

出國報告（出國類別：實習）

## 再生能源 HCPV、SOFC 高效率電力調 控系統研製技術實習出國實習報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：張永瑞

謝錦隆

派赴國家：美國

出國期間：98年10月10日~98年12月7日

報告日期：98年12月30日



## 摘要

最近幾年，核能研究所投入研究資源於新能源與再生能源研究領域。在能源研究領域中，電力電子乃是一項不可或缺的關鍵技術。先進電力電子不僅為現今尖端科技研究課題之一，同時扮演整合包含風力、太陽能、燃料電池的整合性電力輸出的重要角色。因此，隨著日前智慧型電網概念的興起，特定新能源的特性與特殊規格需求的日益遽增，發展能源相關之先進電力電子技術已是刻不容緩的議題。

美國維吉尼亞理工學院為世界電力電子技術領先團隊之一，以及美國里海大學在環境政策與能源研究同樣是世界關注全球氣氛變遷的整合應用的領先團隊之一，藉由本次研究實習觀摩，對未來微型電網分散式發電相關技術之本土化深根，將有實質之助益。

關鍵字：微型電網、電力電子、分散式發電、電力控制、電力儲能。

# 目 次

中文摘要 .....	i
一、目的.....	1
二、過程.....	3
三、心得（微型電網分散式發電系統）.....	11
1. 微型電網分散式發電(DG)轉換器設計 .....	11
1.1. 主電路架構設計與分析.....	11
1.2. 控制補償器設計.....	13
2. 微型電網分散式發電(DG)換流器設計 .....	16
2.1. 主電路架構設計與分析.....	16
2.2. 控制補償器設計.....	21
3. 系統組裝與測試.....	24
四、心得（電力儲能系統）.....	29
4.1 儲能技術方案.....	39
4.2 儲能電池基本原理與標準.....	40
4.2.1 一次電池與二次電池定義.....	40
4.2.2 電池 IEC 標準.....	41
4.2.3 電化學原理.....	41
4.2.3 充電與放電.....	42
4.2.4 儲能電池監控.....	43
4.2.5 二次電池.....	44
4.3 儲能技術的發展現狀.....	47
4.3.1 應用於分散式發電儲能分類.....	47
4.3.2 各種儲能系統特點.....	48
4.3.3 儲能系統應用領域.....	49
4.3.4 飛輪儲能.....	50

4.3.5 氧化還原液流電池.....	54
4.3.6 鈉硫電池.....	60
五、建議事項.....	64
5.1 發展新能源智慧型電網科技研究.....	64
5.2 發展高效率的電力電子在能源領域之研究.....	64
5.3 發展電力儲能技術在電力系統的應用與研究.....	64
六、參考文獻.....	66

## 附 圖 目 錄

圖 2-1：赴維吉尼亞理工學院未來能源電子中心(FEEC).....	5
圖 2.2: 赴里海大學能源研究中心(ERC/ ATLSS).....	5
圖 2-3：與 Dr. Wilson 討論 PCB 佈線技術.....	6
圖 2-4：Dr. Lai 親自測試 PV Inverter 之 Shedding Effect 對抗能力.....	6
圖 2-5：清晨整隊準備出發.....	7
圖 2-6：測試前會議討論測試程序與注意事項.....	7
圖 2-7：系統組裝 (I).....	8
圖 2-8：系統組裝 (II).....	8
圖 2-9：實地架設硬體與量表.....	9
圖 2-10：實地架設硬體 (I).....	9
圖 2-11：實地架設硬體 (II).....	10
圖 2-12：200 W PV micro-inverter 雛形.....	10
圖 3-1：高效率四相式升壓電路.....	11
圖 3-2：開關元件控制時序圖.....	12
圖 3-3：主電路 PCB Layout 圖.....	12
圖 3-4：主電路 PCB 成品.....	13
圖 3-5：電流電壓雙環控制系統方塊圖.....	13
圖 3-6： $T_i$ 之波德圖.....	14
圖 3-7： $T_v$ 之波德圖.....	15
圖 3-8：主電力級電路圖.....	17
圖 3-9：主開關元件(MOSFET/IGBT)單臂電路圖.....	18
圖 3-10：主開關元件之驅動電路圖.....	19
圖 3-11：輔助開關元件之驅動電路圖.....	20
圖 3-12：高效率市電併聯型 5kW 電力調控系統之控制系統方塊圖.....	21
圖 3-13：換流器系統之等效電路圖.....	22
圖 3-14：換流器控制系統的轉移函數.....	23

圖 3-15：補償過後的反流器控制系統的轉移函數.....	24
圖 3-16：四相式昇壓電路實體圖.....	25
圖 3-17：Start-up 驅動信號誤動作，將有 short-thru 問題，以 1 k $\Omega$ 分壓電阻解決.....	25
圖 3-18：Shut-down 驅動信號誤動作，將有 short-thru 問題.....	26
圖 3-19：加入 47 $\mu$ F 電容解決.....	26
圖 3-20：示波器螢幕右圖顯示，系統控制器穩定在一點上.....	27
圖 3-21：實際加載電流波型.....	27
圖 3-22：適應性變頻控制技術測試.....	28
圖 3-23：不同輸入電壓之適應性變頻控制技術測試.....	28
圖 4-1：美國里海大學校舍.....	30
圖 4-2：與 Dr. Ben T. Yen 教授合影.....	30
圖 4-3：里海大學 ATLSS 實驗室.....	31
圖 4-4：里海大學 ATLSS 實驗控制室.....	31
圖 4-5：里海大學 Fritz 實驗室.....	32
圖 4-6：瞬間推力油壓系統.....	32
圖 4-7：結構建物之動態疲勞實驗.....	33
圖 4-8：鋼構塔架動態疲勞實驗.....	33
圖 4-9：複合材料拉力實驗.....	34
圖 4-10：複合材料拉力測試之複合材料.....	34
圖 4-11：實體橋樑結構動態疲勞實驗.....	35
圖 4-12：40 公尺交通號誌打塔架基礎之態疲勞實驗.....	35
圖 4-13：East Penn 公司外觀.....	36
圖 4-14：East Penn 電池回收廠外觀.....	36
圖 4-15：East Penn 太陽能電池商品.....	37
圖 4-16：儲能系統與電力網路關係.....	38
圖 4-17：鉛酸電池充電與放電過說明.....	43
圖 4-18：電池與電池組監控系統.....	44
圖 4-19：電力儲能技術.....	48

圖 4-20：各種儲能系統的應用範圍.....	50
圖 4-21：使用飛輪的馬達-發電機組合.....	52
圖 4-22：外加電力電子於含飛輪的馬達-發電機組合.....	52
圖 4-23：使用電池或飛輪的 UPS 系統.....	53
圖 4-24：氧化還原液流電池作用原理.....	55
圖 4-25：移動式 VRB 系統.....	58
圖 4-26：VRB 電池堆的組成示意圖.....	58
圖 4-27：組成 VRB 儲能系統示意圖.....	59
圖 4-29：鈉硫蓄電池基本構造.....	61
圖 4-30：ABB 的鈉硫電池設計.....	63
圖 4-31：CSPL 的鈉硫電池設計.....	63

## 附表目錄

表 3-1：TTL 的準位邏輯 .....	20
表 4-1：儲能系統在電力系統中的應用領域 .....	40
表 4-2：二次電池性能比較 .....	45
表 4-3：二次電池優缺點比較 .....	46
表 4-3：儲能系統特點 .....	48
表 4-4：電池與飛輪成本比較 .....	53
表 4-5：經濟和環境效益 .....	57



## 一、目的

本所於 2004 年規劃籌組能源領域研究方向，從 2004 年到 2006 年積極發展再生能源與新能源研究計畫，包含太陽能、風能、燃料電池、生質能等領域，並已有一定成果。美國維吉尼亞理工學院為世界電力電子技術領先團隊之一，同時亦為美國能源部 DOE SECA 聯盟中的 Core Tech Team 之一，其研究團隊在高效率大功率電力電子領域居世界領先地位，目前正積極投入研究於先進能源電力電子領域之中，並活躍於國際知名會議中。

本所於 2004 年投入發展固態氧化物燃料電池（SOFC）、高聚光太陽能電池（HCPV）、風力發電等相關領域，而其後端電力調控系統（PCS, Power Conditioning System）為電力電子應用的範疇，特別是 SOFC 低壓輸出的特性，使得高效率電力轉換器的開發成為不可或缺的研究項目。近年來，由於美國歐巴馬政府對智慧型電網相關計畫大力推行，使美國各研究機構在智慧型電網相關技術研發相對積極，而於智慧型電網研究項目中，電力電子科技佔有相當重要的位置，這可以由美國能源部對科技發展藍圖的規劃 Grid 2030 中可以得知。藉由本次研究實習，對未來微型電網分散式發電與電力儲能系統相關技術之本土化深根，將有實質之助益，以期對本所在能源領域上的研究有所助益。

為了將新能源技術能普遍地應用在民生或工商業等用途，最有效的方式是將這些電源透過電力電子技術與電力儲能系統，在特定區域範圍內（如社區，工廠、離島、偏遠鄉村等）形成分散式的供電系統，共同承擔供電的任務。如何有效地將這些分散式電源加以整合，提高供電品質與穩定的可靠度電力，是努力研究的探討方向之一。由於分散式電力系統之必要與必然的優勢，因此各國多大力投入分散式電力系統的研究和示範計畫。例如美國首先針對預備電源與緊急用電源等多數分散型電源，提出以通信網路及軟體等之控制及管理平台，以解決電源傳輸中斷之累積風險。本所於 2008 年開始規劃設計微型電網測試平台，目前以建置完成部份實驗設施，因為微型電網主要電力來源是希望應用再生能源，其中風力發電及太陽光電因受天候影響，會發生明顯的間歇性發電問

題。電力儲能系統技術具有很寬時間範圍的儲能功能，對解決電力系統的供電壓力，改善電力系統的穩定性，是為提高供電品質的技術支援之一。

美國里海大學(Lehigh University)，因應全球氣氛變遷，校內著手規劃將四個學院的相關研究整合成立環境政策中心(Environmental Initiative)，以地球環境科學系及土木系為主導，研究內容包括水資源、能源與環境、全球變遷、環境與社會關係、環境智庫等。能源研究中心(Energy Research Center)，集合校內有關能源研究，長期以來的研究內容主要以國家能源應用為主。希望藉由本次研究實習觀摩，對電力儲能系統相關技術能在本所在微型電網穩定能源研究上提供較適合的應用方向。

## 二、過程

張員行程：

行 程				公差地點		工 作 內 容
月	日	地 點		國名	地 名	
		出 發	抵 達			
10	10 ~ 11	台北	美國 維州 黑堡	美國	美國 維州 黑堡	去程
	12 ~ 13			美國	美國 維州 黑堡	進行系統組件設計、分析與測試
	14 ~ 22	美國 維州 黑堡	美國 DC	美國	DC	進行實地系統組裝與測試
	23 ~ 24	美國 DC	台北			回程

謝員行程：

行 程				公差地點		工 作 內 容
月	日	地 點		國名	地 名	
		出 發	抵 達			
10	10 ~ 11	台北	美國 維州 黑堡	美國	美國 維州 黑堡	去程
	12 ~ 13			美國	美國 維州 黑堡	進行系統組件設計、分析與測試
	14 ~ 22	美國 維州 黑堡	美國 DC	美國	DC	進行實地系統組裝與測試
10 12	23 5	美國 華盛頓 D.C.	美國 賓州 伯利恒	美國	賓州 伯利恒	先進儲能系統於電力之研究實習及 能源與環境整合之應用觀摩
12	5 ~ 7	美國 賓州 伯利恒	台北			回程



圖 2-1：赴維吉尼亞理工學院未來能源電子中心(FEEC)



圖 2.2: 赴里海大學能源研究中心(ERC/ ATLSS)

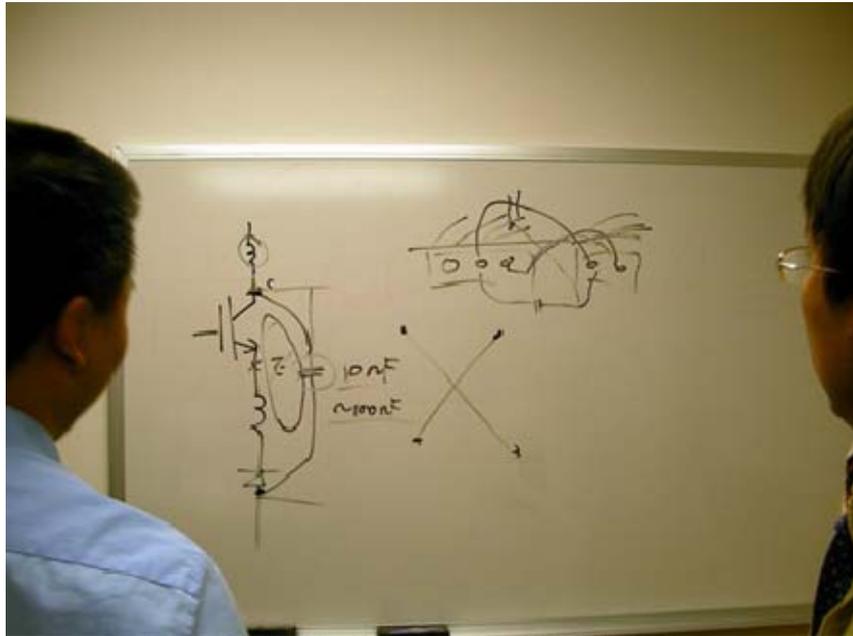


圖 2-3：與 Dr. Wilson 討論 PCB 佈線技術



圖 2-4：Dr. Lai 親自測試 PV Inverter 之 Shedding Effect 對抗能力



圖 2-5：清晨整隊準備出發



圖 2-6：測試前會議討論測試程序與注意事項

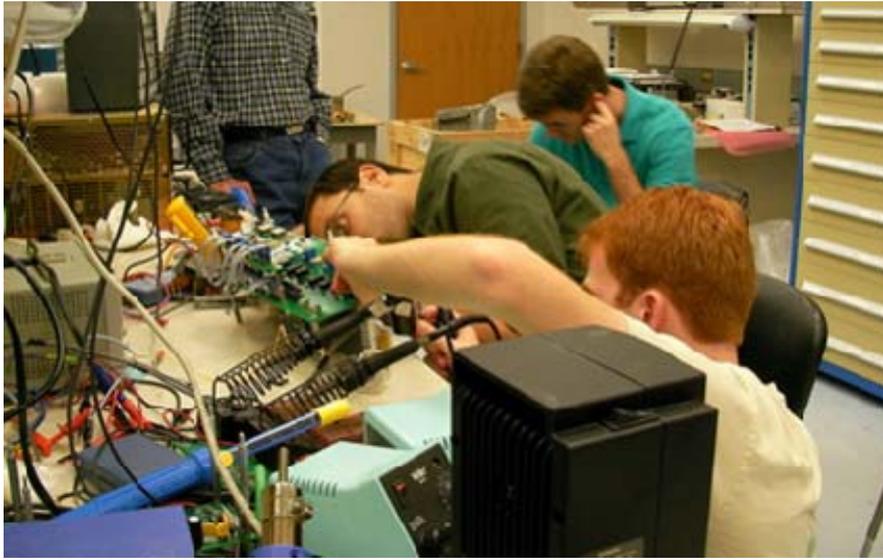


圖 2-7：系統組裝 (I)

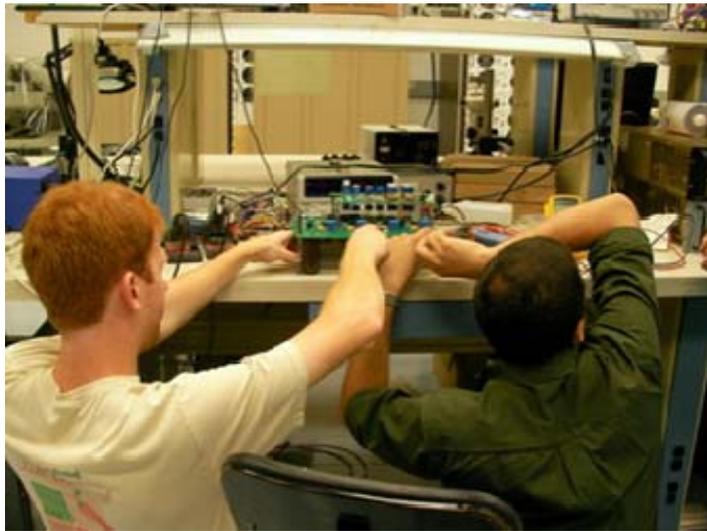


圖 2-8：系統組裝 (II)



圖 2-9：實地架設硬體與量表

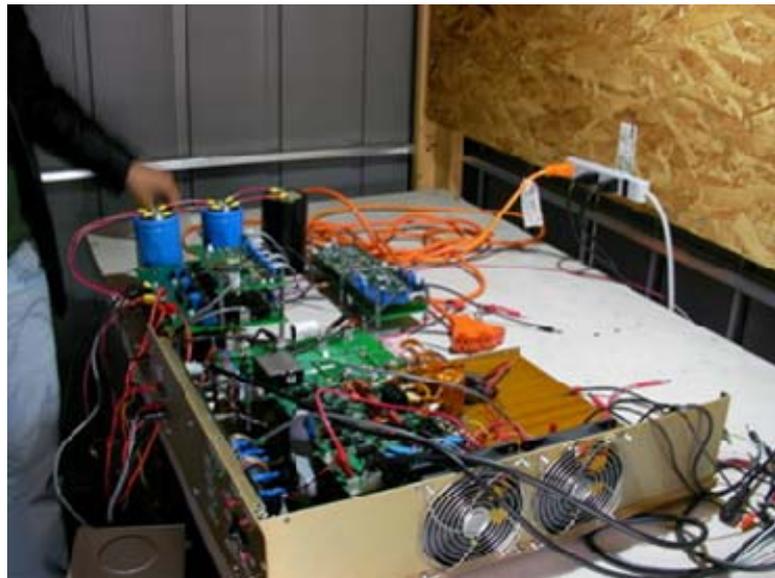


圖 2-10：實地架設硬體 (I)

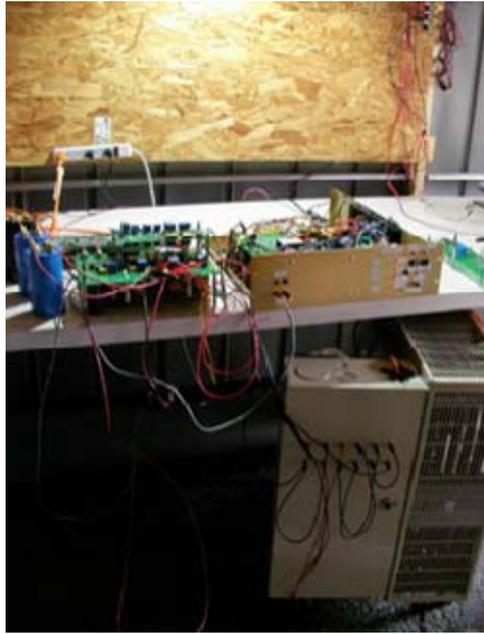


圖 2-11：實地架設硬體 (II)

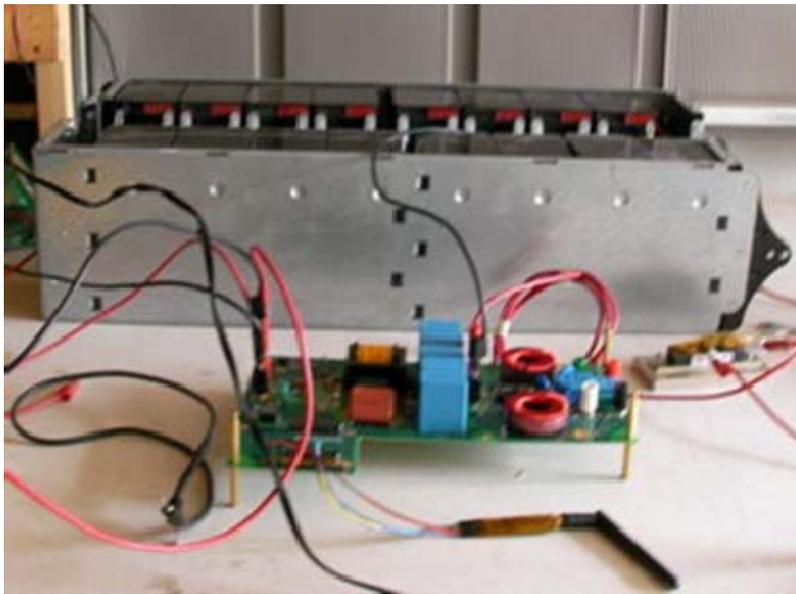


圖 2-12：200 W PV micro-inverter 雛形

### 三、心得（微型電網分散式發電系統）

#### 1. 微型電網分散式發電(DG)轉換器設計

##### 1.1. 主電路架構設計與分析

本四相式切換架構之微型電網分散式發電電力轉換器，針對 HCPV 之低壓輸入狀態，有良好的電能擷取能力，可有效提升 HCPV 的發電效率與發電量，為廣域直流電壓輸入範圍的 DC-DC 升壓電路，其電壓輸入為 50~250V，輸出電壓則為恆定 400V，提供後端換流器換流後併入 220V 市電使用，其系統基本架構圖如圖 3-1。

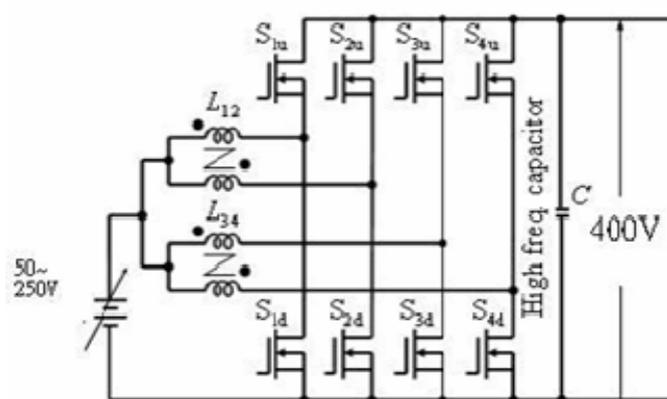


圖 3-1：高效率四相式升壓電路

透過四相式切換的設計，可以減少電感上的磁通損失，在這個設計當中，使用了 Cool-MOSFET 做為開關切換元件，這樣的方式可以讓系統在 reverse conducting 區間實現同步整流的效果，其四相控制訊號時序，如圖 3-2：Phase 1 and 2 的電感彼此耦合在一起，如圖 3-1 的 L<sub>12</sub>，Phase 3 and 4 的電感彼此耦合在一起，如圖 3-1 中的 L<sub>34</sub>，電感的鐵芯使用 ferrite EE cores。特別的是，電感的製作是將兩組線圈繞在 EE cores 的外側兩臂，使其透過電路的設計，在 core 的內部發揮 flux cancellation 的效果。

此一電路具備有兩種操作模式，分別為 Boost mode 及 Buck mode，在 Boost mode 時，duty cycle 的決定是透過下臂開關 S<sub>1d</sub>、S<sub>2d</sub>、S<sub>3d</sub>、S<sub>4d</sub> 的 turn-on duty，而 Buck mode

的 duty cycle 則是透過過上臂的開關  $S_{1u}$ 、 $S_{2u}$ 、 $S_{3u}$ 、 $S_{4u}$  來決定。在此一電路當中，上下臂的開關訊號必定為互補的，且必須確保各相均同樣佔有 couple inductor  $180^\circ$  的工作區間；假定 Phase 1 和 Phase 2 使用同一顆 couple inductor，則  $S_{1u}$ - $S_{1d}$  及  $S_{2u}$ - $S_{2d}$  必須分別使用到電感的  $180^\circ$  工作區間，同理 Phase 3、Phase 4 也是一樣。假定整體工作的開關時間為  $T_s$ ，則  $180^\circ$  為一半的工作週期，或稱之為  $T_s/2$ ，為了進一步突顯 flux cancellation 的效果， $S_{1u}$ - $S_{1d}$  和  $S_{3u}$ - $S_{3d}$  彼此間的開關時序必須再相差  $90^\circ$  或  $T_s/4$ 。

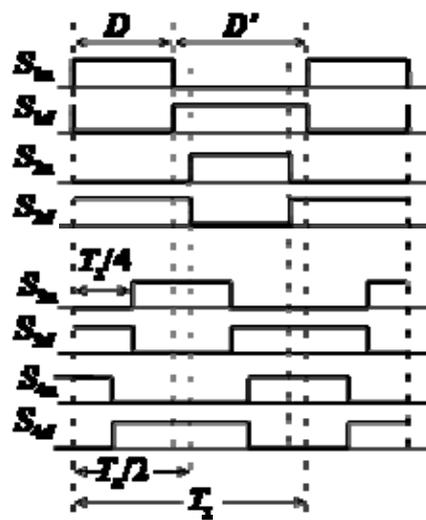


圖 3-2：開關元件控制時序圖

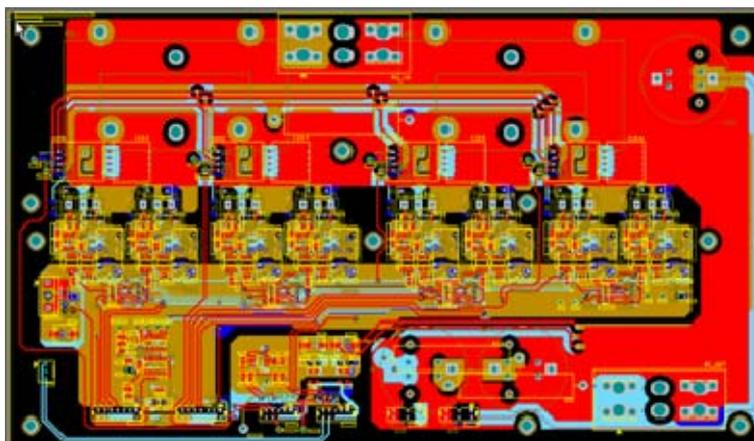


圖 3-3：主電路 PCB Layout 圖

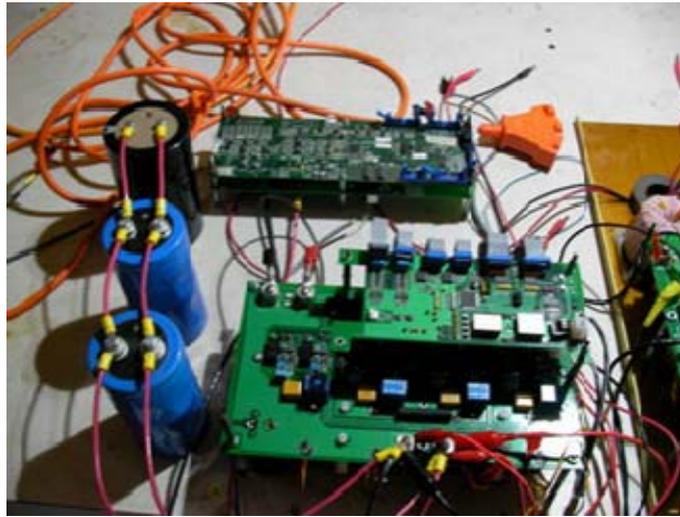


圖 3-4：主電路 PCB 成品

## 1.2. 控制補償器設計

本微型電網分散式發電(DG)之昇壓電路控制採用雙環控制，主要針對輸入電壓範圍廣闊的應用而進行設計(50~250 Vdc)，且輸出電壓需維持在 400 Vdc，其中內控制環採用電流控制環，外環採用電壓控制環設計，其控制系統方塊圖如圖 3-5。

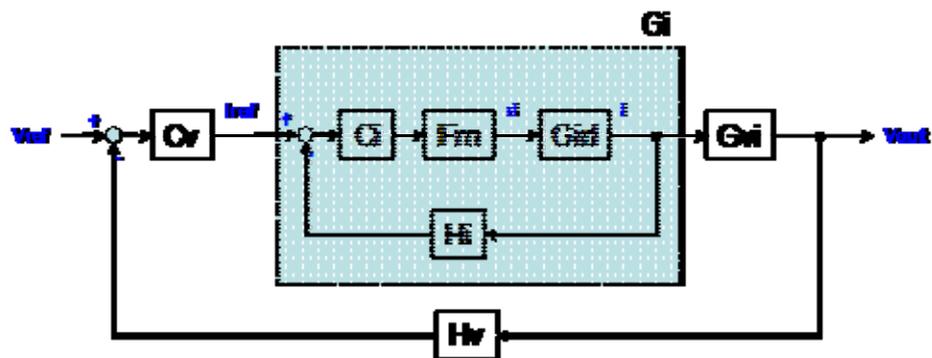


圖 3-5：電流電壓雙環控制系統方塊圖

控制系統方塊途中， $G_{id}$  為 boost 電路電流對 duty 的增益； $F_m$  為三角波電壓對 duty 控制的比值(1/1000)； $H_i$  為電流感知器的增益； $C_i$  為電流環設計之補償器增益； $G_{vi}$  為輸出電壓對輸出電流的增益； $H_v$  為電壓感知器的增益； $C_v$  為電壓環設計之補償器增益。

其中  $G_{id}$  與  $G_{vi}$  為理論推導， $F_m$ 、 $H_i$ 、 $H_v$  為已知如 Eq.(1)~(3)， $C_i$ 、 $C_v$  為我們必須設計的控制器，以使系統能於穩態運作。一般控制器之設計程序，以先設計內環控制器  $C_i$  後，再以同樣步驟設計外環控制器  $C_v$  為主。

$$F_m = \frac{1}{1000} \quad (1)$$

$$H_i = \frac{1}{1 + s/2\pi \cdot 22 \cdot 10^3} \quad (2)$$

$$H_v = \frac{1}{(1 + s/2\pi \cdot 11 \cdot 10^3) \cdot (1 + s/2\pi \cdot 1000)} \quad (3)$$

在內環設計方面，由於  $G_{id}$  由推導而得， $F_m$ 、 $H_i$  為已知如式(1)、(2)，所以內環電流控制環所設計之補償器  $C_i$  選用 Type II 補償器(一個 zero、二個 poles)，如式(4)，使內環之環路增益 Loop Gain ( $T_i = C_i \cdot F_m \cdot G_{id} \cdot H_i$ ) 頻寬為 400 Hz， $T_i$  之波德圖(Bode)如圖 3-6。

$$C_i = \frac{103239 \cdot (s + 472.8)}{s \cdot (s + 72510)} \quad (4)$$

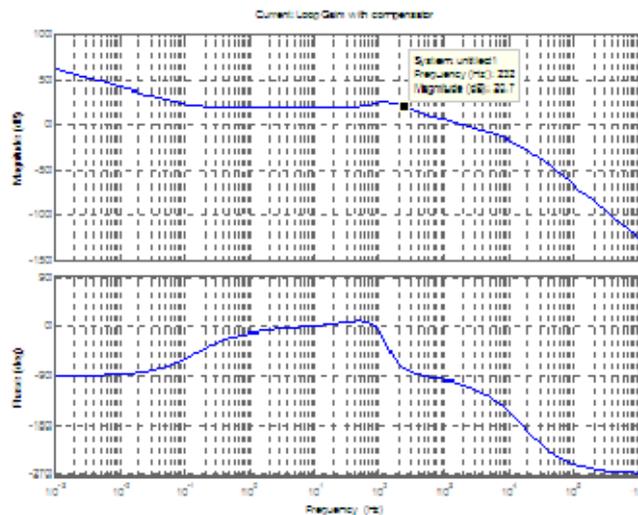


圖 3-6： $T_i$  之波德圖

當  $C_i$  設計完成後，可以得到內環增益  $G_i$ ：

$$G_i = \frac{C_i \cdot F_m \cdot G_{id}}{1 + C_i \cdot F_m \cdot G_{id} \cdot H_i} = \frac{1}{H_i} \times \frac{T_i}{1 + T_i} \quad (5)$$

將內環增益  $G_i$  視為一個模組，則我們可以再進行外環電壓控制環之設計。其中電壓對電流增益  $G_{vi}$  由推到獲得(利用  $G_{vd}/G_{id}$  獲得)、電壓感知器增益  $H_v$ 、內環增益  $G_i$  為已知，則我們可以設計  $C_v$  使系統達到穩定運轉的目標。因此，外環電壓控制環所選用之補償器  $C_v$  亦為 Type II 補償器(一個 zero、二個 poles)，使外環之環路增益 Loop Gain ( $T_v = C_v \cdot G_i \cdot G_{vi} \cdot H_v$ ) 頻寬為 10 Hz，一般外環頻寬比內環小。頻寬越大頻率響應越好，但若大於 10 Hz，則後續數位化 Z transform 及 DSP 之實現，會遭遇到精準度的問題，因為若使頻寬大於 10 Hz，則 Z transform 之分子分母係數數字會很小，會有量化誤差 (Quantization Error)，容易使計算值飽和，並使系統有失控之虞。因此我們選擇約 10 Hz 為外環設計頻寬。 $C_v$  設計如式(6)，外環之環路增益 Loop Gain ( $T_v$ ) 之波德圖如圖 3-7。

$$C_v = \frac{277 \cdot (s + 37.95)}{s \cdot (s + 1450)} \quad (6)$$

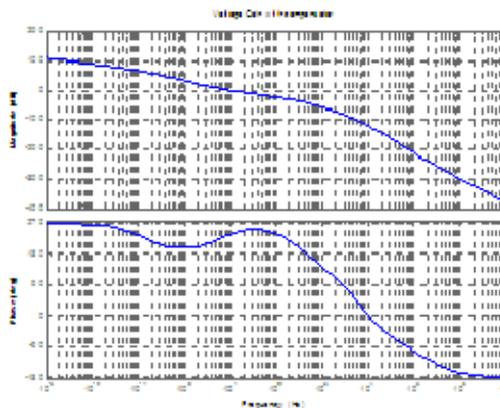


圖 3-7： $T_v$  之波德圖

當完成  $C_i$ 、 $C_v$  之設計後，再使用 Matlab 中之 c2d 函式，轉成數位之 Z transform，並獲得 Z transform 之分子及分母係數，最後以 DSP 2808 之數位差分方程式來實現控制策略。

## 2. 微型電網分散式發電(DG)換流器設計

### 2.1. 主電路架構設計與分析

微型電網分散式發電換流器主要分成下列三個部分，(a) MOSFET/IGBT 開關元件、(b) 主開關元件之驅動電路(Main Switch Driver)、(c) 輔助開關元件之驅動電路(Auxiliary Switch Driver)，其系統電路圖如圖 3-8 所示。主電路驅動共有四塊相同的硬體分別為  $M_1 \sim M_4$ ，代表四個主開關元件(IGBT)的驅動電路，同樣的道理輔助開關元件一樣共有四塊相同的硬體分別為  $A_1 \sim A_4$  以代表四個輔助開關元件(IGBT)的驅動電路。這些驅動電路要來控制主要兩個臂(leg)上的所有開關元件，每個臂上有兩個主開關元件(MOSFET)及兩個輔助開關元件(IGBT)。

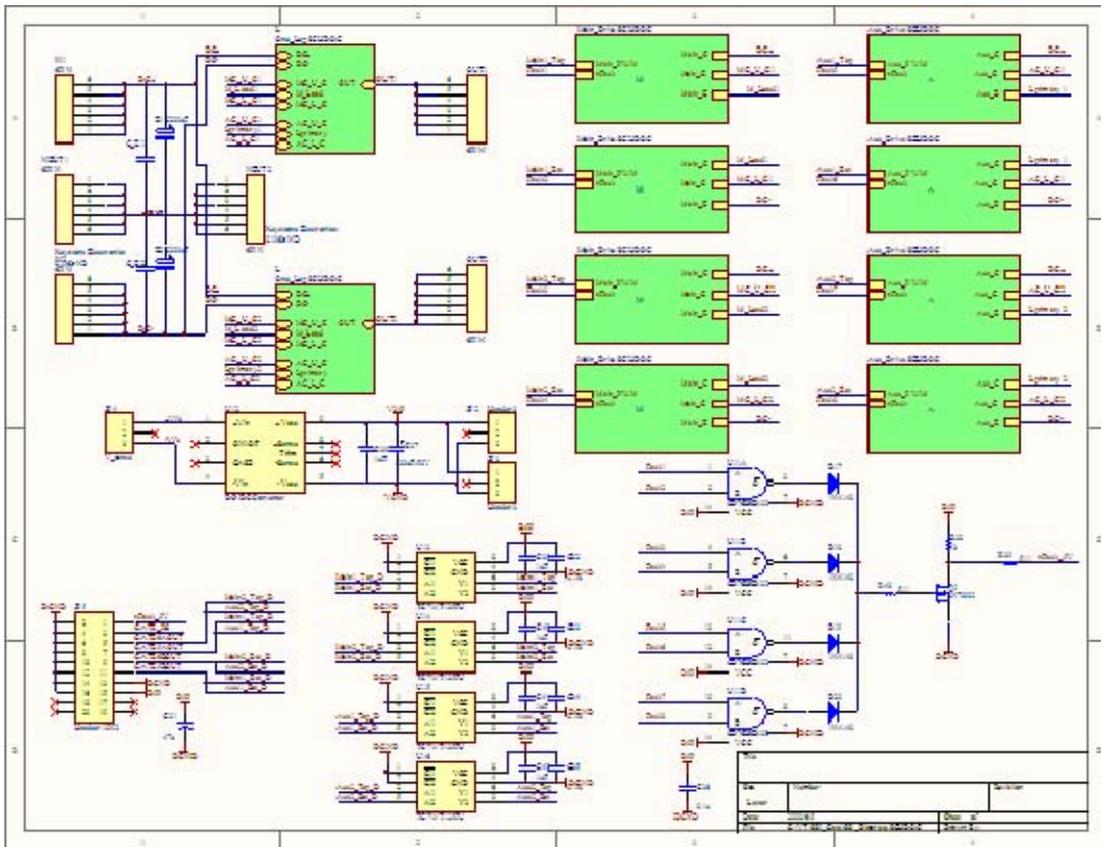


圖 3-8：主電力級電路圖

**(a) 主開關元件(MOSFET/IGBT)**

主電力級電路如一般全橋電路，包含了兩臂切換開關，以一臂來說明如圖 3-9，除了具有兩個主開關元件(IGBT)外，並包含了兩個輔助開關元件(MOSFET)來達成柔性切換，而在主開關元件留有位置，可並聯 MOSFET，因為在輕載之下 MOSFET 會有較低的壓降，但在載加大會增加其壓降，導致其導通損會比較大，所以分別在輕重載之下分別依賴 MOSFET 跟 IGBT，此一組合即為達到在不論輕重載之下皆提高其效率之目的。

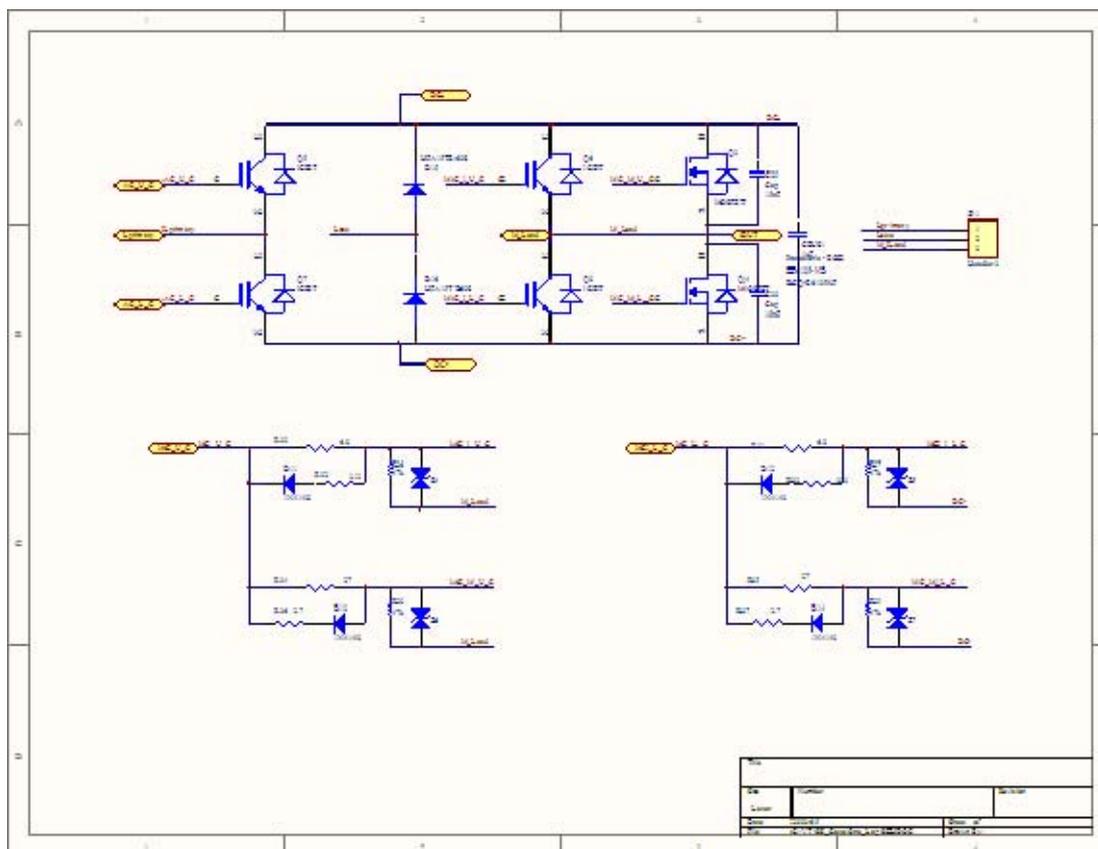


圖 3-9：主開關元件(MOSFET/IGBT)單臂電路圖

### (b) 主開關元件之驅動電路

此一電路作為主開關元件之驅動電路，如圖 3-10，包含了 IC 所需之電源供應器 (MSVH-240515)及驅動 IC(MC33153)，驅動 IC(MC33153)包含 Blanking Time 設定之偵測，使  $V_{DS}$  進入 DESAT 送出過壓訊息，作保護警示之用，最後還有 delay 及邏輯判斷電路作為設定  $t_{dly}$  之用。

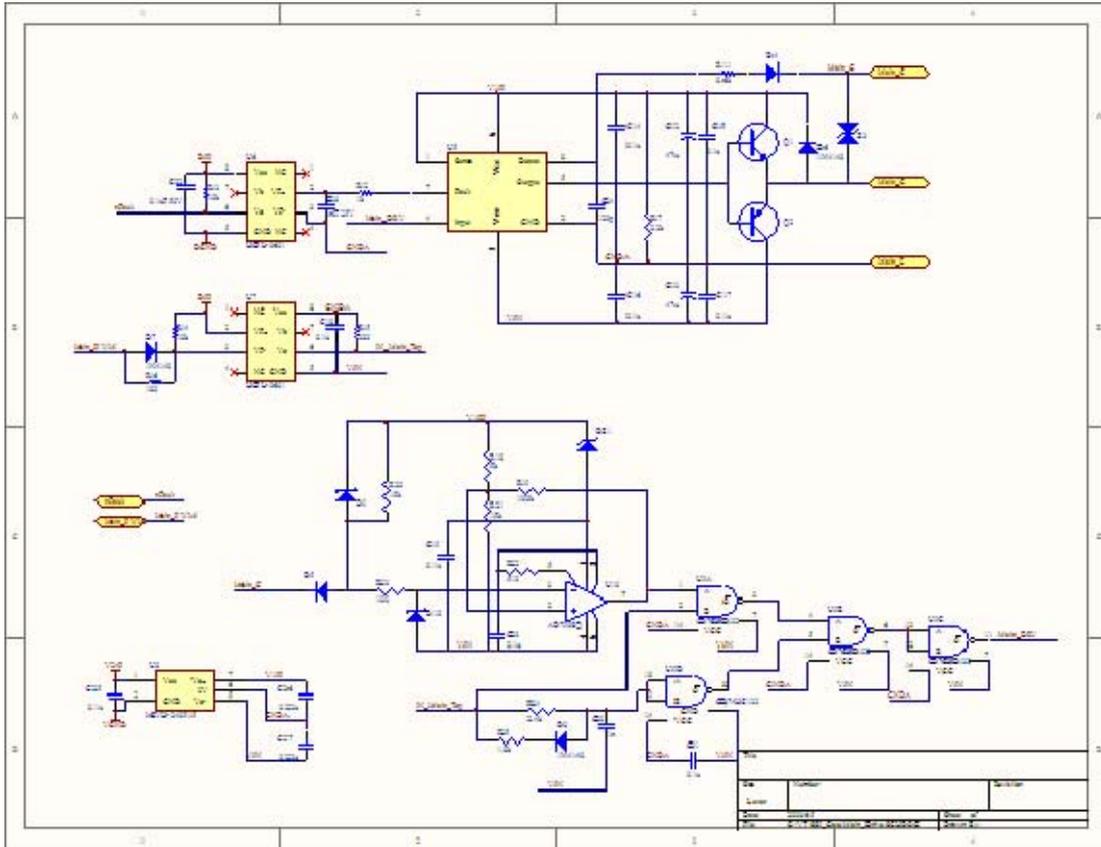


圖 3-10：主開關元件之驅動電路圖

對於  $t_{dly}$  之設定主要是靠偵測  $V_{DS}$  看是否已經低於  $V_{ref}$ ，注意其電路之電壓準位以及邏輯判斷之規則達到  $V_{DS} < V_{ref}$  或  $t_{dly}$  大於  $2.4\mu s [RC \text{ delay}]$  (時間常數約為  $2.4\mu s$ ) 即導通 delay 之主開關元件。圖 3-10 中 In Main Top 為 H 之下(表示  $S_{x1}$  已開啓)，TTL 的準位邏輯真值表如表 3-1 所示。Main DRV 為 L 之下即可推動主開關元件。驅動 IC(MC33153) 之 Desat 腳位會偵測在  $V_{GS}$  turn on 下  $V_{DS}$  的電壓，對於此一電壓如果高於 IC 預設值，則其 Fault 會送出 H 訊號到 DSP 並且讓 Fault LED 亮，再藉由圖 3-10 右下角之邏輯電路可知，只要有一個 Fault 訊號送出，則 nFault 腳位即為 low，即可將 Fault LED 亮。

表 3-1：TTL 的準位邏輯

$V_{CE} < V_{ref}$	delay time $> 2.4 \mu s$	U9B node4	U9B node5	Main DRV
H	H	L	L	L
H	L	L	H	L
L	H	H	L	L
L	L	H	H	H

**(c) 輔助開關元件之驅動電路**

輔助開關元件之驅動電路如圖 3-11，包含了 IC 所需之電源供應器(MSVH-240515)及驅動 IC(MC33153)，包含 Blanking Time 設定之偵測  $V_{CE}$  送出過壓訊息作保護之用，工作內容如上一小節所描述類似。

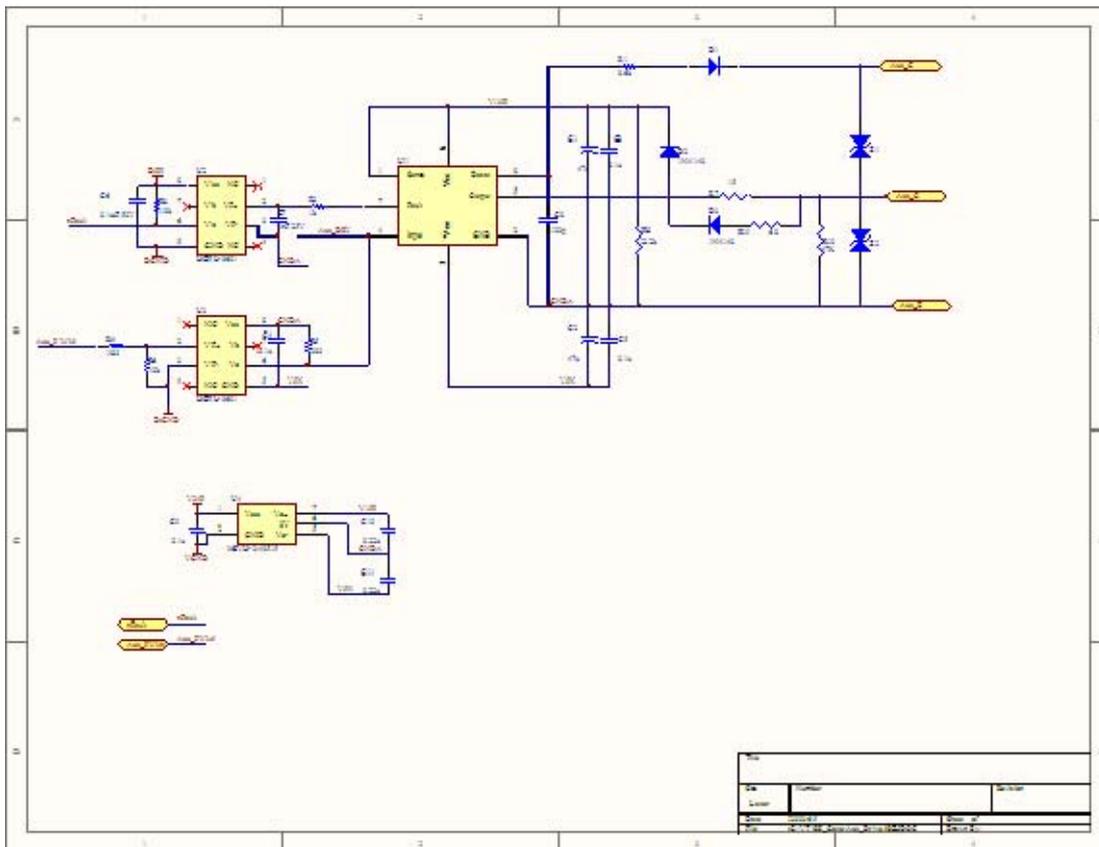


圖 3-11：輔助開關元件之驅動電路圖

驅動 IC(MC33153)內部具有一個 270  $\mu\text{A}$  的電流源，藉由外部電容的選擇可以決定 Desat 的 blanking time，以圖 3-11 之驅動 IC(MC33153)電路為例，外部電容值為 120 pF，經過計算其 blanking time 為 2.89( $\mu\text{s}$ ) [ $I_{dt} = Cdv, 270 \mu * T_{bt} = 120 p * 6.5, T_{bt} = 2.89 (\mu\text{s})$ ]。當  $V_{GS}$  欲 turn on 瞬間，IC(MC33153)之 input 腳位瞬間 turn off，造成 270  $\mu\text{A}$  下方之 BJT turn off 及兩個 AND gate 之輸入一端轉正。Desat 準位由零開始改變，Desat 準位在 +15 V 以下 270  $\mu\text{A}$  接流至  $V_{cc}$ ，接下來等到  $V_{DS}$  低於 15 V 則 270  $\mu\text{A}$  開始充電至外部 120 pF 的電容。再經過 2.89( $\mu\text{s}$ )之後看看  $V_{DS}$  是否還高於 6.5 V，是的話即送出 Fault 訊號。注意 Blanking time 設定太大則沒有檢查的意義，太小則對於 hard switching 會很容易造成 Fault 訊號，在此情形下必須配合好元件特性，估好元件  $V_{DS}$  的下降時間(率)。

## 2.2. 控制補償器設計

分散式發電設備之高效率 5 kW 電力調控系統之換流器(Inverter)控制系統方塊圖，如圖 3-12 所示，在換流器後端皆有一濾波電路(Filter Board)，所有感測訊號，包含電壓與電流信號，皆於濾波電路中感測回饋送至控制器，作為市電併聯之控制。

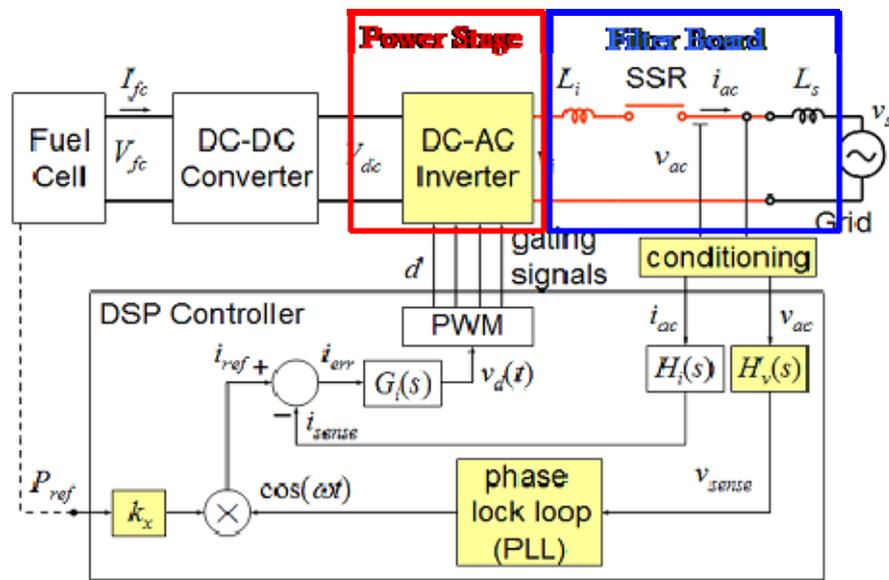


圖 3-12：高效率市電併聯型 5kW 電力調控系統之控制系統方塊圖

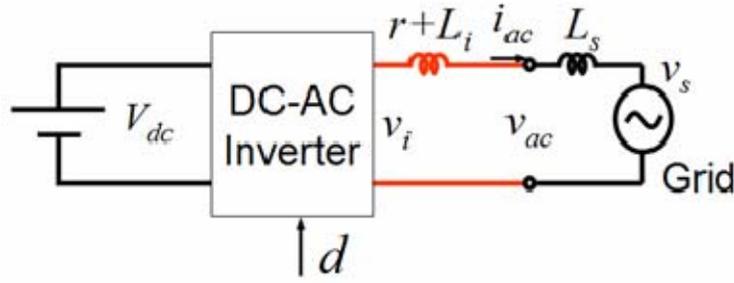


圖 3-13：換流器系統之等效電路圖

在控制補償器設計的部分，首先需要建立系統之轉移函數(Plant Transfer Function)。圖 3-13 為換流器之系統等效電路圖。我們以 Laplace transform 數學模型，模式化系統的等效電路圖 3-13，可得

$$i_{ac} = G_{id}(s)d - G_{iv}(s)v_{ac} \quad (7)$$

其中，因平均電壓法則可知  $v_i = d \times V_{dc}$ ，則

$$G_{id}(s) = \frac{i_{ac}}{d} = \frac{V_{dc}}{r + sL_i} \quad (8)$$

$$G_{iv}(s) = \frac{i_{ac}}{v_{ac}} = \frac{1}{r + sL_i} \quad (9)$$

由式(7)建立未補償前換流器控制系統轉移函數方塊圖，如圖 3-14 所示。目標為求得控制補償器  $G_i(s)$ 之設計，使系統的穩定度提昇。由系統轉移函數方塊圖(圖 3-14)求得系統轉移函數  $Y(s)$ 為

$$Y(s) = \frac{i_{ac}(s)}{v_{ac}(s)} = \frac{G_{id}(s)F_m G_i(s)}{1 + T_i(s)} k_x P_{ref} H_v - \frac{G_{iv}(s)}{1 + T_i(s)} = Y_1(s) + Y_2(s) \quad (10)$$

其中

$$T_i = G_{id} F_m H_i G_i \quad (11)$$

$$T_{icl} = \frac{G_{id} F_m G_i}{1 + T_i} \quad (12)$$

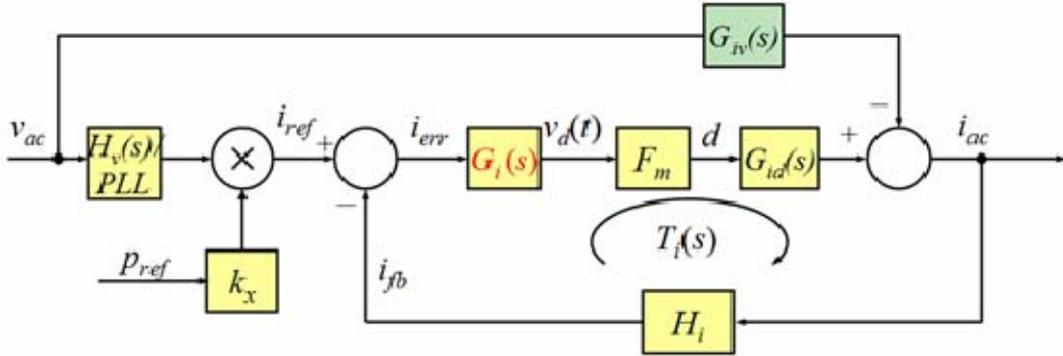


圖 3-14：換流器控制系統的轉移函數

$$G_c(s) = -Y_2(s) \frac{1}{H_v(s)T_{icl}(s)G_i(s)} = \frac{1}{H_v(s)V_{dc}F_m} \quad (13)$$

$$Y_3(s) = \frac{H_v G_c(s) F_m G_{id}(s)}{1 + T_i(s)} = -Y_2(s) \quad (14)$$

$$Y(s) = Y_1(s) + Y_2(s) + Y_3(s) = Y_1(s) \quad (15)$$

如式(15)所示，系統轉移函數 $Y(s)$ 可分為 $Y_1(s)$ 和 $Y_2(s)$ 兩項， $Y_1(s)$ 為控制項， $Y_2(s)$ 為不受控的擾動項，必須設計一個補償器 $Y_3(s) = -Y_2(s)$ 將它消除，否則，在低電流命令情況下，可控制的 $Y_1(s)$ 項將有可能小於 $Y_2(s)$ ，會造成系統不穩定無法控制，換言之，在輕載情況下，整個系統轉移函數的值為負的，使原本換流器的功能變成整流器功能，造成電流逆流回 DC bus 以及過電壓情形發生。

補償過後的換流器控制系統轉移函數方塊圖，如圖 3-15 所示，其中 $G_{id}(s)$ 、 $G_{iv}(s)$ 、 $G_c(s)$ 可由式(8)(9)(13)求得，接下來，只要設計補償器 $G_i(s)$ 使系統穩定即可。設計 $G_i(s)$ 可以選用多種控制器架構，目前以 PR(Proportional + Resonant)控制器效果較佳。若以數位信號控制器(DSP)來實現控制策略，只要將量測信號 $i_{fb}$ 輸入 DSP，經過 $G_i(s)$ 計算，再加上 $G_c(s)$ 則可得 $v_d(s)$ ，用以控制開關元件之切換 duty  $d$ ，並使系統穩定。

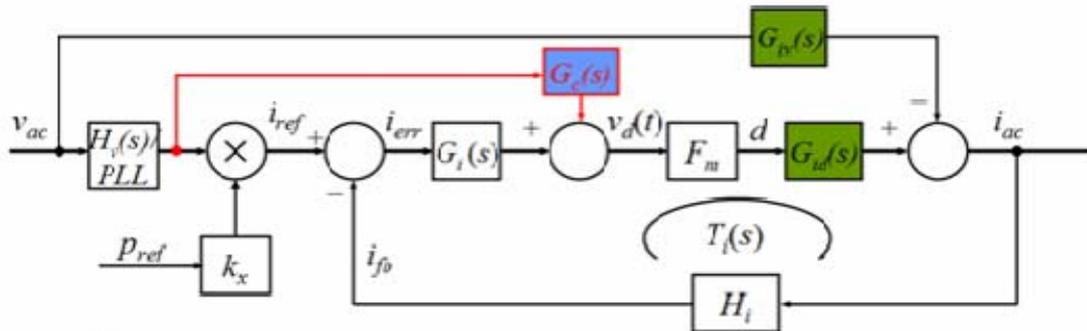


圖 3-15：補償過後的反流器控制系統的轉移函數

### 3. 系統組裝與測試

本測試主要測試四相式昇壓電路適應性變頻控制技術，控制硬體分成主電路以及 DSP 控制電路，DSP 控制電路選用 TI F2808，電流量測使用 12-bit A/D 感測，取樣週期為  $20 \mu\text{s}$ ，切換頻率為  $30\sim 70 \text{ kHz}$ ， $L_f=180 \mu\text{H}$  and  $C_{out}=510 \mu\text{F}$ ，實體組裝如圖 3-16。在測試過程中，發現於 start-up 與 shut-down 開關元件之驅動異常，如圖 3-17 與圖 3-18。為修正 start-up 與 shut-down 之異常驅動，在 start-up 方面，將 HCPL-0601 之輸入信號之分壓電阻原  $10 \text{ k}\Omega$  改為  $1 \text{ k}\Omega$ （如圖 3-17），原因為使 HCPL-0601 之輸入判斷(VF+)分壓變小，使當 HCPL-0601 5 V 信號尚未建立完成前，不要太早驅動 HCPL-0601，以致於造成 short-thru 問題；在 shut-down 方面，我們發現當 MC-33153 之 Vcc 比 DSP 之 5V 早退去時，將有 short-thru 問題（如圖 3-18），解決方式如圖 3-19，在 MC33153 加入一個電容，使其電力晚一點退去，最後組裝測試如圖 3-20，從示波器螢幕右圖顯示，系統控制器穩定在一點輸出功率上，表示控制器之設計穩定。圖 3-21 為加載測試結果，輸入電流由  $1.5 \text{ A}$  增加至  $3.2 \text{ A}$ （如藍色曲線），由實驗結果得知，輸出端電感之電流峰層線（如紅色曲線），並無太大之 overshoot 震盪現象。

若採用適應性變頻控制技術測試，與固定  $50 \text{ kHz}$  切換頻率的控制方式作比較，結果如圖 3-22，從測試結果得知於約  $380 \text{ W}$  的情況下，可以增加 1 % 的效率。圖 3-23 顯示，在不同輸入電壓之適應性變頻控制技術測試，對不同負載下  $R_L = 70 \text{ ohm}$  與  $117 \text{ ohm}$ ，仍然可以得到較佳的結果。

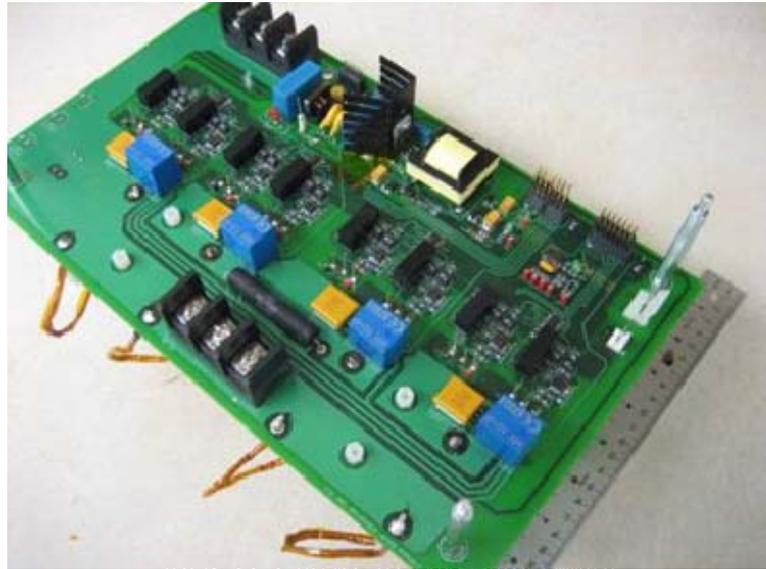


圖 3-16：四相式昇壓電路實體圖

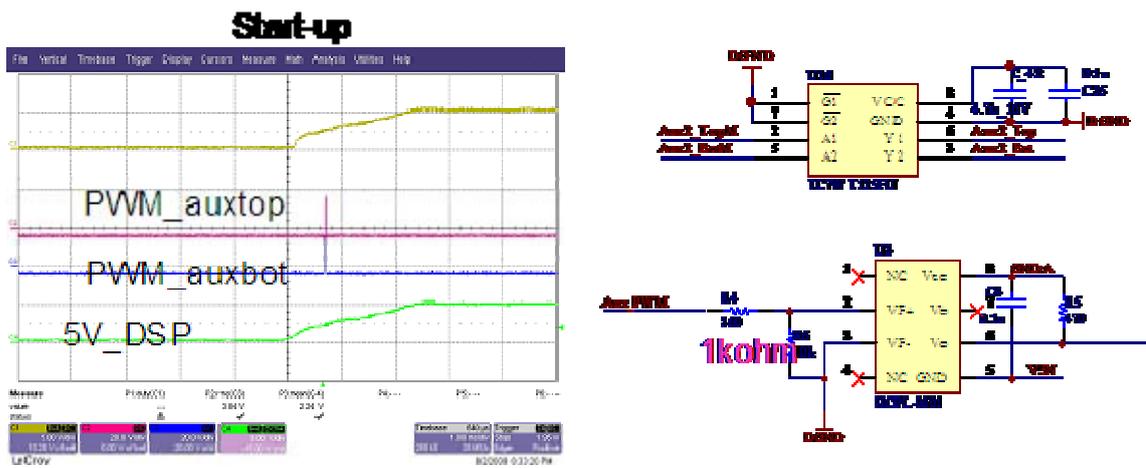
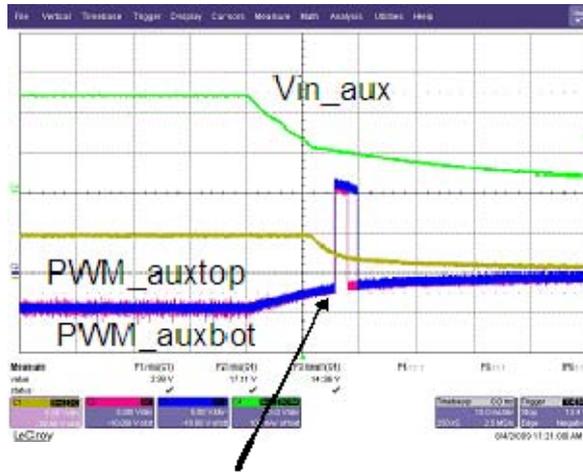


圖 3-17：Start-up 驅動信號誤動作，將有 short-thru 問題，以 1 kΩ 分壓電阻解決

### PWM turn on due to under-voltage protection



### PWM turn on due to voltage less than threshold

圖 3-18：Shut-down 驅動信號誤動作，將有 short-thru 問題

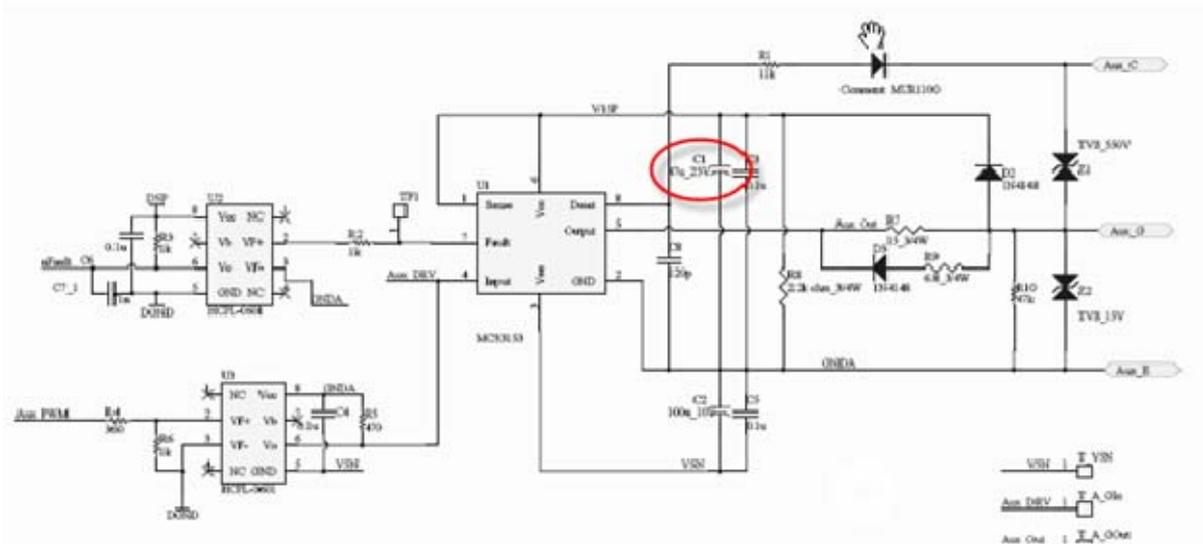


圖 3-19：加入 47 µF 電容解決



圖 3-20：示波器螢幕右圖顯示，系統控制器穩定在一點上

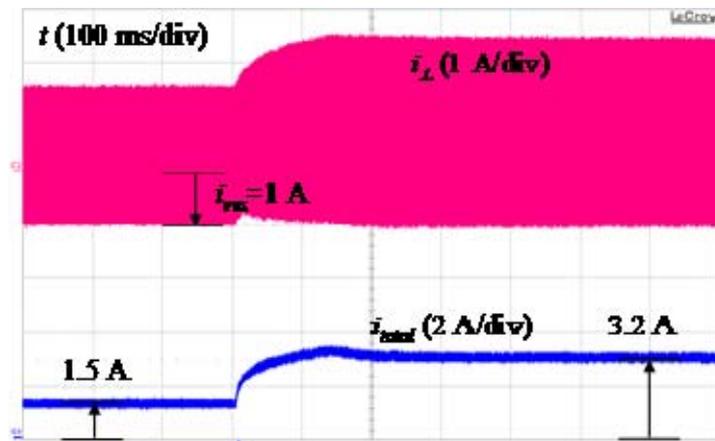


圖 3-21：實際加載電流波型

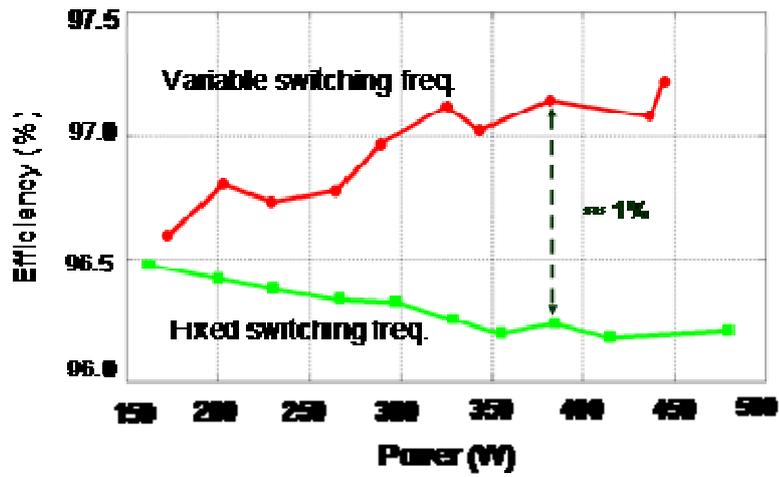


圖 3-22：適應性變頻控制技術測試

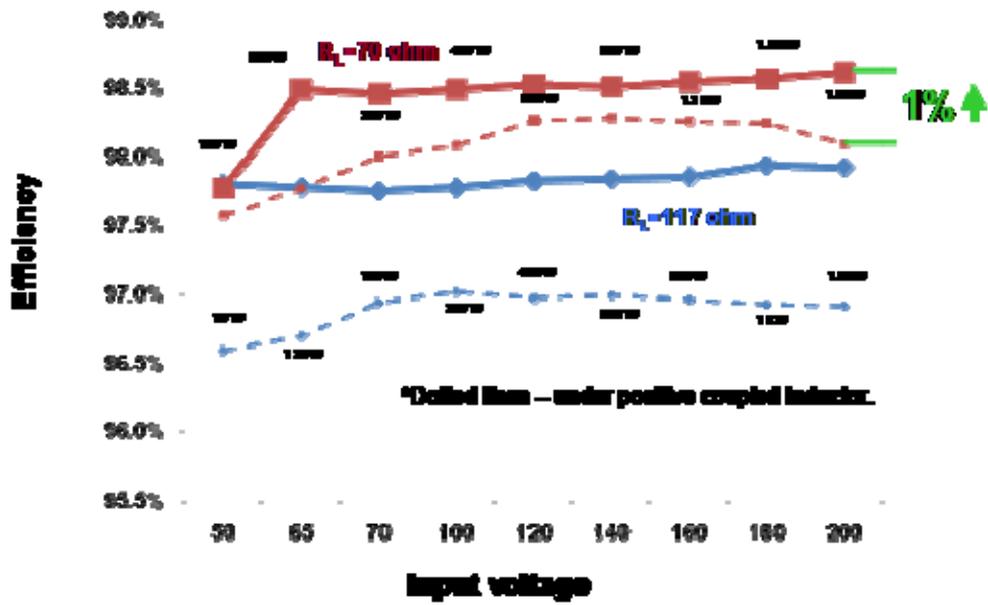


圖 3-23：不同輸入電壓之適應性變頻控制技術測試

## 四、心得（電力儲能系統）

本次研究實習觀摩是在美國里海大學(Lehigh University)，該校創辦於 1865 年，校地 1600 畝，是一所由悠久歷史悠久的私立大學，位於美國賓州伯利恆市(Bethlehem)，2009 年入學人數約 1,100 人，共有學生共近 7,000 人，師生比為持在 1 比 10 至 12，其中研究生約 2,000 人，學校以理工科見長。學校依山而建，校舍分佈在山坡上，風景優美，如圖 4-1。共有三個校區，Asa Packer 校區為主校區，Mountaintop 校區為主要的研究設施區，Murray H. Goodman 校區是各種體育設施區，總面積約 1,600 英畝。有四個學院：College of Education(教育學院)、College of Engineering and Applied Sciences(工程暨應用科學學院)、College of Arts and Science(人文暨科學學院)、College of Business and Economics(商業暨經濟學院)，該大學一直以工科為重點，其工程學在美國素享盛譽。因應全球氣氛變遷，校內著手規劃將四個學院的相關研究整合成立環境政策中心(Environmental Initiative)，以地球環境科學系及土木工程系為主導(圖 4-2 為與土木工程系 Dr. Ben T. Yen 教授合影)，研究人員背景涵蓋資訊傳播、地球科學、經濟與政策、地球環境工程，以結合科學與社會在有關環境方面的研究，研究內容包括水資源、能源與環境、全球變遷、環境與社會關係、環境智庫等。另外在 1973 年開始成立能源研究中心(Energy Research Center)，同樣是集合校內有關能源研究的各個教授、研究人員，負責學校、業者及政府單位在能源研究的規劃窗口。長期以來的研究內容主要以國家能源應用為主，該校秉持敦親睦鄰與社區服務精神，因應地球暖化問題，開始整合校內資源規劃研究有關能源與環境相關的應用，所以相關環境能源規劃研究也是一個新的研究議題，包括有關電力儲能系統方面，研究應體設施尚在整建中。在此說明有關電力儲能系統之研究實習觀摩心得。

在里海大學期間參訪 Dr. Ben T. Yen 教授的 ATLSS 實驗室(Advanced Technology for Large Structural Systems)，是屬於國家工程研究中心，以公共工程方面的實驗研究為主，圖 4-3 為 ATLSS 實驗室照片，該實驗室提供海軍、聯邦政府、州政府、地方政府及業界大型結構系統(包括橋樑、鋼鐵結構建物等)實體結構力學、動態疲勞等三軸方向的實驗，實驗之數據記錄除現場量測外，尚有中央控制室，圖 4-4 為該控制室照片，圖 4-5 為該中心 Fritz 實驗室照片，圖 4-6 為瞬間推力油壓系統，圖 4-7 為結構建物之動態疲勞實驗，圖 4-8 為鋼構塔架動態疲勞實驗，圖 4-9 為複合材料拉力實驗，外觀木箱為工安保護作用，圖 4-10 為所測試之複合材料，圖 4-11 為實體橋樑結構動態疲勞實驗，圖 4-12 為 40 公尺交通號誌打塔架基礎之態疲勞實驗。在此特別感謝 Dr. Ben T. Yen 教授在里海大學期間的協助與指導。



圖 4-1：美國里海大學校舍



圖 4-2：與 Dr. Ben T. Yen 教授合影



圖 4-3：里海大學 ATLSS 實驗室

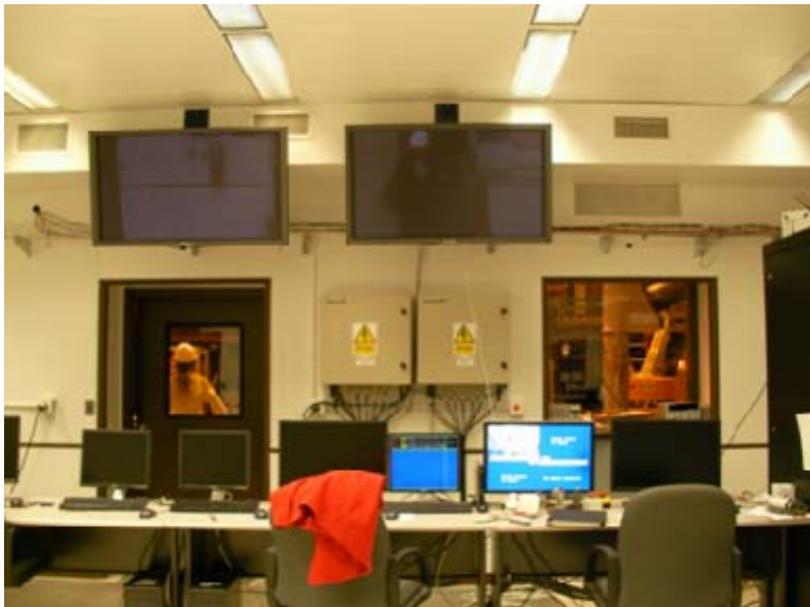


圖 4-4：里海大學 ATLSS 實驗控制室



圖 4-5：里海大學 Fritz 實驗室



圖 4-6：瞬間推力油壓系統



圖 4-7：結構建物之動態疲勞實驗



圖 4-8：鋼構塔架動態疲勞實驗



圖 4-9：複合材料拉力實驗



圖 4-10：複合材料拉力測試之複合材料



圖 4-11：實體橋樑結構動態疲勞實驗



圖 4-12：40 公尺交通號誌打塔架基礎之態疲勞實驗

距里海大學約 2 小時車程，位於賓州 Lyon Station 的 East Penn 公司，是目前世界最大的電池製造廠，如圖 4-13 為 East Penn 公司外觀，主要生產二次電池，包括鉛酸電池，應用在車輛、

太陽能儲電系統、電動車及不斷電系統，除生產製造外，該公司也重視回收系統避免環境污染問題，圖 4-14 為 East Penn 電池回收廠外觀。圖 4-15 為 East Penn 太陽能電池商品



圖 4-13：East Penn 公司外觀



圖 4-14：East Penn 電池回收廠外觀



圖 4-15：East Penn 太陽能電池商品

在此將本次研習過程有觀電力儲能系統[心得整理說明如下：

傳統的電力系統是遵循著一種大電網、大機組，以集中輸配電模式的方向發展運轉。輸電網相當於一個電能集中容器，系統中所有發電廠向該容器注入電能，使用者通過配電網路從該容器中取用電能。這種集中式輸配電模式，當大系統中的電力負荷與區域交換功率的連續增長，會逐漸增加遠距離大容量輸送電能需求，更增加了電力系統運轉的複雜度，導致系統運轉的安全性與可靠度的降低。應運而生的電力儲存技術會是提供一種簡單的解決電能供需不平衡問題的辦法。圖 4-16 即為二次電池儲能電力系統(BES)在未來電力網路系統發展之關係。

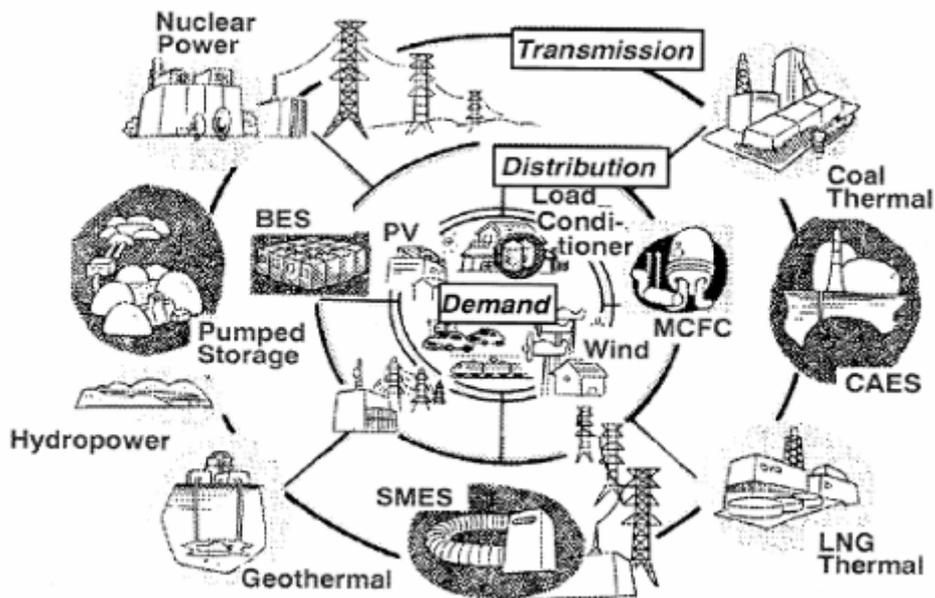


圖 4-16：儲能系統與電力網路關係

分散式發電包括新能源的太陽光電及風力發電等。在分散式發電系統中加入儲能系統就可以有效地提高能源利用率、降低環境污染。

新能源與電網系統的適應和配套問題，在當新能源發展規模不斷成長時將逐漸浮現，成為限制新能源發展和使用的瓶頸，例如風力發電的發電量受風場影響，會有明顯的間歇性現象，當在需求量要較大時可能突然停止發電量，也可能在需求量較小時發電量卻是較大（如夜間時段），造成負載追蹤、頻率控制、備載容量、虛功率和電壓調控等電網輔助系統的負擔，如此必須對電網的調度設計提出更高的要求也影響了電網運作的效率。一般風力發電場與太陽能發電廠均遠離負載區或控制中心，輸電的經濟考量使得配套電網建設相對不及，併網建設困難。

將電力儲能可以將風力發電或太陽能電在風場較大時或日照較充足時所多發的電能儲存起來，當在無風無日照或用電量需求多突然增大時予以釋放，調整發電端發電量與需求端實際需要量的均衡，解決風力發電、太陽能發電因發電量易多變及不可調峰的先天問題。

電力儲能系統還可以與具有類似效果的抽水蓄能電站不同的是，電力電池儲能不受地理條件限制，同時更具有靈活性。

## 4.1 儲能技術方案

能量存儲技術是一種提供簡單的解決電能供需不平衡問題的辦法。這種方法在早期的電力系統中已經有所應用，例如在 19 世紀後期紐約市的直流供電系統中，爲了在夜間將發電機停下來，採用了鉛酸蓄電池爲路燈提供照明用電。隨著電力技術的發展，抽水儲能電站被用來進行電網的調峰。抽水蓄能電站在夜晚或者週末等電網負載較小的時間段，將下游水庫的水抽到上游水庫，在電網負載峰值時段，利用上游水庫中的水發電，補充峰荷的需求。

儲能技術目前在電力系統中的應用主要包括電力調峰、提高系統運行穩定性和提高供電品質，整理如表 4-1 所示，主要作用可以提高發電設備利用率，減少對系統總裝機容量的要求。

各種形式的儲能電站可以在電網負載低谷的時候作爲負載從電網獲取電能充電，在電網負載峰值時刻改爲發電機方式運行，向電網輸送電能，這種方式有助於減少系統輸電網絡的損耗，對負載實施削峰填穀，從而獲取較佳的經濟效益。另一方面，和一般常用的發電機或渦輪發電機相比，應用電力儲能方式在成本方面較具優勢。因爲它在電網需求離峰時間的使用電能，用電成本較低，不像柴油發電機或渦輪發電機那樣需要消耗高成本的燃料。爲了實現效益最大化，合理選擇儲能電站的位置非常重要。

儲能裝置用於電力調峰，需要裝置具有較大的儲能容量。相對地，當容量越大，製造和控制技術會越困難。但是若將儲能裝置應用於系統穩定的控制，就可以採用小容量的儲能系統，利用快速的電能存取，提供較大的功率調節，快速地吸收“剩餘能量”、補充“功率缺額”，從而提高電力系統的運行穩定性。

將儲能電站用於用戶端，可以提高電能品質，增強系統的供電可靠性。從技術上來說，可以利用儲能裝置爲每一個使用端（包括家用、商用、工業用戶）提供不間斷的供電電源品質，讓用戶端可以自主性選擇何時通過配電回路從電網獲取電能或向電網回饋電能。

表 4-1：儲能系統在電力系統中的應用領域

應用領域	發電功能	輔助供電功能	輸配電系統應用
主要方式	電能管理 負載調節 尖峰發電	頻率調節響應 暫態備用電源 長期備用電源 虛功率控制	提高系統可靠度與新能 源結合
主要作用	提高發電設備利用率， 減少對系統總裝機容量 的要求	降低輔助設備成本	提高系統設備利用率， 延緩新增投資

## 4.2 儲能電池基本原理與標準

電池是一種能量轉化與儲存的裝置，它主要通過化學反應將化學能或物理能轉化為電能。電池是一種化學電源，它由兩種不同成分的電化學活性電極分別組成正負極，兩電極浸泡在能提供媒體傳導作用的電解質中，當連接在某一外部載體上時，通過轉換其內部的化學能來提供電能。一般電池的主要基本組成部分為：正極片、負極片、隔膜、絕緣層。

### 4.2.1 一次電池與二次電池定義

一次電池只能放電一次，二次電池(可充電電池)可反復充放電使用，可充電電池在放電時電極體積和結構之間發生可逆變化，而一次電池內部因為不需要調節這些可逆性變化，一次電池的品質比容量和體積比容量均大於一般充電電池，但內阻遠比二次電池大，因此負載能力較低，一次電池的自放電也會遠小於二次電池。儲能電力系統一般設計使用是為二次電池，因此充放電與自放電性質與特性是平估重點。

## 4.2.2 電池 IEC 標準

IEC 標準即國際電工委員會 (International Electrical Commission)，關於一般電池的標準例如鎳鎘電池的標準為 IEC60285，鎳氫電池的標準是 IEC61436，鋰離子電池的標準是 IEC61960，一般電池行業依據的是 SANYO 或 Panasonic 公司的標準。

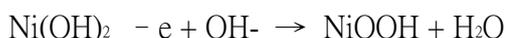
根據 IEC 標準規定，電池應在溫度為  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，濕度為  $(65\pm 20)\%$  的條件下儲存。一般而言，電池儲存溫度越高，容量的剩餘率越低。二次電池即使儲存後損失了容量，但只要重新充放電幾次既可恢復。

## 4.2.3 電化學原理

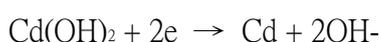
電池是一種將化學能轉換成電能的裝置，因具有可攜帶、多種組合、高能量密度，以及無排放噪音與廢氣的優點，所以應用範圍很廣。電池反應的基本電化學原理是正極與負極的氧化還原反應，以一般電池說明如下：

### (1) 鎳鎘電池

鎳鎘電池採用  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  作為正極， $\text{CdO}$  作為負極，城液 (主要為  $\text{KOH}$ ) 作為電解液，鎳鎘電池充電時，正極發生如下反應



負極發生的反應：



充電時，隨著  $\text{NiOOH}$  濃度的增大， $\text{Ni}(\text{OH})_2$  濃度的減小，正極的電勢逐漸上升，而隨著  $\text{Cd}$  的增多， $\text{Cd}(\text{OH})_2$  的減小，負極的電勢逐漸降低，當電池充滿電時，正極、負極電位均達到一個平衡值，二者電勢之差即為電池之充電電壓。

### (2) 鋰電池

鋰離子電池正極主要成分為  $\text{LiCoO}_2$  負極主要為  $\text{C}$ ，充電時

正極反應： $\text{LiCoO}_2 \rightarrow \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^-$

負極反應： $\text{C} + x\text{Li}^+ + x\text{e}^- \rightarrow \text{CLi}_x$

電池總反應： $\text{LiCoO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + \text{CLi}_x$

放電時發生上述反應的逆反應。

### 4.2.3 充電與放電

將不同的金屬導體侵入電解液中，當金屬導體與電解液發生化學變化，形成電位差（亦稱電極電位）。這兩個金屬之間便有電壓存在，如用導線接成通電回路，便有電流通。這種把物質的化學能轉變成電能的設備，稱為電池。兩個金屬導體稱為電極，電位高的稱為正極，電位低的稱為負極，在外電路中電流的方向是由負極流向正極的。隨著兩極物質與電解液不斷的作用，兩端電壓不斷下降，這種化學能轉變成電能的現象叫電池的放電。

基本的鉛酸電池反應化學式如下，圖 4-17 為充電與放電過程詳細說明。



過充電是指電池經一定充電過程充滿電後，再繼續充電的行為，對鉛酸電池，過充電產生如下反應：

正極： $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$

負極： $\text{Pb} + \text{O}_2 \rightarrow \text{PbO}_2$

由於在設計時，負極容量比正極容量要高，因此，正極產生的氧氣透過隔膜與負極產生的鉛複合。故一般情況下，電池的內壓不會有明顯升高，但如果充電電流過大，或充電時間過長，產生的氧氣來不及被消耗，就可能造成內壓升高，電池變形，漏液等不良現象。同時，其電性能也會顯著降低。

放電速率簡稱放電率，常用時率和倍率表示，(1)時率：是以放電時間表示的放電速率，即以某電流放至規定終止電壓所經歷的時間，例如某電池額定容量是 20 小時率時為 12AH 即以 C 20 為 60AH 表示，則電池應以  $12/20=0.6\text{A}$  的電流放電，連續達到 20H 者即為合格。(2)倍率：指電池的放電電流的數值為額定數值的倍數，如放電電流錶示為

0.1C 20，對於一個 12AH(C 20)的電池，即以  $0.1 \times 12 = 12A$  的電流放電，3C 20 是指 36A 的電流放電，C 的下腳標表示放電時率。

電池放完內部儲存的電量，電壓達到一定值後，繼續放電就會造成過放電，通常根據放電電流來確定放電截止電壓。0.2C-2C 放電一般設定 1.0V/個，3C 以上如 5C 或 10C 放電設定為 0.8V/個，電池過放可能會給電池帶來災難性的後果，特別是大電流過放，或反復過放對電池影響更大。一般而言，過放電會使電池內壓升高，正負極活性物質可逆性受到破壞，即使充電也只能部分恢復，容量也會有明顯衰減。

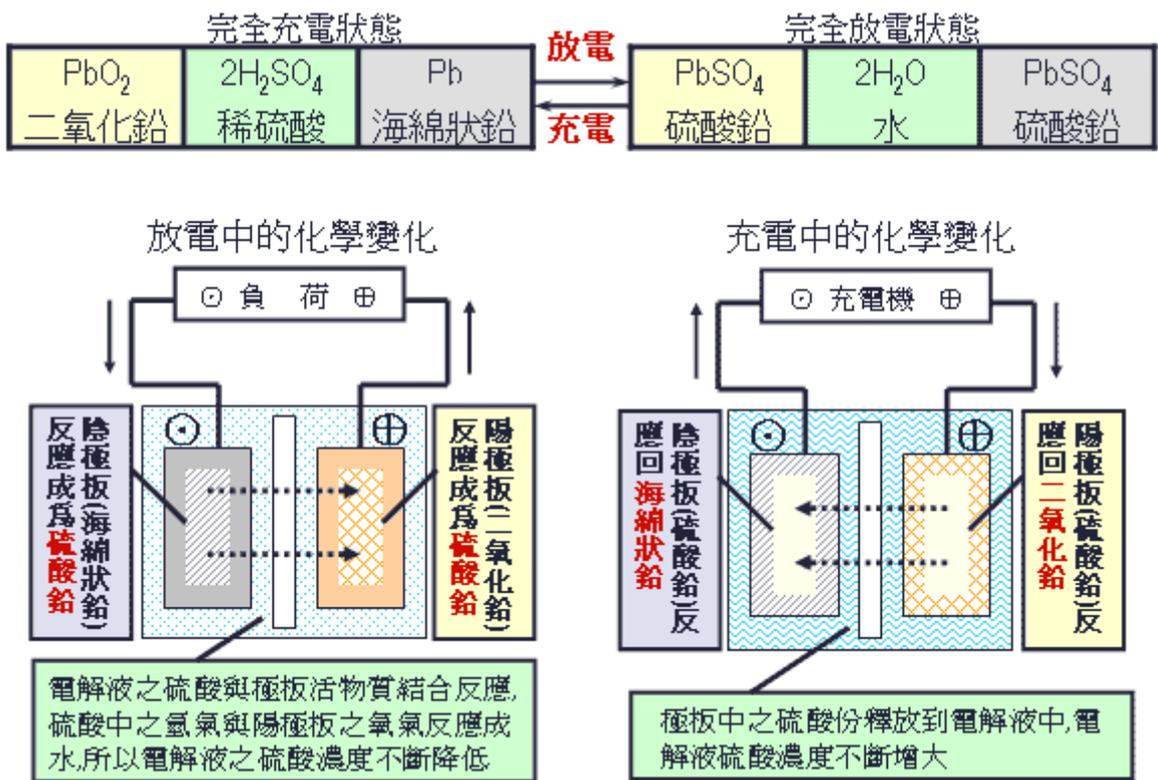


圖 4-17：鉛酸電池充電與放電過程說明

#### 4.2.4 儲能電池監控

儲能電池監控應該包括單電池電壓、電池組或電池系統之總電壓、電池浮充電異常偵測及充放電監測及溫度異常等，如圖 4-18 所示。

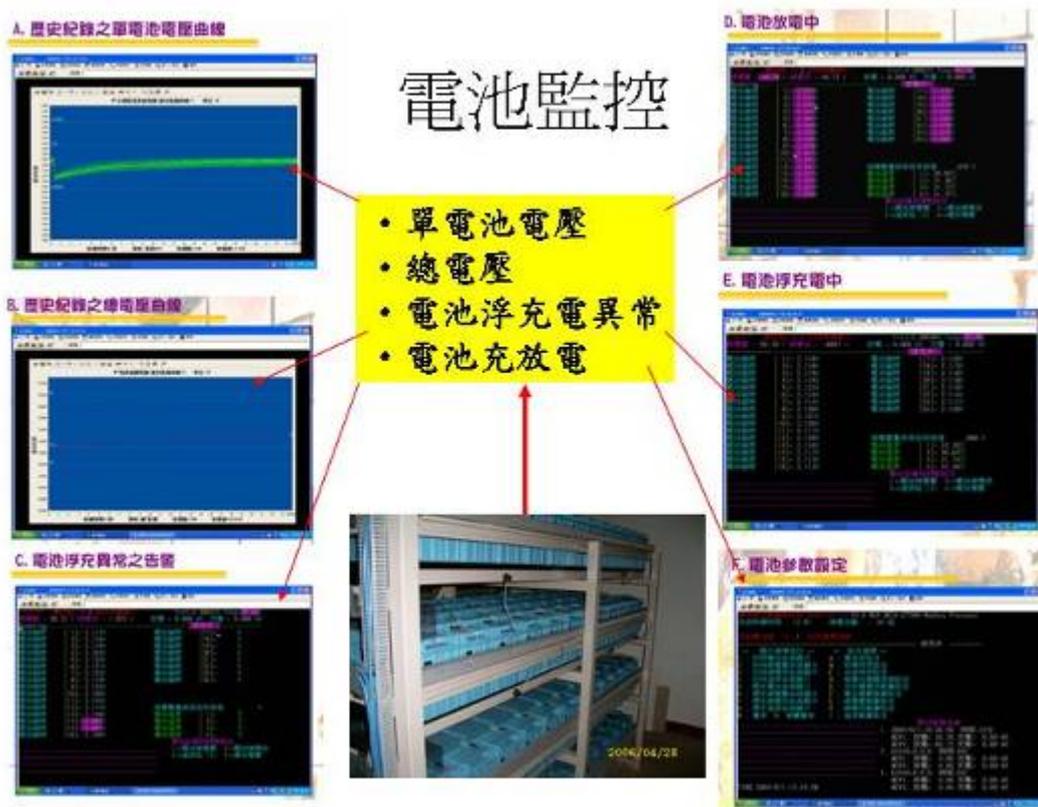


圖 4-18：電池與電池組監控系統

#### 4.2.5 二次電池

化學電源的主要特點之一是在使用時能夠放出電能，不用時能貯存電能。所謂貯存性能對於二次電池來說為充電保持能力。對於二次電池，使用壽命時衡量電池性能好壞的一個重要參數。二次電池經過一次充電和放電，稱為一個週期（或已此循環）。在一定的充放電制度下，電池容量達到某一規定值之前電池能經受的充放電次數稱為二次電池的使用週期。鋰離子電池具有優良的貯存性能和長的循環壽命。

二次電池的性能來看，鎳鎘電池所使用的溫度範圍最大，功率密度最高，儲存壽命長，安全性高，其發展技術最為成熟，在小型二次電池的發展史中佔有相當重要的一席之地。然而，其記憶效應及鎘污染的問題卻是其嚴重的致命傷。記憶效應起因於負極未完全放電而造成電極發生結晶化的情形，導致電池儲電量的喪失。假設鎳鎘電池進行

充電時尚有 20%的儲電量，則充完電後電池的儲電量僅能恢復原來的 80%，如此經過多次充放電之後電池的儲電量即愈來愈少而無法再行使用。另一方面，由於地球環境變化所造成的環保問題已逐漸受到全球主要國家的重視，污染金屬的禁用及回收等相關環境保護政策已成為各國的共識，因此鎳鎘電池的發展受到相當大的阻礙，加上鎘金屬價格昂貴、取得不易，多數廠商多以削減產能或維持現狀生產，目前主要應用領域仍以電動工具、玩具或攝影機等產品為主，其市場有逐漸被鎳氫電池取代的趨勢。

為改善鎳鎘電池的重量能量密度和記憶效應，以及解決環境污染的問題，高容量且輕量的鎳氫電池因應而生。由於其重量能量密度為鎳鎘電池的兩倍，對於電子產品輕量化的發展有很大的貢獻。但是，鎳氫電池仍具有少許的記憶效應，且充電速率比鎳鎘電池慢，因此在鋰離子電池問世後，其風采即迅速被掩蓋。然而，其製造成本低、儲電量高於鋰離子電池等優點（如表 4-2/4-3 所示），仍為其在電子攜帶式產品的使用上受到喜愛。另外，鎳氫電池的正負極在表面改質（用以提高電池的能量密度和儲電量）上，亦比鋰離子電池具有較大的空間，因此其高容量產品的研發亦持續進行著。另一方面，由於行動電話等應用產品市場汰舊換新率過高，循環使用壽命已非電池選擇的重要因素，因此鎳氫電池記憶效應的問題似乎變得不那麼重要，而其便宜的特質仍為其保有相當大的市場佔有率。

表 4-2：二次電池性能比較

電池種類	鎳鎘	鎳氫	鋰離子	鋰高分子
工作電壓(V)	1.2	1.2	3.6	3.6
體積能量密度(wh/l)	150	200	250~300	200~300
重量能量密度(wh/kg)	60	80	120	100~120
能量效率(%)	75	70	>95	>75
使用溫度範圍(°C)	-20~70	-20~40	-20~50	0~60

記憶效應	大	小(<10%)	無	無
自放電性 (20°C以下/月)	20~30%	20~30%	5~10%	—
污染問題	鎘污染	無	無	無
安全性	佳	佳	較差	佳

表 4-3：二次電池優缺點比較

	優點	缺點
鎳鎘電池	技術成熟、功率密度最高、便宜、儲存壽命長	環保問題、記憶效應、電壓低、放電不能低於 1.0V
鎳氫電池	製造成本低、能量密度優於鎳鎘電池、可與鎳鎘電池互換、儲電量高於鋰離子電池	少許記憶效應、電壓低、負極材料昂貴、充電緩慢
鋰離子電池	電壓高、重量輕、能量密度高	製造成本高、安全顧慮、儲電量低於鎳氫電池
鋰高分子電池	能量密度高、薄型、輕量、安全性高、外型不受限	電容量較鋰離子電池小、低溫時電容量易流失

鉛酸電池。儘管存在一定的缺陷，鉛酸電池仍然是蓄電池儲能中應用最廣泛的。其正負電極為二氧化鉛和鉛，以硫酸為電解質。鉛酸電池組具有吸附電解質結構，工作時形成的氧能夠復合，併能在浮充(備用)和深循環應用下工作。這種電池用於光伏或其它新能源系統最理想、最合適。鉛酸電池具有一些顯著的優勢，其成本低廉，原材料豐富，制造技術成熟，能夠實現大規模生產，且銷售渠道廣。不足之處就是鉛酸電池佔有空間比較大，效率受周圍溫度的影響比較大，且鉛等有毒物質具有一定的危險性。

## 4.3 儲能技術的發展現狀

儲能技術在包括電力系統在內的多個領域中具有廣泛的用途，這些技術可以更好地提供電力系統的電能管理，尤其是明顯應用在新能源和分散式發電領域，而且在傳統的發電和輸配電網路中，這些新技術同樣可以得到應用。以下簡要介紹各種儲能技術的重要作用、分類、基本原理及其發展現狀。

### 4.3.1 應用於分散式發電儲能分類

分散式發電中能量的存儲通常分為兩大類：以電能的形式存儲(蓄電池等)與以其它形式存儲(例如熱能、機械能等)。

蓄電池儲能(BESS)近來已成為電力系統中最有前途的短期儲能技術之一，目前在小型分散式發電中應用最為廣泛，但存在初期投資成本較高、使用壽命短、環境空氣及廢液污染等諸多問題。根據所使用的不同化學物質，蓄電池可以分為許多不同類型。

電力系統的儲能技術依產生儲能的方式來分類，如圖 4-19，包括：

- 電能儲能(Electrical energy storage)：超級電容儲能
- 電化學儲能(Electrochemical energy storage)：傳統的鉛酸電池、鋰電池、氧化還原電池等儲能。
- 動能儲能(Kinetic energy storage)：飛輪儲能。
- 位能儲能(Potential energy storage)：傳統的水力發電、壓縮空氣儲能等。
- 化學能儲能(Chemical energy storage)：氫能系統。
- 熱化學儲能(Thermochemical energy storage)：氨氣分解與重組、甲烷分解與重組等儲能。
- 磁能儲能(Magnetic energy storage)：超導磁能儲能系統。
- 熱能儲能(Thermal energy storage)：應用物質的相變性質所做之儲能系統，蒸汽與熱水的儲能等。

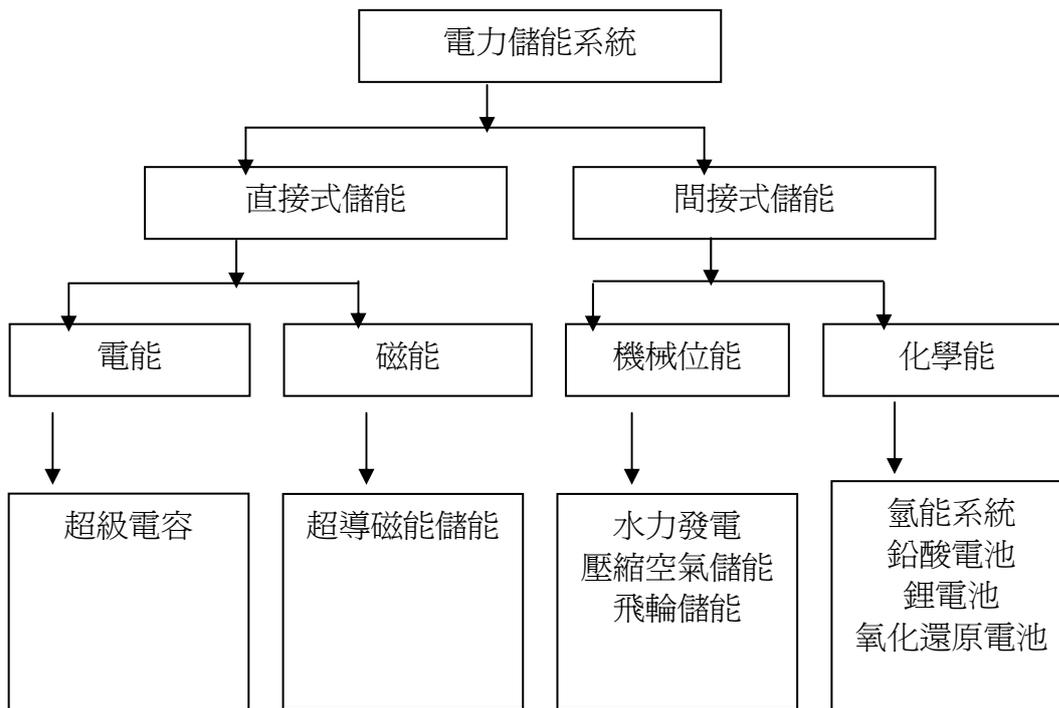


圖 4-19：電力儲能技術

### 4.3.2 各種儲能系統特點

儲能系統特點，整理如表 4-3，包括：成本、壽命、環境污染、容量、功率、安全性、技術等等，例如鉛酸電池具有低成本的優點，但是卻具有壽命短、污染環境、需要回收等缺點的特點；氧化還原液流電池則具有容量大、功率和容量獨立設計、能量密度低的優點；超導磁(SMES)具有功率高、能量密度低的優點，但成本高、需經常維護是其缺點。

表 4-3：儲能系統特點

分類	種類	特點
化學儲能	鉛酸電池	低成本、壽命短、污染環境、需要回收

	氧化還原液流電池(RFB)	容量大、功率和容量獨立設計、能量密度低
	鈉硫電池(NAB)	能量密度、功率密度高、成本高、安全性差
	金屬空氣電池	能量密度非常高、充電性能不佳
	超級電容器	壽命長、效率高、能量密度低、放電時間短
	二次電池	能量密度、功率密度高、低成高、 大功率電池存在安全問題
物理儲能	抽蓄儲能(PHS)	容量大、技術成熟、成本低、受地點限制
	壓縮空氣儲能(CAES)	容量大、成本低、受地點限制、 需要氣體燃料
	飛輪儲能(Flywheel)	功率高、能量密度低、成本高、 技術需要完善
超導儲能	超導磁(SMES)	功率高、能量密度低、成本高、需經常維護

### 4.3.3 儲能系統應用領域

依據供電時間及供電功率區分電力應用的功能和目地，可分為電力品質與不斷電系統(Power Quality and UPS)、備載電源(Bridging Power)與電源管理(Energy Management)三個主要的應用領域，如圖 4-20 所示，部份的電力系統的儲能技術只適用於小型用電需求的不斷電供能之應用，例如飛輪儲能、電容器、一般蓄電池及鋰電池；用於備載電源的儲能技術，包括超級電容器、鉛酸蓄電池、鎳鎘電池、鋰鐵磷電池等；當應用於電源管理需求的儲能技術，則包括氧化還原液流電池、鈉硫電池、鋰鐵磷電池、水力發電、壓縮空氣儲能。

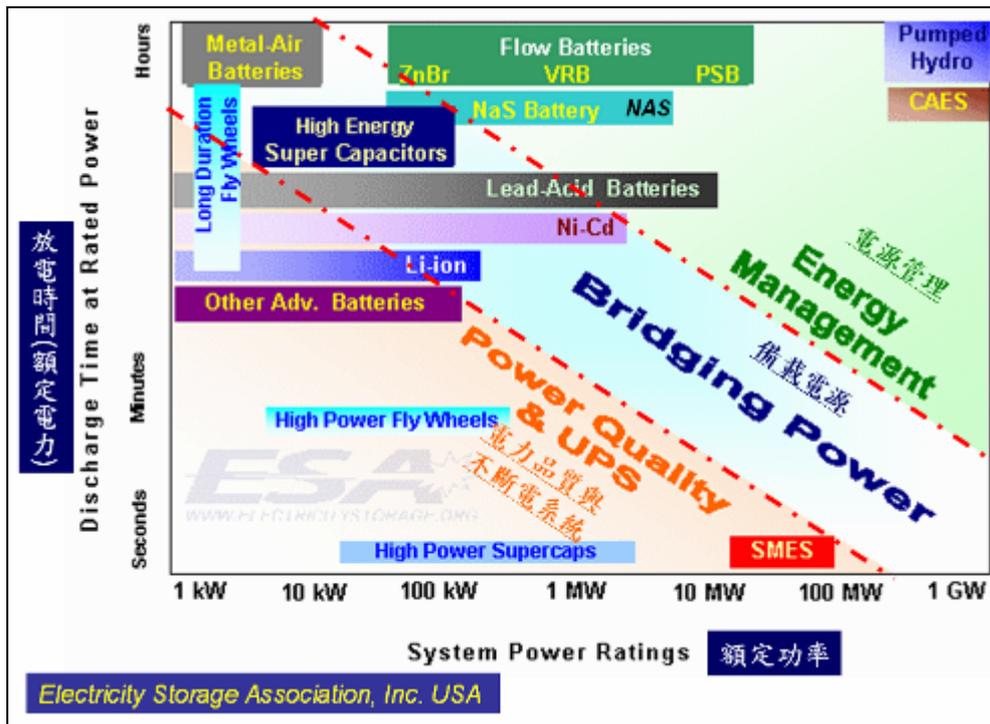


圖 4-20：各種儲能系統的應用範圍

#### 4.3.4 飛輪儲能

飛輪儲能技術，是以動能的方式把電能儲存起來，因此又可稱為「動能電池」，其儲能密度高、功率大、效率高（80~90%）、壽命長、無污染，是一項相當吸引人的設計。飛輪系統在充電時，電流流經馬達驅動飛輪增加速度，藉由飛輪旋轉運動，將能量以動能（旋轉）的形式儲存電力，特性如下：

- 原理是透過磁力使飛輪懸浮，並將飛輪在中空無摩擦損耗環境下高速旋轉產生的動能轉化為電能輸出，得到穩定可靠和清潔節的應急電力供應，同時無噪音及其他污染物的產生。
- 以動能的方式把電能儲存起來，因此又可稱為「動能電池」。
- 飛輪系統在充電時，電流流經馬達驅動飛輪增加速度，藉由飛輪旋轉運動，將能量以動能（旋轉）的形式儲存電力。
- 在放電時，則經由飛輪的旋轉帶動發電機產生電流，輸出供給負載。

飛輪儲能主要裝置：

- 用於儲存能量的飛輪。
- 用於電能與機械能量轉換的發電機(具馬達功能)。
- 用於支撐飛輪的磁浮系統。
- 用於能量交換的電力電子控制系統。
- 其他輔助裝置等。

飛輪儲能與傳統電池比較，主要優點：

- 具快速充放電、較長壽命，多出 5~10 倍。
- 低維護成本、節淨、無污染問題。
- 儲能穩定、高可靠性，不受溫度影響(-40oC)。
- 具高效率，>90%。

飛輪儲能技術是受限於材料、軸承、能量轉換等技術，在發展上卻不如預期。

飛輪儲能技術應用十分廣泛。在太空船與人造衛星方面，可同時做為儲能裝置與飛行姿態控制系統。在電力方面，可做為大功率短時間的電力暫存設備，減少電力用戶因為電壓驟降所帶來的電力品質問題。在交通運輸上，飛輪可做為電動汽車煞車時的能量回收儲能系統，也可以調節傳統汽車的引擎，不論在何種車速下都在最佳效率的轉速運轉。新能源如風力與太陽能均有發電間歇不連續的情況，飛輪儲能技術可以使新能源的供電能力減少波動。

在電力品質應用中飛輪最有效的使用是需要一些從負載電能需求中把儲存在轉動質量動能解聯的方法，將整流器(rectifier)和變流器(inverter)元件加入圖 4-21 系統中，如圖 4-22 所示，此裝置可以與許電壓與頻率控制到達飛輪儲能容量的 75%。加入變速元件可以增加系統德效率而且可以使用較小的馬達。只是多元件系統在經驗上會較麻煩、也較昂貴。

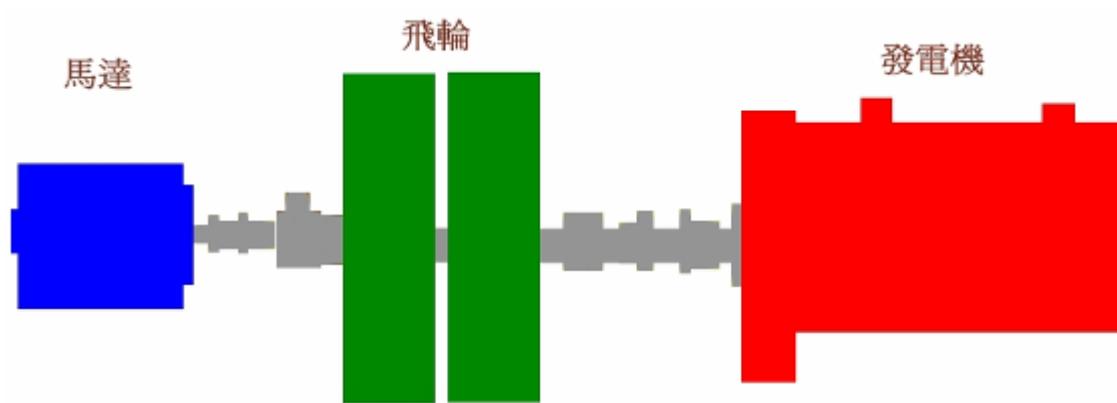


圖 4-21：使用飛輪的馬達-發電機組合

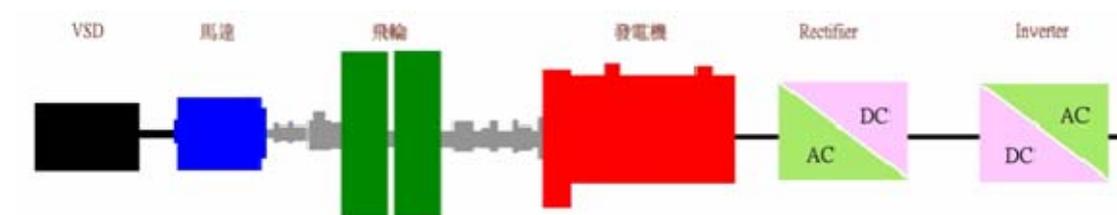


圖 4-22：外加電力電子於含飛輪的馬達-發電機組合

關於電能轉換和控制技術的精進，在圖 4-23 中元件的組合，在直流飛輪儲能系統中已有成果，可以作為 UPS 系統中電池的替代品或補充作用。雖然成本上較昂貴，但是飛輪系統的使用壽命長、維護簡化和佔地空間小，強烈成為電替代電池所考慮的選項之一。

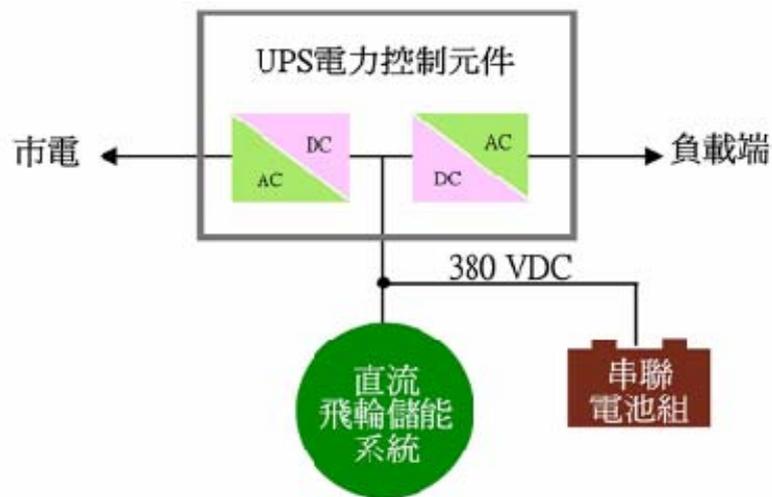


圖 4-23：使用電池或飛輪的 UPS 系統

就像電池一樣，飛輪是一種儲能元件，飛輪與電池都不是用來減少能量的消耗量，而是當正常電源供應不足失常時提供備載電源(電力)之用。這二類的儲能元件在保持充電完全的狀態下，均會因時間而自行放電損失，另外電力的損失在充電與放電時也會以能量形式損失掉，但這樣的損失機制相對於 UPS 的應用而言是不影響的，因為儲能元件並不是時常在充電與放電狀態。飛輪備載狀態下的自行放電損失約在佔額定功率 (rated power) 的 0.1 到 1.0%，這比例中包括再充電時需克服系統與相關輔助系統的摩擦損失等。電池備載狀態下的自行放電損失也是有變動範圍，例如浮充電力，大約是十分之一的飛輪自行放電損失。

依據美國能源部評估，飛輪購置成本每 kW 約 100 到 300 美元，安裝成本約每 kW 約 20 到 40 美元，維護成本一年只需每 kW 為 5 美元。

表 4-4 為電池與飛輪成本比較，在重置成本與每年維修費上，飛輪費用是比較低。

表 4-4：電池與飛輪成本比較

成本(美元)	電池	飛輪
購置	$\$13/\text{kWm} * 250 \text{ kW} * 10 \text{ minutes} = \$32,500$	$\$200/\text{kW} * 250 \text{ kW} = \$50,000$
安裝	$\$30/\text{kW} * 250 \text{ kW} = \$7,500$	$\$30/\text{kW} * 250 \text{ kW} = \$7,500$
總最初資本	\$40,000	\$57,500
每 4 年的資本重	\$40,000	

置成本		
每 5 年承擔重置成本		\$10/kW * 250 kW = \$2,500
每 7 年真空幫浦替換		\$5/kW * 250 kW = \$1,250
每年維修費	\$2.25/kWm * 250 kW * 10 minutes = \$5,625	\$5/kW * 250 kW = \$1,250
每年場地成本	0.22 ft <sup>2</sup> /kW * 250 kW * \$10/ft <sup>2</sup> = \$550	0.08 ft <sup>2</sup> /kW * 250 kW * \$10/ft <sup>2</sup> = \$200
每年備用的功率消耗費	250 kW * 8760 hours * 0.01% * \$0.063/kWh = \$14	250 kW * 8760 hours * 1% * \$0.063/kWh <sup>a</sup> = \$1,380

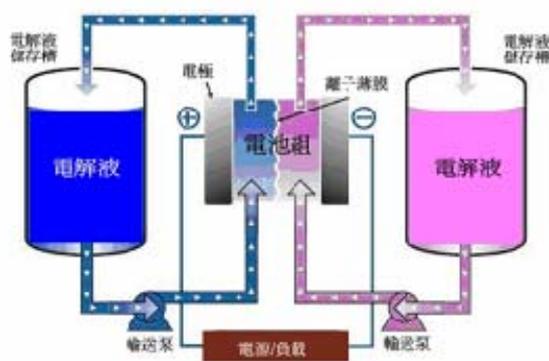
#### 4.3.5 氧化還原液流電池

氧化還原液流電池（Redox Flow Battery，RFB）是透過不同價態的離子相互轉化來實現電能的儲存與釋放，是目前化學電源中唯一使用同種元素組成的電池系統，避免了正負電池間因不同種類極性物質的相互滲透所產成的交叉污染問題。全釩氧化還原液流電池原理如圖 4-24 所示，將一定數量單電池串聯成電池組，可以輸出額定功率的電流和電壓。目前已研究使用的正負離子計有  $V^{2+} / V^{3+} \rightarrow V^{4+} / V^{5+}$ 、 $Br^+$ 、 $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ 、 $VBr_2 \rightarrow VBr_3$  等。

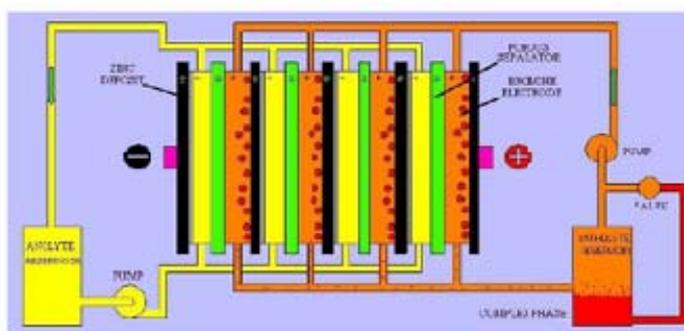
氧化還原液流電池有規模大、壽命長、成本低、效率高的主要特點。

- (1)規模大：透過改變儲槽中電解液的量，能夠滿足太陽能、風能發電過程大規模儲能容量需求；透過調整電池堆中正負半電池的對數和電極面積，滿足額定放電功率。
- (2)壽命長：電池正負極回應均在液相中完成，充放電過程僅僅改變溶液中釩離子狀態，沒有外界離子參與電化學回應，理論上可以進行無限次任意程度的充放電循環，極大延長電池的使用壽命。國際上建成的 VRB 實驗電堆，經過 13000 次循環充放電，驗證系統的穩定性和技術可靠性，其壽命遠高於現有的鉛酸電池系統。
- (3)成本低：在電池關鍵材料製備與選取方面，立足國產化、規模化和低成本化的指導原則，所開發的 VRB 系統成本遠遠低於燃料電池等化學電源，具有強有力的市場競爭能力。

(4)效率高：由於正負半電池電解液中的活性物質分別儲存在不同的儲槽中，完全避免電解液保存過程的自放電消耗。VRB 系統可以對儲能容量和放電功率分別進行獨立設計，經過優化的電池系統充放電效率高達 80%。



(a)



(b)

圖 4-24：氧化還原液流電池作用原理

跟據加拿大的 VRB Power Systems 公司對於 VRB-ESS 儲能系統在設計建造、運行維護、系統性能等方面所評估的技術優勢如下：

(1)設計和建造

(a)採用快速設計和建造，包括環境許可，通常為 6—8 個月。

(b)現有系統快速升級，只需通過增加電解液容量來實現提高存儲容量，實現成本低；並可通過增加電堆數量來提高輸出功率。

(2)運行與維護

- (a)運行溫度低，環境溫度變化影響小。
- (b)資料獲取監控系統 SCADA 介面支援互聯網連接或撥號連接。Modbus 匯流排界面可支援與其他輔助系統的互聯。
- (c)電力控制採用先進的多象限電流控制技術，允許輸出電力相位控制、電壓漂移補償、低諧波失真、反應電流補償（PFC）、暫態高負載容量，增加系統的性能穩定。並具有多層、加密控制 PLC。
- (d)低成本維護。VRB-ESS 系統維護成本為\$0.008/kWh。

### (3)系統性能

- (a)電池壽命長，電池正負極反應均在液相中完成，充放電過程僅僅改變溶液中鈳離子狀態，沒有外界離子參與電化學反應，重複充放電不會造成電池容量下降，VRB-ESS 系統充放電可超過 10000 次（20%—80%SOC）。
- (b)系統效率高，由於正負半電池電解液中的活性物質分別儲存在不同的儲槽中，完全避免電解液保存過程的自放電消耗。系統迴圈效率可達 65—75%。
- (c)理論充放電速度比為 1:1（實際為 1.8:1），允許非高峰時間充電，高峰時間放電，將不穩定的電能輸入變為連續、安全可靠的電能輸出，改善電網安全性和可靠性，是風力發電領域理想的儲能系統。

VRB Power Systems 公司將 VRB-ESS 儲能系統應用於澳大利亞 King Island 風力發電系統，提供穩定、可靠的電力輸送。King Island 位於澳大利亞南海峽，具有豐富的風力資源，原本採用的是 4 個 1500kW 柴油機發電機組，後來增加了 3 個 250kW 和 2 個 850kW 的風力發電機組。但風電機組由於輸出電力不持續穩定，因此採用 VRB-ESS 儲能系統解決這一問題。

VRB-ESS 儲能系統用於穩定風力發電中短時電力輸送變化和負載變化，提供頻率和電壓控制，實施系統“負荷轉移”，優化柴油機和風力發電混合系統的運行性能。VRB-ESS 系統的應用減少了柴油機發電機組的運行負荷，因此減少了燃料的成本和柴油機組排出的廢氣污染。同時也提供了 King Island 地區工業和民用需要的穩定電力供應。

VRB Power Systems 公司 VRB-ESS 儲能系統基本參數：

儲能容量：1100kWh。

持續輸電功率：200kW（4 小時）。

峰時最大輸出功率：400kW（10 秒）、300kW（5 分鐘）。

由表 4-5 可以看出 VRB-ESS 儲能系統的應用，不僅可以穩定風電機組供電性能、改善電網可靠性，而且具有很好的經濟效益和環保效益。

表 4-5：經濟和環境效益

效益專案	效益量	效益	年收益
減少熱備用	8 小時/日	節約燃料 440L/日	\$91,500
提高運行效率	25L/小時低燃料消耗	節約燃料 440L/日	\$83,200
捕捉溢出風力	1100kWh/日	節約燃料 260L/日	\$51,200
減少維護成本	每日減少機組 12 運行小時	延長維護週期	\$23,000
總計		\$248,900（3.5 年收回成本）	
減少排放	4,000,000 kg/yr CO <sub>2</sub>		
	99,000 kg/yr NO <sub>x</sub>		
	75,000 kg/yr 未燃碳氫化合物		

圖表來源：VRB Power Systems 公司資料，\$單位為美金。

圖 4-25 為移動式全釩氧化還原液流電池系統，上方塑膠桶各裝電解液，綠色的 V<sup>3+</sup>、藍色的 V<sup>4+</sup>。經下方電池組氧化(V<sup>4+</sup>為藍色→V<sup>5+</sup>為黃色)還原(V<sup>3+</sup>為綠色→V<sup>2+</sup>為紫色)反應後，由顏色改變即可清楚看出電力使用情況。

探討 VRB 主要研究內容可由分析其結構方面著手，即電池→電池組→電池堆→儲能系統，圖 4-26 可以看出 VRB 電池堆的組成，圖 4-27 為儲能系統的組成，包括 Inverter 和控制系統。

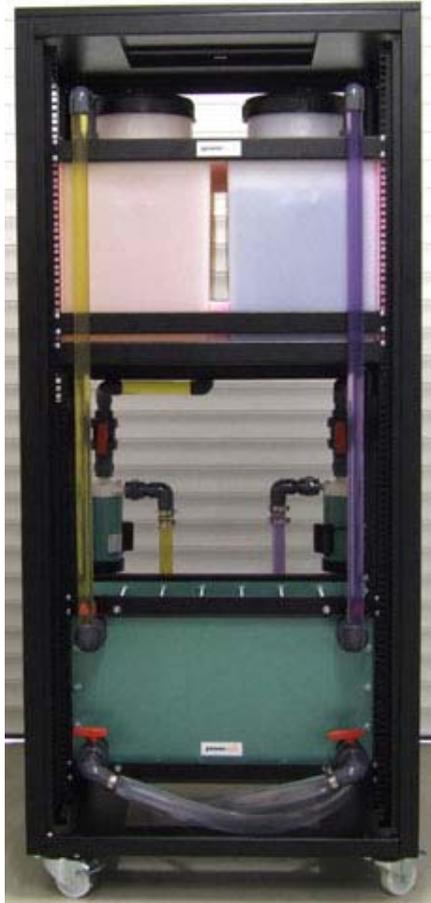


圖 4-25：移動式 VRB 系統

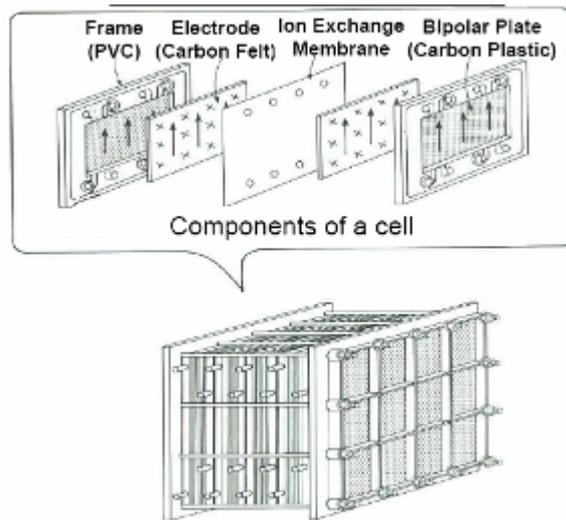


圖 4-26：VRB 電池推的組成示意圖

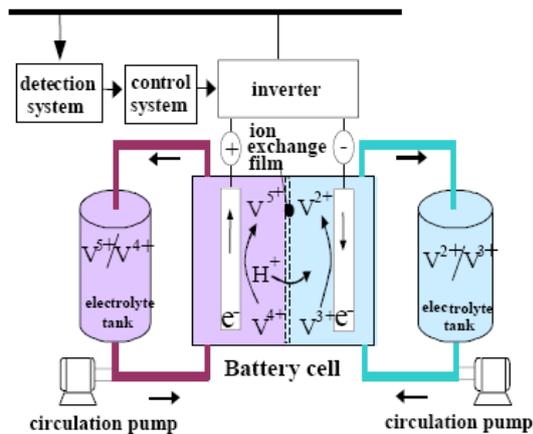


圖 4-27：組成 VRB 儲能系統示意圖

目前，全鈦氧化還原液流電池處於開始進入商業化應用的初期階段，若要大規模應用還需進一步提高電池關鍵材料的性能，包括電極材料的選擇、製備，提高電極的穩定性、電化學反應活性、可逆性，延長電極使用壽命；改善離子交換膜的  $H^+$  選擇透過性，降低鈦離子的滲透性，延長使用壽命。VRB 主要研究內容為：

- 改進電解液、電池和電極設計、系統研究開發全鈦氧化還原液流電池。
- 主要包括：電解液、電極與雙極板集流體研究、質子交換隔膜製備與檢驗，全鈦氧化還原液流電池關鍵材料規劃分別說明如下。

建置全鈦氧化還原液流儲能系統(VESS, Vanadium Energy Storage System)，可考慮配合微型電網所規劃之容量與相關電壓與電力規格，規劃示範系統的規格，例如：150kW、三向 380V 輸出電壓等。需要考慮的規格有額定輸出功率(kW)、額定輸出容量(kWh)、DC 電壓範圍、DC 電流、電池數量與組裝(cells)、電解液、儲存槽容量、電池效率、系統效率。Inverter 規格：容量(kVA)、AC/DC 電壓、效率等。

整體系統除硬體部份的變流器、電池堆及電解液儲存槽外，尚包含三大次系統，即控制、電力、流體力學等次系統，如圖 4-28。

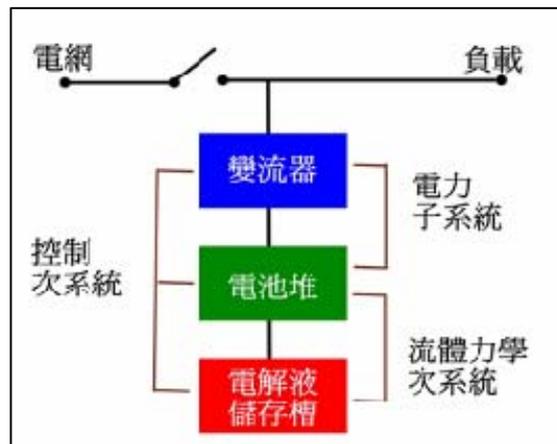


圖 4-28：一般 VESS 系統架構

- (1) 流體力學次系統，包含電解液儲存槽、輸送管路、泵、熱交換器、控制閥等。
- (2) 電力次系統，包含電池堆中電池組等電極界面、電力傳導系統 (Power conditioning system, PCS) 與雙向變流器 (bi-directional inverter)。
- (3) 控制次系統，包含調控泵的可變速馬達、控制閥流量的電池閥開關、感測器語等。

#### 4.3.6 鈉硫電池

鈉硫電池是美國福特公司於 1967 年發明公佈，電池通常是由正極、負極、電解質、隔膜和外殼等幾部分組成。一般使用的二次電池，包括鉛酸電池、鎳鎘電池等都是由固體電極和液體電解質構成，然而鈉硫電池則與之相反，它是由熔融液態電極和固體電解質組成的，構成其負極的活性物質是熔融金屬鈉，構成其正極的活性物質則是硫和多硫化鈉熔鹽，由於硫是絕緣體，所以硫一般是填充在導電的多孔的炭或石墨氈裏，固體電解質兼隔膜的是一種專門傳導鈉離子被稱為  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的陶瓷材料，外殼則用不銹鋼等金屬材料包覆著。鈉硫電池目前的成本約為二千五百美元/kW。

鈉硫電池作為新型化學電源家族中的一個新成員出現後，已在世界上許多國家受到極大的重視和發展。由於鈉硫電池具有高能電池的特點，所以一開始發展其作為電動汽車用的動力電池，但隨著時間研發與應用，鈉硫電池在非固定之移動場合下(如電動汽車)使用條件比較苛刻，無論從使用可提供的空間、電池本身的安全等方面均有一定的

局限性。所以轉而發展重點在鈉硫電池作為固定場合下(如電站儲能)的應用，發揮旗顯著的優越性。如日本東京電力公司(TEPCO)和 NGK 公司合作開發鈉硫電池作為儲能電池，其應用目標瞄準電站負載調控(即起削峰平谷作用，將夜晚多餘的電存儲在電池裏，到白天用電高峰時再從電池中釋放出來)、UPS 應急電源及瞬間補償電源等，並於 2002 年開始進入商品化實施階段，已建成世界上最大規模(8MW)的儲能鈉硫電池裝置。

研究發展中的鈉硫電池，已經用在一些電動車上。放電時，鈉與陶瓷態氧化鋁電解質反應，放出電子，從陽極流出進入電池驅動的電路，如圖 4-29 下方所示。離子態的鈉接著和硫結合，需要從陰極獲得電子。反應是可逆的，因此電池可以充電。這種電池相較於其他充電電池（鉛酸電池、鎳鎘電池或鎳氫電池），優點在於可以用較小較輕的電池供應同樣的電能。不過，因為必須將化合物加熱到熔融態，而且純鈉非常容易起反應，電池外殼的破損或是陶瓷態電解質都存在危險性。

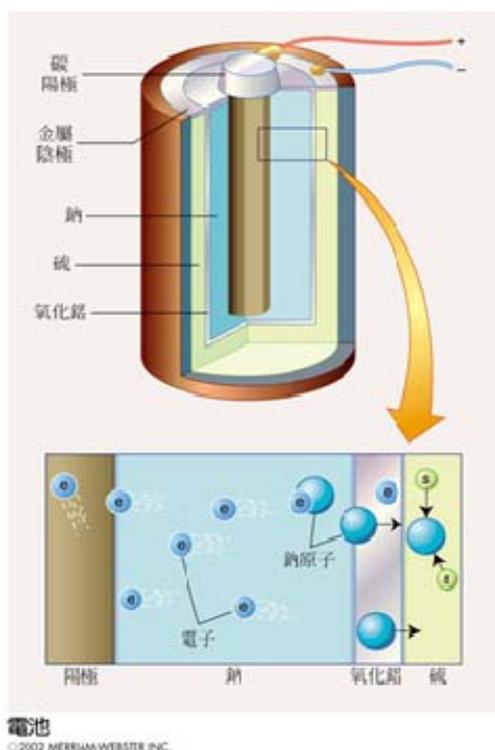


圖 4-29：鈉硫蓄電池基本構造

鈉硫電池具有許多特點：(1)比能量(即電池單位品質或單位體積所具有的有效電能量)高。其理論比能量為 760Wh/Kg，實際已大於 100Wh/Kg，是鉛酸電池的 3-4 倍；(2)可大電流、高功率放電。其放電電流密度一般可達 200-300mA/cm<sup>2</sup>，並暫態間可放出其 3 倍的固有能量；(3)充放電效率高。由於採用固體電解質，所以沒有通常採用液體電解質二次電池的那種自放電及副反應，充放電電流效率幾乎 100%。

當然，鈉硫電池也有不足之處，其工作溫度在 300-350℃，所以，電池工作時需要一定的加熱保溫。但採用高性能的真空絕熱保溫技術，可有效地解決這一問題。

鈉硫電池是以 Na—Beta-氧化鋁為電解質和隔膜，並分別以金屬鈉和多硫化鈉為負極和正極的二次電池。鈉硫電池用於儲能具有獨到的優勢，主要體現在原材料和製備成本低、能量和功率密度大、效率高、不受場地限制、維護方便等方面。鈉硫電池已經成功的用於離峰儲電、緊急電源、風力發電等可新能源的穩定輸出以及提高電力品質等方面。目前在國外已有 100 餘座鈉硫電池儲能電站在運行中，涉及工業、商業、交通、電力等多個行業，是各種先進二次電池中最為成熟的一種，也是最具有潛力的一種先進儲能電池。

電池(cell)安全的三項基本原理已應用在鈉硫電池的設計上，Area Brown Boveri (ABB)的鈉硫電池設計自從 1985 年開始即很少改變。圖 4-30，ABB 鈉硫電池的主要成份是有一個圓柱的金屬電池殼，直徑 35mm、長 230mm，同時作為電流收集板，一個充滿硫的石墨毛氈當作的硫電極，一個管型的β-氧化鋁電解質內包圍著金屬容器與鈉電極，將硫電極置入電池外殼內，接著內含鈉電極的電解質管而組成一個電池。在充電階段時加一氣體以使鈉電極接觸到電解質表面。電解質管被β-氧化鋁—玻璃—α-氧化鋁封裝以及α-氧化鋁—金屬熱壓封裝等所隔離。ABB 設計圖 4-31 的鈉硫電池具有 38 安培小時的電量。

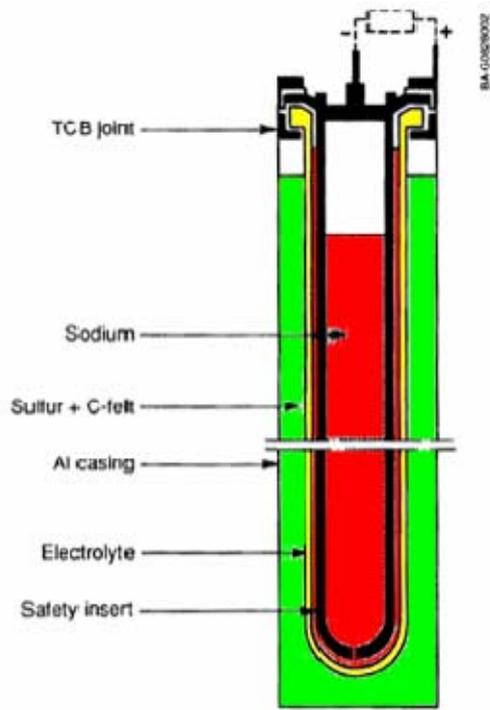


圖 4-30：ABB 的鈉硫電池設計

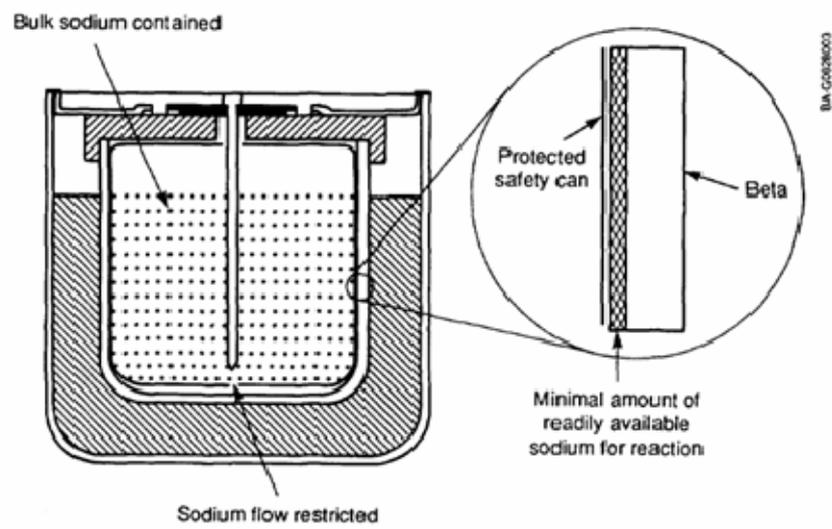


圖 4-31：CSPL 的鈉硫電池設計

## 五、建議事項

### 5.1 發展新能源智慧型電網科技研究

目前各國紛紛積極投入發展新能源與智慧型電網科技研究領域，不同的新能源架構與電力架構不斷開發出來，而最終的目的就是要產生電力與達成節能減碳之目標。而這些不斷增加的新且特定之能源輸出規格需求，使得先進電力電子研究領域越加彰顯其重要性。然而，電力電子研究領域的特性乃需要長期經驗的累積，因此長時間的人力維持、降低人員異動與團隊的建立需提早進行。終其而言，電力電子將扮演最終整合各項能源的角色，高效率的電力電子更攸關新能源發電成本之關鍵因素。因此電力電子在能源領域是不可或缺且值得投入研究的項目之一。

### 5.2 發展高效率的電力電子在能源領域之研究

電力電子開發所需投資的成本，相對於能源材料開發上所需投資的成本相對低廉。而台灣在電子製造產業上有著顯著的成就，含括健全的電子製造鏈之上、中、下游產業，這便是台灣下一階段的契機。因此，因應能源相關電力電子供應與需求，建議本所成立電力電子研發實驗室，集中專業，專心研究，發揮團隊精神，負責跨組支援風能、太陽能、燃料電池等不同能源選項之電力轉換器電力轉換器與控制器設計，包含未來分散式發電(DG)的發展與需求。不僅以引進國外先進能源電力電子技術為策略，更為國內產業預先培育能源科技人才，以國內現有電子製造業之規模與能力，相信必能逐步建立國內先進能源電力電子能量，進而帶動產業，為台灣創造能源科技的高峰。

### 5.3 發展電力儲能技術在電力系統的應用與研究

儲能技術在電力系統的應用領域中，有關主要研究議題：(1)快速高效低成本儲能技術。成本過高是限制目前各種儲能技術推廣應用的共同問題之一，提高能量轉換效率和降低成本是儲能技術研究的一個重要方向。另外，將儲能技術用於提高電力系統穩定性時，電能存儲和釋放的速度將對控制性能起決定作用。(2)儲能系統在輸配電系統中的

應用研究，包括儲能電源的合理規劃、儲能系統與現有電網之間的柔性聯接技術、先進的控制調節技術以及儲能系統與新能源等相結合的技術研究。(3)包含儲能系統的電力系統運行分析計算理論和方法。必須在充分理解含儲能裝置的電力系統的動態特性的基礎上，研究在電力系統各類動態條件下儲能裝置內部的複雜非線性電磁問題，以及儲能裝置和現有電力系統元件之間的相互作用。(4)市場化條件下利用儲能裝置實現能量管理的理論和方法。例如，必須在能夠向儲能裝置的擁有人連續提供即時電價資訊，如當日電價或者供電費用等的前提下，才能使儲能裝置的作用得到充分的發揮。儲能技術在電力系統中的應用，以及主要研究問題。顯示各種各樣的儲能系統技術提供了具有很寬時間範圍的儲能功能，從幾秒鐘到數十小時，這些對解決電力系統的供電壓力，改善電力系統的穩定性，提高供電品質提供了新的思考和有效的技術支援。也正因為如此，目前先進國家，都在積極開展這方面的研究，並將其用於分散式智慧型電網電力系統中，提供電力系統安全高效運行的技術支援。

## 六、參考文獻

- [1] Junhong Zhang, Jih-Sheng Lai, and Wensong Yu, “Bidirectional DC-DC converter modeling and unified controller with digital implementation”, *Applied Power Electronics Conference (APEC'08)*, 2008, pp. 1747–1753.
- [2] Jih-Sheng Lai, Junhong Zhang, Huijie Yu, and Heath Kouns, “Source and Load Adaptive Design for a High-Power Soft-Switching Inverter”, *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 21, No. 6, Nov. 2006, pp. 1667–1675.
- [3] Junhong Zhang and Jih-Sheng Lai, “A Synchronous Rectification Featured Soft-Switching Inverter Using CoolMOS”, *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC '06)*, Twenty-First Annual IEEE, 2006, pp. 810–815.
- [4] Jih-Sheng Lai, Sung-Yeul Park, Seungryul Moon, and Chien Liang Chen, “A High-Efficiency 5-kW Soft-Switched Power Conditioning System for Low-Voltage Solid Oxide Fuel Cells”, *Power Conversion Conference (PCC'07)*, Nagoya, April 2007, pp. 463–470.
- [5] Changrong Liu, Amy Johnson, and Jih-Sheng Lai, “A Novel Three-Phase High-Power Soft Switched DC/DC Converter for Low Voltage Fuel Cell Applications”, *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC'04)*, Nineteenth Annual IEEE, 2004, pp. 1365–1371.
- [6] Changrong Liu, Amy Ridenour, and Jih-Sheng (Jason) Lai, “Modeling and Control of a Novel Six-Leg Three-Phase High-Power Converter for Low Voltage Fuel Cell Applications”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 21, No. 5, Sept. 2006, pp.1292–1300.
- [7] Jih-Sheng Lai, “A High-Performance V6 Converter for Fuel Cell Power Conditioning System”, *Power Electronics Specialists Conference (PESC'05)*, IEEE 36th, 2005, pp. 624–630.

- [8] Jih-Sheng Lai, Junhong Zhang, Huijie Yu and Heath Kouns, “Source and Load Adaptive Design for a High-Power Soft-Switching Inverter”, *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol. 21, No. 6, Nov. 2006, pp. 1667–1675.
- [9] 統力電池，[http://www.gy-zyi.com.tw/en\\_Battery\\_2\\_3.aspx](http://www.gy-zyi.com.tw/en_Battery_2_3.aspx)
- [10] 謝錦隆，新能源電力儲能系統，*核能研究所所內報告(INER-P0194)*，中華民國 96 年 9 月。
- [11] Electricity Storage Association (ESA), Technologies — Flywheels, 2007。
- [12] Cheol-Wan Park, Discharge properties of all-solid sodium–sulfur battery using poly (ethylene oxide) electrolyte, *J. Power Sources*, 450-454, 2007。
- [13] NaS Battery Energy Storage, *American Electric power*, April, 2009。
- [14] The VRB Energy Storage System - An Introduction to Wind & Integration of VRB-ESS, <http://www.vrbpower.com/>。