

AN EXPERIMENTAL STUDY OF DIGITAL CONTROL ON LINEAR MOTOR DRIVING SYSTEM

歐宗勳、胡永柵,陳盛基

E-mail: 9125213@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

IN THIS PAPER, THREE MOTOR SERVO SYSTEMS ARE INVESTIGATED. THEY ARE ROTARY BRUSH-TYPE DC MOTOR, ROTARY BRUSHLESS DC MOTOR AND LINEAR BRUSHLESS DC MOTOR. IN ORDER TO PERFORM ADVANCED CONTROL ALGORITHMS WITH HIGH EFFICIENCY AND MORE FLEXIBILITY, A 4-AXIS MOTION CONTROLLER THAT COMBINES THE POWER OF TI MOTION CONTROL DIGITAL SIGNAL PROCESSOR (DSP) WITH THE FLEXIBILITY OF XILLINX FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAY (FPGA) IS APPLIED TO THESE SYSTEMS. THE CONTROLLER WITH A DIRECT LINK TO SIMULINK VIA A MOTION CONTROL LIBRARY PROVIDES AN EXCELLENT SOLUTION FOR RAPID PROTOTYPING OF MOTOR CONTROL APPLICATIONS. THE FPGA ALLOW THE CARD TO FUNCTION AS A UNIVERSAL CONTROLLER FOR USER APPLICATIONS. IN THIS PAPER, A PROPORTIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVE (PID) AND A VARIABLE STRUCTURE CONTROL ARE DESIGNED TO MEET DESIRED REQUIREMENTS. FOR A ROTARY BRUSH-TYPE DC MOTOR SYSTEM, THE SYSTEM CHARACTERIZATION IS DONE BY USE OF THE UNIT-STEP FUNCTION AS AN INPUT, THE MATHEMATICAL MODEL IS CALCULATED BY MEASURING THE PERFORMANCE CRITERIA OF THE UNIT-STEP RESPONSE. FOR A ROTARY OR LINEAR BRUSHLESS DC MOTOR, THE COMMUTATION SEQUENCE AND RELATIONSHIP BETWEEN BACK EMF, CURRENT COMMAND AND HALL-EFFECT OUTPUT SIGNALS ARE ADDRESSED. THIS PAPER ALSO PROPOSES AN AUTOMATIC TUNING METHOD FOR THE PID CONTROLLER BASED ON THE DAMPING RATIO OF DOMINANT POLE AS THE MAIN DESIGN SPECIFICATION. IN THIS PAPER, THE PRACTICAL REALIZATION OF A SLIDING MODE CONTROLLER BASED ON VARIABLE STRUCTURE SYSTEMS IS APPLIED. THE DYNAMIC MODELING OF THE MATHEMATICAL MODEL IS OBTAINED BY ESTIMATION FROM MEASUREMENT. WHEN THE SLIDING MODE OCCURS, THE SYSTEM WILL BE FORCED TO SLIDE ALONG OR INSENSITIVE TO THE DISTURBANCES AND VARIATIONS DURING THE TASK. SIMULATION AND EXPERIMENTAL RESULTS DEMONSTRATE THAT THE CONTROL METHOD HAS MORE ROBUST AND THE VALID THAN A PID CONTROL.

Keywords : VARIABLE STRUCTURE CONTROL , PID CONTROLLER , DSP , LINEAR BRUSHLESS DC MOTOR.

Table of Contents

第一章 緒論	1.1 前言	--P1
	1.2 研究動機	--P2
	1.3 研究步驟	--P4
	1.4 系統架構	--P7
	1.4.1 直流有刷馬達系統架構	--P7
	1.4.2 永磁式線性直流無刷馬達系統架構	--P11
	1.4.3 DSP運動控制卡初始設定	--P13
	1.4.4 DSP (旋轉、線性) 直流無刷馬達系統架構	--P15
第二章 直流伺服馬達的基本工作原理	2.1 直流有刷馬達工作原理	--P18
	2.2 直流無刷馬達工作原理	--P21
	2.2.1 應用無刷馬達	--P29
	2.2.2 直流無刷馬達伺服控制架構	--P32
	2.3 線性直流無刷馬達工作原理	--P33
	2.3.1 線性直流無刷馬達伺服控制架構	--P38
	2.4 線性與旋轉馬達的速度單位轉換	--P38
第三章 線性馬達驅動原理	3.1 簡介	--P41
	3.2 變頻器之分類	--P41
	3.3 六步方波換向原理	--P42
	3.3.1 反電動示波形	--P42
	3.3.2 轉子的位置感測	--P43
	3.3.3 換向及旋轉方向	--P43
	3.3.4 評論	--P45
	3.3.5 電流控制脈波寬度調變 (PWM)	--P46
	3.4 變頻器產生正旋波PWM動作之原理	--P47
	3.4.1 電流控制PWM (CURRENT-CONTROLLED PWM)	--P49
	3.5 LBDCM驅動系統架構圖	--P50
	3.6 馬達動部位位置測量之方法	--P53
第四章 控制器的設計	4.1 控制器的簡介	--P63
	4.2 PID控制器設計	--P64
	4.3 系統鑑別	--P66
	4.3.1 系統模式鑑別方法	--P67
	4.3.2 系統模式鑑別實驗	--P70
	4.4 PID控制器參數調整方法	--P72
	4.5 PID控制器之位置迴授參數設計	--P73
	4.6 PID控制器之實驗圖形	--P76
	4.7 可變結構控制器	--P80
	4.7.1 可變結構的由來	--P80
	4.7.2 研究動機	--P80
	4.7.3 可變結構設計的原理	--P82
	4.7.4 滑動模態設計原理	--P82
	4.8 逼近條件與順滑條件	--P85
	4.9 可變結構參數設計	--P90
	4.9.1 二階受控系統之可變結構參數設定要點	--P94
	4.9.2 直流有刷旋轉馬達參數計算	--P95
	4.10 參數對系統的影響	--P96
	4.10.1 參數對系統之影響	--P96
	4.10.2 參數對系統之影響	--P100
	4.10.3 參數對系統之影響	--P102
	4.10.4 高頻震盪的消除	--P104
	4.11 可變結構控制器之系統模擬與實驗	--P105
	4.11.1 直流有刷旋轉馬達定位控制實驗	--P105
	4.11.2 可變結構控制器之速度控制	--P108
	4.12 PID控制器與可變結構控制器之比較	--P111
	4.12.1 定位控制比較	--P111
	4.12.2 速度控制比較	--P113
	4.13 PID與可變結構控制器之討論	--P114
第五章 DSP伺服控制系統	5.1 馬達控制參數自調式原理	--P115
	5.1.1 伺服馬達的控制參數調整	--P117
	5.1.2 電流控制迴路	--P118
	5.1.3 扭	

力與磁場向量控制--P121 5.1.4 速度控制迴路--P124 5.1.5 位置控制迴路--P126 5.2 旋轉馬達應用與實驗--P127 5.2.1 旋轉馬達的系統架構--P127 5.2.2 電流控制迴路參數調整 (調整電流量測的偏移量)--P129 5.2.3 電流開迴路參數估測--P131 5.2.4 電流控制迴路的控制器設計 (調整電流量測的偏移量)--P135 5.2.5 閉迴路電流控制與模擬比對 (調整電流量測的偏移量)--P139 5.2.6 向量控制迴路 (調整電流量測的偏移量)--P140 5.2.7 速度控制回路 (調整電流量測的偏移量)--P144 (速度開迴路參數估測) 5.2.8 速度控制迴路的控制器設計--P147 5.2.9 閉環路速度控制與模擬比對--P149 5.2.10 顯示參數自調式的建議參數--P151 5.2.11 位置控制迴路--P152 5.3 DSP運用於旋轉馬達之控制--P154 5.3.1 DSP運動控制卡之程式設計--P155 5.3.2 旋轉馬達定位控制之實驗圖形--P157 5.4 線性馬達應用與實驗--P159 5.4.1 線性馬達的系統架構--P159 5.4.2 調整電流量測的偏移量--P161 5.4.3 電流開迴路參數估測--P161 5.4.4 電流控制迴路的控制器設計--P163 5.4.5 閉迴路電流控制與模擬比對--P164 5.4.6 向量控制迴路--P164 5.4.7 速度控制迴路--P166 A.速度開迴路參數估測--P166 B.速度控制迴路的控制器設計--P167 C.閉迴路速度控制與模擬比對--P168 5.4.8 位置控制迴路--P169 5.4.9 可變結構理論運用於DSP線性馬達定位控制--P170 第六章 結論--P172 附錄A--P174 附錄B--P181 參考文獻--P188

REFERENCES

- [1] R. B., ARONSON, "ATTACH OF THE LINEAR MOTOR," MANUFACTURING ENGINEERING, 1997 MAY, PP. 60-71 [2] A., BASAK, "PERMANENT-MAGNET DC LINEAR MOTORS," OXFORD UNIVERSITY PRESS INC., 1996.
- [3] FAMOURI, P. "CONTROL OF A LINEAR PERMANENT MAGNET BRUSHLESS DC MOTOR VIA EXACT LINE -ARIZATION METHODS", ENERGY CONVERSION, IEEE TRANSACTION ON , VOLUME: 7 ISSUE: 3 , SEPT. 1992 [4] WAKIWAKA, H., YAJIMA, H., YAMADA, H. AND ODA, J. "DESIGN AND EVALUATION OF LINEAR DC MOTOR FOR PEN RECORDER", MAGNETICS, IEEE TRANSACTIONS ON , VOLUME: 31 ISSUE: 6 PART: 2 , NOV. 1995 [5] YAJIMA, H., WAKIWAKA, H. AND SENHO, S. "CONSIDERATION ON HIGH-RESPONSE OF A LINEAR DC MOTOR", MAGNETICS CONFERENCE, 1997. DIGESTS OF INTERMAG '97., 1997 IEEE INTERNATI -ONAL , 1997 [6] C. L. LAI AND C. C. TASI, "MODELING AND VELOCITY CONTROL OF A SINGLE-SIDED LINEAR IN -DUCTION MOTOR", PROC. OF 1998 R.O.C AUTOMATIC CONTROL CONF.,PP.577-584,1998.
- [7] DAMIANO, A. , GATTO, G., PISANO, A. AND USAI, E." DIGITAL SECOND ORDER SLIDING MODE CONTROL OF PM DC MOTOR" INDUSTRIAL ELECTRONICS, 1999. ISIE '99. PROCEEDINGS OF THE IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON , VOLUME: 1 , 1999 [8] C. L. LAI AND C. C. TASI, "ROBUST VELOCITY CONTROL AND POSITION CONTROL OF A SINGLE-SIDED LINEAR INDUCTION", PROC. OF 1998 R.O.C AUTOMATIC CONTROL CONF.,PP.897-904,1998 [9] CHO, D., KATO, Y. AND SPILMAN, D." SLIDING MODE AND CLASSICAL CONTROLLERS IN MAGNETI -C LEVITATION SYSTEMS" IEEE CONTROL SYSTEMS MAGAZINE , VOLUME: 13 ISSUE: 1,FEB.1993 [10] 陳永平, "可變結構控制器設計", 全華科技圖書股份有限公司, 民國88年九月.
- [11] 楊伯森, "線性馬達可變結構控制器設計與模擬", 逢甲大學自動控制工程研究所, 民國89年 [12] ADVANTECH, "PCL-727 12-CHANNEL D/A OUTPUT CARD USER'S MANUAL", PART NO.2003727000 REV .A1 PRINTED IN TAIWAN, AUGUST 1993 [13] TITAN SERIES MOTION CONTROL CARD-PROGRAMMERS GUIDE, SYSCOR R&D INC., CANADA, 1999.
- [14] TITAN SERIES MOTION CONTROL CARD-PROGRAMMER'S GUIDE,SYSCOR RESEARCH & DEVELOPMENT INC. 1999
- [15] TMS320F/C24X DSP CONTROLLER REFERENCE GUIDE, PERIPHERAL LIBRARY AND SPECIFIC DEVICES, NUMBER SPRU161C, TEXAS INSTRUMENT, JUNE 1999.
- [16] A. BASAK, "PERMANTENT MAGENT DC, LINEAR MOTOR", OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1996.
- [17] 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 [18] A. BASAK AND A.F. FLORES-FILHO, "STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A DOUBLE ARMAT -URE DC LINEAR MOTOR", IEE JAPAN, VOL.118-D NO.9, 1998, PP.1050-1055.
- [19] FRANKLIN, G.F., J.D.POWELL, AND EMAMI-NAEINI, "FEEDBACK CONTROL OF DYNAMIC SYSTEMS", CHAP.7, EDITION, ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, 1994.
- [20] "SERVOSTAR PRODUCT SERIES INSTALLATION AND SETUP MANUAL M-SU-000-H ISSUE 6", KOLLOMORG EN.
- [21] 張富鈞, "線性馬達驅動系統之研製" 逢甲大學自動控制工程研究所碩士論文, 民國九十年六月 [22] 張碩, "自動控制系統", 四版, 鼎茂圖書出版有限公司, 台北, 台灣, 1997 [23] U.ITKIS, "CONTROL SYSTEMS OF VARIABLE STRUCTURE ", 1976 BY KETER PUBLISHING HOUSE JERUS -ALEM LTD.
- [24] 陳永平, "可變結構控制設計", 全華科技圖書股份有限公司, 1999.
- [25] 高為炳, "可變結構控制理論基礎", 中國科技出版社, 1990.
- [26] 曾世峰, "線性直流無刷馬達-自調適DSP控制器之設計", 大葉大學電機工程研究所碩士論文, 民國九十年六月 [27] TITAN SERIES MOTION CONTROL CARD-PROGRAMMER'S GUIDE,SYSCOR RESEARCH & DEVELOPMENT INC .1999.
- [28] ASTROM, K. J. AND T. HAGGLUND, "AUTOMATIC TUNING OF PID CONTROLLERS", INSTRUMENT SOCI -ETY OF AMERICA, 1988.
- [29] "全數位化馬達控制參數自調適技術研究報告", 經濟部科專計畫, 民國九十年四月