

# The Application of Fuzzy Theory to Motor Controller Design

黃義富、胡永柟

E-mail: 9806189@mail.dyu.edu.tw

## ABSTRACT

A recent global trend in linear motion system design is to replace the indirect, ball screw-rotary motor combination with direct, linear motion motor system. The mechanically simpler design has the advantage of high precision positioning, improved responsiveness, and direct power transmission. Similarly, Taiwan has seen a rise in the research and development linear motor system. Potentially, this new design would allow advances in power transmission system technology and increased precisions of industrial machineries.

The main tasks of this study are : (1) to identify the transfer function of the linear motor systems ; (2) to design a linear motor controller with the help of software tools such as MATLAB and SIMULINK ; (3) to apply controller functions through a D / A interface card in a PC system ; and , (4) to characterize several controllers and compare their advantages / disadvantages. Results from these analyses may help researchers to identify linear motor controller that are robust , stable and better utilize linear system high speed , high precision advantages.

Keywords : System identification、Cotroller、linear motor、contrlo law、design、system、taiwan

## Table of Contents

封面內頁	
簽名頁	
授權書	iii
中文摘要	iv
英文摘要	v
誌謝	vi
目錄	vii
圖目錄	ix
表目錄	xii

### 第一章 緒論

1.1研究動機與目的	1
1.2系統架構與研究步驟	2
1.3論文內容大綱	5

### 第二章 線性馬達原理介紹

2.1線性馬達之發展史	6
2.2線性馬達簡介	7
2.3線性馬達分類	9
2.4線性直流無刷馬達	10
2.5線性馬達數學模式之	13

### 第三章 模糊控制器

3.1模糊控制器簡介	16
3.2模糊控制器之設計	17
3.3線性馬達系統持性	18
3.4模糊控制器歸屬函數之設計	21
3.5模糊控制法則之設計	23
3.6解模糊化	24
3.7模糊控制器之實現	24

3.8結論	35
第四章 控制器之設計	
4.1控制器簡介	36
4.2 PID控制器	37
4.2.1前濾波步階PID控制器之設計與模擬	37
4.2.2前濾波步階PID控制器之實現與結果	41
4.2.3前濾波斜坡PID控制器之設計與模擬	43
4.2.4前濾波斜坡PID控制器之實現與結果	45
4.3軌跡規劃	46
4.4強健PID控制器	52
4.4.1強健前濾波斜坡PID控制器之設計與實現	60
4.5死擊控制器之設計與模擬	64
4.5.1死擊控制器之實現	67
4.6前饋PID控制器	69
4.6.1前饋PID控制之實現	73
4.7控制器之比較與結論	74
第五章 結論	
參考文獻	78

## 圖目錄

圖1.1線性馬達硬體系統架構圖	4
圖1.2線性馬達架構圖	4
圖2.1線性馬達應用之範圍圖	6
圖2.2旋轉馬達與線性馬達比較圖	7
圖2.3線性馬達之分類	10
圖2.4雙側式永磁式線性直流無刷馬達結構	11
圖2.5永磁式線性直流無刷馬達定部磁石排列示意圖	11
圖2.6線性直流無刷馬達特性推導示意圖	12
圖2.7永磁式線性直流無刷馬達等效電路圖	14
圖2.8永磁式直流無刷線性馬達方塊圖	15
圖3.1模糊控制器之基本架構	18
圖3.2 (a)線性馬達步階響應位移特性	19
圖3.2 (b)線性馬達步階響應位移誤差特性	19
圖3.2 (c)線性馬達步階響應誤差微分特性	20
圖3.2 (d)線性馬達步階響應控制電壓特性	20
圖3.3吊鐘形歸屬函數示意圖	21
圖3.4三角形歸屬函數示意圖	22
圖3.5高分辨率與低分辨率歸屬函數示意圖	22
圖3.6(a)輸入變數誤差之歸屬函數圖	25
圖3.6(b)輸入變數誤差微分歸屬函數	25
圖3.6(c)模糊控制電壓命令輸出歸屬函數圖	25
圖3.7計算三角形歸屬函數對應之歸屬度	31
圖3.8(a)模糊控制器在命令為10mm之步階響應位移誤差圖	32
圖3.8(b)模糊控制器在命令為10mm之步階響應之控制電壓輸出響應圖	33
圖3.9(a)模糊控制器在振幅為10mm、頻率5HZ正弦命令響應位移	34
圖3.9(b)模糊控制器在振幅為10mm、頻率5HZ正弦命令響應位移	34
圖4.1PID控制器包含圖	36

圖4.2前濾波步階PID控制器閉迴路系統波德圖 . . . . .	40
圖4.3加前濾波器PID控制器與未加之模擬比較圖 . . . . .	41
圖4.4數位前饋波步階PID控制器之SIMULINK模擬程式 . . . . .	42
圖4.5前濾波步階PID控制器之步階響應模擬與實驗比較圖 . . . . .	42
圖4.6控制器之步階響應模擬與實驗比較圖 . . . . .	43
圖4.7前濾波斜坡PID控制器閉迴路系統波德圖 . . . . .	45
圖4.8前濾波斜坡PID控制器在振幅10mm、頻率5Hz修正式梯形波命令響應 . . . . .	46
圖4.9修正梯形波位置命令方程式之產生 . . . . .	47
圖4.10修正梯形波位置命令 . . . . .	48
圖4.11前濾波步階PID控制器在振幅15mm、頻率5Hz之修正式梯形波命令響應( $k_p=0.8582254$ 、 $k_d=0.002937$ 、 $k_i=34.4$ ) . . . . .	49
圖4.12 MATLAB/SIMULINK之NCD設計環境 . . . . .	50
圖4.13前濾波步階PID控制器在振幅15mm、頻率5Hz之修正式梯形波命令響應 . . . . .	51
圖4.14前濾波步階PID控制器在負載0.8kg、振幅15mm、頻率5Hz之修正式梯形波命令響應 . . . . .	52
圖4.15受控體參數變化下系統的步階響應圖 . . . . .	53
圖4.16受控體參數變化時其極點的變化區域(S-domain) . . . . .	54
圖4.17利用閉迴路步階響應求取受控體的數學模式 . . . . .	56
圖4.18(a)強健前濾波步階PID控制器之實控結果(一) . . . . .	56
圖4.18(b)強健前濾波步階PID控制器之實控結果(二) . . . . .	57
4.18(c)強健前濾波步階PID控制器之實控結果(三) . . . . .	57
圖4.19強健前濾波步階PID控制器於負載0.8kg之實控結果 . . . . .	58
圖4.20(a)強健前濾波斜坡PID控制器在振幅15mm、頻率5Hz 修正式梯形波命令響應(、 、 ) . . . . .	61
圖4.20(b)強健前濾波斜坡PID控制器在振幅15mm、頻率5Hz 修正式梯形波命令響應(、 、 ) . . . . .	62
圖4.21強健前濾波斜坡PID控制器在振幅15mm、頻率5Hz 修正式梯形波命令響應(、 、 ) . . . . .	63
圖4.22強健前濾波斜坡PID控制器在負載0.8kg、振幅15mm、頻率5Hz修正式梯形波命令響應 . . . . .	63
圖4.23死擊控制器閉迴路系統波德圖 . . . . .	67
圖4.24死擊控制器步階響應之模擬與實驗比較圖 . . . . .	68
圖4.25前饋PID控制系統方塊圖 . . . . .	70
圖4.26前饋PID控制器之SIMULINK模擬 . . . . .	72
圖4.27前饋PID控制器閉迴路系統波德圖 . . . . .	73
圖4.28前饋PID控制器步階響應模擬與實驗比較圖 . . . . .	74

## 表目錄

1.1線性馬達驅動器特性表 . . . . .	4
3.1模糊控制法則表 . . . . .	30
4.1 ITAE準則所設計之步階命令之系統參數對照表 . . . . .	38
4.2加前濾波器與未加之步階PID控制器特性比較表 . . . . .	40

4.3 ITAE參數對照表 . . . . .	43
4.4長期記錄40組步階響應曲線的最大超越量Mo與上升時間tr統計表 . . . . .	58
4.6死擊控制器步階響應之最佳係數表 . . . . .	66
4.7(a)各控制器優點比較表 . . . . .	75
4.7(b)各控制器缺點比較表 . . . . .	76

## REFERENCES

- [1] 桂人傑, "明日之星- "線性伺服系統", 機械工業雜誌, 1998年4月, pp.156-129。
- [2] 廖聰明, "線性馬達於產業應用之分析", 工業技術研究院委託學術機構研究期末報告, 1998。
- [3] A.Basak, "Permanent Magnet dc, Linear Motor" Oxford University Press, 1996.
- [4] 陳秋麟譯, "電機機械基本原理"。美商麥格羅, 希爾國際股份有限公司, 台北, 台灣, 1995。
- [5] C.W Green and R.J Paul, "Application of dc linear machines as Short-stroke and Static actuators", Proc, IEE, Vol,116, No.4, 1969, pp, 599-604,[6] Li-Xing Wang, "A Course in Fuzzy Systems and Control" Prentice Hall PTR, 1997.
- [7] A. Basak, and A, F, Flores-Filho, "Static and Dynamic Characteristics of a Double Armature,DC Linear Motor", IEE Japan, Vol,118-D No.9, 98,pp:1050-1050.
- [8] 楊英魁博士校閱, 中國生產力中心技術引進服務組編譯, "Fuzzy Control", "Fuzzy 理論與應用實務", 全華科技圖書股份有限公司, 台北, 台灣, 1991。
- [9] 許中平、黃煌嘉, "線性伺服電動機", 全華科技圖書, 1989。
- [10] 林義讓, "線性搬運技術與應用", 全華科技圖書股份有限公司, 台北, 台灣, 1995。
- [11]楊英魁博士校閱, 中國生產力中心技術引進服務組編譯, "Fuzzy 實用化範例-用C語言" 全華科技圖書股份有限公司, 台北, 台灣。
- [12]Benjamin C. Kuo and Jacob Tal, "DC Motors and Control Systems", SRL, Publishing Company, 1978.
- [13]洪錦魁, "Turbo C 入門與應用徹底剖析", 文魁資訊股份有限公司, 1998。
- [14]胡永楠, "自動控制", 全華科技圖書股份有限公司, 台北, 台灣, 1996。
- [15]張碩, "自動控制", 四版鼎茂圖書出版有限公司, 台北, 台灣, 1997。
- [16]Richard C. Dorf and Robert H. Bishop, "Modern Control Systems", Addison-Wesley, 1998.
- [17]杜光宗, "控制馬達的應用", 建宏出版社, 台北, 台灣, pp.241-247,1991。
- [18]何丕倫, "工業控制器定位控制原理及應用技術", 機械工業雜誌, 1995年4月, pp,113-127。
- [19]桂人傑, "現代交流伺服產品控制技術", 機械工業雜誌, 1998年4月, pp,168-179。
- [20]胡永楠, "數位控制", 全華科技圖書股份有限公司, 台北, 台灣, 1997。
- [21]Ogata, K., "Discrete-Time Control Systems", Englewood Cliffs, N.J, Prentice Hall, 1987.
- [22]薛定宇, "控制系統計算機輔助設計- MATLAB 語言及應用", 凡異出版社, 新竹, 台灣, 1996。
- [23]Willianl S. Levine, "Using MATLAB to Analyze and Design Control Systems", Cummings Publishing Company, Inc, 1995.
- [24]Ogata, K, "Designing Linear Control Systems with MATLAB", Englewood Cliffs, N.J, Prentice Hall, 1987.