

DSP為基礎單相半橋式線上互動式交直流轉換器 功率因數修正器研製

研究生：傅久峰

指導教授：鄒應嶼 博士

國立交通大學電機與控制學程

摘 要

本論文研製一個以數位訊號處理器為基礎的單相半橋互動式電力穩定器 (power conditioner)，可以有效消除非線性負載產生之諧波電流。在市電正常時，電力穩定器工作在電流控制模式，可以補償負載虛功，使輸入電流維持於單位功因，亦可工作於電池之充電模式；當市電斷路時，工作於電壓控制模式，提供穩定的交流電源輸出。控制架構採用多迴路控制方式，包含電流內迴路與電壓外迴路，本文說明了控制器設計方法，並以PSIM模擬軟體模擬與分析。最後以一個額定輸出2 KVA原型機完成實驗驗證，實驗結果顯示，在額定整流性負載測試情況，所研製的互動式電力穩定器其功因可達0.99以上。

Design and Implementation of a DSP-Based Power Factor Corrector for Single-Phase Half-Bridge Line-Interactive AC-DC Converters

Student: Jiu- Feng Fu

Advisor: Dr. Ying-Yu Tzou

Institute of Electrical and Control Engineering
National Chiao-Tung University

Abstract

This thesis presents the design and implementation of a DSP-based single-phase half-bridge line-interactive power conditioner for the reduction of reactive and harmonic current generated by the nonlinear load. While the utility power on, the power conditioner works in current-controlled mode so as to not only compensate the reactive power of the load and maintain a unity power factor of input current but also charge the battery. While the unity power is failed, the power conditioner works in voltage-controlled mode so as to output AC voltage. The proposed controller consists of an inner current-loop controller and an outer voltage-loop controller. The proposed control scheme has been verified by using computer simulation with PSIM and implemented using a single-chip DSP controller. Experimental verification has been carried out on a 2 kVA half-bridge line-interactive power conditioner. Experimental results show a power factor of 0.99 at rated output condition.

誌 謝

謹向我的指導教授 鄒應嶼博士致上最高的謝意。感謝他這兩年教授對我的諄諄教誨與悉心指導，使我的研生活充滿挑戰與突破，對研究的觀念與方法有長足的進步。由於他豐富的學識和卓越的領導能力使我在理論分析與實作能力皆受益良多，並使得本論文得以順利完成。

感謝蔡明發教授、鄭光耀、蔡國隆、偉庭、志宗及如萱學長兩年來的關照與指導，讓我在研究上遇到瓶頸時能順利解決。尤其感謝蔡明發教授指導，他豐富的學識，大膽假設，小心求證，務實的求學精神與實事求是的做事態度，是我學習的標竿。

感謝同窗志祥、仁宏在課業上的切磋討論，難忘在實驗室裡共同學習、同甘共苦的時光。感謝學弟們所給予的鼓勵與幫助，使研究過程更為順利。

感謝父母的栽培與妻女意勤、馨儀、婉瑜的關懷，使我感受到親情在研究生涯上，一路相伴，無比安慰。最後，謹將此論文獻給所有關心我的人，願與他們分享這份成果。



民國九十三年六月 於交大

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iv
目錄.....	vi
表列.....	x
圖列.....	xii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與發展概況.....	1
1.2 研究動機.....	6
1.3 研究方法與系統描述.....	7
1.4 論文架構.....	8
第二章 單相交直流轉換器.....	10
2.1 功率因數定義.....	10
2.2 雙向電力流向與功因控制原理.....	15
2.3 半橋式交直流轉換器切換原理.....	17
2.3.1 半橋式交直流轉換器原理.....	17
2.3.2 PWM雙極性切換模式分析.....	18
2.4 功率因數修正技術.....	20
2.4.1 預測電流控制法.....	20
2.4.2 磁滯電流控制法.....	20
2.4.3 連續導通模式峰值電流控制法.....	21
2.4.4 不連續導通模式峰值電流控制法.....	21
2.4.5 強迫電流次諧波脈寬調變切換技術.....	22
2.5 單相半橋型與全橋型交直流轉換器比較.....	23
2.6 電壓空白時間補償.....	24
第三章 控制迴路之分析與設計.....	28
3.1 轉換器模型推導.....	28

3.1.1	交直流轉換器與輸出電壓關係.....	28
3.1.2	PWM調變與轉換器增益值之分析.....	31
3.2	電流迴路規格之設計與分析.....	32
3.2.1	影響電流漣波之因素.....	32
3.2.2	最小直流鏈電壓推導.....	33
3.2.3	電感值之設計.....	36
3.3	電流迴路控制器設計.....	39
3.3.1	電流迴路控制系統架構.....	39
3.3.2	電流迴路模型建立.....	41
3.3.3	電流迴路控制器分析與設計.....	41
3.4	電壓迴路分析.....	46
3.5	動態模型之推導.....	48
3.6	直流鏈電容值之設計.....	49
3.7	電壓迴路控制器設計.....	51
第四章	控制迴路之模擬.....	57
4.1	非線性負載分析.....	57
4.2	轉換器類比電路分析.....	61
4.3	穩定器數位電路分析.....	62
第五章	數位式控制器之硬體及軟體實現.....	67
5.1	控制系統架構說明.....	68
5.2	交直流轉換器系統軟體規劃.....	69
5.3	交直流轉換器系統硬體實現與模擬結果.....	72
第六章	結論.....	76
參考文獻	77

表 列

表 2.1 功因修正問題之解決方案.....	11
表 2.2 單相全橋及半橋交直流轉換器.....	24
表 3.1 數值尺規化關係.....	32
表 3.2 切換頻率的選擇對系統造成的影響.....	33
表 3.3 諧波成分與調變指數關係.....	37
表 3.4 轉換器參數表.....	51
表 3.5 系統參數表.....	56
表 4.1 電路參數表.....	58



圖 列

圖 1.1	離線式(off-line)UPS 電源.....	2
圖 1.2	電源互動式(line-interactive)UPS 電源	3
圖 1.3	在線式(on-line)UPS 電源	4
圖 1.4	電流饋入式功率因數修正器.....	5
圖 1.5	電壓饋入式功率因數修正器.....	5
圖 1.6	串聯式功率因數修正器.....	5
圖 1.7	整合式功率因數修正器.....	6
圖 1.8	單相半橋互動式交直流電力穩定器.....	7
圖 1.9	交直流電力穩定器控制架構方塊圖.....	8
圖 1.10	電壓外迴路控制架構.....	8
圖 1.11	電流外迴路控制架構.....	8
圖 2.1	電壓、電流及電流基頻成分波形.....	12
圖 2.2	相移因數與失真因數所代表的意義與關係.....	13
圖 2.3	雙向電源電路圖.....	15
圖 2.4	向量圖.....	16
圖 2.5	功因為1整流特性.....	17
圖 2.6	功因為1反流特性.....	17
圖 2.7	半橋式交直流轉換器電路架構.....	18
圖 2.8	PWM雙極性切換原理.....	19
圖 2.9	磁滯電流控制法.....	21
圖 2.10	連續導通模式峰值電流控制法.....	21
圖 2.11	定頻操作不連續導通模式峰值電流控制法.....	22
圖 2.12	變頻操作不連續導通模式峰值電流控制法.....	22
圖 2.12	強迫電流次諧波脈寬調變切換技術.....	23
圖 2.13	空白時間效應對脈寬調變波的影響.....	26
圖 2.14	電流方向對端電壓的關係.....	27
圖 2.15	空白時間對輸出弦波電壓的關係.....	27
圖 3.1	交直流電力穩定器控制圖.....	29
圖 3.2(a)	電壓迴路控制方塊.....	30

圖 3.2(b) 電流預測控制法.....	30
圖 3.3 正弦調變原理.....	31
圖 3.4 最大直流鏈電壓值.....	34
圖 3.5 單相轉換器(a)電路(b)基頻波成分(c)漣波頻率成分.....	38
圖 3.6 輸入電流漣波模擬.....	39
圖 3.7 單相交直流電力穩定器電流迴路.....	40
圖 3.8 電流迴路轉移函數方塊圖.....	41
圖 3.9 電流迴路簡化模型圖.....	42
圖 3.10 電流迴路根軌跡.....	43
圖 3.11 電流迴路頻率響應圖.....	43
圖 3.12 負載電流對電源電流影響波德圖.....	44
圖 3.13 電源電壓對電源電流影響波德圖.....	45
圖 3.14 取樣時間分別為30、41.6、50 μ s時之電流迴路頻率響應圖.....	46
圖 3.15 類比式交直流電力穩定器方塊圖.....	47
圖 3.16 交直流電力穩定器之控制架構圖.....	47
圖 3.17 交直流電力穩定器功率流向圖.....	48
圖 3.18 交直流電力穩定器動態模型方塊圖.....	49
圖 3.19 交直流電力穩定器動態模型.....	52
圖 3.20 K_p 值分別為0.5、1.16、1.7電壓迴路步階響應圖.....	53
圖 3.20 K_p 值分別為0.5、1.16、1.7電壓迴路頻率響應圖.....	54
圖 3.22 K_p 為1.08、 K_i 為12電壓迴路頻率響應圖.....	54
圖 3.23 K_p 為1.08、 K_i 為12之電壓迴路步階響應圖.....	55
圖 3.24 數位化交直流電力穩定器系統方塊圖.....	56
圖 4.1 整流性負載.....	57
圖 4.2 整流性負載之等效電路.....	58
圖 4.3 電源電流波形.....	59
圖 4.4 電源電流諧波波形.....	59
圖 4.5 電容電壓波形.....	59
圖 4.6 電源電流波形.....	60
圖 4.7 電源電流諧波波形.....	60
圖 4.8 電容電壓波形.....	60

圖 4.9 類比互動式交直流電力穩定器控制架構.....	61
圖 4.10 輸入電壓波形、電流波形、轉換器電流波形、負載電流波形.....	62
圖 4.11 輸出電壓波形.....	62
圖 4.12 數位交直流電力穩定器電路控制架構.....	63
圖 4.13 輸入電壓波形、電流波形、轉換器電流波形、負載電流波形.....	63
圖 4.14 輸入電壓與電流、輸入電流波形、轉換器電流波形、負載電流波形.....	64
圖 4.15 電容電壓漣波波形.....	64
圖 4.16 輸入電壓與電流波形、轉換器電流波形、負載電流波形.....	65
圖 4.17 輸出電壓波形.....	65
圖 4.18 輸出電壓漣波、電源電壓與電流、電源電流總諧波失真、功率因數.....	66
圖 4.19 輸入電流波形、轉換器電流波形、負載電流.....	66
圖 5.1 WinDSP示波器功能	68
圖 5.2 交直轉換器實驗系統圖.....	68
圖 5.3 數位控制板.....	69
圖 5.4 主程式流程.....	70
圖 5.5 整流器計算流程.....	71
圖 5.6 直流截波器.....	72
圖 5.7 輸入電壓、輸入電流與輸出電壓之波形.....	72
圖 5.8 WinDSP觀測輸入電壓、輸入電流與輸出電壓之波形	73
圖 5.9 輸入電壓、輸入電流與輸出電壓之波形.....	73
圖 5.10 WinDSP觀測輸入電壓、輸入電流與輸出電壓之波形	74
圖 5.11 電源輸入電壓、輸入電流波形.....	74
圖 5.12 轉換器輸入電壓，電感電流波形.....	75
圖 5.13 整流器非線性負載輸入電壓、輸入電流波形.....	75