

出國報告（出國類別：其他）

赴中國大陸合肥參加 2016 International
Power Electronics and Motion Control
Conference-ECCE Asia 暨參訪浙江大學
出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：鄭金展 研究助理

派赴國家：中國大陸

出國期間：105 年 5 月 21 日~105 年 5 月 27 日

報告日期：105 年 6 月 27 日

摘要

隨著再生能源在全球發電佔比逐年增加，電力的供給穩定度與可靠度成了重要的考量，微電網整合再生能源、市電及儲能系統等，提供偏遠區域、社區間穩定電力的解決方案。為順應世界能源趨勢，核研所近年來致力於再生能源研究，並在 048 館舍旁建置國家級微電網示範場域，作為研究微電網電力調度、控制等相關技術之場所。本次核研所核儀組鄭金展研究助理參加中國電工技術學會(China Electrotechnical Society, CES)及 IEEE 電力電子協會，在大陸合肥主辦之 2016 年國際電力電子研討會(2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference—ECCE Asia)，其會議內容涵蓋替代能源系統、儲能系統、電力電子轉換器、及微電網系統等最新的控制技術與應用，參與此會人員包含知名專家、學者、企業之電力電子研發人員、以及學生等近千人參與。本次會議主題著重於再生能源及節能上的應用，在各國相競投入風力、太陽能的開發，相關電力轉換器如變流器(Inverter)愈顯重要，其變流器功率元件將比往常朝更低損耗方向前進，碳化矽(SiC)功率元件將可能取代現有矽功率元件。

此次會議中，核研所口頭簡報分享本所已開發，具備熱插拔功能的先進儲能系統。在開發再生能源中，太陽能電池仍屬相對穩定之再生能源，在未來各國大量投入使用後，因太陽能電池中午尖峰發電、黃昏無太陽能電力輸出特性，將造成鴨型曲線負載調度問題，屆時將需更多且穩定的儲能系統輸出電力，提供傍晚時刻急遽的負載調度需求。另外當再生能源相繼併入市電，將造成市電供給不穩定情形，其中解決方案即發展微電網系統，提供穩定之頻率、電壓輸出，在市電不足時，調節再生能源發電。而在市電充足時，改由市電發電，多餘電力即儲存至儲能系統，並視需要放電，分散型區域電網將有效解決市電傳輸損失、提供偏遠地區電力使用。

在會議結束後，鄭員會同中華民國電力電子協會、及國內教授群，前往杭州浙江大學參訪其電力電子實驗室，浙江大學電力電子領域在大陸學府中知名度頗高，藉此了解大陸學術單位在電力電子領域的研究方向，作為本所微電網未來規劃與技術發展之參考。最後建議政府能多提供資源，鼓勵參加國際會議，並結合產業與學術，共同舉辦大型研討會，吸引各國優秀電力電子人才前來共襄盛舉。另對於本國再生能源的發展，可多參考先進國家之研究方向，如德國、美國、中國大陸、日本等，使得台灣再生能源技術開發與世界潮流並駕齊驅。此外因現今再生能源如風力、太陽能等，均有其個別優勢與限制，目前仍無單一再生能源具有絕對優勢，建議政府能朝多元化研究開發。綜合以上，藉由本次參與，達到蒐集國外最新發展資料，推廣核研所研發成果，激發創意與構想，使未來計畫實施策略更有彈性且具體。

目 次

摘 要	i
一、 目 的	1
二、 過 程	2
三、 心 得	30
四、 建 議 事 項	31

附 圖 目 錄

圖 一：會議議題及行程表.....	5
圖 二：合肥市白金漢爵會館.....	6
圖 三：電力電子發展史.....	7
圖 四：功率元件整體損耗趨勢.....	7
圖 五：元件功率密度趨勢.....	8
圖 六：功率元件之應用及其頻率範圍.....	8
圖 七：碳化矽材料能階示意圖.....	9
圖 八：碳化矽與矽材料 MOSFET 元件結構剖面圖.....	9
圖 九：碳化矽與矽材料特性比較圖.....	10
圖 十：600V/200A 混合式碳化矽智慧功率元件模組.....	10
圖 十一：碳化矽功率因數校正模組.....	11
圖 十二：1200V/75A 混合式全碳化矽智慧功率元件模組.....	11
圖 十三：SiC 功率元件應用情境.....	12
圖 十四：太陽能發電系統連接架構(a)中央式變流器；(b)並聯串式(string)變流器；(c)模組式變流器.....	13
圖 十五：增加太陽能變流器轉換效率選項.....	14
圖 十六：碳化矽元件應用於 PV 變流器.....	14
圖 十七：使用多準位結構 PV 變流器.....	15
圖 十八：未來太陽能發電系統轉換器趨勢.....	15

圖 十九：傳統市電的先天限制.....	16
圖 二十：智慧電網功能定義.....	17
圖 二十一：電子化電力設備.....	17
圖 二十二：電子化其他電力設備.....	18
圖 二十三：現代電網分型化特性.....	19
圖 二十四：直流匯流排微電網架構.....	20
圖 二十五：鴨型負載調度曲線.....	21
圖 二十六：替代能源每日發電概況.....	21
圖 二十七：電力削峰填谷.....	22
圖 二十八：發表儲能系統架構.....	23
圖 二十九：成果發表.....	23
圖 三十：浙江大學工業電子技術實驗樓.....	24
圖 三十一：浙江大學自行開發的智慧功率元件模組.....	25
圖 三十二：浙江大學自行開發 30kW Inverter	25
圖 三十三：浙江大學開發的 400kJ 超級電容	26
圖 三十四：浙江大學智慧電網研究室.....	27
圖 三十五：浙江大學—富士電機創新中心微型電網示範平台.....	28
圖 三十六：浙江大學紫金港校區東教學樓走廊薄膜太陽能電池.....	28
圖 三十七：浙江大學海洋可再生能源電氣裝備與系統重點實驗室.....	29

一、目的

2016 年國際電力電子研討會(2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference—ECCE Asia)由中國電工技術學會(China Electrotechnical Society, CES)及 IEEE 電力電子協會合作舉辦，彙集工業界、學術界知名專家、及學者發表最新的電力電子及控制系統相關技術，作為創新及革命性意見交流之場合，其會議每年在亞洲各國家舉辦一次，今年吸引 43 個國家，約 950 名投稿者參與，其研究領域涵蓋電力轉換器、電力控制、及微電網相關技術等，顯示該國際會議在電力電子領域中具有其影響力。

本次由核研所核能儀器組鄭金展研究助理參加此國際會議，係因核研所近年來致力於再生能源研究，並在 048 館舍旁建置國家級微電網示範場域，作為研究微電網電力調度、控制等相關技術之場所，在微電網系統中，儲能系統扮演電力儲存緩衝之重要角色，其功能係在系統電力供給大於負載需求時，將電力儲存，並在系統電力供給不足負載需求時，將已儲存之電力釋放至負載，達到電力儲備之功能。為提高儲能系統錯誤容忍度及儲能系統電池容量擴充性，核研所已進行開發具備熱插拔功能的先進儲能系統，故本次會議以口頭簡報，分享核研所開發成果。

於會議結束後，鄭員會同中華民國電力電子協會、及國內教授群，前往杭州浙江大學參訪電力電子實驗室，浙江大學電力電子領域在大陸學府中頗負盛名，了解大陸學術單位在電力電子領域的研究方向，以及本所微電網現況發展方向，藉此可激發更多創意與構想。

隨著再生能源在全球發電領域佔比逐年增加，相關的研究提供更多的再生能源輸出方案，本所近年來在再生能源上研究成果，已是國內能源科技發展的重要目標之一，新型的儲能系統技術將可有效運用電力能源、增加電力電網穩定度。

綜合以上，藉由本次參與，達到蒐集國外最新發展資料，推廣核研所研發成果，使未來計畫實施策略更有彈性且具體。

二、過 程

(一)、核研所核能儀器組鄭金展研究助理本次公差時間含去程及回程共 7 天，主要行程分兩部份：

- 1、參加 2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference—ECCE Asia 國際會議。
- 2、參訪杭州浙江大學電力電子實驗室。

日期	工作重點
105/05/21	去程(由桃園至大陸合肥市)
105/05/22~105/05/26	參加 IPEMC 2016—ECCE Asia 國際會議，並簡報發表成果
105/05/27	參訪杭州浙江大學電力電子實驗室
105/05/27	回程(由大陸杭州市至桃園)

(二)、會議議題及程序表如下：

IPEMC 2016 Program at a Glance									
May 21, 2016 (Saturday)									
14:30-18:00	Registration in the Hotel Lobby at the Main Level								
May 22, 2016 (Sunday)									
08:00-18:00	Registration in the Hotel Lobby at the Main Level								
Tutorial Group I • 08:50-12:10									
	(Room 310-312) Tutorial 1	(Room 311-313) Tutorial 2	(Room 316-318) Tutorial 3	(Room 320-322) Tutorial 4	(Room 321-323) Tutorial 5				
08:50-12:10	Preparing and Reviewing Manuscripts for IEEE Journal Publication	Design of Wireless Electric Vehicles: Dynamic & Stationary Charging Technologies	Design, Control and Topology for High Performance LLC Resonant Converters	Technology and Practical Techniques to Test Power Devices	Advanced Control Strategy for High Performance AC Servo System				
10:20-10:40	Morning Break: Hallway on the 3 rd Floor								
12:10-13:40	Lunch: Buffet in Cafeteria on the 1 st Floor								
Tutorial Group II • 13:40-17:00									
	(Room 310-312) Tutorial 6	(Room 311-313) Tutorial 7	(Room 316-318) Tutorial 8	(Room 320-322) Tutorial 9	(Room 321-323) Tutorial 10				
13:40-17:00	Solid-State Transformers-Key Design Challenges, Applicability, and Future Concepts	Capacitors in Power Electronics Applications-Sizing, Modeling, and Reliability	Principles and Practices of Digital Current Regulation for AC Systems	A Survey on Advanced Methods of Control in Electrical Drives	Design Challenges for High Frequency Magnetic Circuit for Power Conversion				
15:10-15:30	Afternoon Break: Hallway on the 3 rd Floor								
18:00-20:00	Reception: Buffet in Room 180-182								
May 23, 2016 (Monday)									
08:00-18:00	Registration in the Hotel Lobby at the Main Level								
07:30-08:20	Oral Presenters' Breakfast: Room 188 (Oral Presenters and Session Chairs of May 23 only)								
08:30-10:20	Plenary Session I (Room 303-305)								
10:20-10:40	Morning Break: Room 303-305								
10:40-12:10	Plenary Session II (Room 303-305)								
12:10-13:40	Lunch: Buffet in Room 301-302								
12:10-17:20	Setting-up Expo: Room 305								
	Room 310-312	Room 311-313	Room 315-317	Room 316-318	Room 320-322	Room 581	Room 585	Room 586	Room 588
13:40-15:20	Ma1-07: New Devices and Applications-I	Ma2-04: Modulation of Converters-I	Ma3-05: DC/DC Converter-I	Ma4-08: Electronic Motor Drive-I	Ma5-20: Power Factor Correction and Harmonic Mitigation	Ma6-25: Coordinating Control of Parallel Converters in Micro-Grids	Ma7-12: Renewable Energy Systems-I	Ma8-06: AC/DC, DC/AC Power Converters-I	Ma9-36: Grid Scale Energy Storage: Modelling and Control-I
15:20-15:40	Afternoon Break: Hallway on the 3 rd & 5 th Floors								

	Room 310-312	Room 311-313	Room 315-317	Room 316-318	Room 320-322	Room 581	Room 585	Room 586	Room 588
15:40-17:20	Mb1-07: New Devices and Applications-II	Mb2-04: Modulation of Converters-II	Mb3-05: DC/DC Converter-II	Mb4-08: Electronic Motor Drive-II	Mb5-21: Power Quality Enhancement	Mb6-30: High Power Density AC-DC/ DC-DC Converter	Mb7-12: Renewable Energy Systems-II	Mb8-06: AC/DC, DC/AC Power Converters-II	Mb9-37: Grid Scale Energy Storage: Economics and Business Models
17:30-18:30	Expo Reception: Beverage in Room 305 (Expo open)								
18:30-20:00	Dinner: Buffet in Room 301-302								
20:00-22:00	Young Professional s and Students Reception in Room 388								
May 24, 2016 (Tuesday)									
08:00-18:00	Registration in the Hotel Lobby at the Main Level								
07:30-08:20	Oral Presenters' Breakfast: Room 188 (Oral Presenters and Session Chairs of May 24 only)								
09:00-17:00	Expo in Room 305								
	Room 310-312	Room 311-313	Room 315-317	Room 316-318	Room 320-322	Room 581	Room 585	Room 586	Room 588
08:30-10:10	Ta1-24: GaN Power Device Application	Ta2-04: Modulation of Converters-III	Ta3-05: DC/DC Converter-III	Ta4-08: Electronic Motor Drive-III	Ta5-29: Power Quality Analysis and Enhancement-I	Ta6-33: HVDC and DC Grid Technologies for Grid Integration of Large Renewable Energy-I	Ta7-12: Renewable Energy Systems-III	Ta8-06: AC/DC, DC/AC Power Converters-III	Ta9-39: Penal Session: The Role of Grid Scale Energy Storage in Low Carbon Future
10:10-10:30	Morning Break: Room 303-305								
10:30-12:10	Poster Session I (P101, P102, P103, P104, P105, P106, P107, P108, P109)					(Room 302-303)			
12:10-13:40	Lunch: Buffet in Room 382, 386 & 388								
13:40-15:20	Poster Session II (P201, P202, P203, P204, P205, P206, P207, P208, P209)					(Room 302-303)			
15:20-15:40	Afternoon Break: Room 303-305								
	Room 310-312	Room 311-313	Room 315-317	Room 316-318	Room 320-322	Room 581	Room 585	Room 586	Room 588
15:40-17:20	Tb1-18: Electric and Hybrid Vehicles	Tb2-28: Fault-Diagnosis and Fault-Tolerant Control of Power Electronics Applications	Tb3-05: DC/DC Converter-IV	Tb4-08: Electronic Motor Drive-IV	Tb5-29: Power Quality Analysis and Enhancement-II	Tb6-33: HVDC and DC Grid Technologies for Grid Integration of Large Renewable Energy-II	Tb7-36: Grid Scale Energy Storage: Modelling and Control-II	Tb8-23: Stability and Power Quality of Power Electronic Based Systems-I	Tb9-26: Advanced Power Conversion Systems for Energy Storage
18:00-20:30	Banquet: Room 301, 302 & 303								
May 25, 2016 (Wednesday)									
08:00-10:00	Registration in the Hotel Lobby at the Main Level								
07:30-08:20	Oral Presenters' Breakfast: Room 188 (Oral Presenters and Session Chairs of May 25 only)								
09:00-10:30	Expo in Room 305 (Tearing-down during 10:30AM-12:30PM)								
	Room 310-312	Room 311-313	Room 315-317	Room 316-318	Room 320-322	Room 581	Room 585	Room 586	Room 588
08:30-10:10	Wa1-06: AC/DC, DC/AC Power Converter-X	Wa2-38: Simulating the Next-generation of Energy Conversion System in Real-time	Wa3-05: DC/DC Converter-V	Wa4-10: Electric Machines, Actuators and Sensors	Wa5-19: Transit, Aerospace and Marine Systems	Wa6-14: Microgrids and Distributed Generation-I	Wa7-12: Renewable Energy Systems-IV	Wa8-23: Stability and Power Quality of Power Electronic Based System-II	Wa9-13: Energy Storage Systems
10:10-10:30	Morning Break: Room 303-305								
	Room 310-312	Room 311-313	Room 315-317	Room 316-318	Room 320-322	Room 581	Room 585	Room 586	Room 588
10:30-12:10	Wb1-35: New Technology and Development Trend of Electric Vehicles	Wb2-06: AC/DC, DC/AC Power Converter-VI	Wb3-05: DC/DC Converter-VI	Wb4-11: Industrial applications of Machines	Wb5-01: Power ICs	Wb6-14: Microgrids and Distributed Generation-II	Wb7-22: Wireless Power Transfer and Resonant Converter	Wb8-06: AC/DC, DC/AC Power Converters-IV	Wb9-32: Reliability of Power Electronics
12:10-13:40	Lunch: Buffet in Room 301-302								
	Room 310-312	Room 311-313	Room 315-317	Room 316-318	Room 320-322	Room 581	Room 585	Room 586	Room 588
13:40-15:20	Wc1-17: Smart Grid Technologies-I	Wc2-34: LED Driver Technology	Wc3-05: DC/DC Converter-VII	Wc4-09: Motion Control, Robotics and Sensorless Control-I	Wc5-02: Power Semiconductor Devices	Wc6-14: Microgrids and Distributed Generation-III	Wc7-06: AC/DC, DC/AC Power Converter-VII	Wc8-06: AC/DC, DC/AC Power Converter-V	Wc9-12: Renewable Energy Systems-V
15:20-15:40	Afternoon Break: Hallway on the 3 rd & 5 th Floors								

	Room 310-312	Room 311-313	Room 315-317	Room 316-318	Room 320-322	Room 581	Room 585	Room 586	Room 588
15:40-17:20	Wd1-17: Smart Grid Technologies-II	Wd2-16: Energy Efficiency and Sustainable Buildings	Wd3-15: Transmission and Distribution	Wd4-09: Motion Control, Robotics and Sensorless Control-II	Wd5-03: Passive Components	Wd6-27: Advanced Power Control Technologies for AC/DC Hybrid Microgrids	Wd7-31: Microgrids	Wd8-06: AC/DC, DC/AC Power Converter-VIII	Wd9-06: AC/DC, DC/AC Power Converter-IX
14:10-17:30	Technical Tour in Hefei								
18:00-20:00	Dinner: Buffet in Room 301-302								
May 26, 2016 (Thursday)									
08:30-17:30	IEEE Workshop on Electronic Power Transmission and Distribution (eT&D) (Room 303) (Open on-line registration; Invited speakers)								

Final Program

The Inaugural IEEE Workshop on Electronic Power Transmission and Distribution (eT&D)

May 26, 2016, Platinum Hanhju Hotel, Hefei, China

Invited Presentations / Morning (Chairs: L. Chang & Z. Zhao)

Time	Presentation Title	Invited Presenter
8:00am	Welcome	Liuchen Chang Organizing Committee Chair University of New Brunswick, Canada
8:05am	Opening Remarks: Why We Are Here Today	Don Tan IEEE Board of Directors & PELS/PES Steering Committee Chair
8:10am	Development Trends and Technology Requirements for Power Systems in the Ongoing Energy Transition	Xiaoxin Zhou EiC of CSEE JPES, Member of Chinese Academy of Sciences, China
8:30am	Opportunities and Challenges in Next Generation Power Electronics Based Power Flow Controllers	Tim Heidel Program Director ARPA-E, US DoE, USA
8:50am	Power Electronic Applications in Power Systems - Opportunities and Challenges	Liangzhong Yao VP EPRI, China State Grid, China
9:10am	Advanced Power Electronic Functionality for Renewable Energy Integration with the Power Grid	Ben Kroposki Deputy Director, Power Systems NREL, USA
9:30am	Research and Application for VSC-HVDC Technology in China	Guangfu Tang Chief Engineer/VP SGSGI, China State Grid, China
9:50am	Distributed Dynamic Control at the Grid Edge	Johan Enslin Professor U of North Carolina at Charlotte, USA
10:10am	Morning Break	
10:30am	Study on the Onboard Power Electronics Transformer (PET) Applied to High Speed Trains (HST)	Jianghua Feng Chief Engineer/VP CRRC, China
10:50am	Advanced Electronics – The Technological Key to Future Grid Success	Chi Yung Chung Professor U of Saskatchewan, Canada

11:10am	Power Electronics Application in Distribution Systems	Xuzhu Dong Deputy Chief Engineer EPRI, China Southern Grid, China
11:30am	High Performance Power Converters Based on Power Device and Circuit Topology Evaluations	Xiangning He Professor Zhejiang University, China
11:50am	Applications and Industrial Prototype Development of Electronic Power Transformer	Chenxiong Mao Professor HUST, China
12:10pm	Lunch	All Participants

圖 一：會議議題及行程表

(三)、參加 2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference-ECCE Asia, IPEMC 2016—ECCE Asia 國際會議

本次會議在中國大陸合肥市白金漢爵會館舉行，由中國電工技術學會(China Electrotechnical Society, CES)及 IEEE 電力電子協會合作舉辦，彙集工業界、學術界知名專家、及學者發表最新的電力電子及控制系統相關技術，作為交換創新及革命性意見之場合，其會議每年在亞洲各國家舉辦一次，今年會議共吸引 43 個國家，約 950 名投稿者參與，其研究領域涵蓋電力轉換器、電力控制及微電網相關技術等，顯示該國際會議為在電力電子領域中具有其影響力。在會議第一天開幕儀式中，主辦單位邀請業界、學術界電力專家進行專題演講：

- 1、Si and SiC Power Modules Enabling Power Electronics Growth—Semiconductor & Device Group of Mitsubishi Electric Corporation, Mr. Gourab Majumdar (India).
- 2、State-of-the Art PV Inverters—Sungrow Power Supply Corporation, Mr. Jack Gu (China).
- 3、Motor and Inverter Developments for EVs—Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Mr. Kwang Hee Nam (Korea).
- 4、Grid Modernization: Electronic, Fractal, Structured, Fault-Tolerant, Resilient, and Asynchronous—Power Products Manager with National Government Agencies (NGAs), Mr. Don Tan (USA).



圖 二：合肥市白金漢爵會館

專題 1 : Si and SiC Power Modules Enabling Power Electronics Growth—Semiconductor & Device Group of Mitsubishi Electric Corporation, Mr. Gourab Majumdar.

此專題是由 Gourab Majumdar 先生演講，Majumdar 先生為三菱電機公司半導體元件部門研究員，於半導體功率元件領域發表過多篇論文、書籍及多項專利，因此在此會議上發表三菱電機公司研發現況與功率元件未來趨勢發展。電力電子發展突破係於 1956 年貝爾實驗室發明了 PNP 觸發電晶體，定義為閘流體(Thyristor)或稱為矽控整流器(SCR)，自此之後，陸續發展出許多不同類型的功率半導體元件以及轉換技術，並朝向模組化及系統整合方向前進，圖三為電力電子發展史，在 1980 年後，日本三菱電機提出智慧功率元件模組(Intelligent Power Module, IPM)，以提供過電流偵測保護之系統整合方案，電力電子革命已有日益加速的趨勢，隨著先進製程技術發展，開發出性能最佳的碳化矽(SiC)功率元件。

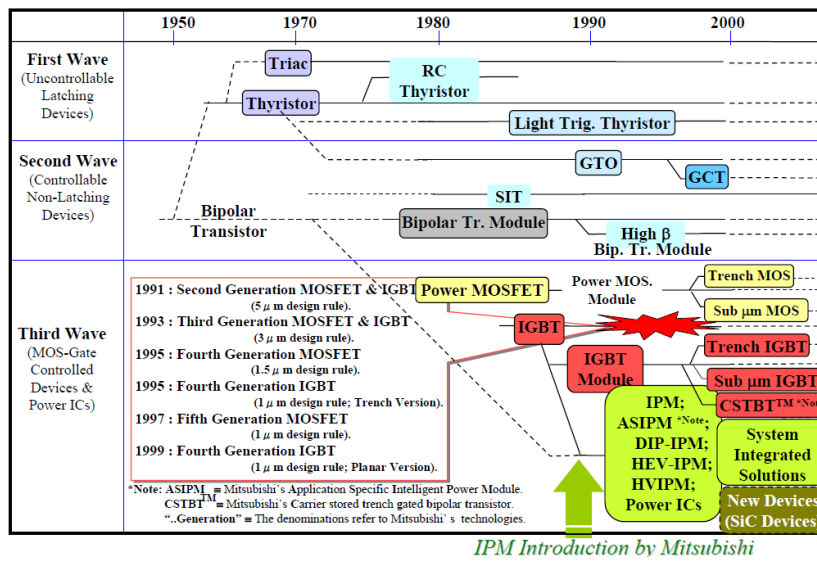


圖 三：電力電子發展史

電力電子元件整體功率消耗從 1985 年至 2000 年間降低至原來的 1/3 倍，今後的功率元件將朝向更高操作溫度、高可靠性、及高功率密度發展，以提供更低消耗、更長使用壽命、及更小尺寸的高性能產品。

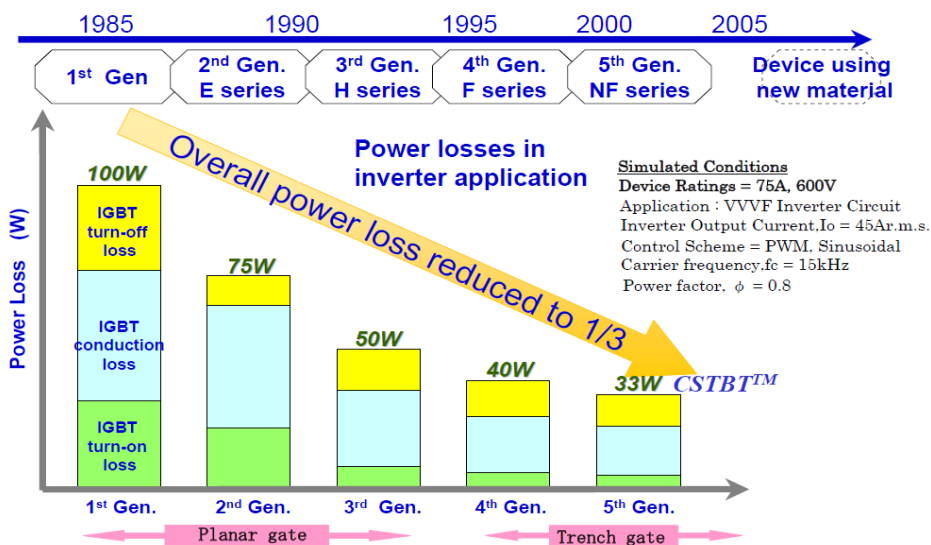
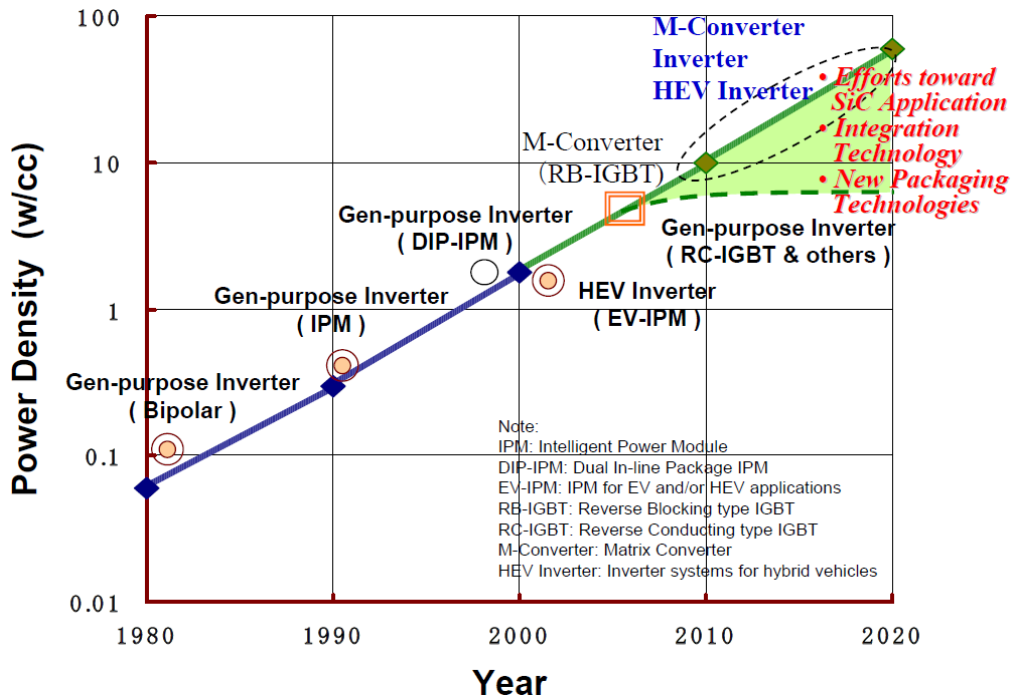


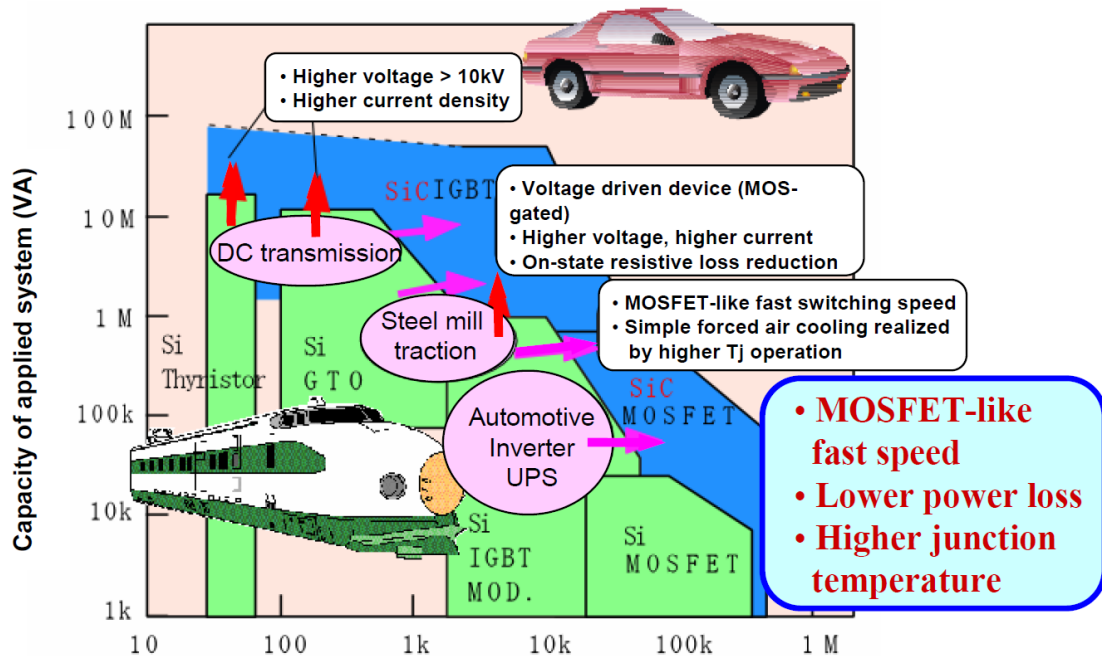
圖 四：功率元件整體損耗趨勢

隨著半導體製程技術的進步，元件操作在更高電壓，造成元件功率密度逐漸攀升、元件接面溫度提升，為了達到未來應用需求，耐高壓元件(碳化矽)及新的封裝技術成為現今重要的研究項目。



圖五：元件功率密度趨勢

圖六顯示功率元件之應用及其頻率範圍，直流傳輸系統、汽車逆變器 UPS 等功率元件，在追求更高的操作頻率和更高功率處理能力的情況下，從原本的矽閘流體、矽 IGBT 元件，將往碳化矽 IGBT、碳化矽 MOSFET 方向發展。



圖六：功率元件之應用及其頻率範圍

相較於傳統矽(Si)功率元件，碳化矽(SiC)功率元件可明顯降低功率損耗及其他優越特性，使其成為各家電子元件大廠研究對象，日本三菱電機公司自 1990 年開始投入碳化矽功率元件研究開發，現今已開發出多款自家模組元件，雖然目前主流產品仍是傳統矽功率元件，但在近年來節能減碳的訴求下，日本三菱電機公司預測碳化矽功率元件需求量將逐年增加。

碳化矽材料相較於矽材料具有四大主要優勢，第一優勢為允許元件在較高溫的情況下工作。傳統矽材料在溫度升高將造成元件漏電流增加，導致元件發生異常工作，但由於碳化矽材料本身能隙為矽材料的 3 倍(如圖七)，使得在相同的溫度情況下，碳化矽材料有更低的漏電流，進而允許其可操作在較高溫的環境下仍可正常工作。

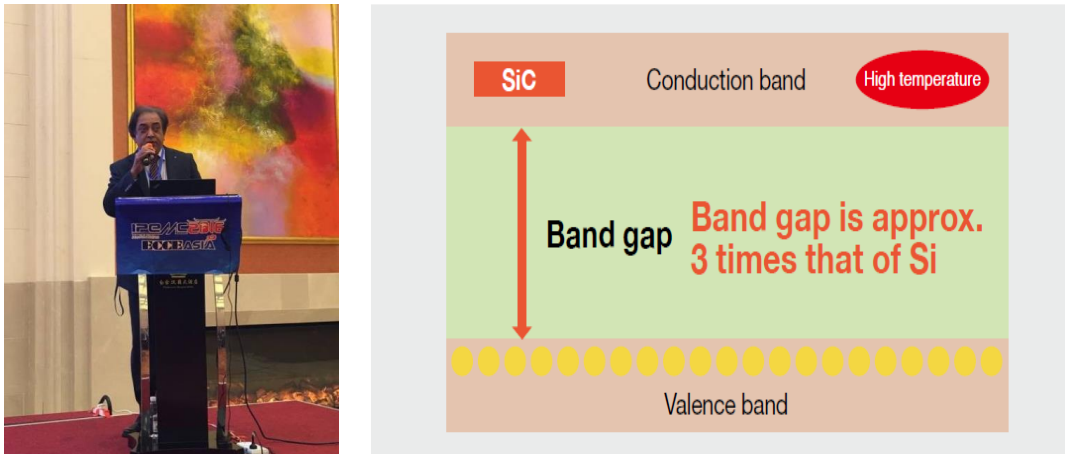


圖 七：碳化矽材料能階示意圖

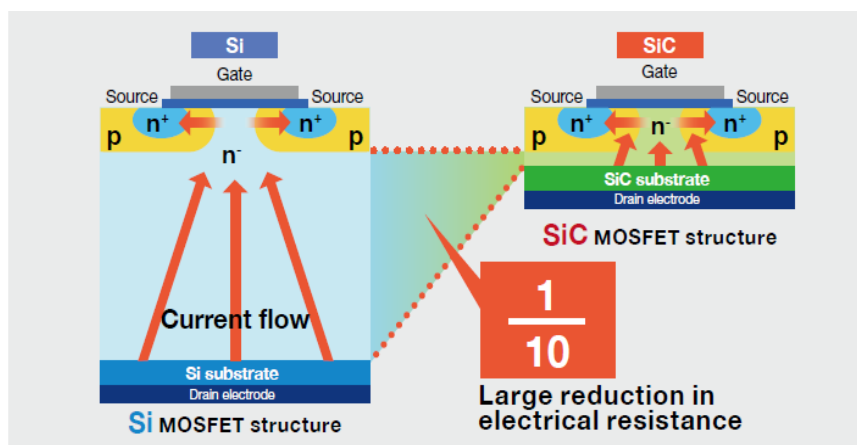


圖 八：碳化矽與矽材料 MOSFET 元件結構剖面圖

第二優勢為較低的功率損耗，碳化矽材料具有高於矽材料 10 倍的崩潰電場強度，顯示其元件可承受較高的逆向偏壓，此外碳化矽載子行經路徑僅為矽材料的十分之一(如圖八)，故有較低的內部電阻，進而降低功率損耗。

第三優勢為高速切換操作與散熱效果，由於具備高介質崩潰電壓、低功率損耗，使得元件容易於高電壓操作，在製作成碳化矽蕭特基二極體 (Schottky Barrier Diodes, SBDs)時，可進行高速切換操作；另因其熱傳導率為傳統矽材料的 3 倍，故其散熱較好。

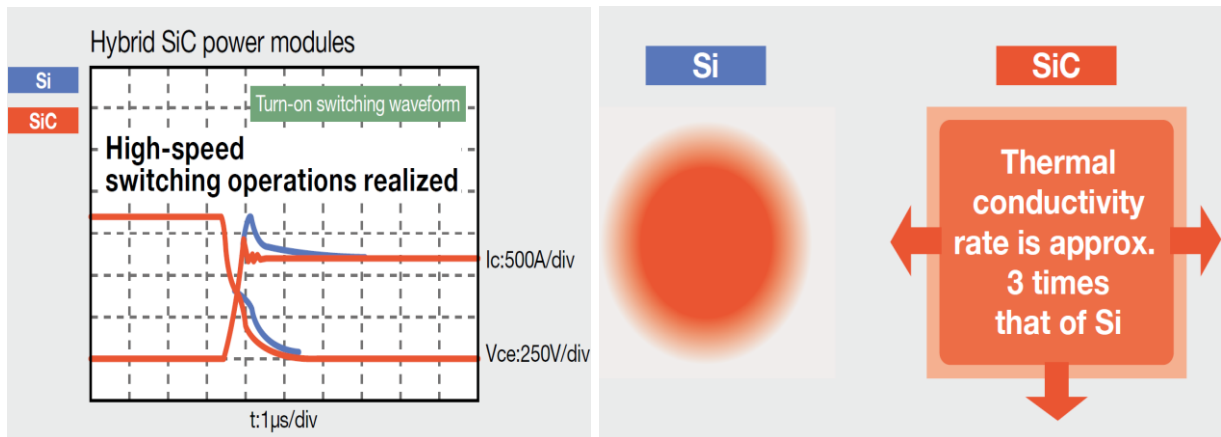


圖 九：碳化矽與矽材料特性比較圖

圖十為應用一般工業領域混合式碳化矽智慧功率元件模組(Hybrid SiC-IPM)，其使用碳化矽蕭特基二極體(SiC-SBD)，其具備內建驅動電路及保護電路，功率損耗較一般傳統矽智慧功率元件模組減少 20%。

SiC-SBD incorporated in an IPM with a built-in drive circuit and protection functions

Power loss reduction of approx. 20% contributes to enhancing the performance of industrial machinery

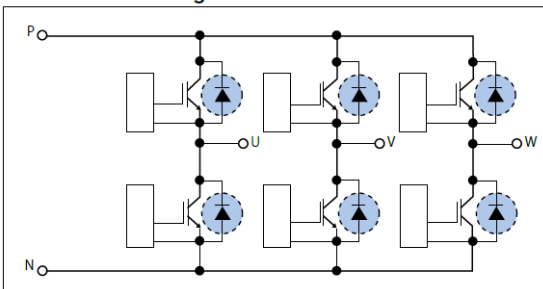
■ Features

- Hybrid combination of SiC-SBD and IGBT with current and temperature sensors implemented for IPM supplies high functionality and low loss enabling high torque and motor speed
- Recovery loss (Err) reduced by 95% compared to the conventional product*
- Package compatible with the conventional product* making replacement possible

* Conventional product: Mitsubishi Electric S1 Series PM200SC1D060



■ Internal circuit diagram



■ Power loss comparison

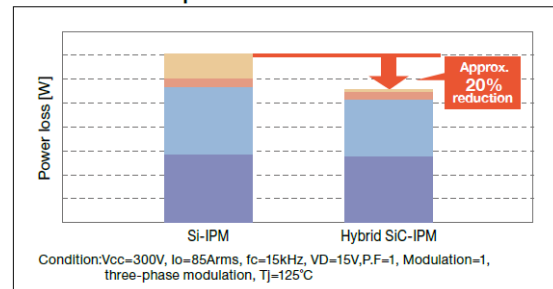


圖 十：600V/200A 混合式碳化矽智慧功率元件模組

圖十一為應用於冷凍空調之高效率功率因數校正(Power Factor Correction, PFC)變流器，在功率因數校正(PFC)電路部分，由於高頻操作與低損耗要求，二極體元件採用碳化矽蕭特基二極體(SiC-SBD)，整體電路封裝部分使用 DIP(Dual In-Line Package)封裝，變流器電路(Inverter Circuit)部分則採用 DIP-IPM 封裝，使得系統零件簡化並達到高操作效率。

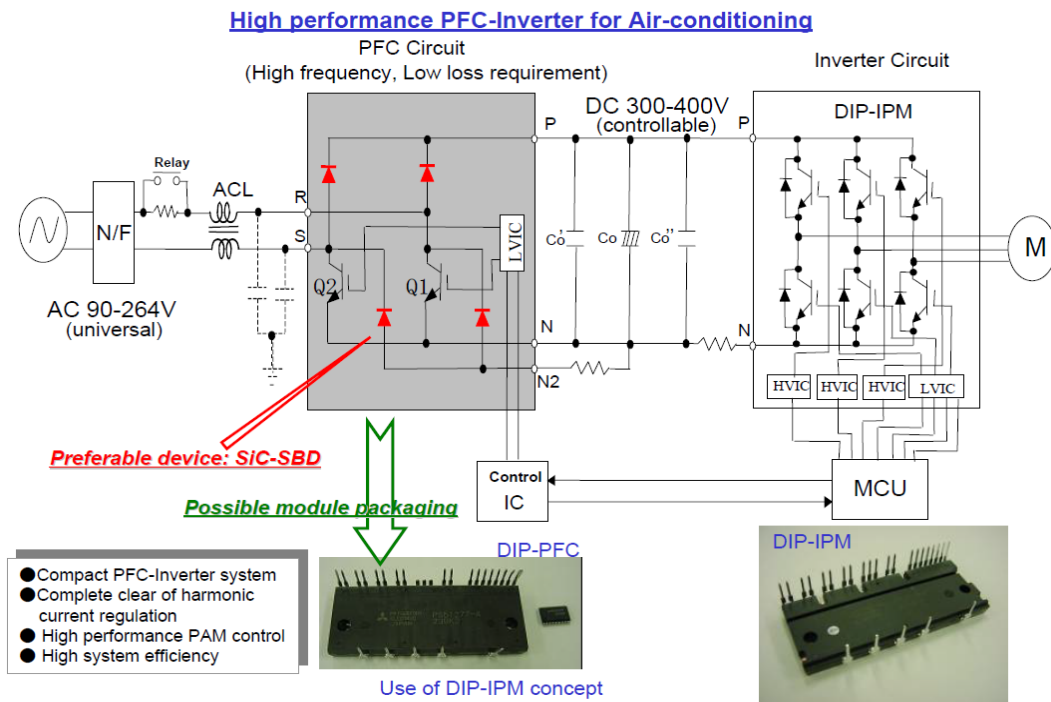


圖 十一：碳化矽功率因數校正模組

圖十二為應用一般工業領域混合式全碳化矽智慧功率元件模組(Full SiC-IPM)，其使用碳化矽 MOSFET 及蕭特基二極體(SBD)，其具備內建驅動電路及保護電路，功率損耗較一般傳統矽智慧功率元件模組減少 70%。

Built-in drive circuit and protection functions realize high functionality

■ Features

- Incorporates SiC-MOSFET with current sensor and built-in drive circuit and protection functions to deliver high functionality
- Significant reduction in power loss compared to the conventional product*
- Package compatible with the conventional product*

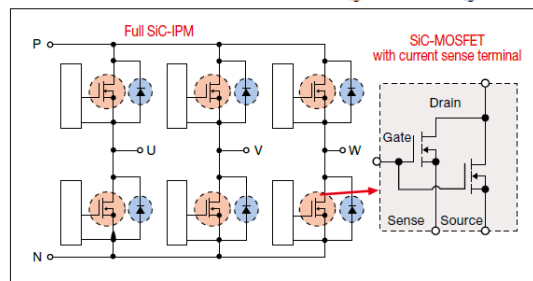
* Conventional product: Mitsubishi Electric IPM L1 Series PM75CL1A120

■ Main specifications

Rating	1200V/75A 6in1
Mounted Functions	<ul style="list-style-type: none"> • Built-in drive circuit • Under-voltage protection • Short-circuit protection • Over temperature protection (Monitoring IGBT chip surface)



■ Internal circuit diagram



■ Power loss comparison

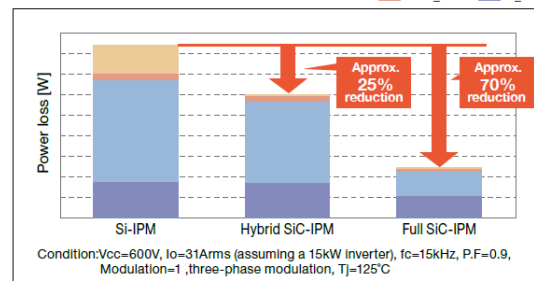


圖 十二：1200V/75A 混合式全碳化矽智慧功率元件模組

現今全球氣候變化已成為人們日常生活中關注的焦點，使得電力消耗在節能減碳、生態相容共生等訴求上逐年增加，功率電子元件的發展在抑制全球氣候變化中扮演重要角色，碳化矽功率元件具有優異的操作特性，可取代傳統矽功率元件不足之處，而碳化矽功率元件應用在生活情境上，亦需在成本、穩定度、額定功率及需求等考量上取得平衡，才可使其各適其所。

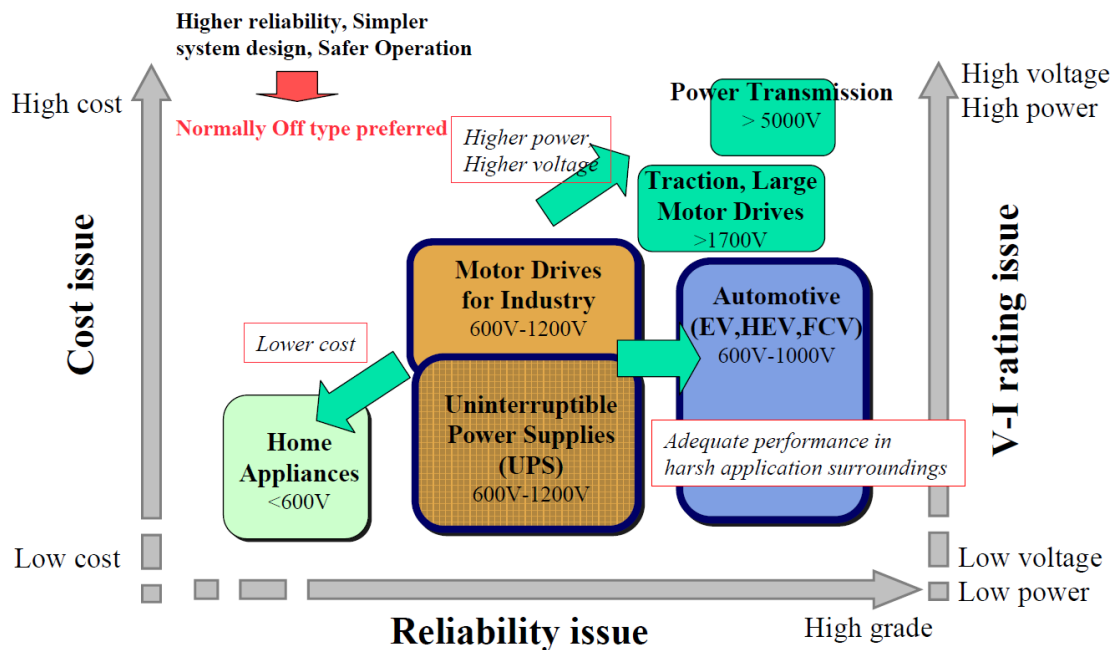


圖 十三：SiC 功率元件應用情境

專題 2：State-of-the Art PV Inverters—Sungrow Power Supply Corporation, Mr. Jack Gu.

此專題是由 Jack Gu 先生演講，Gu 先生現任職於中國大陸陽光電源公司，陽光電源公司主要提供太陽能變流器、儲能系統及電動車控制器等產品，故本次聚焦在太陽能電池變流器的最新技術。在併網應用的太陽能發電站，是經由功率調節單元(變流器)連接到電網，變流器控制太陽能電池陣列(PV Array)輸出在最大功率點(Maximum Power Point, MPP)，故在系統發電效率及穩定度上扮演重要角色，此外，變流器(Inverter)將由太陽能電池陣列所產生的直流電源，轉換為期望的交流電電壓與頻率，目前太陽能併網結構的基本逆變器技術可分類如下：

- A、中央式變流器：在這種拓撲結構的太陽能電池發電站 (> 10 千瓦)，許多太陽能電池陣列採並聯、串聯到單一中央變流器上，其優點為具有最低的成本，然而，太陽能電池的發電量會因太陽能電池陣列彼此不匹配、及遮光狀態而降低。此外，當中央變流器故障時，將導致整個太陽能發電系統無法運作。
- B、並聯串式變流器：類似於中央式變流器，在這個概念的太陽能發電站分為幾個並聯串，每個並聯串連接到每個中央變流器上，每個並聯串變流器具有單獨的 MPP 追蹤能力，可降低太陽能電池陣列匹配損失及陰影損失。
- C、模組式變流器：每個太陽能電池模組有各自的變流器，每個變流器有各自 MPP 追蹤能力，但有較高的維護成本。

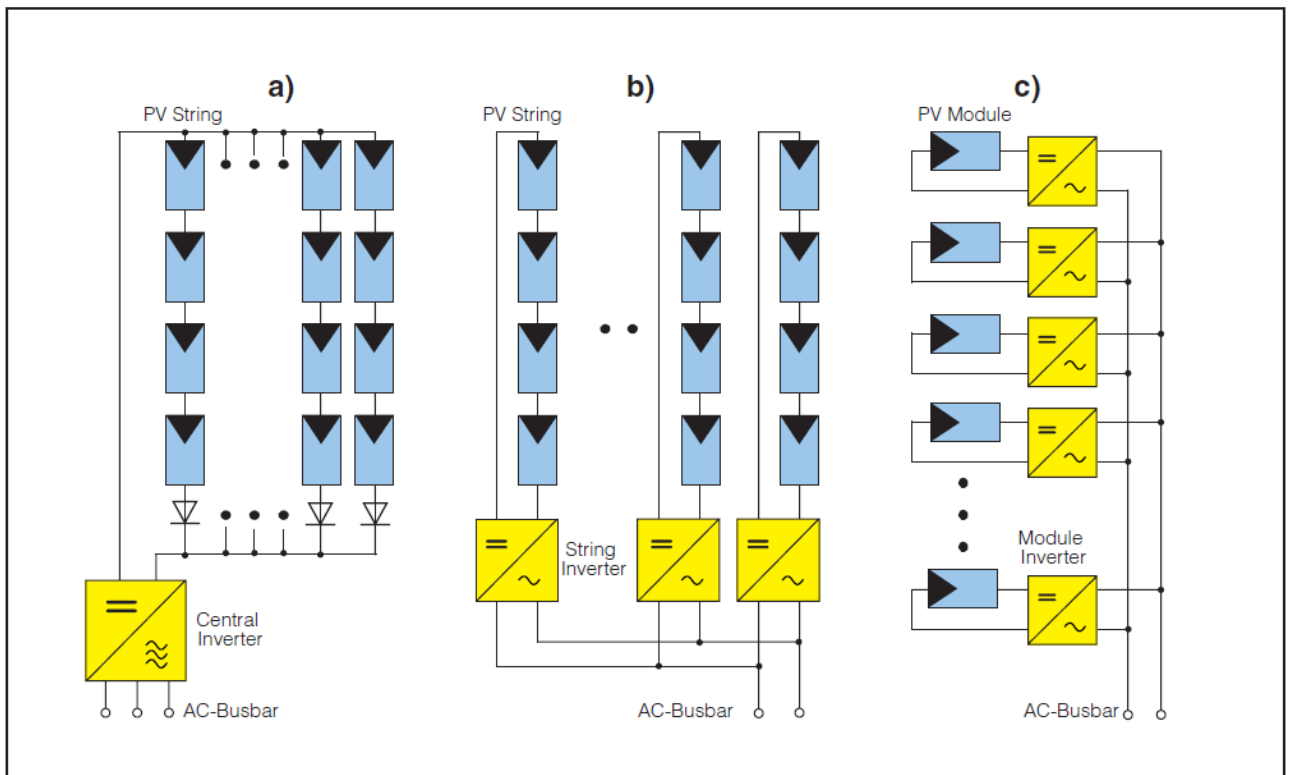


圖 十四：太陽能發電系統連接架構(a)中央式變流器；(b)並聯串式(string)變流器；
(c)模組式變流器

演講者針對目前太陽能發電系統的變流器，提出四個改善轉換效率的選項，其中認為使用高能隙(Wide Band Gap)功率元件(如碳化矽、氮化鎵)來降低切換損失，以及使用多準位(Multilevel)系統結構來降低太陽能電池模組間不匹配問題，可提升變流器轉換效率。

4 options to increase efficiency of PV inverter

Option 1: soft-switching technologies

- Soft-switching technologies are mature and widely used in isolated DC/DC area
- Lots of DC/AC soft-switching topologies are presented in academe
- Soft-switching DC/AC technologies are considered only in the applications that power density is the top requirement
- Power density of PV inverter is important but not the No.1 consideration

Option 2: decreasing switching frequency

- Switching losses could be decreased by lower switching frequency
- But power density is also low since inductor is bulky with low switching frequency (1kHz~3kHz)
- No obvious improvement of Bmax performance of magnetics
- This is the major way to increase efficiency in the past 10+ years in PV inverter industry

Option 3: Wide-band-gap devices (SiC, GaN)

- Switching performance is improved, switching losses of semiconductors are still low with relatively high switching frequency

Option 4: Multilevel topologies



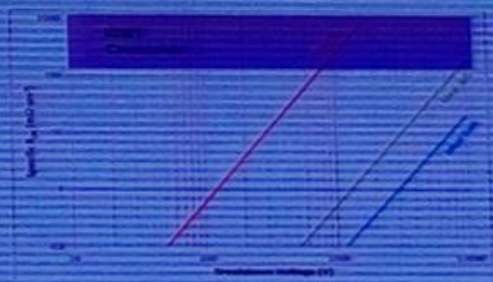
- Frequency for semiconductor is relatively low
- Equivalent frequency for inductor is relatively high
- Perfect way to mitigate the conflict

www.sungrowpower.com Green and Effective

圖 十五：增加太陽能變流器轉換效率選項

使用碳化矽 MOSFET 功率元件組成的變流器，在 40 kW 太陽能系統變流器，可達到峰值效率 99.4%。

Option 3 : Application of SiC Device in PV inverter

Lab prototype of 40kW PV inverter with SiC MOSFET

- Latest research progress in Sungrow
- Peak efficiency: 99.4%, European efficiency: 99%

Two steps for commercialization:

- 1: keep 99% efficiency and increase power density (cost consideration)
- 2: increase efficiency to 99.5%

- High voltage SiC device (15kV): more power electronics from inverter to power grid

www.sungrowpower.com Green and Effective

圖 十六：碳化矽元件應用於 PV 變流器

使用多準位(Multilevel)系統結構，具備較低的切換頻率、低諧波失真度、開關低電壓應力等優點。

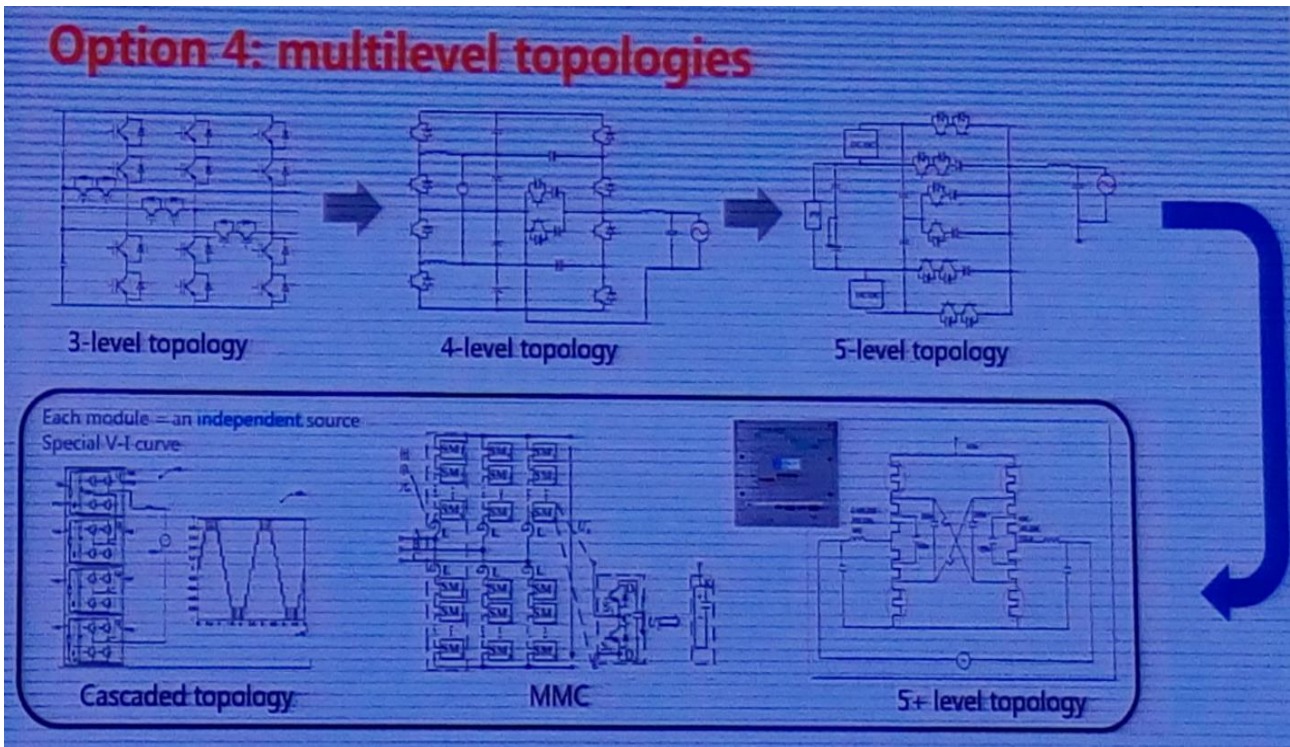


圖 十七：使用多準位結構 PV 變流器

未來太陽能發電系統中，其變流器將朝中壓(MV)/高壓(HV)輸出，以減少現況因多級轉換器連接，造成整體發電效率下降情形，使系統邁向更高轉換效率。

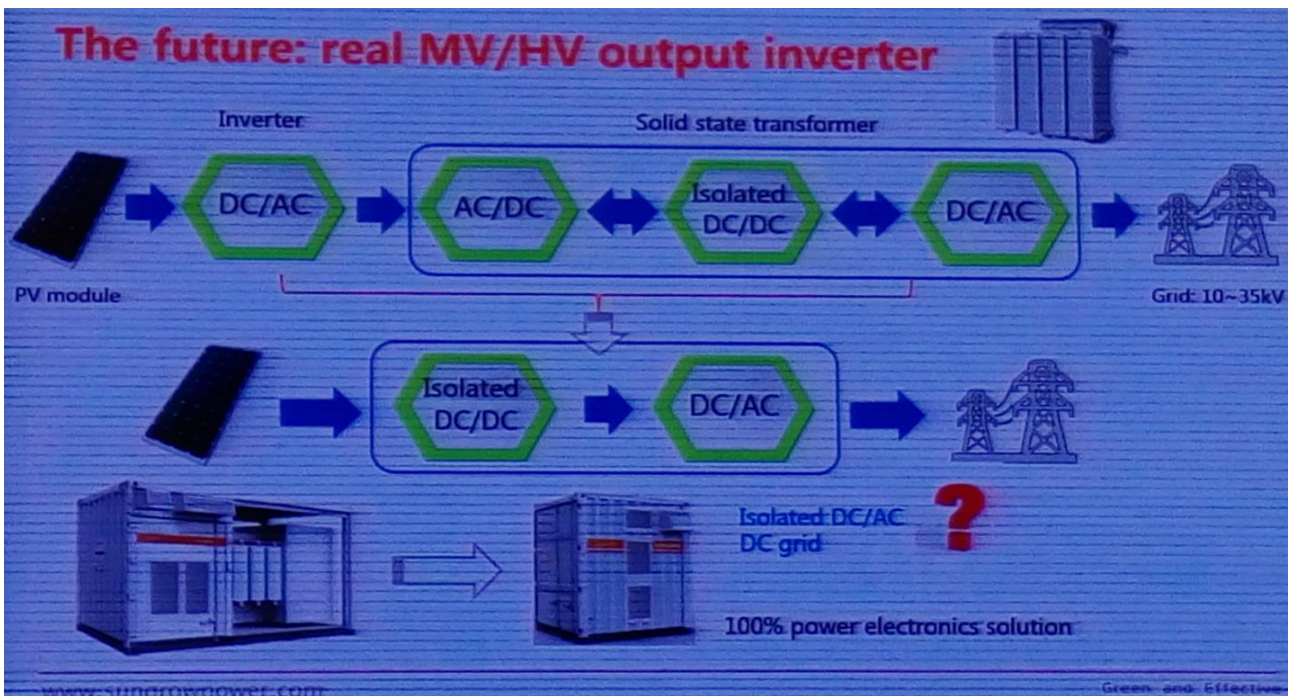


圖 十八：未來太陽能發電系統轉換器趨勢

專題 3：Grid Modernization: Electronic, Fractal, Structured, Fault-Tolerant, Resilient, and Asynchronous — Don Tan

此專題是由 Don Tan 先生演講，Tan 先生為 IEEE 院士並參與多場國際會議演講，本次演講以電網現代化為主題。電網現代化需考量地理環境、使用者習慣及電網架設成本，以提供雙贏的服務方案，電子化提供智慧管理與遠端遙控功能，在採用分型式電網結構時，可依需求達成電網擴充。微電網架構將整合再生能源、儲能系統並提供自主式能源平衡與控制，並在故障發生時可進行局部隔離，以降低對系統的衝擊，故系統內建錯誤管理，可使系統從人為或自然災害中自主恢復。

傳統電力網路架構有以下先天劣勢(如圖十九)，首先是配接的電力線已有一百年之久有老化現象，單向電力傳輸路徑，過度集中式發電，超載傳輸容量，錯誤容忍度較差、及無法進行錯誤隔離等缺點，在近年來再生能源的開發，使得電力輸出品質、穩定度成為重要考量，微型電網或智慧電網整合市電、再生能源，並提供穩定電力的一個選擇方案，關於智慧電網，EISA(the Energy Independence and Security Act) 作了功能上的定義:

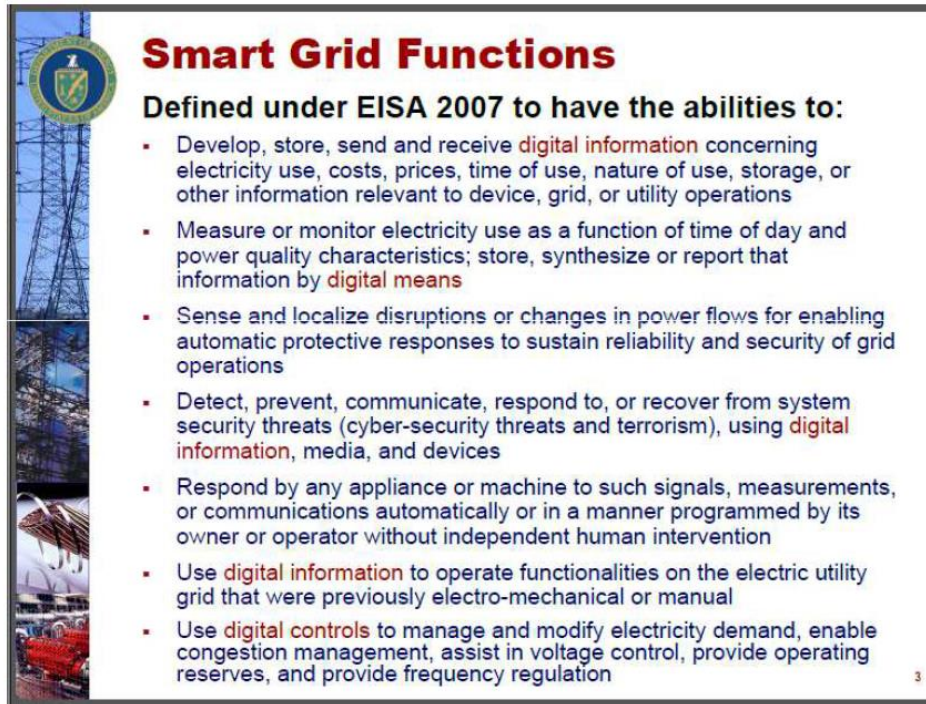
- A、可接收、傳送及儲存電力成本、價格、使用情形、運作情形等數位資訊。
- B、量測或監控每日電力使用、電力品質並整合輸出數位資訊。
- C、感測且局部改變功率流，以提供系統自動保護，穩定、保護電網運作。
- D、在系統有安全威脅時，以數位資訊進行偵測、預防、溝通並反應。
- E、系統設備依據所得到的數位資訊進行反應。
- F、以數位訊號操控電力輸出功能。
- G、使用數位控制去管理、修正電力需求，電壓控制及調節頻率等功能。

Fundamental Limits of the Grid

- * Fundamental limits with the traditional grid
 - * More than 100 years old
 - * Uni-directional power flow
 - * Expensive central generation
 - * Over-loaded transmission capacity
 - * Inadequate ability to tolerate faults
 - * Inability to isolate faults
- * Note
 - * Technically, the US NAE listed the grid among the top ten engineering achievements in the last century
 - * Economically, the grid is an \$800B asset that is paid for
 - * Operationally, the grid works well when it works (Power availability extremely high)

圖 十九：傳統市電的先天限制

Smart Grid Abilities



Smart Grid Functions

Defined under EISA 2007 to have the abilities to:

- Develop, store, send and receive **digital information** concerning electricity use, costs, prices, time of use, nature of use, storage, or other information relevant to device, grid, or utility operations
- Measure or monitor electricity use as a function of time of day and power quality characteristics; store, synthesize or report that information by **digital means**
- Sense and localize disruptions or changes in power flows for enabling automatic protective responses to sustain reliability and security of grid operations
- Detect, prevent, communicate, respond to, or recover from system security threats (cyber-security threats and terrorism), using **digital information**, media, and devices
- Respond by any appliance or machine to such signals, measurements, or communications automatically or in a manner programmed by its owner or operator without independent human intervention
- Use **digital information** to operate functionalities on the electric utility grid that were previously electro-mechanical or manual
- Use **digital controls** to manage and modify electricity demand, enable congestion management, assist in voltage control, provide operating reserves, and provide frequency regulation

10

圖 二十：智慧電網功能定義

電網的電子化取代早期人工操作電力設備情形，以下為現今連接在電網上各種電力設備，有些設備甚至可透過數位訊號進行溝通，並具備智慧控制。

Grid-Connected (I/F) Converters



- * Micro-inverter
- * Bi-directional dc/ac converter
- * Grid-tied inverters for solar or wind
- * Demand response inverter



21

FACTS, STATCOM, APF, SVC, etc.

- * SVC
- * Static VAR Compensator
- * APF
- * Active Power Filter to eliminate undesirable harmonics



- * FACTS
- * Flexible AC Transmission System with static and electronic devices/circuits to enhance stability, control and power transfer capacity
- * STATCOM
- * Static Synchronous Compensator



22

圖 二十一：電子化電力設備

Intelligent Electronic Power Transformer



First power transformer, 1883



Current power transformer



In the Works:
Digitally Controlled Electronic Power Transformers

- * Combine the function of electric transformer and voltage regulator in a power substation with digital remote control and reduced size and weight*



*. First deployment was in Wuhan Steel Works by HUST

23

Solid-State Circuit Breakers & Smart Fuses

- * Solid-State Circuit Breaker can be remotely controlled with response time in microseconds and adjustable trip thresholds to connect or disconnect circuits, critical for resiliency



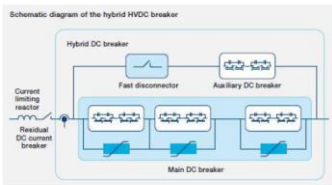
In the Works:
Intelligent Solid-State Circuit Breakers & Smart Fuses

- * Smart fuse can be reset remotely and protect against "smart short"

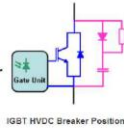
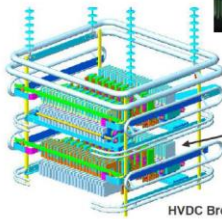


24

HVDC Circuit Breakers



Capable of interrupting current in 5 ms for up to 1 GW



IGBT HVDC Breaker Position

Figure 4: Design of 80kV main HVDC breaker cell

25

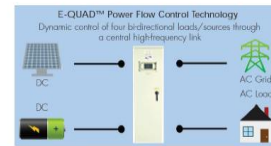
Bi-Directional Power & Control Unit

- * This is not just an energy router



DynaPower 50kW (3-in-1)

DR1-10kW (4 ports)



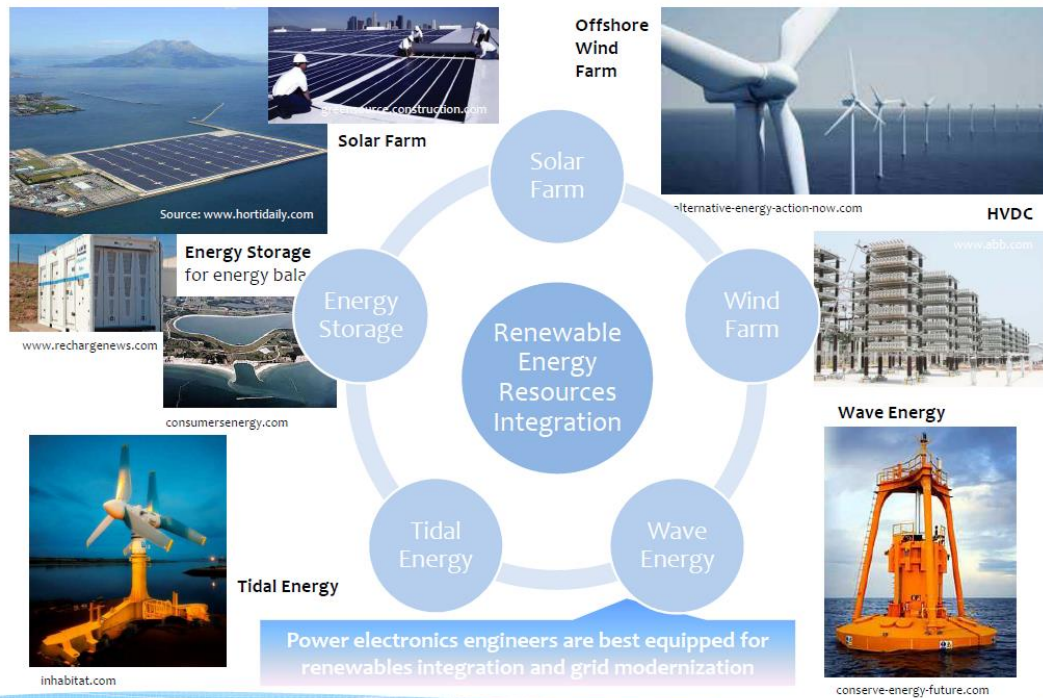
Bi-Directional Power Dist. & Control Units

26

圖 二十二：電子化其他電力設備

電網的分型化(Fractal)，藉由整合風力、太陽能、潮汐等乾淨的再生能源，可提供分散式、區域型的發電系統，具備可複製、無限擴充特性，並達成節能減碳之目的。

Integration of Green Energy Systems



Fractal Structure of Modern Grid

- * Three (3) Fundamental Characteristics of Fractals
 - * Simple rules for infinite iterations
 - * Self similarity to scale
 - * Non-integer dimensions

- * Fractal Grid
 - * Infinite extendable
 - * With finite footprint (area), environment friendly
 - * Iterative nature ensured through microgrids

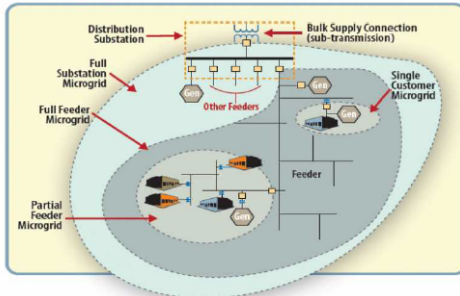
*Classical calculus is inadequate to describe the complexity of the modern grid

29

圖 二十三：現代電網分型化特性

微電網的架構，是由負載、能源(市電及再生能源)、儲存裝置、偵測器與資料匯流排組成，並具有電力平衡、孤島與市電模式切換、故障容忍與故障孤立、雙向電力流及模組化特性，直流匯流排提供新的微電網架構，使得電力需求從傳統的交流電，轉換成直流電。

Structured Microgrids: A Definition



DoE: A group of interconnected loads and distributed energy resources (DERs) with clearly defined electrical boundaries that acts as a single controllable entity with respect to the grid (and can) connect and disconnect from the grid to enable it to operate in both grid-connected or island mode.

Extension of the DoE Definition*

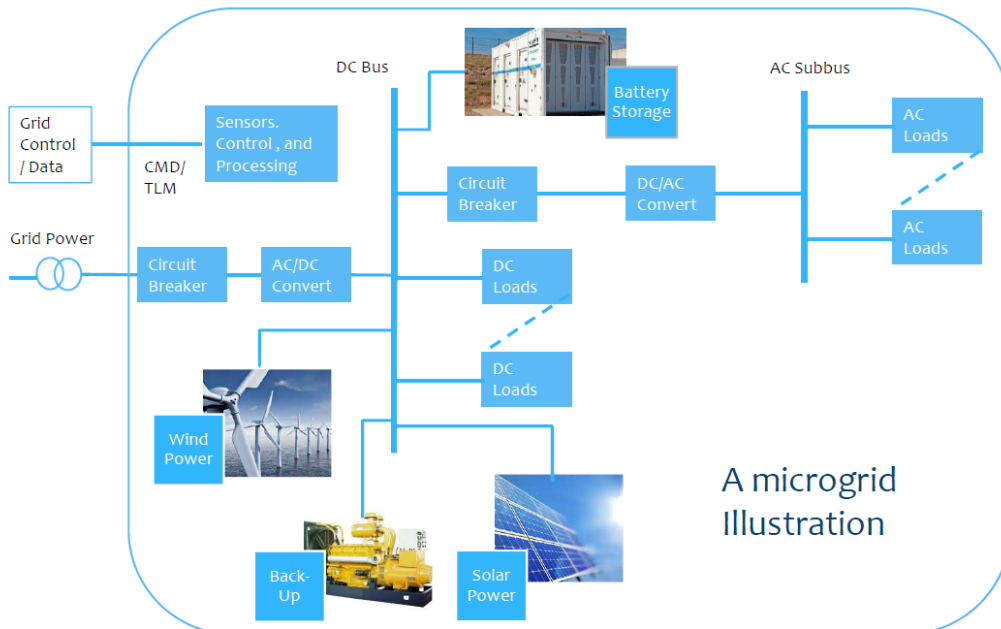
Integrated with loads, energy sources, storage devices, sensors, and data bus, a structured microgrid is an autonomous subsystem that features

1. Balanced energy over the intended operation/capacity
2. Reconfigurable for stand alone or grid connected
3. Resilient with fault tolerance/fault isolation
4. Bidirectional power flow
5. Modular/scalable

*Definition can be extended for multi-port cases

31

An Illustration of Microgrid Structure



33

圖 二十四：直流匯流排微電網架構

由於分散型太陽能電池發電的大量導入，在未來將出現白天發電量超過用電量，但在傍晚時太陽能停止發電時，出現電力需求急遽上升現象，造成市電供給端無法及時供應，如圖二十五鴨型負載調度曲線顯示，故隨著太陽光電推動加速，未來將遭遇許多電力系統運轉之穩定與安全問題。

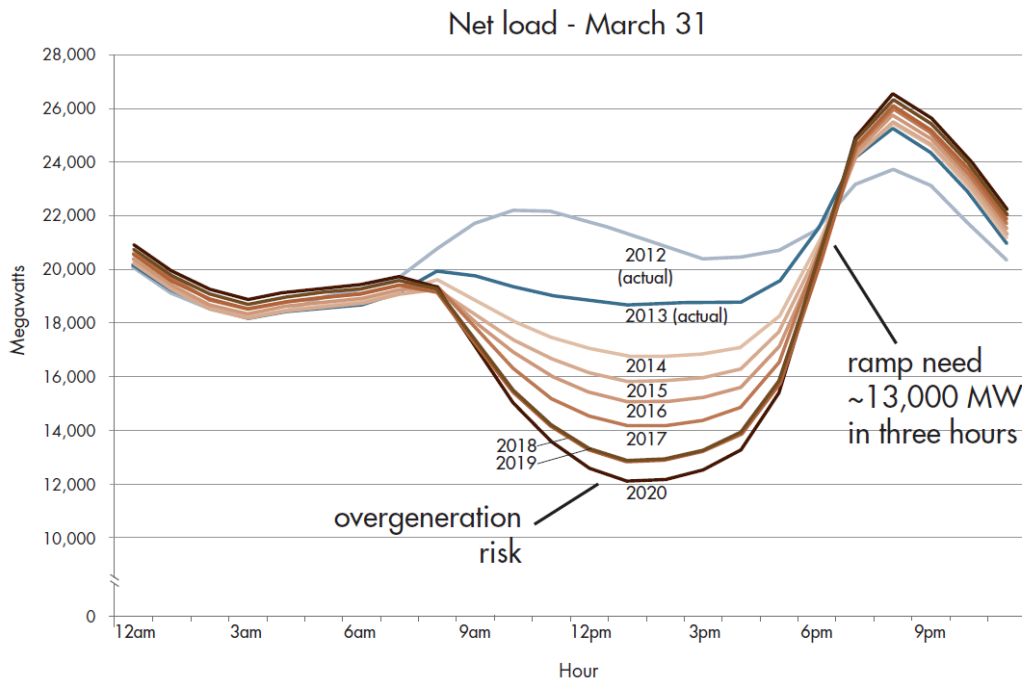


圖 二十五：鴨型負載調度曲線

Curbing the Duck Curve (cont'd)

- * With more renewable energy coming on line from distributed generation, things are getting “worse”

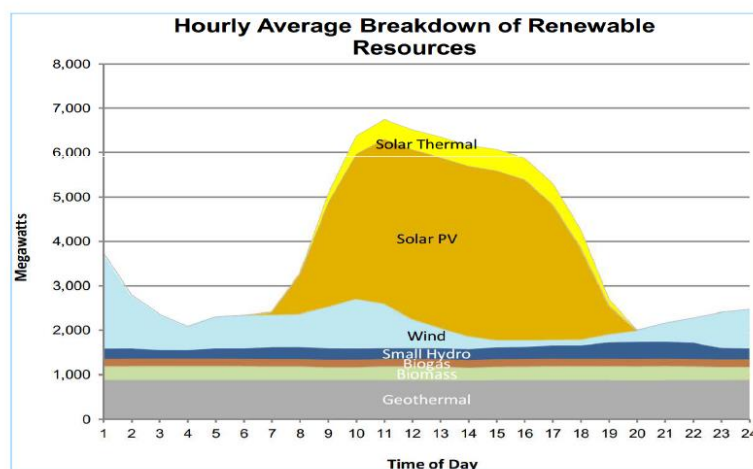
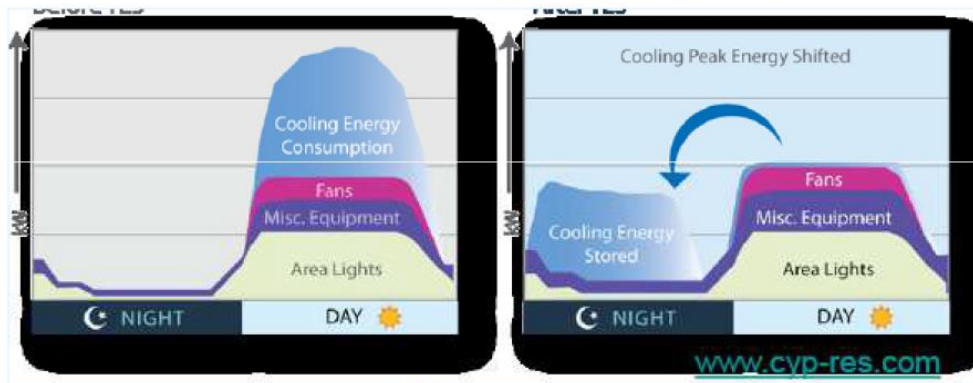


圖 二十六：替代能源每日發電概況

削峰填谷手段為解決鴨型負載曲線的一種方法，所謂削峰填谷即將白日再生能源所產生的過多電力儲存，並在晚間時釋放電力供用戶使用，如此即可舒緩供需曲線的差異，減少變動，屆時將需要有足夠且穩定性高的儲能系統提供以上功能，故儲能系統在未來能源儲存、市電平衡訴求下更顯重要。

Curbing the Duck Curve (cont'd)

- * Peak shifting: Use of “excessive generation capacity” to charge up energy storage during the valley demand and then release the stored energy to supply the peak demand



With structured microgrids that are energy balanced, grid bulk power can even play the role of supplying peak demand

圖 二十七：電力削峰填谷

(四)、簡報發表成果

在這次國際會議上，由核能儀器組鄭金展研究助理發表核研所開發具備熱插拔功能的先進儲能系統。有別於一般傳統儲能系統，僅有一組中央集中化電池作為電力儲存並經轉換器(Inverter)輸出交流電，一旦中央集中化電池發生故障時，系統即無法運作。而本所開發之儲能系統係由五組轉換器串接輸出，每組轉換器各別有鋰鐵電池(52V)模組連接，使總交流輸出之有效交流電壓為 110V，當其中一電池模組故障時，每組轉換器各自提供權重電壓，以維持總輸出電壓值，儲能系統仍可穩定運轉，大幅增加儲能系統可靠度，另外電池模組如於系統運轉中更換，系統仍可正常運作。

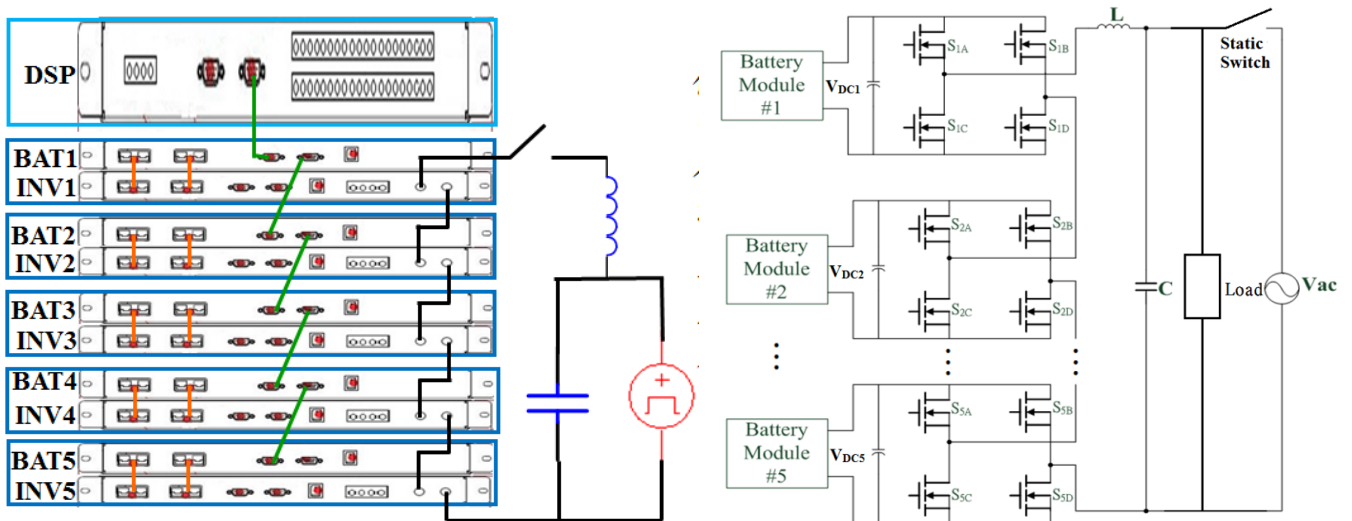


圖 二十八：發表儲能系統架構

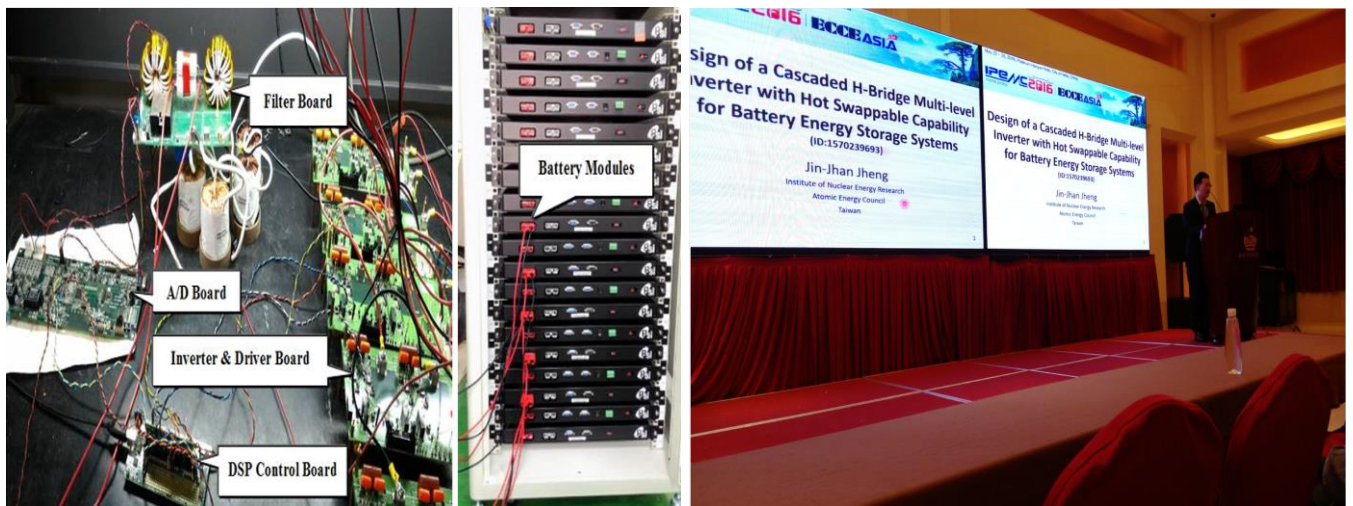


圖 二十九：成果發表

(五)、參訪杭州浙江大學電力電子實驗室

鄭員會同中華民國電力電子協會、及國內教授群，前往杭州浙江大學參訪電力電子實驗室，浙江大學電力電子領域在大陸學府中知名度頗高，藉此了解大陸學術單位在電力電子領域的研究方向，作為本所微電網未來規劃與技術發展之參考。

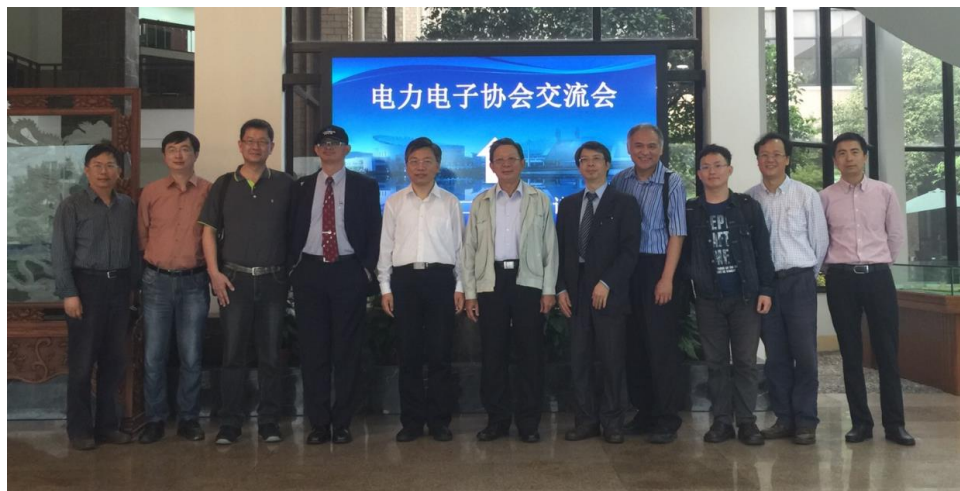


圖 三十：浙江大學工業電子技術實驗樓

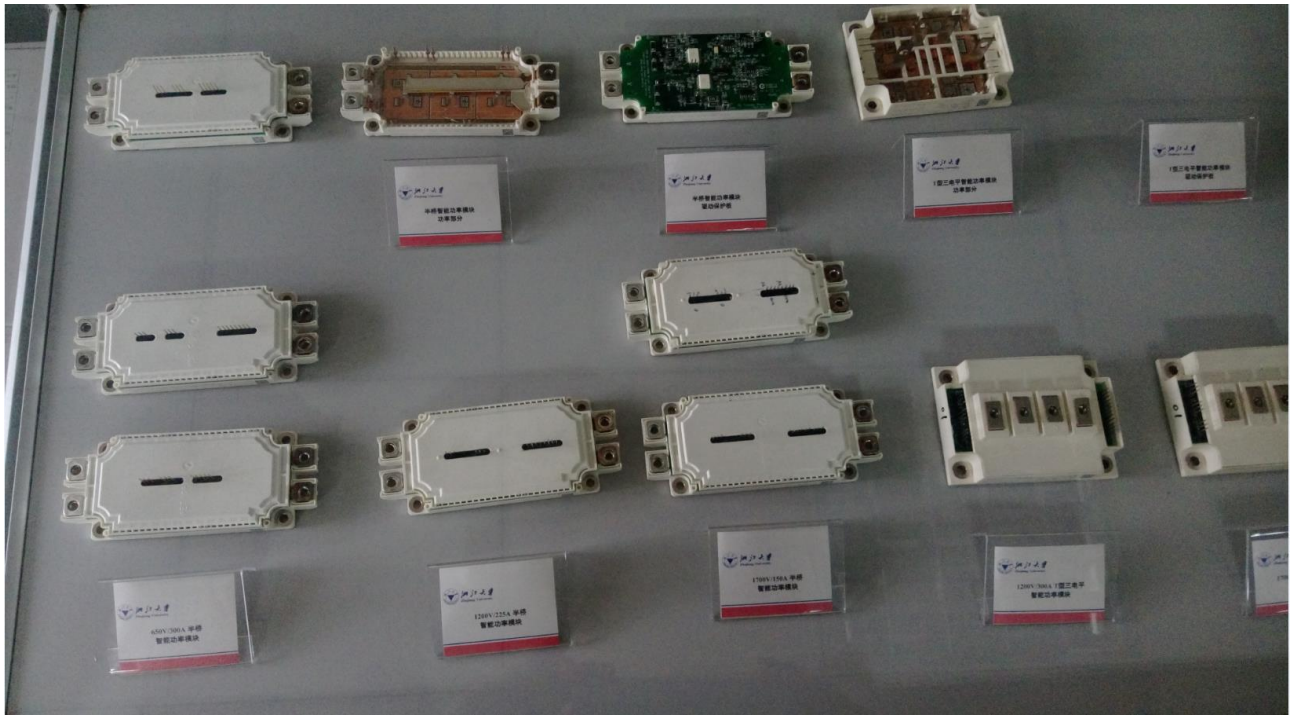


圖 三十一：浙江大學自行開發的智慧功率元件模組

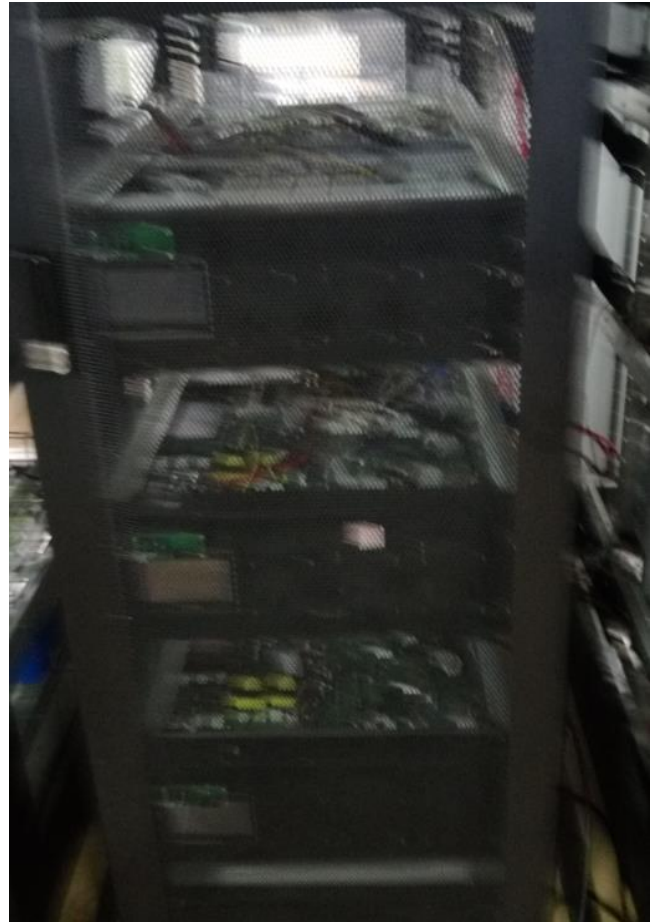


圖 三十二：浙江大學自行開發 30kW Inverter



圖 三十三：浙江大學開發的 400kJ 超級電容

2、 浙江大學—富士電機創新中心微型電網示範平台

位於浙江大學紫金港校區東教學樓 500 公尺走廊頂部，由浙江大學和日本富士電機合作，建設波浪狀的非晶矽薄膜太陽能電池發電系統，主要用於微型電網與智慧配電網技術解決方案研究與性能展示，因太陽能電池發電是目前發展速度較快的技術產業，故成為浙江大學智慧電網平台重要研究內容，此系統採用富士電機非晶矽薄膜太陽能電池以及富士電機和浙江大學各自開發的太陽能併網系統，系統發電容量為 68kWp。

結合浙江大學玉泉校區之再生能源微型電網，及紫金港太陽能電池發電系統，建構一個跨區域、電力與資訊雙向流通的智慧電網研究平台。



圖 三十五：浙江大學—富士電機創新中心微型電網示範平台



圖 三十六：浙江大學紫金港校區東教學樓走廊薄膜太陽能電池

(3)、浙江省海洋可再生能源電器裝備與系統重點實驗室

由於中國海域面積遼闊，擁有相當多數量的海島(離島)，大部分海島未與大陸主電網連結，海島用電普遍依靠島上的自備柴油發電機組，居民無法獲得穩定可靠的電能，近年來海島的保護、開發愈來愈受到政府重視，積極研究和建設海島微電網，充分利用島上豐富的風能與太陽能，以最小化建置成本，達到最大化再生能源使用效率及可靠性為目標。

此實驗室提供先進的海洋可再生能源發電併網裝置研發與測試、海洋微電網系統模擬分析研究、海洋微電網儲能系統優化與性能測試研究、海洋多種能源混合發電系統研究與試驗等的平台。



圖 三十七：浙江大學海洋可再生能源電氣裝備與系統重點實驗室

三、心得

參加本次在中國大陸合肥舉辦 IPEMC 2016—ECCE Asia 會議論文，除了發表本所開發之先進儲能系統外，也在各專家、學者演講中了解電力電子領域未來發展，尤其是再生能源及節能上的應用。再生能源部分，各國相競投入風力、太陽能的開發，相關電力轉換器如變流器(Inverter)愈顯重要，其變流器功率元件將往更低損耗方向前進，碳化矽(SiC)功率元件將可能取代現有矽功率元件。

開發的再生能源中，太陽能電池仍屬相對穩定之再生能源，在未來各國大量投入使用後，因太陽能電池中午尖峰發電、黃昏無太陽能電力輸出特性，將造成鴨型負載調度曲線現象，屆時將需更多且穩定的儲能系統輸出電力，提供傍晚時刻急遽的負載調度需求。此外當再生能源相繼併入市電，將造成市電供給不穩定情形，其中解決方案即發展微電網系統，提供穩定頻率、電壓輸出，在市電不足時，調節再生能源發電。而在市電充足時，改由市電發電，多餘電力即儲存至儲能系統，視需要放電，分散型區域電網將有效解決市電傳輸損失、提供偏遠地區電力使用。

最後，在參訪杭州浙江大學，了解大陸學府在微電網領域的開發，可作為本所微電網未來規劃與技術發展之參考。綜合以上，藉由本次參與，達到蒐集國外最新發展資料，推廣核研所研發成果，激發創意與構想，使未來計畫實施策略更有彈性且具體。

四、建議事項

因應全球用電量攀升，傳統電力線已無法提供足夠電力使用，在環境保護與節能省電的議題下，各國無不致力於再生能源的開發，當更多的再生能源併入市電，將造成市電波動，電力的供給穩定度與可靠度成了重要的考量，微電網整合再生能源、市電及儲能系統等，提供偏遠區域、社區間穩定電力的解決方案。核研所近年致力於再生能源研究，並在 048 館舍旁建置國家級微電網示範場域，作為研究微電網電力調度、控制等相關技術的場所，順應世界能源趨勢。

本次會議內容主要涵蓋替代能源系統、儲能系統、電力電子轉換器、及微電網系統等最新的控制技術與應用，旨在追求更高的電力轉換效率、更穩定的供電系統，在會議中，除了以口頭簡報分享核研所已開發，具備熱插拔功能的先進儲能系統，同時藉由與專家、學者、企業研發人員的簡報交流，獲取電力電子領域未來發展趨勢，獲益良多。因此建議政府能多提供資源，鼓勵參加國際會議，並結合產業與學術共同舉辦大型研討會，吸引各國優秀電力電子人才前來共襄盛舉。

另對於本國再生能源的發展，可多參考先進國家之研究方向，如德國、美國、中國大陸、日本等，使得台灣再生能源技術開發與世界潮流並駕齊驅，此外因現今再生能源如風力、太陽能等，均有其個別優勢與限制，目前仍無單一再生能源具有絕對優勢，建議政府能朝多元化研究開發。