

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：實習)

電力品質評估技術與特性監測分析及 改善設備

服務機關：台灣電力公司
出國人 職稱：電機工程師
 姓名：江榮城
出國地區：丹麥、德國
出國日期：92.07.13
報告日期：92.08.13

43/c09202776

行政院及所屬各機關出國報告提要

COP202176

出國報告名稱：電力品質評估技術與特性監測分析及改善設備

頁數 48 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話/：台灣電力公司/陳德隆/2366-7685

出國人姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

江榮城/台灣電力公司/綜合研究所電力室/電機工程師/26815424-2302

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會

出國期間：92 年 7 月 13 日至 92 年 7 月 26 日；出國地區：丹麥德國

報告日期：92 年 8 月 13 日

分類號/目

關鍵詞 (Key words)：電力品質(Power Quality)、風力發電(Wind Generation)、風場 (Wind Farm)。

內容摘要：(二百至三百字)

因應電業自由化，本公司正積極致力於再生能源諸如太陽光電、風力、小水力之研發，以減少對傳統能源的依賴，亦將有很多分散型電源如風力發電等併入配電系統。由於風力發電常獨立運轉，不受配電系統營運的約束，因此勢須決定配電系統設備的合理配置及其控制方式，減少風力發電併入後對配電系統對電力品質造成衝擊。因此，擬派員觀摩學習有關「電力品質評估技術與特性監測分析及改善設備」課題。本次實習內容摘要如下所列：

一、介紹國外風力發電應用現況

- (1) 世界概況。
- (2) 介紹歐美風力發電現況。
- (3) 介紹亞洲風力發電現況現況。
- (4) 國內風力發電應用現況

二、德國 Wind guard 訓練課程介紹

- (1) 離岸風場(Off-shore wind farm)現況及驅勢。
- (2) 分散型電源併入電力系統之整合和影響評估。
- (3) 風力發電機之電力品質影響評估。

電力品質評估技術與特性監測分析及改善設備

目 錄

壹、	實習目的與內容	
一、	緣起與目的	1-2
二、	行程與內容	1-3
貳、	實習心得報告	
一、	國內外風力發電現況及發展驅勢	2-1
二、	離岸風場(Off-shore wind farm)現況及驅勢	2-12
三、	分散型電源併入電力系統之整合和影響評估	2-15
參、	綜合結論與建議	
一、	綜合結論	3-1
二、	建議	3-1
肆、	參考文獻	4-1

壹、實習目的與內容

一、緣起與目的

因應電業自由化，本公司正積極致力於再生能源諸如太陽光電、風力、小水力之研發，以減少對傳統能源的依賴，亦將有很多分散型電源如風力發電等併入配電系統。由於風力發電常獨立運轉，不受配電系統營運的約束，因此勢須決定配電系統設備的合理配置及其控制方式，減少風力發電併入後對配電系統對電力品質造成衝擊。因此，擬派員觀摩學習有關「電力品質評估技術與特性監測分析及改善設備」課題。

- (一)、由於國內目前已運轉中之大型風力機和申請中之大型風場皆來自丹麥 Vestas 與德國 Infra Vest(英華威)、Enercon。如新竹春風風力發電廠(3.5MW)與台塑麥寮六輕風力發電廠(2.64MW)皆採用丹麥 Vestas 之風機，為目前國內前兩大風場；本公司澎湖中屯風力發電廠(2.4MW)採用德國 Enercon 之風機，為國內第三大風場。同時，德國 Infra Vest 公司已向本公司提出數個風場之申請案，如彰濱風場(2.5MW×47 台)、觀音風場(1.3MW×26 台)、新屋風場(1.3MW×20 台)與竹南風場(1.3MW×17 台)。由於原出國地點美、加、法，目前國內未有大型之風力機裝置案，為了正確評估未來國內風力發電對系統衝擊與可能之電力品質影響，擬將出國行程變更為丹麥與德國。
- (二)、風力發電為我國能源發展之重要目標，惟風力發電為不穩定能源，其匯入電網之特性與傳統水、火力機組要求殊異。本出國任務在瞭解風力發電機之特性、國外應用現況。並選擇全世界風力發電佔全國發電比率最高之丹麥，以及世界風力發電裝置容量最大之德國為實習地點，並參加 Infra Vest 所舉辦之風力發電對系統衝擊訓練課程，希望能學習與收集到風力發電最新技術與經驗，供公司未來風力發電之系統衝擊評估參考。
- (三)、風力發電機主要種類可分為感應發電機(IG)與同步發電機(SG)兩種

機型，此次實習之丹麥 Vestas 與德國 Infra Vest 風力發電開發商，分別為代理 IG 與 SG 之世界知名公司，亦是目前國內現役中之風力發電機兩大機型，希望介由該次「電力品質評估技術與特性監測分析及改善設備」之實習機會能夠提出不同風力發電方式可能之電力品質影響評估，供公司審查風場申請案之參考。

二、行程與內容

- (一)、 7月13 ~ 7月14日 往程，
(Taipei →Paris→Copenhagen→Ringkobing)。
- (二)、 7月15日 ~ 19日 丹麥 Ringkobing學習與收集風力發電最新技術。
- (三)、 7月20日 往程(Ringkobing→Amsterdam→Bremen→Varel)。
- (四)、 7月21日 ~ 24日 參加Infra Vest所舉辦之『Grid connection of Wind energy plants』訓練課程
- (五)、 7月25日 ~26日 返程(Varel→Hamburg→Frankfurt→Paris→Taipei)。

貳、心得與感想

一、國內外風力發電現況及發展驅勢

(一)、世界概況

歐洲風能協會（European Wind Energy Association，簡稱 EWEA）在 1999 年與綠色和平組織（Green Peace）共同出版了全球風力發電發展潛力評估報告” Wind Force10”，當時提出了於 2020 年時風能可提供全球 10% 的發電裝置量。

而近三年來全球風力發電的實際發展速度超出預期，因此 EWEA 重做評估，在 2002 年 5 月進一步提出了” Wind Force 12”，即將目標提高至 12%。

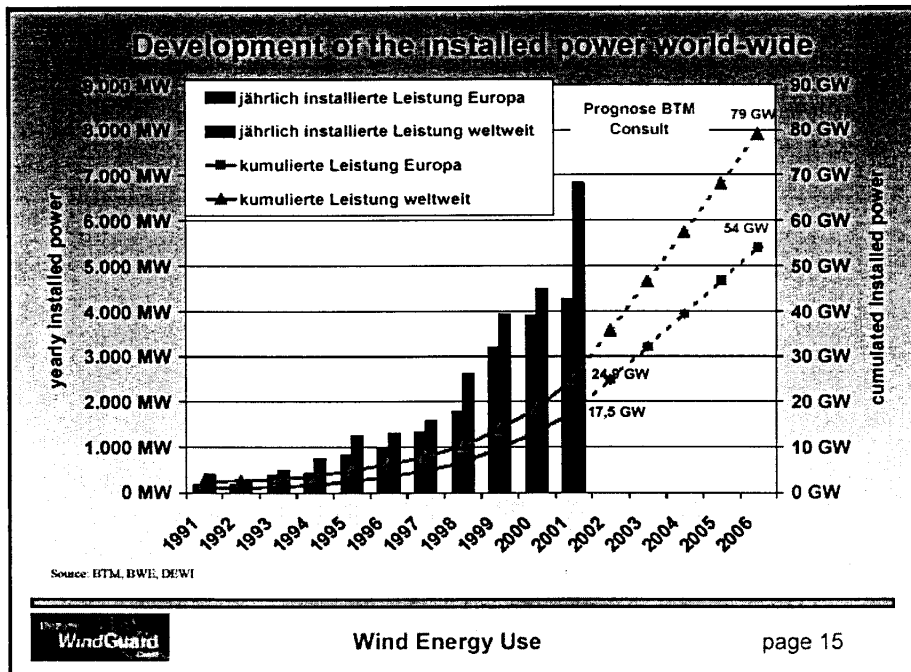


圖 2-1 世界風力發電總裝置容量年度分布

表 2-1 各國之風力裝置容量(MW)

國家別		截至 2001 年底	在 2001 年	預估截至 2006 年
歐洲	Austria	86	17	286
	Denmark	2,456	115	3,606
	Finland	39	21	244
	France	115	52	3,665
	Germany	8,734	2,627	20,484
	Greece	358	84	1,198
	Ireland(Rep.)	129	7	729
	Italy	700	276	2,250
	The Netherlands	523	52	1,348
	Norway	17	4	787
	Portugal	153	42	653
	Spain	3,550	1,050	11,850
	Sweden	318	53	1,718
	Switzerland	5	2	125
	Turkey	19	0	249
	UK	525	107	3,875
	Other European Countries	125	39	1,245
	Sum Europe	17,852	4,548	54,312
美洲	USA	4,245	1,635	11,945
	Canada	214	75	1,214
	South & Middle America	134	35	1,434
	Sum America	4,593	1,745	14,593
亞洲	China	406	54	1,706
	India	1,456	236	4,256
	Japan	357	217	1,657
	Other Asiatic Countries	18	4	118
	Sum Asia	2,237	511	7,737
其他國家	Australia & New Zealand	106	41	1,156
	North Africa	137	0	912
	Middle East	18	0	253
	GUS	19	0	419
	Other countries	5	0	115
	Sum other	285	42	2,855
Sum Worldwide		24,967	6,845	79,497

如圖 2-1 所示，截至 2001 年底全世界風力發電總容量將達 24,967MW 以上，其中有 74%分布在歐洲各國。其中以德國擁有

12,000MW 以上之風力發電裝置容量為世界之冠，其次分別為美國、西班牙、丹麥與印度，裝置容量均超過 1,000MW[1]。截至 2001 年底世界各國之風力裝置容量如表 2-1 所示[1]。

(二)、歐美現況

自 80 年代初，美國與丹麥即已投入現代風力機的研發與應用，丹麥一直持續穩定地成長；而美國在初期成長快速，但於 80 年代中趨於平緩，直至近三年來才有顯著的增加。德國在 90 年代初僅有少許的風力機應用，但在其優異的工業基礎與政策鼓勵下，10 年來其風力發電裝置容量呈驚人的指數成長，裝機數已超過 14,000 台[2]，遠遠高於其他國家。西班牙則為近年來的後起之秀，2000 年裝置容量首度超越風力先驅丹麥成為歐洲第二名。風力發電的前景因歐美各國大規模的開發而大放異彩，全世界已裝置之風力發電機組容量，從 1990 年之 1,743MW 增加至 2000 年底之 18,449MW，年發電量逾 370 億度電，年平均成長率超過 20%。及至 2001 年底已逾 24,967MW，預估至 2006 年全球累積可達 79,497MW。

風力發電之應用，目前以裝設風力發電機與電力網併聯（Grid connection）的方式為主流；另外，離島、偏遠地區等電力網無法普及之處，亦可應用風力機單獨運轉供電或與柴油機光電系統等混合（Hybrid System）運轉供電。

風力機可單台使用，亦可多台使用，甚或百台以上成為風場（Wind Farm）使用，這些風場景觀可在丹麥、荷蘭、德國、美國加州等地看到。至於風力發電應用的地點除土地開闊的地區（如美國加州 Altamont Pass 及 Tehachapi 等山區）外，地狹人稠國家如丹麥、荷蘭、比利時等廣泛利用田野、海堤、鄉村道旁、燃煤電廠碼頭、LNG 碼頭、防波堤與空地等設立風力發電機，並且因風力發電技術已趨成熟，機組可靠度提高，運轉上極為安全，風力發電機直

接與農牧用地共存，甚至往海上發展，在水深 2 至 5 公尺之海邊也因風速大且穩定而被考慮裝置，所裝置的機組皆大型化（2MW 以上）。

最近幾年世界上風力發電應用市場變化很大，美國在 80 年代初期因獎勵措施關係，市場量急速成長至 1,000MW 以上，此後即維持平穩之發展。加州平均風速每秒約 8 至 9 公尺，由於其風力發電的天時、地利條件均佳，加上有優惠稅制「公用事業管制政策法」（Public Utility Regulatory Policy Act）的支持，曾大量建造風力發電廠。

由於人口密度較高，因此，歐洲不允許任意污染環境，因此極力發展風能利用技術，而且對於可再生能源的利用政策明確，致風力發電發展快速成長，每年平均約 20%至 30%，2000 年底裝置容量約為 12,822MW，預估 2006 年歐洲的風力發電累積可達 54,000MW。單機的容量由平均 150-250 瓩發展至目前的 1.1-4.5MW(目前 Enercon 之 E112 型之裝置容量為 4.5MW)。歐盟國會已決議通過在歐洲對新能源的立法，目標在 2010 年前，提高新能源的比例，從目前的 6% 提高至 12%。

(三)、亞洲現況

在亞洲方面，中國大陸、印度和日本是目前主要的風力發電國家，中國大陸在西北的新疆和東南的廣東南澳等地興建約達 340MW 的風力電場，預估 2006 年可達 1,706MW。印度目前係亞洲最大的風力發電國家，截至 2001 年底已有 1,456MW 的裝置容量，2006 年預計達 4,256MW。由於風車發電需要的用地廣闊，在地形及風力資源不足的日本目前尚無大規模興建風力發電的計畫，只有利用小型風車作為照明、取暖和汲水等用途，在 1998 年風力發電裝置容量達 31MW，2001 年底為 357MW，不過日本目前打算將風力發電逐年提昇至 2010 年目標為 3,000MW（佔全國 3%的電力配

比) [1]。

此外中亞的哥薩克斯坦和南亞斯里蘭卡，亦有大型的風力發電計畫正在進行中。

(四)、國內風力發電應用現況

台電公司前於民國五十四年於澎湖白沙鄉裝設一台 50 瓩風力發電機進行試驗。嗣後於 1979 年二次能源危機後，在經濟部能源委員會委託支助下，工研院能資所開始進行系統性的風能應用研究。除完成台灣地區風能潛力評估外，亦建力風力機研製技術能力。前後於湖口陸續完成 4 瓩、40 瓩及 150 瓩等三型風力機組的開發及運轉試驗。

其他如清華大學、中央氣象局、中央研究院、台電公司及其他民間廠商等亦陸續有相關之研究。在發電應用方面，則有台電公司、麥寮汽電公司及中央氣象局等。

1. 七美先導型風力發電計畫

澎湖地區風力資源豐富，為瞭解該地區開發利用風力發電之潛力，台電公司於民國七十年開始進行澎湖離島風力發電先驅計畫。於民國七十九年底在澎湖七美離島完成一百瓩先導型風力發電機兩座，如圖 2-2 所示，並與島上既有的柴油機併聯運轉發電，供給鄰近住戶。平均每年約可發電七十二萬度，約可節省輕柴油二百公秉，總投資金額為新台幣三千五百萬元。風力發電機採用美國 USW 公司製造，為逆風可變式葉片發電機。額定風速 12.7 公尺/秒，輸出電力 100 瓩，切入風速 5.8 公尺/秒，切出風速 19.4 公尺/秒。

七美風力發電系統主要針對風力與小型電力系統併聯之應用構想，進行先導型風力發電廠裝置於供電成本高昂、小離島地區的試驗運轉；本計畫之實施，已為台灣風力發電奠定基礎，並為後續計

畫提供極寶貴之經驗。

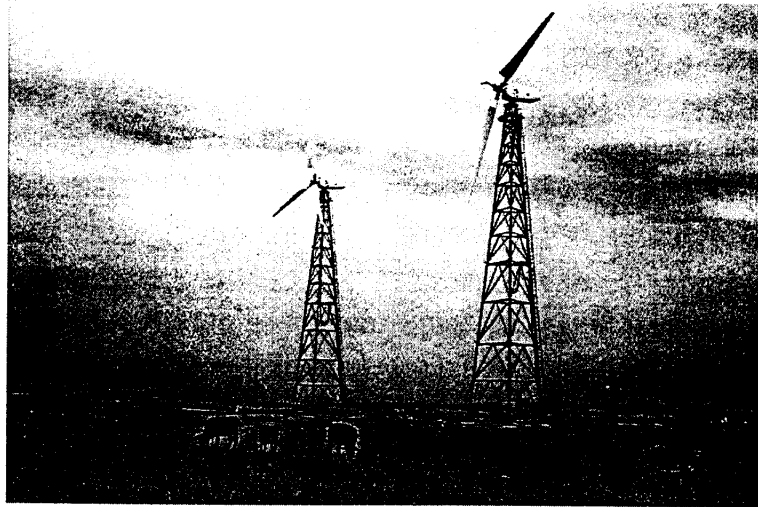


圖 2-2 七美先導型風力發電廠

2. 澎湖本島風力發電示範計畫

民國九十年十一月台電公司於澎湖本島白沙鄉中屯村北部濱海裝設 4 部 600 瓩之風力發電機，採用德國 Enercon 之 E40 型之機組。中屯風力發電廠所發出之電力由升壓變壓器升壓至 11.4KV 後經地下電纜匯入湖西變電所與既有系統併聯。中屯風力發電廠實體圖如圖 2-3 所示。總投資 1.15 億元，經濟部能源會補助三千四百五十萬元。所使用之 Enercon E40-600 型風力發電機輸出曲線示於圖 2-4 所示。本系統風力機組於風速達 2.5 公尺/秒時自動啟動開始運轉，當風速達 13 公尺/秒時即可達 600 瓩之額定輸出，而當風速超過 25 公尺/秒時即自動關閉停止運轉。

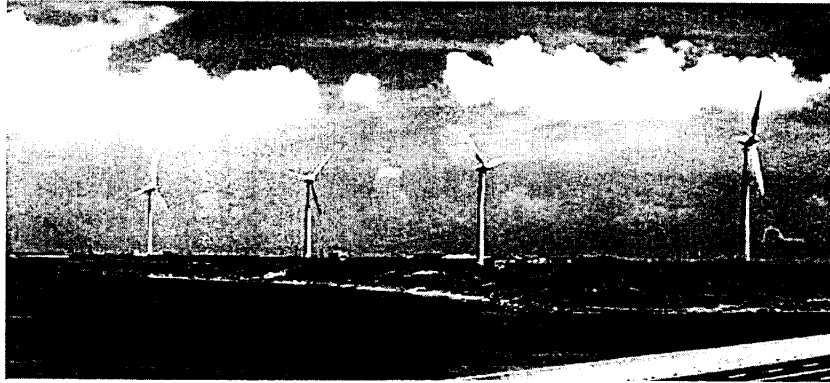


圖 2-3 中屯風力發電廠實體圖

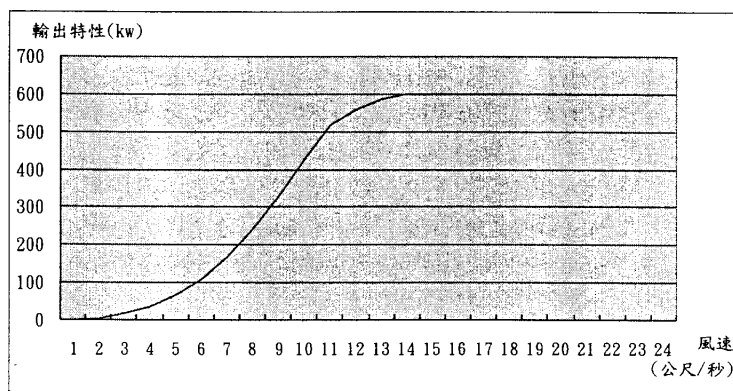


圖 2-4 Enercon E40-600 風力發電機輸出曲線

3. 麥寮風力發電示範系統

民國八十九年十二月台朔重工公司與工研院能資所合作，在台塑麥寮工業園區設置四部風力機組，該發電廠總投資 1.2 億元，經濟部能源會補助三千八百萬元，實體圖如圖 2-5 所示。所使用之 Vestas V47-660 風力發電機輸出曲線示於圖 2-6。

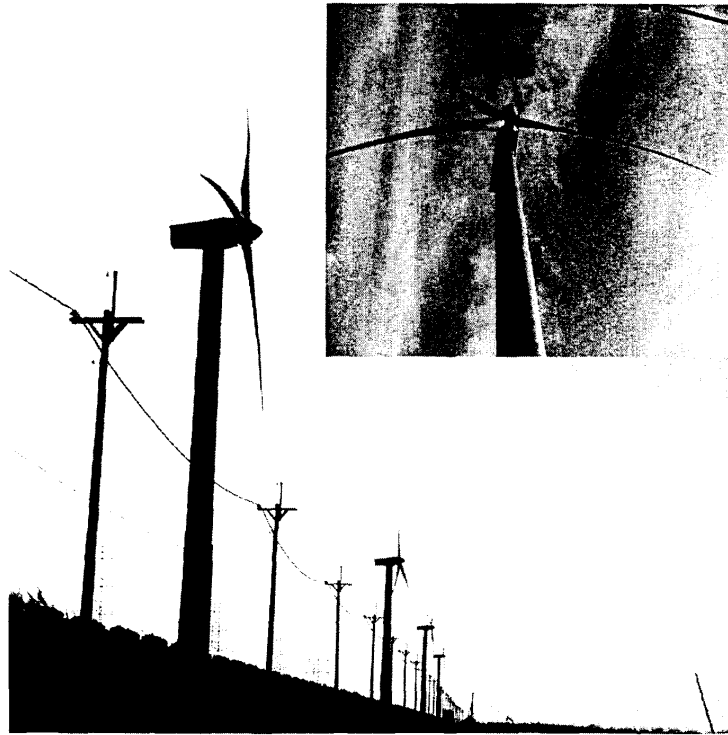


圖 2-5 麥寮風力發電實體圖

本系統風力機組於風速達 4 公尺/秒 時自動啟動開始運轉，當風速達 15 公尺/秒 時即可達 660 瓩之額定輸出，而當風速超過 25 公尺/秒 時即自動關閉停止運轉。本風力機組除能自動啟動與關機外，並具有自動迎風轉向、葉片旋角控制及監控保護等功能。本系統所發出之電力經昇壓變壓器昇壓後併入 11.4KV 系統供麥寮重工廠內自用。

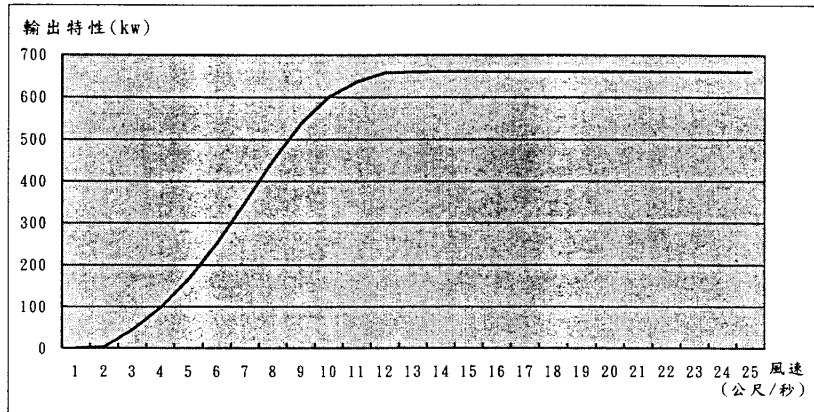


圖 2-6 Vestas V47-660 瓦風力發電機輸出曲線

4. 春風風力發電示範系統

民國九十一年十月由正隆集團之天隆造紙廠公司承建，於新竹縣竹北鳳山溪旁之廠區東側綠帶區設置二部風力機組，總投資 1.15 億元，實體圖如圖 2-7 所示。所使用之 Vestas V66-1.75 仟瓦風力發電機輸出曲線示於圖 2-8。

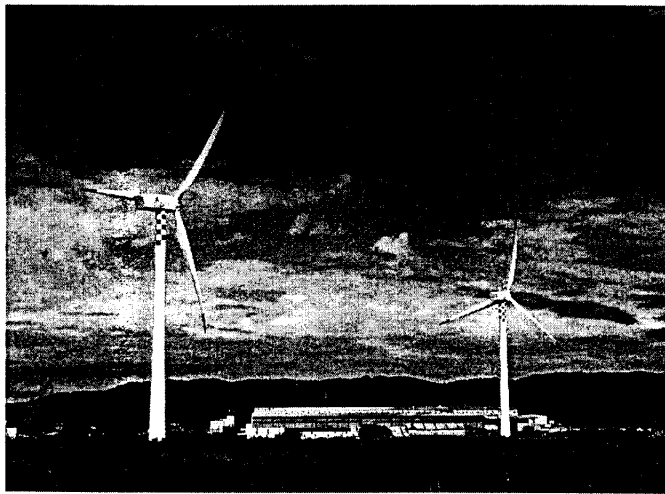


圖 2-7 天隆造紙廠風力發電實體圖

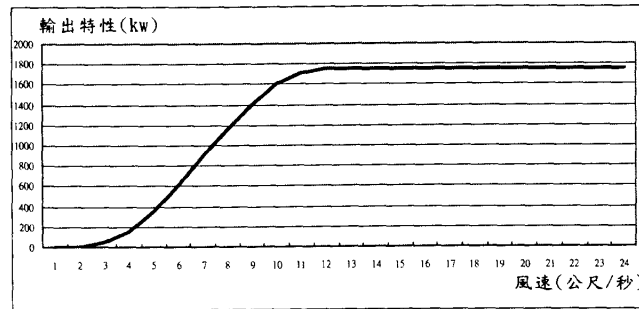


圖 2-8 Vestas V66-1750 瓦風力發電機輸出曲線

本系統風力機組於風速達 4 公尺/秒 時自動啟動開始運轉，當風速達 16 公尺/秒 時即可達 1.75 仟瓦之額定輸出，而當風速超過 25 公尺/秒 時即自動關閉停止運轉。本風力機組除能自動啟動與關機外，並具有自動迎風轉向、葉片旋角控制及監控保護等功能。本系統所發出之電力經昇壓變壓器昇壓後併入廠區內自用。本計畫為國內第一個由 MW 級大型風機所構成之風力發電系統。

5. 中央氣象局風力發電系統

民國八十五年中央氣象局於彭佳嶼設一部 10 瓦風力與光電混合發電系統，供給氣象站用電。

6. 台電公司規劃之風力發電廠

台電公司風力發電第一期計畫業於九十一年七月十一月奉行政院核定同意興辦投資總額約 45 億元。廠址位於六個不同地點，包括核能一廠 600KW 之風力發電機 6 部、核能三廠 1,800KW 之風力發電機 3 部、台中電廠 1,800KW 之風力發電機 4 部、大潭廠址 1,800KW 之風力發電機 3 部分、台中港廠址 1,800KW 之風力發電機 18 部及彰濱廠址 1,800KW 之風力發電機 13 部，以及另奉行政院核定興辦之桃園大園觀音廠址 1,800KW 之風力發電機 18 部，合計

65 部，總裝置容量為 109.8MW。

7. 民間業者規劃之風力發電場

民間業者主要為英華威公司申設，迄 92 年 3 月，該公司業已取得苗栗後龍一期風場 49.4MW(38 台)、苗栗竹南風場 28.6MW (22 台)、新竹市南區風場 5.2MW (4 台)、苗栗通霄苑裡風場 33.8MW (26 台)、新竹市北區風場 22.1MW (17 台)、苗栗大鵬南區風場 33.8MW (26 台)、苗栗大鵬北區風場 6.5MW (5 台) 等七個風場之併聯同意意見書。總計該公司擬裝設容量為 179.4MW，擬裝設 138 部風力發電機組。

該公司另將於桃園觀音海岸風場 26MW (20 台)、新竹市海岸風場 31.2MW (24 台)、新竹縣竹北新豐風場 (竹威公司) 47.5MW (36 台)、台中縣大甲大安風場 (中威公司) 47.5MW (36 台) 等提出設置計畫申請。

二、 離岸風場(Off-shore wind farm)現況及驅勢

1. 離岸風場技術

(1) 電壓選擇

由於離岸風機較陸上風機需更多之安裝及基礎費用，故多選高風速地區且風機容量採以大容量裝置($\geq 1.5\text{MW}$)，以降低維護費。離岸各大容量之風機均各配一昇壓變壓器以降低長距離線損，但也增加投資，故 36KV 為最 cost-effective 之選擇。

(2) 離岸變電所

然而許多離岸計畫多採最簡單的（即最經濟的）系統，而非最 cost-efficient。亦有部分不用離岸變電所。座落於離岸更遠的大型風場($>250\text{MW}$)則需數個離岸變電所，經由 200-400KV 之電纜將各離岸變電所匯集至一點或各別送至岸上。

(3) 備用設備

是否採以備用設備之選擇，由於現今故障率低，致備用設備之額外成本相對提高，故大部分的離岸風場沒有或甚少考慮備用設備。而採以當饋線故障，則風機解聯，俟故障排除後再行併聯方式，以節省備用設備投資之費用。離岸風場連至岸上變電所之海纜亦不考慮備用電纜，此係由於不易找到第二路徑，亦較無可供引接之第二岸上變電所，故海纜多採以埋入海底 1-2m 深處以防船錨及海流，但若是大型船，則無法防止被其深達 13m 之船錨鉤斷。若海纜位於主要航道上，則更難防止被鉤斷，現今是否採以備用設施之爭議可藉由於 2002 年底完工之 Horns Rev 風場之經驗，以作為日後是否增加備用設施之參考。

(4) 直流或交流之選擇

截至 2002 年中，所有營運中之離岸風場均採以交流電，並且

至 2004 年止，規劃中之離岸風場仍均採以交流電纜送電。此係由於風場裝置容量及離岸距離不遠之故，惟若將來風場裝置容量提高且離岸距離增長後，將會選擇直流輸電以取代交流。

(5) 歐洲離岸風場現況

歐洲各國主要離岸風場包括瑞典之 Utgrunden 風場，設置 1.425MW 風力機合計 7 台，總裝置容量約 10MW，採以 20KV 電壓，無升壓變電所，離岸約 8 公里。丹麥之 Middelgrunden 風場，設置 2.0MW 風力發電機組合計 20 台，總裝置容量約 40MW，電壓採 30KV，無升壓變電所，離岸約 3 公里。Horns Rev 風場，設置 2.0MW 風力機合計 80 台，總裝置容量約 160MW，採以 36KV 電壓，另設 36/150 之升壓變電所，離岸約 15 公里。Nysted Rodsand 風場，設置 2.0MW 風力機合計 79 台，總裝置容量約 158MW，採以 33KV 電壓，另設 33/132 之升壓變電所，離岸約 10 公里。荷蘭之 NoordZee 風場，總裝置容量約 100MW，採以 33KV 或 36KV 電壓，不設升壓變電所，離岸約 8 公里。圖 2-9 所示為離岸風機之實照圖。



圖 2-9 離岸風力發電機之實照圖

歐洲至 2010 年前有 1800 MW 的計畫，丹麥除 Horns Rev 160MW 離岸式風力發電廠外，另一 Roedsand158MW 離岸式風力電場將於 2003 年加入運轉。德國規劃中之離岸式風電計畫多達 16 個，大都規劃採用上百台單機 2~3 MW 至 4~5 MW 之大型風力發電機組,例如：

- Offshore Helgoland 計畫採 100 部 2MW 風力機；
- BorKum Riffgrund West 計畫採 458 部 2.5MW 風力機；
- Pommersche Bucht 計畫採 200 部 5 MW 風力機；
- Dan-Tysk 計畫採 300 部 5 MW 風力機

(6) 台灣設置離岸風場之可行性

由於台灣四周環海，如大量裝設陸上風力發電機，對可用陸地極有限之台灣本島或離島，土地取得將是極難克服之困難，如仿效丹麥、德國等大量採用離岸風力發電機之經驗，在台灣西海岸與澎湖風力極佳離岸，仍有發展大型風場(Wind farm)之可行性，台電目前正積極評估中。

三、 分散型電源併入電力系統之整合和影響評估

1. 簡介

(1) 分散型電源 (Distributed Resource- DR) 之定義：

一般而言分散型電源指的是在配電網路電力用戶端之小容量發電設備，分散型是相對於傳統大型集中供電系統而言，指的是設置電力需要地區或附近之中、小規模之總稱。相對於傳統大型集中式發電廠，它僅是在需求地區之鄰近地區設置用於提供必要容量的發電系統。各國對分散型電源容量的上限尚有不同的看法，從 1KW 至 20MW 之供電範圍均有，但大部國家以小於 20MW 之發電容量為範圍，少部分以 30MW 為上限，但因分散型電正在發展階段其容量之界線並不十分清楚，從數 KW 至數十 MW 之間均可概括。

(2) 分散型電源之種類：

分散型電源之種類可概括分為再生能源類 (renewable energy) 和非再生能源 (non-renewable energy) 兩大類，再生能源類包括風力發電 (wind power)、太陽能發電 (solar energy)、小水力發電 (small hydro-power)、地熱發電 (geothermal power) 和生質能發電 (biomass energy) 等；非再生能源類包括汽電共生系統 (cogeneration or combined heat and power CHP)、往復式引擎柴油發電機 (reciprocating Diesel engine)、微型燃汽渦輪機 (small combustion turbines and micro-turbines)、燃料電池 (fuel cell)、混合發電系統 (hybrid generation system) 和能源儲存設施 (energy storage) 和史達林引擎 (starling engine) 等。

上述分散型電源中因風力發電有逐漸向大型化集中風場發展的趨勢，尤其目前丹麥之海上風場 horns rev 已有 80 具 2MW 總共 160MW 集中海場已商業化運轉，其他如德國和美國亦有大的海上風上風場陸續建構中，是故風力發電已往大型風場發展，除了小型風場以生產小量的電力 (一般小於 20MW) 可稱為分散型電源外，

大型風場已不可歸納為分散型電源，其對電業供電系統的影響亦應比照其他大型集中化電廠的標準處理。

(3) 分散型電源之應用和界面：

分散型電源發展部分技術已趨成熟如往復式引擎、蒸汽式引擎等並被廣泛在醫院、旅館、大學院校、商業建築物、污水處理廠和焚化爐等等；但仍有許多分散型電源技術尚在發展階段如燃料電池、太陽能發電和混合式發電系統等，又再生能源和能源儲存設備的有效整合可大福提高其應用範圍，能源儲存設備的技術可包括電池能源儲存技術（Battery energy storage BES）、超傳導電磁能源儲存技術（super-conducting, magnetic energy storage SMES）、飛輪能源儲存技術（flywheel energy storage FES）、空氣壓縮能源儲存技術（compressed-air energy storage CAES）、電子化學電容能源儲存設備（electrochemical, capacitor energy storage—often referred to as super-capacitors or ultra-capacitors）等；分散型電源未來的發展型態可由圖 2-10 表示。

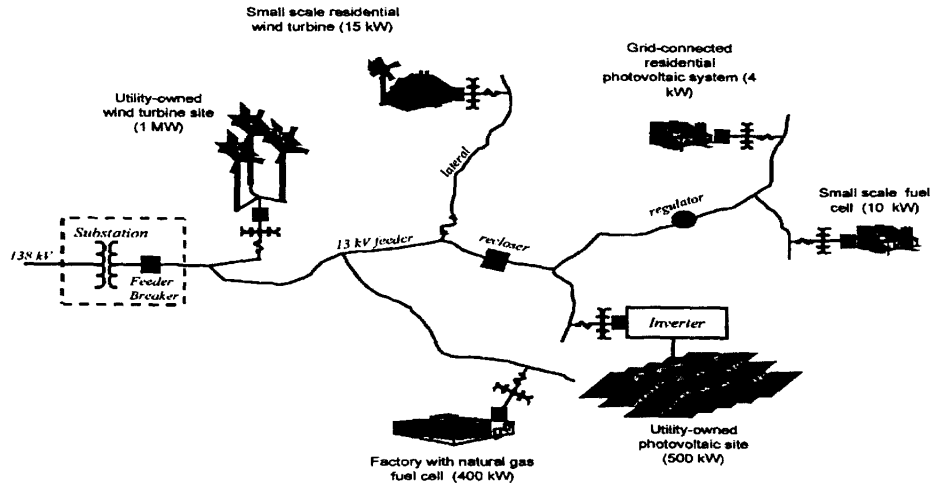


圖 2-10 DR 未來大量發展可能之架構

當分散型電源併入電網時必須考慮對系統的衝擊和影響，影響分散型電源發展的主要因素可上至能源政策的制定、經濟的考慮和環保的趨勢，下至分散型電源技術的發展，成熟的保護協調設備和良好的電力品質管制措施等，因此分散型電源併入電網時必須慮及保護電驛的功能需求、系統接地的形態、變壓器的連接形式和界面，並評估電力系統電壓調節、電力可靠度的影響以及不同的動態和暫態運轉特性分析。

2. 分散型電源特性、電力品質和相關標準

(1) 分散型電源的特性：

一般需言分散型電源的大小、位置設置和保護設備裝置得當，則可增加電力系統的可靠度和電力品質、增加電壓調節的能力、減少輸配電系統損失、減少輸配電系統壅塞提高供電效率、減緩系統的設備的新建或既有設備的更新、舒緩供電壓力，惟上述的效益必須在分散型電源和電網良好的配合下始能呈現其正面的功能，反之則對電業及用戶和分散型電源業者都有負面的影響。分散型電源的特性提供不同的業者不同的需求，分別說明如下（雖然台灣電力事業尚未自由化，但未來自由化後配電公司、電力銷售業和能源服務公司的興起已是未來電業發展的必然趨勢）：

- A、對分散型電源業者而言主要考量分散型電源在併入電網前必須確認不對電業造成系統上的問題，並確保其操作的安全性，若能對系統維持中性的結果已可令電業接受，若能對電業提供正面的效用，對電業而言已是額外增加的效益。
- B、對配電公司而言裝置分散型電源的主要益處在供電的彈性，其分散型電源的裝設位置益形重要，正確的裝設位置可對輸電和配電系統提供正面的助益。
- C、對電力銷售業者則是尋求最佳的併聯點銷售最多的電力，惟併聯點不可導致電業系統產生問題和危害公共安全，若其併

聯點之選取能同時滿足電力銷售和強化配電系統的供電可靠度，則可雙方互蒙其利。

- D、對能源服務公司主要的考量是提供用戶的能源需求為主要目的，要求能源服務公司以配電業者的角度於適當的場所提供電力服務是不太可能。

(2) 分散型電源和電力品質：

配電系統在放射型架線路區域若有大型分散型電源加入，其電壓調節常因部分分散型電源發電的不穩定性（如風力發電）而發生困難，在配電系統不同的阻阨下分散型電源和電壓調整器互相作用，使供電系統的電壓受其影響而持續上下變化不定，漂離正常額定電壓的範圍，造成電壓閃爍的現象；在故障發生期間若分散型電源接地的方式不當，致使故障電流供電系統則造成的短時高壓，不但造成電業避雷器的損壞，並可能損及用戶設備及其他設施。是故，正確的接地方式在互聯扮演非常重要的角色，為解決上述的問題則系統的設計、相關的系統控制和保護功能必須具備，相關的議題簡述如下：

- A、分散型電源保護：選擇適當保護功能電驛和設定，使分散型電源設備能在供電系統或其本身設備異常時作出正確的回應，跳脫保護開關避免孤島運轉的現象發生，分散型電源跳脫保護的範籌包括持續之故障電流，穩態時操作頻率和電壓超過正常可接受範圍，失去同步和系統遭受干擾解聯後不當的再併網等等。
- B、分散型電源接地和變壓器連接介面：分散型電源應選擇正確的接地方式和使用適當的變壓器聯接方式，並和電業和用戶兩端的接地方式相配合，其主要的目的在防制故障期間造成過電壓和公共危險且對配電業者和用戶的設備造成負面的影響。
- C、控制分散型電源在電力系統影響：分散型電源和電力系統的

互相影響，主要的原因來自電壓調節的設備、過電流裝置、變壓器、電容器、其他系統設備和控制所左右，其影響結果的程度可藉由已成熟發展的分析控制技術、適當的分散型電源和適當改變配電系統設計來控制。

(3) 分散型電源相關之標準：

分散型電源之國際標準尚未有統一標準，目前發展中之部分互聯標準：

- A、IEEE-P1547/ D08 “draft standard for interconnecting distributed resources with electric power systems.”
- B、UL 1741-1999, “Standards for the static inverters and charge collectors for use in photovoltaic power systems”
- C、IEEE Std. 929-2000 , “IEEE Recommended practices for utility interface of photovoltaic (PV) systems”
- D、“California electric rule 21 supplemental review guideline” DER

a. IEEE-P1547/08 對互聯的相關規定

(a)、電壓異常保護和清除時間限制值：

Interconnection system response abnormal voltage		
Voltage range (voltage)	Clearing time *	
	(Seconds)	Cycles
$V < 50$	0.16	10
$50 \leq V < 88$	2	120
$110 < V < 120$	1	60
$V \geq 120$	0.16	10

Note. Base voltages are the normal system voltages stated in ANS1 C84.1 Table 1.
 *DR \leq 30KW, Maximum clearing times ; DR $>$ 30KW, default clearing times

(b)、諧波電流值限制值：

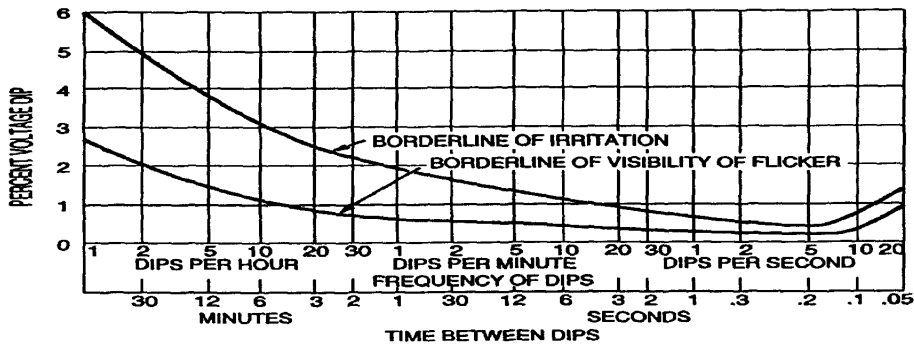
Individual Harmonic Order - h (Odd Harmonics) ^b	h < 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 35	35 ≤ h	TRD ^(c)
Percent (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

a) I_{rated} is the DR unit rated output current
 b) Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonics limits
 c) Total rated-current distortion (TRD) is the total rms value of the sum of the current harmonics created by the DR unit operating into a linear balanced load divided by the greater of the load current demand (I_L) or the rated current capacity of the DR unit (I_{rated}).

(c)、同步機並聯頻率、電壓和相角差限制值：

Aggregate Rating of DR Units (kVA)	Frequency Difference (Δf , Hz)	Voltage Difference (ΔV , %)	Phase Angle Difference ($\Delta \Phi$, °)
0 - 500	0.3	10	20
> 500 - 1,500	0.2	5	15
> 1,500 - 10,000	0.1	3	10

(d)、電壓閃爍之限制值：依 IEEE-519 1992 之規定



b. IEEE Std. 929-2000 對互聯的相關規定

(a)、電壓異常保護和清除時間限制值：

Table 2—Response to abnormal voltages

Voltage (at PCC)	Maximum trip time ¹
$V < 60$ ($V < 50\%$)	6 cycles
$60 \leq V < 106$ ($50\% \leq V < 88\%$)	120 cycles
$106 \leq V \leq 132$ ($88\% \leq V \leq 110\%$)	Normal operation
$132 < V < 165$ ($110\% < V < 137\%$)	120 cycles
$165 \leq V$ ($137\% \leq V$)	2 cycles

¹ "Trip time" refers to the time between the abnormal condition being applied and the inverter ceasing to energize the utility line. The inverter will actually remain connected to the utility to allow the inverter to sense utility electrical conditions for the "reconnect" feature.

(b)、 諧波電流值限制值：

Table 1—Distortion limits as recommended in IEEE Std 519-1992 for six-pulse converters

Odd harmonics	Distortion limit
3 rd -9 th	< 4.0%
11 th -15 th	< 2.0%
17 th -21 st	< 1.5%
23 rd -33 rd	< 0.6%
Above the 33 rd	< 0.3%

c. CALIFORNIA (PG&E, SDEG, SCE) 對互聯的相關規定

Voltage @ PCC ⁽²⁾	Range		Max Trip Time ⁽¹⁾	
	Volts-120V base	%	Cycles	Seconds
Fast Under	$V_{POC} < 60$	<50%	10	0.167
Under	$60 \leq V_{POC} < 106$	50% - 88%	120	2.0
Normal	$106 \leq V_{POC} \leq 132$	88% - 110%	Normal Operation	
Over	$132 < V_{POC} < 165$	110% - 138%	120/30 ⁽³⁾	2.0/0.5 ⁽³⁾
Fast Over	$V_{POC} > 165$	>138%	6	0.1
Frequency ⁽²⁾	Range		Max Trip Time ⁽¹⁾	
	Hz - 60 Hz base	%	Cycles	Seconds
Under	<59.3	99.2%	10	0.167
Normal	59.3 - 60.5	98.8 - 100.8	Normal Operation	
Over	>60.5	100.8	10	0.167
Flicker	GF should not cause the voltage at the PCC to exceed the limits defined by the "Maximum Borderline of Irritation Curve" in IEEE STD 519-1992.			
Harmonics ⁽²⁾	GF harmonic distortion shall be in compliance with IEEE STD 519-1992. Exception: shall be evaluated using the same criteria as for the loads at that site.			
Power Factor	Between 0.9 leading and lagging. Operation outside this range may be acceptable for PF correction purposes or if otherwise allowed by EC.			
Direct Current Injection	$\leq 0.5\%$ of GF rated output current			

(1) - "Maximum Trip time" - maximum allowable time between the onset of the abnormal condition and the GF ceasing to energize the Distribution System.

(2) - For GF ≤ 11 kVA: set points may be fixed. For GF > 11 kVA, set points and trip times shall be field adjustable and different voltage set points and trip times may be negotiated with EC.

(3) - Trip times are for GF ≤ 11 kVA / >11 kVA

d. UL 1741-1999, IEEE Std. 929-2000, IEC 1727 對互聯的相關規定之比較

4. UL、IEEE、IEC 比較

	IEC1727 PV	IEEE Std 929-2000	UL 1741
工作電壓	相容	88%-110%	$88 \leq V \leq 106\%$
工作頻率	同步	59.3-60.5Hz	59.5-60.5Hz
諧波	建議電壓總諧波 2%以下，各次諧波 1%以下，電流總諧波 5%以下。	總電流諧波 5%以下 3 至 9 次 <4% 11 至 15 次 <2% 17 至 21 次 <1.5% 23 至 33 次 <0.6% 大於 33 次 <0.3% 偶次諧波應小於所定範圍之 25%以下	總電流諧波 5%以下 3 至 9 次 <4% 11 至 15 次 <2% 17 至 21 次 <1.5% 23 至 33 次 <0.6% 大於 33 次 <0.3% 偶次諧波應小於所定範圍之 25%以下
功率因素	大於 0.85	大於 0.85	大於 0.85
系統回復時間	30 秒到 3 分鐘	5 分鐘後	
直流隔離	有	小於 0.5%的額定輸出電流	小於 0.5%的額定輸出電流
接地	有	有	有，且阻抗小於 0.1ohm
短路保護	有		
手動解聯與自動解聯	有	有	有
控制電路異常保護	有		有
過/低電壓保護	有	V<50% 0.1s 6 週期 50%≤V<88% 2s 120 週期 88%≤V≤110% 正常 110%<V<137% 2s 120 週期 137%≤V 0.1s 6 週期	V<50% 0.1s 6 週期 50%≤V<88% 2s 120 週期 88%≤V≤106% 正常 106%<V<137% 2s 120 週期 137%≤V 0.03 2 週期
過/低頻率保護	有	59.3-60.5Hz, 0.1s 6 週期內跳脫	59.5-60.5Hz, 0.1s 6 週期內跳脫
孤島效應保護	無	0.167s 10 個週期內跳脫	實功負載佔總輸出功率的 50% 以下或 150%以上時，或孤島負載(islanded-load)功因小於 0.95(領先或落後)，10 個週期內停止發電。 若實功負載佔總輸出的 50%以上且小於 150%，且孤島負載(islanded-load)功因大於 0.95(領先或落後)，2 秒內停止發電。
三相不平衡	無	無	無
過流保護			有

上列各項標準提供分散型電源併入電網之基本參考，其中 IEEE P1547 已發展至第八版，惟最後版本尚未出爐；另 UL 1741-1999 對太陽光電有詳細的闡述，比 IEEE 929-2000 更被廣泛採用，目前最新版本亦正陸續修正，以配合分散型電源最新技術的快速發展。

3. 分散型電源對配電系統之影響

(1) 分散型電源之基本架構

分散型電源併入電網之架可分成三大部分，即能源之生產裝置、電力轉換器、併聯介面和保護設備等三大主題，其基本構造圖如 2-11 所示：

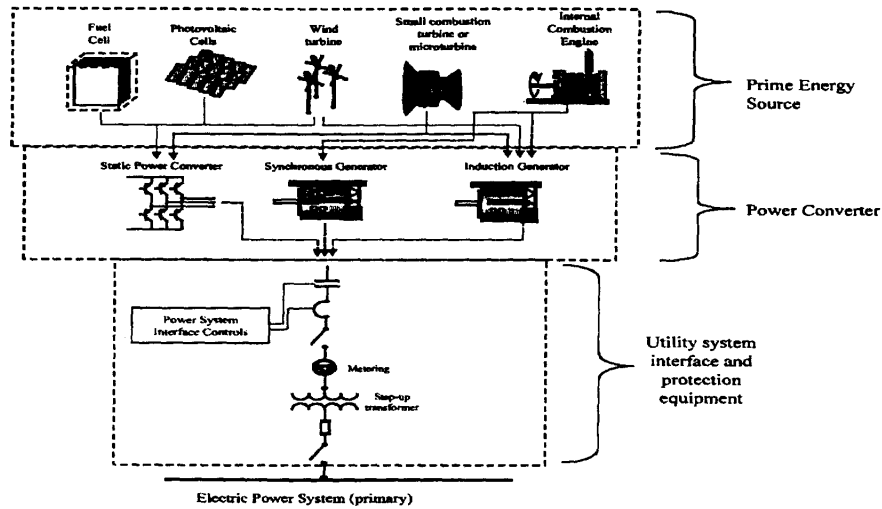


圖 2-11 分散型電源併網之基本架構

第一部分之能源生產裝置如太陽能電 (PV)、燃料電池 (FUEL CELL)、往復式引擎 (reciprocating engine)、內燃機引擎 (combustion engine) 等等，其主要扮演能源收集處理後再送往能電力轉換器。第二部分電力轉換器可分為動態電力轉換器(如感應發電機和同步發電機)和靜態電力轉換器等二種，其主電的功用是作能源的轉換或電源的調變，其中靜態電轉換器之靜態的意思即表示沒有移動部分，而以電晶體 on, off 的控制把能量轉換為 60HZ 的交流電力。第三部分分散型電源併聯介面和保護設備如轉用或步調變壓器、電錶裝置、各類保護開關、額外的控制和保電驛等等，關係電業和分散型電源兩者間是否能協調運作的重要關鍵，也影響日後分散型電源是否能大量推展的關鍵因素。

(2) 分散型電源 (Distributed Resource DR) 併聯影響評估所需之基本資料：

分散型電源併聯時必須考慮電業的系統特性和 DR 本身的特性，同時依互聯的標準並考慮使用的場所作技術的審查，再檢視一般的審查是否足夠，若有特殊的需求則應進一步作個案的研究。審

查所需配合的相關事項可由圖 2-12 表示。

分散型電源併入配電系統前，必須提供足夠的資料以供分析，以確保併網的安全，其必須提供的資料如下：

- (a)、DR 之額定容量
- (b)、DR 之能量生產裝置和來源
- (c)、DR 之能量轉換裝置
- (d)、DR 運轉週期
- (e)、DR 故障電流大小和持續時間
- (f)、DR 諧波的輸出和成分
- (g)、DR 在不同運轉條件下的功率因數
- (h)、DR 在配電系統併聯之位置
- (i)、DR 在配電系統電壓調節的設備位置和設定
- (j)、配電線路過電流保護設備的位置和設定。
- (k)、配電系統併聯連接點位置的阻抗值
- (l)、併聯連接點 DR 容量相對配電系統饋線負載容量的大小
- (m)、配電饋線接地的需求和型態
- (n)、DR 連接介面變壓器的結構和接地的型態
- (o)、DR 保護功能和設定
- (p)、其他現場特別的要求

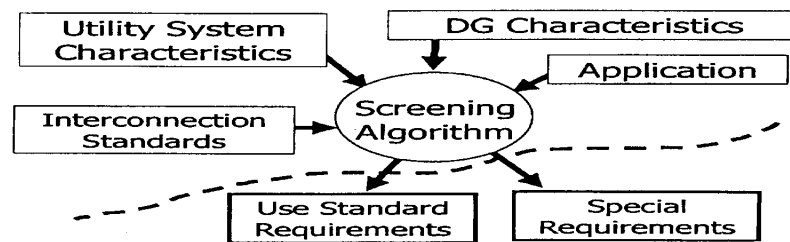


Figure 5-1
The Basic Screening Approach behind all DR Screening Applications

圖 2-12 併網審查所需配合的相關事項

(3) 分散型電源裝置位置對配電系統的影響

- a、分散型電源裝置位置對配電系統的影響相當顯著，分散型電源裝設位置愈遠離配電變電所，則配電系統的強度愈弱，可承受的系統短路容量愈低，配電系統較弱的意思指的是系統的阻抗值，配電系統有高阻抗表示其系統強度比低阻抗者弱，系統阻抗值決定了該點故障電流的大小，而系統阻抗值受變電所變壓器、配電線路導體型式、線徑大小和故障點到變電所的距離而定，由此可知配電系統強度決定了該處聯接點之保護熔絲的大小、斷路器或者開關之遮斷容量、保護裝置之設定，是故分散型電源設在變電所之匯流排、配電線幹線、配電系統二次低壓側或者位在用戶處，其對系統的影響有顯然的分別，由於位置對分散型電源之互聯扮演如此重要的角色，故必須依配電系統位置的不同計算短路容量，以決定分散型電源併聯之容量限制，若分散型電源之輸出高於系統聯接點可容許的範圍，則配電系統可能因分散型電源的加入而危害線路設備和使用的壽命，同時也可能對用戶的設備造成損壞而衍生賠償等問題。
- b、一個較簡易的方法可以判斷分散型電源對配電系統的影響，於互聯點可藉由分散型電源額定電流對電配電系統的短路電流的比值來作初步的判斷，一般而言，可由系統硬度比（stiffness ratio）或者短路電流貢獻比（SCCR）來判斷，前述之硬度比（stiffness ratio）指的是在聯接點（除了專用變壓器在一次側計算外）短路容量之比例。依 IEEE P1547/D08 可用下列方式表示即：

$$\text{硬度比} = \frac{\text{配電系統短路容量} + \text{DR 短路容量}}{\text{DR 短路容量}}$$

- (a)、Stiffness Ratio > 100 則分散型電源對配電系統影響輕微，可忽略其效應即可接受其併聯。

- (b)、Stiffness Ratio < 100 則必須考慮分散型電源其配電系統之影響，以台電系統為例若在短路電流為 5KA 之三相四線式 11.4KV 之配電線接上 5MW 之分散型電源則其 Stiffness Ratio 經計算為 19.76 遠小於 100，故其對配電系統影響相當大，必須做進一步的併聯計算，以維護系統的安全。另依 California Electric Rule 21 之規定：

$$\text{短路電流貢獻比(SCCR)} = \frac{\text{DR 短路容量(指配電饋線高壓側)}}{\text{配電系統短路容量(指配電線路高壓側)}};$$

- (a)、SCCR > 0.1 則需於相與相間及相及地間接加裝保護裝置以偵側配電系統的故障，若在二秒之內無法偵側饋線故障則應裝設轉換跳脫 (Transfer trip) 裝置。
- (b)、SCCR > 0.1 若分散型電源之輸出大於線路尖峰負載之 15% 時則應加裝復閉閉鎖裝置。
- (c)、SCCR ≤ 0.05 分散型電源若為同步電機，則同步電機應裝置自動或手動同步裝置。
- (d)、SCCR > 0.05 分散型電源若為同步電機，則同步電機應裝置自動同步裝置。
- (e)、若 SCCR > 1 一般而言則對系統影響已較顯著，應考慮電壓調節、電力品質和電壓閃爍對系統的影響；配電系統低壓側受影響的程度較高側為大。

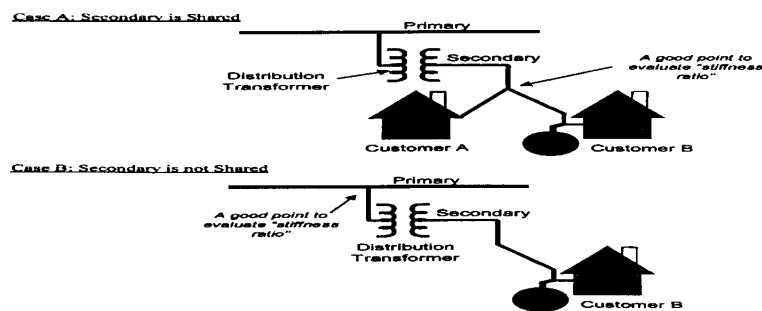


圖 2-13 硬度比適當的的評估點

若分散型電源接在變壓器低壓側，則評估其硬度比的適當點應視分散型電源連接負載的情況而定，若分散型電源在二次低壓側有二戶以上的用戶，則較佳評估硬度比的處所以負載共同連接點為佳如圖 3-3 Case A 所示，若分散型電源僅供自己用電不逆送電源至配電線路，而連接至專用變壓器時，則較佳評估硬度比的處所以變壓器一次側和配電線路之連接點為佳如圖 2-13 Case B 所示。

4. 分散型電源裝置對配電系統損失之影響

若以損失的觀點探討分散型電源的裝設位置，則以饋線之電流需求量大為分散型電源的額定輸出容量之一半的處所為佳，如此電流可在注入配電線路時一分為二，一半電流流向連接點的右側以供應下游的負載，另一半流向連接點的左側：

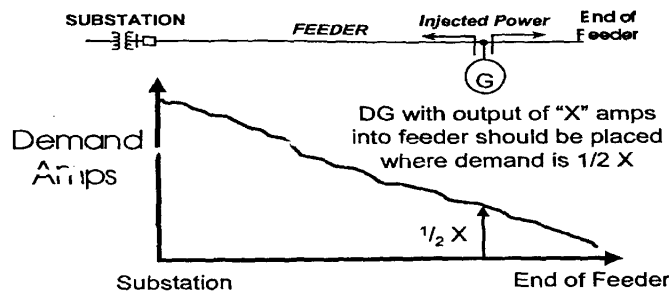


圖 2-14 以降低損失為觀點的最佳 DG 併聯點

以供應上游的負載，如此的安排可降低饋線的整體電量使電力損失降低，從電壓調節的觀點亦可降低線路壓降。分散型電源併必配電線路最佳位置的選擇，可由圖 2-14 表示。

5. 分散型電源對配電系統電壓調節之影響：

- a、分散型電源位於變電所之匯流排上分散型電源在配電系統的

裝設位置電壓調節有不同程度的影響，由圖 2-15 觀察分散型電源裝設在變電所匯流排上，則對整條配電饋線的電壓調節有：

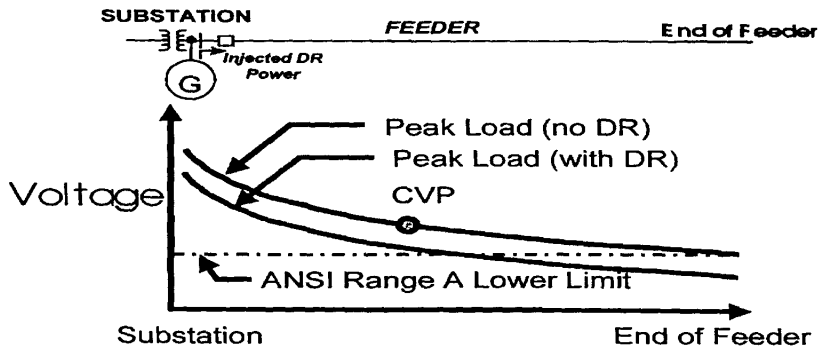


圖 2-15 分散型電併網對饋線電壓之影響

全面提升的效果，其作用類似變電所內電容器組，主變 LTC (Load Tap Change) 的功能，惟其對電壓補償的大小視其容量大小而定，依 ANSI 的電壓上下限審慎評估分散型電源裝設的容量，對配電系統的電壓調節有正面的效果。

b、分散型電源位於饋線之末端：

分散型電源裝設在饋線的末端對配電線路的影響如圖 3-6 所示，若變電所在未裝設分散型電源 (Before DG) 時，若經過仔細的評估可調整其電壓在：

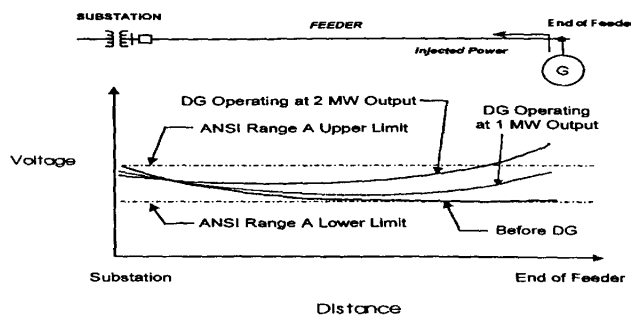


圖 2-16 分散型電源位於饋線末端對饋線電壓之影響

配電系統可容忍的下限之上，如果在配電線路末端併聯分散型電源，則對配線路後段的電壓提昇有顯著的效果，由圖示位於兩曲線中間之曲線代表有額定輸出 1MW 的分散型電源加入配電系統，其對電壓的調節控制在 ANSI 電壓上下限制之間，這是電業希望的結果；若分散型電源裝設的容量太大則電壓調節過大，如上圖最上方的曲線，代表有額定輸出 2MW 的分散型電源加入配電系統，造成過電壓的現象故對配電設施和用戶設備及用電穩定度均有負面的影響，由此可知正確評估分散型電源裝設的位置和容量大小對配電線路的電壓調節扮演關鍵的角色。

c、分散型電源搭配電壓調整器位於饋線中間：

若配電線路裝置電壓調整器，且分散型電源裝設的位置接近其後端如圖 2-17 所示，因電壓調整器和分散型電源的交互作用結果，使電整條配電線路的電壓變動變小，惟因分散型電源接近電壓調整器而使電壓調整器判斷失去正確性，致使在分散型電源之後端的電壓補償不足而低於電壓限制的下限，造成欠電壓的現象，其程度隨分散型電源的容量增大而愈加嚴重。不論過度電壓補償或者因補償不足而造成過度欠電壓，均有可能使 27/59（欠電壓/過電壓）電驛動作跳脫斷脫路器，而導致配電線路停電造成供電可靠度降低，故分散型電源併聯必須考慮電壓調整器的位置，並作適當的協調安排。

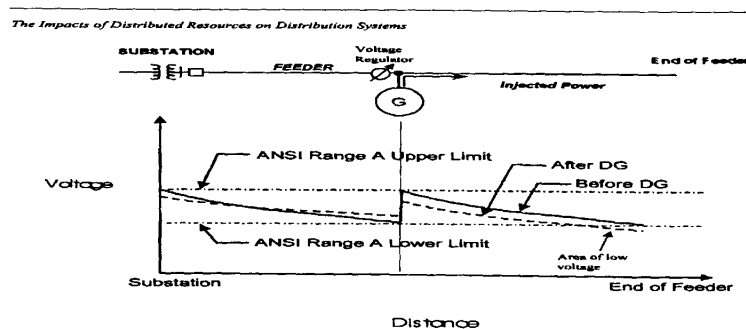


圖 2-17 分散型電源搭配電壓調整器對饋線電壓之影響

6. 分散型電源對配電系統故障之影響：

(1) 旋轉電機的故障電流情形

當分散型電源併入配電系統時，則分散型電源的容量大小和併聯數量對配電系統故障有不程度的影響，一般旋轉電機的故障電流可分成三階段，第一階段次暫態（sub-transient）期間的故障電流值最大，其持續的時間在故障開始的 1-3 週期（cycles），其值約額定電流值的 5-10 倍；第二階段為次暫態（transient）期間的故障電流值居次，其持續的時間在故障開始的 3-10 週期（cycles），其值約額定電流值的 2-5 倍，第二階段為穩態（Steady state）期間的故障電流，其持續的時間在故障開始的 10 週期（cycles）之後，其故障電流值的大小視旋轉電機的激磁情況和穩態阻抗值而定。旋轉電機的故障電流分佈情形可由圖 2-18 表示。

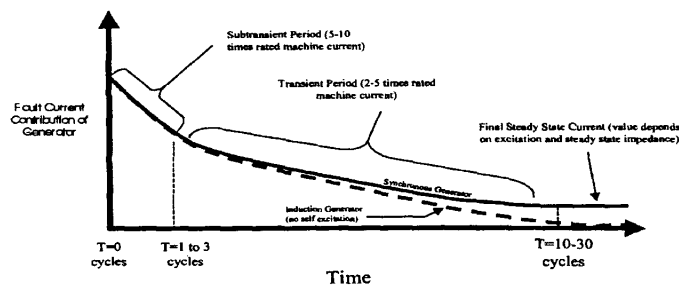


圖 2-18 旋轉電機的故障電流分佈情形

(2) 分散型電源併入配電系統對保護協調之影響

當電系統發生故障時，分散型電源會對故障點提供不同程度的注入電流，其所注入電流的大小依 DG 數量、容量的大小和所在位置的線路阻抗值而定，配電系統之故障電流會因分散型電源的加入而增大。是故，系統保護協調必須把分散型電源納入考慮，原系統之斷路器啟斷容量和熔絲的額定容量的計算及電驛之保護協調均會因分散型電源的加入而有所變化，若分散型電之量夠大或過多則其貢獻的電流對系統衝擊將增大，因此系統的保護設備將必須提升等

級，其保護協調也必須重新檢討。

- a、分散型電源併入配電系統，當饋線發生故障時會使故障電流增加，若分散型電源提供高比率的故障電流，則保護熔絲將在斷路器未動作前先行熔斷，和原先斷路器先行跳脫的協調順序不同，因而降低了供電可靠度和停電的機會。系統保護協調的困難度也因可而提高，電壓調節也較為困難。
- b、由圖 2-19 可知在故障發生在分散型電源未加入系統前（fault level without DG），其故障保護協調符合斷路器先於熔絲動作的原則（the principal of fuse saving），當 DG 加入系統後（fault level with DG），則因 DG 和系統對故障點提供的故障電流總和超過熔絲的耐受值，使得熔絲在斷路器未動作前先行熔斷。由此可知分散型電源併聯對配電系統的保護協調隨 DG 的容量大小有不同程度的影響。

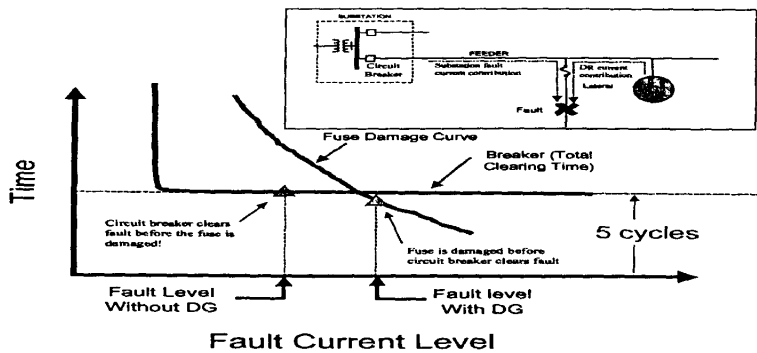


圖 2-19 分散型電源併聯對保護協調的影響

- c、由圖 3-2-20 若有多具分散型電源加入同一配電線路，當某一點發生故障由分散型電源提供的故障電流將加大，因而對配電系統保護協調的影響相對嚴重，若有混合型（Hybrid type DG）加入配電系統則其保護協調的困難度將相對提高。

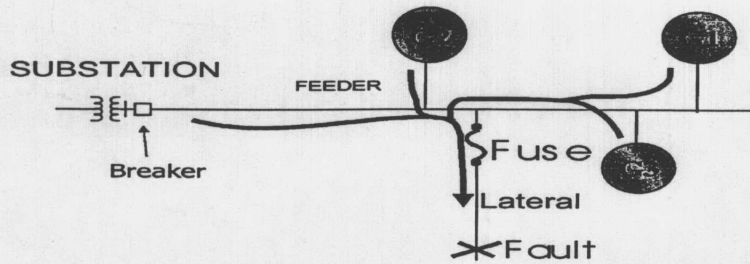


圖 2-20 分散型電源併聯對保護協調的影響

7. 分散型電源對配電系統供電可靠度之影響：

分散電源併入配電線路分歧線後對保護協調有一定程度的影響，由圖 2-21 說明分散型電源如何影響保護開關之動作：

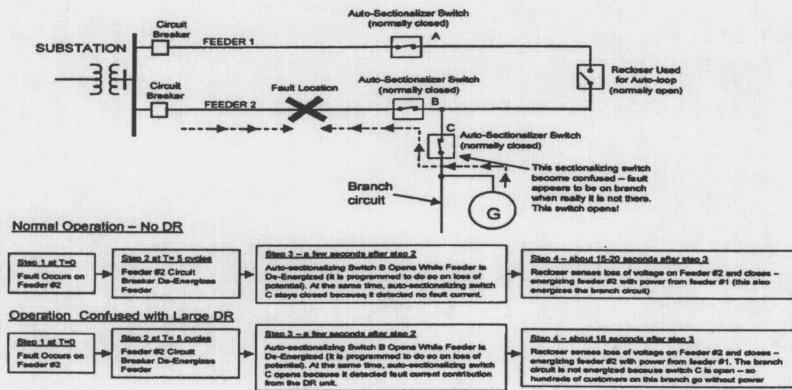


圖 2-21 分散型電源併聯對保護協調的影響

- a、在未加入分散電源之前假設在饋線 2 發生故障，在 5 (cycles) 週波後饋線 2 之 CB 因故障電流而跳脫，經數秒後位於此饋線之自動區分開關 B 跳脫 (若開關預設有此功能)，此時位於分歧線之自動區分開關 C (此關設定跳時間須和開關 B 協調) 因沒有故障電流流過，故保持在關閉的狀態；經過約 20 秒後連絡線 1 和饋線 2 的自動復閉開關因偵測到饋線 2 之電壓降而投

入，連接饋線 1 和饋線 2 使開關 B 右側和開關 C 之分歧線均可維持供電。

- b、加入分散電源之後假設在饋線 2 發生故障，在 5 (cycles) 週波後饋線 2 之 CB 因故障電流而跳脫，經數秒後位於此饋線之自動區分開關 B 跳脫（若開關預設有此功能），同時位於分歧線之自動區分開關 C 因分散型電源故障電流流經開關 C，保護裝置偵測到異常電流而使開關 C 跳脫；經過約 15-20 秒後連絡線 1 和饋線 2 的自動復閉開關因偵測到饋線 2 之電壓降而投入，連接饋線 1 和饋線 2 使開關 B 右側恢復供電，但開關 C 因已跳脫故分歧線並無法恢復供電。

8. 分散型電源逆送電力、孤島運轉對配電系統之影響：

(1) 分散型電源位於配電饋線一次側

配電線路是否允許逆送電力端視各電業而定，以目前許多美國和加拿大電力公司和台灣電力公司均允許逆送電力，惟逆送電力改變了傳統單向的電力潮流，分散型電力所造成之雙向電力潮流對配電系統的衝擊和保護協調也因此更形複雜，其對配電系統的影響可由圖 2-22 來說明由圖 2-22 說明 2-22 分散型電源併聯對保護協調的影響。

由圖 2-22 下方之饋線有數具分散型電源併聯在系統時，當上方之饋線發生故障時因系統可允許逆送電流，故由 G1、G2 和 G3 對故障點所提供的注入電流若超過饋線 CB 之設定值則會使該饋線之 CB 跳脫，傳統保護協調因向電力潮流故無此問題，若系統允許逆送電力則不能裝置方向電驛（67）或逆送電驛（32），因此將使保護協調更加困難。此外，連接分散型電源之配電饋線斷路器跳脫造成的孤運轉將於下節討論。

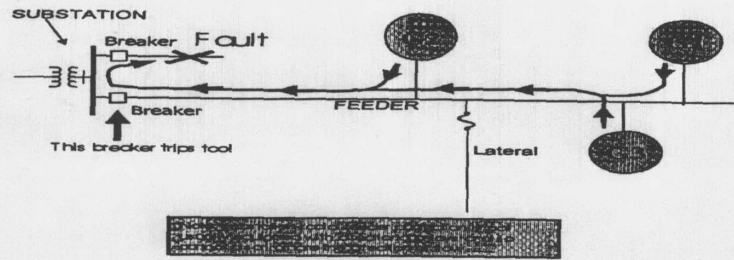


圖 2-22 分散型電源併聯對保護協調的影響

(資料來源：EPRI White Paper 2001 –Technical Report figure 4.10)

(2) 分散型電源位於配電饋線二次側

若分散型電源接於低壓側，若不逆送電力至配電線路則必須裝設逆送電驛或者方向性電驛，為了確認分散型電源不越過併聯連接點 PCC (Point of common coupling)，加州公事業委員會 (CPUC CLAIFORIA electric rule 21) 電業法 21 條之規定，其逆送電力設定值超過 0.1% 專用變壓器額定值，則保護設備最慢在二秒內必須動作；除逆送電力的規定之外，亦可以最小電力來規範，由配電系統流入併聯連接點的最小電力設定值必須超過分散型電源總銘牌額定值之 5%，若小於該設定值則保護設備最慢在二秒內必須動作。若分散型電源有逆送電力至配電系統則其保護協調必須依審查程序來作判斷。

9. 分散型電源和孤島運轉對配電系統之影響：

當分散型電源允許逆送電力時則孤島運轉 (islanding operation) 的問題就相當重要，孤島連轉的防止和保護協調的設定密不可分，孤島連轉可分為自願性的孤島運轉 (intentional islanding operation) 和非自願性的孤島運轉 (unintentional islanding operation) 二種；其中自願性的孤島運轉是用戶為了本身的供電可靠而故意讓分散型電源在電業供電系統停電時仍可供應自身或部分其他用戶的負載。而非自願性的孤島運轉則是電業應極力防止的，

因其對用戶的設備、電業供電設施和電業維護人員的工作安全和公共安全都有很大的負面影響。

a、自願性的孤島運轉 (intentional islanding operation) :

可由圖 2-23 來說明，當電業供電線路失去電源時，位於故障點之左右兩側斷路器均跳脫，而右側圓框區域的負載則由區域內之分散型電源供應電力，此種形即稱為自願性的孤島運轉。然而自願性的孤島運轉必須有其基本條件和限制始可維持其供電區域的用電安全，一般而言若僅供應用戶本身的負載則較單純，若同時供應其他用戶則因供電的責任劃分困難，且若因協調不良而損害用戶設備則易生糾紛，故自願性的孤島運轉除非其他用戶同意併聯，於供電系統停電時將其納入供電範圍，否則以供應其本身的負載為主。分散型電源只供應本身負載的情形可由圖 2-24 說明，當電業供電系統停電時分散型電源只供應專用變壓器二次側斷路器以下之自身用戶形成自願性的孤島運轉。

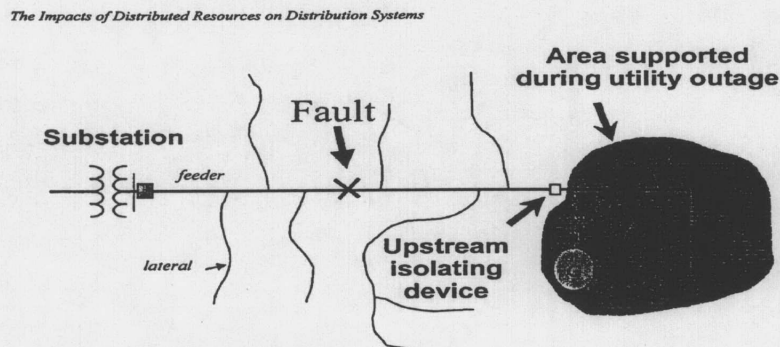


圖 2-23 分散型電源自願性的孤島運轉
(資料來源：EPRI White Paper 2001 –Technical Report figure 4.29)

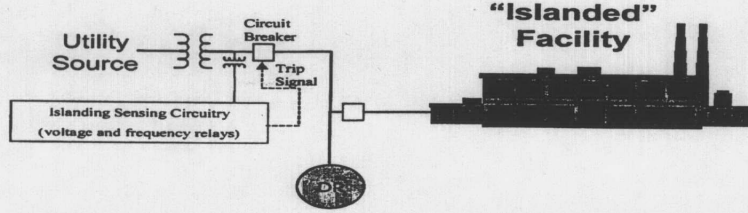


圖 2-24 分散型電源自願性的孤島運轉僅供應本身負載
 (資料來源：EPRI White Paper 2001 –Technical Report figure 4.28)

除此之外自願性的孤島運轉必須考量技術面限制，其範圍須包括是否有足夠的能力供應孤島負載、能否維持孤島運轉之電壓和頻率並確認能同步並聯、是否能處理孤島運轉之暫態突入起動電流或再次啟動負載的能力、是否具有足夠保護協調機制和良好通訊的能力去處理電業供電系統和分散型電源之間的介面。

b、非自願性的孤島運轉 (unintentional islanding operation) :

- (a)、非自願性的孤島運轉—放射形配電線路可由圖 2-25 來說明，當電業配電線路失去電源時或熔斷時，則變壓器二次側之反白區域形成非自願性的孤島運轉，若分散型電源無法有效且穩定的供應同區域的用戶，則用戶之用電設備將因不穩定的電源所造成的應力而造成設備的損壞，此種現象是電業必須極力避免的。

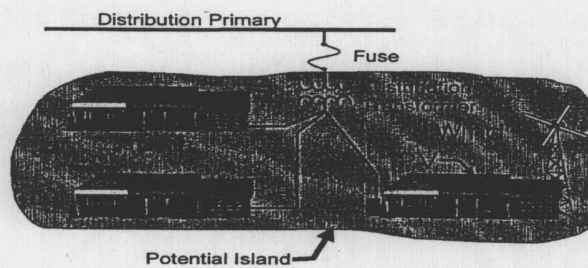


圖 2-25 分散型電源非自願性的孤島運轉-放射狀

(資料來源：EPRI White Paper 2001 –Technical Report figure 4.25)

- (b)、非自願性的孤島運轉—重點網路形配電線路可由圖 2-26 來說明，由於重點網路的保護裝置不具有雙向性，以圖 2-25 為例若負載之總和為 3000KW,則當低壓側未加入分散型電源時，其供電可靠度非常高，倘若任一饋線之配電變壓器高壓側和變電所配電饋線間發生故障時，均可使變壓器雙端之保護裝跳脫並由其他健全的二條饋線繼續供電。

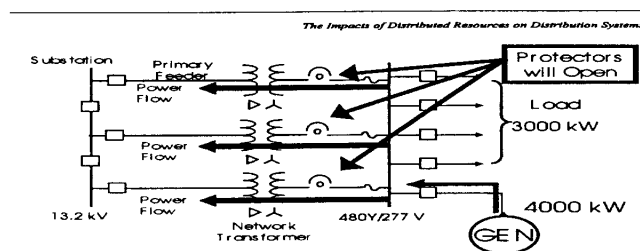


圖 2-26 分散型電源非自願性的孤島運轉-重點網路

(資料來源：EPRI White Paper 2001 –Technical Report figure 4.27)

若有一容量 4000KW 之分散型電源加入變壓器之二次低壓側，因其容量總和比所供應負載 3000KW 大，故有逆送電力 1000KW 反向注入變壓器之高壓側並流入配電線路，因變壓器二次側之保護裝具有雙向性，故逆送電流將使變壓器二次側之保護裝置同時跳脫而造成孤島運轉的情況發生，其供電的可靠度和穩定性將因而下降同時供電品質亦降低，重點網路之用戶一般均為重要用戶或敏感性負載，對用電品質要求較高，非自願性的孤島運轉對其電力品質有負面的影響，故電業對其併聯要求較嚴格，美國德州對重點網路之併聯之要求則有不同的審查程序和較高的要求。

10. 分散型電源保護裝置和配電饋線之保護協調：

(1) 配電系統發生故時分散型電源解聯程序

當分散型電源併入配電系統當饋線發生故障時，其和配電系統的保護協可由圖 2-26 來說明，饋線正常供電時其電壓維持在正常的供電幅度如圖示左右兩端的電壓波形，當饋線發生故障時，則分散型電源保護裝置開始偵測到電壓的驟降，其持續期間約維持在 10 週波左右，此時過流電驛（50/51），過/欠壓電驛（27/59）、過/低頻電驛（81H/L）等可依饋線的形態採取適當的措施去跳分散型電源的保護設備如斷路器（52）等，當分散型電源跳脫後就和配電系統隔離，直到至少配電系統復電五分鐘之後且同步電驛（32）偵測到相位差在可允許的併聯範圍內，才可允許分散型電源再度併聯。

(2) 分散型電源保護裝置電驛基本需求：

當分散型電源允許逆送電力時且裝置容量大或數量增多時，其和系統間之保護協調和保護裝置就更複雜和重要，分散型電源的保護裝置涵蓋的範圍可簡介如下並綜合整理如表 2-1 所示：

- a、 孤島運轉偵測：81U/O（under or over frequency）-低/高頻電驛 81R（Rate of change of frequency）-頻率比率電驛 27/59（under or over voltage）-欠/過壓電驛 Transfer trip 轉換跳脫裝置除了被動式的偵測保護外，對轉換器應適當增設主動保護。
- b、 故障及過載偵測：相間故障 51V、67（方向性電驛）、21（距離電驛或稱測距離電驛）接地故障 51N、67N、59N、27N。
- c、 旋轉電機不平衡偵測：46（Unbalanced current）-不平衡電流偵測電驛 47（unbalance voltage）-不平衡電壓偵測電驛。
- d、 逆送電力偵測：32（reverse power）-逆送電驛（視其裝置方向來決定保護發電機或者防止逆送電）。

e、 同步偵測裝置：25 (synchronizing relay) -同步電驛。

表 2-1 Protection Functions Commonly Employed on Larger Generators

Projection objective	Function used	Comments
Detect islanding	81 O/U (under and over frequency) 27/59 (under and over voltage) transfer trips	Active anti-islanding may also be employed on inverters
Detect faults and overloads	Phase faults 51V, 67, 21 Ground faults 51N, 67N, 59N, 27N	51V is voltage restrained over current that is used to increase sensitivity
Detect potentially damaging unbalanced generator	46 (unbalanced current) 47 (unbalanced voltage)	This may cause overheating of DG
Detect abnormal power flow	32 (reverse power)	If used looking forwards utility system, it prevents export of power.
Allow machine to resynchronize	25 (synchronizing relay)	

(資料來源：EPRI White Paper 2001 –Technical Report Table 5-2)

(3) 分散型電源併聯保護裝置基本概念：

分散型電源併入配電系統之基本概念和架構可由圖 2-27 來說明，配電饋線之斷路器 (52) 和分散型電源的主保護遮斷裝置設有遙控裝置及相關之通訊裝置，並裝設有分斷開關以符合 IEEE P1547 對此開關可自由進出、可上鎖、清楚可見的隔離裝置之要求，專用變壓器和發電設備之良好接地，互聯和發電機之協調及保護裝置等。

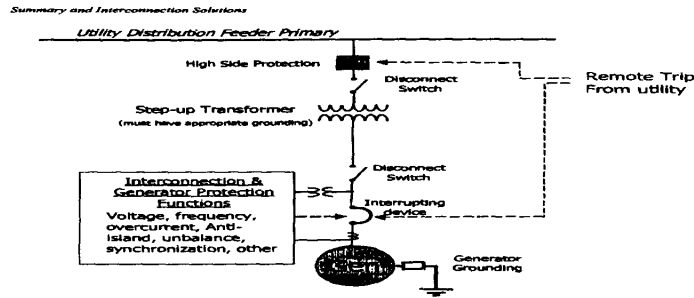


圖 2-27 分散型電源併入配電系統基本架構

(資料來源：EPRI White Paper 2001 –Technical Report figure 5-4)

c、分散型電源併聯-燃料電池和轉換器保護裝置基本概念：

分散型電源併聯-燃料電池、太陽能光電和微引擎等一般和靜態轉換器等組合使用，其基本構造可由圖 2-28 所示。

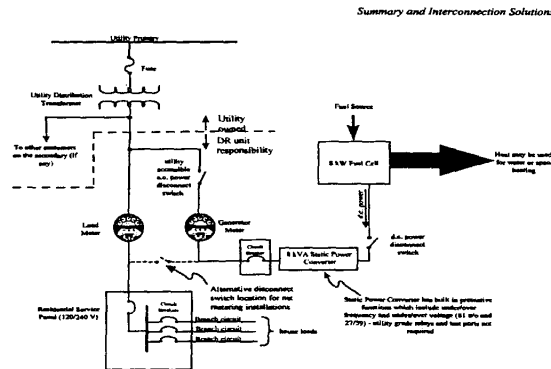


圖 2-28 燃料電池、太陽能光電和微引擎搭配靜態轉換器之構造圖

(資料來源：EPRI White Paper 2001 –Technical Report figure 5-5)

圖 2-28 之分散型電源-燃料電池之大小為 8KW 屬小型家庭用之裝置，其附加價值為熱汽可供熱水供應系統或供室內暖房用，於長期氣候寒冷的地方可增大其效益。從圖中可知靜態轉換器已包含了低頻/高頻電驛 (8IU/O) 及低壓/過壓電驛 (27/59)，若其屬公用事業級的設備則可不用再附試驗報；主保護開關 (52) 和分斷開關均已具備並符合 IEEE-P1547 之要求，計費電錶分別裝置以計算購

售電量（若允許逆送電）。由此可知電錶之裝置必須具淨電錶（Net metering）的功能或者必須裝置兩只電錶，始可符合逆送電力之要求。

d、分散型電源併聯-旋轉電機保護裝置基本概念：

分散型電源若為旋轉電機如同步機且容量在 250KVA 以上時，其併聯要求則相形複雜，以圖 2-29 旋轉同步電機為例其保護設備包括 27/59、81O/U、50/51V、51N、47、46、40（磁場電驛）、32、25、59G（TR Δ -Y 時用）、MOV（金屬氧化突波避雷器）、52（斷路器）等，電驛之等級應符合公共事業級的要求（一般而言大於 100KW）。

Summary and Interconnection Solutions

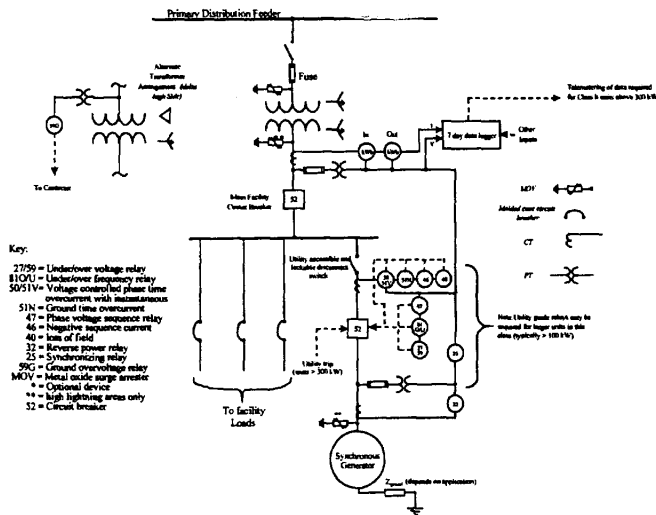


圖 2-29 旋轉同步電機（250KW 為例）併入配電系統基本構造圖

上述電驛組合後以跳脫發電機上方之斷路器為對象，因其配電系統為三相四線式多重接地形態，故變壓器和發電機本身均必須有良好的接地，分斷開關需具備可自由進出、可上鎖、清楚可見的隔離裝置並符合 IEEE-P1547 之要求，計費電錶分別裝置以計算購售

電量，若變壓器為 Δ -Y 時則要加裝 59G 電驛以偵測單相接地零序阻抗所引起之過電壓。除此之外也裝設七日內的電驛動作資料以利故障發生後之分析。

e、分散型電源併聯-旋轉電機保護裝置基本概念：

以圖 2-30 三相轉換器分散型電源為例，若為三相靜態轉換器，其併聯要求之保護設備包括 27/59、810/U、47、50/51V、51N、47、25、59G MOV（金屬氧化突波避雷器）、52（斷路器）等，電驛之等級應符合公共事業級的要求（一般而言大於 100KW 須符合此要求），靜態轉換器一般均內建 27/59、810/U、47、25 等電驛（built in），惟若其電驛等級非公共事業用等級則可視為自我設備保護防制措施，在併聯連接點電業為求安全計可能再加裝公共業用等級之同類電驛以確保供電安全，若為自用之用戶則由靜態轉換器所提供之保護電驛即可保護其本身的安全需求。另外，分斷開關已具備可自由進出、可上鎖、清楚可見的隔離裝置故符合 IEEE-P1547 之要求，計費電錶分別裝置以計算購售電量，若變壓器為 Δ -Y 時則要加裝 59G 電驛以偵測單相接地零序阻抗所引起之過電壓。除此之外也裝設七日內的電驛動作資料以利故障發生後之分析。

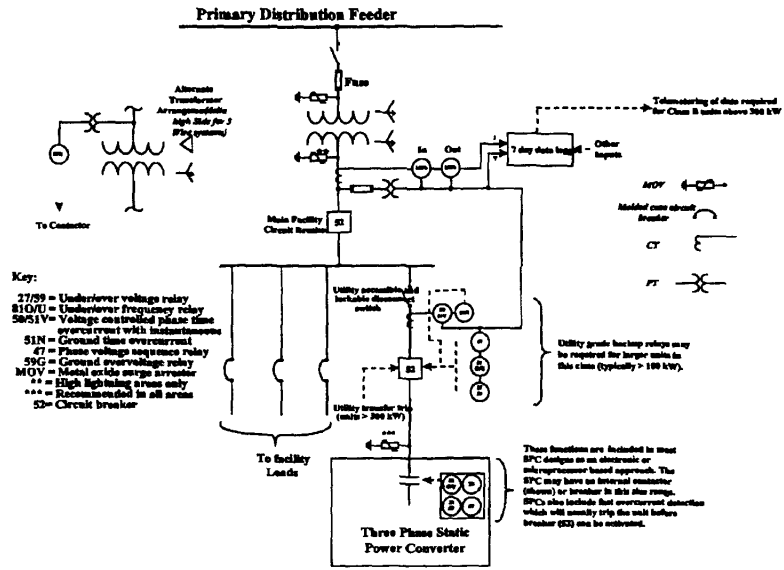


圖 2-30 三相轉換器（大型）併入配電系統基本構造圖
 (資料來源：EPRI White Paper 2001 –Technical Report figure 5-6)

參、綜合結論與建議

一、綜合結論

- (一)、 Optispeed 可改善風機啟閉所引起之電壓變動與輸出不穩定問題。
- (二)、 增加風機塔高，可改善夏季弱風期(如西班牙將大部份風機裝置於山坡上)。
- (三)、 離岸風力發電,可改善土地不足問題。
- (四)、 風機造價每年平均降低 5~10%，可提高投資意願。
- (五)、 目前風力發電仍無嚴重之電力品質污染問題。

二、建議

- (一)、 丹麥之風力發電量佔比居世界之冠，其運轉經驗及調度技術可作為本公司研究風力發電對電力系統衝擊探討之參考。
- (二)、 德國之風力發電裝置總容量為世界之冠，值得深入了解其國內電力公司對再生能源與風力發電用戶之申請、裝設，與電力公司之審查、調度等相關法資料，作為本公司對風力發電用戶之審查參考。
- (三)、 本公司應該繼續研究，風力發電普及化後，對電業有何不良衝擊。
- (四)、 本公司應將繼續研究，再生能源對電業可能之衝擊相關領域，以因應新局面之挑戰。

肆、參考文獻

- [1] BTW Consultant, Denmark, 2002.
- [2] C, Ender, DEWI Magazine, No.22, Feb. 2003.
- [3] 丹麥輸電公司 ELTRA 內部報告，2003.
- [4] 德國電力公司 EWE 內部報告，2003.
- [5] Gerhard J. Gerdes, Windguard Report, Germany, 2003.
- [6] 「再生能源電能收購作業要點」，台電公司，民國九十一年。