

國立交通大學

電控工程研究所

碩 士 論 文

近代汽車電子節氣門之智慧型控制

**Intelligent Control of Electronic Throttle in Modern
Automobiles**

研 究 生：林宗賢

指 導 教 授：王啟旭 教授

中華民國九十八年九月

近代汽車電子節氣門之智慧型控制

Intelligent Control of Electronic Throttle in Modern Automobiles

研究生：林宗賢

Student: Tsung-Hsien Lin

指導教授：王啟旭

Advisor: Dr. Chi-Hsu Wang

國立交通大學



Submitted to Institute of Electrical and Control Engineering
College of Electrical Engineering and Computer Science

National Chiao-Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master

In

Electrical and Control Engineering

September 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年九月

近代汽車電子節氣門之智慧型控制

研究生：林宗賢

指導教授：王啟旭 教授

國立交通大學電控工程研究所 碩士班

摘 要

本研究旨在建立適合開發電子節氣門控制器的環境。本文針對 SAAB 公司的電子節氣門 91 88 186 作出設計。利用 dSPACE 公司的 MABX 快速驗證平台，了解電子節氣門的特性，並開發合適的控制法則；利用 Arduino 公司的兩塊板子 Duemilanove、Pro Mini，將在 MABX 驗證得到不錯效果的控制法則移植到 Arduino 平台，作為實際上可用的控制器。

在 MABX 上，比較了依照節氣門特性的查表法和以系統鑑別法為基礎的 PID 控制法；將較容易得到較好效果的查表法移植到 Arduino 平台，在此，比較程式中使用內插法的表格和先用內插法作好的表格，兩者的表現孰優孰劣，得到結論是在程式中使用內插法的表格較為優秀。

Intelligent Control of Electronic Throttle in Modern Automobiles

Student: Tsung-Hsien Lin

Advisor: Dr. Chi-Hsu Wang

Institute of Electrical and Control Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

In this research, we focus on establishing out the best environments for developing the intelligent controller for electronic throttle. In this paper, we design the controller for the electronic throttle of SAAB company, 91 88 186. We use MABX from dSPACE company to identify the characteristics of electronic throttle and develop suitable control methods; we use two boards, Duemilanove and Pro Mini from Arduino company, to realize a useable controller in real life with the better control method we tried in MABX.

In MABX, we compare the look-up table method based on the electronic throttle characteristic and the PID control method based on system identification method; we take the look-up table method with easier and better effect in Arduino boards, and we compare two tables, one take interpolation in the program and another take interpolation before writing into the program. We get a conclusion that the former table is better.

誌 謝

在研究所求學兩年來，學生承蒙指導教授 王啟旭 博士辛勤、殷切地細心指導，無論在學業上的教導與鼓勵，或是待人處事的諄諄教誨，均使學生受益良多，由莘莘學子茁壯而成為巍巍大樹。尤其在論文撰寫期間，因為吾師給予諸多的教導與指正，才能讓本論文得以順利完成。因此，在此首先向恩師致上誠摯的謝意與敬意。

另外要特別感謝實驗室學長 文榮生、黃得裕、洪堃能、王之政、鍾元之 提供研究上的許多寶貴意見與經驗，讓我的論文研究得以順利進行。也感謝實驗室同窗 陳奕祥、黃泰鈞，學弟 劉丞偉、黃繼輝 等，在生活與研究上互相幫忙。

最後感謝家人的支持與關懷。我的父母在我求學路上毫無保留的付出，總能給予我精神上最大的鼓勵，讓我能夠在這兩年內無後顧之憂的求學。

林宗賢 于新竹

中華民國九十八年九月

目錄

中文摘要	i
Abstract	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	v
圖目錄	vi
第一章 簡介	1
第二章 電子節氣門的結構及界面介紹	2
2.1 電子節氣門的規格	2
2.2 實際使用元件介紹	2
2.3 容錯模式(limp-home mode)介紹	7
2.4 功率放大器之設計: H-Bridge	8
2.4.1 H-bridge簡介	8
2.4.2 H-bridge的輸出與馬達轉動方向、速度的關係	10
2.4.3 使用MultiSim模擬，觀察H-bridge的作用	11
第三章 控制器快速驗證平台dSpace MABX的介紹	13
3.1 MicroAutobox簡介	13
3.2 規格及操作介面說明	13
3.3 利用MABX鑑別電子節氣門的特性	16
3.4 查表控制法則的實現	21
3.5 PID控制法則的實現	25
第四章 控制法則的硬體實現平台	29
4.1 使用的兩塊板子規格介紹(Duemilanove、Pro Mini)	29
4.2 光耦合電路簡介	32
4.3 查表法	33
4.3.1 Arduino要用的表格與MABX用的表格的轉換關係	33
4.3.2 內插法的實現與結果	34
4.3.3 加快程式執行速度的考量	36
4.4 錯誤模式的偵測及進入容錯模式(limp-home mode)的電路設計	38
4.5 最佳結果的程式的流程圖	39
第五章 結論	43
參考文獻	44

表目錄

表 2-1	圖 2-3 中各數字所代表之物件說明	3
表 2-2	節氣門連接器的腳位說明	4
表 2-3	馬達與位置感知器之特性介紹	5
表 3-1	MicroAutobox 規格	13
表 3-2	觀察改變 Duty Cycle 造成的變化 1	17
表 3-3	觀察改變 Duty Cycle 造成的變化 2	17
表 3-4	觀察改變 Duty Cycle 造成的變化 3	18
表 3-5	觀察改變 Duty Cycle 造成的變化 4	18
表 3-6	觀察改變 Duty Cycle 造成的變化 5	19
表 3-7	觀察改變 Duty Cycle 造成的變化 6	19
表 3-8	觀察改變 Duty Cycle 造成的變化 7	20
表 3-9	根據圖 3-9、圖 3-10 所決定查表法要使用的表格	23
表 4-1	Arduino Duemilanove 的規格	29
表 4-2	Arduino Pro Mini 的規格	30
表 4-3	Arduino analogRead() 函式說明	31
表 4-4	Arduino analogWrite() 函式說明	32
表 4-5	根據表 3-9 轉換得到的表格	34
表 4-6	根據表 4-5 擴大得到的表格	37



圖目錄

圖 2-1	電子節氣門物理模型示意圖	2
圖 2-2	SAAB 電子節氣門側視圖	2
圖 2-3	SAAB 電子節氣門示意圖	3
圖 2-4	節氣門開度與節氣門位置感知器關係圖	6
圖 2-5	踏板開度與踏板位置感知器關係圖	6
圖 2-6	SAAB 電子節氣門與 ECU 示意圖	7
圖 2-7	SAAB limp-home 螺線管示意圖	8
圖 2-8	微控制器、H-bridge 電路和馬達的方塊圖	9
圖 2-9	H-bridge 電路圖	9
圖 2-10	半個 H-bridge 電路的輸入與輸出關係圖(以 50% duty cycle 為例)	10
圖 2-11	無刷直流馬達等效電路圖	10
圖 2-12	無刷直流馬達橫切面圖	11
圖 2-13	電壓比較圖 1	11
圖 2-14	電壓比較圖 2	12
圖 2-15	流經 MOTOR 的電流波形圖	12
圖 3-1	dSPACE MicroAutoBox 硬體外觀	13
圖 3-2	MABX 的 ZIF connector 的外貌	15
圖 3-3	實際在 Simulink 中設計的樣子	15
圖 3-4	實際 ControlDesk 的使用情況	16
圖 3-5	電子節氣門位置從關閉到開啟(PWM1 從 1 逐漸變為 0 ; PWM2=1)	20
圖 3-6	電子節氣門位置從開啟到關閉(PWM1 從 0 逐漸變為 1 ; PWM2=1)	20
圖 3-7	類似遲滯效應的電子節氣門特性圖(調整 PWM1 ; PWM2=1)	21
圖 3-8	電子節氣門位置從關閉到開啟(兩 PWM 訊號互補(PWM1+PWM2=1))	22
圖 3-9	電子節氣門位置從開啟到關閉(兩 PWM 訊號互補(PWM1+PWM2=1))	22
圖 3-10	類似遲滯效應的電子節氣門特性圖(兩 PWM 訊號互補)	23
圖 3-11	用 Simulink 設計的查表法模型	24
圖 3-12	在 MABX 使用查表法實驗結果	24
圖 3-13	用 Simulink 設計的 PID 控制法模型	25
圖 3-14	用 ControlDesk 蒐集的數據圖形	25
圖 3-15	實際 System Identification Tool 的使用情況	26
圖 3-16	實際 System Identification Tool 分析的過程	26
圖 3-17	實際 PID Tuning with Actuator Constraints 的使用情況	27
圖 3-18	實際 PID Tuning with Actuator Constraints 分析的過程	27
圖 3-19	程式跑完所能得到的最佳 PID 參數	28
圖 3-20	在 MABX 使用 PID 控制法實驗結果	28
圖 4-1	Arduino Duemilanove 的硬體外觀	29

圖 4-2	Arduino Pro Mini 的硬體外觀.....	30
圖 4-3	Arduino、光耦合電路、H-bridge 電路和馬達的方塊圖	32
圖 4-4	光耦合電路圖(實際要用兩個這樣的電路)	33
圖 4-5	三個輸出之間的關係圖(以 50% duty cycle 為例).....	33
圖 4-6	在 Arduino 使用內插法實驗結果 1	35
圖 4-7	在 Arduino 使用內插法實驗結果 2(執行一段時間後).....	36
圖 4-8	在 Arduino 純使用查表法實驗結果 1	37
圖 4-9	在 Arduino 純使用查表法實驗結果 2(執行一段時間後).....	38
圖 4-10	容錯模式電路圖	38
圖 4-11	主程式流程圖	40
圖 4-12	副程式流程圖 1	41
圖 4-13	副程式流程圖 2	42



第一章

簡介

在近幾年來，汽車上，原本機械上的動作，在汽車引擎電腦(Electronic Control Unit)出現後，控制了引擎點火、供油等，愈來愈多的功能都交給 ECU 處理，ECU 的功能也日益強大。

節氣門主要是用來控制進入引擎的空氣量，靠閥門的轉動角度，決定進入引擎的空氣量，不同的空氣量就要配合不同的供油量，才会有最佳的燃燒效果，沒配合好就會燃燒不完全，因此在有 ECU 的汽車上，就要偵測現在節氣門的開度，來決定噴油量的多寡，這樣也比較環保。

傳統的節氣門，駕駛踩動油門踏板，油門拉線就帶動節氣門彈簧，再帶動閥門的轉動；因此，踩的不同的踏板深度，就會導致不同的節氣門開度，不同的進氣量，進而影響到車速。

而為了控制上的一致性，節氣門也慢慢出現了電子控制，ECU 在不完全剝奪駕駛的樂趣下，儲存了許多對照用表格，為了得到最佳燃燒效率、維持定速等，在駕駛沒有改變踩油門踏板深度時，調整節氣門的開度。

電子節氣門本身是個非線性的系統，而且在設計時還要考慮控制器不能佔太多的空間，要能在各種駕駛環境下正常工作，要能又快又準的達到要求，因此富有許多挑戰，也就已經吸引了相當多的研究人們，投入這塊研究裡面[1]-[21]。

本篇論文主要在找適合電子節氣門測試、開發並實現控制法則的環境，並實際用微控制器 Arduino 設計出來；在本文裡，為了方便，都以油門踏板開度當作要求的節氣門開度，在實際生活上則不然，是透過一連串的查表找出最佳、應要的節氣門開度。

在第二章，我們介紹了電子節氣門的架構和容錯模式功能；第三章，介紹了控制器快速驗證平台 MABX，並測試了兩種方法：查表法和 PID 控制法；第四章，介紹控制法則的實現平台 Arduino，將查表法移植到了這，並比較了內插法和擴充表格方法；最後在第五章，對本研究作出結論。

第二章

電子節氣門的結構及界面介紹

本章介紹電子節氣門的結構、實驗使用的電子節氣門規格，還有對使用者很重要的容錯模式(limp-home mode)，以及實驗時所需要用的 H-bridge 電路的概要說明。

2.1 電子節氣門的規格

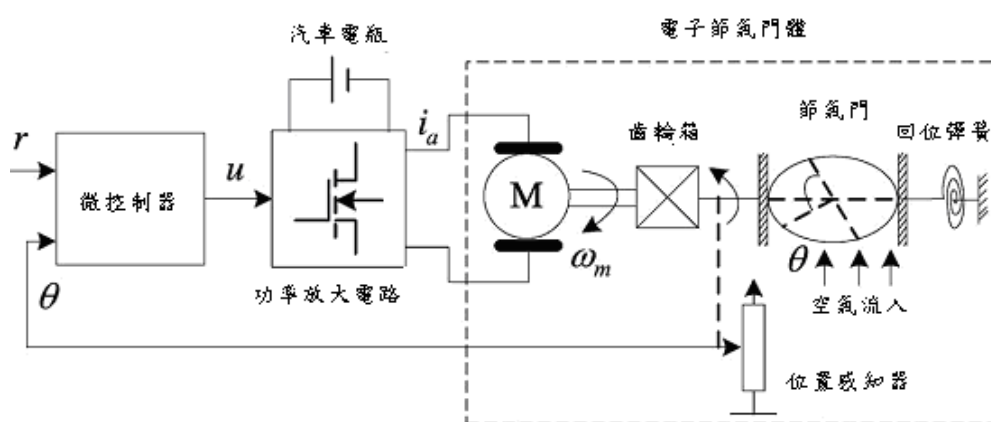


圖 2-1 電子節氣門物理模型示意圖

一個電子節氣門的物理模型大概就像圖 2-1 所示[3]，我們可以從圖 2-1 一窺電子節氣門的架構。而控制的難題就難在齒輪箱和回位彈簧等會造成的非線性特性，讓我們沒辦法找到完全符合其特性的轉移函數，也就難控制的又快又好，但這卻又是實車上的需求。

2.2 實際使用元件介紹



圖 2-2 SAAB 電子節氣門側視圖

在本論文中，實驗所使用的電子節氣門元件是 SAAB 汽車公司的 91 88 186。以下將介紹電子節氣門在引擎蓋下的位置以及它各部位的名稱[22]：

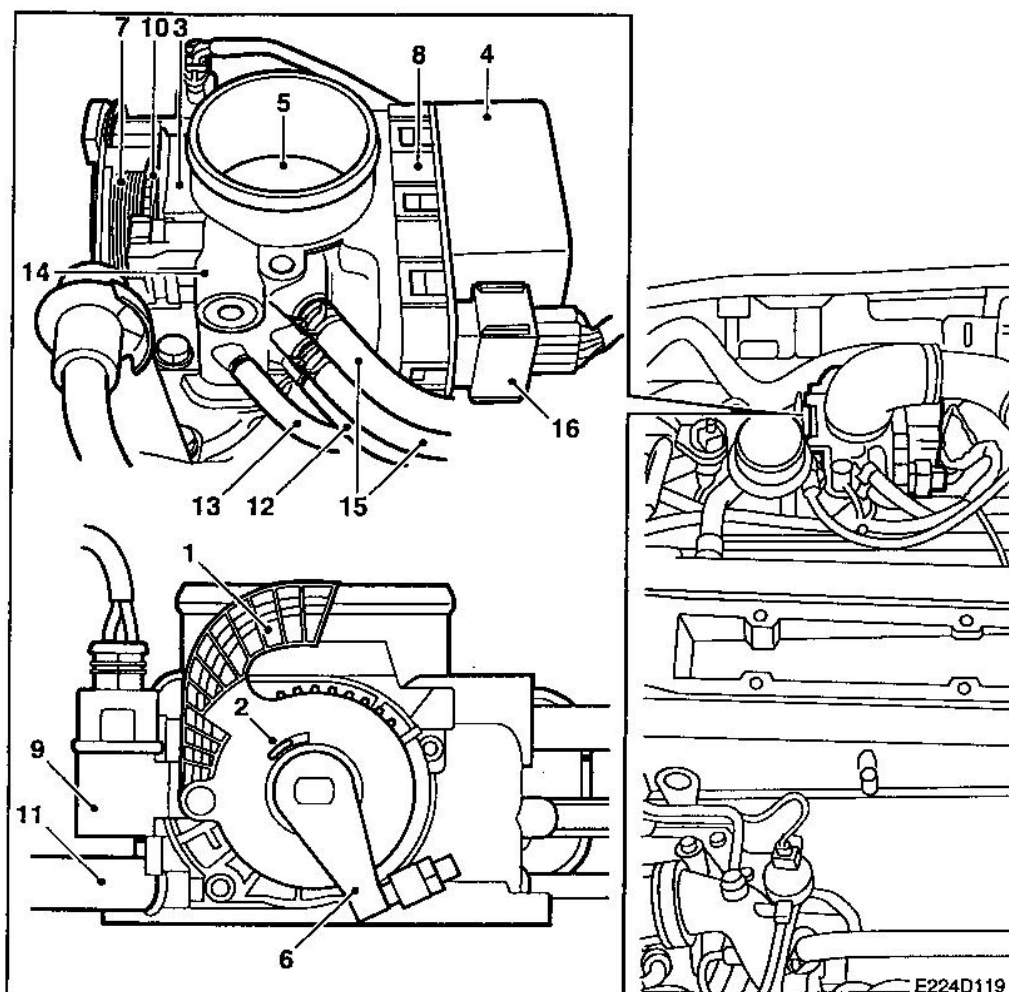


圖 2-3 SAAB 電子節氣門示意圖

表2-1 圖2-3中各數字所代表之物件說明

1. 掛載有節氣門拉索的踏板驅動臂 (旋轉其可改變踏板位置感知器的讀數)
2. 踏板驅動臂的回位彈簧(沒顯示出來，在踏板驅動臂的裡面)
3. 踏板位置感知器(兩電壓計)
4. 馬達(無刷直流馬達，帶動節氣門軸連同節氣門、節氣門位置感知器、節氣門驅動臂)
5. 節氣門

6. 節氣門驅動臂
7. 節氣門驅動臂的回位彈簧
8. 節氣門位置感知器(兩電壓計)
9. limp-home 螺線管(如果點火時,控制單元的記憶體存有的錯誤診斷碼告知要進入容錯模式,就激發五次以進入容錯模式(limp-home mode)。當節氣門進入容錯模式,齒輪盤鬆開)
10. 齒輪盤(被節氣門驅動臂的回位彈簧加壓,當進入容錯模式時,容錯螺線管鬆開齒輪盤。它確保踏板驅動臂有連結到節氣門驅動臂。在修理時,需要手動重設齒輪盤,且要記得清除記憶體中的錯誤診斷碼)
11. 通過節氣門的空氣(淨化汽車蒸發控制系統的碳罐用的銅嘴)
12. 通過節氣門的空氣(連結到曲軸箱通風裝置的銅嘴)
13. 流進節氣門的空氣(連結到進氣旁通閥的銅嘴)
14. 旁通渠道(引導空氣經過節氣門進入進氣歧管中的渠道,注滿空氣給噴射嘴)
15. 預熱(冷卻劑循環,減少結冰危險用的兩個銅嘴)
16. 十個腳位的連接器(輸入:兩個接馬達、兩個接5伏特、兩個接地。輸出:兩個踏板位置感知器(Pedal Position Sensor)、兩個節氣門位置感知器(Throttle Position Sensor))

表2-2 節氣門連接器的腳位說明

1(輸出)	2(輸入)	3(輸出)	4(輸入)	5(輸入)	6(輸出)	7(輸入)	8(輸出)	9(輸入)	10(輸入)
踏板位置感知器 1	5 伏特	踏板位置感知器 2	地	節氣門馬達+端	節氣門位置感知器 1	5 伏特	節氣門位置感知器 2	地	節氣門馬達-端

表2-3 馬達與位置感知器之特性介紹

<p>節氣門馬達：</p> <p>型態：單相無刷直流馬達</p> <p>20°C時腳位 10 和腳位 5 間的電阻值：1.13±5% Ω</p> <p>控制信號：12 伏特的脈波寬度調變(PWM)訊號，操作頻率 600 赫茲</p>
<p>節氣門位置感知器 1：(TPS1)</p> <p>節氣門關閉時，腳位 6 和腳位 9 間電壓差：0.065-1.092 伏特</p> <p>節氣門全開時，腳位 6 和腳位 9 間電壓差：3.930-4.775 伏特</p>
<p>節氣門位置感知器 2：(TPS2)</p> <p>節氣門關閉時，腳位 8 和腳位 9 間電壓差：3.910-4.965 伏特</p> <p>節氣門全開時，腳位 8 和腳位 9 間電壓差：0.025-1.070 伏特</p>
<p>踏板位置感知器 1：(PPS1)</p> <p>踏板鬆開時，腳位 1 和腳位 9 間電壓差：3.990-4.645 伏特</p> <p>踏板全壓時，腳位 1 和腳位 9 間電壓差：0.400-1.055 伏特</p>
<p>踏板位置感知器 2：(PPS2)</p> <p>踏板鬆開時，腳位 3 和腳位 9 間電壓差：0.355-1.010 伏特</p> <p>踏板全壓時，腳位 3 和腳位 9 間電壓差：3.945-4.600 伏特</p>
<p>所有位置感知器：</p> <p>電源需求：5 伏特</p> <p>電壓計阻抗：2k±20% Ω</p> <p>電壓計輸出阻抗：0.8k Ω</p>

節氣門位置
感知器

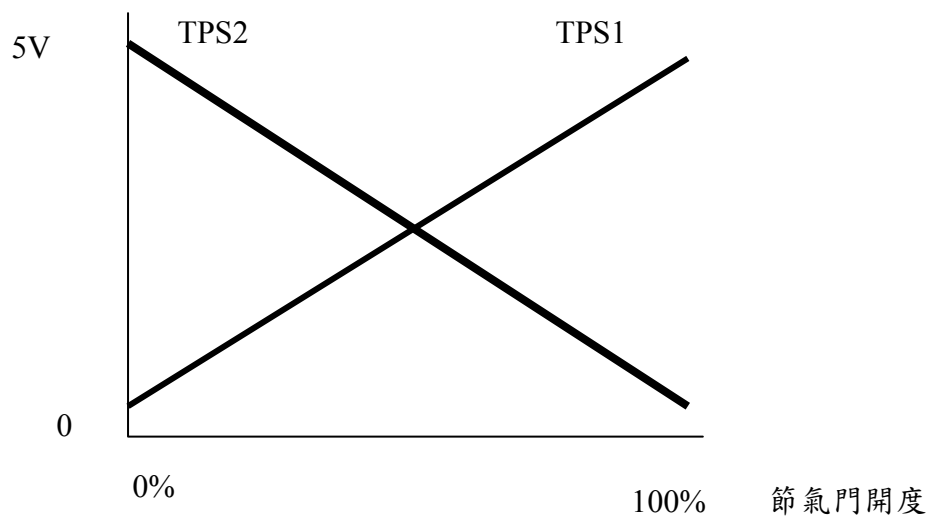


圖 2-4 節氣門開度與節氣門位置感知器關係圖

踏板位置
感知器
5V

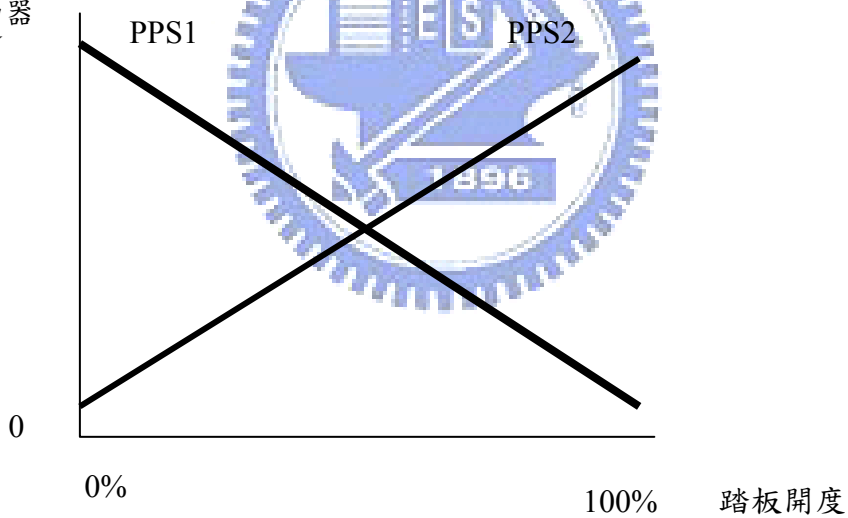


圖 2-5 踏板開度與踏板位置感知器關係圖

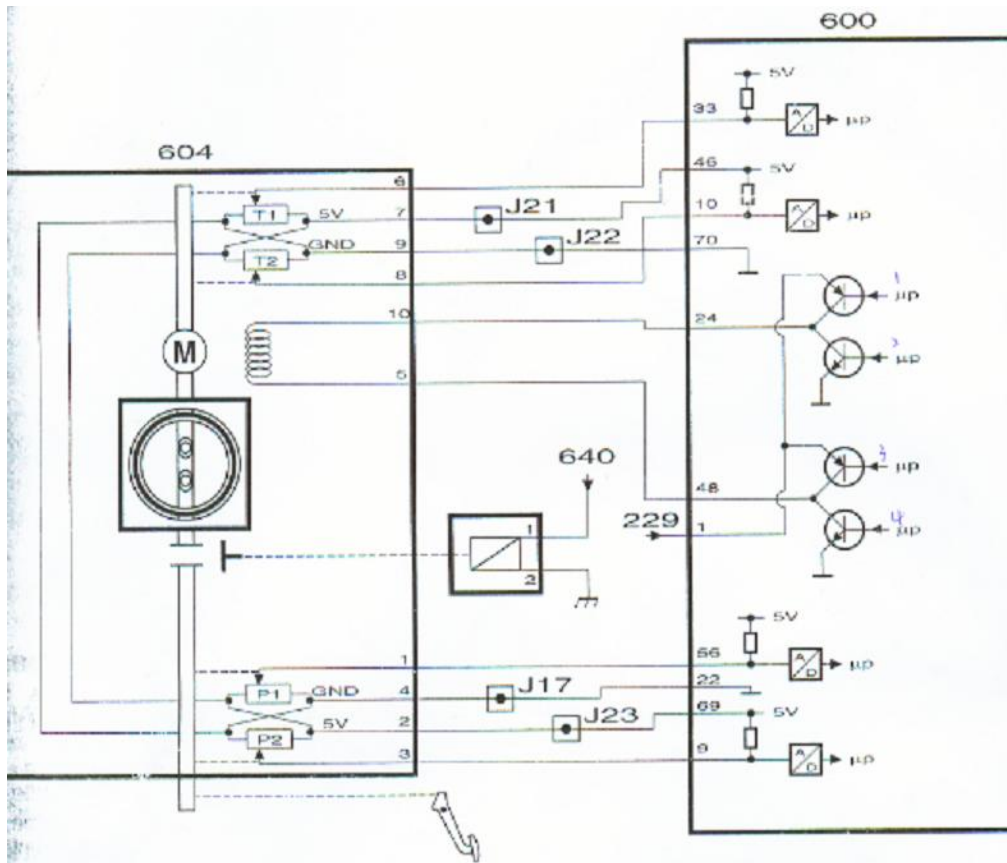
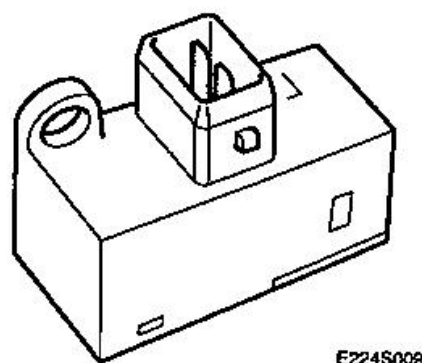


圖 2-6 SAAB 電子節氣門與 ECU 示意圖

圖 2-6 裡[22]，方塊 600 為 ECU 部份功能，方塊 604 為電子節氣門，方塊 640 為 limp-home 螺線管。方塊 604 中的 P1、P2 是踏板位置感知器，T1、T2 是節氣門位置感知器。所以電子節氣門與 ECU 是以下列方式動作：首先 ECU 接收踏板和節氣門位置感知器的訊號，判斷是否要進入容錯模式。正常運作的話，就考慮汽車轉速、空氣密度等資訊，找出符合最佳效率的節氣門應有開度，再依此傳給四個功率電晶體控制訊號，決定感應線圈兩端電壓，再使馬達轉動，帶動齒輪箱，影響節氣門的開度。此時，ECU 再度擷取節氣門位置感知器訊號，了解是否到達所要求的開度，沒有的話就開始微調。

2.3 容錯模式(limp-home mode)介紹

Limp-home solenoid (607)



Characteristics		Zero current, sprung
Resistance at 20°C (68°F)	Ohms	1.7±0.2

圖 2-7 SAAB limp-home 螺線管示意圖

容錯模式(limp-home mode) [22]是當電子節氣門發生故障時，比方說機械故障、馬達故障、位置感知器故障或內部控制單元中負責電子節氣門的部分發生問題，都將進入容錯模式，使原本由馬達帶動的節氣門，變成直接由踏板來拉節氣門拉索帶動節氣門，也就是變回傳統非電子式的節氣門。其優點就是能讓你不會在電子節氣門故障時就需要叫車廠幫你道路救援，在沒有空回廠維修時，可以繼續駕駛。

它的原理是原本電子節氣門正常運作時，limp-home 螺線管上會有一個卡榫卡住齒輪盤，不讓其滑動；當發生故障，要進入容錯模式時，會短暫通高電壓給 limp-home 螺線管，使卡榫跳開齒輪盤，踏板驅動臂的回位彈簧和節氣門的回位彈簧卡住節氣門驅動臂的兩端，就可以讓踏板直接帶動節氣門；因此，在修復電子節氣門時，需要手動回復彈簧和卡榫的位置，以及清除內部控制單元裡的錯誤碼。

2.4 功率放大器之設計: H-Bridge

2.4.1 H-bridge 簡介

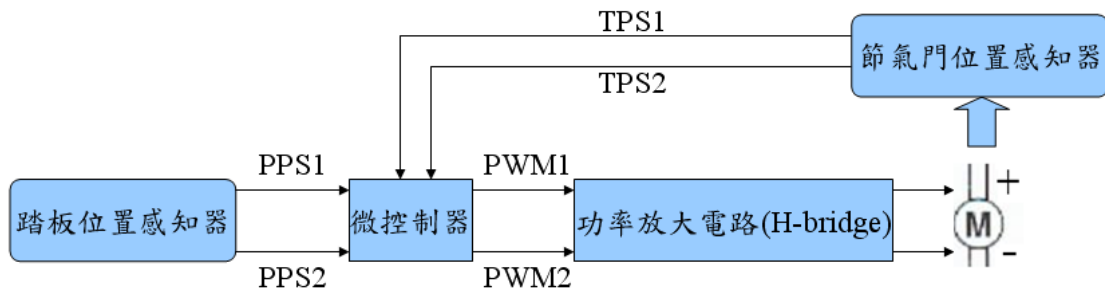


圖 2-8 微控制器、H-bridge 電路和馬達的方塊圖

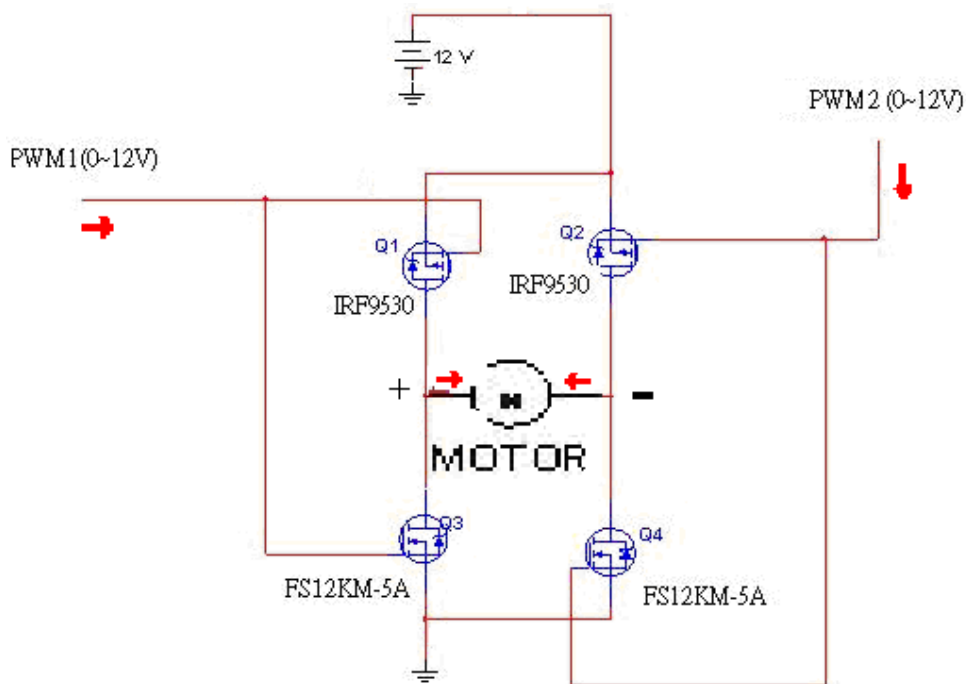


圖 2-9 H-bridge 電路圖

因為微控制器所輸出的電流多為毫安培級，而電子節氣門所用之無刷直流馬達需要安培級的電流推動，所以微控制器輸出得透過 H-bridge 來放大，以操作馬達。H-bridge 是由四個電晶體所組成，本文中電晶體 Q1 及 Q2 為 P-channel power MOSFET，電晶體 Q3 及 Q4 為 N-channel power MOSFET，在此 H-bridge 電路可視為兩個 CMOS inverter 的組合。讓電晶體 Q1、Q3 汲極(Drain)相接點接到 Throttle Motor+，電晶體 Q2、Q4 汲極相接點接到 Throttle Motor-，透過操作四個 MOSFET 的開關，分別讓馬達兩端連接 12 伏特或地，改變馬達兩端的平均電壓差，影響馬達的轉速。

在本文中，我們定義：PWM1 為控制 H-bridge 中的 Q1 和 Q3 的 PWM 訊號的工作週期，PWM2 為控制 H-bridge 中的 Q2 和 Q4 的 PWM 訊號的工作週期。

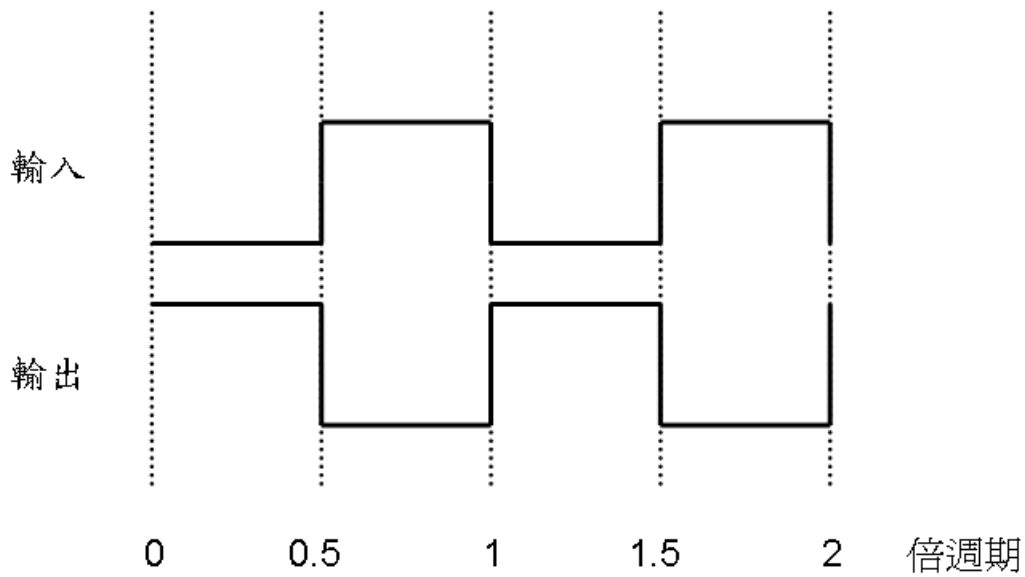


圖 2-10 半個 H-bridge 電路的輸入與輸出關係圖(以 50% duty cycle 為例)

2.4.2 H-bridge 的輸出與馬達轉動方向、速度的關係

[23]無刷直流馬達的等效電路式為

$$V_s = L_a \frac{\partial i_s}{\partial t} + R_a i_s + e_a \quad (2.1)$$

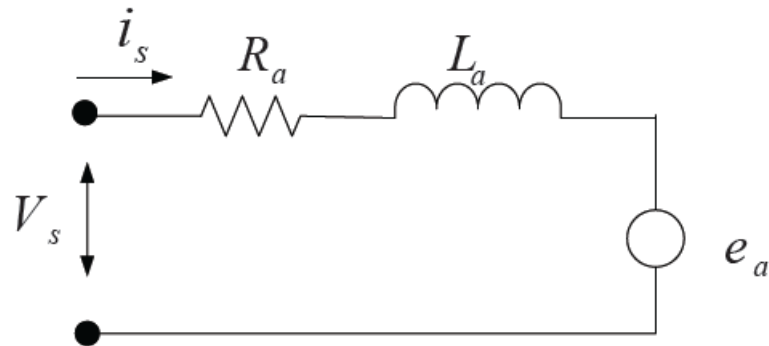


圖 2-11 無刷直流馬達等效電路圖

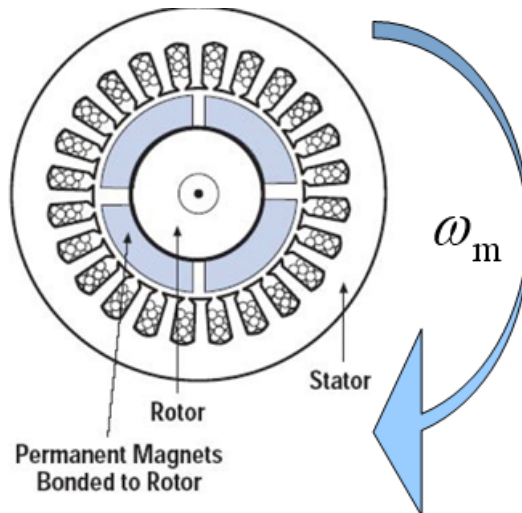


圖 2-12 無刷直流馬達橫切面圖

而馬達轉子的轉動速度 ω_m 和供應的平均電壓 V_s 成正比。

$$\omega_m \propto V_s \quad (2.2)$$

當供應的平均電壓 V_s 大於零，馬達就會往正方向轉動，增加節氣門的開度；若供應的平均電壓 V_s 小於零，馬達就會以反方向轉動。節氣門也就會減小它開的角度。

2.4.3 使用 MultiSim 模擬，觀察 H-bridge 的作用

以下是使用圖 2-7 的電路圖，在 National Instruments 公司的 Multisim 模擬軟體中模擬，其中 PWM 1 輸入振幅 12 伏特、工作週期(duty cycle)為 50%的脈波寬度調變(Pulse Width Modulation, PWM)訊號，PWM 2 輸入 12 伏特，所得到的模擬結果。

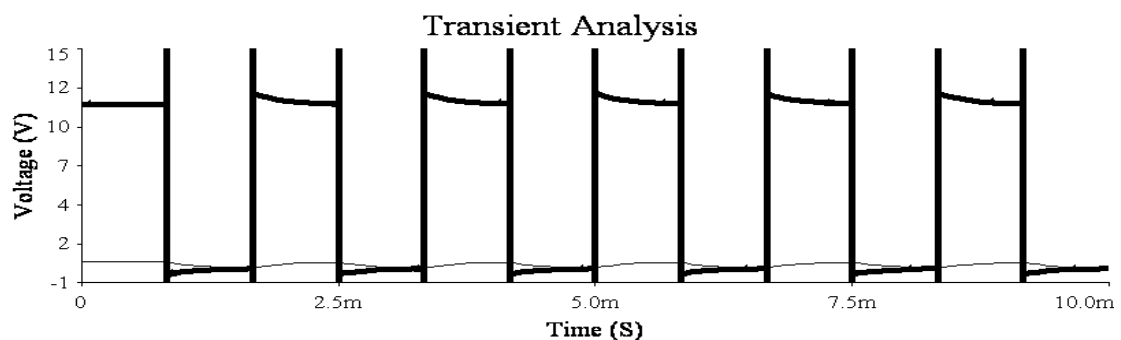


圖 2-13 電壓比較圖 1

粗線條為 MOTOR+端的電壓，細線條為 MOTOR-端的電壓。

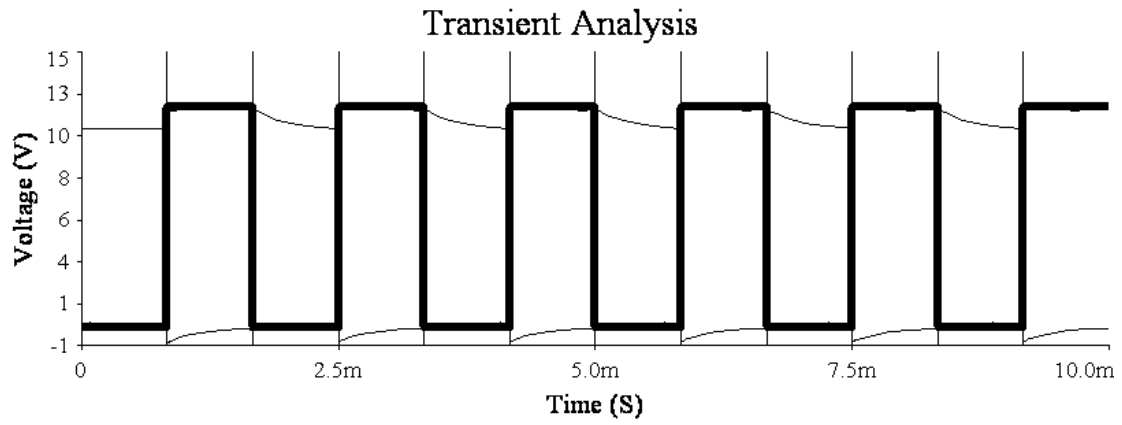


圖 2-14 電壓比較圖 2

粗線條為 PWM1 端的電壓，細線條為 MOTOR 兩端電壓差。

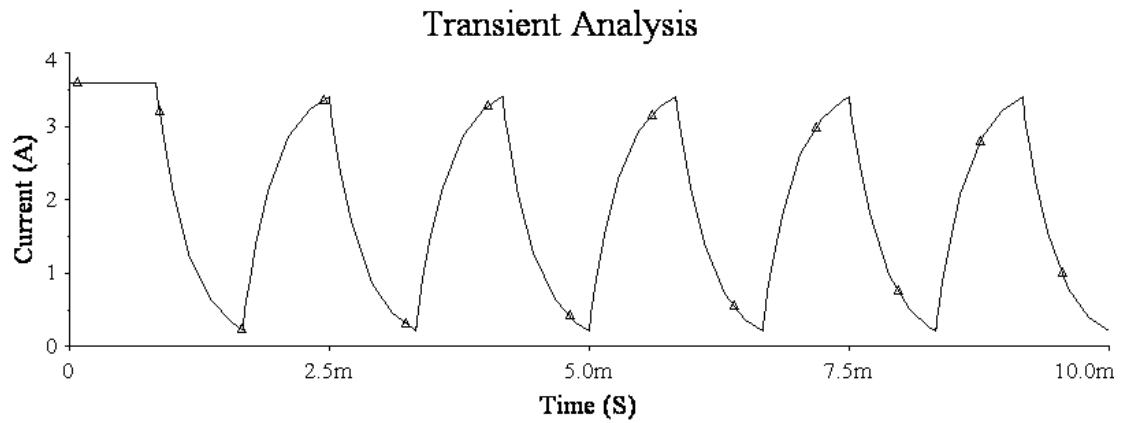


圖 2-15 流經 MOTOR 的電流波形圖

可看到流經馬達的電流可以高達 3 安培多，足夠推動無刷直流馬達。

第三章

控制器快速驗證平台 dSPACE MABX 的介紹

本章介紹控制器快速驗證平台 dSPACE MABX 的軟硬體介面，並在 3.4、3.5 節設計和實現查表法和 PID 控制法。

3.1 MicroAutobox 簡介



圖 3-1 dSPACE MicroAutoBox 硬體外觀

MicroAutobox(MABX)[24]是一個相當強大的開發介面，使用者可以在 Simulink 中拉好自己想要用的控制法則，配合 MABX 所提供的輸入輸出方塊，經過 Build Model 後，可以產生出能在 ControlDesk 下實時(real time)執行的.sdf 檔，能夠很容易看出設計得到的結果是否能符合要求，且容易修改，不用自行改程式碼。

本文使用 dSPACE 的 ControlDesk 軟體，即時控制電子節氣門，調整 PWM1(為控制 H-bridge 中的 Q1 和 Q3 的 PWM 訊號的工作週期)、PWM2(為控制 H-bridge 中的 Q2 和 Q4 的 PWM 訊號的工作週期)，觀察節氣門位置(以 TPS1(表 2-3)為參考)的輸出。再將得到的數據，在 Matlab 中分析，並設計出符合要求的控制器。在 MABX 裡，類比輸入的值會將 0 到 5 伏特轉為 0 到 1 的值；而工作週期等於 1 代表總是高電位；工作週期等於 0 代表總是低電位。

3.2 規格及操作介面說明

以下將介紹 MABX 的表格與外觀[24]：

表3-1 MicroAutobox規格

Parameter	Specification
-----------	---------------

MicroAutoBox		1401/1501
Processor		IBM PPC 750FX, 800 MHz
Memory		8 MB main memory ; 4 MB memory exclusively for communication between MicroAutoBox and PC/notebook ; 16 MB nonvolatile flash memory containing code section and flight recorder data Clock/calendar function for time-stamping of flight recorder data
Analog input	Resolution	16 12-bit channels
	Sampling	4 to 1 multiplexed ; Simultaneous sample & hold
	Input voltage range	0 ... 5 V
Analog output	Resolution	8 12-bit channels
	Output voltage range	0 ... 4.5 V
	Output current	5 mA max. sink/source current
Digital I/O	General	Digital I/O on 68336 slave processor, 20 MHz, with time processor unit (TPU) ; I/O software support for different applications
	Bit I/O	16 discrete inputs ; 10 discrete outputs, 5 mA output current ; 16 shared discrete inputs/outputs, bit-selectable ; 16 TPU channels ; Up to 16-bit resolution
	PWM	4 shared inputs for frequency or PWM ;

	generation/measurement	4 PWM outputs, PWM frequency 2.5 Hz ... 100 kHz , duty cycle 0 ... 100% ; Up to 16-bit resolution
--	------------------------	---

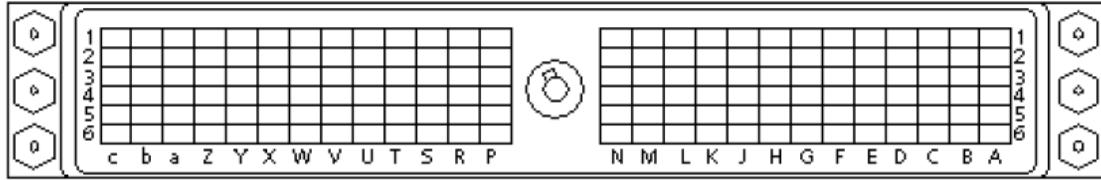


圖 3-2 MABX 的 ZIF connector 的外貌

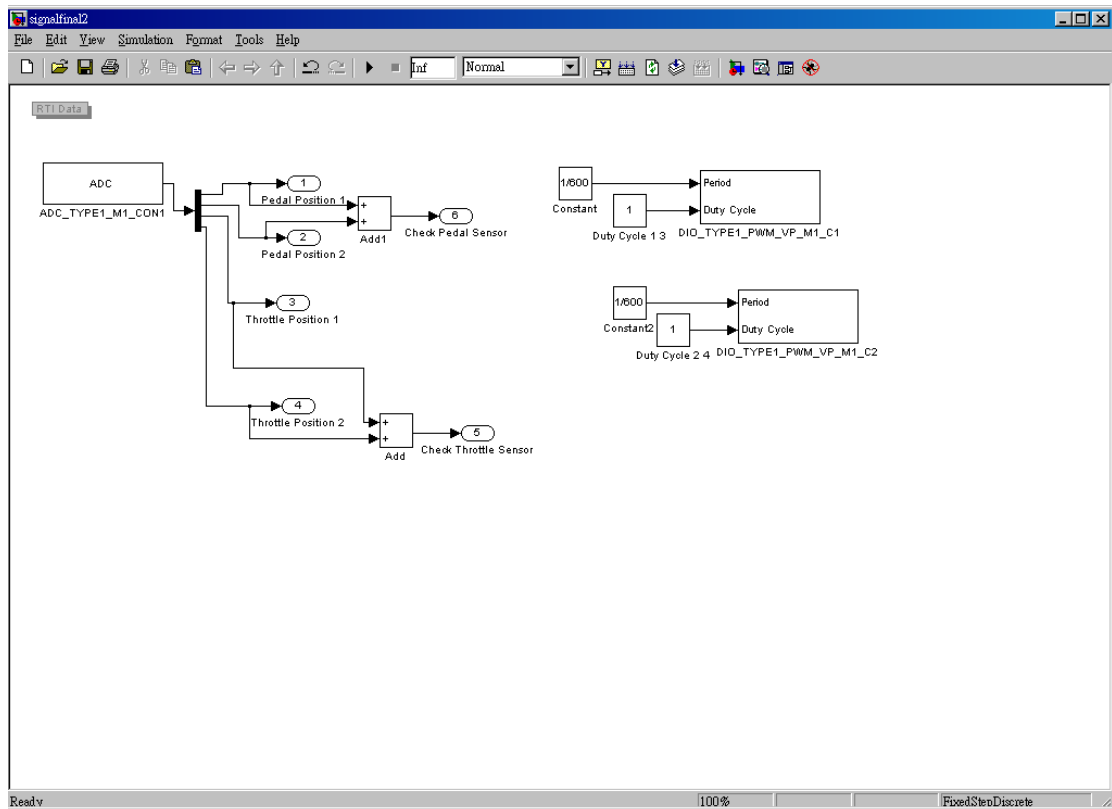


圖 3-3 實際在 Simulink 中設計的樣子

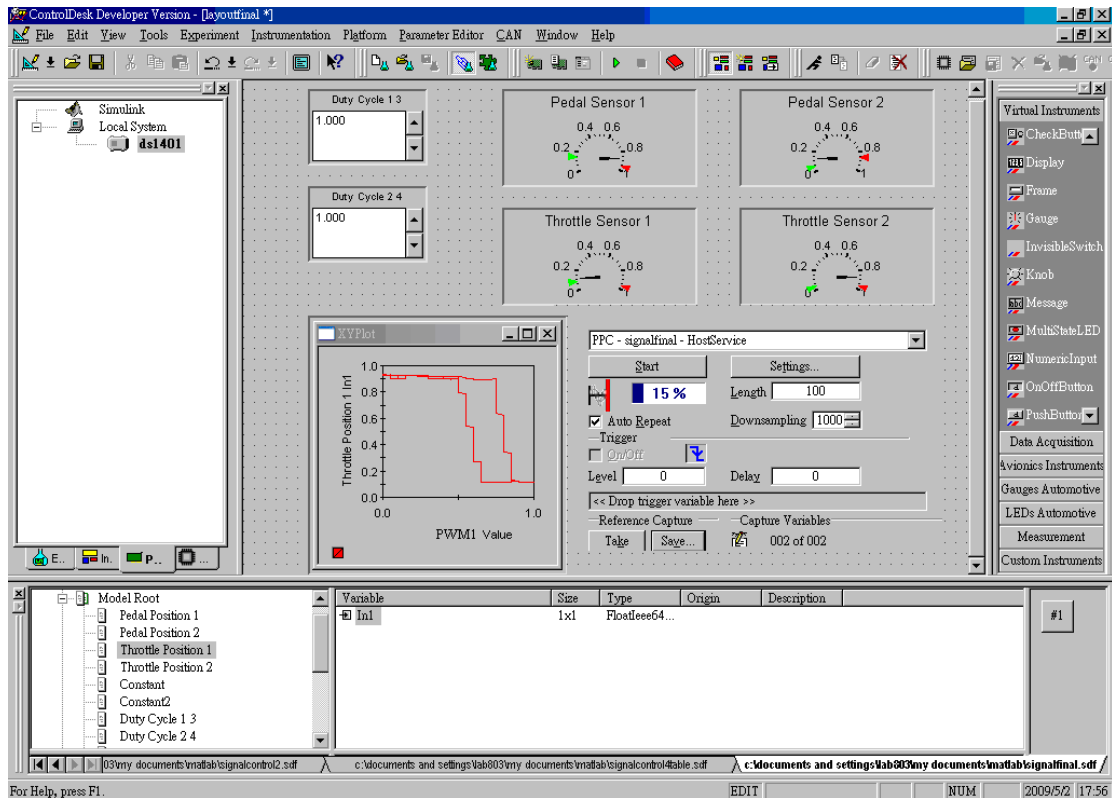


圖 3-4 實際 ControlDesk 的使用情況

圖 3-3 與圖 3-4 是設計用來觀察改變 PWM1 對 TPS1 的影響。ZIF connector 是 MABX 的輸入輸出介面。

首先在硬體方面，將電子節氣門的十個腳位的連接器中，四個位置感知器的輸出接到 MABX 的四個類比輸入(ADC Type1 Con1 Ch1/2/3/4)，H-bridge 電路的兩個 PWM 訊號輸入接到 MABX 的兩個數位輸出(PWM_VP Ch1/2 (CTM Ch5/6))；軟體方面，在 Simulink 中建造架構，在 ControlDesk 操作、觀察結果；如果要更改主架構，就要在 Simulink 裡重新設計；如果祇要更改一些變數觀察造成的變化，只要在 ControlDesk 改變就可以了；ControlDesk 甚至還能將數據存成.mat 檔，如圖 3-4 的情況，記錄在觀測的時間中，X 軸和 Y 軸的變數每段時間的值，供使用者在 Matlab 中分析使用。

MABX 的 PWM 訊號輸出就等於是 H-bridge 電路的輸入，圖 2-8 也就可以等同是為 MABX 的一個 PWM 訊號輸出和半個 H-bridge 電路的輸出的關係。

3.3 利用 MABX 鑑別電子節氣門的特性

這節主要是利用在 3.2 節中設計出來的模型，在 ControlDesk 中逐漸改變 PWM1，而 PWM2 固定為 1，觀察兩個節氣門位置感知器的變化，以及用數位夾式電流量測流經馬達的電流大小。其中由於 MABX 本身類比輸入的設定，在

ControlDesk中得到的值只有在0到1之間，而位置感知器的值是在0到5之間，所以相當於位置感知器實際電壓值除以5就是ControlDesk中得到的值。

表3-2到表3-4是在電子節氣門從關閉到打開的情況：

1st time

表3-2 觀察改變Duty Cycle造成的變化1

PWM1	TPS1(/5)(V)	TPS2(/5)(V)	Motor+電流(A)
0.69	0.15	0.86	1.8
0.61	0.21	0.82	2.17
0.58	0.28	0.74	2.27
0.56	0.46	0.57	2.41
0.54	0.48	0.56	2.51
0.5	0.53	0.53	2.72
0.48	0.86	0.16	2.74
0.46	0.89	0.13	2.84
0.45	0.91	0.12	2.82

2nd time

表3-3 觀察改變Duty Cycle造成的變化2

PWM1	TPS1(/5)(V)	TPS2(/5)(V)	Motor+電流(A)
0.6	0.27	0.74	2.2
0.58	0.44	0.59	2.4

3rd time

表3-4 觀察改變Duty Cycle造成的變化3

PWM1	TPS1(/5)(V)	TPS2(/5)(V)	Motor+電流(A)
0.5	0.88	0.15	2.72

表3-5到表3-8是在電子節氣門從打開到關閉的情況：

1st time

表3-5 觀察改變Duty Cycle造成的變化4

PWM1	TPS1(/5)(V)	TPS2(/5)(V)	Motor+電流(A)
0.64	0.9	0.12	1.86
0.71	0.87	0.13	1.53
0.73	0.85	0.15	1.41
0.74	0.84	0.17	1.43
0.76	0.8	0.22	1.39
0.77	0.75	0.27	1.31
0.78	0.7	0.3	1.27
0.79	0.65	0.36	1.19
0.8	0.57	0.44	1.12
0.81	0.54	0.48	1.08
0.82	0.49	0.52	1.04
0.83	0.46	0.55	1.02

0.84	0.43	0.58	0.96
0.85	0.36	0.65	0.9
0.86	0.26	0.73	0.86
0.87	0.12	0.88	0.74

2nd time

表3-6 觀察改變Duty Cycle造成的變化5

PWM1	TPS1(/5)(V)	TPS2(/5)(V)	Motor+電流(A)
0.79	0.55	0.47	1.14
0.82	0.47	0.55	1.02
0.84	0.39	0.62	0.88
0.845	0.35	0.64	0.8
0.85	0.34	0.67	0.82
0.855	0.26	0.73	0.78
0.86	0.12	0.86	0.8

3rd time

表3-7 觀察改變Duty Cycle造成的變化6

PWM1	TPS1(/5)(V)	TPS2(/5)(V)	Motor+電流(A)
0.85	0.22	0.78	0.8

4th time

表3-8 觀察改變Duty Cycle造成的變化7

PWM1	TPS1(/5)(V)	TPS2(/5)(V)	Motor+電流(A)
0.76	0.74	0.27	1.3

觀察改變PWM1對應到節氣門的開關程度，發現從關閉到打開，某個位置所需要的工作週期，和從打開到關閉，同一個位置所需要的工作週期，是不一樣的；甚至同樣是關閉到打開的過程，同樣的工作週期，但對應的位置還是有誤差。

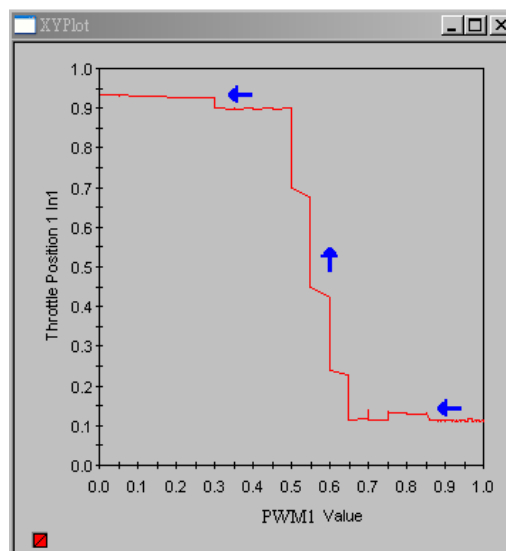


圖 3-5 電子節氣門位置從關閉到開啟(PWM1 從 1 逐漸變為 0；PWM2=1)

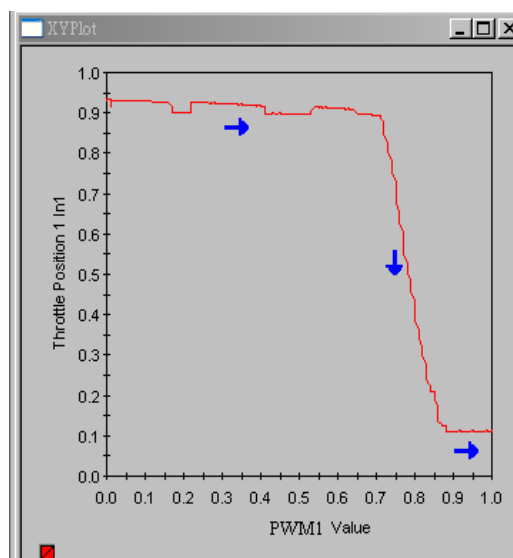


圖 3-6 電子節氣門位置從開啟到關閉(PWM1 從 0 逐漸變為 1；PWM2=1)

圖 3-5 和圖 3-6 等於像是表 3-2 到表 3-8 以圖形表示出來，可以發現同樣的 PWM1 但卻可能會有不同的 TPS1。

圖 3-7 為隨意的變化 PWM1，所得到的圖形。長的有點類似磁滯效應。

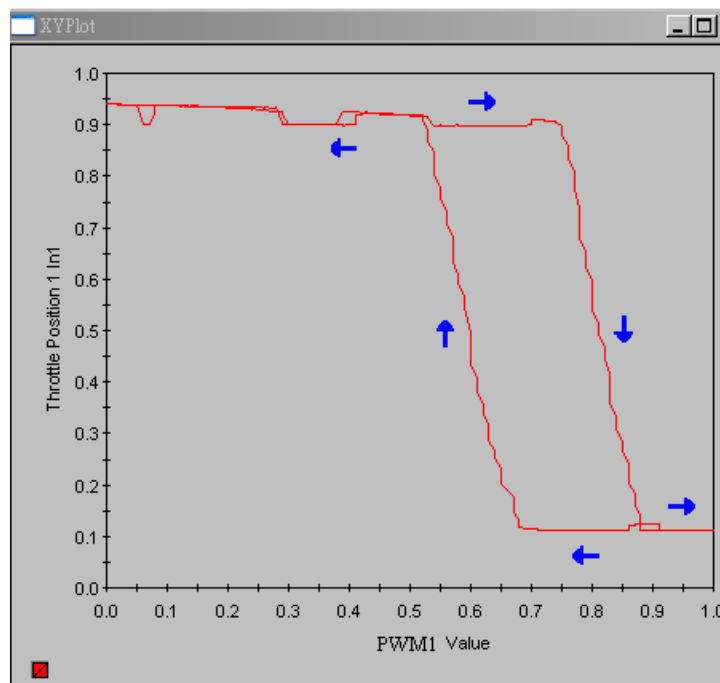


圖 3-7 類似遲滯效應的電子節氣門特性圖(調整 PWM1；PWM2=1)

3.4 查表控制法則的實現

由於電子節氣門擁有 PWM1 和 TPS1 的關係類似磁滯效應，因此想到一個方法，就是先判斷現在要的節氣門位置和現在真正的位置的關係，如果是電子節氣門的角度要變大，就查一個表格；如果角度要變小，就查另一個表格；而表格的來源是來自於先前慢慢調 PWM1，所觀察到的 TPS1 的變化紀錄而成的。而實際運用時，是反過來查，等於是從要求的 TPS1，反推此時 PWM1 應該要有的值。雖然 PWM1 和 TPS1 間的關係，不是一定的，會有些微的誤差，不見得同樣的 PWM1，每次都會有相同的 TPS1。而不同的節氣門需要建立不同的表，才會擁有最佳效果。

實際設計時，本文是採用讓兩個 MABX 的 PWM 訊號互補(PWM1+PWM2=1)的情況來設計，因此和 3.3 節的數據不同，要重新擷取數據來分析使用。

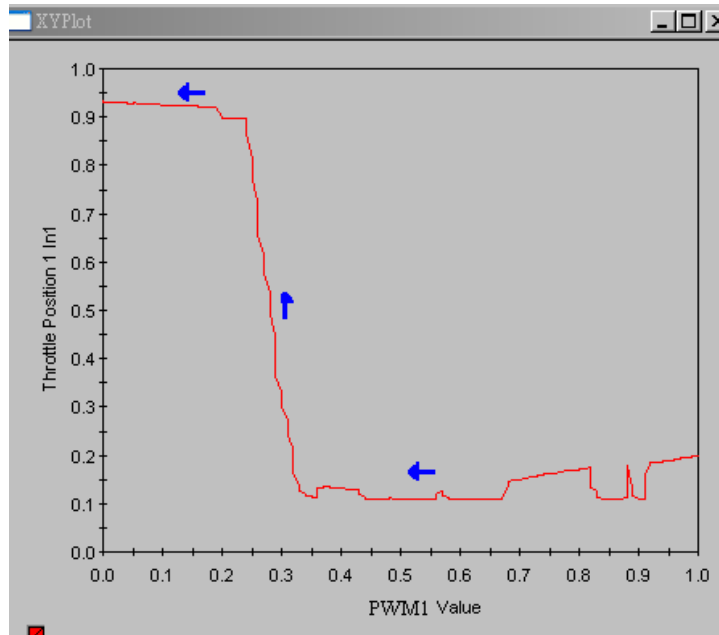


圖 3-8 電子節氣門位置從關閉到開啟(兩 PWM 訊號互補($PWM1+PWM2=1$))

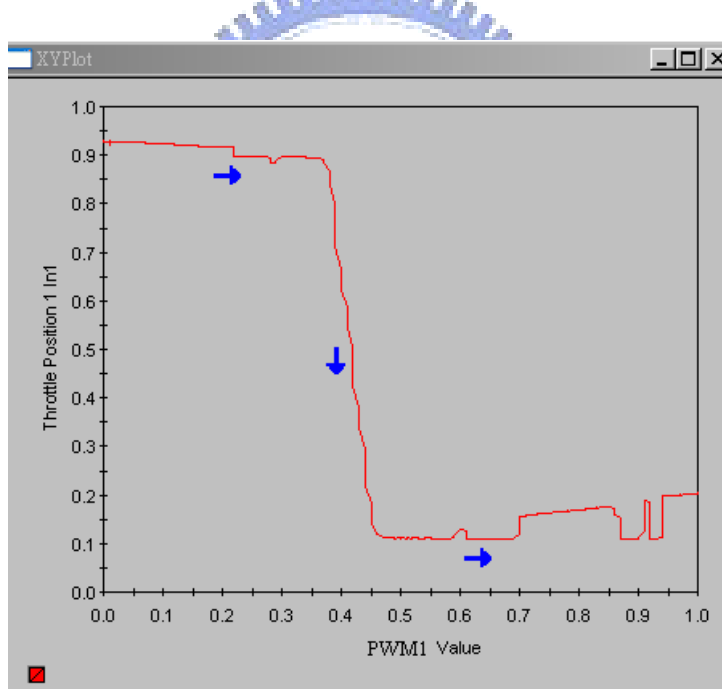


圖 3-9 電子節氣門位置從開啟到關閉(兩 PWM 訊號互補($PWM1+PWM2=1$))

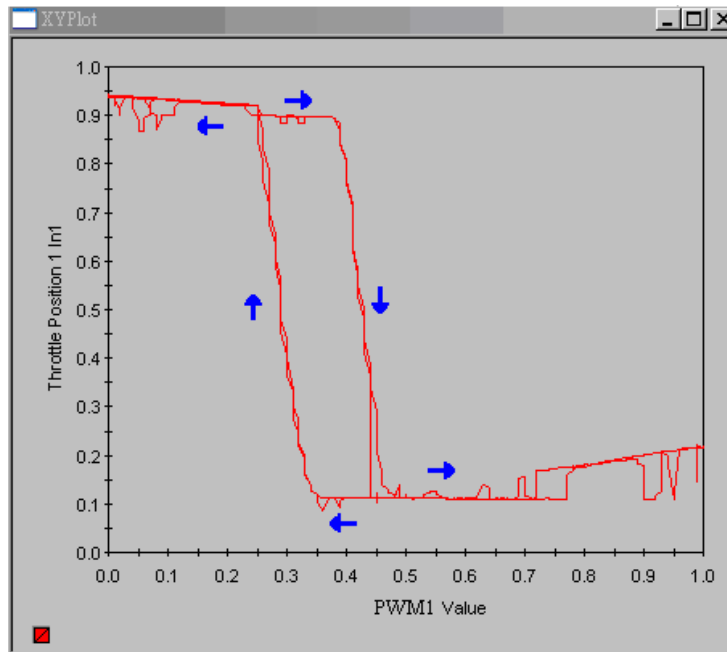
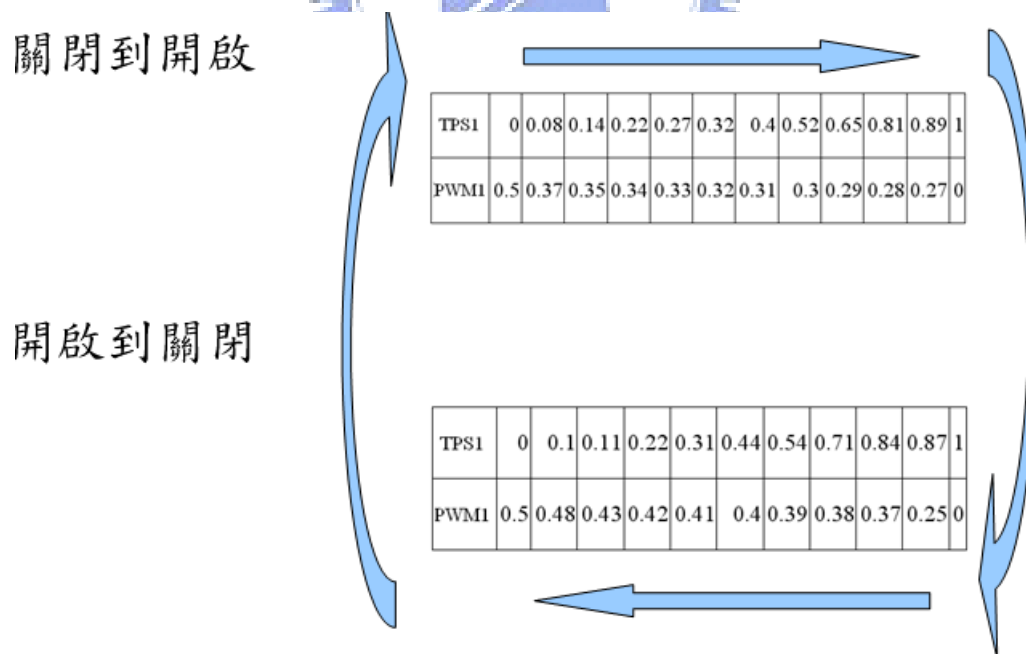


圖 3-10 類似遲滯效應的電子節氣門特性圖(兩 PWM 訊號互補)

圖 3-10 與圖 3-7 比較，可以看到整個圖形往左移，而且縮小，若是可以縮小至兩條線接近密合，就能以控制線性系統的方式，得到很好的結果。

表3-9 根據圖3-9、圖3-10所決定查表法要使用的表格



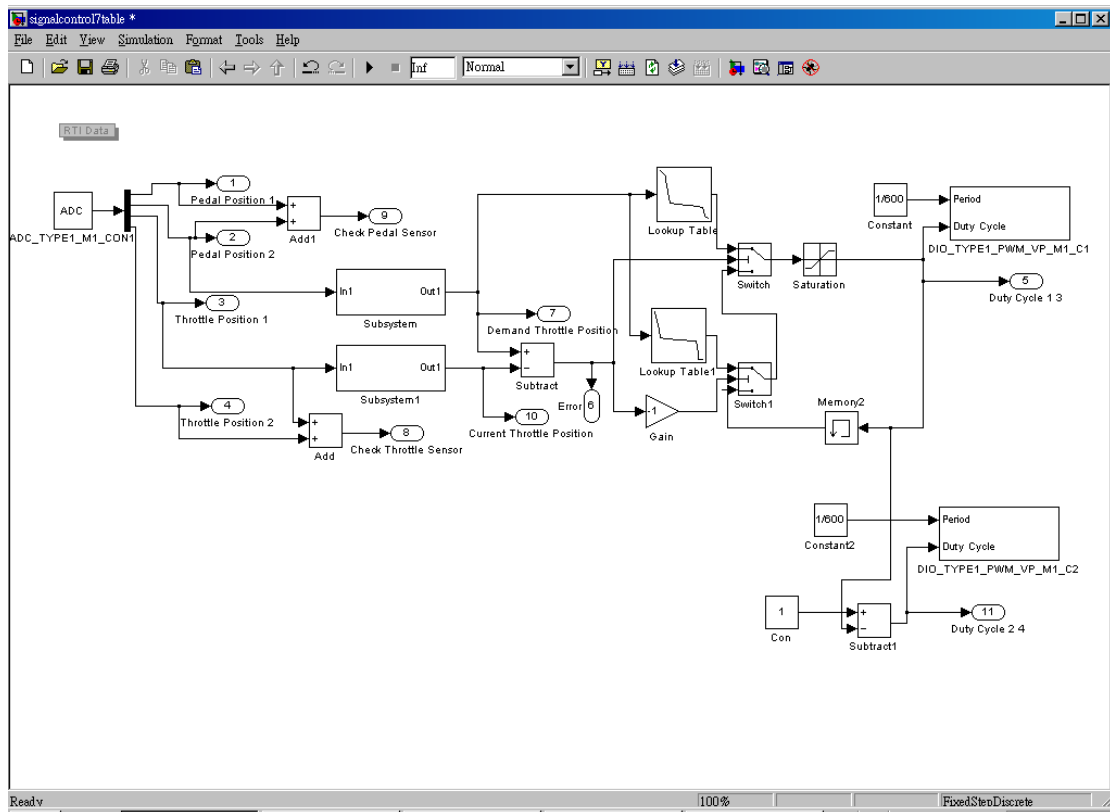


圖 3-11 用 Simulink 設計的查表法模型

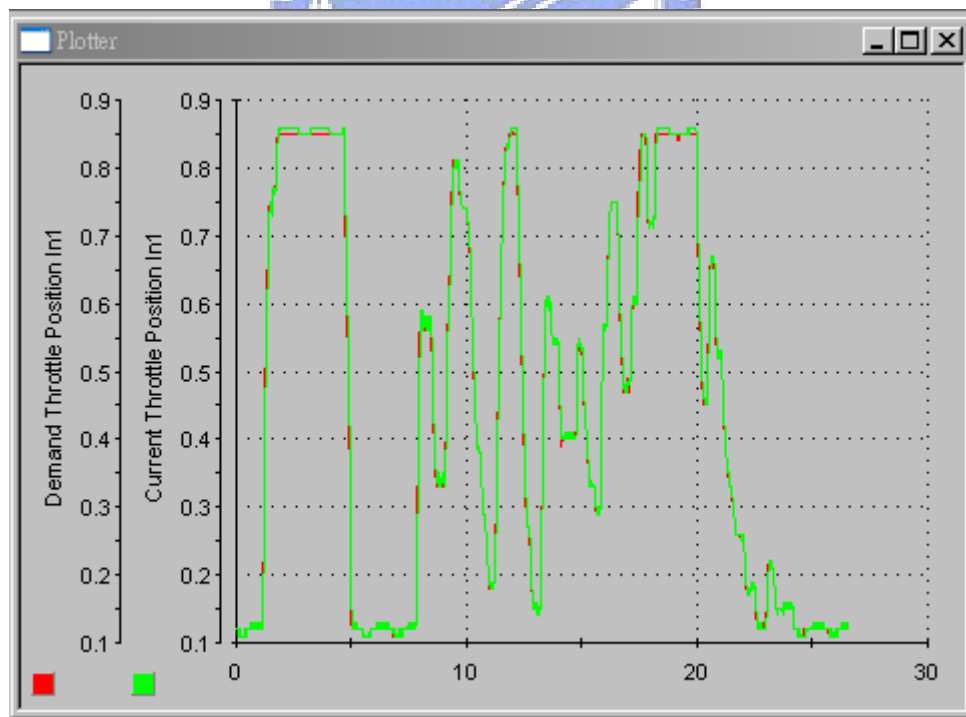


圖 3-12 在 MABX 使用查表法實驗結果

圖 3-12 中，紅色為想要的電子節氣門位置，綠色為實際的電子節氣門位置，可以看到幾乎隨意的變化想要的位置，查表法都能達到要求。

3.5 PID 控制法則的實現

本節嘗試使用業界最常用來控制電子節氣門的方法：PID控制法[25]。我們使用Matlab的System Identification Toolbox，找出接近的電子節氣門轉移函數，再使用Simulink中的PID Tuning with Actuator Constraints找出適合的PID參數，最後微調得到可接受的結果。

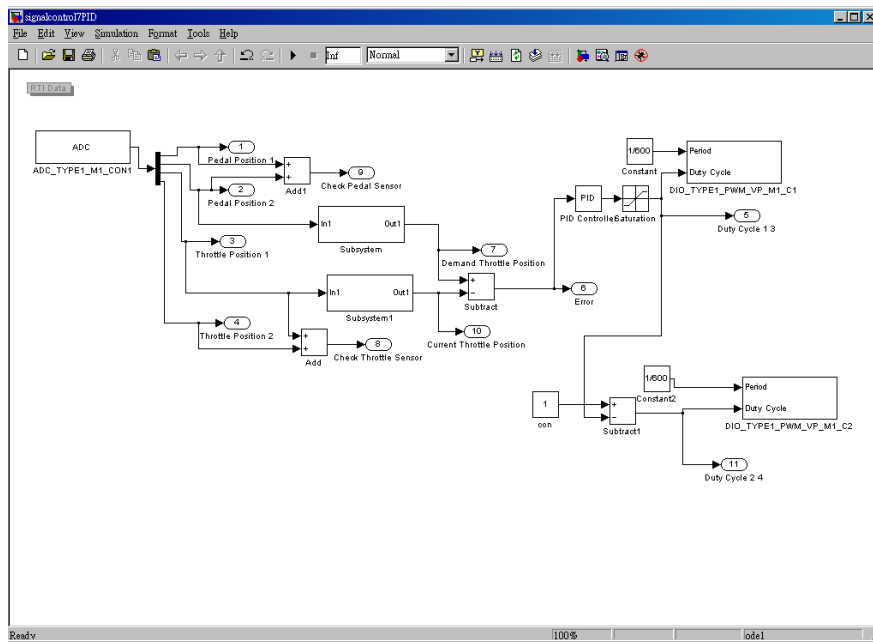


圖 3-13 用 Simulink 設計的 PID 控制法模型

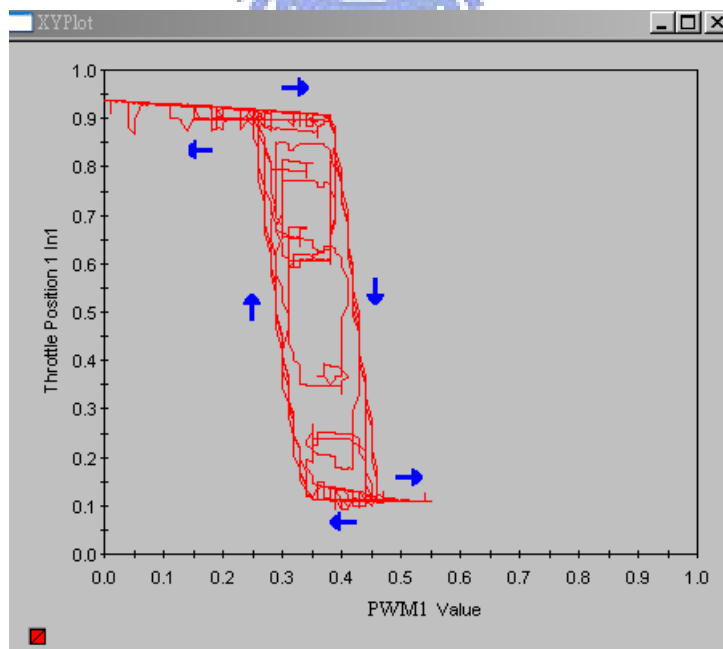


圖 3-14 用 ControlDesk 蒐集的數據圖形

由於電子節氣門是一個要考慮磨擦力等的非線性系統，所以使用 Matlab 的 System Identification Tool(指令 ident)，將圖 3-14 之數據帶入，輸入越多的數據，越有機會得到接近實際電子節氣門的轉移函數。

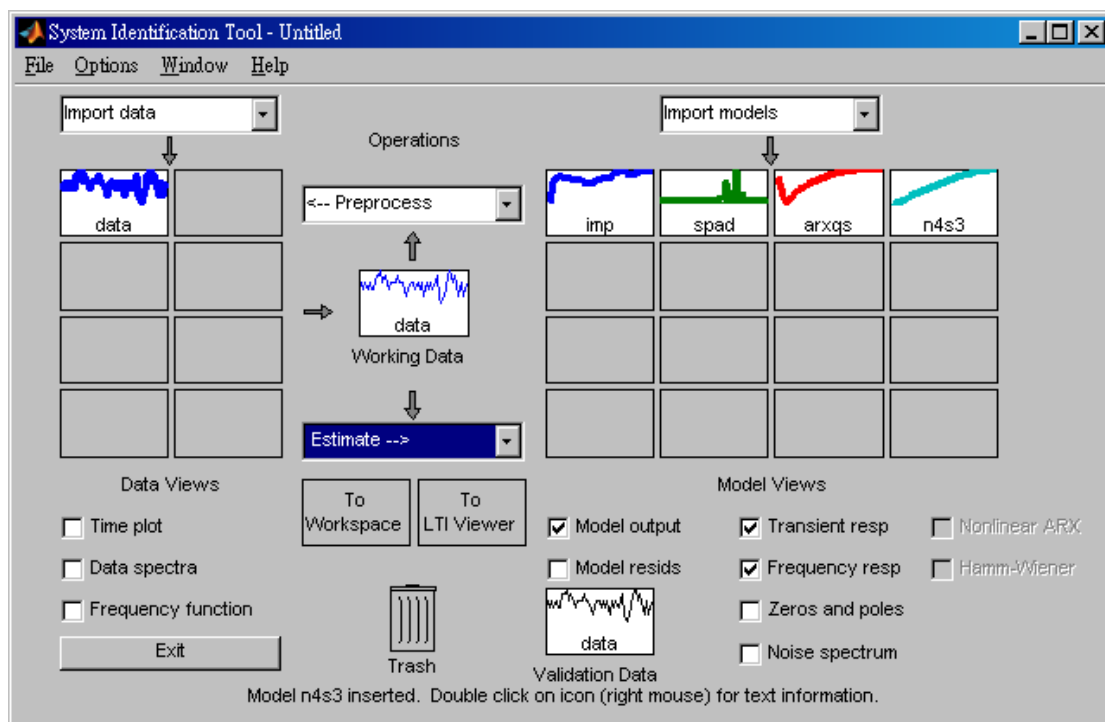


圖 3-15 實際 System Identification Tool 的使用情況

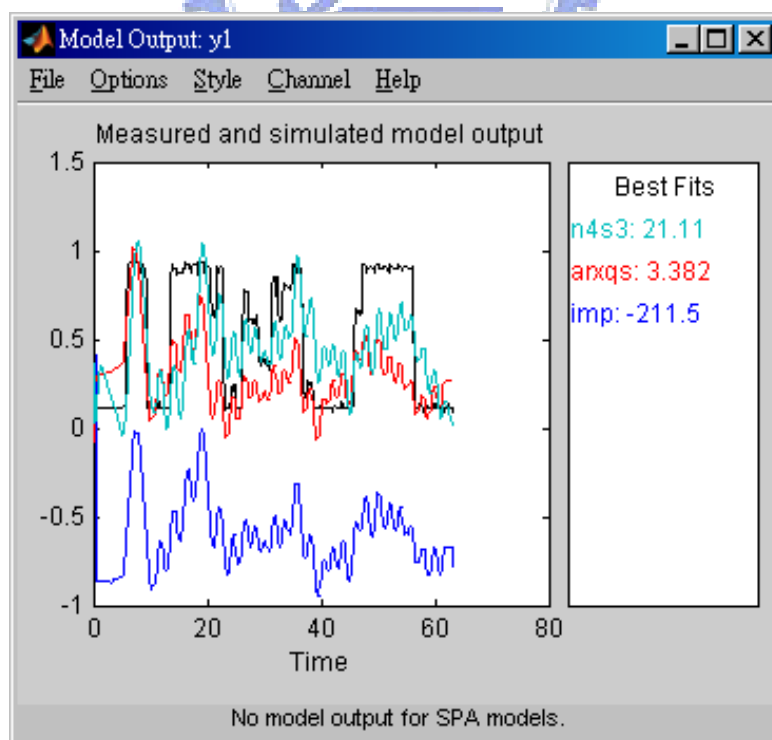


圖 3-16 實際 System Identification Tool 分析的過程

轉移函數(Transfer function):

$$G(s) = \frac{-6.112s^2 - 21.75s - 3.168}{s^3 + 4.239s^2 + 9.412s - 2.322} \quad (3.1)$$

再將得到的轉移函數，使用 Matlab 的 PID Tuning with Actuator Constraints(指令 pidtune_demo)，取得適合的 PID Controller 的值。

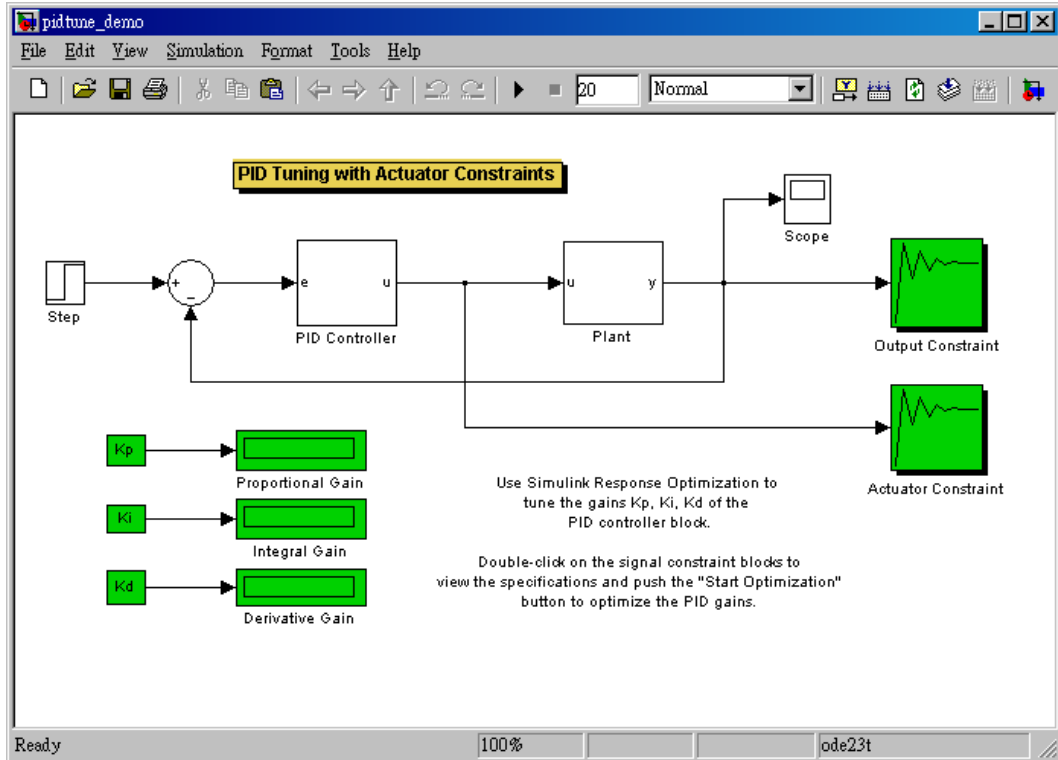


圖 3-17 實際 PID Tuning with Actuator Constraints 的使用情況

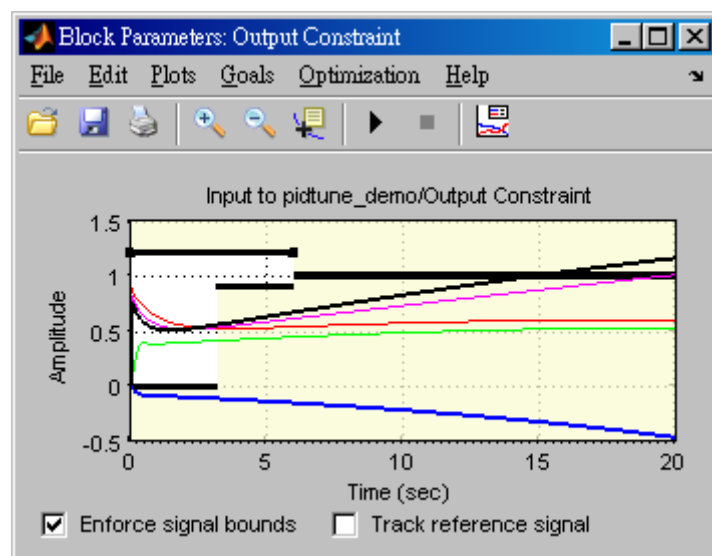


圖 3-18 實際 PID Tuning with Actuator Constraints 分析的過程

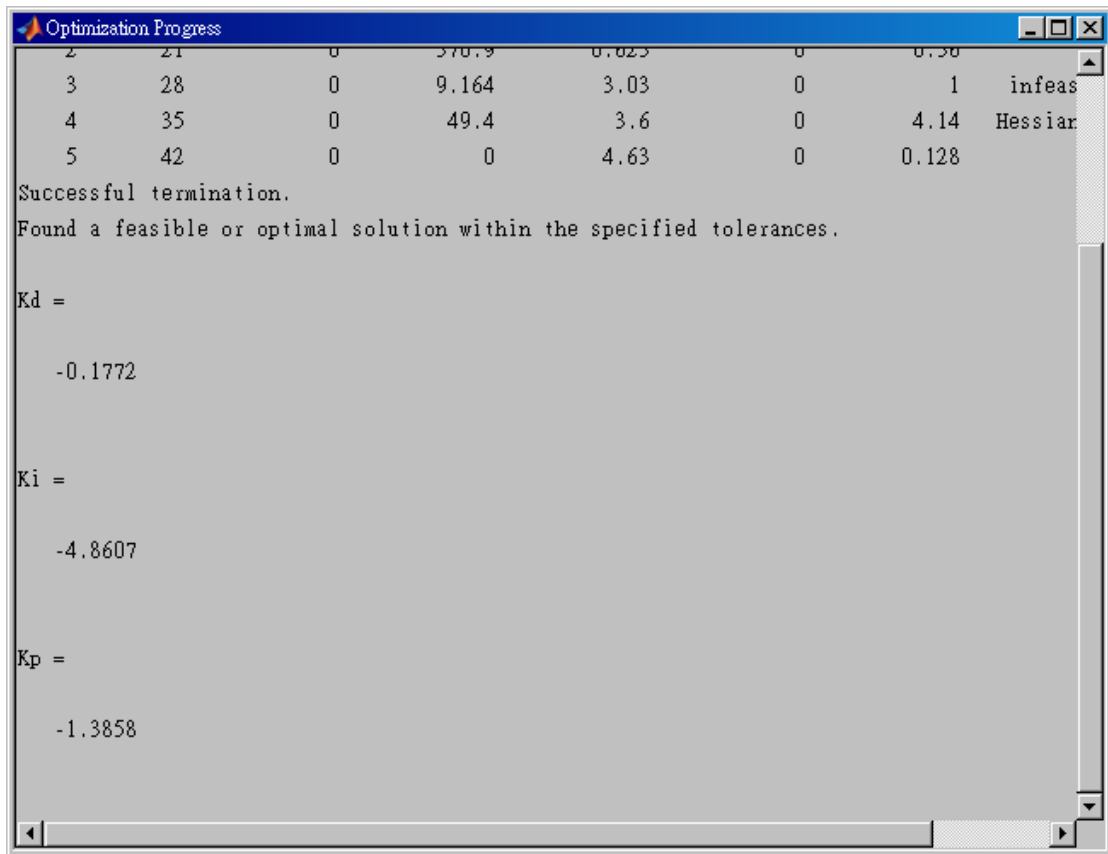


圖 3-19 程式跑完所能得到的最佳 PID 參數

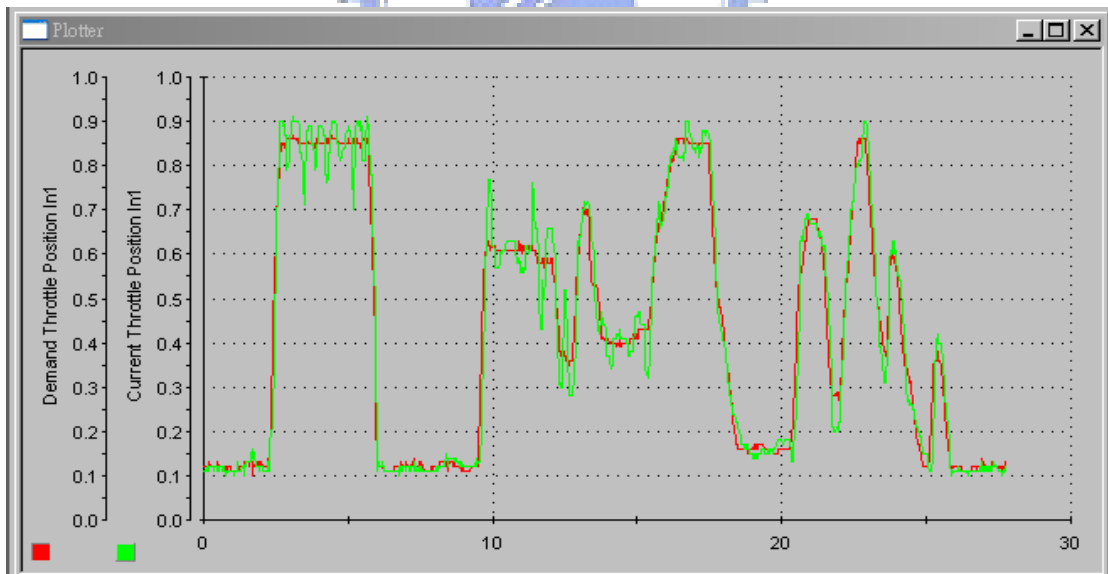


圖 3-20 在 MABX 使用 PID 控制法實驗結果

圖 3-20 中，紅色為想要的電子節氣門位置，綠色為實際的電子節氣門位置，可以看到隨意的變化想要的位置，不一定能符合要求。所以在沒有不斷嘗試直到找到最好的 PID 參數時，查表法和 PID 控制法比起來，查表法比較容易得到較好的結果。

第四章

控制法則的硬體實現平台

本文使用 Arduino 兩塊板子實現在第三章表現較好的查表法，並將容錯模式 (limp-home mode)功能也寫進去板子裡，以求能實際使用。

4.1 使用的兩塊板子規格介紹(Duemilanove、Pro Mini)

Duemilanove 擁有 USB，可以快速燒入程式，方便程式修改；Pro Mini 體積較小，適合實際應用時使用；兩塊板子基本輸入輸出腳位一樣，所以只要在 Duemilanove 確定設計好程式，就可以技巧的透過 Duemilanove 將程式燒進去 Pro Mini。以下將介紹兩塊板子的外觀與規格[26]：

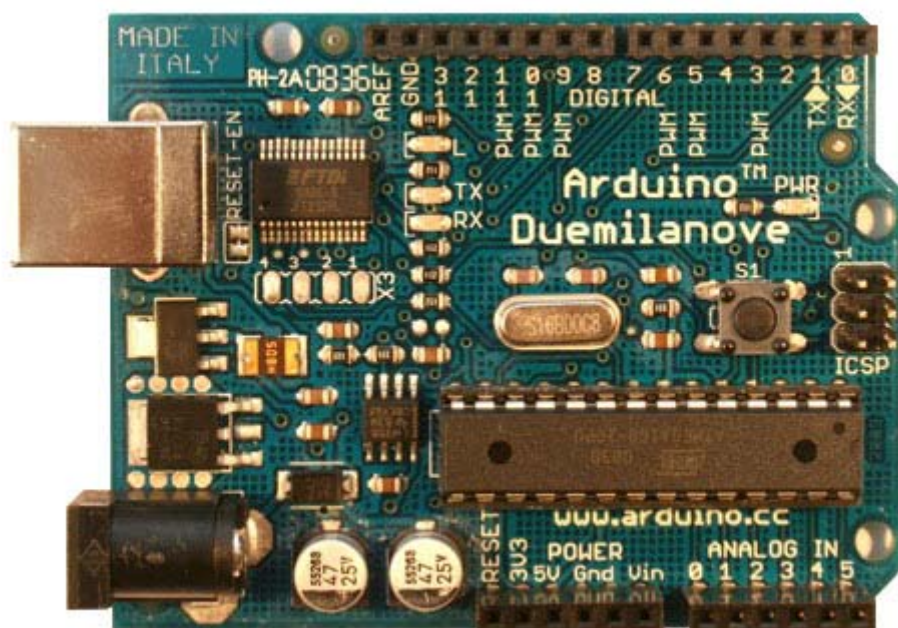


圖 4-1 Arduino Duemilanove 的硬體外觀

表4-1 Arduino Duemilanove的規格

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V

Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 2 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

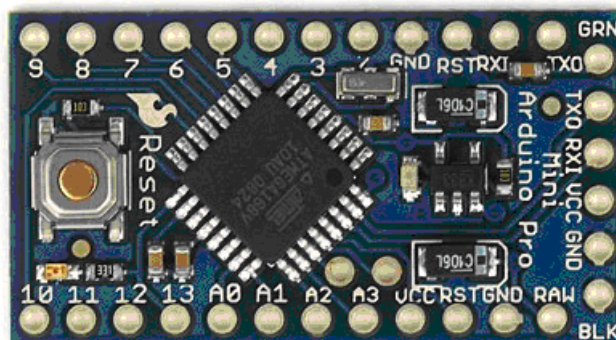


圖 4-2 Arduino Pro Mini 的硬體外觀

表4-2 Arduino Pro Mini的規格

Microcontroller	ATmega168
-----------------	-----------

Operating Voltage	5V
Input Voltage	5 - 12 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	16 KB (of which 2 KB used by bootloader)
SRAM	1 KB
EEPROM	512 bytes
Clock Speed	16 MHz

表4-3 Arduino analogRead()函式說明

analogRead()
Description
<p>Reads the value from the specified analog pin. The Arduino board contains a 6 channel (8 channels on the Mini and Nano), 10-bit analog to digital converter. This means that it will map input voltages between 0 and 5 volts into integer values between 0 and 1023. This yields a resolution between readings of: 5 volts / 1024 units or, .0049 volts (4.9 mV) per unit.</p> <p>It takes about 100 us (0.0001 s) to read an analog input, so the maximum reading rate is about 10,000 times a second.</p>

表4-4 Arduino analogWrite()函式說明

analogWrite()
Description
<p>Writes an analog value (PWM wave) to a pin. Can be used to light a LED at varying brightnesses or drive a motor at various speeds. After a call to analogWrite(), the pin will generate a steady square wave of the specified duty cycle until the next call to analogWrite() (or a call to digitalRead() or digitalWrite() on the same pin). The frequency of the PWM signal is approximately 490 Hz.</p> <p>the duty cycle: between 0 (always off) and 255 (always on).</p>

根據表 4-3 與表 4-4[26]，我們可以知道類比輸入的值會將 0 到 5 伏特轉為 0 到 1023 的值，在使用查表法時要注意這點；工作週期 0 代表總是低電位、255 代表總是高電位；還有板子預設的 PWM 訊號輸出頻率為接近 490 赫茲，和原本表 2-3 裡提到需要的 600 赫茲不一樣，且無法將 Arduino 的 PWM 訊號輸出頻率改為 600 赫茲，幸好在實驗過後發現，Saab 的電子節氣門在 490 赫茲一樣可以正常工作，所以頻率這邊就沒問題了。

4.2 光耦合電路簡介

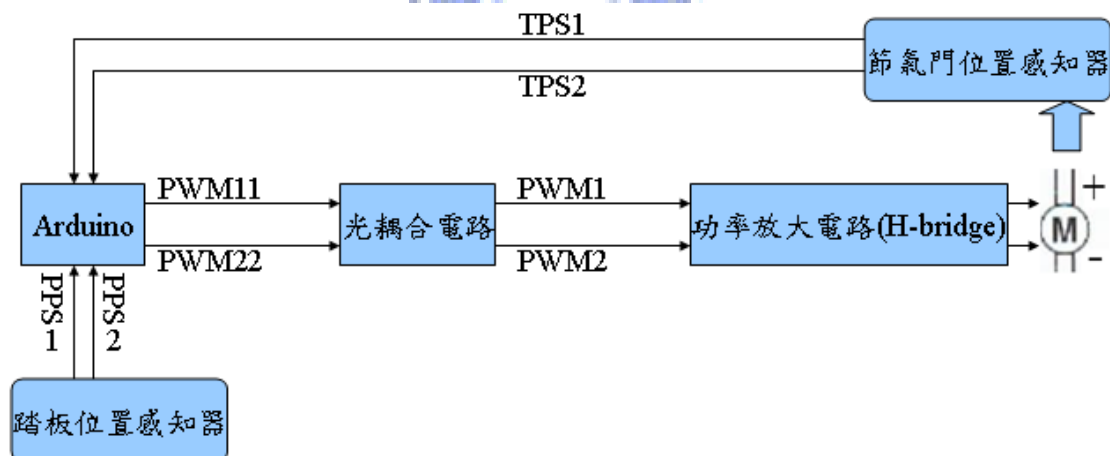


圖 4-3 Arduino、光耦合電路、H-bridge 電路和馬達的方塊圖

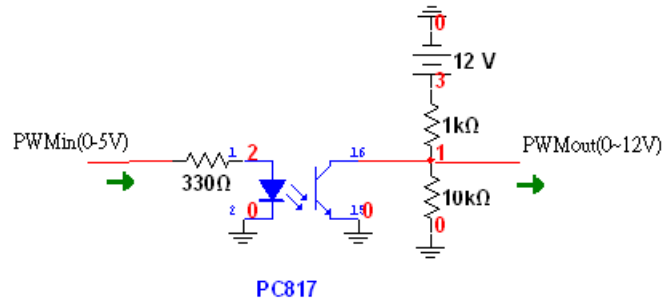


圖 4-4 光耦合電路圖(實際要用兩個這樣的電路)

主要是因為 Arduino 板子的輸出只有 0 到 5 伏特，不像 MABX 是可以 0 到 12 伏特，所以才需要透過光耦合電路將電壓放大，也可以避免板子受到不純的電壓源(12 伏特)影響；此電路接出來的效果為讓 PWMIn 端的 0 到 5 伏特，變為 PWMOut 端的 12 到 0 伏特。其實就是 PWMIn 端有訊號時 LED 發亮，另一端的光電晶體導通，使得電流往光電晶體跑，PWMOut 端就會接近 0 伏特；當 PWMIn 端沒訊號時 LED 不亮，另一端的光電晶體不導通，使得電流往 10kΩ 跑，PWMOut 端就會接近 12 伏特。

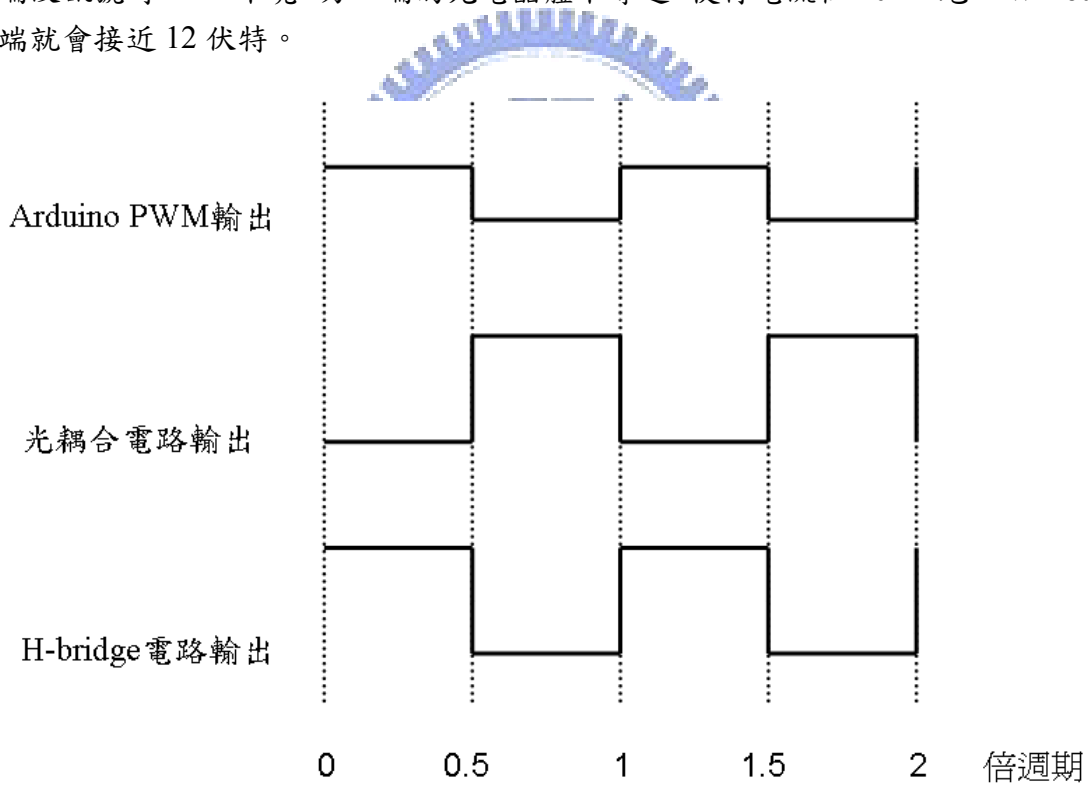


圖 4-5 三個輸出之間的關係圖(以 50% duty cycle 為例)

4.3 查表法

4.3.1 Arduino 要用的表格與 MABX 用的表格的轉換關係

根據圖 4-4 和表 4-3，我們將原本第三章查表法所使用的表格做了一些轉換，

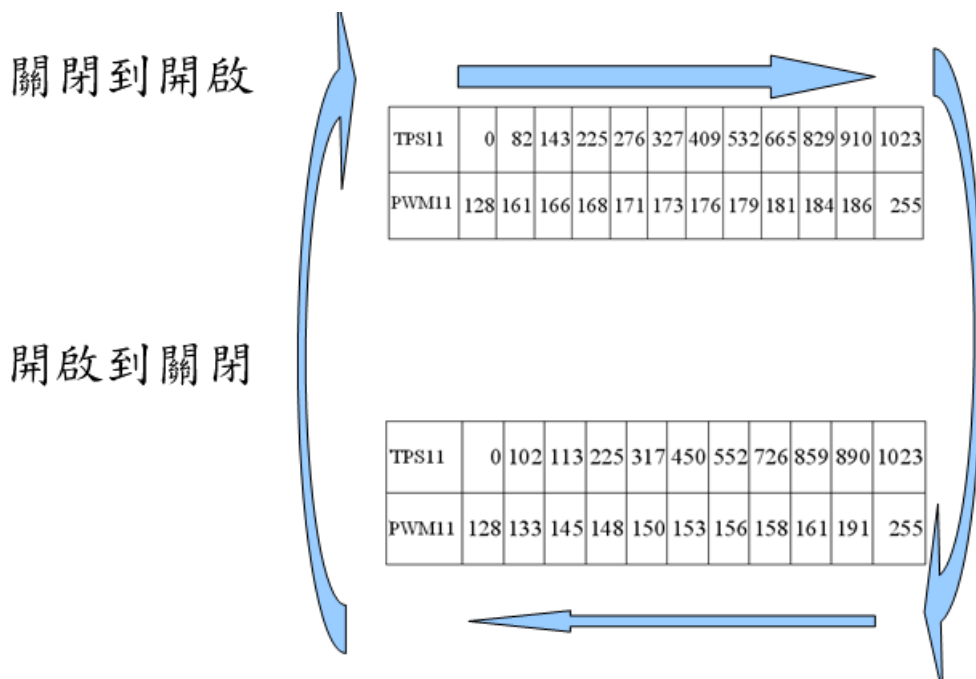
以便能在 Arduino 上實現查表法。

$$TPS11 = \text{round}(TPS1 * 1023) \quad (4.1)$$

$$PWM11 = \text{round}(255 * (1 - PWM1)) \quad (4.2)$$

其中“round”表四捨五入；(4.1)式中，*1023 是為了讓原本在 MABX 只有 0~1 的表格轉換為 0~1023 的表格；(4.2)式中，(1-Duty)是因為 Arduino PWM 輸出與光耦合電路的輸出有反相的關係，*255 為了讓原本在 MABX 只有 0~1 的表格轉換為 0~255 的表格。而在這裡，PWM11 和 PWM22 也是互補的關係 (PWM11+PWM22=255)。

表4-5 根據表3-9轉換得到的表格



4.3.2 內插法的實現與結果

由於實際使用上，表 4-5 無法有所有電子節氣門位置 0~1023 的值，所以在程式裡，需要作一些設定。首先我們使用內插法，如果沒有剛好對應到的節氣門位置，就用內插法求出按照比例，應該要用的工作週期是多少，帶入程式裡跑。

考慮若每次改變要求的節氣門位置就直接跳到對應的工作週期，容易發生誤差。所以如果節氣門打開角度要變小的情況下，假設內插法得到對應的工作週期為 154，實際給 PWM 訊號就從後一個欄的值 156 開始給，得到結果不符合要求就將前一個輸入的工作週期減 1，在這裡就是給 155，直到符合要求或輸入的工作週期已經到了 154，才不在動作；節氣門打開角度要變大的情況就相反，是從前一欄的值開始給，得到結果不符合要求就將前一個輸入的工作週期加 1，到符合要求或輸入的工作週期已經到了對應的工作週期，才不在動作。

考慮由於 MABX 和 Arduino 用的表格的轉換方式是自己設計，不見得準確，加入若相差角度太大就修改表格的功能。所以如果節氣門打開角度要變小的情況下，假設要求的節氣門位置為 456，實際結果還是比要求大太多，就將前一欄的節氣門位置加 1，在這裡就是 450 變 451，這是因為內插法得到的工作週期結果導致比表格裡的角度還要大，所以要把表格裡角度改大以符合實際結果；節氣門打開角度要變大的情況就相反，是將後一欄的節氣門位置減 1。

在以下示波器圖形，藍色代表所要求的電子節氣門開度，紅色為實際得到的電子節氣門開度。

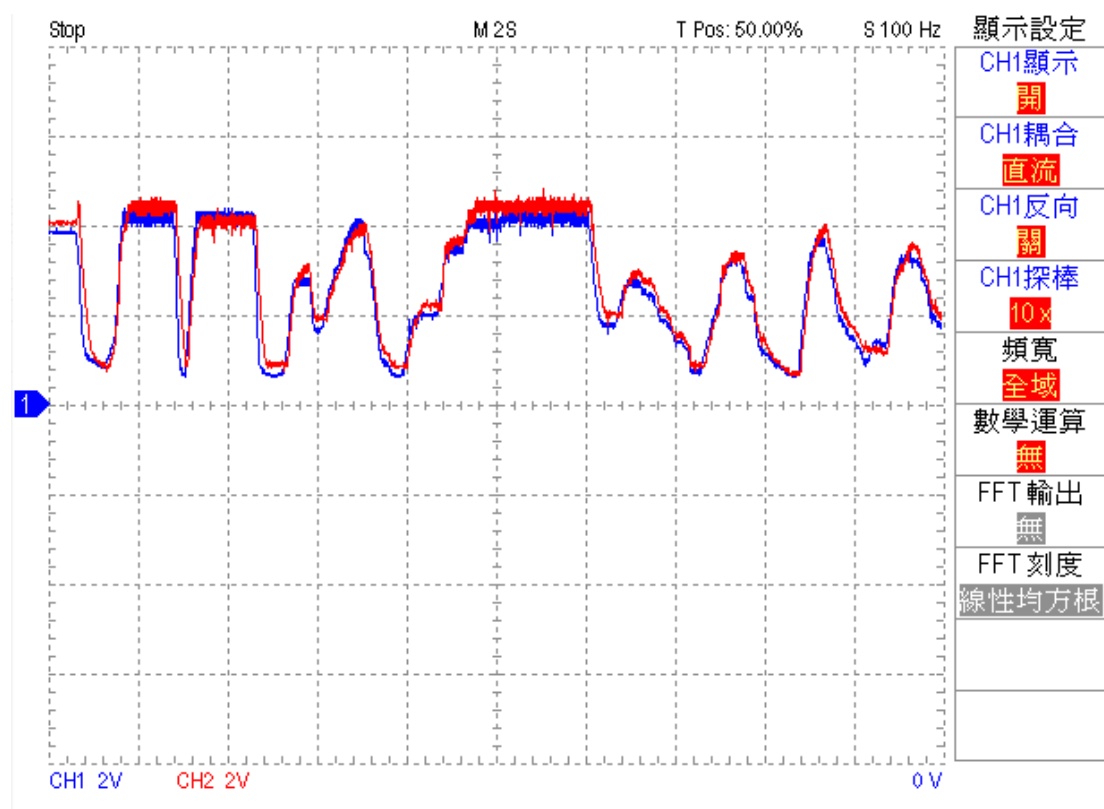


圖 4-6 在 Arduino 使用內插法實驗結果 1

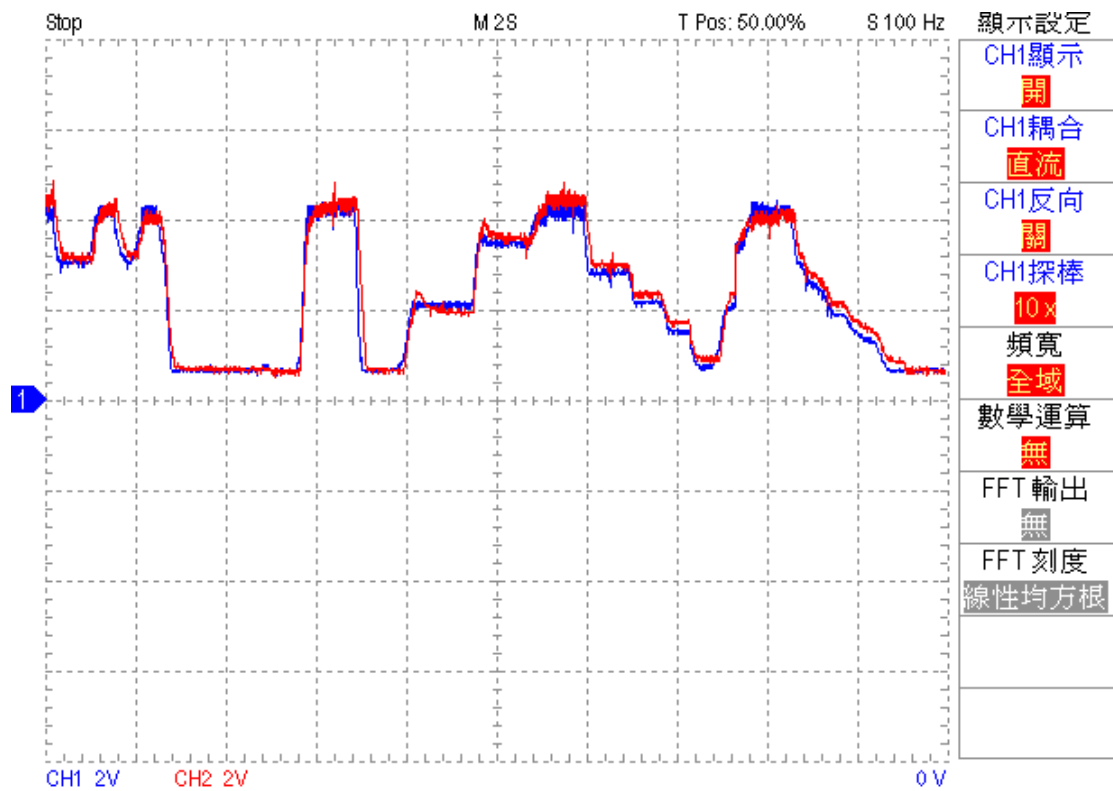


圖 4-7 在 Arduino 使用內插法實驗結果 2(執行一段時間後)

可以看到內插法的結果蠻不錯，且在有修改表格過一段時間後，實驗結果有變的更好一點。

4.3.3 加快程式執行速度的考量

考慮內插法的計算時間，決定將表 4-5 內插擴大為表 4-6；查表時，如果沒找到符合的節氣門位置，就找最鄰近的資料來使用；這樣的方法和內插法比起來，理論上應該會比較快。

表4-6 根據表4-5擴大得到的表格

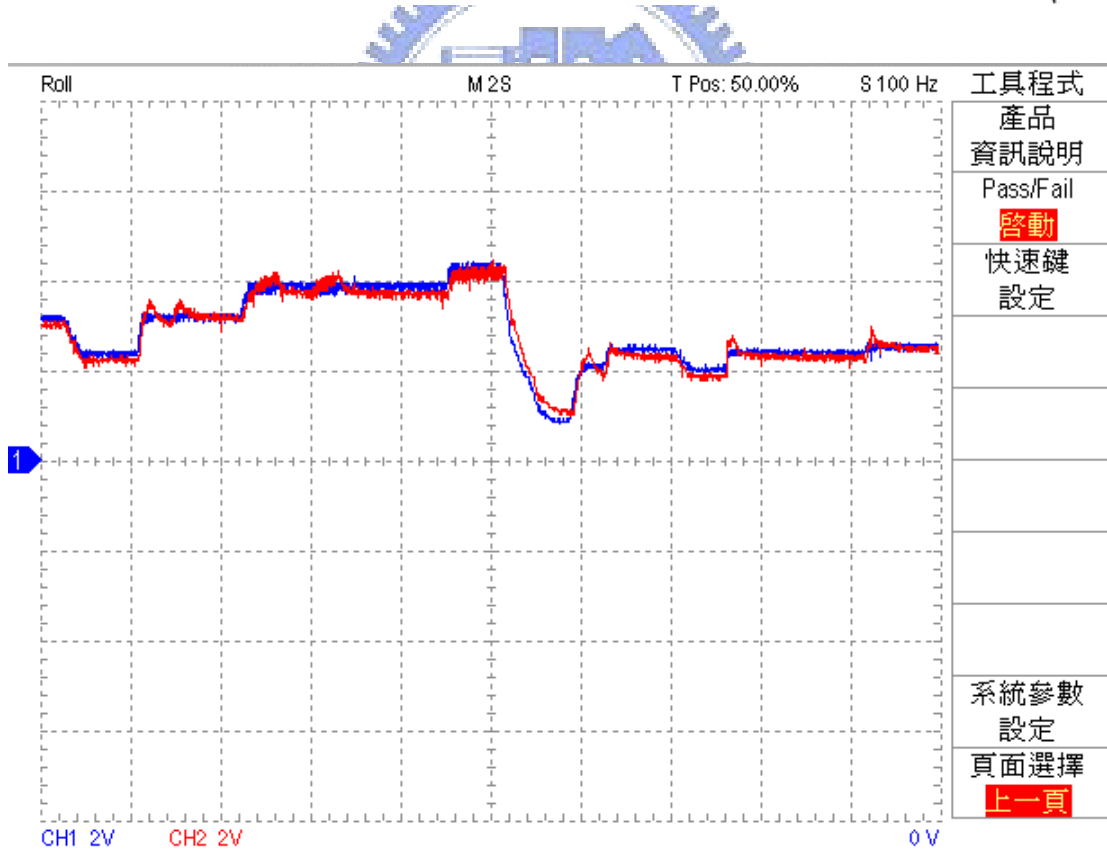
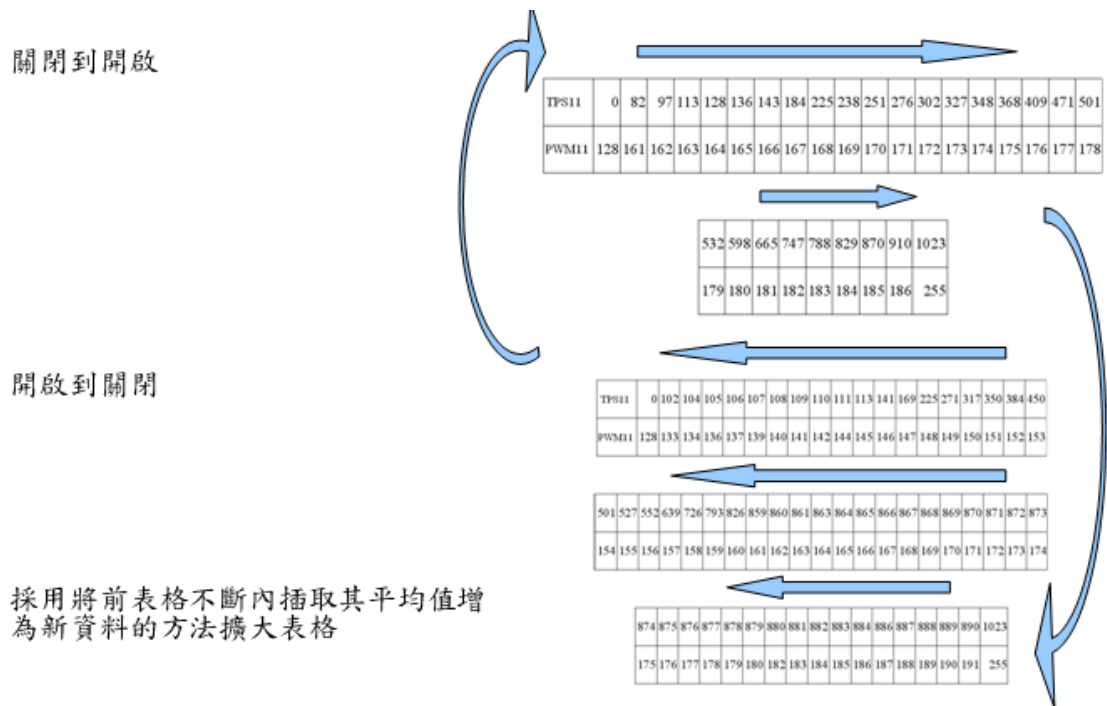


圖 4-8 在 Arduino 純使用查表法實驗結果 1

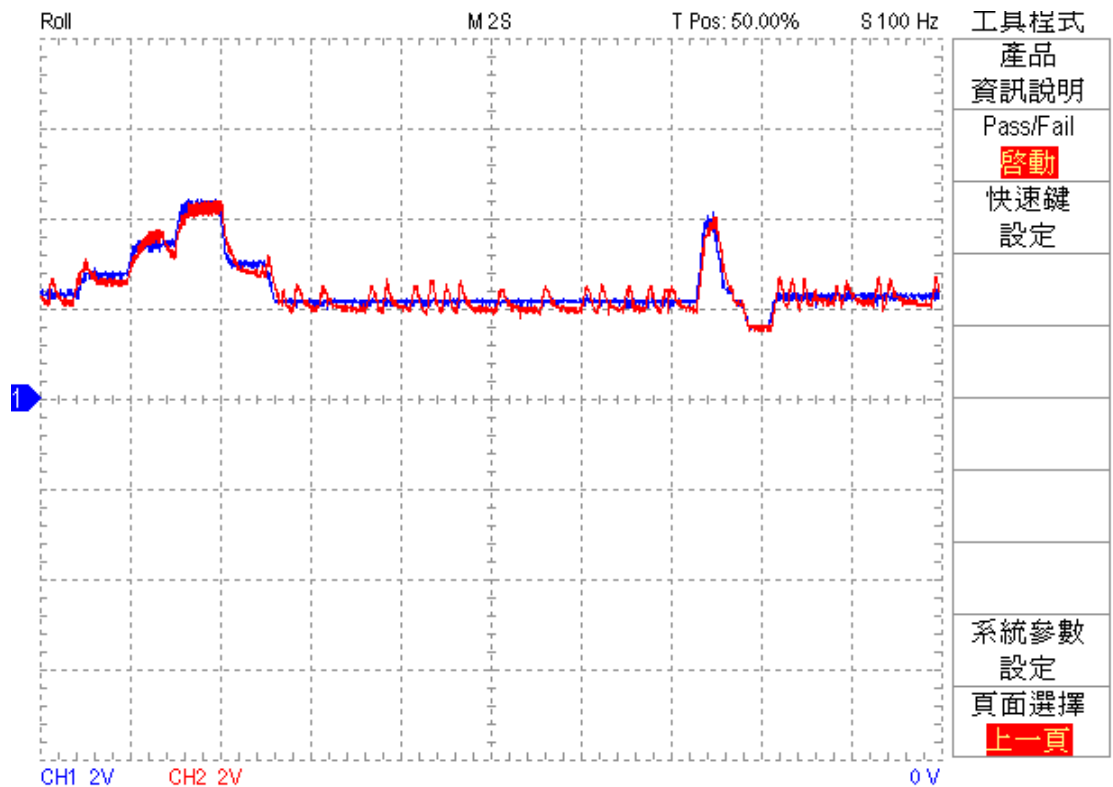


圖 4-9 在 Arduino 純使用查表法實驗結果 2(執行一段時間後)

純使用查表法的效果也是不錯，不過在過了一段時間之後，在踏板踩到某些特定的位置就會不停的晃動，可能是因為表格和實際物體沒有完全配合到，加上位置感知器的不穩定，即使有修改表格功能，但可能也因為表格的資料彼此太接近，而沒有很好的效果。所以看起來還是內插法的表現較好。

4.4 錯誤模式的偵測及進入容錯模式(limp-home mode)的電路設計

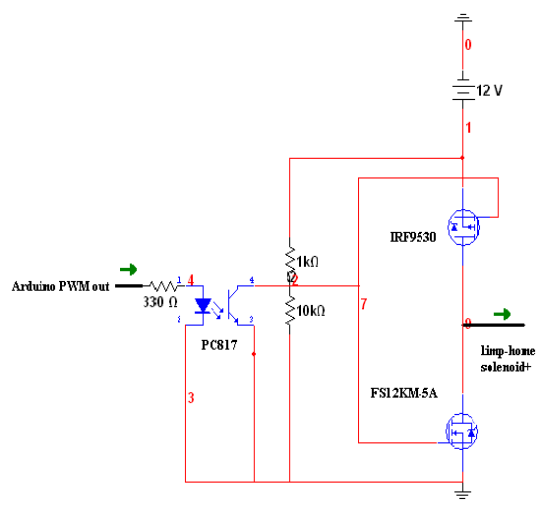


圖 4-10 容錯模式電路圖

由於 limp-home 螺線管需要大電流才能激發，因此透過光耦合電路和半個 H-bridge 電路的組合，以達到需求。

目前已加入的偵錯考量，考慮位置感知器不正確的情況，正常來說，參考表 2-3：

$$TPS1 + TPS2 \approx 1023 \quad (4.3)$$

$$PPS1 + PPS2 \approx 1023 \quad (4.4)$$

如果相差太多就是有錯誤發生。不過位置感知器本身就算節氣門或踏板實際固定位置了，它的數值還是不穩定，會不停的上下小變化，因此在偵錯時，我們是將以下情況都視為錯誤：

$$TPS1 + TPS2 > 1200 \quad (4.5)$$

$$PPS1 + PPS2 > 1200 \quad (4.6)$$

$$TPS1 + TPS2 < 800 \quad (4.7)$$

$$PPS1 + PPS2 < 800 \quad (4.8)$$

4.5 最佳結果的程式的流程圖

以下為擁有最佳結果的內插法的流程圖：



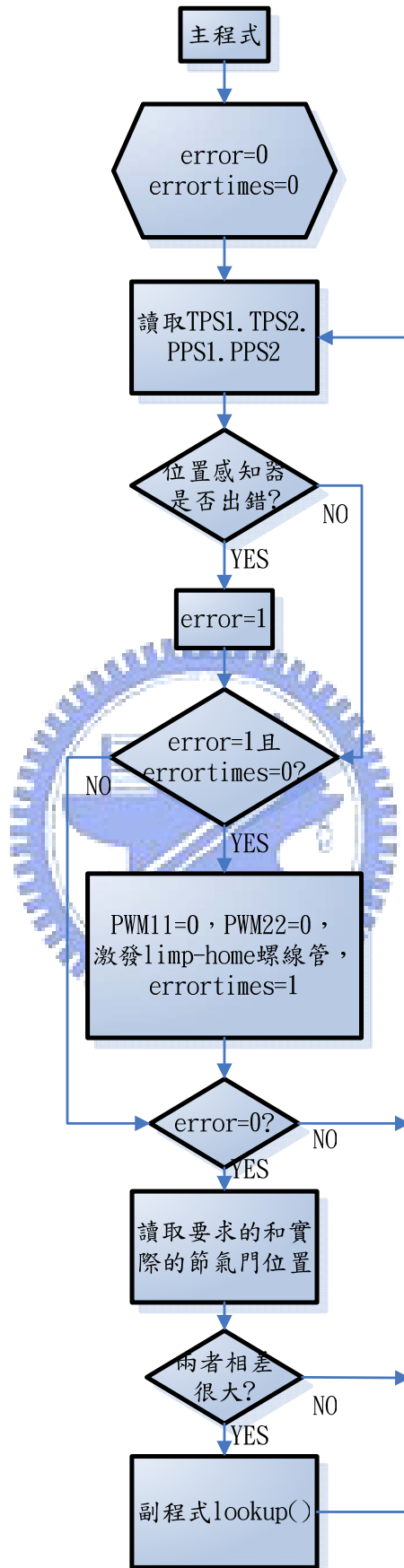


圖 4-11 主程式流程圖

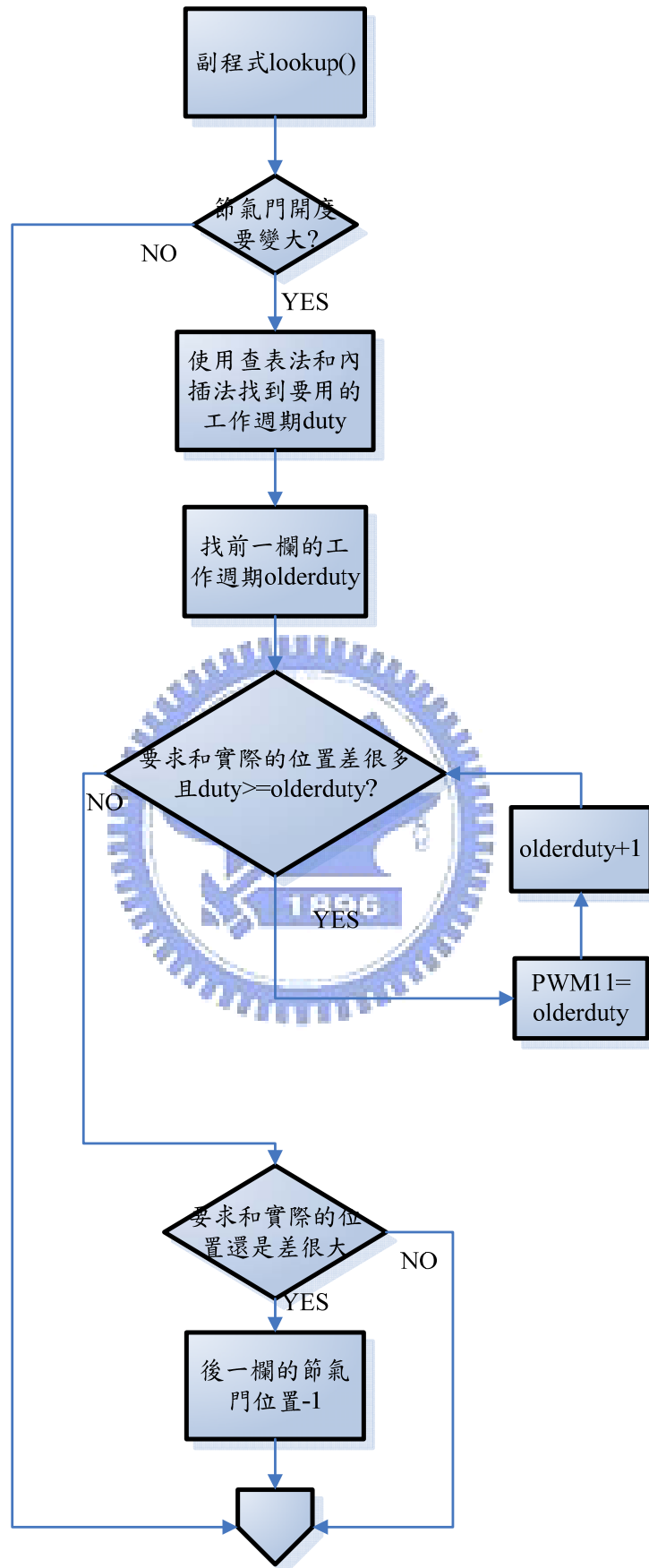


圖 4-12 副程式流程圖 1

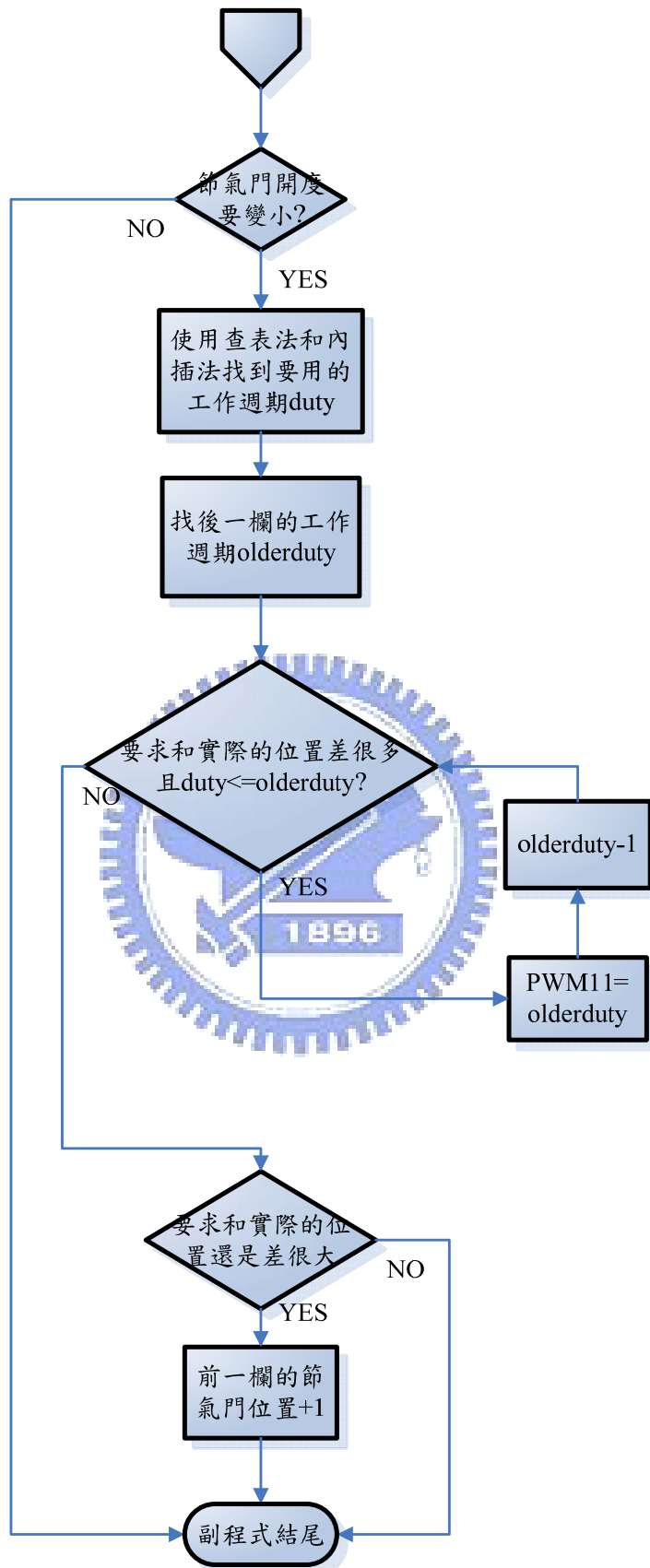


圖 4-13 副程式流程圖 2

第五章

結論

本文對電子節氣門作了一番研究，並做好了硬體連接、程式基本流程架構，期能幫助後續研究。

電子節氣門相較於傳統節氣門有其優點與缺點，而為了控制的一致性，車廠逐漸採用了電子節氣門，而設計一個能又快又準的控制器，自然是終極目標。

查表法雖然沒有什麼理論基礎，但在實際執行上有其優點，雖然不同的電子節氣門體，可能就需要調整表格；但透過微控制器的性能，就能輕易的實現；在實車運用上，應可作為簡單又不錯的選擇。

未來研究可著重在控制法則之實現，諸如 fuzzy、NN 等，取代現有的查表法，以期達到真正之控制；再將微控制器移植至車上，並考慮汽車轉速等資料，決定最佳應要的節氣門開度，取代本報告中直接使用踏板信號的方法，觀察實車反應及效率能否達到要求；還可將研究延伸至車輛定速的控制等。



參考文獻

- [1] J. Deur, D. Pavkovic, N. Peric, M. Jansz, and D. Hrovat, "An electronic throttle control strategy including compensation of friction and limp-home effects," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. 40, pp. 821-834, 2004.
- [2] K. Daekyun, P. Huei, S. Bai, and J. M. Maguire, "Control of Integrated Powertrain With Electronic Throttle and Automatic Transmission," *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, vol. 15, pp. 474-482, 2007.
- [3] M. Vasak, M. Baotic, I. Petrovic, and N. Peric, "Hybrid Theory-Based Time-Optimal Control of an Electronic Throttle," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 54, pp. 1483-1494, 2007.
- [4] Y. Xiaofang, W. Yaonan, and W. Lianghong, "SVM-Based Approximate Model Control for Electronic Throttle Valve," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 2747-2756, 2008.
- [5] P. Yaodong, U. Ozguner, and O. H. Dagci, "Variable-Structure Control of Electronic Throttle Valve," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 55, pp. 3899-3907, 2008.
- [6] A. Kitahara, A. Sato, M. Hoshino, I. Kurihara, and S. Shin, "LQG based electronic throttle control with a two degree of freedom structure," in *Decision and Control, 1996., Proceedings of the 35th IEEE*, 1996, pp. 1785-1788 vol.2.
- [7] M. Yokoyama, K. Shimizu, and N. Okamoto, "Application of sliding-mode servo controllers to electronic throttle control," in *Decision and Control, 1998. Proceedings of the 37th IEEE Conference on*, 1998, pp. 1541-1545 vol.2.
- [8] C. C. de Witt, I. Kolmanovsky, and J. Sun, "Adaptive pulse control of electronic throttle," in *American Control Conference, 2001. Proceedings of the 2001*, 2001, pp. 2872-2877 vol.4.
- [9] U. Ozguner, H. Sulgi, and P. Yaodong, "Discrete-time sliding mode control of electronic throttle valve," in *Decision and Control, 2001. Proceedings of the 40th IEEE Conference on*, 2001, pp. 1819-1824 vol.2.
- [10] O. H. Dagci, P. Yaodong, and U. Ozguner, "Sliding mode control of electronic throttle valve," in *American Control Conference, 2002. Proceedings of the 2002*, 2002, pp. 1996-2001 vol.3.
- [11] S. Magner and M. Jankovic, "Delta air-charge anticipation for mass air flow and electronic throttle control based systems," in *American Control Conference, 2002. Proceedings of the 2002*, 2002, pp. 1407-1412 vol.2.
- [12] M. Baotic, M. Vasak, M. Morari, and N. Peric, "Hybrid system theory based optimal control of an electronic throttle," in *American Control Conference, 2003. Proceedings of the 2003*, 2003, pp. 5209-5214 vol.6.

- [13] D. Pavkovic, J. Deur, M. Jansz, and N. Peric, "Self-tuning control of an electronic throttle," in *Control Applications, 2003. CCA 2003. Proceedings of 2003 IEEE Conference on*, 2003, pp. 149-154 vol.1.
- [14] M. Vasak, M. Baotic, I. Petrovic, and N. Peric, "Electronic throttle state estimation and hybrid theory based optimal control," in *Industrial Electronics, 2004 IEEE International Symposium on*, 2004, pp. 323-328 vol. 1.
- [15] A. Y. Karnik, J. H. Buckland, and J. S. Freudenberg, "Electronic throttle and wastegate control for turbocharged gasoline engines," in *American Control Conference, 2005. Proceedings of the 2005*, 2005, pp. 4434-4439 vol. 7.
- [16] Z. Peizhi, Y. Chengliang, and Z. Jianwu, "Sliding Mode Control with Sensor Fault Tolerant for Electronic Throttle," in *Automation Science and Engineering, 2006. CASE '06. IEEE International Conference on*, 2006, pp. 568-573.
- [17] R. N. K. Loh, T. Pornthanomwong, J. S. Pyko, A. Lee, and M. N. Karsiti, "Modeling, parameters identification, and control of an electronic throttle control (ETC) system," in *Intelligent and Advanced Systems, 2007. ICIAS 2007. International Conference on*, 2007, pp. 1029-1035.
- [18] M. Corno, M. Tanelli, S. M. Savaresi, L. Fabbri, and L. Nardo, "Electronic throttle control for ride-by-wire in sport motorcycles," in *Control Applications, 2008. CCA 2008. IEEE International Conference on*, 2008, pp. 233-238.
- [19] M. Horn, A. Hofer, and M. Reichhartinger, "Control of an electronic throttle valve based on concepts of sliding-mode control," in *Control Applications, 2008. CCA 2008. IEEE International Conference on*, 2008, pp. 251-255.
- [20] M. Horn and M. Reichhartinger, "Second-order sliding mode control of electronic throttle valves," in *Variable Structure Systems, 2008. VSS '08. International Workshop on*, 2008, pp. 280-284.
- [21] W. Qian, L. Wang, L. Xie, and Y. Zeng, "Practical solution for automotive electronic throttle control based on FPGA," in *Signal Processing, 2008. ICSP 2008. 9th International Conference on*, 2008, pp. 453-457.
- [22] Saab, "Saab 9-5 SERVICE MANUAL".
- [23] 張英德, "Intelligent Control of High-Speed Sensorless DC Brushless Motor", 國立交通大學, 碩士論文, 指導教授: 王啟旭, 民國 95 年。
- [24] dSPACE 公司網頁, <http://www.dspaceinc.com/>。
- [25] 張一屏, 方毓敏, 游鈞敦, 蘇耿毅, 劉志鵬, "線傳電子節氣門控制器設計之研究", 第十二屆車輛工程學術研討會, 屏東, 民國 96 年 11 月 16 日。
- [26] Arduino 公司網頁, <http://www.arduino.cc/>。