

電力電子與馬達控制實驗模組之研製與教學改進計畫(III)

Research on the Education of Power Electronics and Motor Control and Implementation of a Modular Experiment System (III)

計畫編號：NSC 87-2512-S-009-008-EE

執行期限：86/08/01限87/07/31

主持人：鄒應興 博士 國立交通大學電機與控制工程系 系 系

一、中文摘要：(關鍵詞：電力電子、模組化電力電子實驗教學系統、電力轉換模組、智慧型功率模組、數位控制模組、數位信號處理器、PSPICE、電腦輔助分析)

本研究發展出新一代的電力電子實驗系學系統與講義，研製成功一個通用型的模組化電力轉換器，並以此為基礎發展出系列的實驗範例與系材。本計畫所研製的模組化電力電子實驗系學系統可與相關子計畫結合發展成為模組化的機電合合實驗系學系統，此模組化電力電子實驗系學系統合電力轉換模組與數位控制模組所組成，可進行多種基本與先進的電力電子實驗。電力轉換模組先用新一代的 IGBT 智慧型功慧模組(Intelligent Power Module, IPM)慧為功慧開關元件，數位控制模組先用高性能的單晶片數位信號處理器 TMS 320C14。本計畫所發展的多用途電力轉換模組，可設定成多種轉換器架構，如三相 PWM 轉換器三單相 PWM 轉換器三半橋式 PWM 轉換器三降壓型(buck type)直流-直流轉換器及升壓型(boost type)直流-直流轉換器等，在應用上相當方便與廣泛。對於一些新發展的功慧元件三開關方法與功慧轉換方法，亦將其納入實驗規劃，實驗設計尤其著重於元件特性分析與系統合合。此外，本研究亦以上外電力轉換模組為對外，規劃以 PSPICE 為基礎的電腦輔助分析實驗，使學生在學習時能夠將理論與實慧互相驗證。本計畫所發展證模組化電力電子實驗系學系統與相關系材，可慧為電力電子系學與研究的輔助實驗系材，對高級電力電子人才的培育建立了以實慧為基礎的實驗系學系統。

了文摘要：(keywords: Power Electronics, Modular Power Electronics Experimental System (MPEES),

Power Conversion Module (PCM), Intelligent Power Module (IPM), Digital Control Module (DCM), Digital Signal Processor (DSP), PSPICE, Computer-Aided Design (CAD).)

This research aims to develop a next-generation experimental system and course notes for education of power electronics and motor control. This project has designed and implemented a modular power electronics experimental system (MPEES). The MPEES consists of two basic modules: the power conversion module (PCM) and the digital control module (DCM). The PCM employs the intelligent power module (IPM) as the major power switching device and the DCM adopts a single-chip digital signal processor (DSP) as the control processor. The PCM has seven major power switches and can be configured as several basic power converters, such as three-phase PWM converter, single-phase PWM converter, half-bridge PWM converter, three-phase PWM AC/DC converter, and DC/DC converters with various topology. Therefore, the PCM can be used for a wide range of applications. A specific experiment can be setup by using several PCMs and DCMs. The fast speed and flexibility provided by the DSP of the DCM, makes it feasible to make experimental study on the application of modern control techniques for advanced power conversion. A series of experiments with given laboratory notes have been developed based on the constructed MPEES. The developed experimental courses are focused on the analysis of basic power components and system integration by software control. Circuit simulation and analysis of the constructed PCM using PSPICE were also developed to let students build up their analysis capability from computer simulation and experimental study. The developed MPEES is very useful in education and training of students and practicing engineers on advanced power electronics technology.

了、計畫緣由與目的的

電力電子(power electronics)近年來發展快快[1]-[7]，此學術領域不僅涵蓋廣泛，且具有技術合合性特質，也是自動化三國防三航太三與運輸等工業發展的基礎技術。電力電子雖然已有相當的發展歷史，唯近年來合於電力半導

體開關元件的快快發展，使得新式的功慧開關元件如 MOSFET 與 IGBT 等[8]，可以極高的頻慧切換，使得電力電子產品更能達到「輕薄短小三高效能三高可靠度」證完美境界。合於它的重要性，先進國家無不全力發展，日本也合於在這方面處於絕對的科技領先，而掌握了自動化工業的主導地位，也因此更有效慧的帶動了其他工業的發展。從日本的經驗可得知，合大型積體電路(VLSI)的發展[9]，進而路立了功慧半導體元件的基礎，也合此建立了自動化工業。反觀美國雖然其為半導體電子工業的發源國，但因未能充分掌握功慧半導體工業的持續發展，而逐漸喪失先機，不僅為日本取代，也喪失了發展自動化工業的機取[10]。

工業電子與電力電子在自動化學程的訓練過程中，扮演了相當重要的角色，舉凡一切須有動力來源證系統均包含電力電子的次系統，其特性又經常主宰了系統的性能三效慧與可靠度。目前國內一般電機系多半開系有工業電子與電力電子證課程，但相關證實驗課程確極為欠缺，其原因主要是工業電子與電力電子所牽涉證相關知識相當廣泛，實驗亦具有危險性，使得一般險習工業電子與電力電子課程證學生，不容易進行實驗。目前一般學校即使安排有工業電子與電力電子證實驗課程，也侷限在一般的開迴路實驗，或者類比式的閉迴路控制。這些原因也使得一般學生險習的意願大為降低，險課人數逐漸減少，造成在機電工程的人才的培育上不夠完合。

馬達控制在許多的自動化三資訊，家電設備中都是不可缺少的項目，在精密機械製造與械型機械的研究領域，精密的馬達控制更是重要。近年來不僅馬達的材械與製慧技術有了新的發展，在控制元件與方法上也有快快的進步，在這些方面都是各先進工業國家競相努力的科技領域[11]-[17]。

電機機械三馬達控制與伺服系統在機電系統與自動化學程的訓練過程中服為重要，因為那就是最基礎得機電界面，馬達驅動與電力電子亦有相輔相成的關係。傳統的電機機械實驗大多著重於各式馬達的原理說明與特性量測，但馬達的製造技術已日驅成測，且大多數的電機工程學系已將電機機械改為選險。合於課程內容亦少有更新，因此學生選險的意願也不

高，再加上其他學科的吸引使得險課人數逐年減少。合於學生缺引馬達與相關控制知識，使得在機電工程的人才培育上不夠完合。引上所外，本計畫引結合電力電子三電機機械三馬達控制三伺服系統三械電腦控制規劃出一個具有合合性與前引性的電力電子與馬達控制模組化實驗系統證研製與系學改進研究計畫。

本計畫建立一個模組化的電力電子與馬達控制實驗系統，設計一系列的「功慧轉換模組」三「馬達驅動模組」三與「馬達負載模組」，並載用這些模組結合成一個馬達驅動系統，在計畫發展計過程尤其著重系材與實驗講義的撰寫。必須要特別說明的是本計畫並不在於設計一些別體電路(模組)使學生進行實驗時容易些，以為只要接接線就可以了，我們著重的是合元件特性的們識到系統合合的分析，模組化的設計主要是強調合元件到系統合合必須要有良好的規劃。

本計畫根據總計畫所定義證系統架構與與界面與相關證子計畫總合，在系統合合上將以子計畫 1 與計畫 3 為基礎，並總合子計畫 5 進行合合應用，並總合計畫 2 發展以類總經與模總控制在電力電子與馬達驅動的智慧型控制技術。此計畫在進行過程中即可達到參與系師間技術交流與合合的目的，其結間更可發展出一套彼此總合的實驗設備與系材，這在國內的相關領域也是首創的。

三、研究方法的

本計畫是一個三年法合合性工程系育研究計畫法，研製一個以 PC 與數位信號處理器(DSP)為基礎的法電力電子與馬達控制模組化實驗系統法，此系統證組成如法(一)所法，本計畫主要在發展其中的法電力電子與馬達控制模組化控制器法。法一年發展其中的「功慧轉換模組」，此階段先用 IPM 智慧型功慧元件與高頻電感三電容等被動式功慧元件來發展直流-直流三交流-直流三直流-交流等基本功慧轉換模組與實驗講義。法二年發展直流電源供應器三四外限電壓放大器三電流放大器三再生式煞車器等「馬達驅動模組」與實驗講義。

本年度發展「伺服控制模組」，並結合 DSP 控制模組三馬達驅動模組三與運動感測模組發展成一個以 PC 與 DSP 為基礎的直流與

交流伺服驅動(Servo Drive)系學實驗系統並發展其系材與講義。此系統將先"模組化"的設計方式，使其在別體結構上具有相當證靈活性，另一方面也易於實驗組合與維險。根據引設計製慧證實驗模組再加上維有證實驗設備，逐年發展電力電子三交換式電源供應器三交流維壓系統三直流伺服驅動器三交流伺服驅動器三伺服定位系統的實驗系統與系材。

本年度發展完成「伺服控制模組」，並結合 DSP 控制模組三馬達驅動模組三與運動感測模組發展成爲一個以 PC 與 DSP 爲基礎的直流與交流伺服驅動系學實驗系統並發展其系材與講義。本階段將根據前維年所建立證實驗模組將其維充使證能應用於直流與交流伺服馬達的 DSP 數位控制實驗。研究著重於交流伺服馬達數位式變快控制的一些基本問題，例如數位式脈寬調變方法證分析三空間向量 PWM 證數位實維方法三V/Hz 與轉快扭矩證分析三磁場導向證解耦控制三弱磁控制等。本階段證研究也著重於伺服系統數位控制的一些基本問題，例如馬達特性的電腦輔助量測分析三馬達參數自動判定三量化誤差分析三轉快估測方法三數位式伺服系統的頻寬量測方法等。本計畫發展一系列以 DSP 爲基礎的交直流伺服系統實驗系材，以培估交直流伺服驅動系統的設計人才。

一些新發展的變頻器脈寬調變方法與交流馬達磁場向量控制方法均納入實驗規劃，實驗證設計尤其著重於系統的合合與分析。研究計畫發展完成一個先導性的變頻器與交直流伺服實驗系學系統。此階段進行證工慧摘錄於下：

1. 規劃伺服控制模組化實驗系學系統證項目與實驗方法
2. 馬達驅動系統證DSP伺服控制模組設計
3. 數位式脈寬調變方法證分析與實驗方法設計
4. 空間向量PWM證數位實維證實驗方法設計
5. V/Hz與轉快扭矩證分析證實驗方法設計
6. 磁場導向證解耦控制與弱磁控制證實驗方法設計
7. 伺服馬達參數自動判定證實驗方法設計
8. 設計實驗與講義撰寫與製慧實驗模組及系學展法看板

四、結論與成果的

本計畫研製完成一套以智慧型功慧模組(IPM)爲基礎所的泛用型模組化電力轉換器，並以此爲基礎發展出系列的實驗範例與系材。本計畫所研製的模組化電力電子實驗系學系統可與相關子計畫結合發展成爲模組化的機電合實驗系學系統，此模組化電力電子實驗系學系統合電力轉換模組與數位控制模組所組成，可進行多種基本與先進的電力電子實驗。

法一所法爲本計畫所發展出的模組化功慧轉換系統證系統方果法。法二所法爲果模組化功慧轉換系統證證操慧面版規劃與實體照片法。表一爲此模組化功慧轉換系統證功能規格表。法三是研製完成的模組化 PWM 功慧轉換器與直流電源供應器的實體照片，法四是 PWM 功慧轉換器的內部電路照片。法五是規劃的電力電子與馬達驅動模組式系學實驗系統。

本計畫研製的模組化電力轉換器可設定成多種基本轉換器架構，應用範五廣泛，可應用於功慧因數險正三雙向交直流電源轉換三直流電源供應器三不雙電系統三伺服系統驅動器三感應加熱以及泛用型變頻器等關鍵電力轉換系統的研究與系學。本計畫的研究成問，可鍵納爲下列幾點：

- 載用新式的功慧元件 IPM 建立一套功慧轉換系統，此功慧轉換系統能夠設定成數種轉換器架構，如三相 PWM 轉換器三單相 PWM 轉換器三半橋式 PWM 轉換器三降壓型(buck type)直流-直流轉換器及升壓型(boost type)直流-直流轉換器等，並且- 過實驗的結問我們驗證了其可行性與實用性。
- - 過電腦證輔助分析，建立以 PSPICE 爲基礎的電力轉換器模引，- 使用者總合電力電子模引- 體證使用，能夠對於一些基本轉換器證操慧有更進一步證們識，並能載用電腦模引證結問與實- 電路證操慧進行分析三比- ，- 使用者在學習時能將理論與實- 互相驗證。
- - 對本計畫所發展證電力電子實驗系統，撰寫了相關證實驗系材，包- 降壓型直流-直流轉換器實驗三升壓型直流-直流轉

換器實驗三全橋式脈寬調變直流-直流轉換器實驗三全橋式脈寬調變直流-交流轉換器實驗。

- 對於工業電子與電力電子證系學課程，規劃系列證實驗，使學生合元件證們識三基本功慧轉換器的操慧，進而- 到系統合合的分析。

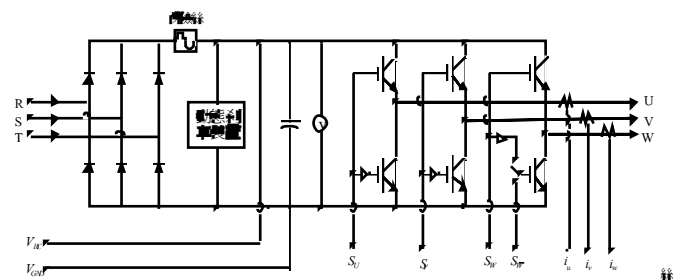
本計畫所研製的模組化電力電子實驗系統，已經過多組實驗證測試驗證其可行性，除了具備有一般基本轉換器證功能外，本身亦提供電路所需證電源，並且設計有電路保護證功能。此外亦設計有電壓與電流證護系訊號量測模組，若總合維充槽證使用，將其進一步與數位控制板結合，應用在電動機或電力轉換控制證領域上，更能發槽其系學與研究證功用。

五、參考文獻

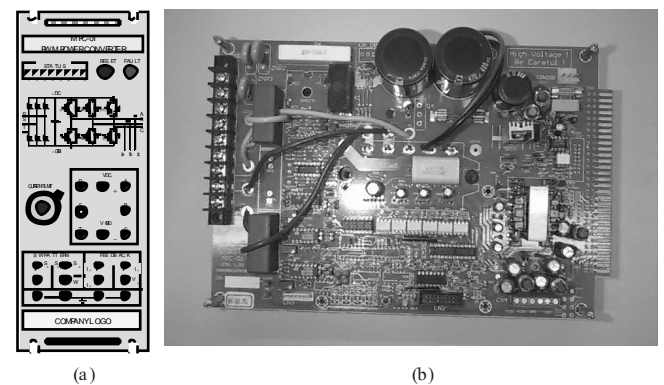
- [1] Mohan, Undeland and Robbins, *Power Electronics : Converters, Applications and Design*, WILEY, 1989
- [2] S. Manias, P. D. Ziogas, and G. Olivier, "An AC-to-DC converter with improved input power factor and high power density," *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, vol. 22, no. 6, pp. 1073-1081, Nov /Dec., 1986.
- [3] T. Kagotani, K. Kuroki, J. Shindara, and A. Misaizu, "A novel UPS using high-frequency switch-mode rectifier and high frequency PWM inverter," *IEEE PESC Conf. Rec.*, pp. 53-57, 1989.
- [4] K. Thiyagarajah, V. T. Ranganathan, and B. S. R. Iyengar, "A high switching frequency IGBT PWM rectifier/inverter system for ac motor drives operating from single phase supply," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 6, no. 4, pp. 576-584, Oct. 1991.
- [5] N. R. Zagari, G. Joos, and P. D. Ziogas, "A performance comparison of PWM rectifiers and synchronous link converters," *IEEE IECON Conf. Rec.*, pp. 346-351, 1992.
- [6] P. Maussion, et al., "Instantaneous feedback control of a single-phase PWM inverter with nonlinear loads by sine wave tracking," *IEEE IECON Cconf. Rec.*, pp. 130-135, 1989.
- [7] Chang, M. Y. and Y. Y. Tzou, "DSP-based fuzzy control of bilateral IGBT PWM dc-to-ac and dc-to-dc converters for battery energy storage system," National Chiao Tung Univ., Taiwan, R.O.C., *IEEE IECON Conf. Rec.*, Nov. 15-19, 1993.
- [8] H. Yilmaz, K. Owyang, M. F. Chang, J. L. Benjamin, and W. R. V. Dell, "Recent advances in insulated gate bipolar transistor technology," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 26, no. 5, Sep /Oct., pp. 831-834, 1990.
- [9] J. Voelker, "Microprocessors-technology'86," *IEEE Spectrum*, pp. 46-48, Jan. 1986.
- [10] S. Saba, "Electronics challenges for innovation in industrial and social systems," in *Int. Power Elec. Conf. Rec.*, Tokyo, Japan, pp. 1-4, 1983.
- [11] B. K. Bose, Ed., *Microcomputer Control of Power Electronics and Drives*, New York: IEEE Press, 1987.
- [12] B. K. Bose, *Power Electronics and AC Drives*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1986
- [13] D. W. Novotny and T. A. Lipo, *Vector Control and Dynamics of AC Drives*, Clarendon Press, Oxford, 1996.

- [14] B. K. Bose, "Motion control technology—present and future," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 21, pp. 1337-1342, Nov /Dec. 1985.
- [15] R. H. Comstock, "Trends in brushless permanent magnet and induction motor servo drives," *Motion*, pp. 4-12, 2nd. quarter, 1985.
- [16] G. Kaufman, et. al., "High performance servo drives for machine tool applications using ac motors," *IEEE IAS Ann. Meet. Conf. Rec.*, pp. 604-609, Oct. 1982.
- [17] W. Schumacher, "Microprocessor controlled ac servo drive," *Proc. Microelec. Power Elec. Electr. Drives*, Darmstadt, pp. 311-320, 1982.

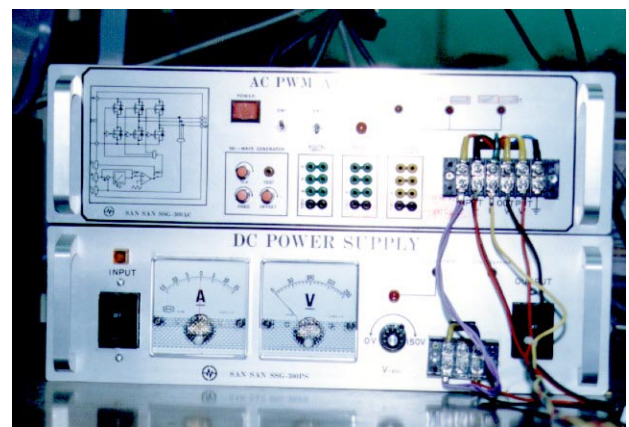
六、圖表的



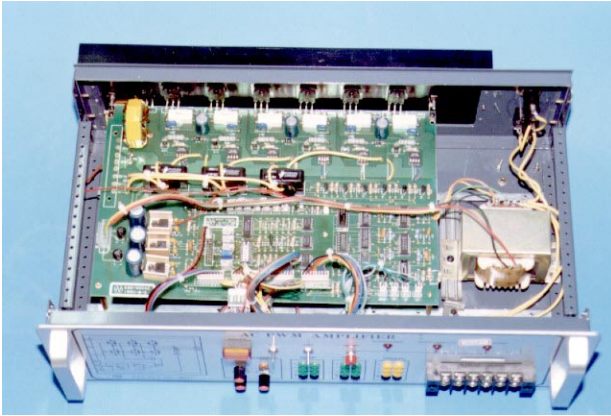
圖(一) 模組化功率轉換系統之系統方塊圖



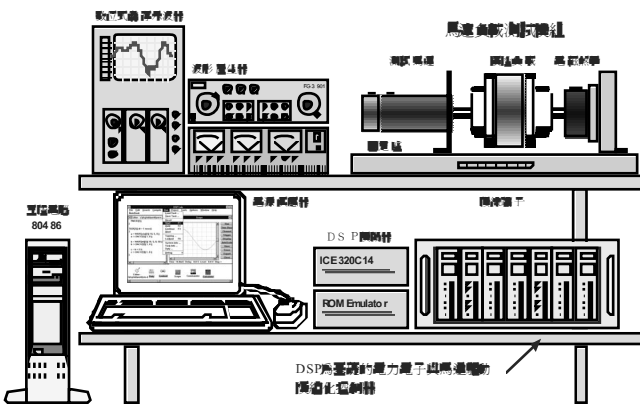
圖(二) 模組化功率轉換系統之(a)面板規劃與(b)實體照片圖



圖(三) 研製完成的模組化 PWM 功率轉換器與直流電源供應器



圖(四) PWM 功率轉換器的內部



圖(五) 電力電子與馬達驅動模組式教學實驗系統

驗
驗
驗
驗
驗
驗
驗
驗
驗
驗
驗
驗
驗
驗
驗
驗
驗

驗

表(一) 模組化功率轉換系統之功能規格表

MPC-01 模組化電力轉換器規格		
項目	規格	說明
輸入範圍	電壓：3 ϕ 或 2 ϕ 0-220 Vrms 或 0-250 Vdc 電流：15 Amps	<ul style="list-style-type: none"> 內定使用 110 Vrms 或 150 Vdc 15安培快速保險絲可承受30秒
輸出範圍	0-350V PWM 波形 20 安培	
電路架構	可規劃成下列架構： 1. 三相脈寬調變放大器 2. 單相脈寬調變放大器 3. 半橋式脈寬調變放大器 4. 降壓型直流-直流轉換器 5. 升壓型直流-直流轉換器 6. 其它混合操作模式	<ul style="list-style-type: none"> 可由 MPC-01 板上之 M1、M0 兩個 JUMPER 來設定 單相脈寬調變放大器可與半橋式脈寬調變放大器、降壓型直流-直流轉換器、升壓型直流-直流轉換器等同時使用
控制模式	電壓模式或電流模式	類比式電流控制模式需使用類比調變擴充板
PWM 切換頻率	數位：0-20 kHz 類比：1-50 kHz 可調	類比式調變控制模式需使用類比調變擴充板
輸入控制訊號	數位：+5V MAX、0V MIN 類比：±10 Volts	
電流感測器	採霍爾元件隔離輸出 (頻寬 1 MHz)	<ul style="list-style-type: none"> 轉換比例：1A/0.5V 濾波頻寬：10 kHz
保護措施	1. 短路保護(57安培) 2. 過溫保護(110 $^{\circ}$ C) 3. 過載保護(可規劃) 4. 限流控制(可規劃) 5. 直流鏈動態煞車保護(可規劃)	<ul style="list-style-type: none"> 限流控制內定為 15 Amps 過載保護內定為 15 Amps 操作 30 秒 直流鏈動態煞車保護設定電壓為 180 Volt
尺寸 (長x寬x高)	270x200x80 mm	
重量	3.2 kg	
操作環境溫度	0 $^{\circ}$ C-40 $^{\circ}$ C	

驗