

出國報告（出國類別：實習）

赴美國維吉尼亞大學能源電子中心實習研究報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：李奕德 助理研究員

派赴國家：美國

出國期間：101年10月6日~101年10月20日

報告日期：101年12月4日

摘要

本所目前正執行分散式電力能源及微型電網技術發展工作，並且於 2011 年與美國維吉尼亞理工學院未來能源電力中心簽定國際研究合作計劃共同開發高效率風力發電系統三相背對背 AC/DC/AC 轉換器，希望透過電力電子技術來提升區域電網之再生能源輸出佔比，同時增加電網供電之穩定性。本次赴維吉尼亞理工大學能源電子中心進行新世代高效率電能轉換系統開發實習，包括學習具電流控制、MPPT 及直流匯流排電壓雙迴路控制之電能轉換電路設計，以及開發無感測控制演算法，並且進行系統整合測試，透過短期訓練除了了解先進電力電子相關技術，對於未來如何整合電力電子技術與智慧電網之發展規劃亦有相當助益。除此之外，為了獲取國際智慧電網最新發展趨勢與電力電子研發相關技術發展現況，參加「2012 IEEE/IAS Annual Meeting 工業應用國際會議」，以及發表會議論文「Preliminary Implementation of Microgrid with Photovoltaic and Microturbine for Stand Alone Operation」，並且與國際先進與業界進行微電網技術交流。本次參與國際會議有助於本所在微型電網與分散力電力技術之研究規劃及相關領域技術開發，並與國際先進技術接軌。

關鍵字：分散式發電、再生能源、微型電網、智慧電網、電力電子。

目 錄

摘 要	i
一、目 的	1
二、過 程	2
三、心 得	3
(一) 參加 2012 IEEE/IAS Annual Meeting	3
1. 微電網電力轉換控制技術.....	11
2. 微電網故障偵測與保護技術.....	13
3. 微電網即時最佳潮流能源管理技術.....	15
(二) 赴維吉尼亞理工大學能源電子中心進行實習	17
1. 風力發電模擬系統.....	20
2. 風力發電整流側系統模型與控制策略.....	21
(1) 風力發電整流側等效電路模型及參數.....	21
(2) 昇壓型 AC/DC 整流器電流控制設計.....	23
(3) 轉速控制設計.....	25
3. DC/AC 市電併聯換流器控制策略.....	25
4. 硬體實現與程式測試.....	26
(1) 三相背對背 AC/DC/AC 風能電力轉換器.....	26
(2) 整流器電流控制測試.....	28
(3) 整流器轉速控制測試.....	29
(4) 最大功率追蹤模式控制.....	30
四、建 議 事 項	33

圖目錄

圖一、與國內各大學校教授註冊報到.....	8
圖二、論文發表過程.....	9
圖三、核研所微型電網建置及系統架構.....	9
圖四、與會議主持人討論微電網技術開發.....	10
圖五、教育訓練課程.....	10
圖六、專題演講.....	11
圖七、ETAP 歡迎會與 GE 公司討論微電網產業.....	11
圖八、傳統太陽能電力轉換系統架構.....	12
圖九、轉換器直流電壓與功率特性曲線.....	12
圖十、混合式電力轉換控制系統架構.....	12
圖十一、通用式電力轉換控制系統架構.....	13
圖十二、dq 軸 WPT 轉換.....	13
圖十三、dq 軸 WPT 轉換故障辨識.....	14
圖十四、範例系統故障波形分析.....	14
圖十五、交/直流智慧型微電網硬體設施與通訊控制系統架構.....	15
圖十六、交/直流智慧型微電網系統單線圖.....	16
圖十七、智慧型微電網即時量測監控系統(SCADA).....	16
圖十八、背對背 AC/DC/AC 風能電力轉換系統.....	17
圖十九、三相交/直雙向電力轉換器.....	18
圖二十、風力發電轉換系統研究團隊.....	19
圖二十一、風力發電轉換系統教育訓練.....	19
圖二十二、風力發電轉換系統硬體設計.....	19
圖二十三、風力發電轉換系統測試.....	20
圖二十四、風力發電模擬系統.....	20
圖二十五、不同風速之風機轉速與輸出功率.....	21

圖二十六、風力發電模擬系統之控制方塊圖.....	21
圖二十七、風力發電側等效電路模型.....	22
圖二十八、發電機側整流器之控制方塊圖.....	23
圖二十九、整流器 dq 軸輸入電流控制器.....	24
圖三十、電流控制器之迴路增益波德圖.....	24
圖三十一、市電併聯換流器之控制方塊圖.....	25
圖三十二、換流器 dq 軸輸出電流控制器.....	26
圖三十三、三相交/直流雙向電力轉換器.....	27
圖三十四、三相背對背交/直/交流電力轉換器.....	27
圖三十五、含 DSP 控制之三相背對背交/直/交流電力轉換器.....	27
圖三十六、Fairchild 開關與 DPWM 調變切換輸出不同功率之轉換效率.....	28
圖三十七、改變整流器輸入電流命令之風機輸出響應.....	29
圖三十八、改變風機輸入功率之響應.....	29
圖三十九、改變整流器轉速控制命令之風機輸出響應.....	30
圖四十、改變風機輸入功率之響應.....	30
圖四十一、爬坡搜尋(HCS)之最大功率追蹤法.....	31
圖四十二、基於最佳關係(ORB)之最大功率追蹤法.....	31
圖四十三、最大功率追蹤設計流程.....	32
圖四十四、風機最大功率追蹤程式測試.....	32
圖四十五、不同風速下之最大功率追蹤測試.....	32

表 目 錄

表一、2012 IEEE/IAS Annual Meeting 會議議程.....	4
表二、論文發表議程.....	5
表三、三相交/直雙向電力轉換器規格.....	18
表四、永磁同步發電機之相關參數值.....	22
表五、換流器轉換效率測試.....	28

一、目的

本所目前開發應用於智慧電網之中小型風機高效率電能轉換系統，並且與美國維吉尼亞理工學院未來能源電力中心簽定國際研究合作計劃共同開發高效率風力發電系統，希望透過電力電子技術來提升區域電網之再生能源輸出佔比，同時增加電網供電之穩定性。該合作研究計畫目標主要開發高效率、高電力品質及低成本之三相 5 kW 背對背 AC/DC/AC 電力轉換系統，此系統適用於住宅及商用可變速之小型風力發電機，以及可透過適當的電力轉換系統控制來應用於智慧電網，該風力發電轉換系統具有下列特色：

- (一)風機與發電機之間無需變速裝置，可降低風機維護成本及改善系統可靠。
- (二)永磁式發電機可允許風機運轉在低轉速。
- (三)在發電機側之電力轉換器具有最大功率追蹤功能，可允許風機運轉在各種不同風速下截取最大風能。
- (四)市電併網側之電力轉換器可操作在併網與孤島模式。
- (五)電力轉換器之交流側為單位功率因數，因此可降低功率轉換損失而提升系統運轉效率。

本次赴維吉尼亞理工大學能源電子中心進行新世代高效率電能轉換系統開發實習目的，即在學習上述風力發電轉換系統設計包括具電流控制、MPPT 及直流匯流排電壓雙迴路控制之電能轉換電路，開發無感測控制演算法，以及進行系統整合測試。透過本次短期訓練除了了解先進電力電子相關技術，對於未來如何整合電力電子技術與智慧電網之發展規劃亦有相當助益。除此之外，本所目前正建置可於市電併網與孤島平穩切換之微電網及發展孤島穩定運轉技術，本次參加「2012 IEEE/IAS Annual Meeting 工業應用國際會議」，以及發表會議論文「Preliminary Implementation of Microgrid with Photovoltaic and Microturbine for Stand Alone Operation」，針對核研所微型電網試驗場，進行聚光型太陽能發電 HCPV 及微渦輪機之併網衝擊分析，以及應用電力系統軟體模擬市電故障之暫態響應，並於微電網孤島運轉下進行馬達負載啟動暫態模擬，以驗證微電網於市電併網與孤島之運轉電壓皆在市電併聯換流器之額定範圍內，可確保含再生能源發電之微電網供電穩定。本次參與國際會議與國際先進業界進行微電網技術交流，除了獲取國際微電網最新發展趨勢與電力電子研發相關技術發展現況，對於本所未來在微型電網與分散力電力之研究規劃與技術開發，可以與國際先進技術接軌。

二、過 程

本次行程主要包含 2 個部分，首先參加 10/7~10/11 於美國拉斯維加斯舉辦第屆 2012 IEEE/IAS Annual Meeting 工業應用國際會議，接著 10/12 前往美國維吉尼亞理工大學能源電子中心進行電力電子實習訓練。

行		程		公差地點		工 作 內 容	
月	日	星期	地點 出發	抵達	國名		地 名
10	6	六	台北	美國 內華達州	美國	拉斯維加斯	去程
10	7 ~ 11	日/ 四			美國	拉斯維加斯	參加 2012 IEEE/IAS Annual Meeting
10	12 ~ 14	五~ 日	拉斯維加斯	美國 維吉尼亞州	美國	黑堡	路程 資料整理
10	15 ~ 17	一/ 三			美國	黑堡	赴維吉尼亞理工大學能源電子中心進行實習
10	18 ~ 20	四/ 六	黑堡	台北			回程

三、心得

(一) 參加 2012 IEEE/IAS Annual Meeting

國際工業應用協會(Industry Applications Society, IAS)為 IEEE 國際電機電子工程組織(Institute of Electrical and Electronics Engineers)所屬協會之一。該協會每年定期舉辦各種不同工業應用領域之國際會議與學術研討會如下，主要分享產業界經驗與解決工商業問題為主，因此與會者除了多為學術研究單位人員之外，亦會有產業界參加，可提升產業技術及服務。

- IEEE IAS Annual Meeting
- Energy Conversion Congress and Exposition
- Applied Power Electronics Conference
- Cement Industry Conference
- Industrial Energy Efficiency Workshop
- Industrial and Commercial Power Systems Conference
- Petroleum and Chemical Industry Conference
- Pulp and Paper Industry Conference
- Rural Electric Power Industry Conference

IEEE/IAS Annual Meeting 國際工業應用年會為國際最具知名之電力系統、電子電子與自動控制會議之一，該會議包括底下各種技術委員會：

- Power System Engineering Committee
- Power System Protection Committee
- Energy Systems Committee
- Codes and Standards Committee
- Mining Industry Committee
- Industrial Automation and Control Committee
- Industrial Lighting and Display Committee
- Metal Industry Committee
- Electrostatic Process Committee

表一為第 47 屆 2012 IEEE/IAS Annual Meeting 會議議程，主要包括論文發表會議(Technical Sessions)、教育訓練課程(Tutorials)及演講(Keynote Speak)三大部分，表二為論文發表議程。本次論文 Preliminary Implementation of Microgrid with Photovoltaic and Microturbine for Stand Alone Operation 即發表在 Energy Systems Committee 會議議程。其它與智慧電網與微電網相關論文尚包括如下：

- Digital Multi-Relay Protection for Micro-Grid Systems
- CONTROL OF MICROGRID-CONNECTED PV-SOURCES
- Implementation of Real-time Optimal Power Flow Management System on Hybrid AC/DC Smart Microgrid
- A Fuzzy Supervisory Control for Induction Machines Operating from a DC Microgrid
- ECODESIGN OF EVER NET-LOAD MICROGRIDS
- A Novel Power System Defense Plan to Cope with 30% Wind Power Penetration in the Isolated Penghu System
- Intelligent Demand Response Scheme for Energy Management of Industrial Systems
- Novel Intelligent Fault-Tolerant Adaptive Control Methodology for Next Generation Energy System
- A Study of DC-AC Inverter Optimization for Photovoltaic Power Generation System
- Evaluating the Long-term Impact of a Continuously Increasing Harmonic Load Demand on Feeder Level Voltage Distortion

表一、2012 IEEE/IAS Annual Meeting 會議議程

Sunday:	
Afternoon	Tutorials/Committee Meetings
Evening	Presentation to first time attendees
Evening	Welcome Reception/Student Posters
All Day	Guided tour to Hoover Dam
Monday:	
Morning	Technical Sessions
Mid-Morning	Keynote - Hubble Space Telescope
Noon	Zucker luncheon - for all attending students
Afternoon	Technical Sessions and/or Tutorials
Tuesday:	
All Day	CMD Annual Chapter Workshop Technical Sessions and/or Tutorials
Evening	President's Award Banquet
Wednesday:	
All Day	Technical Sessions and/or Tutorials
Thursday:	
All Day	Tutorials

表二、論文發表議程

Session	Time	Date	Session #	Manuscript Title
EMC	08:00 AM	Monday	1	VHD Machinery Vibration Fatigue Life and Multi-Level Inverter Effect
	08:30 AM			Interpole-Type Magnetic Actuator for Navigation of Magnetic Drug
	09:00 AM			Time Synchronization of Automation Controllers for Power Application
ILDC#6	08:00 AM	Monday	2	Solid State Lighting systems, dreAMs and nightmares
	09:00 AM			New technologies of next generation display
PSE#1	08:00 AM	Monday	3	Thermal Sizing and Electric Shock Calculations For EquipMent Grounding Conductors
	08:30 AM			Induced Currents in Grounding Conductors
	09:00 AM			Numerical simulation of heart-current factors and electrical models of the human body
Metals#1	08:00 AM	Monday	4	Analysis and Design of a Contactless Power Transmission System Based on the Extended First Harmonic Approximation
	08:30 AM			Optimization of the Settings of Multiphase Induction Heating System
	09:00 AM			Protecting Control Panels Against Voltage Sags Using Square-Wave Series Voltage Compensators
Metals#2	02:00 PM	Monday	5	Assessing the Performance of a Static Var Compensator for an Electric Arc Furnace
	02:30 PM			Improvement in Control of the Tandem Hot Strip Mill
	03:00 PM			Practical Speed and Elongation Measurement, Using Encoders, for a Temper Mill
	4:00 0PM			On-line Realizations of DynAMic Gap Detection and Control for Levitated Industrial Steel Plate Conveyance System
ILDC#1	04:30 PM	Monday	6	JAM Detector for Steel Pickling Lines Using Machine Vision
	02:00 PM			A Quality Inspection System for Resistance SeAM Welds in Endless Production of Steel Coils Using Anomaly Detection Techniques
	02:30 PM			Robustness against Defocusing of Images in Optical Watermarking Technique
	03:00 PM			A new world of display application produced by a super-large-area Luminous Array Film based on the film and plasma technologies
	04:00 PM			MuLDiROH: A Multi-View Display Using a QDA screen with Multiple CAMeras for Human Representation
IACC#7	04:30 PM	Monday	7	DeveloAMent of Drain Current Model for Oxide Semiconductor Thin Film Transistors
	02:00 PM			DeveloAMent of 480-fps LED display by use of spatiotemporal mapping
	02:30 PM			An Optimal Observer Design for 2-inertia System via ILQ Design Method
	03:00 PM			Control of an Ultra High Speed Centrifugal Compressor for the Air Management of Fuel Cell Systems
	04:00 PM			A djustable Frequency and Current High Frequency Quasi-Resonant Inverter with Series Connected power MOSFET for Induction Heating
Mining#1	04:30 PM	Monday	8	Reduced-Order Active Disturbance Rejection Control for Multivariable Chemical Processes
	02:00 PM			AMmonia Storage Feedback Control to Improve Urea Usage and NOx Efficiency with Experimental Demonstration
	02:30 PM			Successful Facility Wide Energy Management System Addition at a Minerals Processing Plant
	03:00 PM			Are Lithium Ion Cells Intrinsically Safe?
IACC#4	04:00 PM	2-Monday	9	Increasing Long Belt-Conveyors Availability by Using Fault-Resilient Medium Voltage AC Drives: Part II – Reliability and Maintenance Assessment
	04:30 PM			Measurements of Medium Frequency Propagation Characteristics of a Transmission line in an Underground Coal Mine
	05:00 PM			Introducing a Bypass-Backup Connection System for Current Mode Copper Electrowinning Intercell Bar
	05:30 PM			Optimized Resolution-Level for Input-Output Control of Three Phase VS WM AC-DC Converters
	02:00 PM			An Analysis of Direct Power Control for Three Phase AC-DC Converter
	02:30 PM			Optimization on Current-Sharing for Paralleled DC-DC Boost Converters through ParAMeter Estimation
ESC#1	03:00 PM	Monday	10	Asymmetrical Transistor-ClAMped H-Bridge Cascaded Multilevel Inverter
	04:00 PM			Behavioral Analysis of a Boost Converter with High Performance Source Filter and a Fractional-Order PID Controller
	04:30 PM			Ćuk Topology Based Single Switch Single Phase High Power Quality AC Voltage Controller
	05:00 PM			An Interconnection-DAMPing-Assignment Passivity-Based Controller for a DC-DC Boost Converter with a Constant Power Load
	05:30 PM			Preliminarily Implementation of Microgrid with Photovoltaic and Microturbine for Stand Alone Operation
	02:00 PM			A Novel Hybrid Approach Based on Wavelet Transform and Fuzzy ARTMAP Network for Predicting Wind Farm Power Production
	02:30 PM			Particle Swarm Optimization Based Non-Intrusive Demand Monitoring and Load Identification in Smart Meters
03:00 PM	MPPT Photovoltaic Wide Load-Range ZVS Phase-Shift Full-Bridge Charger with DC-link Current Regulation			
04:00 PM	An Energy-Savings Evaluation Method to Justify Automatic Power Factor Compensators on Marine Vessels			
04:30 PM	Energy-Efficient Electronic Light Sources for Marine Vessels			
05:00 PM	Design and Implementation of a Prototype Underwater Turbine Generator System for Renewable Micro Hydro Power Energy			

表二、論文發表議程(續)

ILDC#2	08:00 AM	Tuesday	11	Study of a Series-Resonant Inverter in DCM for the Supply of a DBD Excimer LAMP
	08:30 AM			Flicking Light Design for Stage Lighting with HPS LAMP
	09:00 AM			A Universal Programmable Start Dimming Ballast Platform
	09:30 AM			Dimmable High Power Factor Single-Stage Electronic Ballast for Electroless Fluorescent LAMPS
	10:30 AM			HID Electronic Ballast based on Bi-Flyback Inverter Topology
	11:00 AM			Modified Flyback for Automotive HID LAMPS Supply
PSP/C&S	11:30 AM	Tuesday	12	Automatic LAMP detection technique for electronic ballasts for fluorescent LAMPS
	08:00 AM			Choosing the Correct Transfer Switch
	08:30 AM			A Protective Relay Voting Scheme Utilizing Automation Controllers
	09:00 AM			Synchronized Rotor Angle Measurement of Synchronous Machines
	09:30 AM			Using GOOSE Messages in a Main-Tie-Main Scheme
	10:30 AM			An Experimental Implementation of d-q axis Wavelet Packet Transform Hybrid Technique for 3 ϕ Power Transformer Protection
IACC#5	11:00 AM	Tuesday	13	Digital Multi-Relay Protection for Micro-Grid Systems
	08:00 AM			Open Door Arc Flash Calculations Related to Closed-Door Applications
	08:30 AM			Improving Energy Efficiency of Cyber Physical Systems using Multi Agent Based Control
	09:00 AM			Diagnosis of Turbine Generator Typical Faults by Shaft Voltages
	09:30 AM			DynAMic Modeling of Transient Response of Direct Methanol Fuel Cell
	10:30 AM			Active Power Management of a Super capacitor-Battery Hybrid Energy Storage System for Standalone Operation of DFIG based Wind Turbines
Mining#2	11:30 AM	Tuesday	14	Maximum Power Points Tracking of Doubly-Fed Induction Generator Wind Power System
	08:00 AM			Implementation of Adaptive Filter Based Control Algorithm for Distribution Static Compensator
	08:30 AM			CONTROL OF MICROGRID-CONNECTED PV-SOURCES
	09:00 AM			Measurements and Modeling of Through-the-Earth Communications for Coal Mines
	09:30 AM			Wireless Machine Guard Monitoring System
	10:30 AM			Detection of Incipient Cavitation Phenomenon in a Centrifugal Pump
PSE#3	08:00 AM	Tuesday	15	Measuring the Effects of Lighting Distribution on Walking Speed and Head Pitch with Wearable Inertial Measurement Units
	08:30 AM			An Overview of Underground Coal Miner Electronic Tracking System Technologies
	09:00 AM			ELECTRICAL DISTRIBUTION FOR A RELIABLE DATA CENTER
	09:30 AM			A Functional Sensor Placement Optimization Method for Power Systems Health Monitoring
	10:30 AM			ECODESIGN OF EVER NET-LOAD MICROGRIDS
	02:00 PM			Implementation of Real-time Optimal Power Flow Management System on Hybrid AC/DC Smart Microgrid
PSE#2	03:00 PM	Tuesday	16	A Novel Approach to Impedance-Based Fault Location for High Voltage Cables
	02:00 PM			SIMPLIFIED ARC-FAULT MODEL: THE REDUCTION FACTOR OF THE ARC CURRENT
	02:30 PM			Experimental Evaluation of the Harmonic Behavior of LED Light Bulb
	03:00 PM			ENERGY PERFORMANCE OF INTERIOR LIGHTING SYSTEMS
	04:00 PM			Transient Recovery Voltages Caused by Capacitor Switching in Wind Power Plants
	04:30 PM			Power Flow Control of Offshore Wind Farms Fed to Power Grids Using An HVDC System
ILDC#3	05:00 PM	Tuesday	17	Power System Harmonic Analysis in Wind Power Plants- Part I: Study Methodology and Techniques
	02:00 PM			Off-line LED driver for street lighting with an optimized cascade structure
	02:30 PM			L-Cp Approximation of a Phase-Controlled LCsCp Resonant Converter to Study the DynAMic Response
	03:00 PM			An Optimized Methodology for LED Lighting Systems Designers
	04:00 PM			Optimal LED Array Combination for Single-loop CCM Boost Driver
	04:30 PM			Optimal LED Array Combination for Peak Current Mode DCM Boost Driver
IACC#1	05:00 PM	Tuesday	18	Optimal LED Array Combination for Dual-loop CCM Boost Driver
	02:00 PM			Independent vector control of Two Induction Motor Drives Fed by a Four-Leg Inverter with compensation method of capacitor voltage
	02:30 PM			Improved Stator Flux Estimator Based on a Programmable LPF for Sensorless Vector Control of Induction Motors
	03:00 PM			A Direct Compensation Scheme of the Dead-Time Effect in PWM-VSI
	04:00 PM			A DTC-SVM Method with Flux Observer Based on Rotor Position and Current Model for SAMSM Control System
	04:30 PM			Demagnetization Control for Reliable Flux Weakening Control in AM Synchronous Machine
PSE#4	05:00 PM	Tuesday	19	Torque Control of Induction Motor Drives Based On One-Cycle Control Method
	02:00 PM			Performance Analysis and Optimization of Digital PWM Controllers for Surface-Mounted AMSM Drives
	02:30 PM			Stability Improvement of a Grid-Connected Offshore Wind Farm Using a Superconducting Magnetic Energy Storage
	03:00 PM			MODERNIZATION OF SUBSTATIONS ELECTRICAL IN THE INDUSTRY PETROCHEMICAL IN MEXICO
	04:00 PM			Evaluating the Long-term Impact of a Continuously Increasing Harmonic Load Demand on Feeder Level Voltage Distortion
	04:30 PM			Intelligent Demand Response Scheme for Energy Management of Industrial Systems
IACC#6	05:00 PM	Tuesday	20	Using General Synchronous Machine Theory to integrate PLL Controller DynAMics into a Static Power Electronic Converter Model
	02:00 PM			A Novel Soft Switched Auxiliary Resonant Circuit of a PFC ZVT-PWM Boost Converter for an Integrated Power Multi-chips Module Fabrication
	02:30 PM			Independent Speed and Position Vector Control of Two Permanent Magnet Synchronous Motors Fed by a Five-leg Inverter with Space Vector Modulation
	03:00 PM			Advanced Hybrid Dual Loop Control for Multi-phases Interleaved Floating DC-DC Converter for Fuel Cell Applications
	04:00 PM			A Large Signal Stabilizer for High DAMping Performance of PWM Load Converter with input LCL-Filter
	04:30 PM			AC Side Switched Active Filter Based High Performance Three-Phase Boost Rectification with Energy Recovery Snubber
	05:00 PM			A Space-Vector Modulated Sensorless Direct-Torque Control for Direct-Drive AMSC Wind Turbines
				Control of Five-level Flying Capacitor Based Active-Neutral-Point-CLAMPed Converter for Grid Connected Wind Energy Applications

表二、論文發表議程(續)

ILDC#4	08:00 AM	Wednesday	21	UV- LED and plasma light sources for curing applications
	08:30 AM			State-of-the art output-measurement techniques for polychromatic ultra-violet LAMps
	09:00 AM			ExcilAMps: state of the art and application perspectives
	09:30 AM			Water Treatment Applications of Novel Ultraviolet Sources
	10:30 AM			Influence of the Power Supply over the UV Radiation of DBD ExcilAMps: Current-Mode Approach
11:00 AM	Physics-based Model for a Water-Wall High-Temperature Arc LAMP using Finite Volume Method			
IACC#2	08:00 AM	Wednesday	22	Newton-Raphson Based Computation of id in the Field Weakening Region of IAM Motor Incorporating the Stator Resistance to Improve the Performance
	08:30 AM			Robust Speed Control of Induction Motor Drives Employing First-order Auto-disturbance Rejection Controllers
	09:00 AM			Incipient Turn Fault Detection and Condition Monitoring of Induction Machine using Analytical Wavelet Transform
	09:30 AM			Magnetic Levitation Tests of a Bearingless Motor Based on d-q Axis Current Control
	10:30 AM			Wavelet Based Prognosis for Fault Tolerant Control of Induction Motor with Stator and Speed Sensor Faults
	11:00 AM			Dead-Time Effect and Current Regulation Quality Analysis for a Sliding-Mode Position Observer-Based Sensorless IAMSM Drives
11:30 AM	Design and Analysis of Bearingless Switched Reluctance Motors with Decoupled Suspending Force Control			
EPC#1	08:00 AM	Wednesday	23	Integrated Diesel Engine Emission Control using Plasma Combined Hybrid System
	08:30 AM			Investigation of humidity effect on atmospheric plasma decomposition of toxic gas with direct optical measurement of OH radicals
	09:00 AM			Measurement of OH radical in the effluent of an atmospheric-pressure helium plasma jet
	09:30 AM			Electrically enforced condensation related to effects of the corona discharge
	10:30 AM			Characteristics of corona discharge from multi-pin electrodes
11:00 AM	Smart Home Precipitator for Biomass-Furnaces			
ESC#2	08:00 AM	Wednesday	24	Investigation of Grid-connected Photovoltaic Generation System Applied for Urban Rail Transit Energy-savings
	08:30 AM			Configure Methodology of on-board Super-capacitor Array for Recycling Regenerative Braking Energy of URT Vehicles
	09:00 AM			A Discrete Point Estimate Method for Probabilistic Load Flow Based on the Measured Data of Wind Power
	09:30 AM			A Study of DC-AC Inverter Optimization for Photovoltaic Power Generation System
	10:30 AM			A Novel Power System Defense Plan to Cope with 30% Wind Power Penetration in the Isolated Penghu System
	11:00 AM			Optimization of the wind turbine layout and transmission system planning for a large-scale offshore wind farm by AI technology
Student Session	08:00 AM	Wednesday	Special Session	: DC/DC High Voltage Multilevel Converter in Double Ladder Topology
	08:25 AM			Robust Control for Switched Systems with Parametric Uncertainties
	08:50 AM			On Predictive Control for Hybrid Systems Subject to Time Delays
	09:15 AM			Investigation of Ground Wire's Twisted off and its Repairing Methods
	09:55 AM			Active Power Management of a Super-capacitor-Battery Hybrid Energy
	10:20 AM			Converting Waste Heat from Automobiles to Electrical Energy
10:45 AM	FPGA Implementation of a Frequency Adaptive Three-Phase Sequence Detector Synchronization System for Real Time Power Systems Applications			
11:10 AM	Automatic Inspection of Outdoor Insulators Using Digital Image Processing and Intelligent Techniques			
11:35 AM	Synchronized Sequence of Event Recorder - An Automation Controller Approach			
PSE#5	08:00 AM	Wednesday	25	Carrier-Based PWM and Space Vector Modulation of Three Single Phase PFC Rectifier as Generator-Side Converter of AM WECS
	08:30 AM			Nonlinear ParAMeter Optimization of FACTS Controller via Real-Time Digital Simulator
	09:00 AM			Multi-Mode Vibration-Based Power Generation for Automobiles
	09:30 AM			Optimal Placement and Sizing of Multiple DGs in a Practical Distribution System
IACC#3	02:00 PM	Wednesday	26	A Fuzzy Supervisory Control for Induction Machines Operating from a DC Microgrid
	02:30 PM			Fuzzy Logic Controller Based SEPIC Converter of Maximum Power Point Tracking
	03:00 PM			Optimal Charging of Plug-in Electric Vehicles for a Car Park Infrastructure
	04:00 PM			On Line Trained Fuzzy Logic and Adaptive Continuous Wavelet Transform Based High Precision Fault Detection of IM with Broken Rotor Bars
	04:30 PM			Adaptive Fuzzy Sliding-Mode Control into Chattering-Free Induction Motor Drive
	05:00 PM			Fuzzy Logic Based Efficiency Optimization and Improvement of DynAMic Performance of IAM Synchronous Motor Drive
05:30 PM	Novel Intelligent Fault-Tolerant Adaptive Control Methodology for Next Generation Energy Systems			
ILDC#5	02:00 PM	Wednesday	27	High-power-factor off-line power supplies for LED lighting
	03:00 PM			Impact of the Power Supply Mode on OLED Devices
	04:00 PM			Reducing Storage Capacitance in Off-Line LED Power Supplies by Using Integrated Converters
	04:30 PM			Optical Approaches for High-efficient LED SSL
	05:30 PM			Light emission of electroluminescent LAMps under different operating conditions
EPC#2	02:00 PM	Wednesday	28	Enhancement of Plasma Bacterial Inactivation by Ferrous Iron Supplementation
	02:30 PM			Analysis of the inactivation mechanism of bacteriophage ϕ X174 by atmospheric pressure discharge plasma
	03:00 PM			Electroless Nickel Plating on Fluoroplastics Films Using Atmospheric Pressure Nonthermal Plasma Graft Polymerization Process
	04:00 PM			The electric power generation at low temperature gradients
	04:30 PM			DC ionizer using opposed-type corona electrodes for high speed charge elimination
	05:00 PM			Measurement of Atmospheric Ionic Current
05:30 PM	Effects of electric field generated by micro scaled electrode on pool boiling			
PSE#6	02:00 PM	Wednesday	29	Stability Improvement of a DFIG-based Offshore Wind Farm Fed to a Multi-Machine Power System Using a Static VAR Compensator
	02:30 PM			A Frequency Adaptive Three-Phase Sequence Detector Synchronization System for Power Systems Applications
	03:00 PM			Nonlinear Fuzzy Model for Operating Condition Evaluation of Power Cables in Tunnels
	03:30 PM			Power System Harmonic Analysis in Wind Power Plants – Part II: Practical Experiences and Mitigation Methods

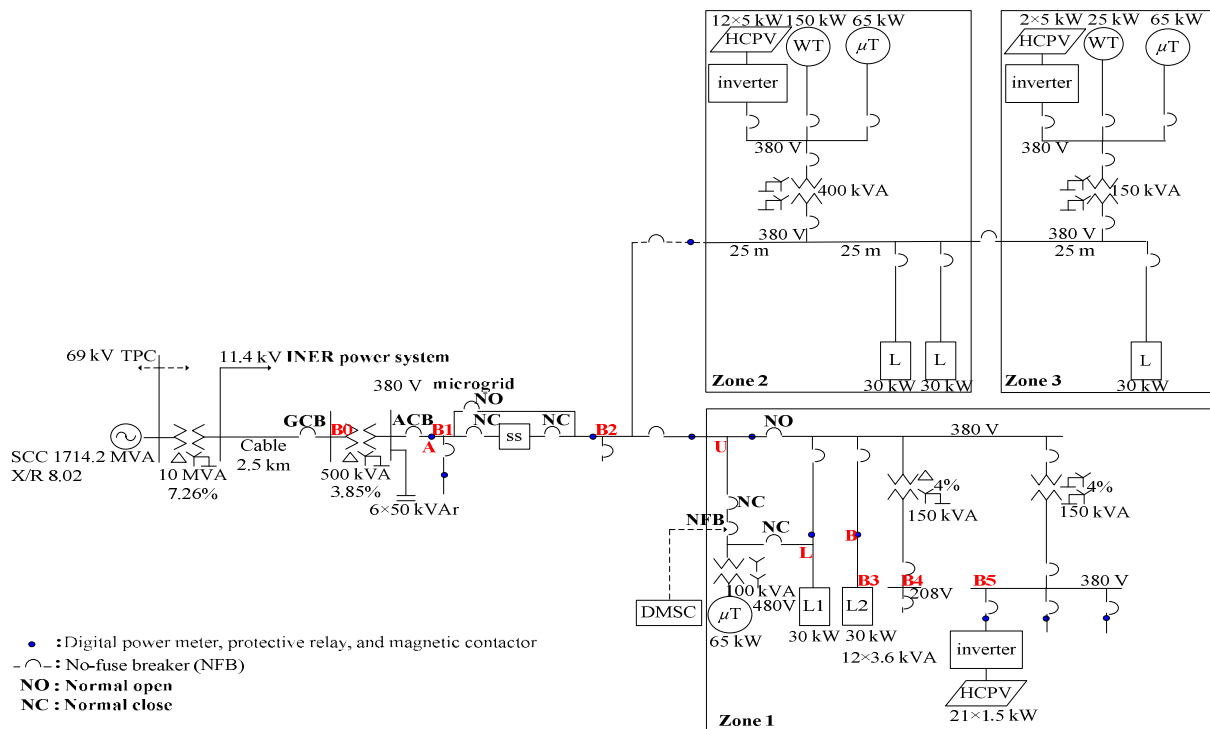
於參加會議第一天註冊報到，與台灣國內各大學校電力與電子相關領域之教授相互進行技術交流，如圖一所示，接著在歡迎會(Welcome Reception)會場進行會議議程說明，並且與美國德州阿靈頓分校電機系李偉仁教授共同討論智慧電網國際發展現況，以及提交論文發表簡報。本次論文於 10/8 在 Energy Systems Committee 會議上發表，當日參與該會議人數約 15 人，發表過程如圖二，主要說明核研所微型電網建置及系統架構，如圖三所示，以及分析聚光型太陽能發電 HCPV 與微渦輪機之併網衝擊，應用電力系統軟體模擬市電故障之暫態響應，並於微電網孤島運轉下進行馬達負載啓動暫態模擬，以驗證微電網於市電併網與孤島之運轉電壓皆在市電併聯換流器之額定範圍內，可確保含再生能源發電之微電網供電穩定。於簡報結束後，僅一位與會者對本論文所提之結論提出建議，利用微渦輪機來進行微電網孤島運轉將不是維持微電網穩定運轉之唯一解決方式，因此本所現階段亦已將儲能系統納入開發，除了可用來調整再生能源之輸出功率，與調整微電網電壓與功率因數等電力品質外，亦可解決市電併網與孤島間平穩切換之暫態問題。會議結束後與會議主持人更進一步討論微電網相關研究議題，如圖四所示，並且建議本所可將儲能之測試結果納入本篇論文，繼續發表具有期刊水準之論文。



圖一、與國內各大學校教授註冊報到



圖二、論文發表過程



圖三、核研所微型電網建置及系統架構



圖四、與會議主持人討論微電網技術開發

圖五為此次會議期間參加電力系統相關教育訓練的課程，包括 Power System Studies for Wind Power Plants 及 Distribution Volt/VAR Management Strategies。大會亦特別安排一場專題演講，邀請到美國太空總署(NASA)哥達太空飛行中心(Goddard Space Flight Center) 之哈伯太空望遠鏡(Hubble Space Telescope)的光學總工程師(Optics Lead Engineer) H. John Wood 博士，針對哈柏計畫與如何搶修太空望遠鏡所需工程技術進行探討，如圖六所示。除此之外，圖七為 ETAP 主辦之歡迎會與工程師分享交流 ETAP 電力系統軟體模擬程式的使用經驗，以及與美國 GE 公司針對微電網之相關產業進行交流。



圖五、教育訓練課程



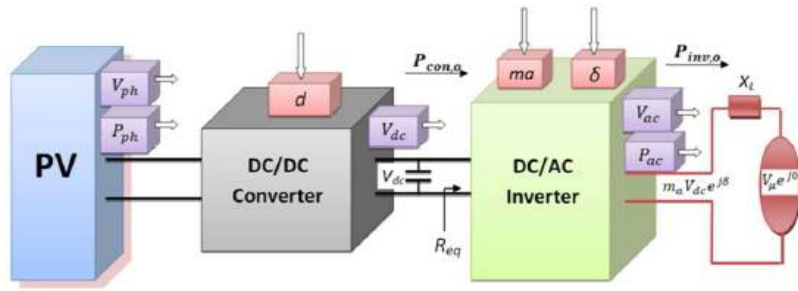
圖六、專題演講



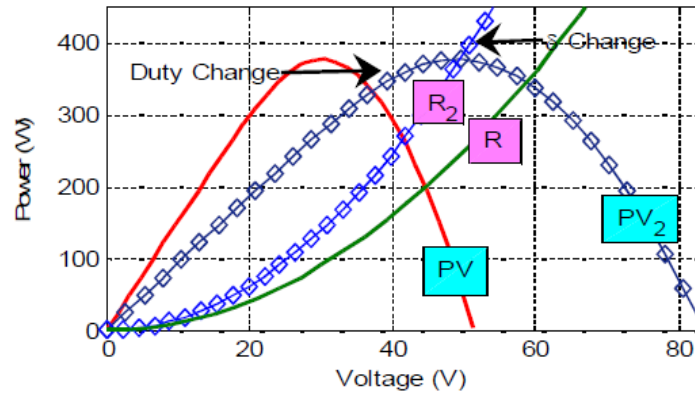
圖七、ETAP 歡迎會與 GE 公司討論微電網產業

1. 微電網電力轉換控制技術

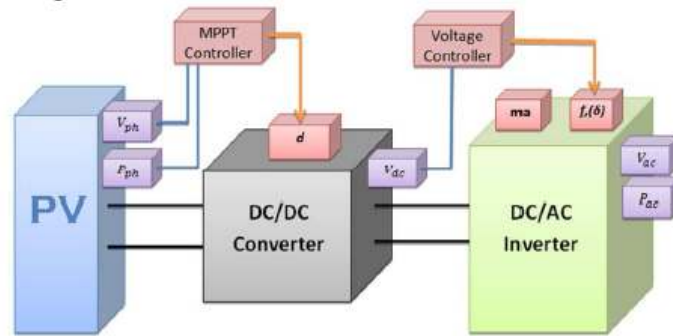
傳統的再生能源電力轉換控制器大多只做最大功率追蹤(MPPT)與直流端電壓調整功能，圖八為傳統太陽能電力轉換系統架構，藉由調整 DC/DC 轉換器責任週期比(d)與 DC/AC 變流器電壓相位(δ)，可分別改變直流端電壓與輸出功率，以完成轉換器最大功率追蹤，其直流電壓與功率特性曲線，如圖九所示。當微電網於孤島運轉下，為了增加再生能源發電佔比，同時維持發電與負載平衡，其電力轉換器必須具備頻率下降控制(Droop)與實功率調控的能力，圖十為混合式的電力轉換控制器，於系統必要情況下，短暫脫離最大功率追蹤控制，以參與系統頻率調整功能。由於 MPPT 與 Droop 控制架構不同，且在任一時間只能作 MPPT 或實功率調控，當上述控制模式切換過程中，若控制器的狀態初值輸入不當，將會造成很大的暫態現象。因此可針對微電網專用電力轉換系統來開發通用型控制器，如圖十一所示，不需外部切換命令改變控制架構，可避免模式切換之暫態現象，可作為本所未來開發電力電子轉換器控制架構之參考。



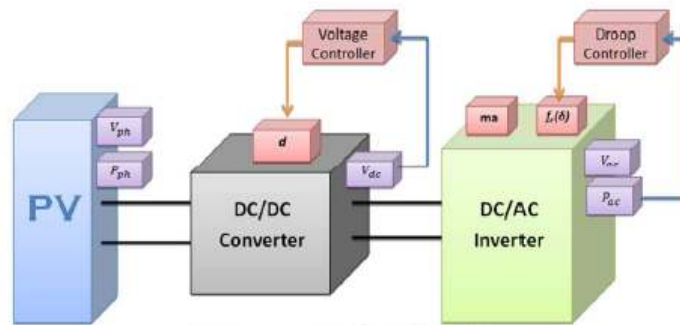
圖八、傳統太陽能電力轉換系統架構



圖九、轉換器直流電壓與功率特性曲線

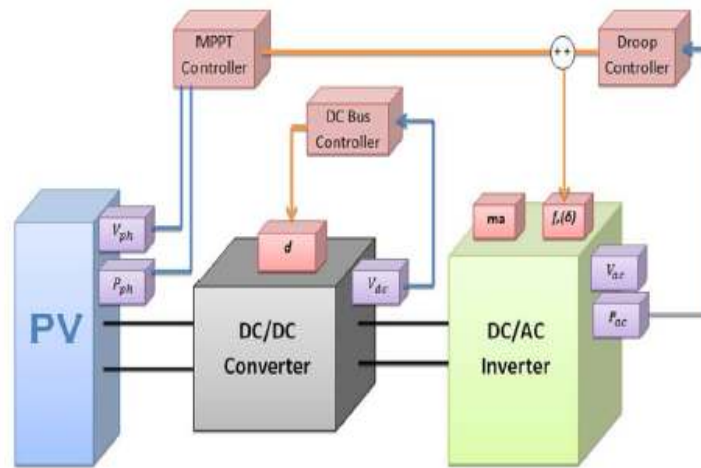


a. MPP control configuration.



b. Droop control configuration.

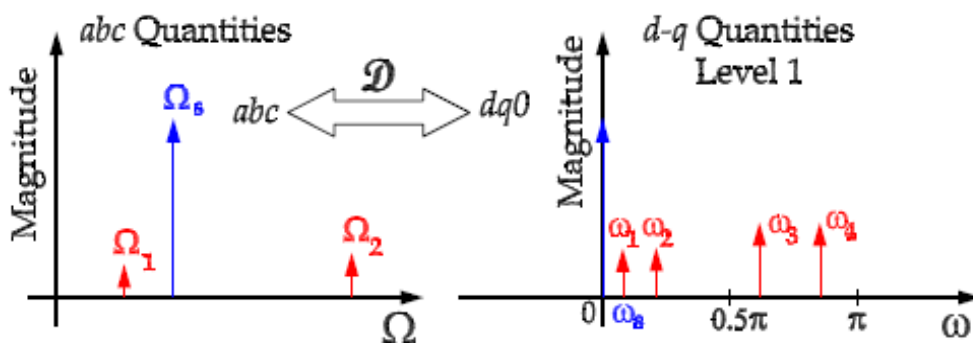
圖十、混合式電力轉換控制系統架構



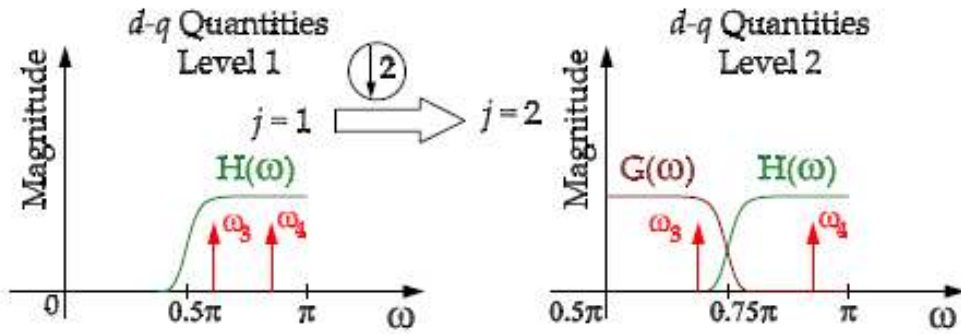
圖十一、通用式電力轉換控制系統架構

2. 微電網故障偵測與保護技術

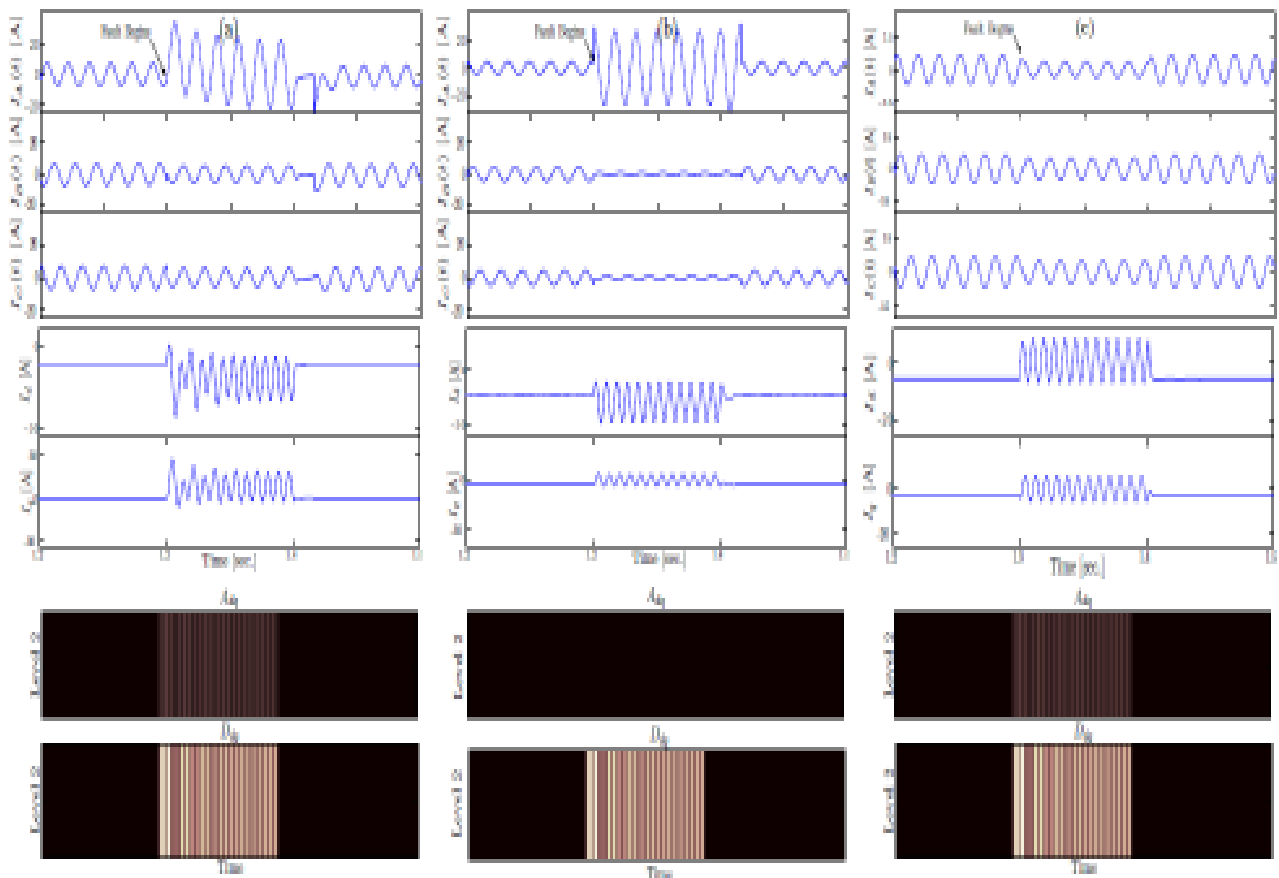
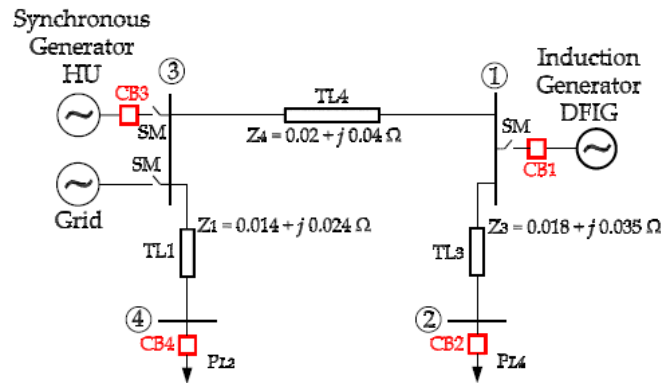
微電網的暫態擾動波形通常具有極短暫、無週期、不固定、高頻振盪與快速消失等特性，因此採用傳統的傅利葉、Z 等波形轉換可能無法確切量測到故障訊號，而小波轉換不須考慮波形的週期性，即可正確的處理故障波形。小波轉換形式包括連續、離散與封包波形轉換，使用封包轉換(Wavelet Packet Transformation, WPT)的優點為可擷取到高解析度的時間頻率成份。在微電網中大部份的三相分散式電源藉由電力電子轉換器相連，且轉換為 dq 軸來進行電流控制，因此可利用 dq 軸 WPT 轉換來重置 abc 相頻率成份分析，如圖十二所示。當微電網發生故障後，故障電流波形將會在 dq 軸產生較高頻率成份，以及非 0 的 WPT 係數，如圖十三，如此可用來辨識故障擾動訊號。圖十四所示為範例系統匯流排 3 發生單相接地故障之風機、水力發電與負載輸出端所量測到的 dq 軸 WPT 電流頻譜分析，此故障偵測與保護方式亦可與本所目前所開發具有 Scalability 及 Adaptability 之數位保護系統進行比較。



圖十二、dq 軸 WPT 轉換



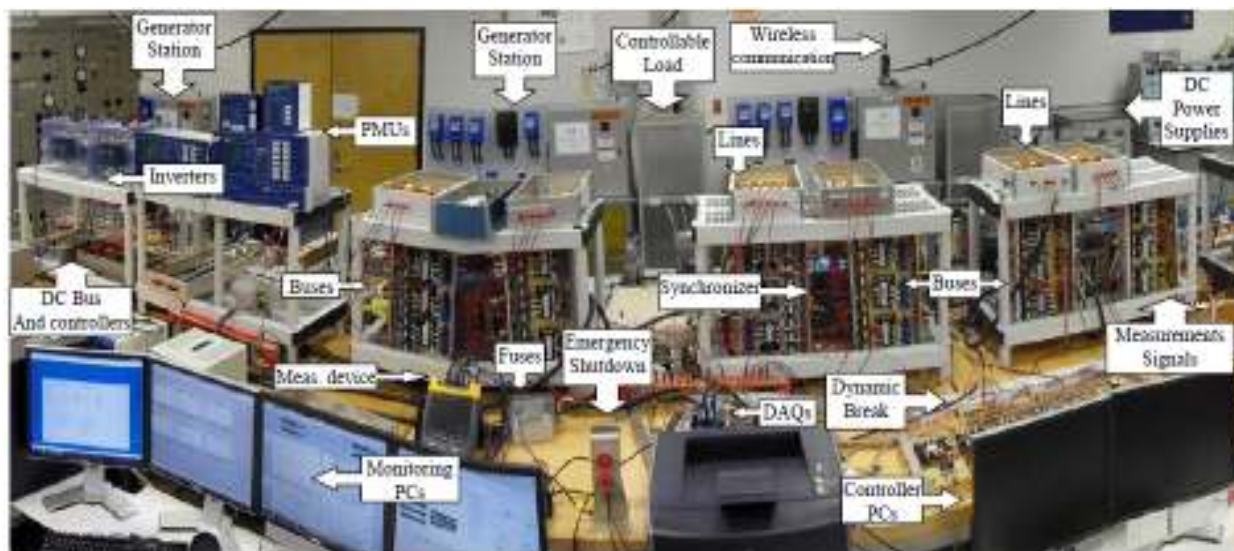
圖十三、dq 軸 WPT 轉換故障辨識



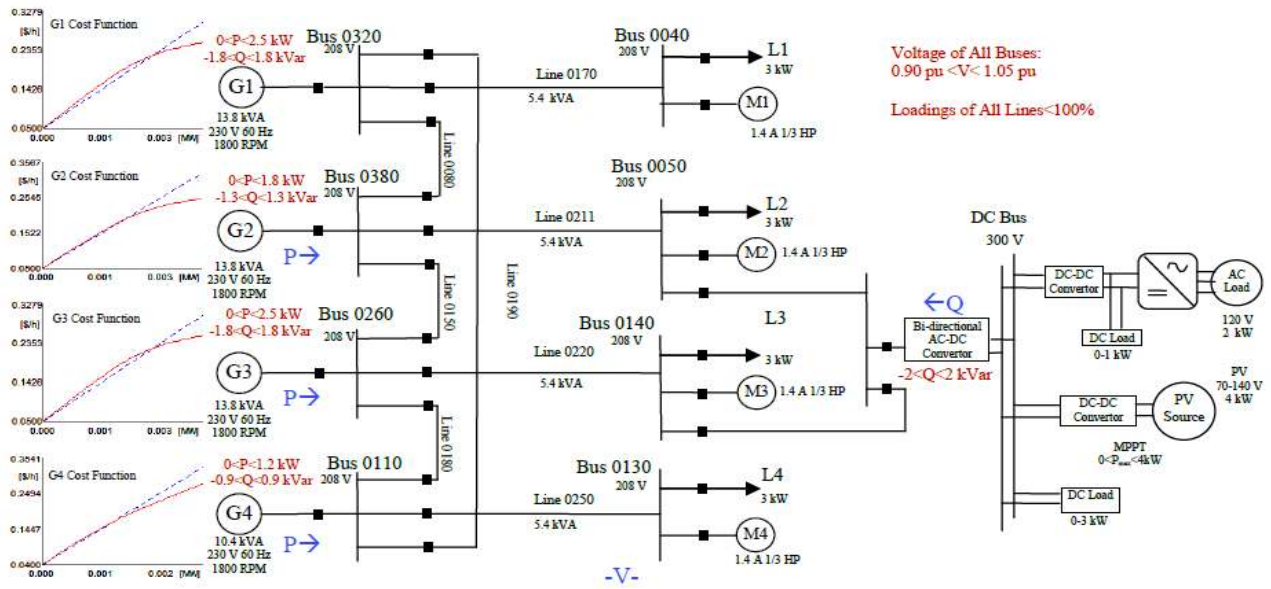
圖十四、範例系統故障波形分析

3. 微電網即時最佳潮流能源管理技術

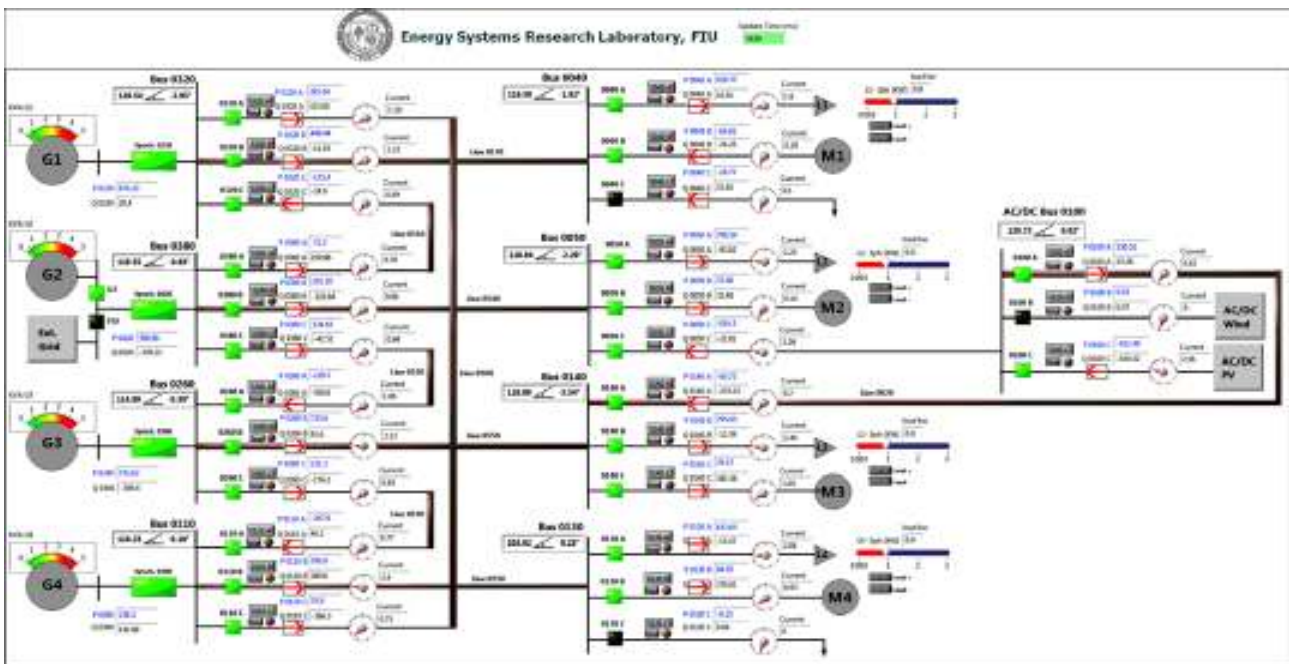
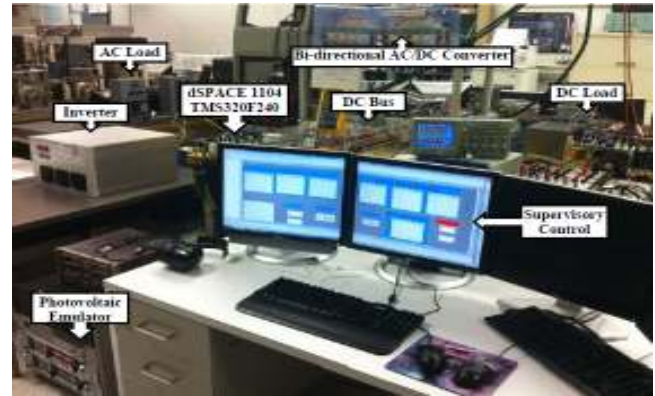
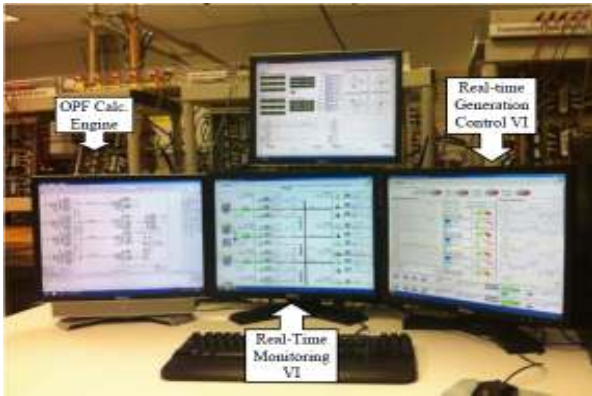
圖十五為美國 Florida International University 的能源系統研究實驗室(Energy Systems Research Laboratory)所建置之交/直流智慧型微電網硬體設施與通訊控制系統架構，交流電網包括四台交流發電機、激磁系統、可控負載箱、不同長度之 π 型傳輸線，以環狀連結，並且利用保險絲做為線路保護元件。其中發電機 G1 用來維持系統頻率 60Hz，另外三台發電機可運轉在不同輸出功率。直流電網則包括太陽能發電系統、直流與交流負載，藉由雙向交/直電力轉換器與交流電網相連，該系統交/直流單線如圖十六所示。圖十七為利用 LabVIEW 所完成之微電網即時量測監控系統(SCADA)平台，並且使用 Power Factory DIgSILENT 軟體來讀取此平台上的開關狀態、系統電壓與電力潮流等資訊，因此考量發電量與匯流排電壓運轉等限制條件，分別採用內點法(interior point method)與線性規劃法(linear programming)求解交流與直流電網之最小發電成本與線路損失之目標函數，用以決定找出每台發電機所需輸出功率，實現即時最佳潮流能源管理技術。本所目前即以即時最佳電力潮流為基礎，整合負載與再生能源發電預測，進行需量反應控制，開發一完整之智慧型微電網能源管理平台，與國際上所發展之智慧電網技術將可並駕齊驅。



圖十五、交/直流智慧型微電網硬體設施與通訊控制系統架構



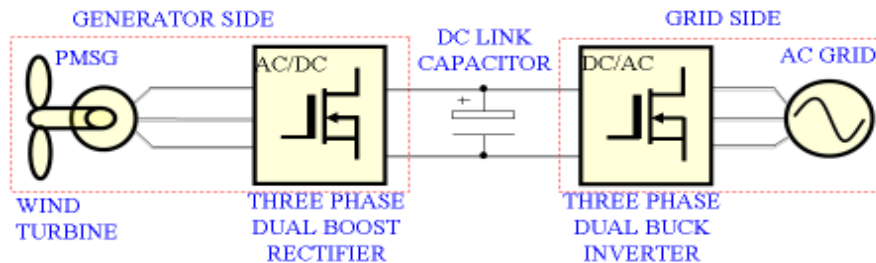
圖十六、交/直流智慧型微電網系統單線圖



圖十七、智慧型微電網即時量測監控系統(SCADA)

(二) 赴維吉尼亞理工大學能源電子中心進行實習

美國維吉尼亞理工學院未來能源電子中心為發展高效率再生能源電力電子轉換技術之國際領先團隊，本所與其合作計畫研究主要目標為開發高效率、高電力品質及低成本之三相 5 kW 背對背 AC/DC/AC 風能電力轉換系統，如圖十八所示：



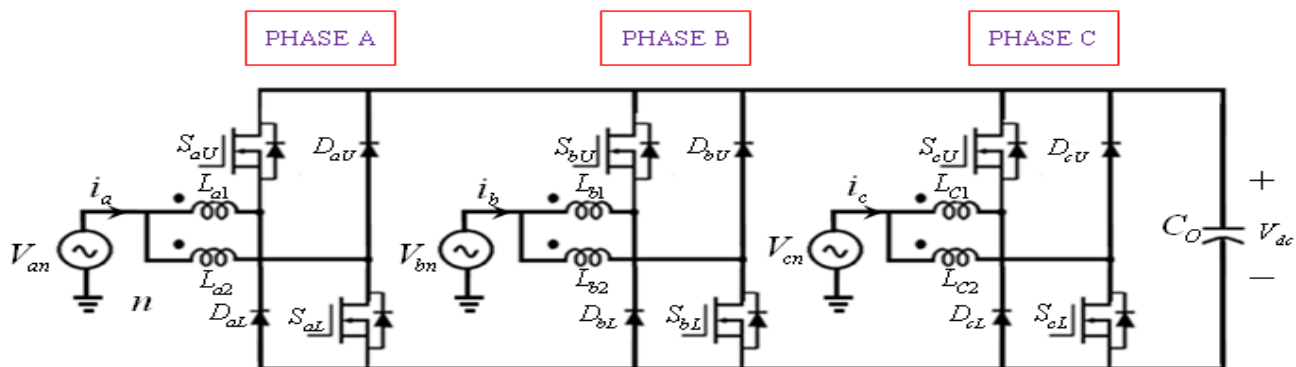
圖十八、背對背 AC/DC/AC 風能電力轉換系統

此系統適用於住宅及商用之變速型風力發電機，可透過適當的控制及應用於智慧電網，該風能轉換系統包括發電端之 AC/DC 昇壓型整流器，以及與市電併網之 DC/AC 降壓型換流器，整體風能電力轉換系統具有下列特色：

- 風機與發電機間無需變速裝置，可降低風機維護成本及改善系統可靠。
- 永磁式發電機可允許風機運轉在低轉速。
- 在發電機側之電力轉換器具有最大功率追蹤功能，可允許風機運轉在各種不同風速下截取最大風能。
- 市電併網側之電力轉換器可操作在併網與孤島模式。
- 電力轉換器之交流側為單位功率因數，因此可降低功率轉換損失而提升系統運轉效率。

圖十九為三相交/直雙向電力轉換器主電力級系統架構，其規格如表三。此系統架構特色包括：

- 可使用 MOSFET 來取代 IGBT 以降低開關元件關閉損失及導通損失。
- 利用快速反向恢復之二極體可降低開關元件打開損失。
- 因 MOSFET 之導通壓降低，且結合快速反向恢復二極體，可提高轉換效率。
- 無需延時切換即可產生較理想波形而提供較好電力品質。
- 不需使用 MOSFET 本體二極體。
- 沒有擊穿可能性因此具有高可靠度。
- 於高頻切換使用較小輸出電感可實現快速控制迴路之設計。



TOPOLOGY: THREE PHASE BRIDGELESS BOOST WITHOUT SPLIT CAPACITOR

圖十九、三相交/直雙向電力轉換器

表三、三相交/直雙向電力轉換器規格

Evaluation Item	Unit	Development Target
Output Frequency	Hz	60
Output Voltage	V _{DC}	120Y208
Max. Efficiency	%	Over 95
MPPT Efficiency	%	99.5
Input Current THD	%	3.0
Input Power Factor	%	99
Rated Power	kW	5.0
Maximum Power	kW	5.3
OV Protection		Yes

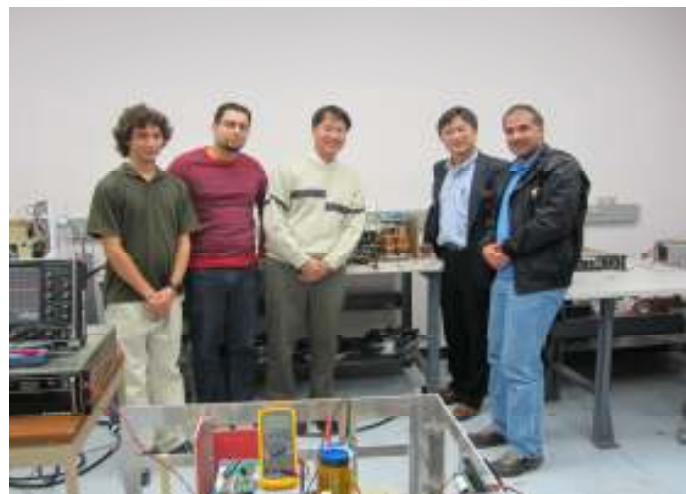
本次赴維吉尼亞理工大學能源電子中心進行新世代高效率電能轉換系統開發實習目的即在學習上述風力發電轉換系統設計，包括具電流控制、MPPT 及直流匯流排電壓雙迴路控制之電能轉換電路，開發無感測控制演算法，以及進行系統整合測試。本計畫團隊包括 Jason Lai 教授, Ahmed Koran, Thomas LaBella 和 Zakariya Dalala，如圖二十所示，首先第一天由 Ahmed Koran 與 Zakariya Dalala 介紹風力發電整體系統架構，並且利用建模方式來設計控制器，如圖二十一。接著第二天介紹如何實現硬體，如圖二十二。第三天則由 Thomas LaBella 說明如何撰寫 DSP 程式，圖二十三為完成各種控制功能與進行波形實測，最後驗證所開發的控制器功能。



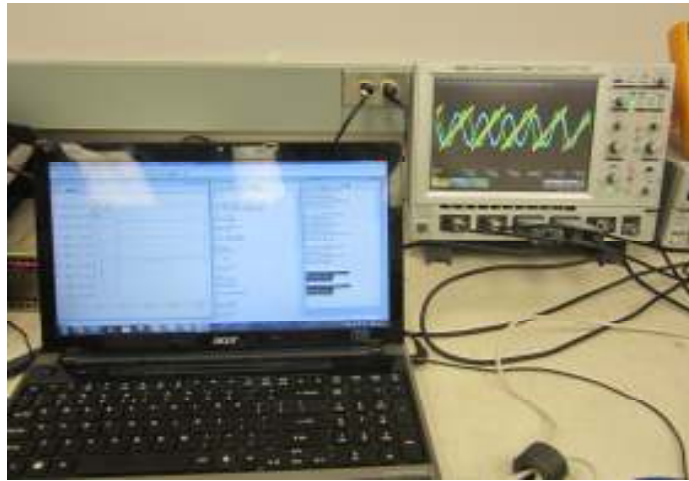
圖二十、風力發電轉換系統研究團隊



圖二十一、風力發電轉換系統教育訓練



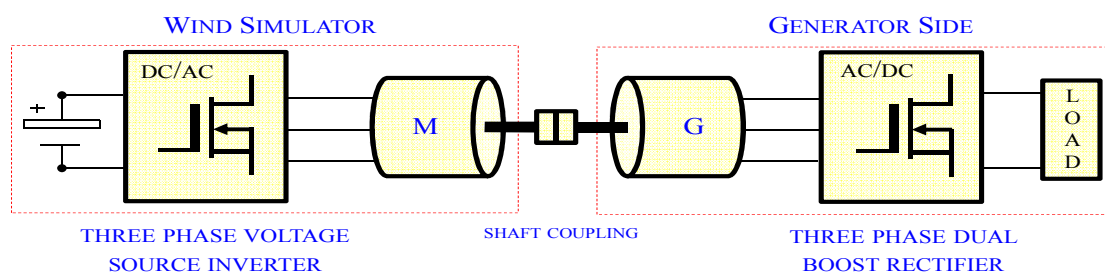
圖二十二、風力發電轉換系統硬體設計



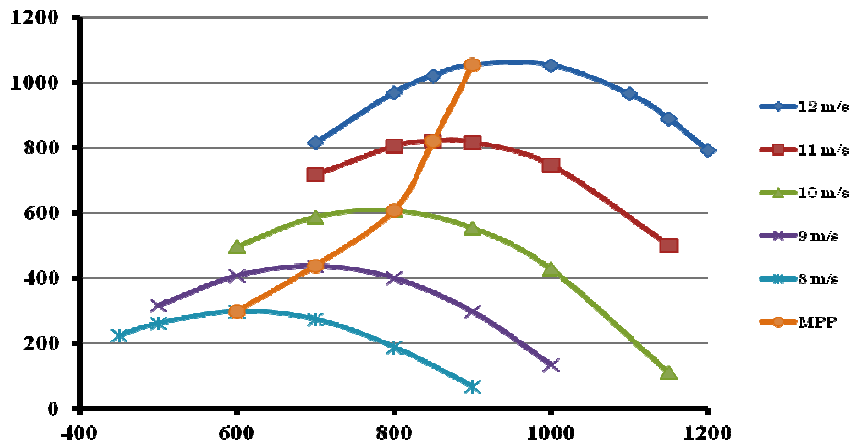
圖二十三、風力發電轉換系統測試

1. 風力發電模擬系統

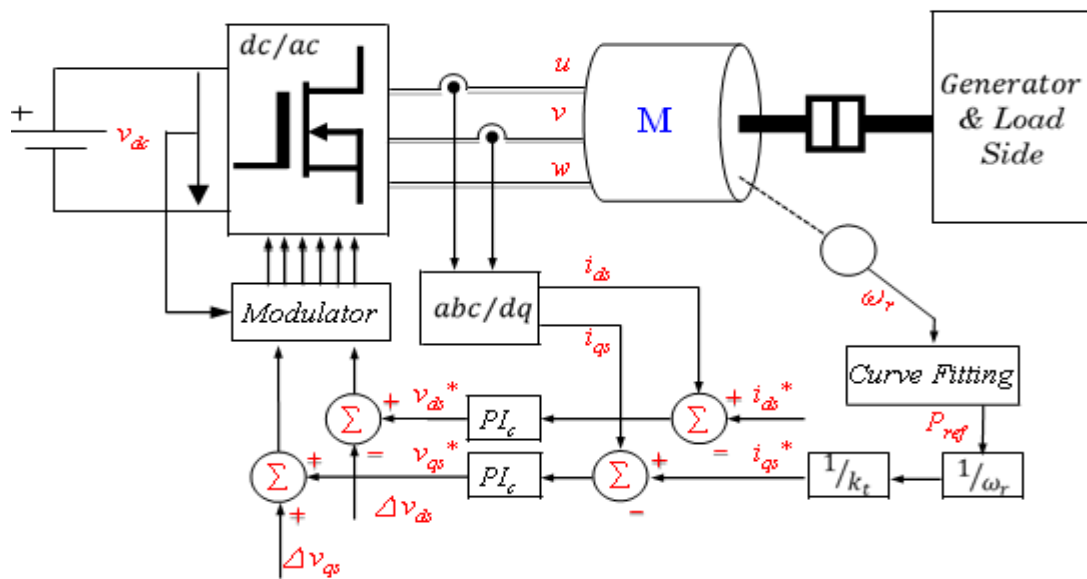
爲了測試風能轉換系統之控制功能與性能，該計畫建構風力發電模擬器，其系統架構如圖二十四所示，包括直流電源供應器，並且利用三相 DC/AC 電壓源換流器來驅動一台馬達，可以改變馬達輸出轉速與轉矩，用以模擬不同風速下之風機實際運轉特性，如圖二十五。而此馬達轉軸直接帶動永磁式同步發電機，並且經由風力發電機側之昇壓型 AC/DC 電力轉換器，於孤島環境下輸出直流電壓至一電阻性負載。圖二十六爲風力發電模擬系統之控制方塊圖，藉由量測馬達轉速，依風機轉速與輸出功率之對應曲線(Curve Fitting)產生電力參考訊號，並轉換爲轉矩及電流參考值輸入電流控制器，再藉由電力調變器(Modulator)來驅動三相 DC/AC 電壓源換流器。



圖二十四、風力發電模擬系統



圖二十五、不同風速之風機轉速與輸出功率

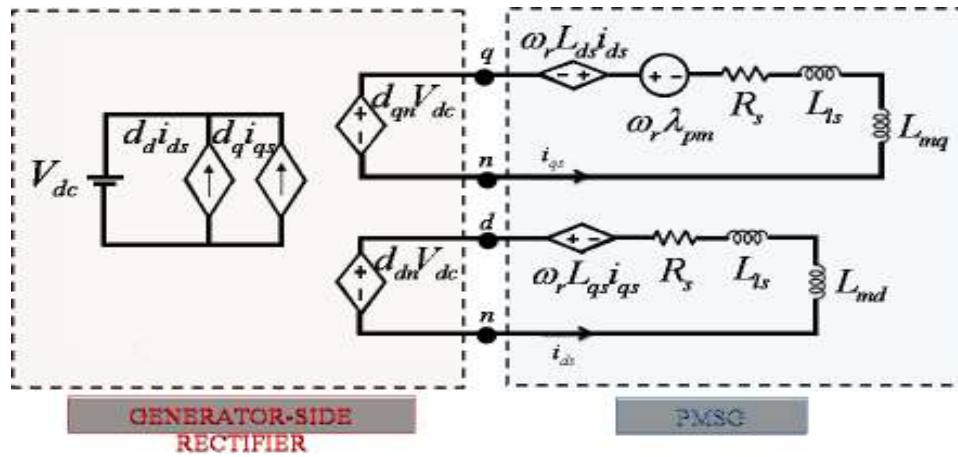


圖二十六、風力發電模擬系統之控制方塊圖

2. 風力發電整流側系統模型與控制策略

(1) 風力發電整流側等效電路模型及參數

首先利用 dq0 軸轉換，建立永磁同步發電機及其輸出側 AC/DC 整流器之等效電路模型，如圖二十七所示，其機電方程式如(1)式，表四為永磁同步發電機之相關參數值。將此公式線性化為狀態方程式如(2)式，可以用來設計風力發電機之轉速及電流控制器。圖二十八為發電機側整流器之控制方塊圖，包括內部電流控制迴路與外部轉速控制迴路，並且藉由量測風力發電機輸出電壓及電流來預估風機轉速，以及撰寫最大功率追蹤演算程式來計算風機轉速參考值，如此比較轉速預估及參考值，即可實現無需轉速感測器來達到風機轉速之控制。



圖二十七、風力發電側等效電路模型

$$L_{qs} \frac{d}{dt} i_{qs} = -v_{qs} - R_s i_{qs} - L_{ds} \omega_r i_{ds} + \lambda_{pm} \omega_r = d_q v_{dc}$$

$$L_{ds} \frac{d}{dt} i_{ds} = -v_{ds} - R_s i_{ds} + L_{qs} \omega_r i_{qs} = d_d v_{dc}$$

$$L_{0s} \frac{d}{dt} i_{0s} = -v_{0s} - R_s i_{0s} = d_0 v_{dc}$$

$$T_G = \frac{3}{2} \frac{p}{2} (i_{qs} \lambda_{qs} - i_{ds} \lambda_{ds})$$

$$T_G = \frac{3}{2} \frac{p}{2} ((L_{ds} - L_{qs}) i_{qs} i_{ds} - i_{qs} \lambda_{pm})$$

$$J \frac{2}{p} \frac{d}{dt} \omega_r + B \frac{2}{p} \omega_r = T_{Mech} - T_G$$

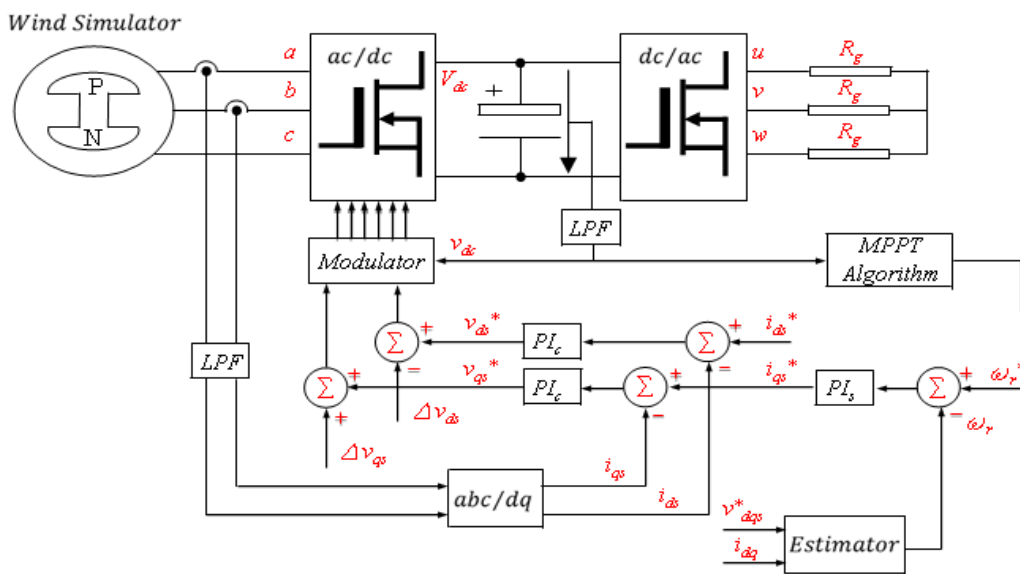
$$\omega_r = \frac{p}{2} \omega_m$$

(1)

表四、永磁同步發電機之相關參數值

Q-axis Inductance	0.0016 H
D-axis Inductance	0.001 H
Stator Phase Resistor	0.029 Ω
Flux Linkage Established by Magnet	0.125 V.s
Machine Torque Constant	0.6 N.m/A
Number of Poles	8
Moment of Inertia	0.0003617 Kg.m ²
Friction Coefficient	9.446*10 ⁻⁵
Current Loop Cross Over Frequency (Generator)	2500 Hz
Speed Loop Cross Over Frequency (Generator)	≈ 50 Hz

$$\begin{bmatrix} \dot{\tilde{i}}_{qs} \\ \dot{\tilde{i}}_{ds} \\ \dot{\omega}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_{qs}} & -\Omega_r \frac{L_{ds}}{L_{qs}} & -I_{ds} \frac{L_{ds}}{L_{qs}} + \frac{\lambda_{pm}}{L_{qs}} \\ \Omega_r \frac{L_{qs}}{L_{ds}} & -\frac{R_s}{L_{ds}} & I_{qs} \frac{L_{qs}}{L_{ds}} \\ -\frac{3p^2}{4J} ((L_{ds} - L_{qs})I_{ds} - \lambda_{pm}) & -\frac{3p^2}{4J} (L_{ds} - L_{qs})I_{qs} & -\frac{B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{i}_{qs} \\ \tilde{i}_{ds} \\ \omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{L_{qs}} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{L_{ds}} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{v}_{qs} \\ \tilde{v}_{ds} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{p}{3J} \end{bmatrix} T_{Mech} \quad (2)$$



圖二十八、發電機側整流器之控制方塊圖

(2) 昇壓型 AC/DC 整流器電流控制設計

為設計 AC/DC 整流器之電流控制器(PI_c)，可藉由風力發電系統輸出狀態迴授，以及將電流與轉速之狀態方程式解耦合，此系統將能夠簡化降為一階微分方程式(3)，包含風機之定子電阻(R_s)與等效電感(L_s)，則風機 dq 軸電流/電壓轉移函數如(4)式。因此利用極點與零點消除法，整流器之 dq 軸輸入電流迴路控制可設計如圖二十九所示，式(5)為控制器輸出與輸入之轉移函數，其比例-積分控制器之增益為(6)式 G_c，圖三十為控制器迴路增益之波德圖。除此之外，電流控制器之輸入參考電流可依據下列方式來設定：

- A. 當風機低於額定轉速時，d 軸電流參考值可設為 0，而 q 軸電流參考值可藉由轉速控制器來決定，如此可將轉矩方程式線性化而簡化控制設計。

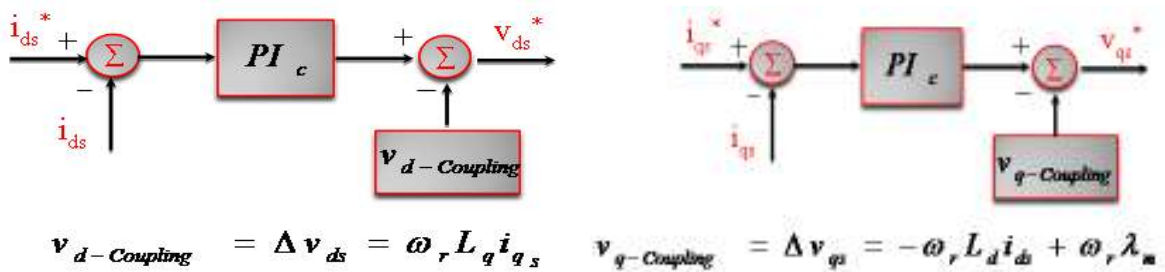
B.當風機高於額定轉速時，d 軸電流參考值可設為負值，用以限制風機之感應電動勢 (emf)，如此可增加風機定功率運轉範圍。

C.利用每安培能產生之最大轉矩(MTPA)方法來產生 dq 軸參考電流，如此可降低輸入電流而減少定子損失。

$$L_{qs} \frac{d}{dt} i_{qs} = -v_{qs} - R_s i_{qs} \quad (3)$$

$$L_{ds} \frac{d}{dt} i_{ds} = -v_{ds} - R_s i_{ds}$$

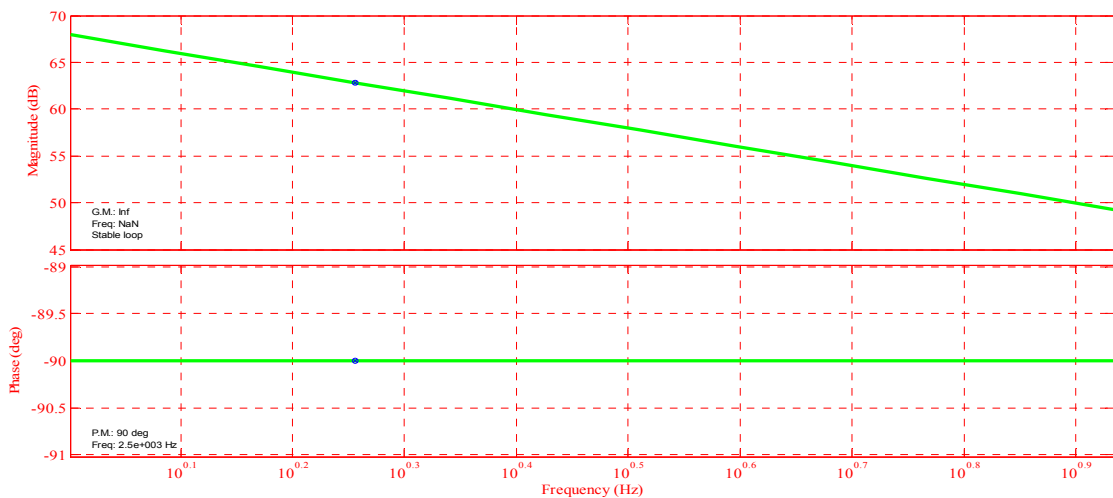
$$\frac{\tilde{i}_{qs}}{\tilde{v}_{qs}} = \frac{\tilde{i}_{ds}}{\tilde{v}_{ds}} = \frac{-1}{R_s + sL_s}, (L_{qs} = L_{ds} = L_s) \quad (4)$$



圖二十九、整流器 dq 軸輸入電流控制器

$$G_{iw} = \frac{i_q}{v_q} = \frac{1}{R_s} \frac{1}{1 + s \frac{L'_q}{R_s}} \quad (5)$$

$$G_c = K_p + \frac{K_i}{s} = \omega_{cc} R_s + \frac{\omega_{cc} L'_q}{s} = \omega_{cc} R_s \frac{1 + s \frac{L'_q}{R_s}}{s} \quad (6)$$



圖三十、電流控制器之迴路增益波德圖

(3) 轉速控制設計

當整流器之輸入電流控制器設計完成，風力發電整流側之轉速控制器則可依據發電機之轉矩與轉速方程式來設計。式(7)為整流器之電流控制閉迴路增益，發電機轉矩/電流之轉移函數為(8)式，式(9)為風機轉速/轉矩之轉移函數。藉由這些函數可設計出轉速之比例積分控制器，然而大部分發電機參數皆無法正確得知，如轉動慣量、摩差係數及時間常數，因此轉速控制器之迴路增益通常是藉由實驗來調整，以提高發電機轉速控制的穩定性。

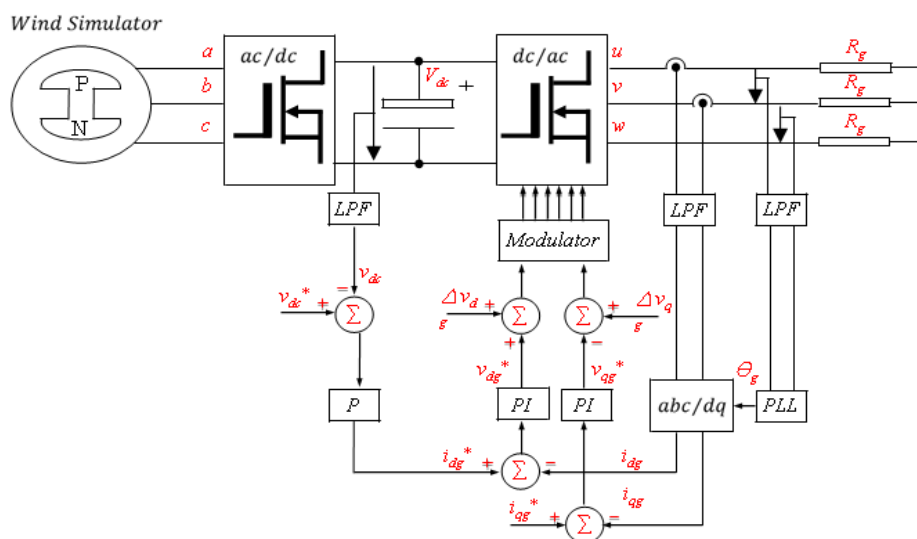
$$T_i = \frac{G_{iw}G_c}{1 + G_{iw}G_c} \quad (7)$$

$$G_{ti} = \frac{T_e}{i_q} = \frac{3P}{4} \lambda_f \quad (8)$$

$$G_{\omega t} = \frac{\omega_m}{T_e} = \frac{1}{B} \frac{1}{1 + s\tau_m} \quad (9)$$

3. DC/AC 市電併聯換流器控制策略

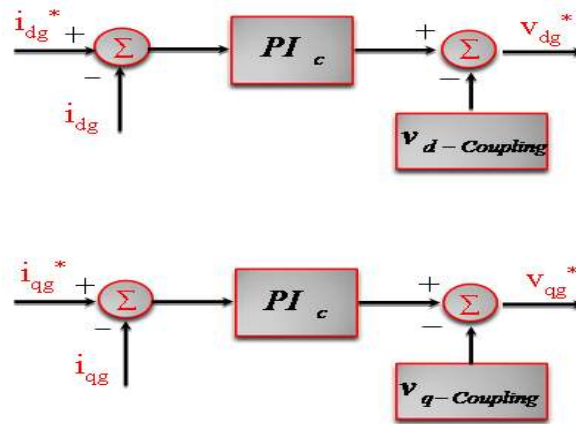
市電併聯換流器控制目的，主要在於維持直流匯流排電壓，以及控制換流器輸出電力到電網，圖三十一為市電併聯換流器之控制方塊圖，包括用於量測市電電壓相位之相鎖控制迴路(PLL)、直流電壓控制器與換流器輸出電流控制器，其控制器設計方式與 AC/DC 整流器電流控制設計相同。首先藉由市電併聯換流器輸出狀態迴授，以及將狀態方程式解耦合，此系統將能夠簡化降為一階微分方程式，並且可求得換流器輸出電流/責任週期之轉移函數如(10)式，再利用極點與零點消除法，設計換流器 dq 軸輸出電流迴路控制器如圖三十二。



圖三十一、市電併聯換流器之控制方塊圖

$$\frac{\tilde{i}_{qg}}{\tilde{d}_{qg}} = \frac{\tilde{i}_{dg}}{\tilde{d}_{dg}} = \frac{V_{dc}}{sL},$$

(10)

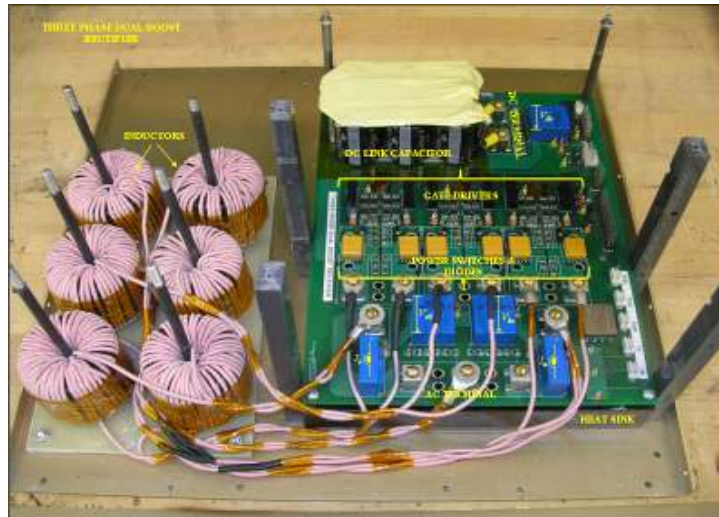


圖三十二、換流器 dq 軸輸出電流控制器

4. 硬體實現與程式測試

(1) 三相背對背 AC/DC/AC 風能電力轉換器

圖三十三為三相交/直流雙向電力轉換器主電力級之硬體實現，包括六臂 MOSFET 電力切換開關、二極體、閘極驅動電路、六個交流輸出電感器與一直流電容組，以及三相交流電壓與電流量測元件。將兩塊此電路板背對背連接成如圖三十四所示，下板塊為三相風力發電機 AC/DC 整流電路，上板塊為 DC/AC 三相市電並聯換流電路，最後完成 DSP 控制電路板如圖三十五。為了驗證此架構具備高效率之電力轉換，首先針對各種 MOSFET 開關元件 (Fairchild/Infineon) 與不同調變技術 (SPWM/SVPWM/DPWM)，進行換流器之轉換效率測試，分別輸入不同直流電壓 200V/300V/400V，輸出端三相並接至市電 Y 接 120V/208V，並且採用閉迴路電流控制，其轉換效率測試結果如表五。結果顯示使用 Infineon 開關搭配 DPWM 調變切換之轉換效率為較高，圖三十六為採用 Fairchild 開關與 DPWM 調變切換輸出不同功率之轉換效率，當換流器輸入直流電壓 300V，輸出為 2.4 kW 之轉換效率為最高可達 98.81%。



圖三十三、三相交/直流雙向電力轉換器



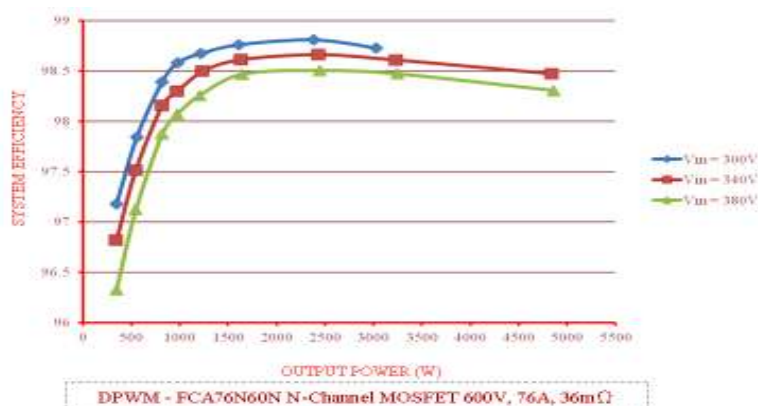
圖三十四、三相背對背交/直/交流電力轉換器



圖三十五、含 DSP 控制之三相背對背交/直/交流電力轉換器

表五、換流器轉換效率測試

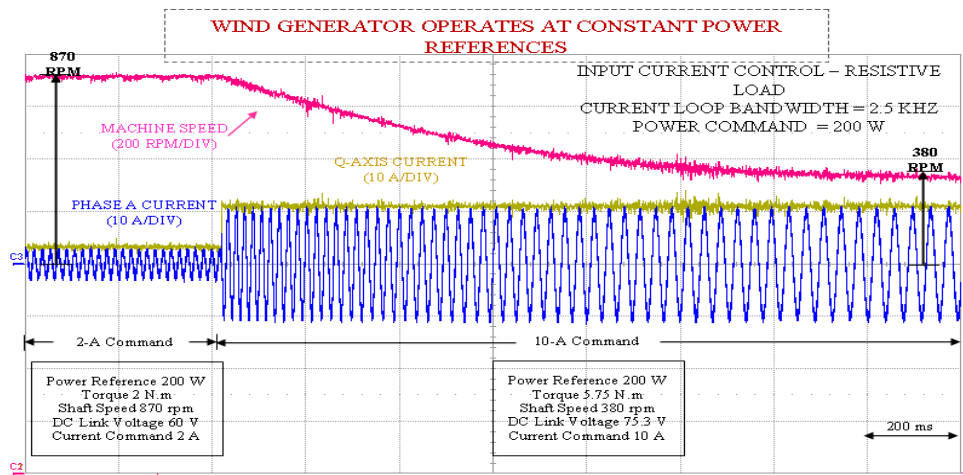
Fairchild & SPWM			Infineon & SVPWM			Infineon & DPWM		
DC Voltage	Output Power	Efficiency	DC Voltage	Output Power	Efficiency	DC Voltage	Output Power	Efficiency
						200	242.9	95.87
						200	546	97.33
200	138.3	92.60	200	66.97	88.82	200	970.3	97.94
200	372.9	95.86	200	248.3	94.95	200	1510.6	98.22
200	725.2	97.04	200	973.6	97.46	200	1792.1	98.33
200	1195.5	97.70	200	1513.4	97.89	200	1980	98.39
200	1474	97.89	200	1820.1	98.01	200	2071.3	98.40
						300	243.4	94.00
			300	74.8	84.56	300	547.4	96.33
300	146.2	89.47	300	257.4	92.88	300	972.3	97.24
300	382.5	94.20	300	561	95.46	300	1517.8	97.72
300	736.8	95.96	300	984.4	96.64	300	2185.9	98.00
300	1207.3	96.87	300	1528.8	97.26	300	2970.6	98.19
300	1796.5	97.39	300	2195.2	97.59	300	3789.9	98.33
300	2506.4	97.68	300	2976.5	97.84	300	4042	98.35
300	3222	97.90	300	3808.1	97.95	300	4234.7	98.36
400	157.5	86.56	400	267.4	90.54	400	80.23	62.46
400	396.3	92.55	400	573.5	94.05	400	548.8	95.18
400	752.1	94.90	400	997.9	95.64	400	975.2	96.54
400	1226.1	96.10	400	1542.3	96.51	400	1524.4	97.21
400	1817.9	96.80	400	2206.9	97.02	400	2190.6	97.55
400	2526.5	97.17	400	2993.6	97.37	400	2983	97.82
400	3358	97.50	400	3902.7	97.60	400	3898.2	98.02
400	4310	97.75	400	4927.3	97.75	400	4933.2	98.17
400	5377	97.91	400	5496.3	97.87	400	5498.9	98.21



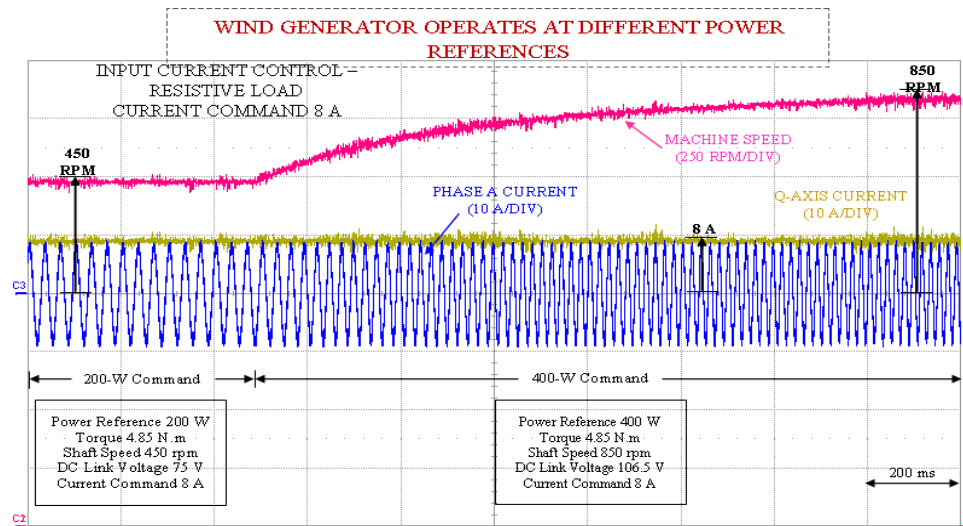
圖三十六、Fairchild 開關與 DPWM 調變切換輸出不同功率之轉換效率

(2) 整流器電流控制測試

為了測試風機側整流器之電流控制效果，首先設定風力發電模擬系統之輸入參考功率 200W 至風力發電機，藉由改變整流器輸入電流命令，由 2A 提升至 10A，則風力發電機輸出響應如圖三十七所示。圖中風機之輸出電流由 2A 立即提高至 10A，且風機轉速於 1.5 秒內由 870 rpm 緩慢降至 380 rpm。接著，整流器輸入電流命令設定為 8A，藉由改變風機輸入功率，由 200W 提升至 400W，用以模擬風速上升之情境，風機輸出之響應如圖三十八所示。圖中風機輸出電流仍維持 8A，而風機轉速於 1.5 秒內由 450 rpm 緩慢上升至 850 rpm。經由上述兩項測試結果，可驗證整流器之輸入電流控制功能，並且間接達到風機轉速與轉矩的控制。



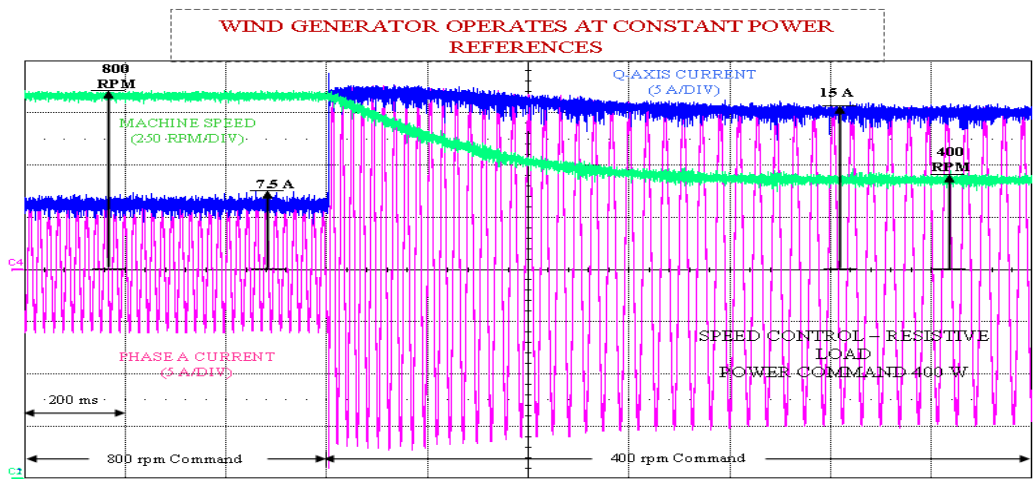
圖三十七、改變整流器輸入電流命令之風機輸出響應



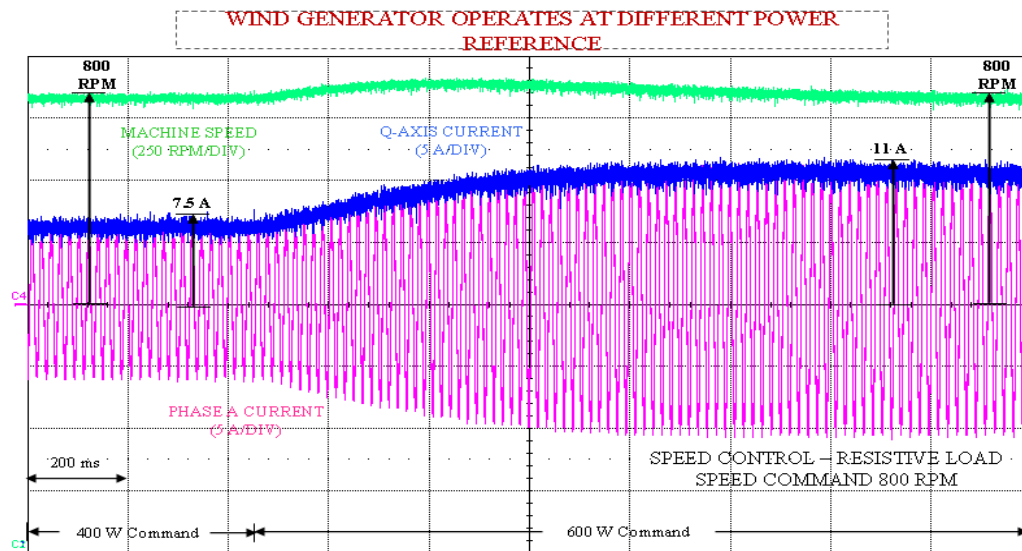
圖三十八、改變風機輸入功率之響應

(3) 整流器轉速控制測試

為了測試風機側整流器之轉速控制效果，首先設定風力發電模擬系統之輸入參考功率 400W 至風力發電機，藉由改變整流器之轉速控制命令，由 800 rpm 降低至 400 rpm，則風力發電機輸出響應如圖三十九所示。圖中風機之輸出電流由 7.5A 立即提高至 15A，且風機轉速於 1.5 秒內由 800 rpm 緩慢降至 400 rpm。接著，整流器之轉速控制命令設定為 800 rpm，藉由改變風機輸入功率，由 400W 提升至 600W，用以模擬風速上升之情境，風機輸出之響應如圖四十所示。圖中風機之輸出電流於 0.6 秒內由 7.5 A 快速上升至 11 A，且風機轉速仍維持 800 rpm。經由上述兩項測試結果，可驗證整流器之轉速控制功能，並且間接達到風機輸出電流控制。



圖三十九、改變整流器轉速控制命令之風機輸出響應

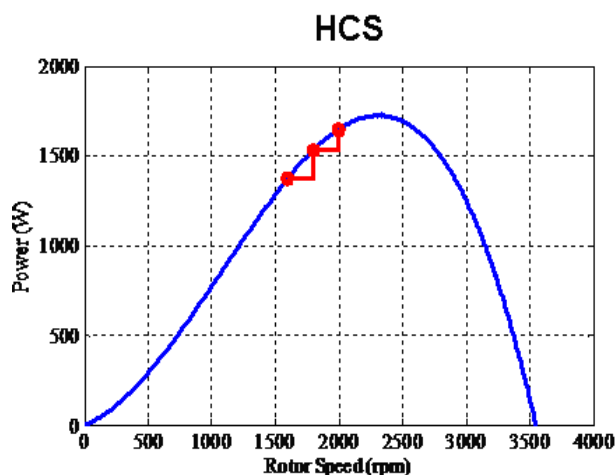


圖四十、改變風機輸入功率之響應

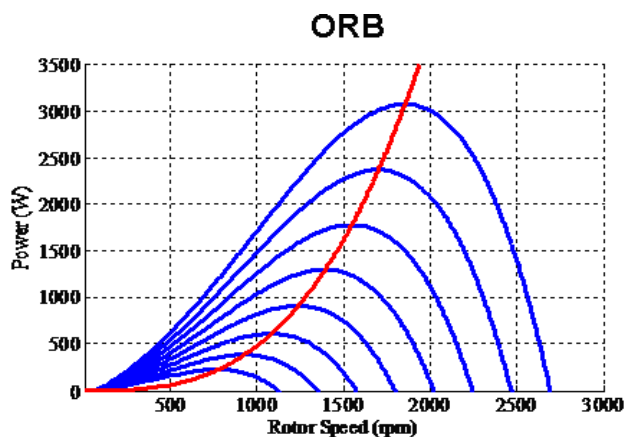
(4) 最大功率追蹤模式控制

擾動觀察法為風機最大功率追蹤演算法之一，該方法可以藉由改變風機轉速參考設定後，藉由量測整流器之直流端輸出功率，再用來決定最佳轉速之參考設定，來達到風機最大功率輸出。本計畫採用結合爬坡搜尋法(Hill Climb Search, HCS)與基於最佳關係法(Optimal Relation Based, ORB)分別如圖四十一與圖四十二所示，可以快速求解風機輸出最大功率。圖四十三為此方法之最大功率追蹤設計流程，並以 DSP 程式來實現。當在任一轉速下量測到的直流端輸出功率(P_{ave})超過風機對應最佳輸出功率(P_{opt})之 $\pm 10\%$ ，則以 ORB 方法來決定下一轉速之設定。反之，當量測直流端輸出功率非常接近風機對應最佳輸出功率，則改以 HCS 方法來決定下一轉速之設定。由於風機轉速控制約於 1.5 秒方能達到穩定，因此於程式中斷

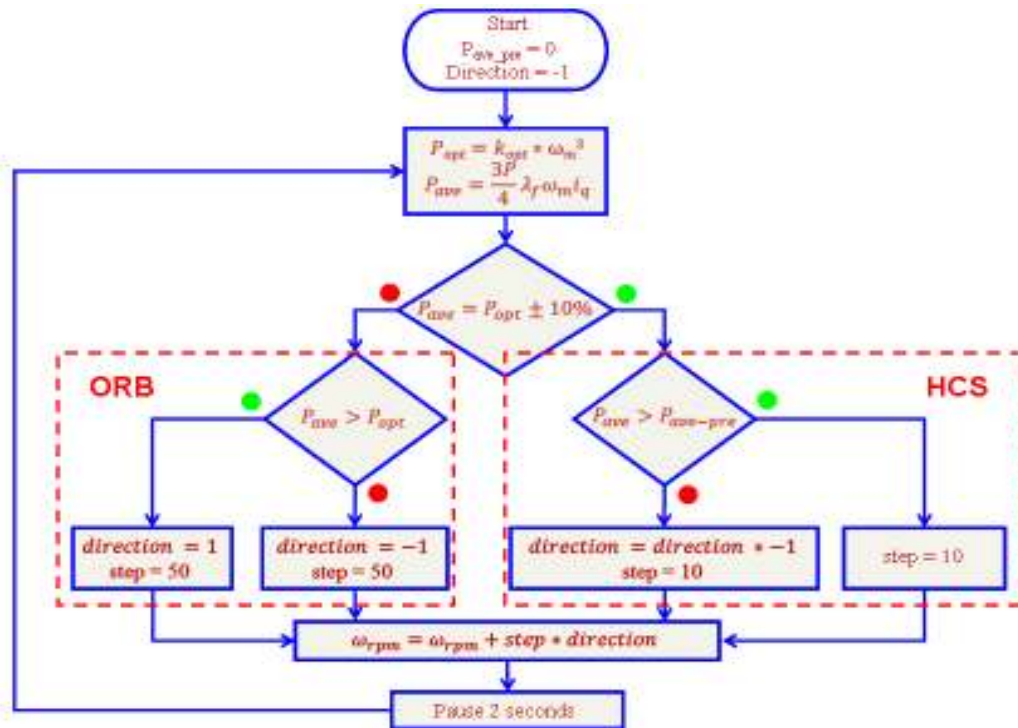
設定 2 秒後再重新計算風機最佳輸出功率。爲了測試最大功率追蹤程式之性能，風機於初始運轉在風速 9(m/s)，其轉速設定爲 1000 rpm，且風機側整流器之輸入功率爲 0W，因此轉速控制器開始調整降低風機轉速，直到程式計算出最佳輸出功率與直流端輸出功率相近，該程式約 10 秒後即可控制風機輸出在最大功率約爲 950W，如圖四十四所示。圖四十五爲風機運轉在風速爲 11(m/s)與 9(m/s)之最大功率追蹤測試結果，藍線爲風機轉速、紅線爲直流端電壓、綠線爲電流輸出波形。



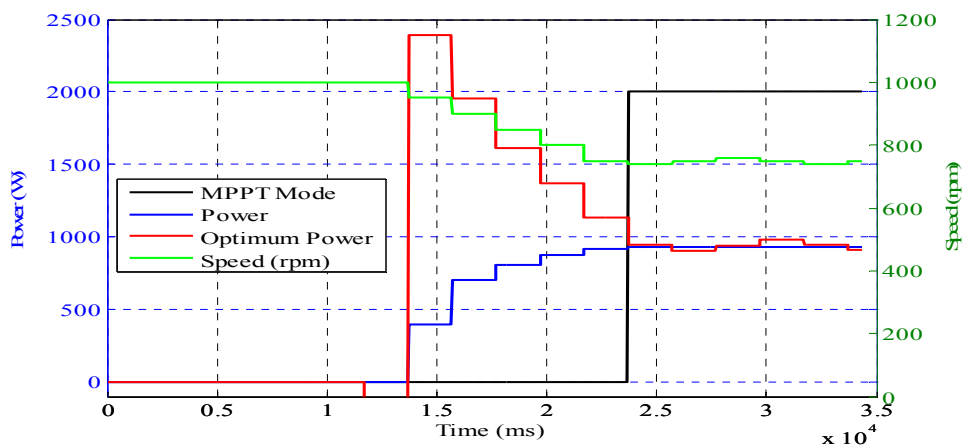
圖四十一、爬坡搜尋(HCS)之最大功率追蹤法



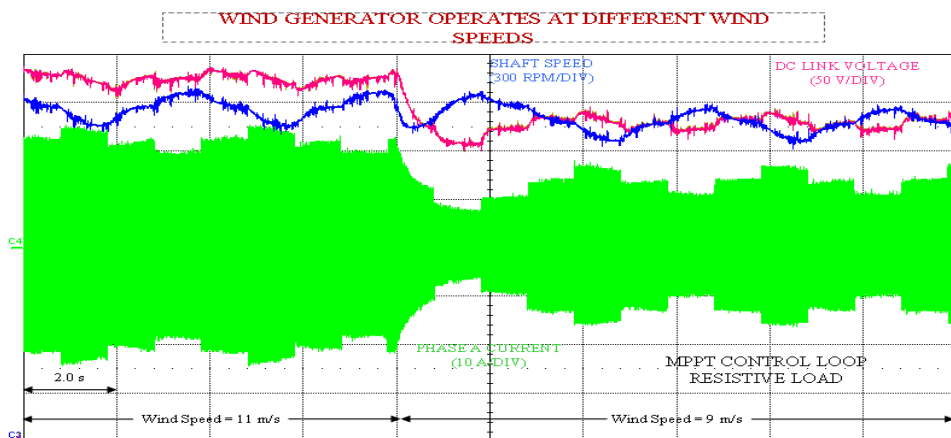
圖四十二、基於最佳關係(ORB)之最大功率追蹤法



圖四十三、最大功率追蹤設計流程



圖四十四、風機最大功率追蹤程式測試



圖四十五、不同風速下之最大功率追蹤測試

四、建議事項

本次赴維吉尼亞理工大學未來能源電子中心進行新世代高效率電能轉換系統開發實習，學習風力發電轉換系統設計，包括具電流控制、MPPT 及直流匯流排電壓雙迴路控制之電能轉換電路，無感測控制演算法，以及系統整合等測試。同時在參訪能源電子實驗室中，了解先進高效率電源轉換技術除可將各種型式的再生能源進行電力轉換，而且可廣泛的應用在電力電子與電力系統設備，如太陽光電模擬器、交流電網模擬器、固態變壓器、儲能轉換系統與電動車充電裝置等設備，對於未來整合電力電子技術於智慧電網之發展具有相當助益。除此之外，本次參加「2012 IEEE/IAS Annual Meeting 工業應用國際會議」，與國際先進業界進行微電網技術交流，除了獲取國際微電網最新發展趨勢與電力電子研發相關技術發展現況，對於本所未來在微型電網與分散力電力技術之研究規劃及相關領域技術開發，更可以與國際先進技術進行接軌。針對此次國外實習心得，提出三項建議如下：

- (一)美國維吉尼亞理工大學能源電子中心為國際領先之電力電子技術開發團隊，其新世代高效率電源轉換技術為開發微電網關鍵技術之一，可擴大再生能源使用，故建議本所繼續與該中心進行國際合作，以提升我國能源電力電子科技之產業發展。
- (二)傳統的再生能源電力轉換器大多只做最大功率追蹤與直流電壓控制，為了增加再生能源發電佔比，未來的電力轉換器亦必須具備頻率下降之實功率調控、虛功率補償、交流電壓控制與低電壓穿越等能力。因此可開發一通用智慧型控制器，於上述控制模式切換過程中，不需外部切換命令與改變控制器之狀態初值，即能實現上述功能之智慧型電力轉換器，將可避免模式切換所產生的暫態現象。
- (三)本所已建置微型電網試驗場測試平台，以及奠定微電網技術開發基礎，若能在電力電子實驗室建構微電網系統之即時模擬軟體平台，藉由整合電力電子、電力系統與控制技術，開發具備系統控制功能之電力電子裝置，於微型電網試驗場實際應用之前進行測試與驗證，將可提升微電網系統控制的可靠性與穩定性，同時確保電力電子設備安全。