

# 磁浮系統強健控制器設計與分析

莊舜宇、陳盛基

E-mail: 377196@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

對於一非線性的系統而言，當在工作點附近的極小區域操作時，吾人可先對此工作點線性化，再依此線性化後的數學模式設計定值增益之控制器，即能達成初步的效果。但是當工作的區域擴大時，定值增益之控制器已無法滿足系統的需求，將引起不良的暫態響應，甚至造成系統的不穩定。增益程序控制可應用於這些非線性系統，其作法即是選取幾個工作點，並將這些工作點線性化，依據這些工作點各別設計控制器，每一個工作點對應一個控制器，再將這些控制器利用插值(interpolation)的方式連結起來，成為一個全域的控制器。但是傳統的增益程序控制，欲得到較平滑的控制效果，需將工作範圍分割成許多細小的分段。過細的分割，需要花費很長的時間去設計控制器。因系統參數之不確定性、建模之誤差、及外力之干擾等因素，都可能使得工作點不在實際的平衡軌跡(equilibrium manifold)上，而造成系統不良的暫態特性，甚至引起系統的不穩定。利用模糊增益程序控制能夠即時且有效的進行控制器間的連結。磁浮系統為一非線性且先天不穩定的系統，控制的困難性較一般的受控系統高，本章將模糊增益程序控制理論於磁浮系統中，在浮起及降落過程中進行軌跡的追隨，控制器依懸浮的高度調整控制參數及偏壓電流以獲得良好的運載品質。在懸浮的過程中，模糊增益程序控制加入電流積分控制器，隨負載自動調整其工作點，以維持幾近零功率的穩定懸浮功能。

關鍵詞：增益控制器、非線性系統、模糊增益、磁浮系統

## 目錄

封面內頁 簽名頁 中文摘要 . . . . .	iii	英文摘要 . . . . .	iii
. . . . .	iv	誌謝 . . . . .	v
. . . . .	vi	圖目錄 . . . . .	vi
. . . . .	vii	表目錄 . . . . .	ix
. . . . .	1	第二章省能源磁鐵磁浮系統及有限元素分析 . . . . .	3
. . . . .	15	第三章系統動態 . . . . .	17
. . . . .	19	第四章傳統磁浮系統 . . . . .	17
. . . . .	28	第五章模糊增益程序控制器設計 . . . . .	19
. . . . .	37	第六章實驗結果 . . . . .	19
. . . . .	3	第七章結論及發展應用 . . . . .	37
. . . . .	3	參考文獻? 圖目錄 圖1 單自由	37
. . . . .	4	度磁浮系統之組成元件 . . . . .	3
. . . . .	7	圖2 混成磁鐵磁浮系統之簡化模型 . . . . .	3
. . . . .	9	圖3 永久磁鐵之B-H 曲線 . . . . .	6
. . . . .	9	圖4 二維有限元素分析流程圖 . . . . .	6
. . . . .	10	圖5 混成磁鐵幾何模型 . . . . .	8
. . . . .	10	圖6 模型網目切割圖 . . . . .	9
. . . . .	10	圖7 磁通分佈圖 . . . . .	9
. . . . .	11	圖8 磁	9
. . . . .	11	通密度分佈圖 . . . . .	9
. . . . .	11	圖9 磁場強度分佈圖 . . . . .	10
. . . . .	12	圖10 有限元素分析之磁力曲線圖 . . . . .	11
. . . . .	12	圖11 分析與實測之磁力曲線圖 . . . . .	11
. . . . .	13	圖12 實測磁力曲線圖及配湊曲線結果 . . . . .	12
. . . . .	14	圖13 不同電流i	13
. . . . .	17	下，磁浮力F 對懸浮高度x 之特性曲線 . . . . .	14
. . . . .	20	圖14 PD 控制器之控制方塊圖 . . . . .	17
. . . . .	21	圖15 不同區段之目標響應 . . . . .	20
. . . . .	21	圖16 力量-位置因子 $k_x$ . . . . .	21
. . . . .	21	圖17 力量-電流因子 $k_i$ . . . . .	21
. . . . .	22	圖18 平衡點軌跡 . . . . .	21
. . . . .	22	圖19 控制增益 $p$ $K$ 之趨勢 . . . . .	22
. . . . .	23	圖20 控制增	23
. . . . .	24	益 $d$ $K$ 之趨勢 . . . . .	23
. . . . .	24	圖21 磁浮系統模糊控制方塊圖 . . . . .	24
. . . . .	25	圖22 懸浮高度之歸屬函數 . . . . .	25
. . . . .	25	圖23 控制器增益的歸屬函數 . . . . .	25
. . . . .	25	圖24 控制系統架構圖 . . . . .	25
. . . . .	28	圖25 實驗裝備 . . . . .	28
. . . . .	29	圖26 量測到的懸浮高度響應及其所對應的電流曲線 . . . . .	29
. . . . .	30	圖27 位置誤差 . . . . .	30
. . . . .	31	圖28 磁浮系統時間對應高度 . . . . .	31
. . . . .	32	圖29 對應圖28 之電流響應 . . . . .	32
. . . . .	33	圖30 狀態? . . . . .	33
. . . . .	34	圖31 狀態? . . . . .	34
. . . . .	34	圖32 狀態? . . . . .	34
. . . . .	35	圖33 狀態? . . . . .	35
. . . . .	5	表目錄 表1 混成磁鐵設計參數 . . . . .	5
. . . . .	26	表2 模糊規則表 . . . . .	5

## 參考文獻

- [1] G. Bohn and H. Alscher, The magnetic train Trainsrapid 06, Conf. on Maglev & Linear Drives, Canada, pp.47-52, 1986.
- [2] M. Dussaux, The industrial applications of the active magnetic bearings technology, in: T. Higuchi (Ed.), Proc. of the 2nd Int. Symp. on Magnetic Bearings, Tokyo, pp.33-38, 1990.
- [3] B. C. Kuo, Automatic Control Systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.
- [4] K. J. Hunt and T. A. Johansen, Design and analysis of gain-scheduled local controller networks, Int. J. Control, pp.619-651, 1997.
- [5] M. Morishita, T. Azukizawa, S. Kanda, N. Tamura, and T. Yokoyama, A new Maglev system for magnetically levitated carrier system, IEEE Trans. on Vehicular Technology, pp.230-236, 1989.
- [6] K. Ogata, Modern Control Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1990.
- [7] R. Palm, D. Driankov, and H. Hellendoorn, Model Based Fuzzy Control, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1997.
- [8] R. Palm and U. Rehfuess, Fuzzy controllers as gain scheduling approximators, Fuzzy Sets and Systems, pp.233-2446, 1997.
- [9] C. L. Phillips and R. D. Harbor, Feedback Control Systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1996.
- [10] W. J. Rugh, Analytical framework for gain scheduling, IEEE Control Systems magazine, pp.79-84, 1991.
- [11] G. Schweitzer, H. Bleuler, and A. Traxler, Active Magnetic Bearings: Basics, properties and applications of active magnetic bearings, Hochschulverlag AG, Zurich, 1994.
- [12] Y. K. Tzeng and T. C. Wang, A novel compensating approach for self-sensing Maglev system with controlled-PM electromagnets, IEEE Trans. on Magnetics, pp.4208,4210, 1995.
- [13] T. C. Wang and Y. K. Tzeng, A new electromagnetic levitation system for rapid transit and high speed transportation, IEEE Trans. on Magnetics, pp.4731-4733, 1994.
- [14] Getting Started -A 2D Magnetostatic Problem, Ansoft Corporation, Pittsburgh, 1994.