



台灣智慧電網與再生能源之發展

Development of Smart Grid and Renewable Energy Resources in Taiwan

林法正

能源國家型計畫智慧電網主軸中心召集人

台灣智慧型電網產業協會理事長

國立中央大學電機工程學系講座教授

linfj@ee.ncu.edu.tw





簡報大綱

- 台灣電力系統現況
- 智慧電網技術
- 太陽能發電、風力發電與併網技術



1. 智慧電網技術

智慧電網整合傳統電力系統、智慧型電錶及資通訊技術(ICT)，使整個電網從發電、輸電、配電到用戶端，均自動化及資通訊化。除可接受大量之再生能源併網外，並利用時間電價與需量反應以解決供電瓶頸與電源不足之問題。

2. 風力發電、太陽能發電與併網技術

未來大量的再生能源如風力發電、太陽能發電，利用智慧電網技術調控實、虛功率與電壓，將所產生之電能有效地送入電網中，並維持電力系統穩定及維持電力品質。

3. 台灣2030年再生能源之裝置目標量為13.75GW，包含太陽光電6.2GW、陸域風電1.2GW及離岸風電3GW。而台灣預估之再生能源最大裝置量為24.5GW，是否足以因應2025年後全面廢核所造成之供電缺口？



一、台灣電力系統現況

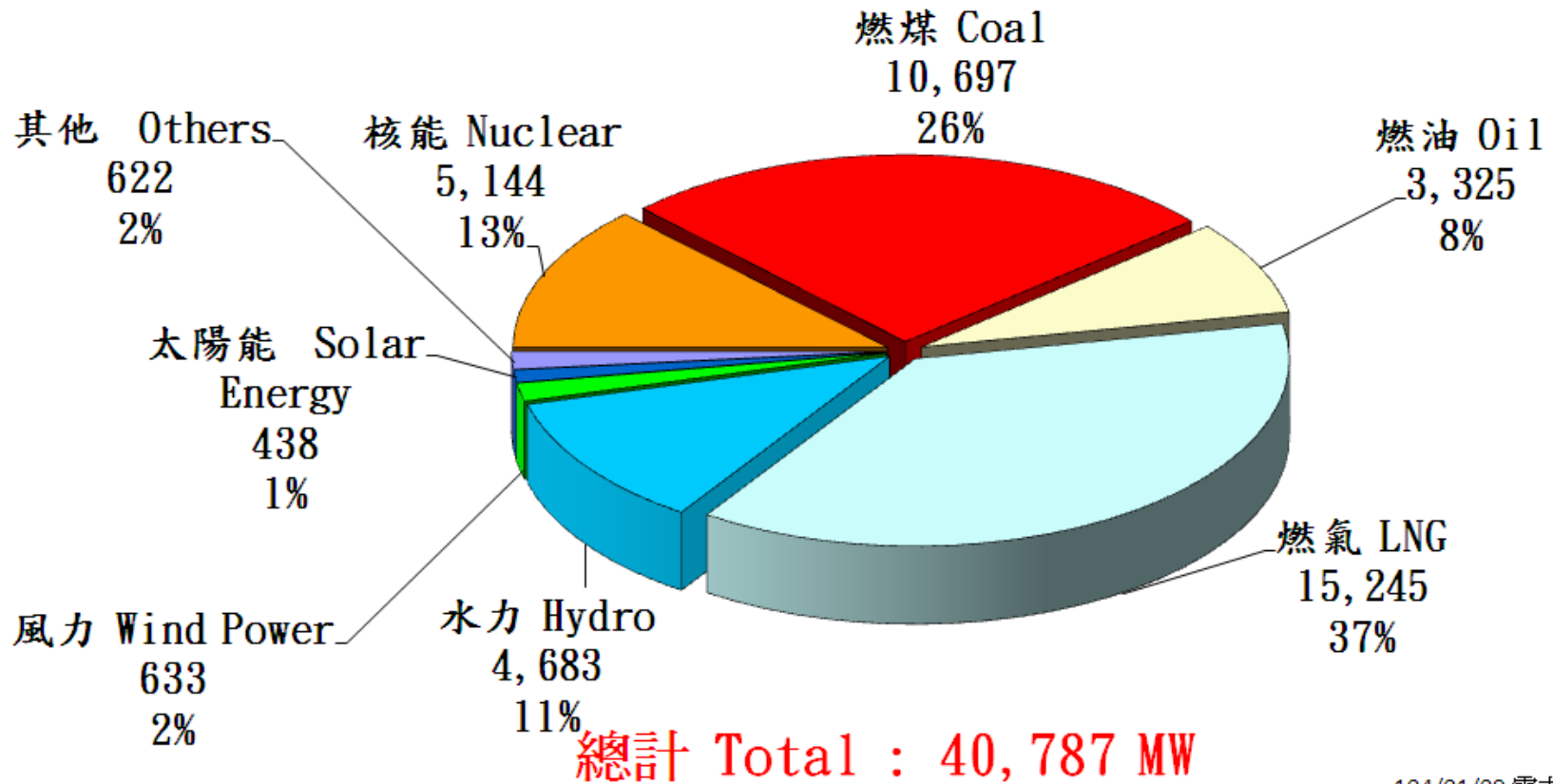


類別	 太陽能	 風力	 水力	 地熱能	合計
裝置容量 (MW)	5,144	29,890	4,683	633	40,788
%	12.61	73.29	11.48	1.55	100

[illegible]



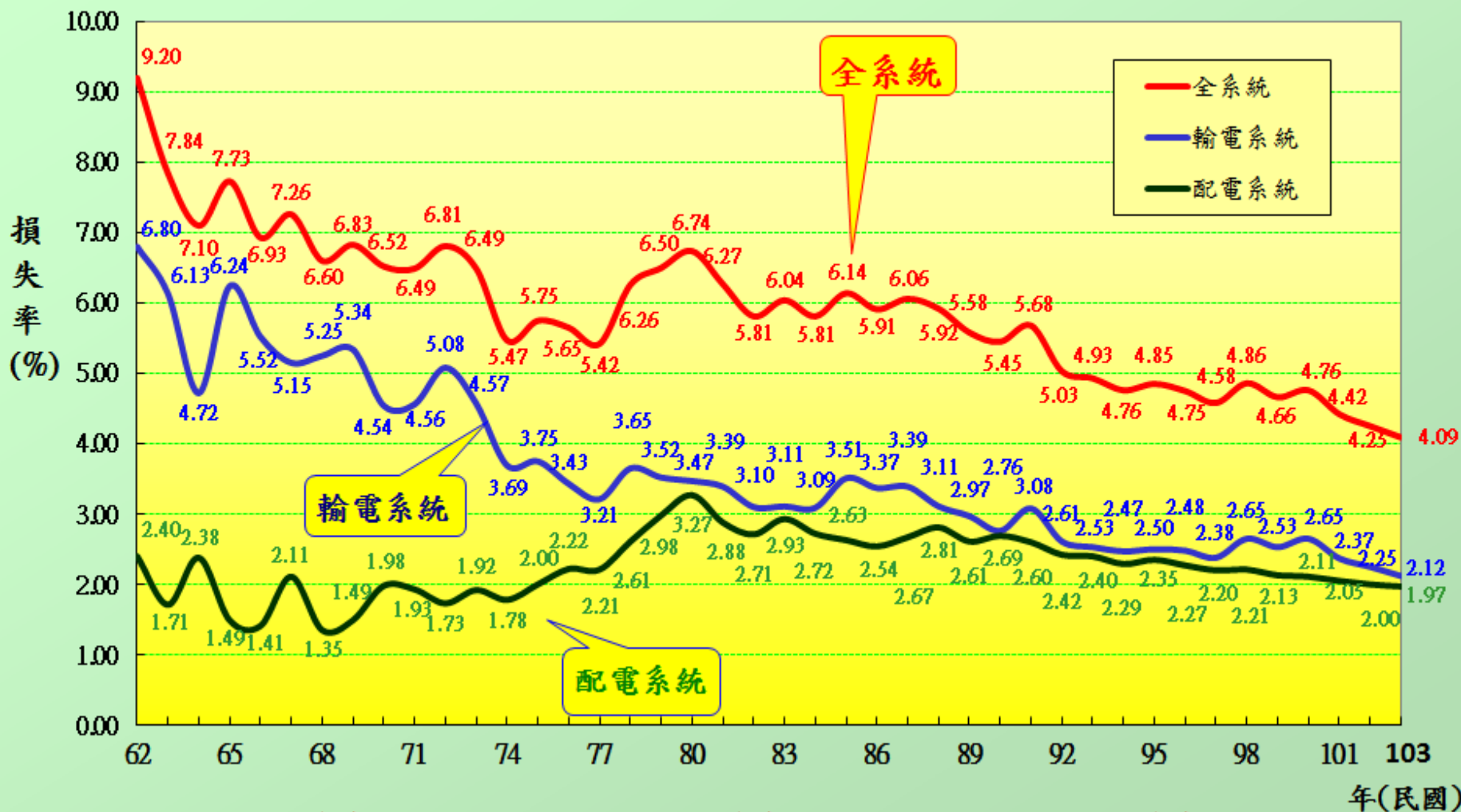
103年底台電系統電源裝置容量 千瓩(%)
Installed Capacity at End of 2014 MW(%)



104/01/09 電力調度處製



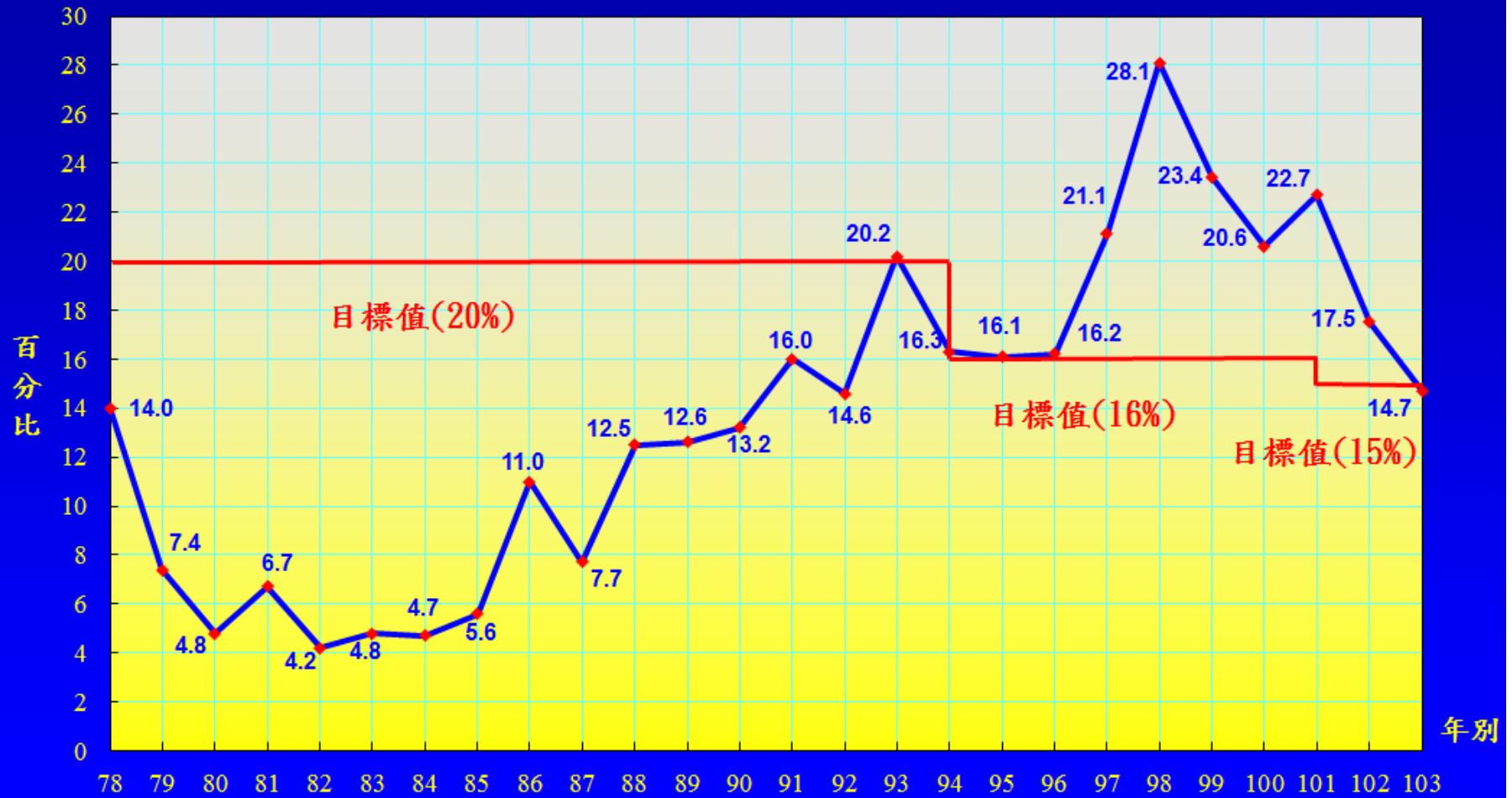
台電公司全、輸電、配電系統線路損失率變化圖



註：民國63年超高壓第一路完成；民國74年超高壓第二路完成；民國91年超高壓第三路完成。



台電系統備用容量率

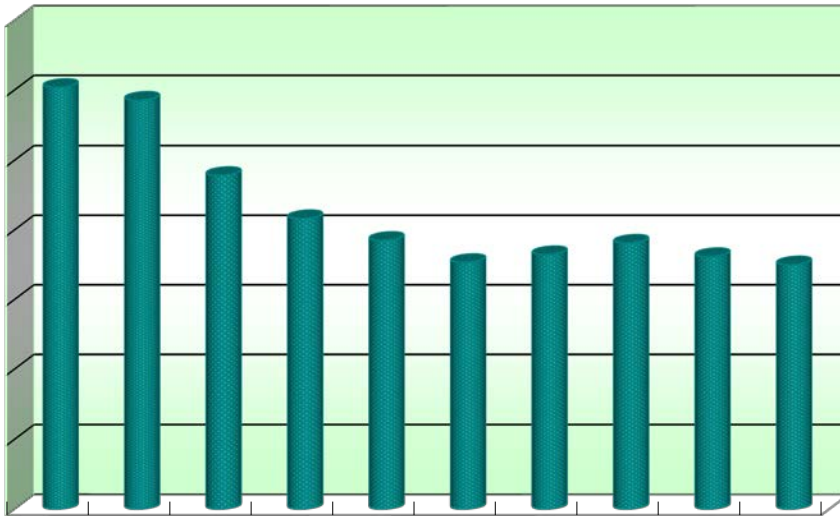


資料來源：電源開發處



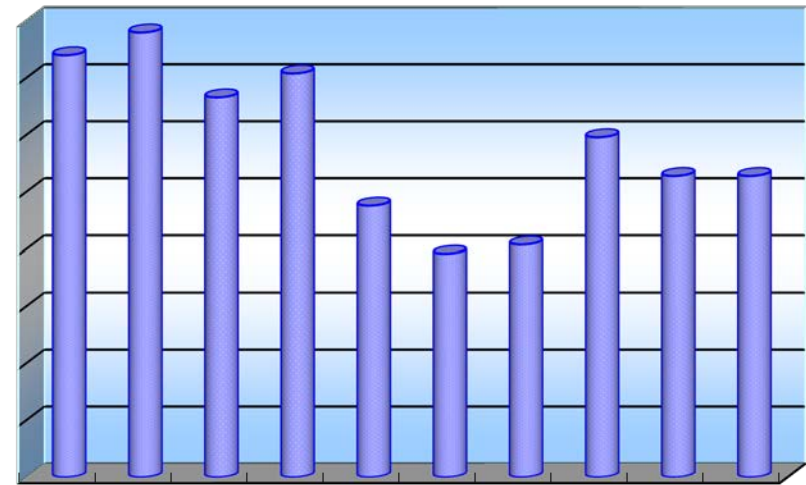
供電可靠度

每戶停電時間



年度	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
分/戶·年	30.19	29.27	23.91	20.81	19.246	17.663	18.224	19.05	18.086	17.496

每戶停電次數



年度	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
次/戶·年	0.37	0.39	0.333	0.354	0.238	0.196	0.204	0.298	0.264	0.264



Nuclear Power Plants in Taiwan

■ Nuclear Power Plants in Taiwan

Station	Set	Capacity (MW)	Status
1 st Jinshan Nuclear Power Plant	1	636	Retire in 2018
	2	636	Retire in 2019
2 nd Kuosheng Nuclear Power Plant	1	985	Retire in 2021
	2	985	Retire in 2023
3 rd Maanshan Nuclear Power Plant	1	951	Retire in 2024
	2	951	Retire in 2024
4 th Lungmen Nuclear Power Plant	1	1350	Operate in 2017???
	2	1350	Operate in 2018???

Jinshan
1st Nuclear
Power Plant

Kuosheng
2nd Nuclear
Power Plant

核一廠 (台北縣石門鄉) 核二廠 (台北縣萬里鄉)

核四廠 (台北縣貢寮鄉)

Lungmen
4th Nuclear
Power Plant

核三廠 (屏東縣恆春鎮)

Maanshan
3rd Nuclear
Power Plant

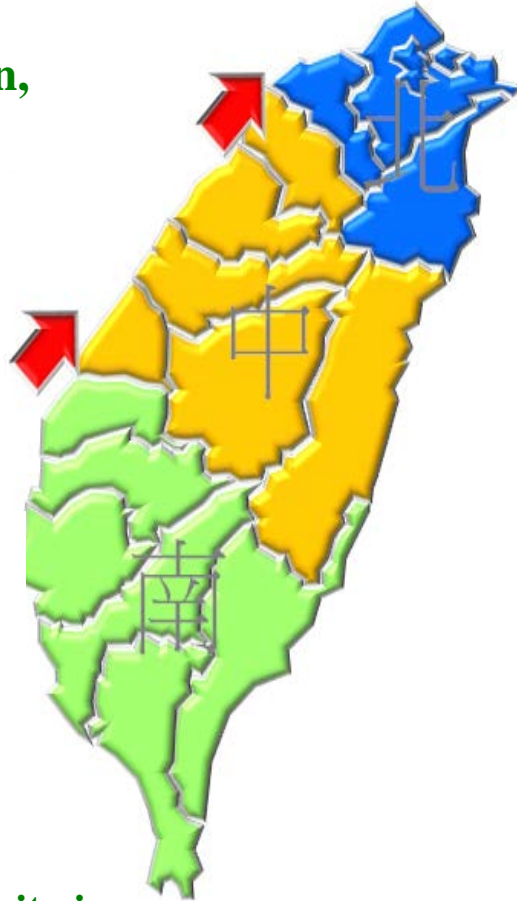
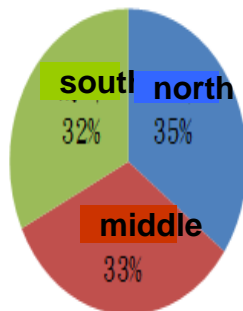
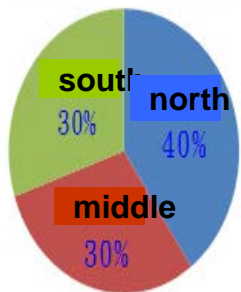




Regional Power Congestion

The regional supply capacity and peak load of northern, middle and southern Taiwan in 2013

Peak load in northern, middle and southern



Power supply capacity in northern, middle and southern





Current Status of Taipower and Energy Policy of Taiwan

(1) Current Status of Taipower

- a. Due to an extreme lack of indigenous energy resources, Taiwan **relies on imported energy resources for 98%** of its needs.
- b. **Fossil fuels** play a **major** role in the **energy supply** structure, having a tendency of excessive concentration.
- c. As **an isolated power system**, Taiwan Power network has not yet been connected to other power systems.
- d. Under the government's policy, **flat electricity prices** have been failing to reasonably reflect the costs.

(2) Energy Policy of Taiwan

- a. Steadily **Reducing Nuclear Dependency**
 - a) No extension to life spans of existing plants, and the decommissioning plan should be launched as planned.
 - b) The security of the 4th Nuclear Power Plant must be ensured prior its commercial operation.
- b. **Replacing Nuclear with LNG for Base Load**
 - a) LNG total installation capacity is expected to reach 26,532 MW (accounting for 40% of total capacity of power installations) by 2030.
- c. **Promoting Renewable Energy** Extensively
 - a) Under the campaign of “one thousand wind mills” and “one million sunshine roofs”, the installed capacity of renewable energy is expected to reach **12,502 MW** (accounting for **16%** of **total power installations**) by **2030**.



台電風機與太陽光電併網規範

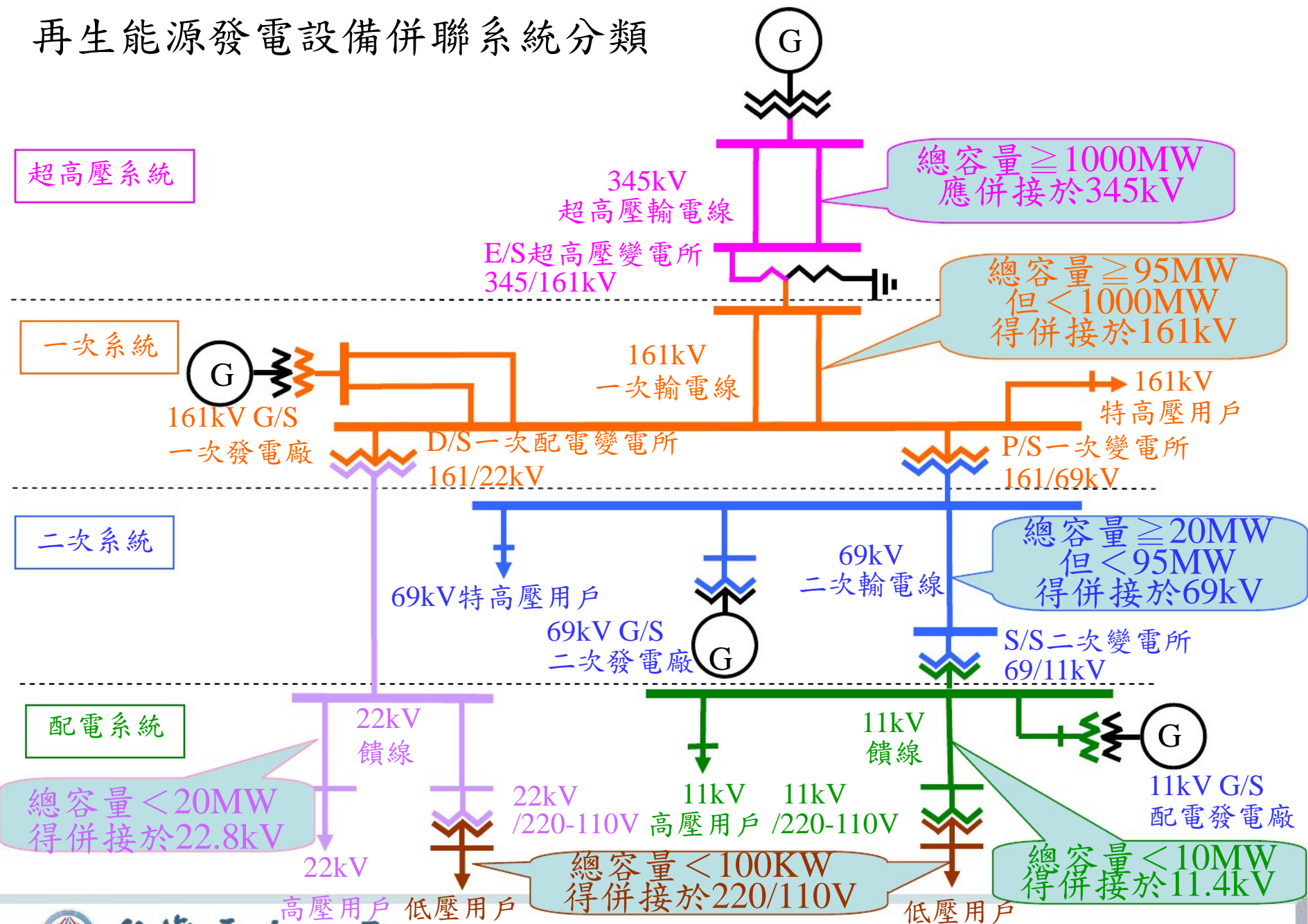
➤與傳統機組相較，風力發電與太陽光電對電力系統影響的特殊性如下：

- 輔助性電源與電源調度複雜。
- 分散型電源與電網控制複雜。
- 影響電力品質可能不良來源。
- 抵抗事故穩定運轉能力差。

➤風力與太陽光電發電系統併聯技術要點與傳統機組相較主要差別如下：

- 增設併接於低壓單相三線110V/220V，三相三線220V及三相四線220V/380V配電系統之分類。
- 放寬併接於11.4kV及22.8kV配電系統之發電設備總容量限制，同時訂定逆送電力及最大躉售電力規定。

再生能源發電設備併聯系統分類

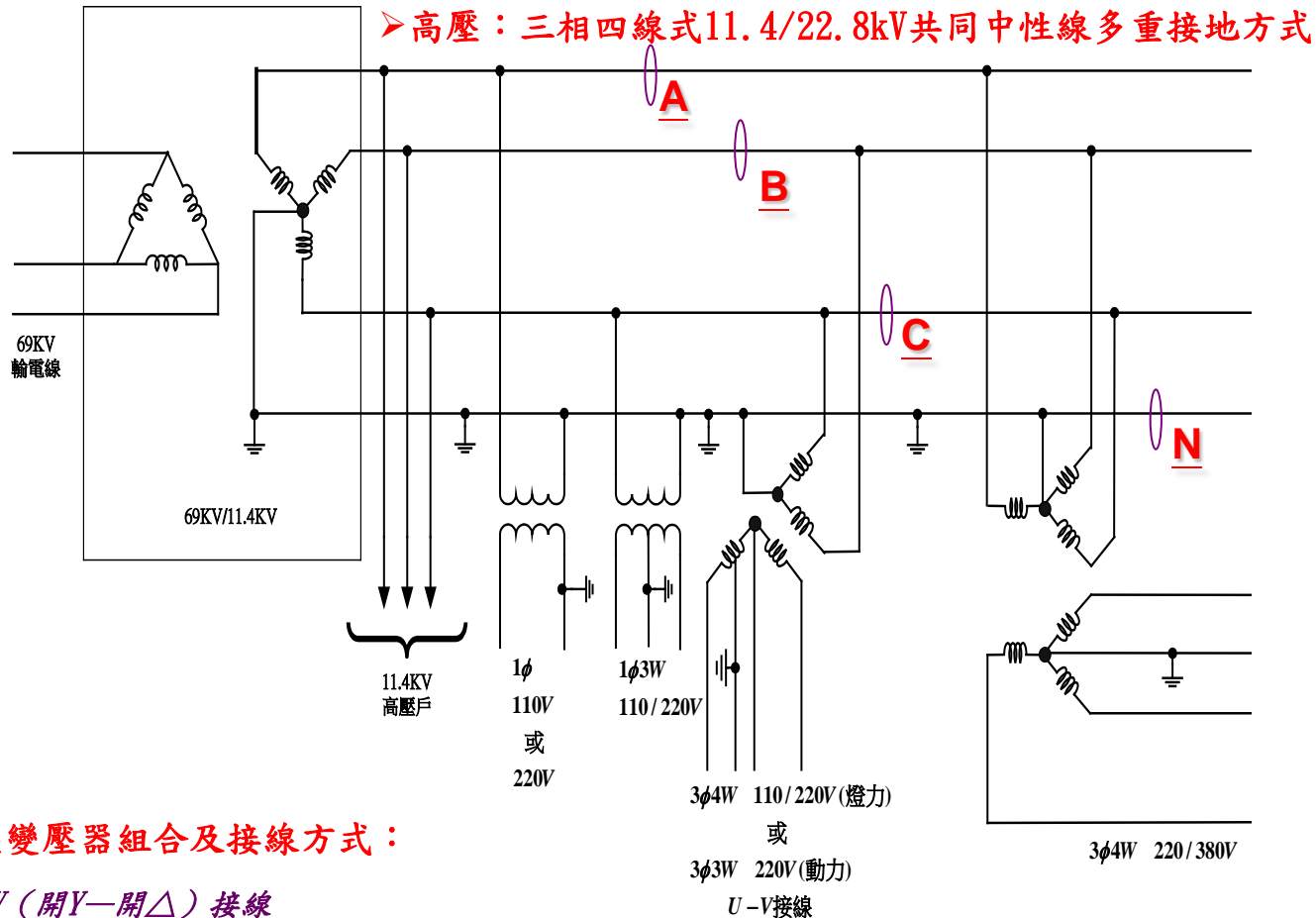




智慧電網與再生能源

二次變電所

台電配電系統結構



➤ 低壓變壓器組合及接線方式：

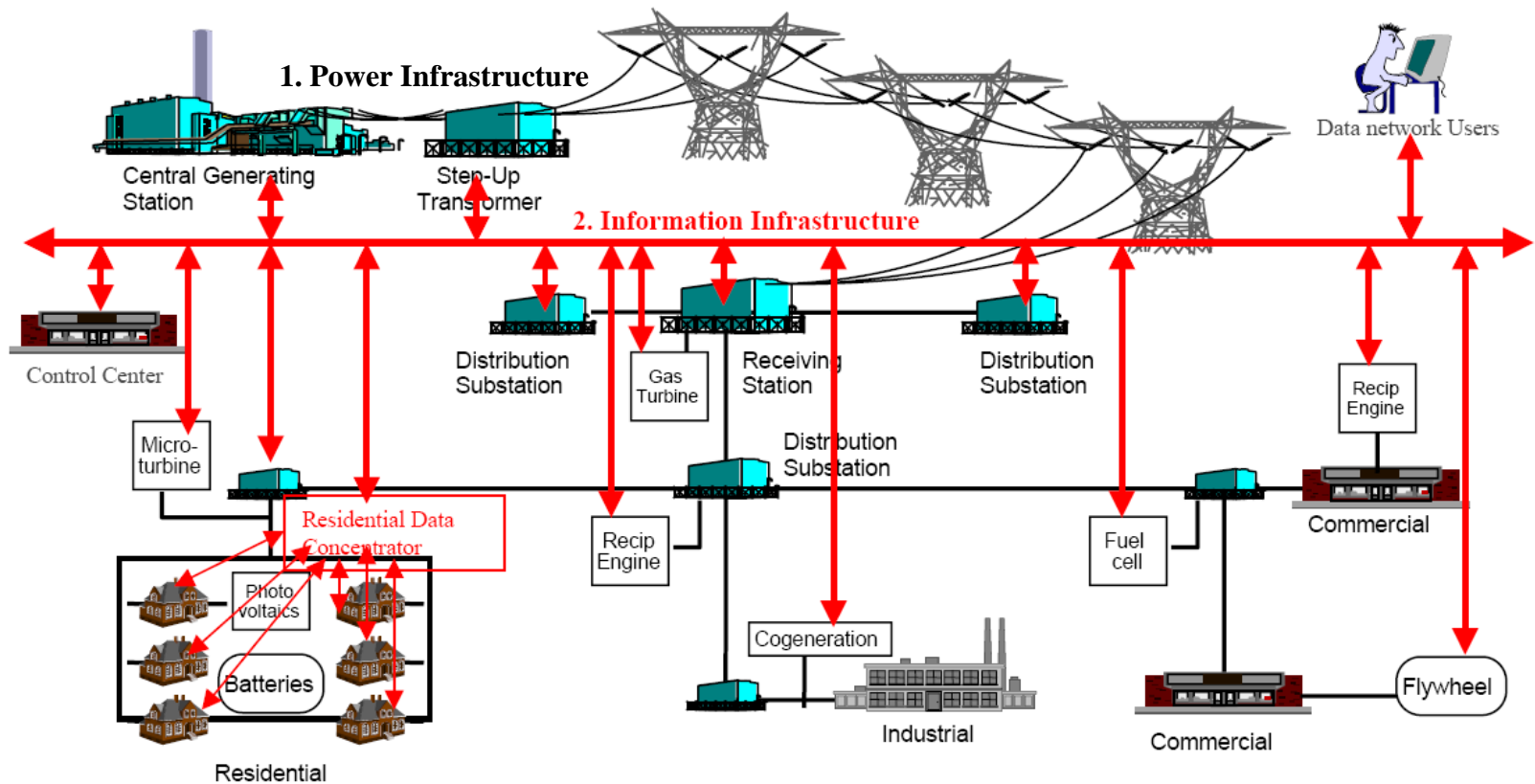
- U—V (開Y—開 Δ) 接線
高低壓側V之角點 (或燈力併供之線圈中點) 共同接地。(低壓1 ϕ 3W 110/220V及3 ϕ 3W 220V)
 - 特殊用電時採動力專用變壓器組。
 - Δ —Y接線低壓側中點接地。(特殊需求之3 ϕ 4W 220/380V供電方式)
 - Y—Y接線高低壓側Y之中點共同接地。(低壓3 ϕ 4W 220/380V)
 - Y— Δ 接線—高壓側Y中點浮置，低壓側 Δ 之一角接地。(特殊需求之3 ϕ 3W 220V供電方式)
- ※二次側採V及 Δ 適用於220V供電，Y則適用於380V供電。



二、智慧電網技術



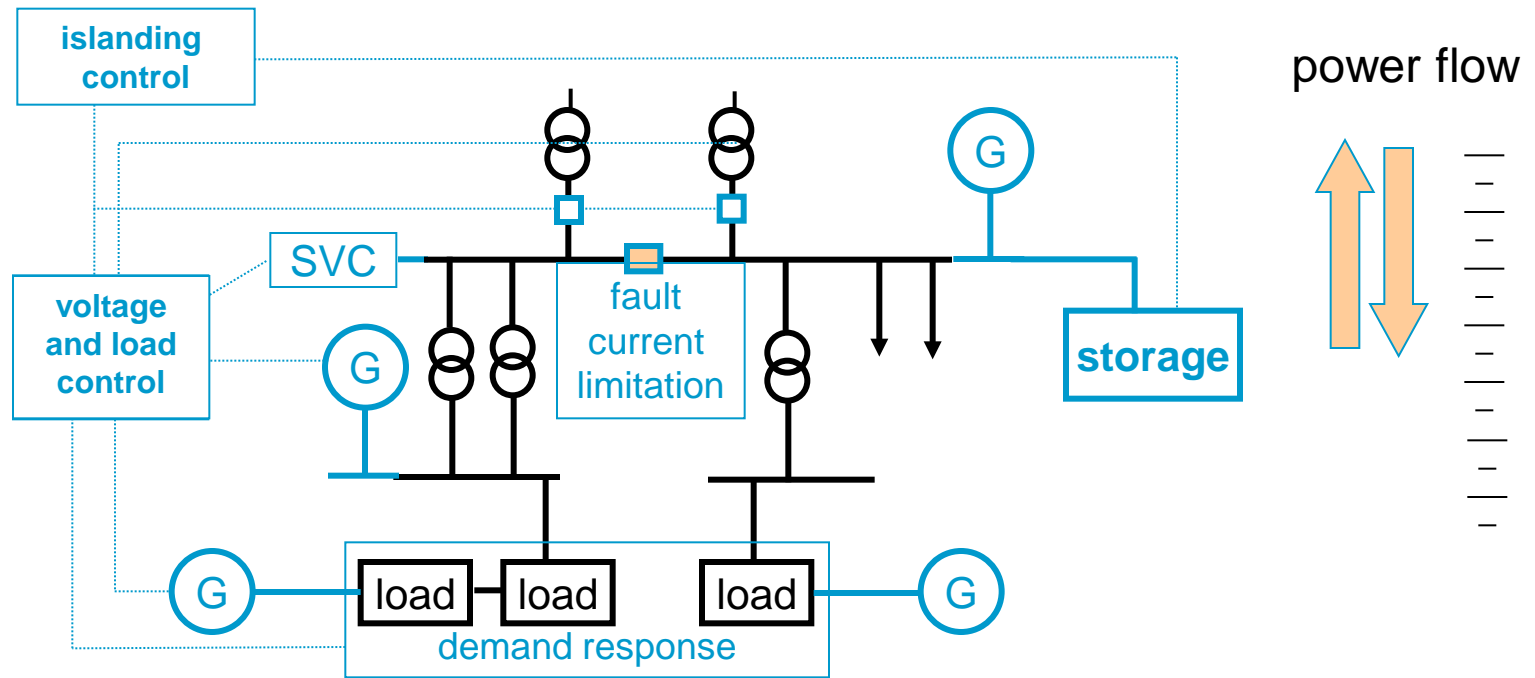
何謂智慧型電網?



Source: EPRI



The evolving electrical network



bulk storage

independent operation:

- load scheduling
- islanding control
- reconnection/auto-synchronization
- demand response



智慧型電網之優點

- 提高整體能源使用效率(by ICT, AMI)
- 提高分散式電源或再生能源佔整體發電量之比例(by micro grid)
- 增加供電之彈性(by distribution automation)
- 降低輸配電損失
- 提高電力系統之穩定度與供電品質(by self-healing)
- 降低尖峰負載以減少備轉容量(by AMI, demand response, time pricing)
- 提高能源安全
- 促進能源資通訊產業之發展



國際智慧型電網發展現況

- **歐洲** — 1998年，是由National Technical University of Athens (NTUA)所領導的研究團隊進行，2002年自其他歐盟國家的研究單位陸續加入，目前已有11個國家中的22個單位加入(德國ISET、英國曼徹斯特大學、法國Ecole de Mines)，目前積極進行AMI佈建與配電自動化以提高DG之滲透率，與推廣微電網技術以提升用電品質。
- **美國** — DOE部門在國家型科技藍圖Grid 2030規劃下，於1999年成立CERTS (Consortium for Electric Reliability Solutions)，2006 建立CERTS/AEP microgrid testbed (180 kW)示範型微型電網，目前亦積極進行AMI佈建與推廣微電網技術以提升用電品質。
- **日本** — 近來對於再生能源投注相當多的心力，目前在境內已有四個由NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization)推動的示範型微型電網，分別在青森、愛知、京都和仙台四處成立。Aomori (710 kW)、Aichi EXPO (2400 kW)、 Kyoto (850 kW)、 Sendai (1000 kW)，目前正積極進行配電自動化與推廣微電網技術以提高DG之滲透率，亦積極進行AMI佈建。



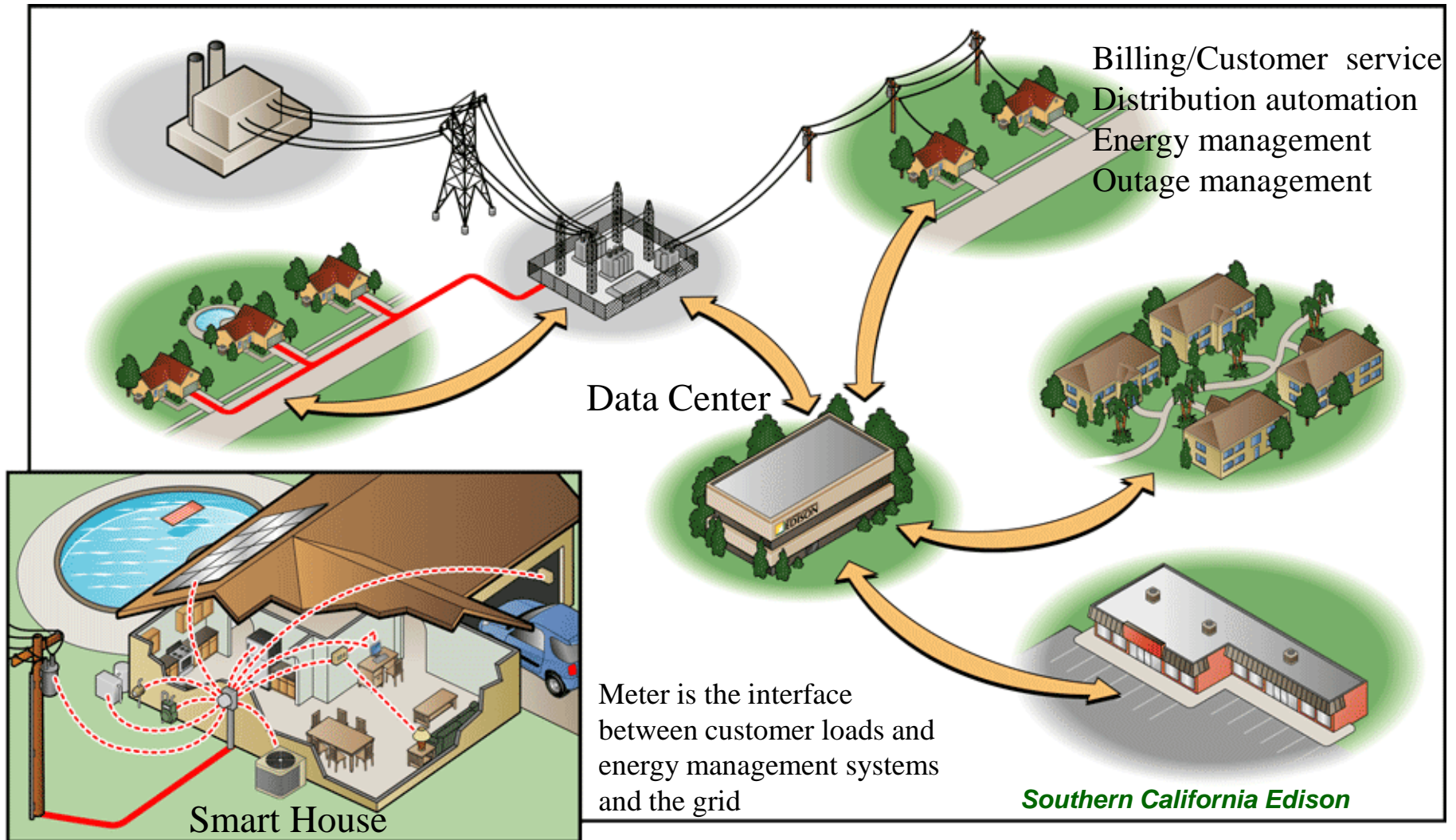
Southern California Edison AMI示範計畫

Southern California Edison Advanced Meter Initiative – 5 million customers to be connected to the Smart Grid by Smart Meters in the future

- **Enable Energy Smart Customers**
 - Integrated information from utility
 - Payment options (e.g., pre-payment)
 - Outage & service condition information
 - Support rate option innovations
- **Manage Distributed Resources**
 - Economic dispatch of load resources
 - Dispatch of load for grid management
 - Intelligent net metering
 - Management of distributed energy resources
- **Operational Efficiencies**
 - Field communication links to distribution
 - Revenue cycle improvements
 - Situational data in near real-time
 - Wholesale - retail markets integration
- **Built with the future in mind**
 - Upgradeable WAN/HAN communications
 - Leverage open architecture principles in system design
 - Future customer service offerings



Southern California Edison 示範計畫 (UC Irvine)





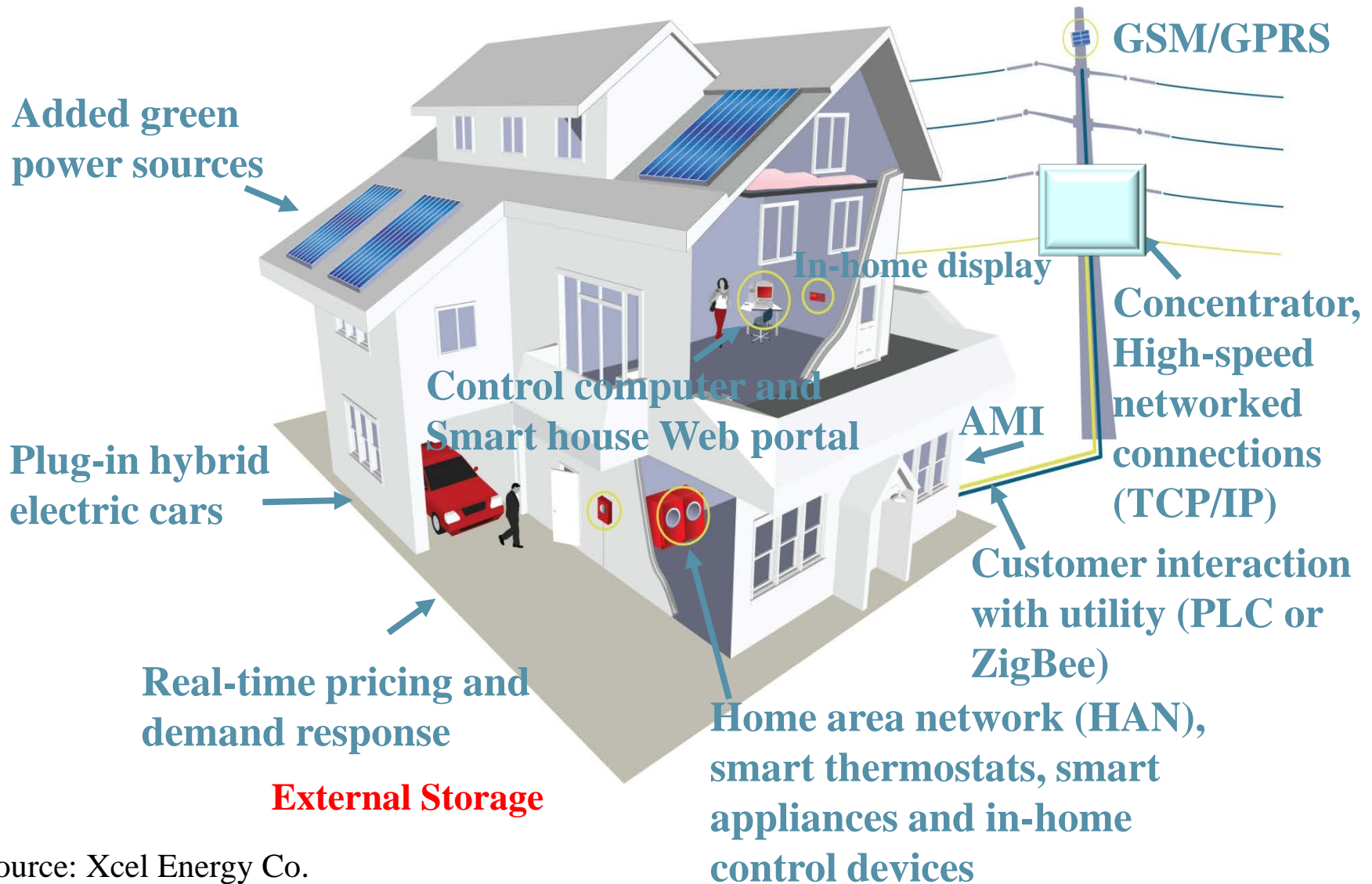
智慧電網與再生能源





智慧電網與再生能源

Smart House示範計畫



Source: Xcel Energy Co.



仙台微電網示範計畫

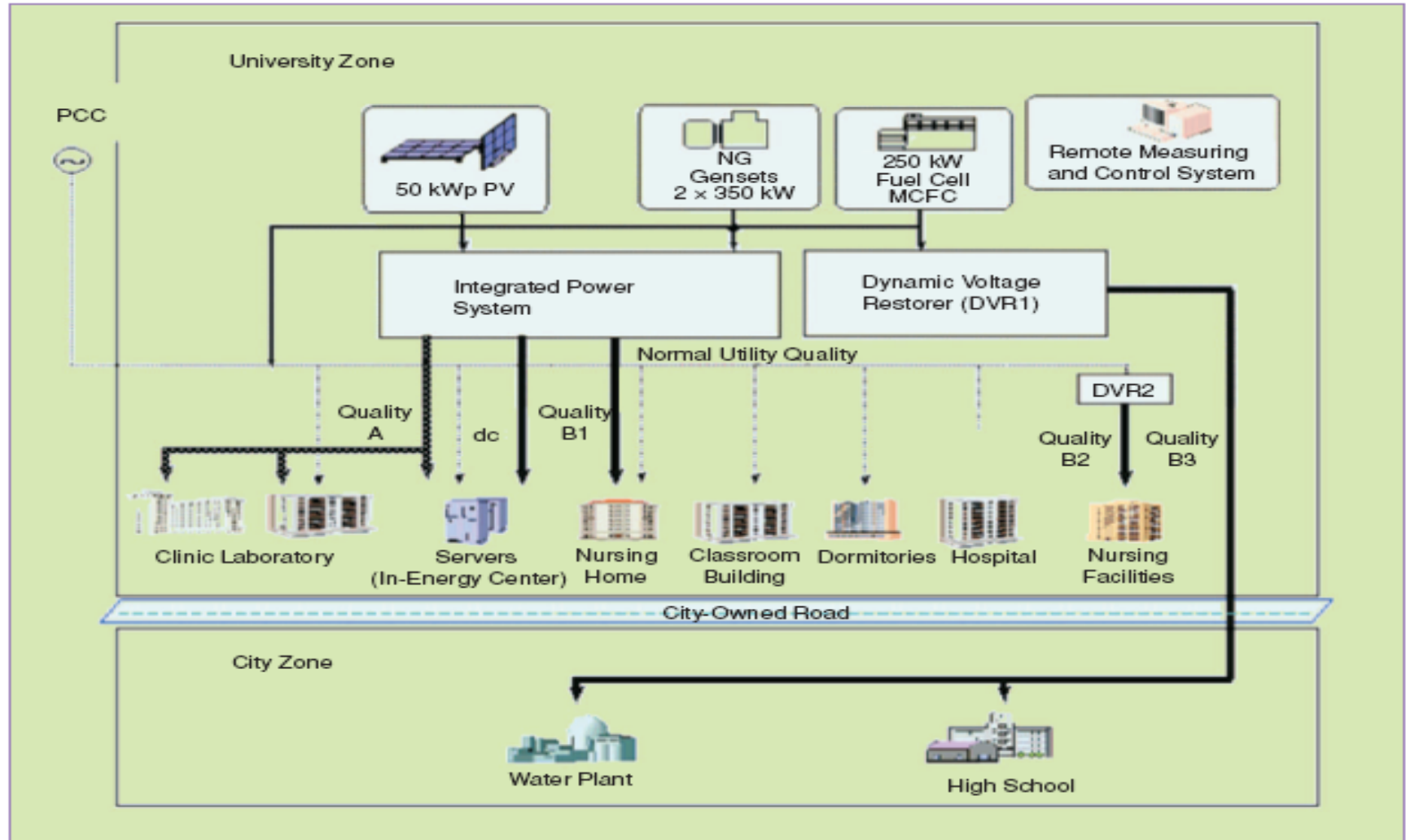
- 其目的為以下四點(1)分散型電源和系統電力之互補活用；(2)不同供電品質可行性研究；(3)對特定地區之實際負載供電品質實證；(4)微電網長期電力安定供給有效性。示範計畫將系統供電品質依據瞬間斷電時間、電壓變動、電壓不平衡、電壓高調波、周波數、瞬間電壓驟降、停電與後援時間等分成高品質A、B1、B2、B3、與直流5種類別，如下表。上述功能已在2012年3月11日~14日福島災變時被成功驗證。
- 該示範計畫電力系統之電源包含1MW的分散式電源(天然氣發電機裝置GE 350kW×2台)、熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC 250kW×1台)，太陽光電(PV 50kWp)，以及其它各種電力變換裝置與監測控制裝置所構成構成。

品質分類 品質條件	交流供電				直流供電
	高品質A	高品質B1	高品質B2	高品質B3	無瞬斷
瞬間斷電時間	無	15ms以下	15ms以下	15ms以下	無
電壓變動	○	×	×	×	○
電壓不平衡	○	×	×	×	—
電壓高調波	○	×	×	×	○
周波數	○	×	×	×	—
瞬間電壓驟降	○	○	○	○	○
停電	○	○	△	×	○
後援時間	0.5h	0.5h	200 ms	200ms	0.5h



智慧電網與再生能源

仙台微電網示範計畫



多種電源併網之電力品質改善與提高分散式電源滲透率

Source: IEEE Power & Energy Magazine

國立中央大學 電機工程學系



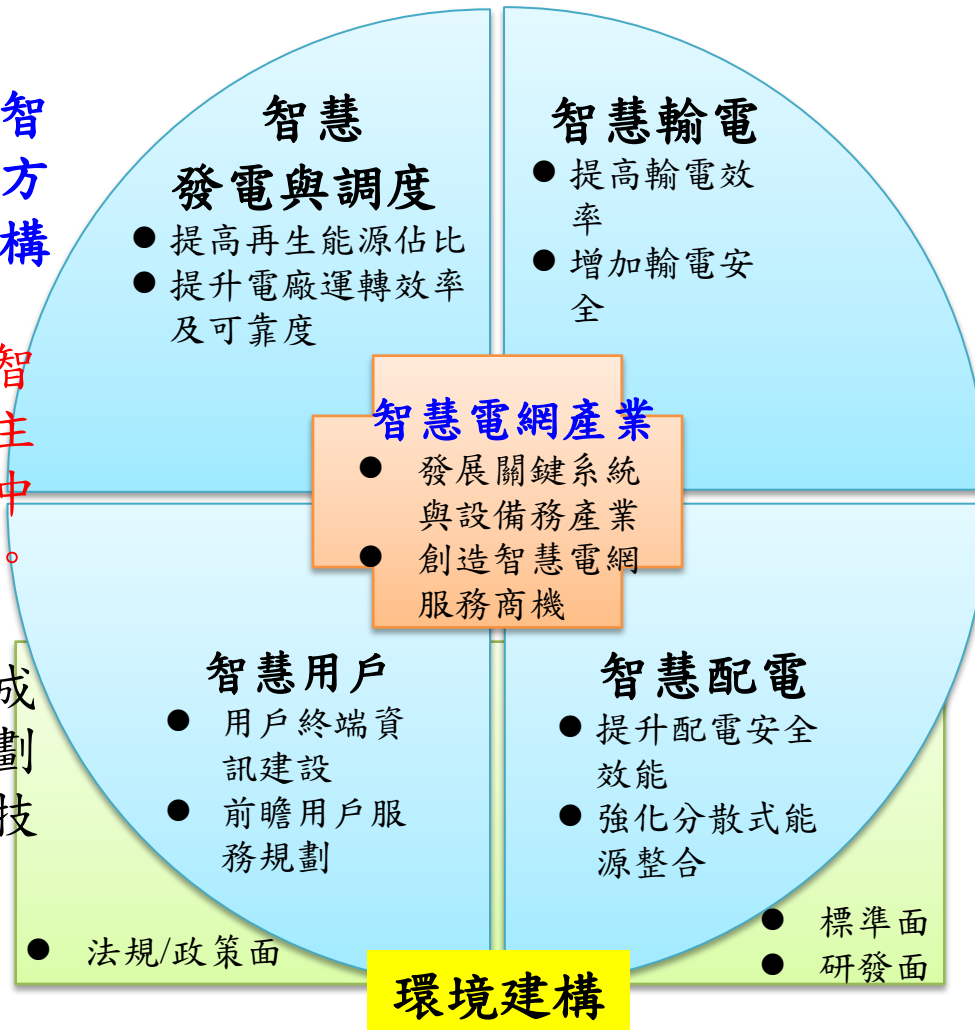
智慧電網與再生能源

台灣智慧電網總體規劃 (2011~2030)

■ 行政院已於民國101年8月通過「智慧電網總體規劃方案」，共分六個構面。

■ 能源國家型計畫智慧電網主軸計畫主要負責環境構面中之標準與研發面。

■ 計畫目標即是完成智慧電網整體規劃方案中之短中期技術開發項目。



總體規劃工作小組：

- 經濟部
 - 能源局
 - 標檢局
 - 工業局
 - 技術處
- 國科會
- 台灣電力公司
- 工研院
- 資策會
- 核能研究所
- 台灣智慧電網產業協會
- 台灣經濟研究院



「智慧電網總體規劃方案」量化效益目標

(一) 確保穩定供電

1. 推動配電自動化，預計2030年可達成每戶每年平均停電時間(系統平均停電指標SAIDI值)減少5.5分鐘，相較於2011年，全國約可減少61萬小時之停電時間，由2011~2030年累計減少停電時間約123萬小時。
2. 推動輸配電計畫工程，以強化電網結構與管理，預計2030年全國線路損失可減少10.6億度，由2011~2030年累積共可減少全國線路損失113.3億度。
3. 推動變電所自動化/保護電驛數位化工程，促成全國變電所智慧化。

(二) 促進節能減碳

擴大導入低碳能源及節能管理措施，減少CO₂排放114.71百萬噸(2030年)。

(三) 提高綠能使用

提高再生能源可併網容量占全系統裝置容量達30%(2030年)。

(四) 引領低碳產業

引導智慧電網相關產業發展，創造產值新臺幣7,000億元(2030年)。



智慧電網與再生能源

智慧電網主軸專案計畫第一期整合示範計畫(2011-2013)



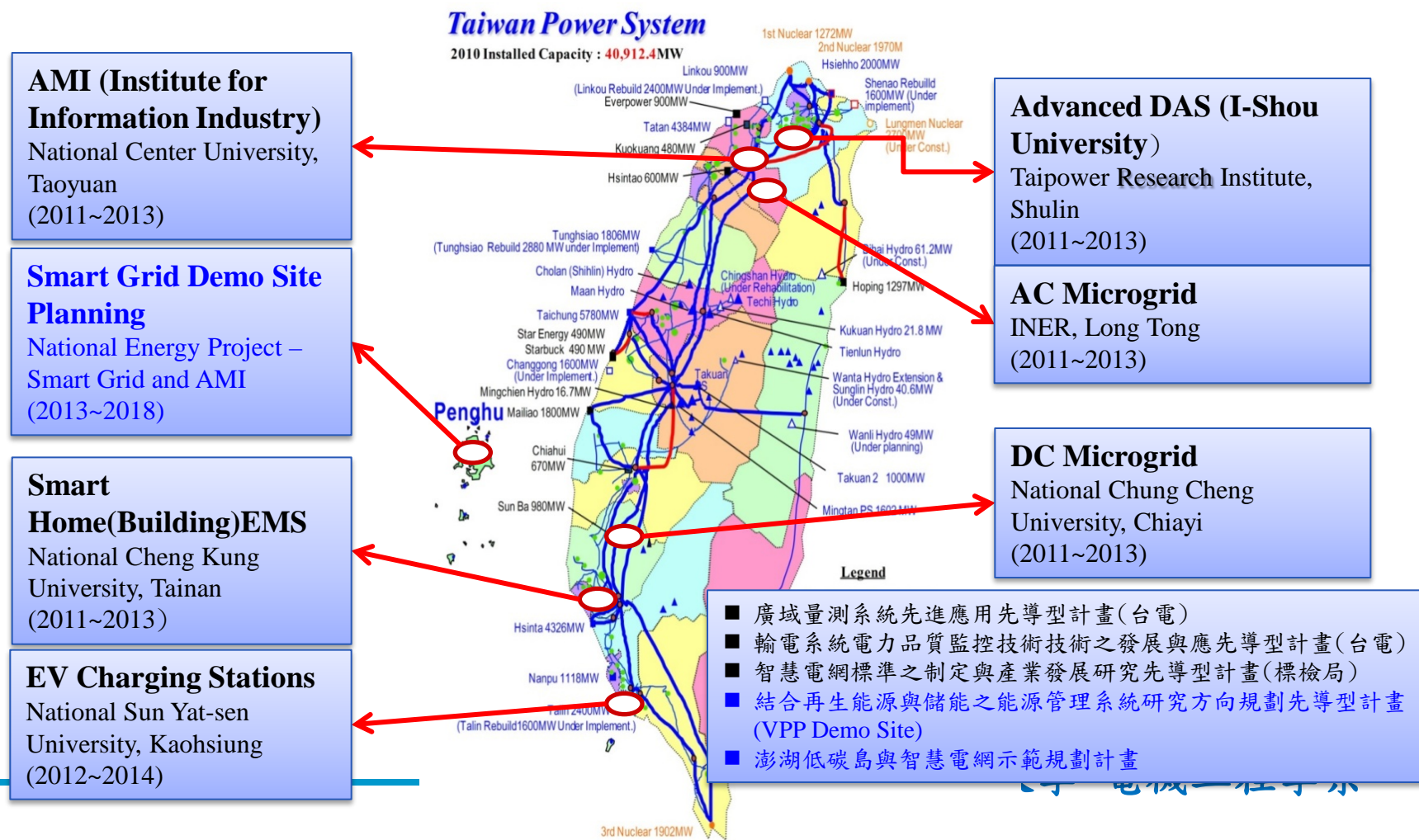
國立中央大學 電機工程學系



智慧電網與再生能源

第一期智慧電網主軸專案計畫階段成果(續)

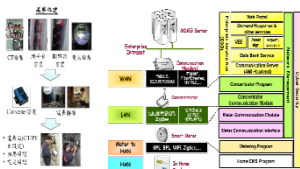
- 由電力、資通訊產學研單位共組團隊，發展智慧電網關鍵技術，完成6處先導測試場。
- 與台電合作推動廣域量測、輸電系統電力品質監控、電動車電能補充管理策略研究。





國內智慧電網示範場域發展現況

在第一期智慧電網主軸專案計畫與經濟部能源資通訊技術發展帶動下，由科技部、經濟部能源局與企業主導設置18座智慧電網示範場域。



智慧讀表系統與
需量反應系統



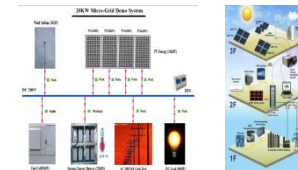
大都會型智慧讀表
系統



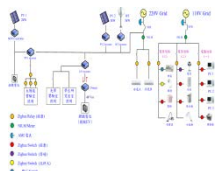
智慧電表系統與家
庭能源管理系統(人
間清境社區)



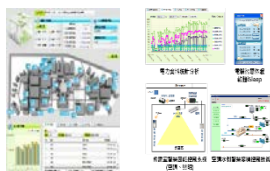
智慧電網控制中心
與
智慧家庭示範中心



智慧型直流/交流混
合型
微電網示範系統



智慧家庭(建築)
電能管理系統



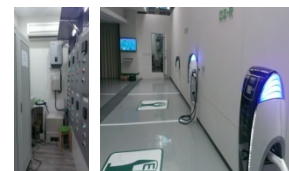
工研院中興院區
智慧建物節能示範
場域



量販店節能管理系
統



便利商店節能管理
系統



微電網及電動車示
範場



百瓦級自主式
微型電網示範
系統



汙水處理廠馬達動
力設備監控與節能
管理系統



先進配電自動化示
範系統



澎湖智慧電網示範
場域
(規劃中)



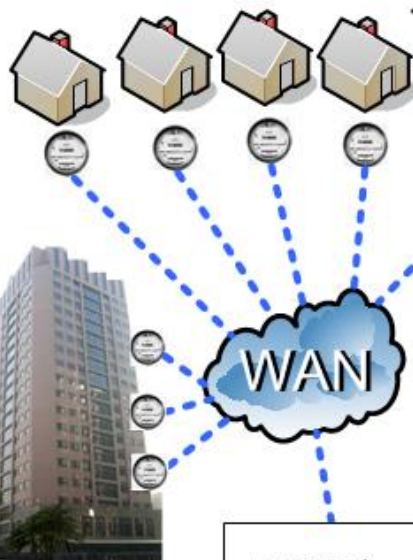
智慧型直流供電系統教育
展示屋(綠色能源示範屋)



金門縣東坑整合再
生能源與儲電系統
社區展示運行

智慧家庭(建築)電能管理 ICT

第一年:系統規劃及介面開發整合

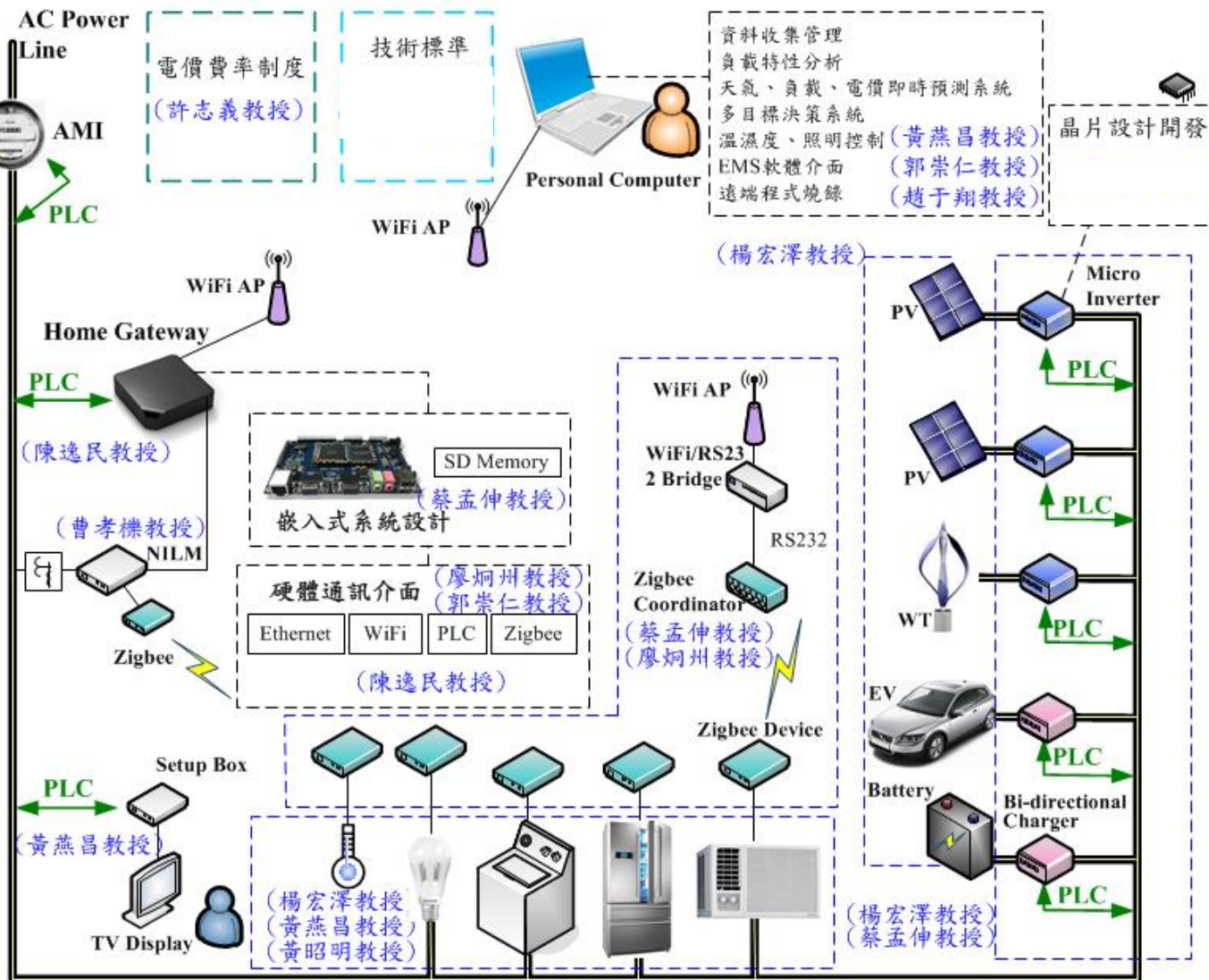


AMI控制中心

配電自動化
控制系統

第二年:
智慧建築電能
管理系統展示

第三年:全系統(5住宅)
整合建置與效益評估

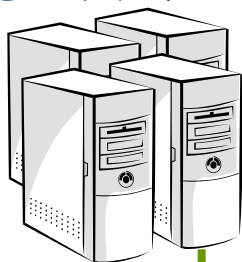




智慧電網與再生能源

先進讀表技術 (AMI) ICT

Enterprise
Intranet



MDMS Server



Communication
Headend

WAN

無線通訊
3G/3.5G/WiMAX

有線通訊
Fiber/Ethernet
MV PLC,...

Concerntuator

LAN

短距離無線通訊
ZigBee

電力線通訊
LV PLC
(BPL/NPL)



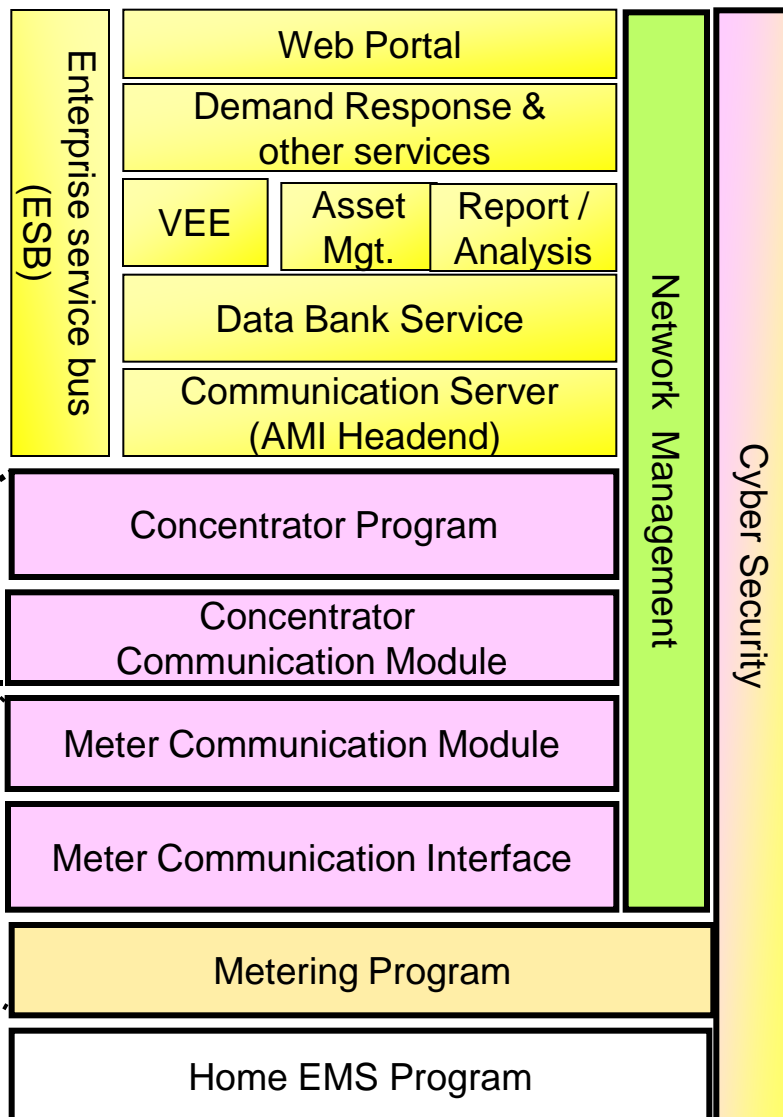
Smart Meter

Meter to
HAN

NPL, BPL, WiFi, Zigbee,...

HAN

In Home
Display

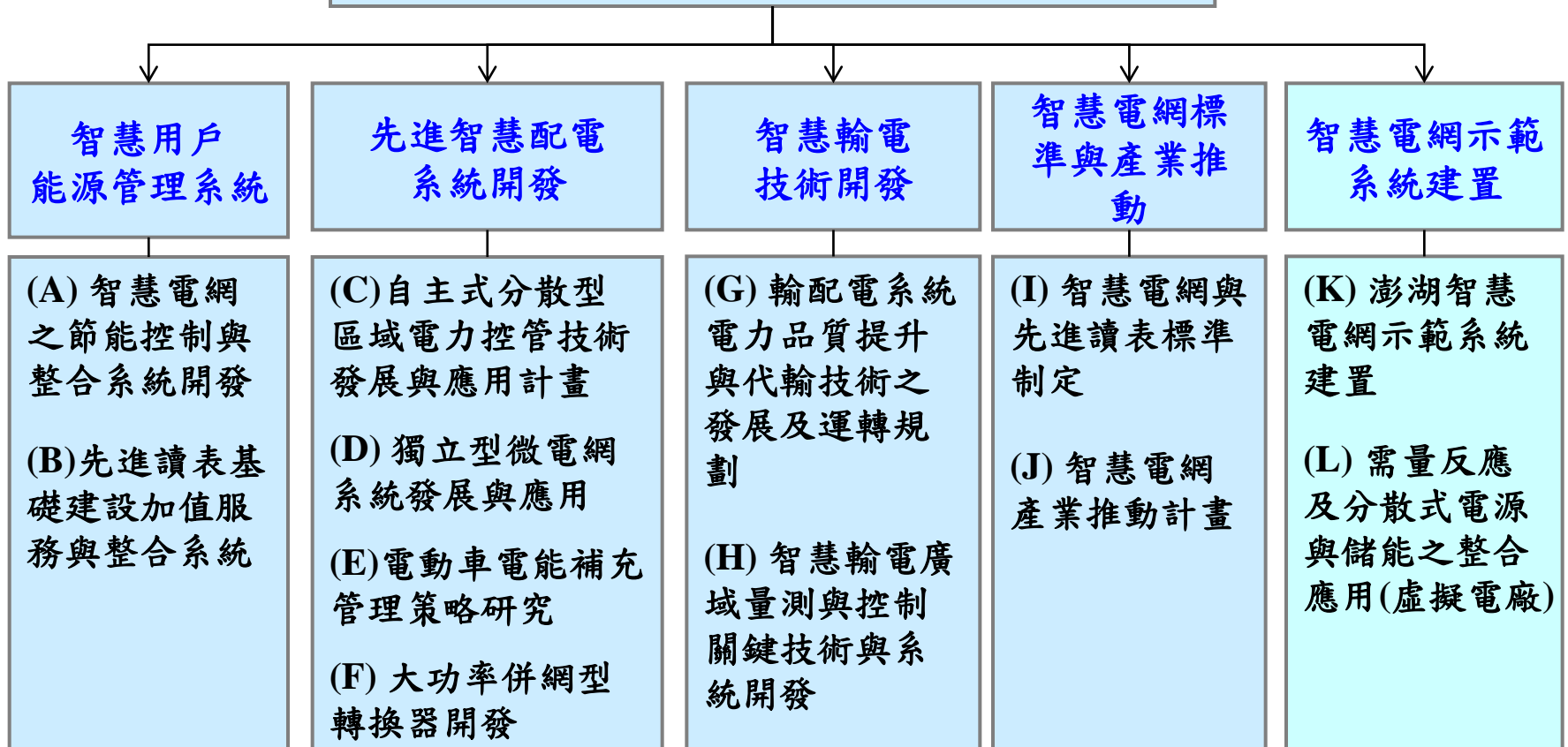


AMI實證場域



智慧電網主軸計畫第二期推動架構

智慧電網主軸規劃架構

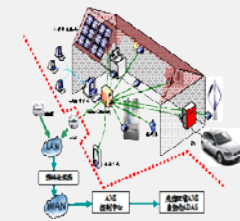




智慧電網與再生能源

智慧電網主軸中心第二期計畫整體推動作法

設備與系統技術開發



A 智慧電網之節能控制與整合系統開發

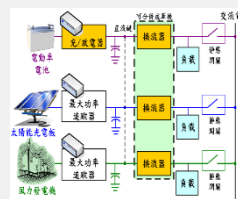
B 先進讀表基礎建設加值服務與整合系統

C 自主式分散型區域電力控管技術發展與應用計畫

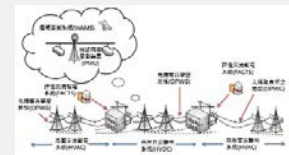
D 獨立型微電網系統發展與應用



E 電動車電能補充管理策略研究



F 大功率併網型轉換器開發



G 輸配電系統電力品質提升與代輸技術之發展及運轉規劃

H 智慧輸電廣域量測與控制關鍵與系統開發

I 智慧電網與先進讀表標準制定

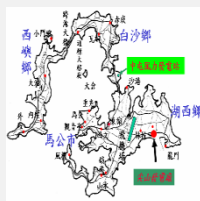
技術商品化



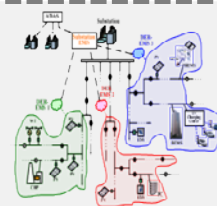
J 智慧電網技術產業落實



整合測試示範



K 澎湖智慧電網示範系統建置
(澎湖低碳島Demo Site)



L 需求反應及分散式電源與儲能之整合應用
(配合台電 VPP Demo Site)

實際應用



M 台電力公司相關智慧電網建置 或 國際智相關慧電網建置

國立中央大學 電機工程學系



智慧電網主軸計畫第二期推動架構

智慧電網主軸計畫第二期計畫架構涵蓋由設備與系統技術開發，經標準制定到技術商品化，再由商品整合測試驗證與示範到智慧電網全面佈建。

- **設備與系統技術開發**：配合行政院「台灣智慧電網總體規劃」方案推動進行智慧電網之節能控制與整合技術開發、先進讀表基礎建設增值服務與整合技術、自主式分散型區域電力控管技術發展與應用、獨立型微電網技術發展與應用、電動車電能補充管理策略研究、大功率併網型轉換器開發、輸配電系統電力品質提升與代輸技術之發展及運轉規劃、智慧輸電廣域量測與控制關鍵技術等新技术開發。
- **技術商品化與整合測試示範**：配合台灣電力公司智慧電網相關技術需求及建置時程，以澎湖智慧電網整體示範計畫、需量反應及分散式電源與儲能之整合應用計畫為平台，針對第一期所開發技術進行技術驗證，推動智慧電網標準制定與智慧電網產業等工作。澎湖智慧電網整體示範區分二階段規劃與佈建，**第一階段佈建配合能源局由102年至104年，第二階段佈建為105至107年強化技術展示與擴大示範區域。**

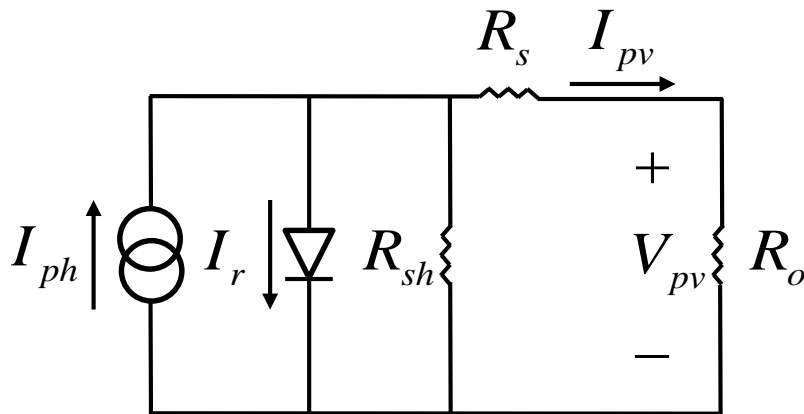


三、太陽能發電、風力發電 與併網技術



太陽光電系統簡介

☐ 太陽能電池特性



太陽能電池等效電路

$$I_{pv} = I_{ph} - I_r = I_{ph} - I_{sat} [\exp(\frac{qV_{pv}}{KAT}) - 1] \quad (2.1)$$

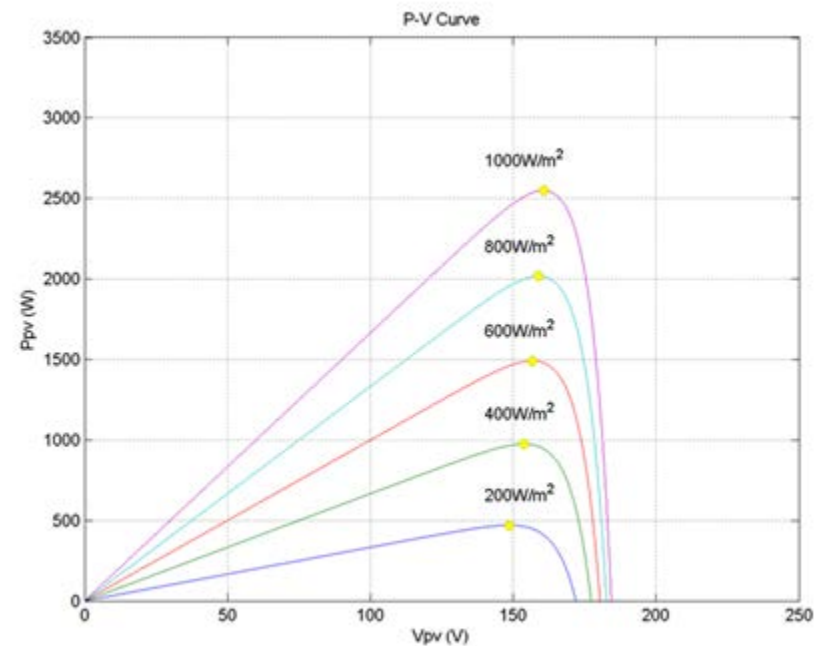
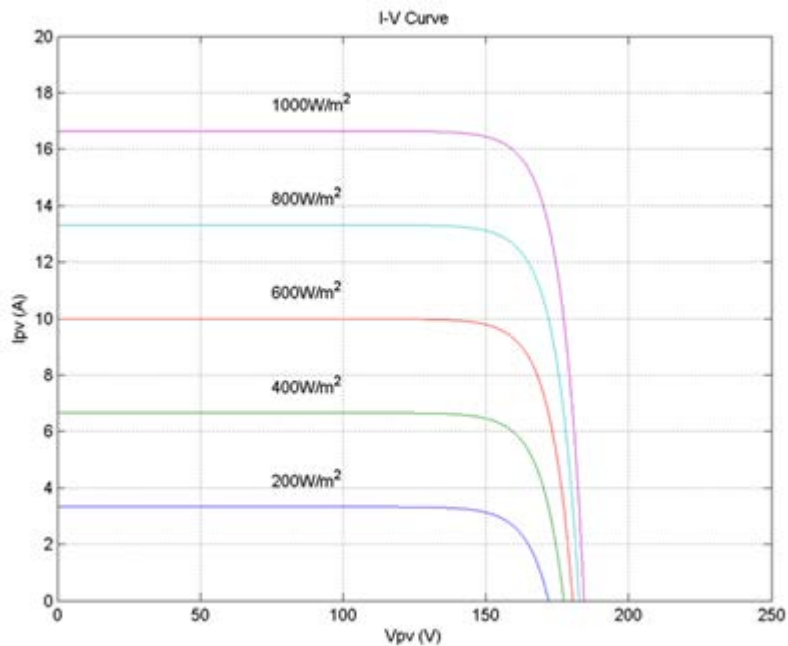
$$I_{sat} = I_{rr} (\frac{T}{T_r})^3 \exp[\frac{qE_{gap}}{KA} (\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T})] \quad (2.2)$$

$$I_{ph} = [I_{scr} + K_i(T - T_r)]S_i \quad (2.3)$$

$$P_{pv} = V_{pv} I_{pv} = n_p I_{ph} V_{pv} - n_p I_{sat} V_{pv} [\exp(\frac{q}{KAT} \frac{V_{pv}}{n_s}) - 1] \quad (2.4)$$



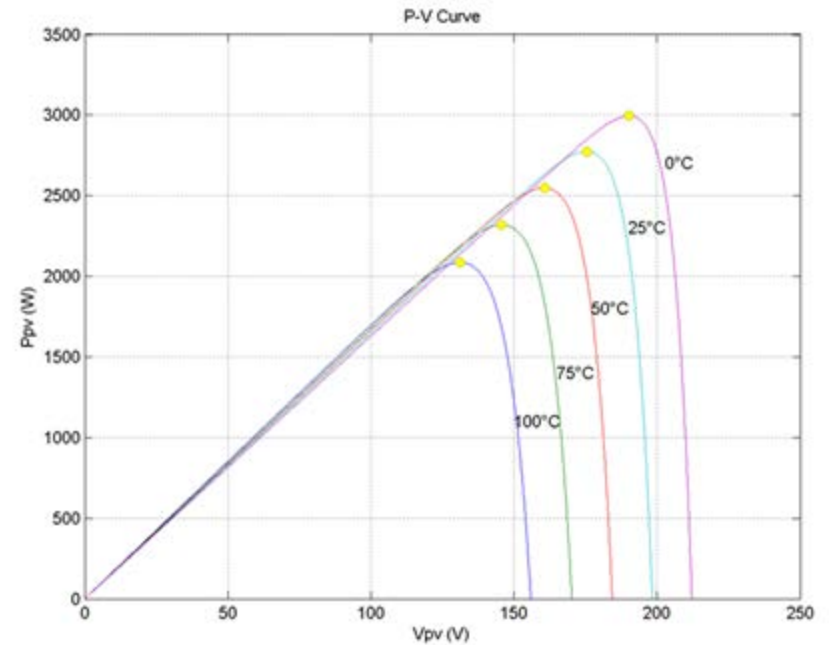
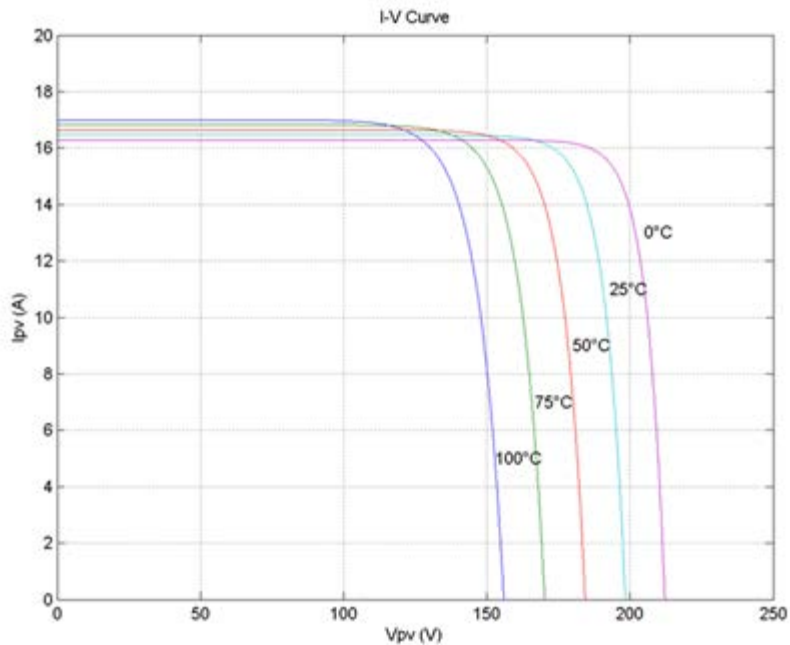
☐ 太陽能電池特性



溫度固定於25°C下，日照強度變化下的電流與電壓及功率與電壓關係圖



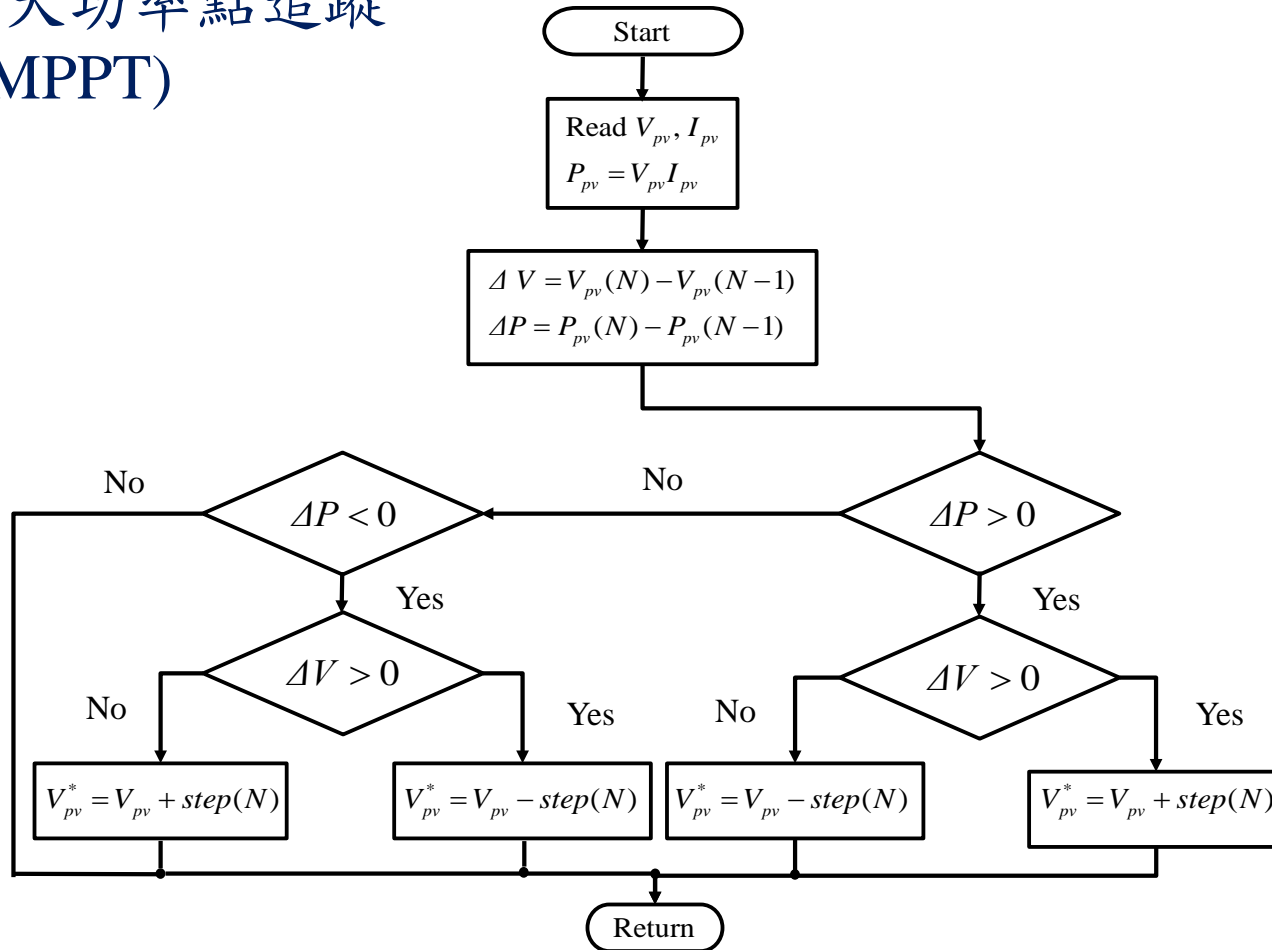
☐ 太陽能電池特性



日照強度固定於 1000W/m^2 下，溫度變化下的電流與電壓及功率與電壓關係圖



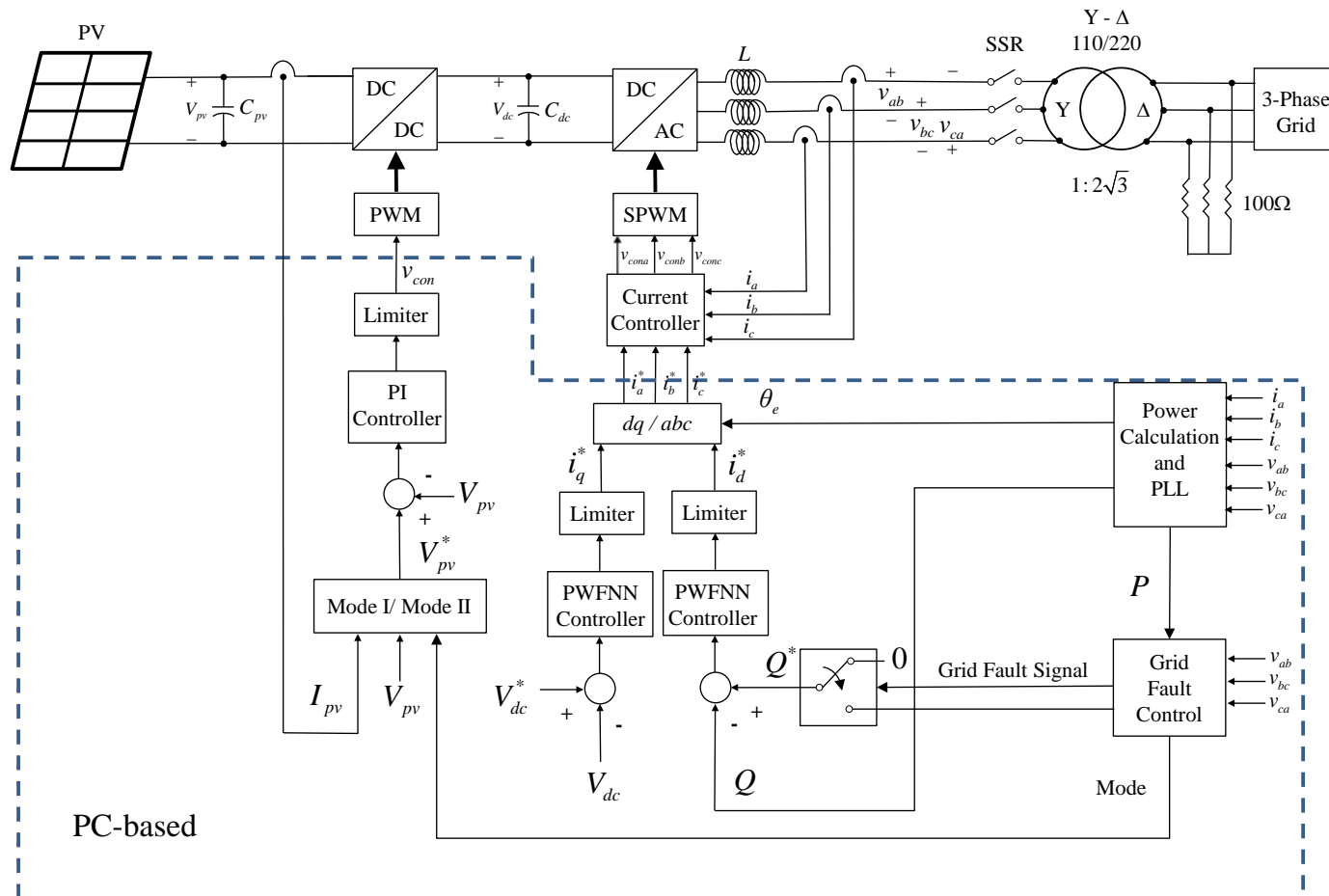
□ 最大功率點追蹤 (MPPT)



擾動觀察法流程圖



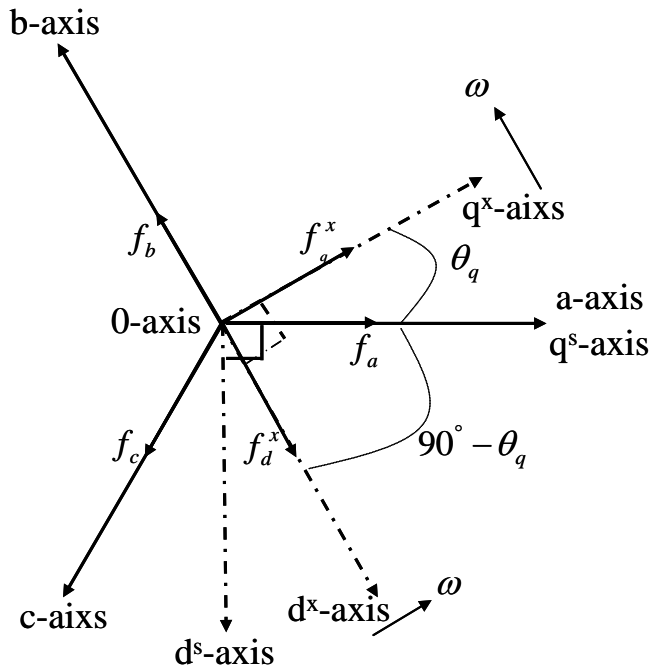
□應用智慧型控制之太陽光電系統架構圖





座標軸轉換

座標軸轉換公式：



$$f_{qd0}^x = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta_q & \cos(\theta_q - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_q + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin \theta_q & \sin(\theta_q - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_q + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} f_{abc} = T_{qd0}^x f_{abc} \quad (2.9)$$

$$f_{abc} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta_q & \sin \theta_q & 1 \\ \cos(\theta_q - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_q - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta_q + \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_q + \frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} f_{qd0}^x = T_{qd0}^{x-1} f_{qd0}^x \quad (2.10)$$

圖 2.5 交直軸與三相固定座標軸之幾何關係圖



□ 三相鎖相迴路(PLL)

假設三相電壓為：

$$v_a = V_m \cos \theta \quad (2.40)$$

$$v_b = V_m \cos \left(\theta - \frac{2}{3} \pi \right) \quad (2.41)$$

$$v_c = V_m \cos \left(\theta + \frac{2}{3} \pi \right) \quad (2.42)$$



□ 三相鎖相迴路

首先假設同步旋轉座標軸轉換公式：

$$\begin{bmatrix} v_q \\ v_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta} & -\sin \hat{\theta} \\ \sin \hat{\theta} & \cos \hat{\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_q^s \\ v_d^s \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

將市電電壓代入上式可得：

$$\begin{bmatrix} v_q \\ v_d \end{bmatrix} = V_m \begin{bmatrix} \cos(\hat{\theta} - \theta) \\ \sin(\hat{\theta} - \theta) \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

當 $\sin(\hat{\theta} - \theta) = 0$ 時，即三相電源角度與鎖相迴路角度一樣，達到鎖相的目的。如下圖所示，將 v_d^* 設為零，再利用比例積分控制器去調節誤差量。

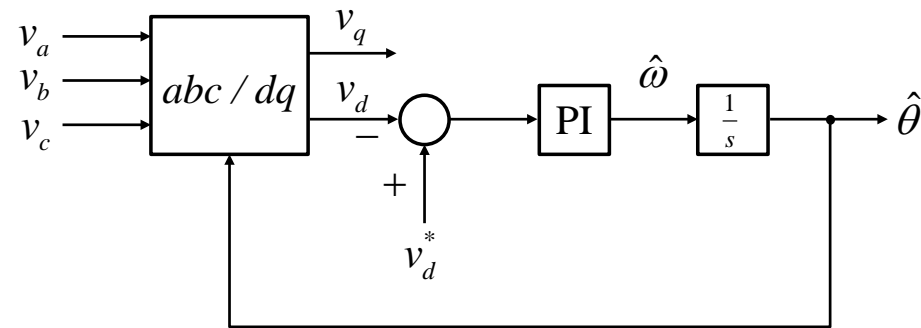


圖 2.8 三相鎖相迴路法之控制方塊圖



□ 實虛功控制與電流控制

實虛功計算公式：

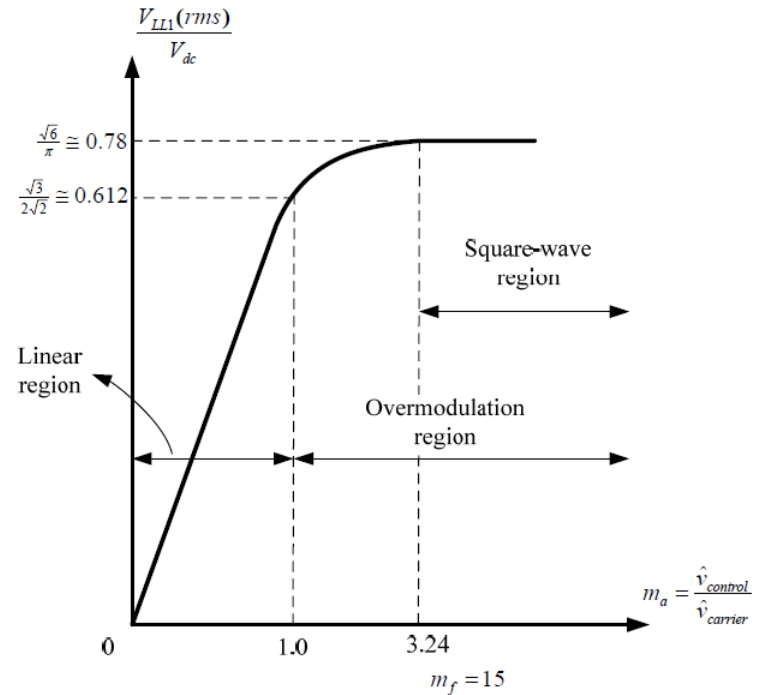
$$P = \frac{3}{2}(v_d i_d + v_q i_q) \quad (2.37)$$

$$Q = \frac{3}{2}(v_q i_d - v_d i_q) \quad (2.38)$$

當鎖相迴路電路運作成功，與電網相位同步時， $v_d^* = 0$ 且 $v_q = V_m$ ，代入(2.37)、(2.38)可得：

$$P = \frac{3}{2}v_q i_q \quad (2.39)$$

$$Q = \frac{3}{2}v_q i_d \quad (2.40)$$



線間電壓、直流鏈電壓與振幅調變比例之關係圖

直流鏈電壓最小值為179.739V，因此直流鏈命令設為200V。



□ 可控直流電源供應器(太陽能電池陣列模擬功能)



圖 2.10 可控直流電源供應器Chroma 62100H-600S

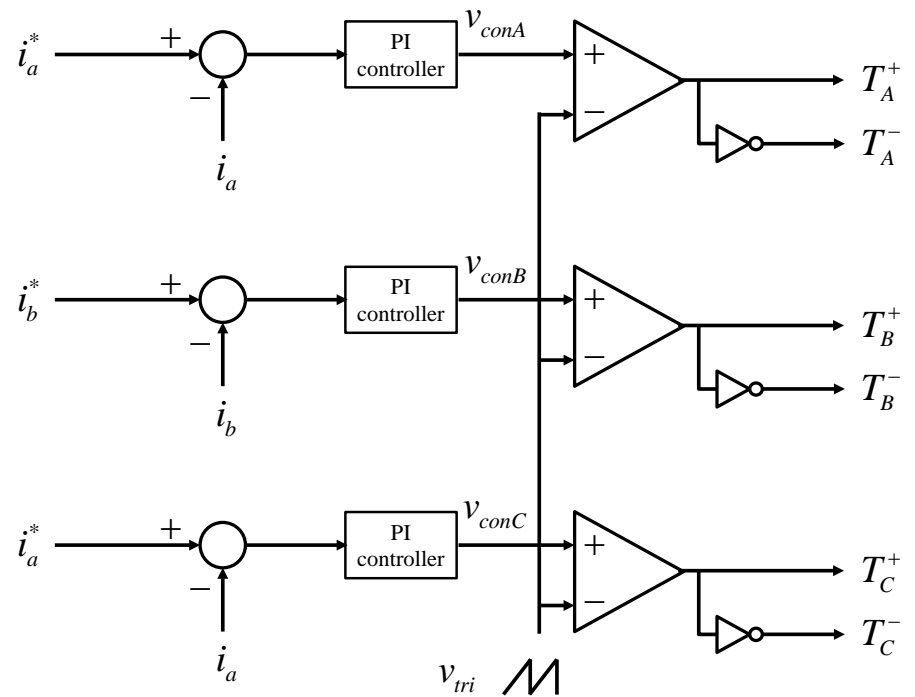
圖 2.11 軟體Solar Array Simulation Soft Panel操作介面



□ 升壓轉換器、變流器



升壓轉換器、變流器



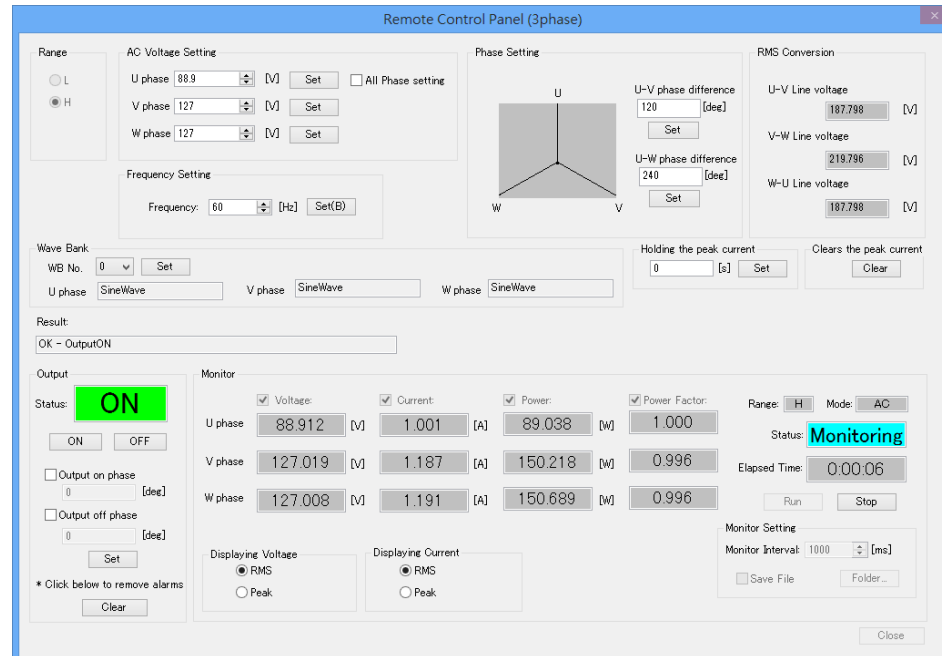
三相電流控制電路架構圖



交流電源供應器



交流電源供應器



軟體Wavy操作介面



智慧電網與再生能源

10KW及2KW之太陽能光電系統

SolarEdge 10KW 太陽能板 (Micro-MPPT)



共42個模組(1個模組240W含60片 cell)

國立中央大學 電機工程學系



Power Optimizer (Micro-MPPT)



Rated input DC power: 250 W
Maximum input voltage: 55 V
Maximum input current: 10 A



Operating output voltage: 5-60 V
Maximum output current: 15 A

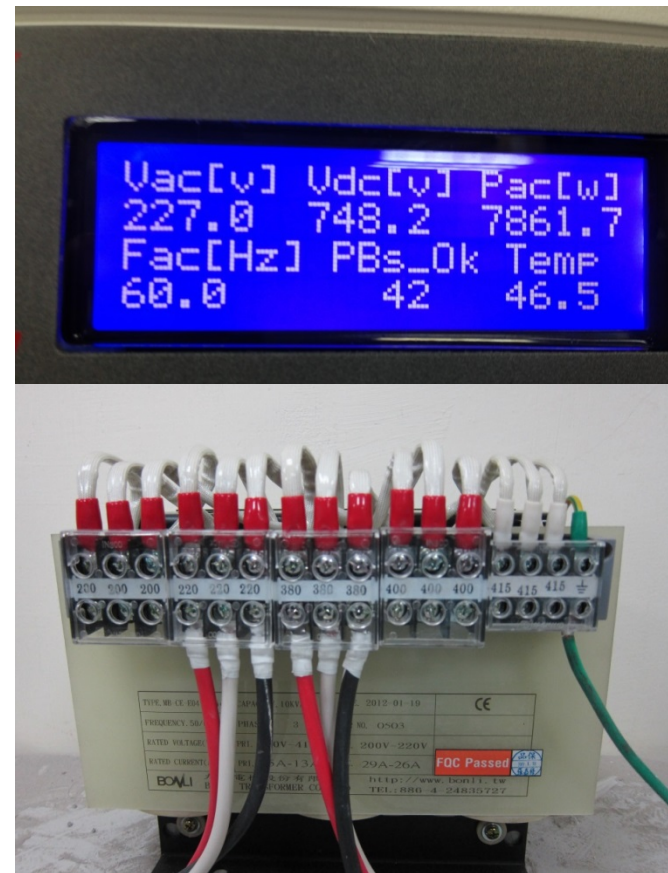


市電並聯Inverter AC220V



Recommended Maximum DC power: 11 KW
Nominal DC input voltage : 750 V
Maximum input current: 18.5 A

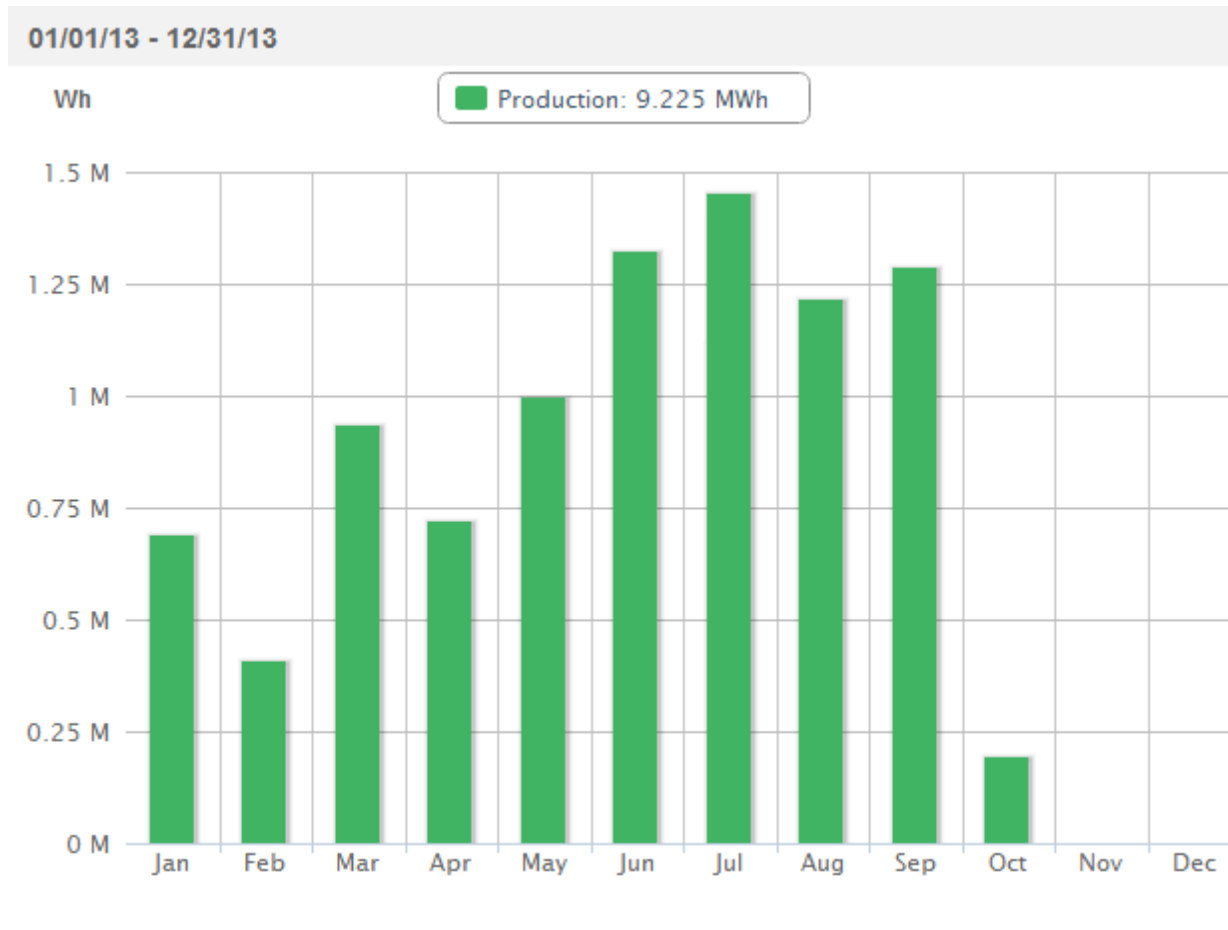
Inverter monitoring (平時顯示)



變壓器 (3相380 V / 3相220 V)

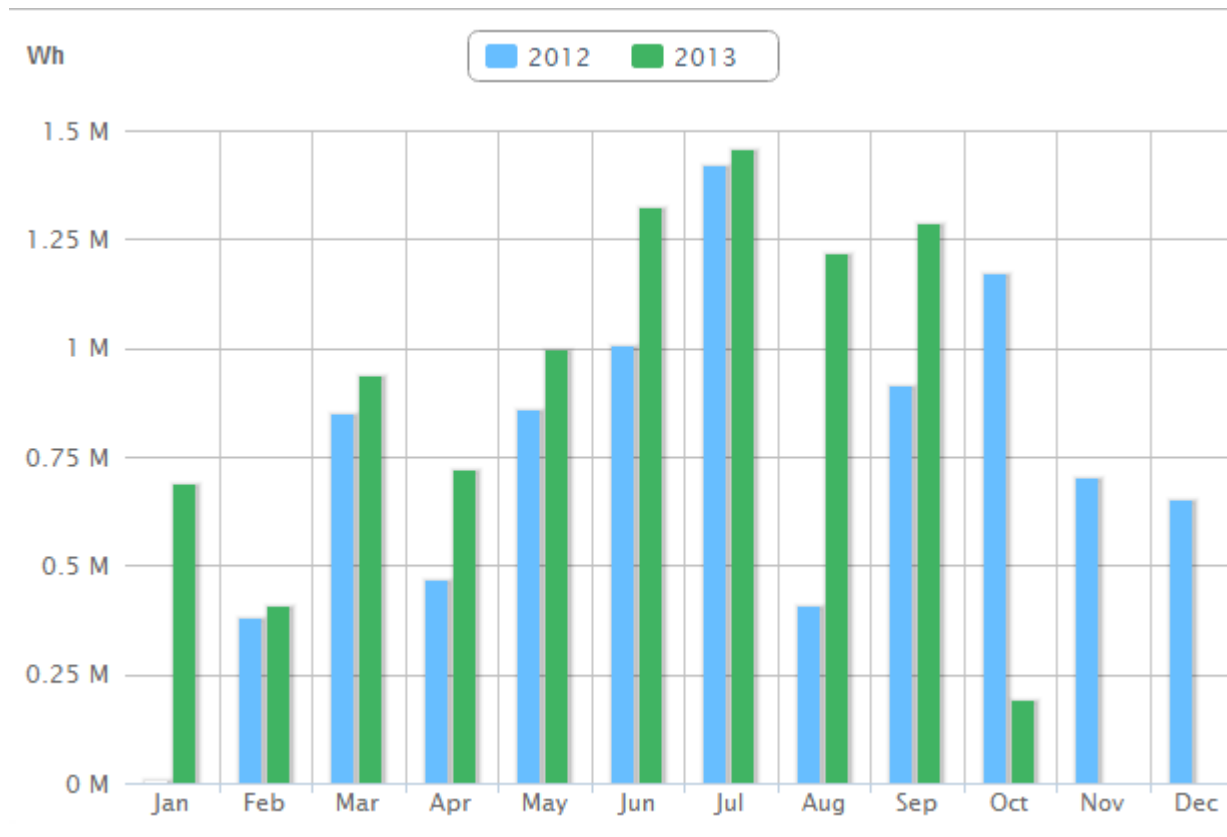


2013年各月份發電總量





2012年與2013年各月份發電量比較





iEnergy 2KW太陽光電板 (Micro-Inverter)



共10個模組(1個模組230W含60片cell)



Micro-Inverter市電並聯AC220V



DC Input data

Input power range: 240-265 W

Input voltage range: 25-59 V

Max Input current : 10 A

AC Output Data

Recommended output power: 230 W

Nominal output current: 0.88 A

Nominal voltage range: 211-264 V

Nominal frequency range :59.3-60.5 Hz



I-manager



Data由PLC傳輸至I-manager



I-manager數據顯示且經由網路傳輸至iEnergy監控網頁



iEnergy 網頁監控畫面 每日總發電量





當日發電量觀測





Wind Energy and Power

- Atmospheric pressure differences accelerate and impart kinetic energy into the air
- Wind energy conversion machines (WEC) convert wind energy into electrical or mechanical forms
- How much *power* can we extract?

$$\text{Power} = \frac{\text{K.E.}}{\text{time}} = \frac{\frac{1}{2}(\text{mass}) \times (\text{velocity})^2}{\text{time}}$$

$$\frac{\text{mass}}{\text{time}} = \text{density} \times \text{area} \times \text{velocity}$$

$$\text{Power} = \frac{1}{2}(\text{density}) \times \text{area} \times (\text{velocity})^3 = \frac{\rho A V^3}{2}$$



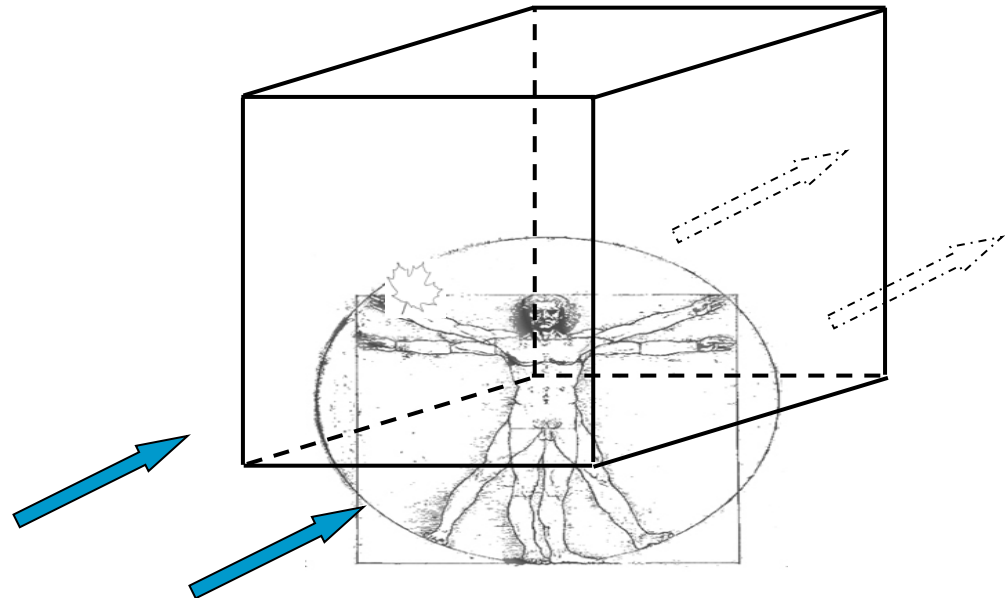
Wind Power - Example

- Example:

$$V = 10 \text{ m/s}$$

$$A = (2 \text{ m})^2 = 4 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$$



<http://enneagon.org/footprint/jpg/dvc01w.jpg>

<http://z.about.com/d/gonewengland/1/0/5/C/leaf5.gif>

$$\text{Power} = \frac{1}{2} (\text{density}) \times \text{area} \times (\text{velocity})^3 = \frac{\rho A V^3}{2}$$



Wind Power – Example, cont.

$$P = \frac{(1.2 \text{ kg/m}^3)(4 \text{ m}^2)(10 \text{ m/s})^3}{2}$$

$$= 2400 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3} = 2400 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2400 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

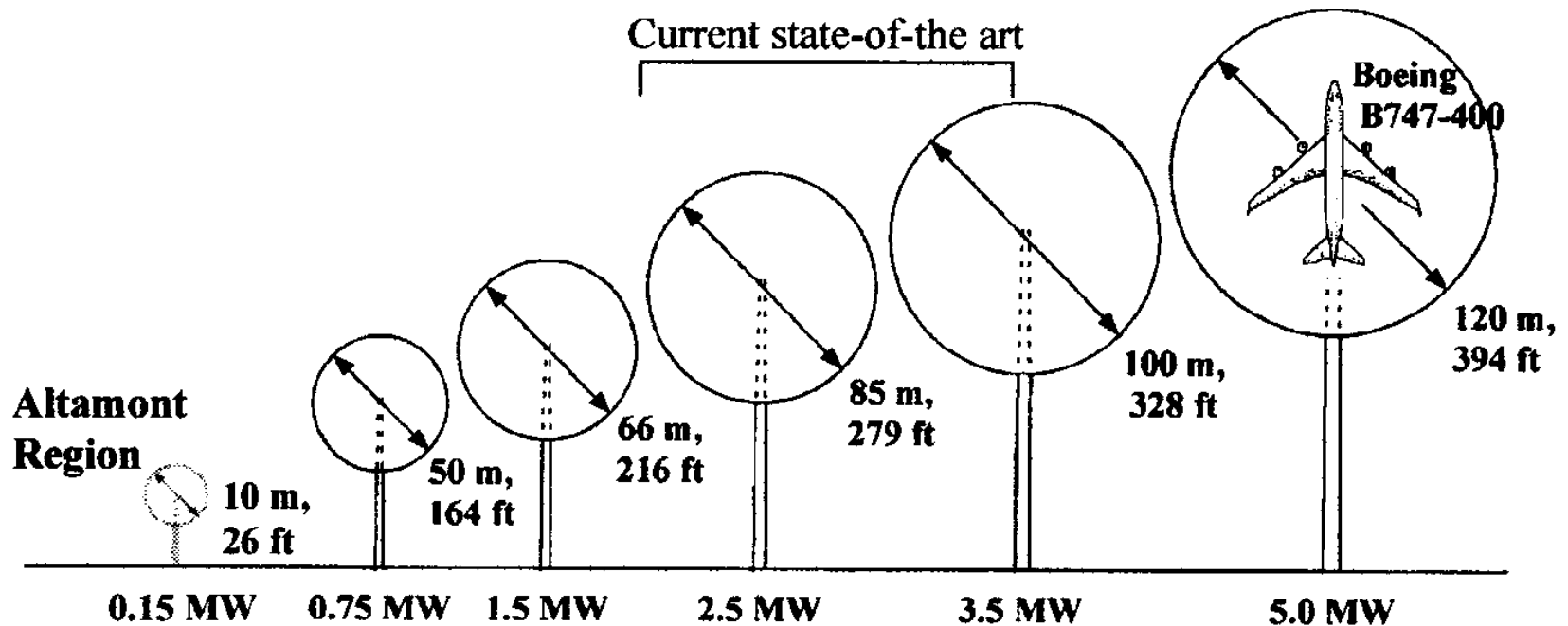
$$P = 2400 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 2400 \text{ W} \quad \text{Theoretical Maximum}$$

Betz Limit: 59.3% of the theoretical is the maximum amount extractable by a wind energy conversion device (WEC)

$$P_{\text{Betz}} = 0.593(2400 \text{ W}) = 1423.2 \text{ W} \quad \text{Practical Maximum}$$

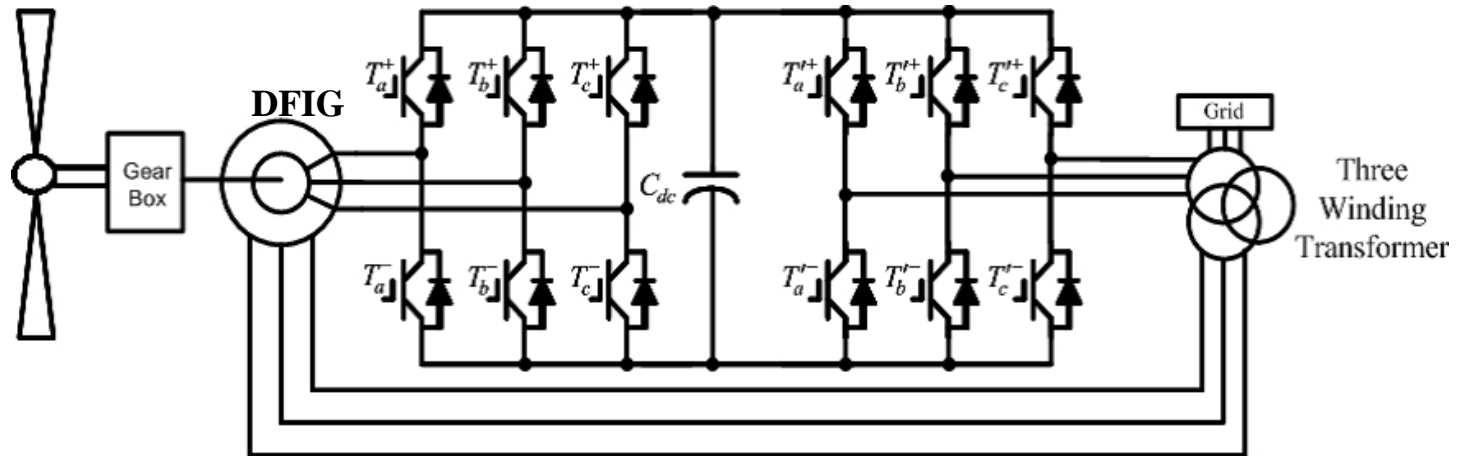


Wind Turbine Size-Power Comparison

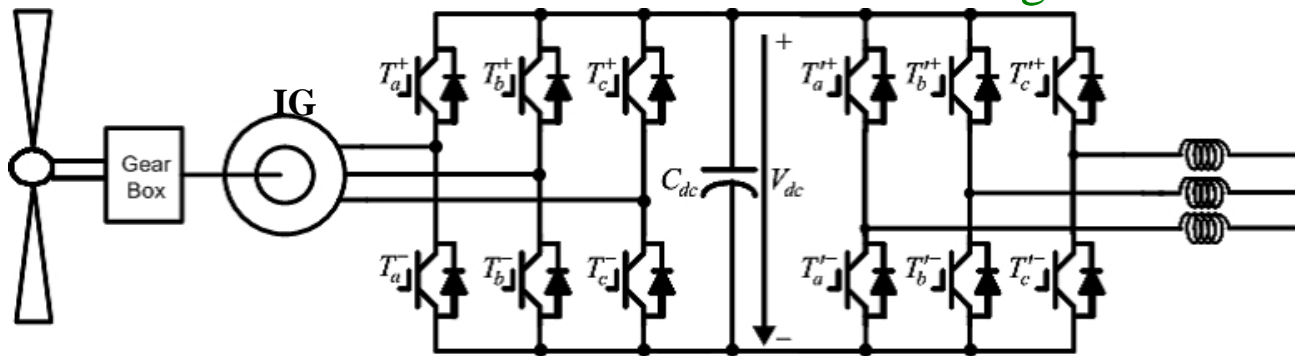




Wind Turbine Configurations



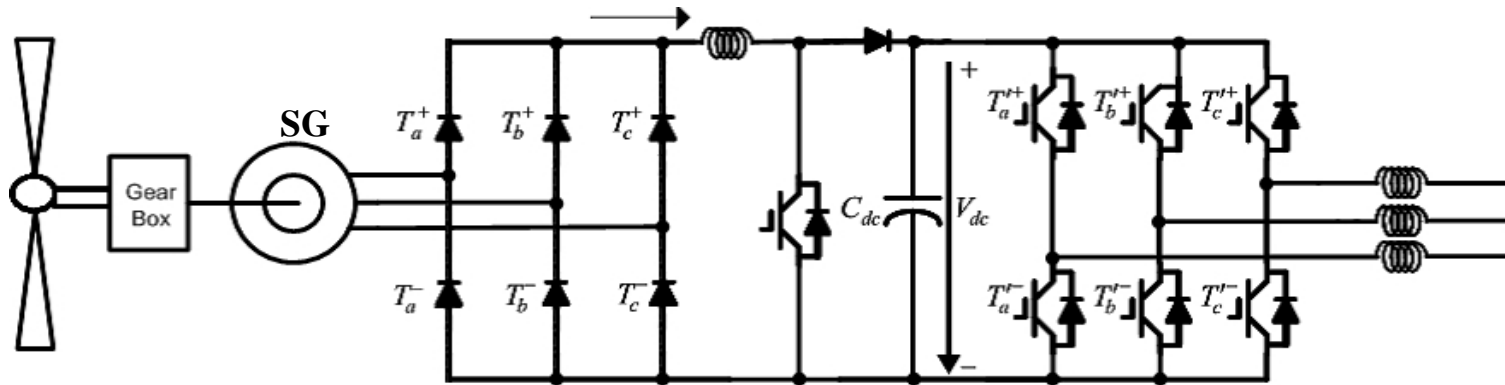
Double-fed Induction Generator using Converters



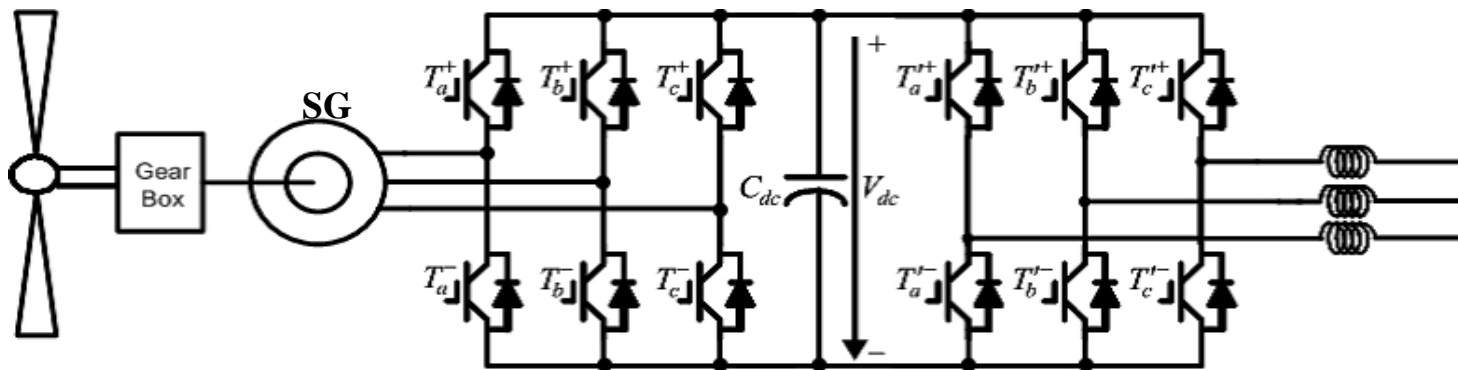
Induction Generator Using Converters



Wind Turbine Configurations



Synchronous Generator Using Rectifier and Converters



Synchronous Generator Using Converters

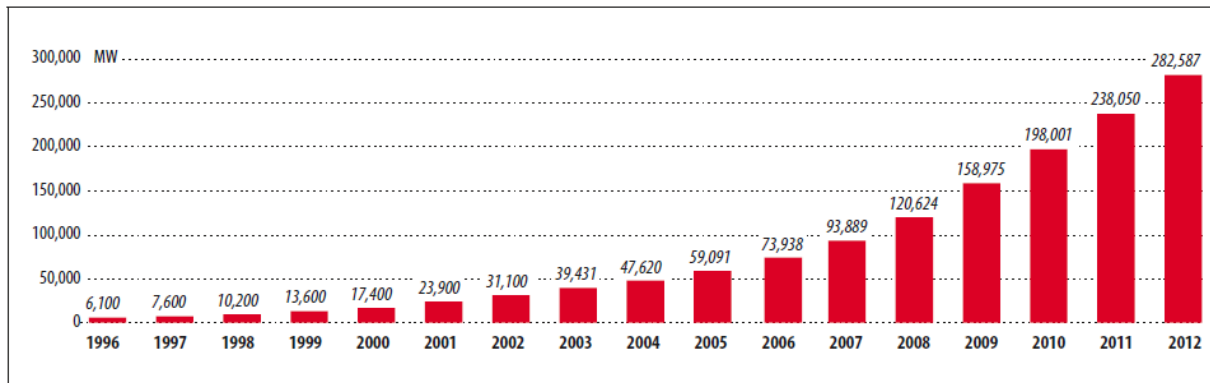


全球大型風機發展趨勢-陸域

全球2012風能累計裝置容量 282GW
2012年年均成長率19%
預估 2013年達到 322GW裝置容量
2017年達到 536GW裝置容量

目前全球已安裝最大型的陸域風機
Enercon-E126 (6MW)-裝置於德國Emden
126m 葉面直徑，135m塔架高度

Global Cumulative Installed Wind Capacity 1996-2012



Source: GWEC





全球大型風機發展趨勢-離岸與高樓

目前全球已安裝最大型的離岸風機

Repower-5M (5MW)

裝置於德國Brunsbuttel

126m 葉面直徑，120m塔架高度



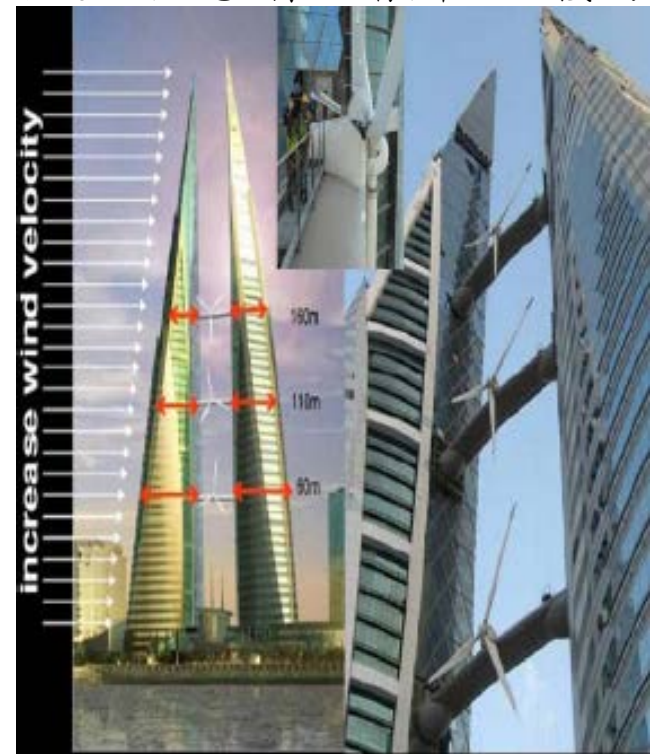
更大型的7MW及10MW也都已經在發展中

目前最巨型的城市高樓風機
位於巴林(Bahrain)首都麥納瑪的世貿中心

預計於2008年初完工

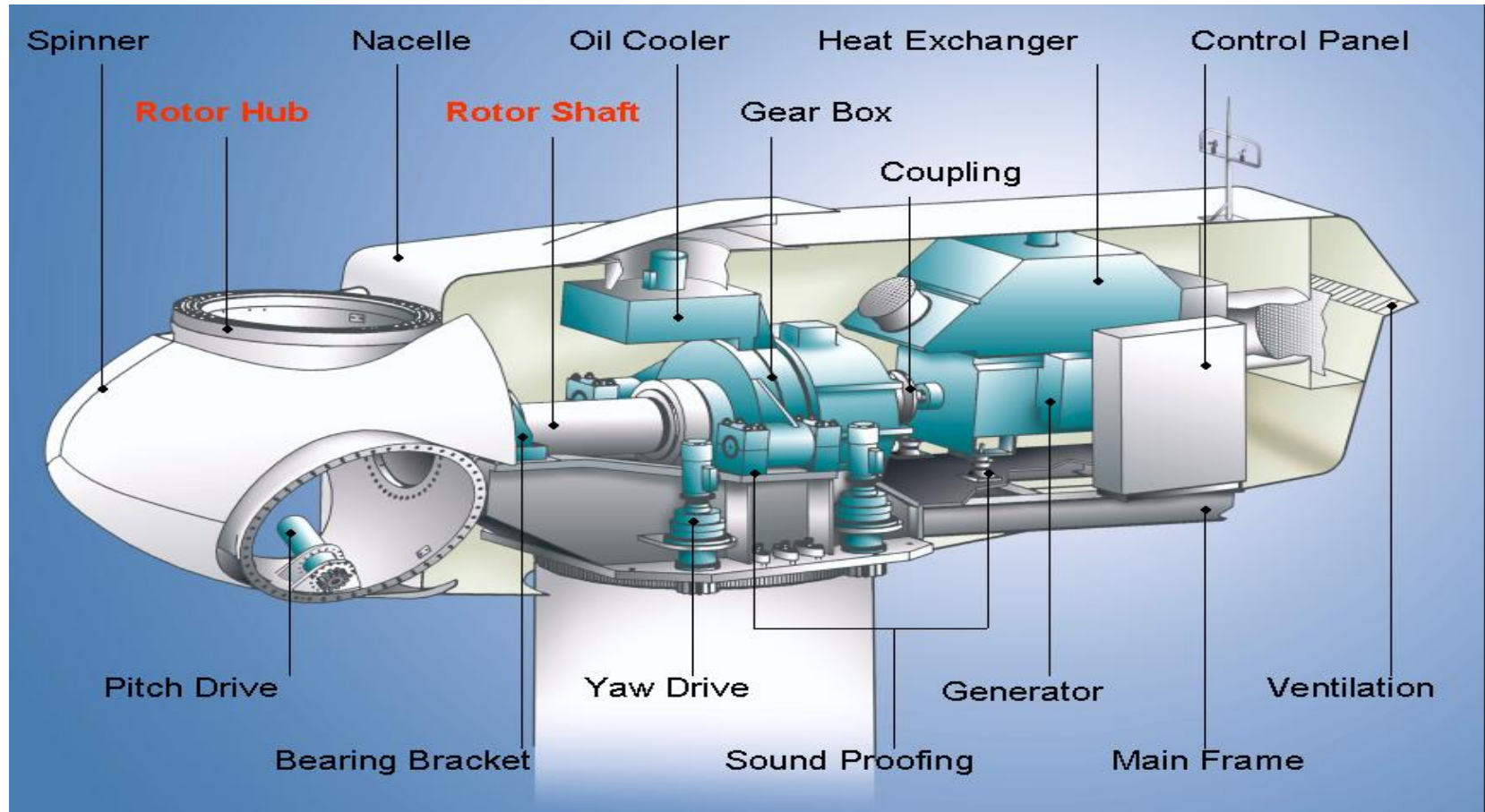
3座直徑29公尺的風葉(各225kW)

電力足以供應2棟50層辦公大樓的15%





Viewing of Nacelle





On Top of Roof (Front Side)





全球大型風機發展趨勢-各國之發展

2012年全球重要風能發展國家裝置情形(MW)		
國家	單年裝置容量	累計裝置容量 (全球占比)
1.中國	12,960	75,324 (26.7%)
2.美國	13,124	60,007 (21.2%)
3.德國	2,415	31,308 (11.1%)
4.西班牙	1,122	22,796 (8.1%)
5.印度	2,226	18,421 (6.5%)
6.英國	1,897	8,445 (3.0%)
7.義大利	1,273	8,114 (2.9%)
8.法國	836	7,564 (2.7%)
9.加拿大	935	6,200 (2.2%)
10.葡萄牙	712	4,525 (1.6%)
Ref: "GWEC, Global Wind 2012 Report"		
台灣累計裝置容量約564MW (統計至2012.12.31為止)		



- ▲ Operational offshore wind farms
- Offshore wind projects to be built in 2008-2009



Arklow Bank wind farm, Ireland (© Airtricity)

全球大型風機發展趨勢-離岸風場



智慧電網與再生能源

FIGURE 1: Offshore wind market development in Europe (1991-2007)

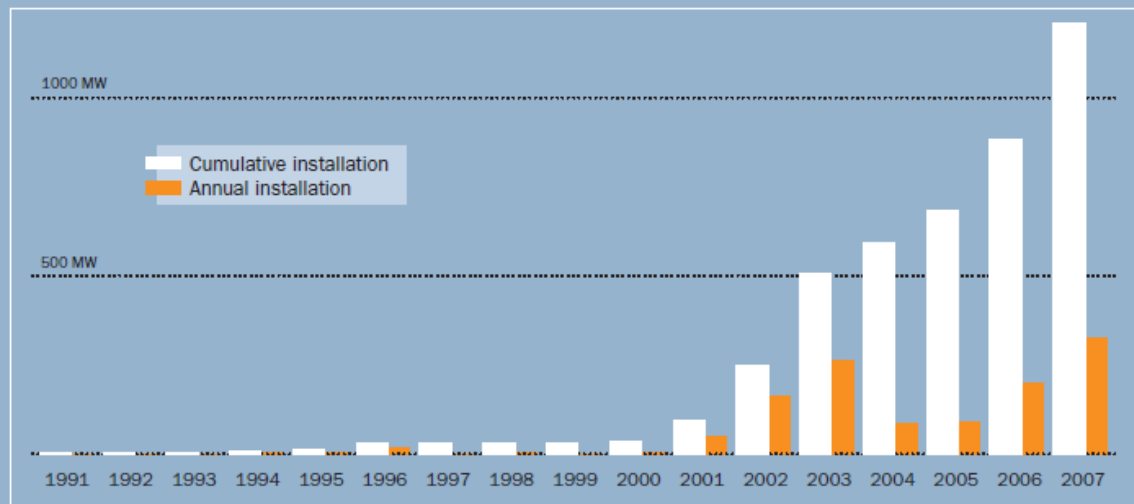


FIGURE 2: Offshore wind development (Annual and cumulative in MW) 2010-2015

		2007	2008	2009	2010	2015
Annual	Low*	205	645	500	1,000	1,700
	Medium					2,350
	High			900	1,500	3,000
Cumulative	Low	1,083	1,848	2,228	3,228	10,000
	Medium					12,000
	High			2,628	4,128	15,000

* For 2009 onwards a low and high estimate had to be developed, so as to reflect the increasing uncertainty over project delivery in this timescale.

FIGURE 3: Offshore wind development 2006-2020 (Cumulative, GW)

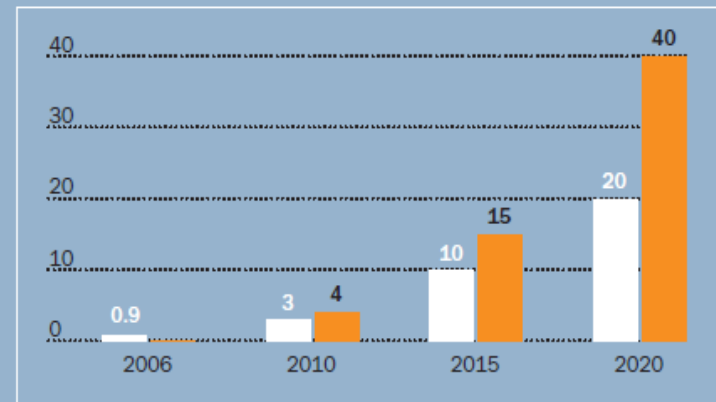


FIGURE 4: Annual Installation 2015-2020

	Low	Medium	High
Installation 2015-2020 (GW/year)	2	3.6	5



Burbo Bank wind farm, UK (© Siemens AG)



Horns Rev wind farm, Denmark (© DONG Energy A/S)



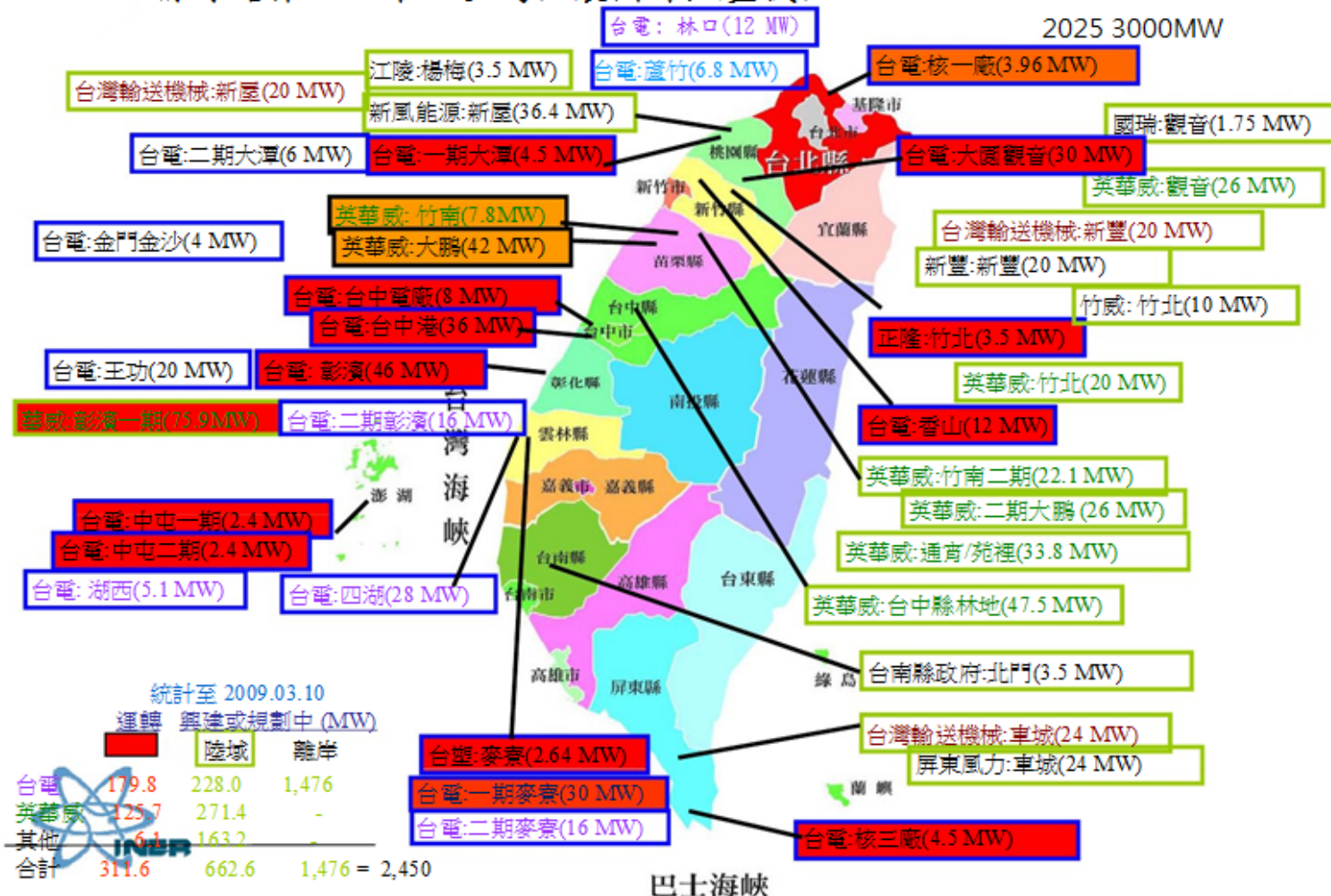
國內風機裝置分佈情形

除了塔架及土木，全為組裝國外大型機組

目標 2010 519MW

2015 881MW

2025 3000MW





台電風機裝置與運轉情形

台電風力各場址商轉後累計發電量(累計2008.06.23) [1]										
場址	石門 風力	觀園 風力	大潭 風力	香山 風力	中港 風力	中火 風力	彰工 風力	恆春 風力	中屯 風力	總計
裝置容量 (MWx機組數)	0.66 x6	1.5 x20	1.5 x3	2.0 x6	2.0 x18	2.0 x4	2.0 x23	1.5 x3	0.6 x8	149.8
生產國	丹麥	美國	美國	西班牙	日本	日本	丹麥	美國	德國	
廠牌[2]	Ve	Ge	Ge	Ga	Ha	Ha	Ve	Ge	En	
承包廠商	中興	中興	中興	漢翔	樂士	樂士	星能	中興	中興	
已商轉機組數	6	20	3	2	13	4	23	3	8	82
運轉機組數	5	8	2	0	10	0	23	3	7	58
故障機組數	1	12	1	2	3	4	0	0	1	24
累計發電量 (百萬度)	34.7	228	38.5	4.9	31.0	14.1	214	36.2	96.9	699
統計日期	5/31	6/19	6/19	5/31	6/20	6/20	6/20	6/23	6/20	
CF(%) [3]	27	28	28	26	10	11	35	31	47	

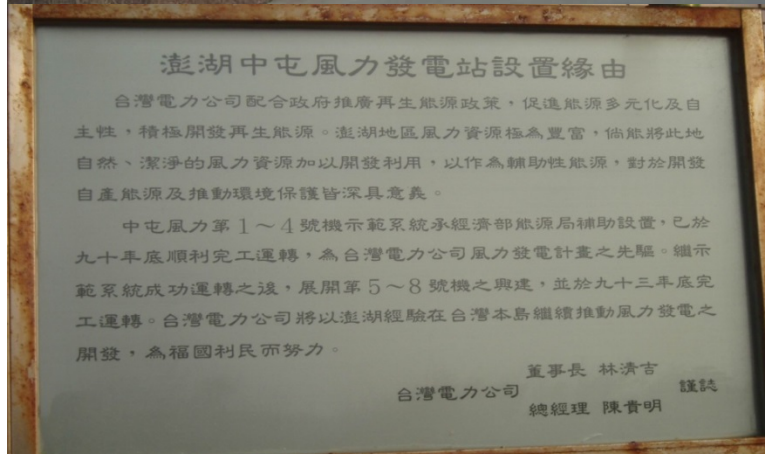
(1)資料來源: 台電公司全球資訊網 及 財團法人國家實驗研究院科資中心

(2) Ve : Vesta; Ge: GE; Ga:Gamesa; Ha:Harakosan; En:Enercon

(3)由公布之完工日起粗略估算



智慧電網與再生能源







*Thank You for Your
Attention!*