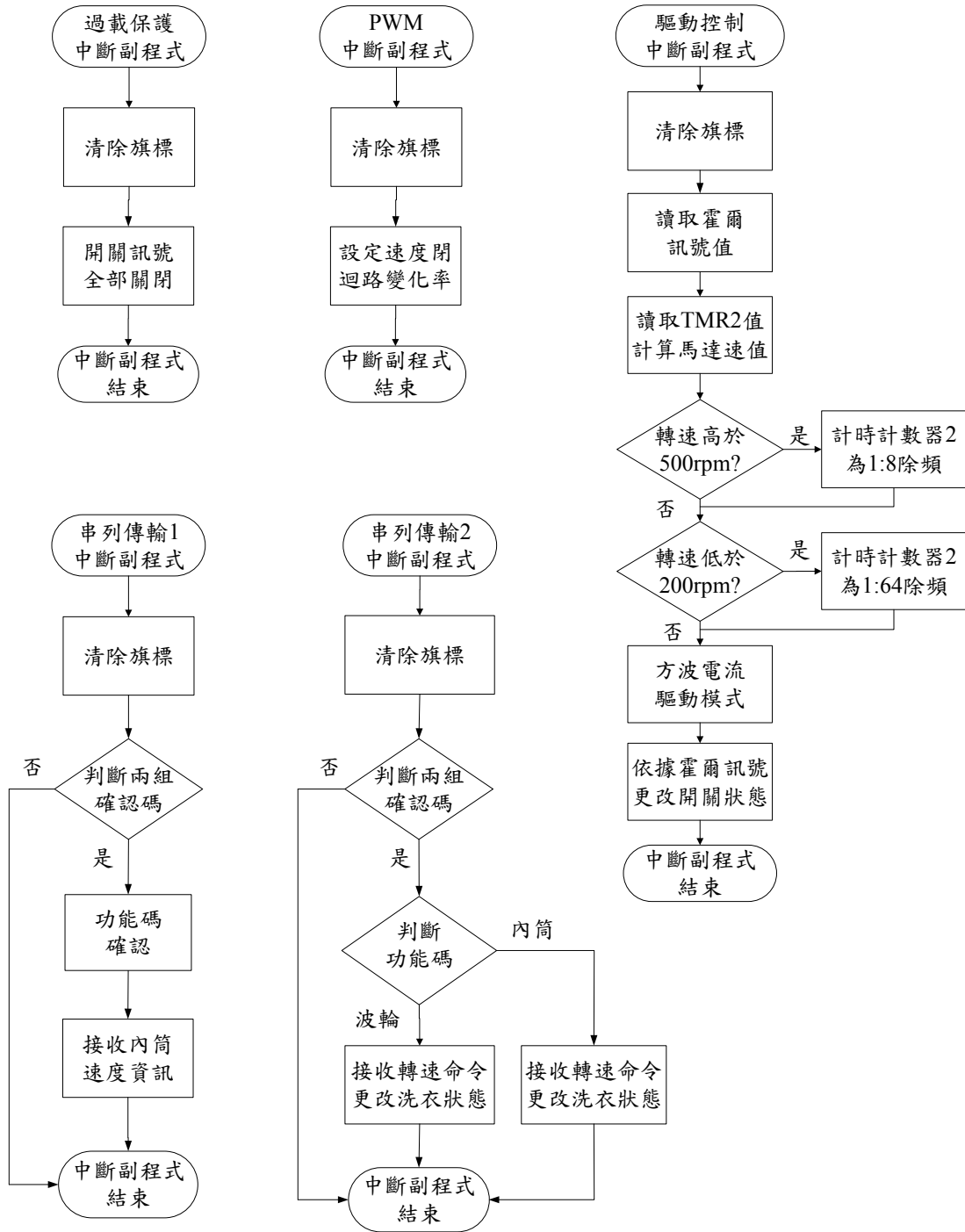


圖 3.4 洗衣機波輪驅動控制器的過載保護、PWM、驅動控制、串列傳輸 1 與串列傳輸 2 中斷副程式架構流程圖

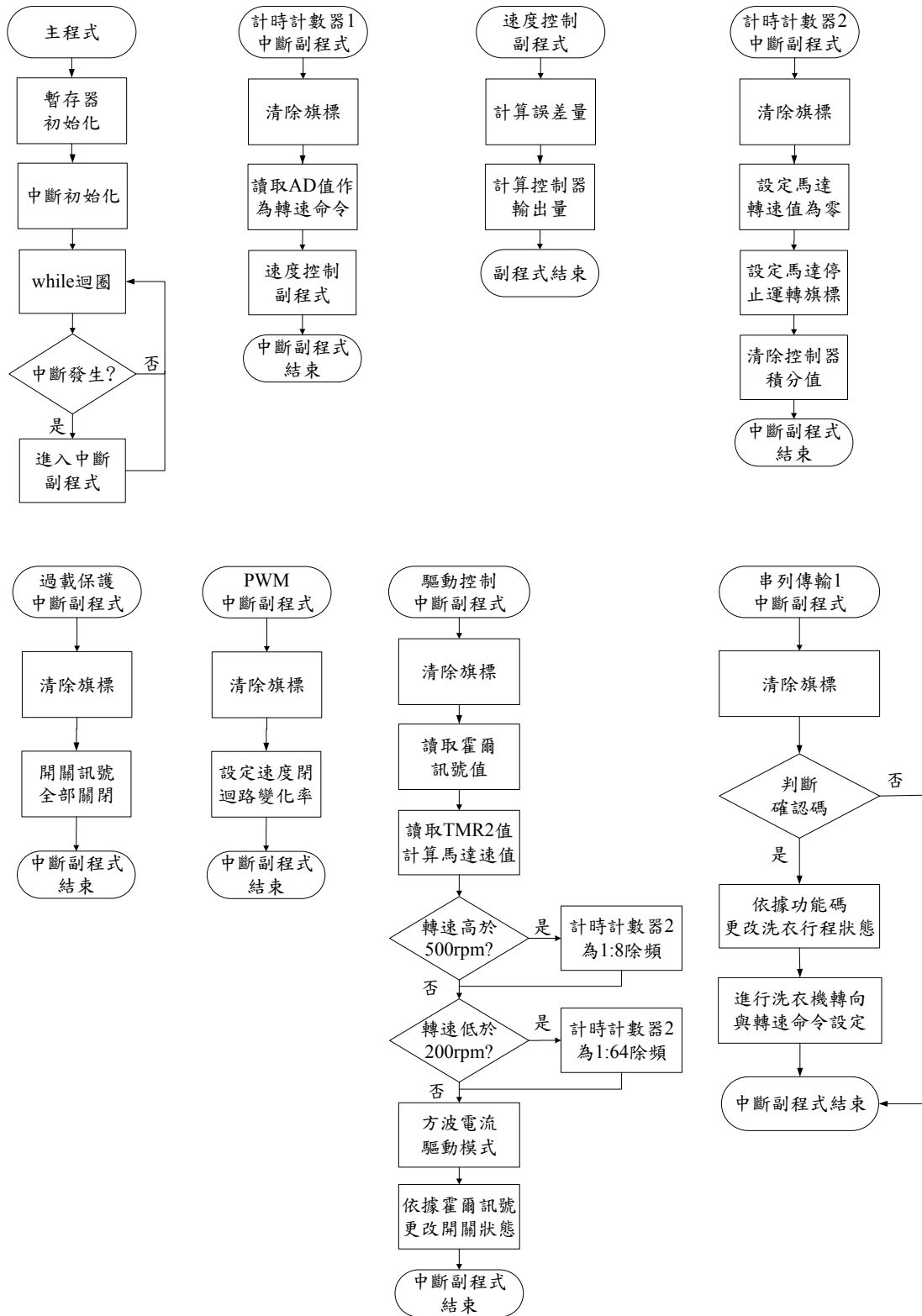


圖 3.5 洗衣機內筒驅動控制器的主程式、計時計數器 1、計時計數器 2 中斷副程式、速度控制副程式、過載保護、PWM、驅動控制與串列傳輸 1 中斷副程式架構流程圖

3.3 實驗結果與討論

本作品利用自行設計的衣物重量估測器與市售常見的 14 公斤大容量波輪式洗衣機作偵測衣物量進行注水量比較。如圖 3.6 所示；大容量波輪式洗衣機在 1 公斤衣物時，注入最低設定水位為 45L，2 公斤與 3 公斤衣物時，皆需注入 60L 水量，可將衣物完全的浸泡。相對於 14 公斤的家庭式洗衣機，本作品之全電式雙變頻洗衣機的注水量與衣物量幾乎呈正比關係，能針對衣物建立合適的洗衣注水量，且符合省水標章之洗衣機規範，每公斤的衣物耗水量皆小於 20 公升。此外，在一般完整的標準洗衣行程中，需要進行 3 次的注水(洗滌 1 次、洗清 2 次)，因此總用水量如表 2 所示，如此一來，本作品相較於大容量洗衣機，可達到有效節水之效能，避免不必要的水資源浪費，且洗衣機所承受的負載較小，能夠有效減少用電量與額外費用的支出，充分達到節能減碳的效果。

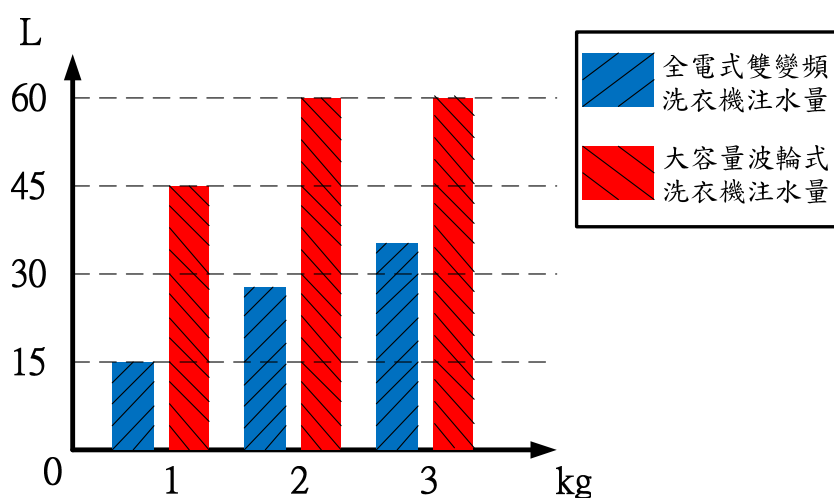


圖 3.6 本作品與市售大容量波輪式洗衣機在 1~3 公斤衣物量下的注水量比較圖

表 2 標準洗衣行程之總用水量比較表

	1 公斤衣物 總用水量	2 公斤衣物 總用水量	3 公斤衣物 總用水量
14kg 大容量 波輪式洗衣機	135L	180L	180L
3kg 全電式 雙變頻洗衣機	45L	75L	105L
總節水率	66.7%	58.3%	41.7%

本作品透過傳統單一波輪驅動洗衣與雙變頻驅動洗衣作比較，洗滌行程相關設定如表 3 所示，波輪式洗衣以每分鐘約 10 次進行往復回轉洗衣，故 10 分鐘的洗滌時間達 100 次，而本作品的雙變頻式洗衣是透過波輪與內筒相互反向運轉，具有較高的洗淨力，故操作轉速設定為波輪式的一半，另外並提升為每分鐘約 15 次的往復迴轉洗衣，在 7 分鐘的洗滌時間達 105 次，具有縮短洗衣時間與達到節能用電的效果，最後實驗結果證實，由於傳統單一波輪驅動洗衣過程中所產生的水流變化較單調，且屬於漩渦狀，因此在洗滌過程中，衣物容易打結，如圖 3.7(a)所示，而採用雙變頻驅動洗衣時，衣物則是呈現舒展狀態，洗淨力與洗滌均勻度較高，衣物打結率低，如圖 3.7(b)所示，實際洗滌過程如附件影片所示。

表 3 傳統單波輪驅動與雙變頻驅動洗滌行程比較表

	波輪轉速	內筒轉速	洗滌時間	正反轉時間	停止時間
傳統單波輪驅動	150rpm	0	10min	2s	1s
雙變頻同步驅動	75rpm	75rpm	7min	1.6s	0.4s



(a)單波輪驅動衣物容易打結



(b)雙變頻同步驅動衣物不打結

圖 3.7 洗衣打結率比較圖

第四章 結論

本作品成功的開發了全球第一台 3 公斤全自動雙變頻迷你洗衣機，藉由實驗結果與理論基礎的證實，本作品同時具有省水、省電、省時及良好的洗淨效果。在全球少子化結構下，現代家庭都願意投資金錢與精力在下一代身上，希望下一代能獲得最好的照顧，且洗衣機使用者皆具有大人與小孩衣服分開洗的健康概念，因此本作品在嬰兒專用洗衣機市場及單身人仕上，有一定的潛力與前景；以下為本作品具體完成項目。

1. 成功將傳統單一波輪式單槽洗衣機，提升為可同時控制波輪及內筒的轉向及轉速的全電式雙變頻洗衣機，產生多種水流組合、可縮短洗滌時間、有效達到節水節能，還可以防止衣物打結、降低衣物的磨損及提高洗淨力。
2. 設計耦合補償控制器，補償雙變頻同動驅動時，波輪與內筒之間的轉速干擾。另外針對洗衣機的波輪與內筒所承受的負載大小，設計負載補償控制器，達到洗衣系統的應答性與符合不同負載下所需的最佳運轉轉速。
3. 設計波輪與內筒的衣物重量估測器，達到提高估測衣物重量的精確度，完成洗衣注水量設定，最後經由實驗結果證實，本作品節水率可達 40% 以上，且符合省水標章洗衣機之規範。
4. 可依衣服性質及使用者喜好，進行多種洗衣水流組合，主要的目的為提升洗淨度及洗滌均勻度、降低衣物打結率、衣物磨損率及縮減洗衣時間與用水量，達到節水、節能及適合各種不同的洗滌物。
5. 在不增加額外硬體成本下，以軟體方式改變電壓相位進行電流相位超前控制，達到延展內筒馬達的操作轉速，並在洗衣機容許的震動與噪音下，提高脫水轉速完成高脫水率，進一步節省烘衣過程所需的能量。
6. 成功開發無線控制洗衣機面板，具有降低傳統有線控制在生產與組裝的成本與難度，並提高系統可靠度，達到人機界面可與主機獨立分開使用；可有效避免人機界面因為受潮而故障，且使用者不需在潮濕的環境下操作洗衣機。

參考文獻

- [1] 鄒金台、林文信、羅新衡、李松宏，洗衣機發展趨勢與性能提升技術可行性探討，冷凍空調與能源科技雜誌，61期，pp. 62-68，2010年02月。
- [2] 張新德、劉淑華，全自動洗衣機使用與維修技術初學者問答，機械工業出版社，2009年。
- [3] http://buy.yahoo.com.tw/gdsale/gd_showImage.asp?pname=st-1795594-s200.jpg&gdid=1795594
- [4] http://buy.yahoo.com.tw/gdsale/gd_showImage.asp?pname=st-2161954-s200.jpg&gdid=2161954
- [5] 高宜凡，一個人的經濟潮，遠見雜誌，298期，4月號，2011年。
- [6] <http://www.tecohome.com.tw/ProductDtl.aspx?Id=1000>
- [7] <http://www.tecohome.com.tw/ProductView.aspx?Id=e6ff90e7-845b-496c-ae3e-41a692ed6db1.jpg>
- [8] 張文化，輕鬆進入家電世界，全華圖書股份有限公司，2008年02月。