

第二期 能源國家型科技計畫 103年度成果發表會

大功率併網型轉換器開發



第二期能源國家型科技計畫
National Energy Program-Phase II

報告者: 吳財福教授

計畫主持人

教授, 國立清華大學電機系(NTHUEE)

Email: tfwu@ee.nthu.edu.tw

參與教授：
吳財福 教授(清華大學/電機系)
陳裕愷 教授(虎尾科大/飛機系)
鄭博泰 教授(清華大學/電機系)
林景源 教授(台灣科大/電子系)
余國瑞 教授(中正大學/電機系)

目錄

- 一. 大功率併網型轉換器
- 二. 已完成結果
- 三. 技術重點
- 四. 與相關計畫配合情形
- 五. 本計畫智財產生之可能性說明

一.大功率併網型轉換器開發

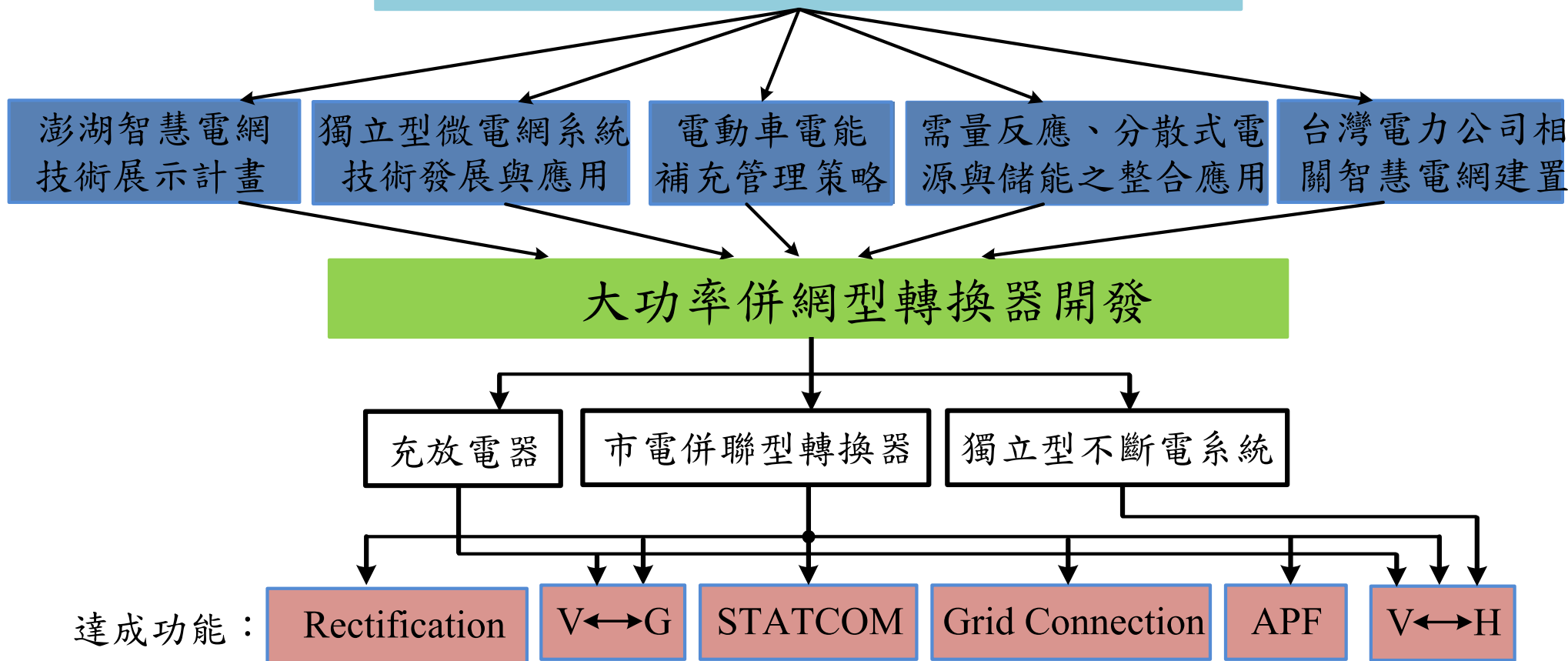
(一)研究目的

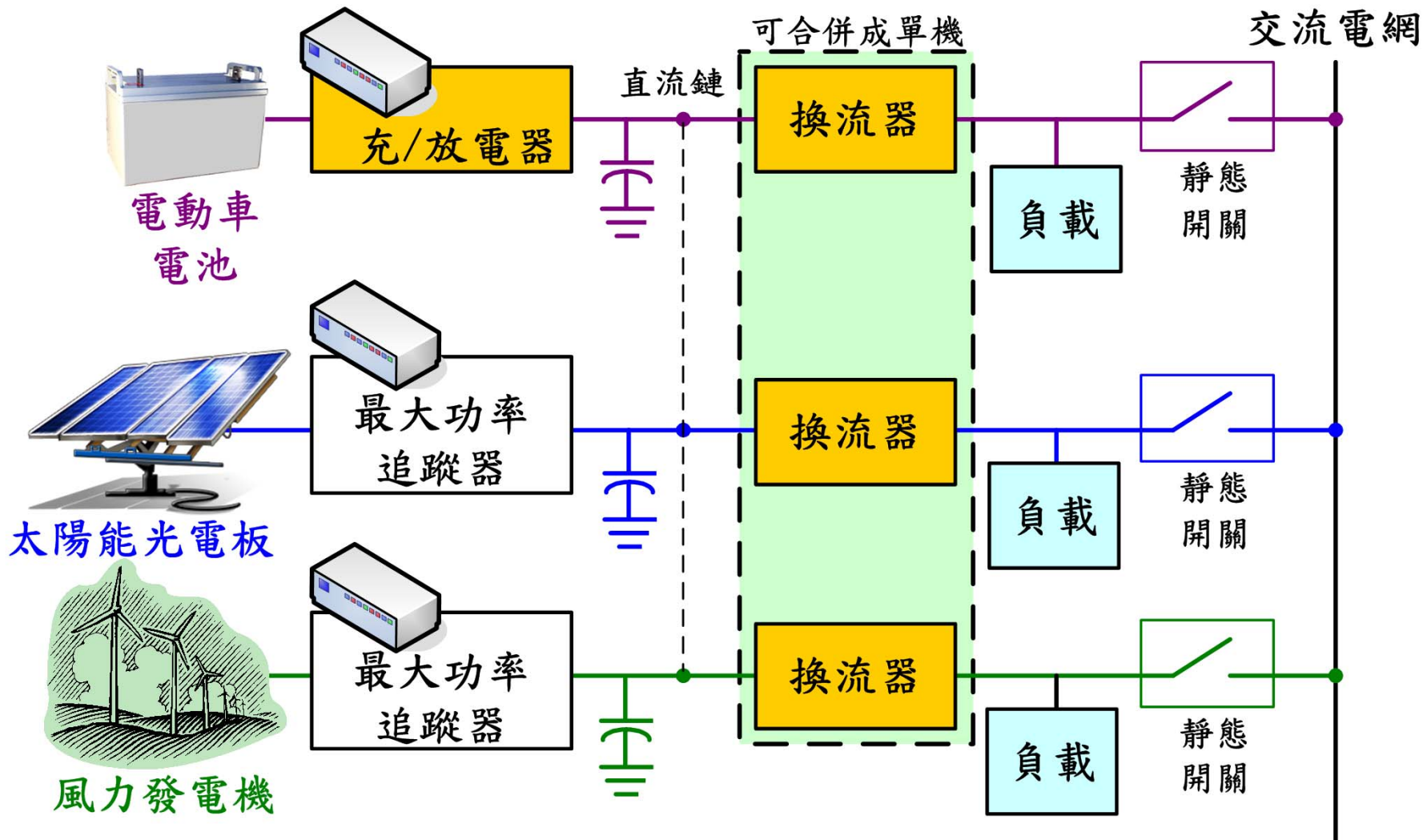
配合「台灣智慧電網總體規劃」，建置智慧電網示範場域，建立產業鏈、促進經濟發展；其中多項計畫均需使用大功率轉換器，藉此帶動相關產業，投入開發和生產，培育開發人才，因此本計畫之研究目的歸納如下：

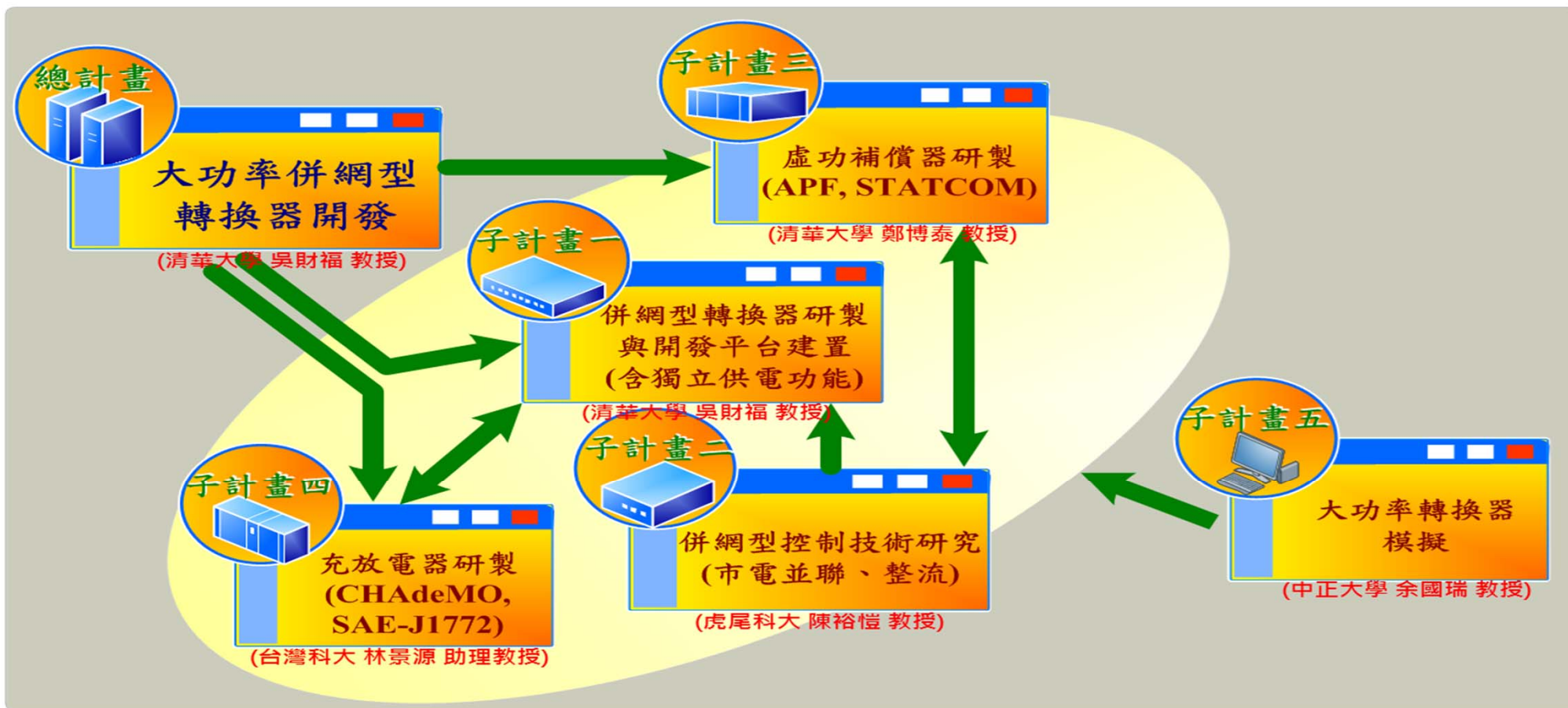
- 開發併網型百kW級轉換器，其功能包括市電併聯、整流，主動電力濾波(APF)及靜態虛功補償(STATCOM)。
- 因應電動車與電網之潮流管理需求，開發 $V \leftrightarrow G$ 、 $V \leftrightarrow H$ 雙向電能轉換器和其充/放電器。
- 為因應孤島供電需求或獨立供電模式，本計畫亦將會開發交流穩壓控制之轉換器。
- 結合廠商開發成為原型機，並可實際建置於示範場域。
- 建立大功率轉換器開發平台、培育技術人才，持續為產業注入新血。

(二)研究內容

智慧電網與讀表



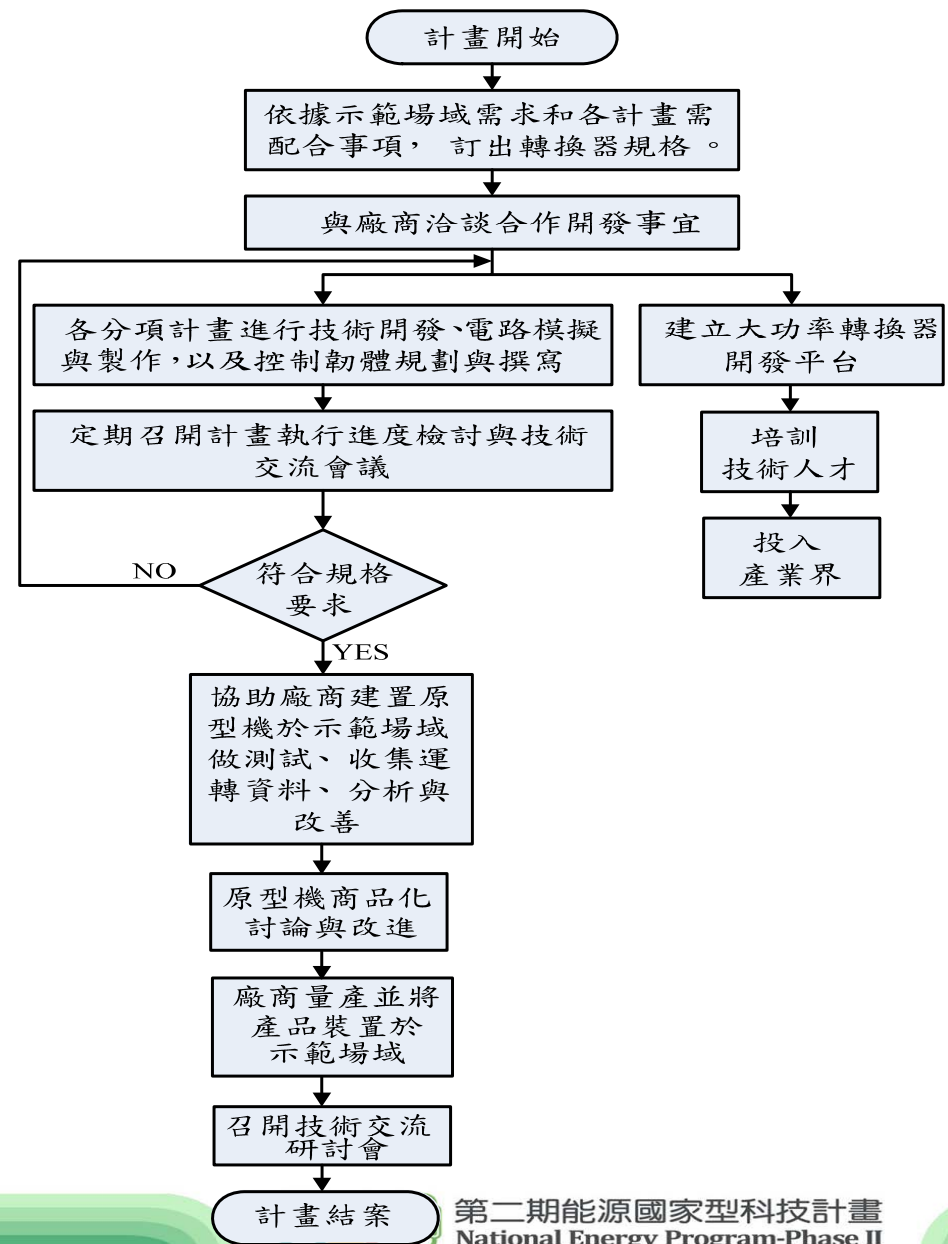




總計畫

工作項目：

1. 收集大功率轉換器資料，並分析其採用之拓樸架構；另外，瞭解智慧電網示範系統所需之大功率轉換器規格。
2. 洽詢廠商，討論商品化與建置事宜。
3. 各子計畫執行工作。
4. 召開計畫檢討、技術交流和工作進度報告。
5. 提供主軸計畫管理單位之各項成果統計資料和撰寫年度報告。
6. 本年度計畫工作檢討和下年度預期完成工作說明。



子計畫一：「併網型轉換器研製與開發平台建置」

研製大功率轉換器和建置開發平台，過程可分為六大項目：

1. 轉換器拓樸結構選擇與開發
 2. 控制技術選擇與開發
 3. 元件選擇與分析
 4. 元件建模與電路模擬
 5. 零件擺置與PCB佈線
 6. 電路製作與整合測試
- 在控制技術的選擇與開發會與子計畫二合作，並將之整合進入轉換器的操作；
 - 在元件建模與電路模擬會與子計畫五合作，借用其模擬結果來輔助轉換器之實體製作。

子計畫二：「併網型控制技術研究」

高功率雙向換流器為研究主軸，以控制技術為研究重點，分年度來執行以下項目：

1. 以PSim來建立控制實驗平台，
2. 探討D- Σ 數位控制器穩定性與設計濾波器之參數與架構，
3. 市電併聯技術之分析與研製，
4. 交流穩壓與負載估測機制，
5. 市電併聯與獨立供電之雙向換流器無縫控制(seamless control)之設計與研製，
6. 與其他子計畫之整合測試。

子計畫三：「虛功補償器研製」

1. 發展系統的電容電壓平衡控制；於電網側電壓故障或不平衡負載操作時仍可平衡各電容電壓。
2. 實體硬體電路的開發。
3. 發展具有主動諧波濾波(5th, 7th)功能之控制器
4. 完成串接式全橋七階轉換器所需之直流鏈電壓控制技術開發工作，並以電腦模擬和實驗室原型電路驗證其效能。
5. 開發以串接式全橋七階轉換器為基礎的靜態虛功補償技術，並且針對下列各種應用作新技術開發：(A)低電壓渡過、(B)不平衡負載補償、(C)電池儲能系統

子計畫四：「充/放電器研製」

1. 研究EV智慧電能系統，在充電模式下，AC/DC轉換器(此處以功率因數修正器實現之)將三相AC電源轉換為一高壓直流電源，搭配匯集於直流匯流排的其他再生能源與儲能設備的直流電源，再經雙向DC/DC轉換器產生可調輸出電流，對EV內的電池進行充電。
2. 在放電模式下，EV電池經雙向DC/DC轉換器，將能量回灌至直流匯流排，搭配其他再生能源與儲能系統，可提供相關直流負載用電，實現V2H (Vehicle to Home)的目標。

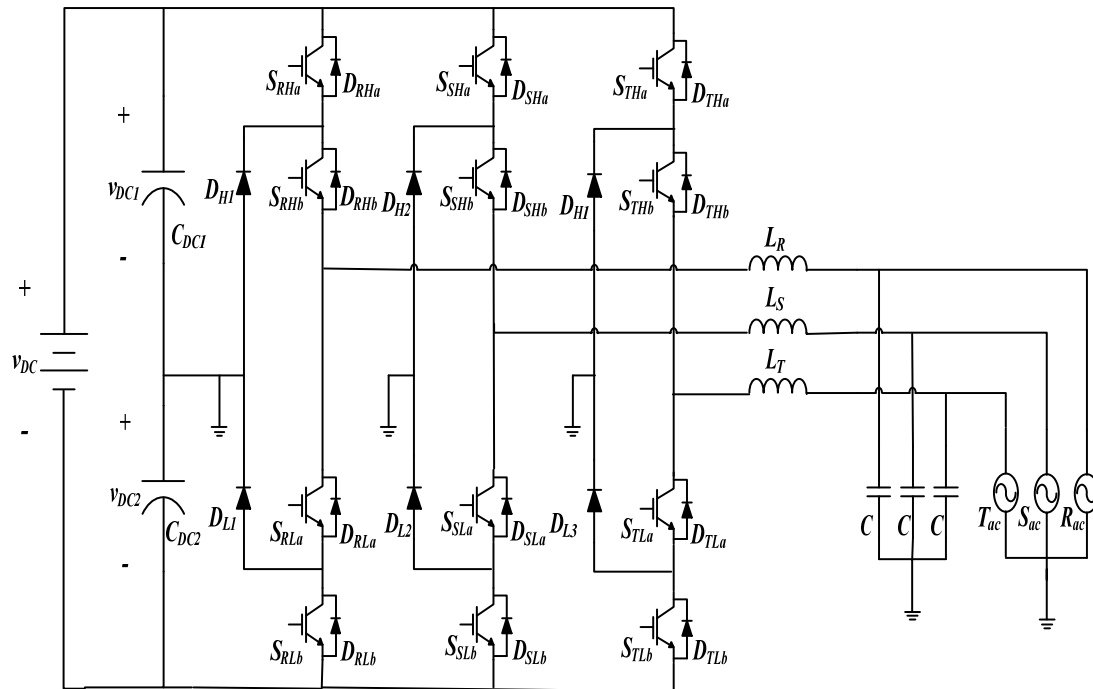
子計畫五：「大功率轉換器模擬」

本分項計畫之目標為對大功率轉換器之元件建模，分別進行時域與頻域之動態分析；並將電感隨電流變化之時變方程式，導入大功率轉換器之動態系統分析，以建立非線性模型。接著應用SimPowerSystems軟體，以及結合PLECS軟體，建構大功率轉換器之電力級與PWM控制級模組；並經由Matlab/Simulink平台進行併網型轉換器模擬、充/放電器模擬與各式實、虛功補償模擬。最後本分項計畫之電腦模擬成果，皆需與其他分項計畫之硬體製作，進行驗證與分析。

二.已完成結果

(一) 併網型轉換器研製

➤ 拓樸結構



電氣規格

項目	數值
額定電壓(相電壓)	170 V _{rms}
額定功率	30 kW
DC-BUS電壓	520 V
額定電流	58 Arms

設計規格

項目	數值
輸出濾波器電感值	2 mH
輸出濾波器電容值	10 uF
DC BUS 穩壓電容值	3760 uF
開關切換頻率	20 kHz

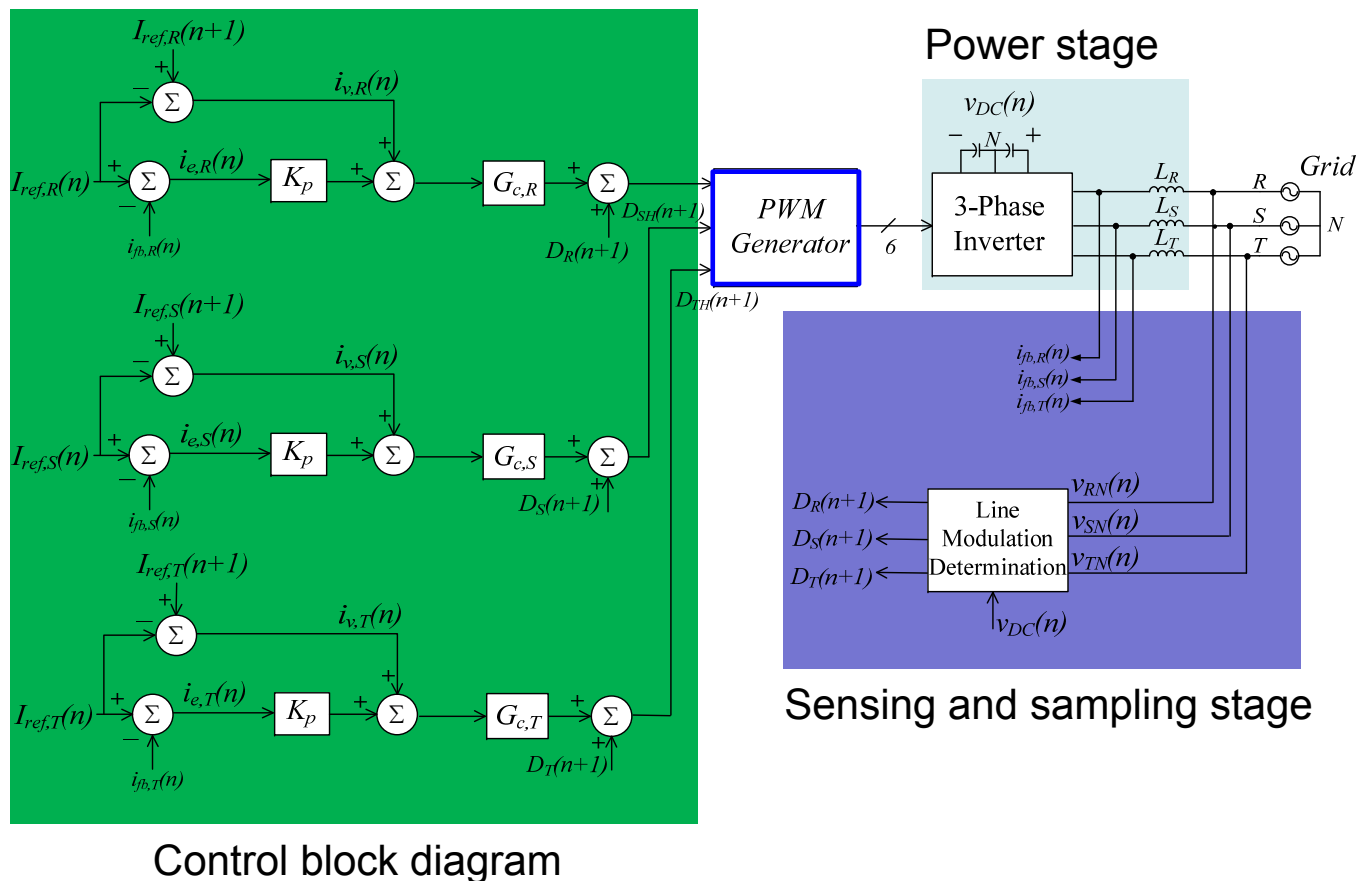
➤ 控制架構

- 由電流參考的模型求得電流變化量 Δi_x ，使得電感電流能夠精確的追蹤電流命令。
- 最終的責任週期是從電流變化量 Δi_x 與電流誤差所計算出來的，其中電流的變化量也可表示為前饋式分量。

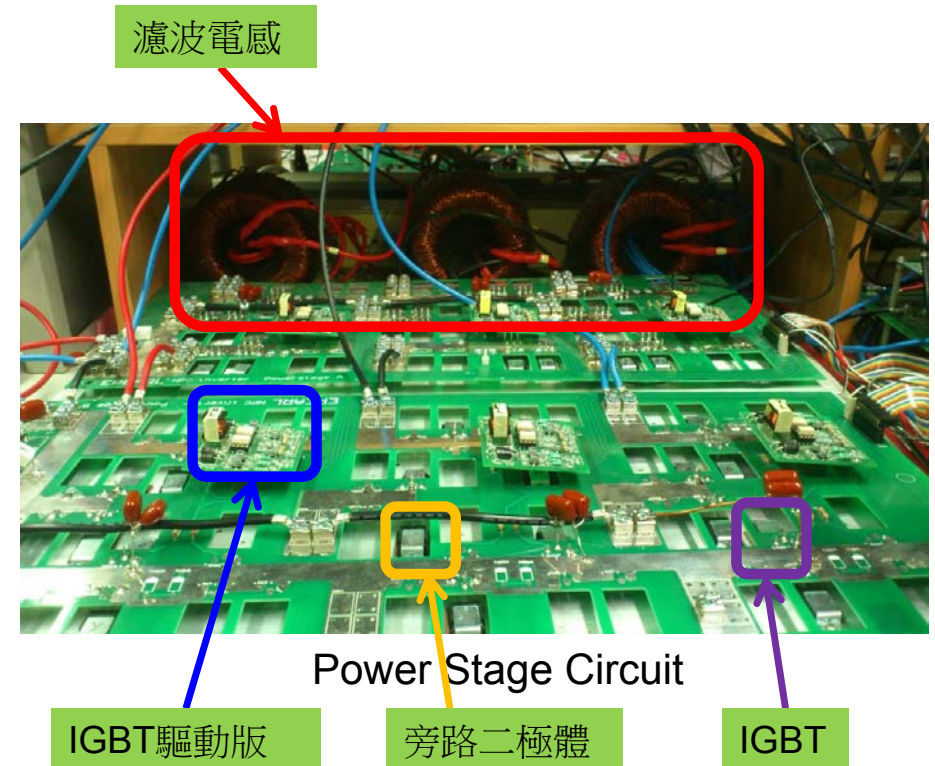
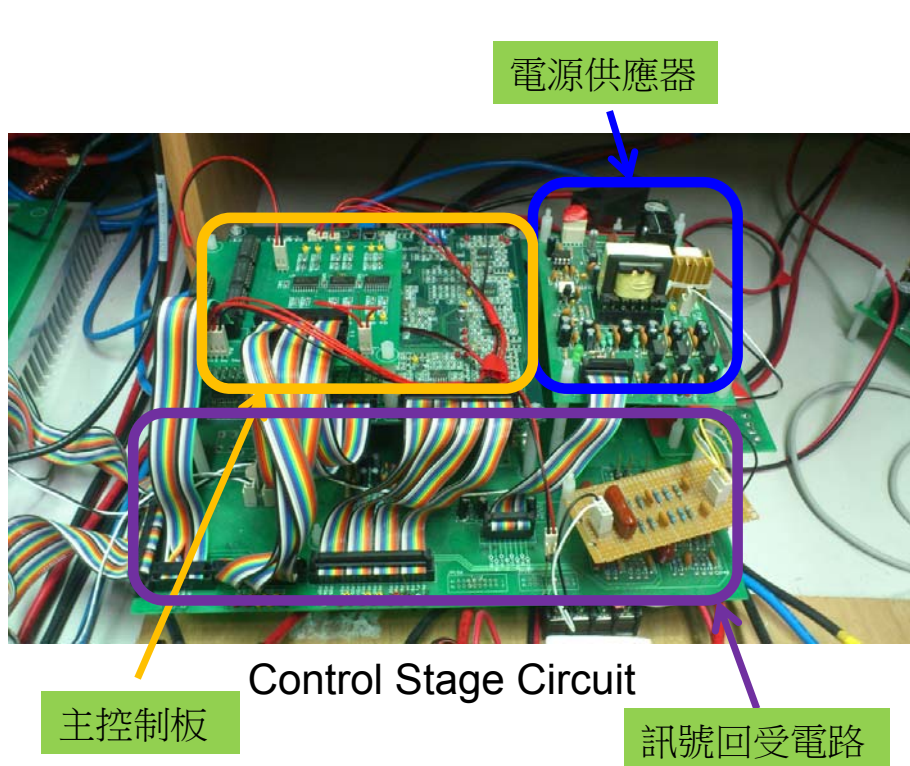
$$G_C = \rho \frac{2L_x}{v_{DC} T_s} \left. \begin{array}{l} v_x > 0, \rho = 1 \\ v_x < 0, \rho = -1 \end{array} \right\}$$

$$D_{R(N+1)} = \rho \frac{2v_x}{v_{DC}}$$

$$K_p = 1$$

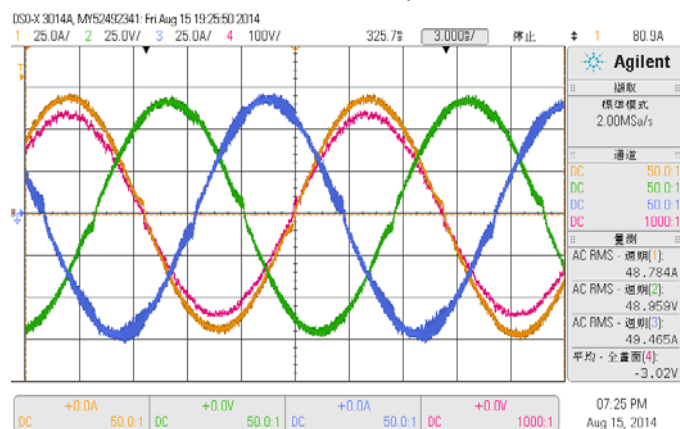
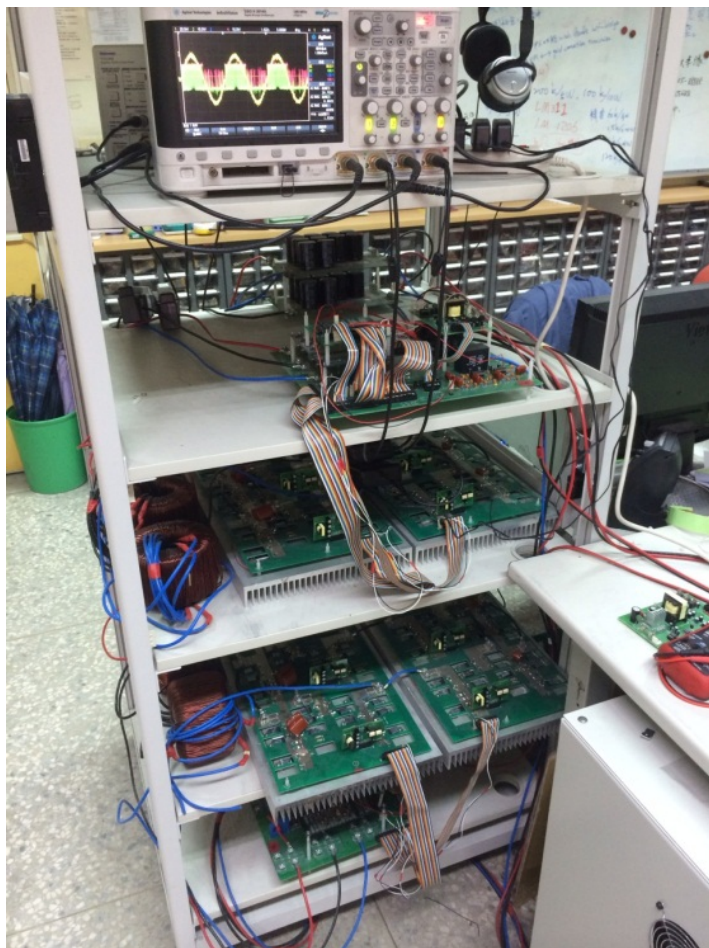


► 實體電路



雙向換流器系統

電網並聯模式-25kW



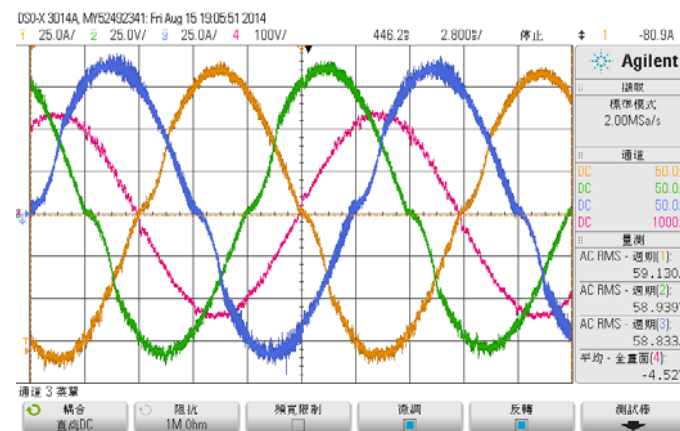
→ I_r

→ I_s

→ I_t

→ V_s

整流模式-30kW

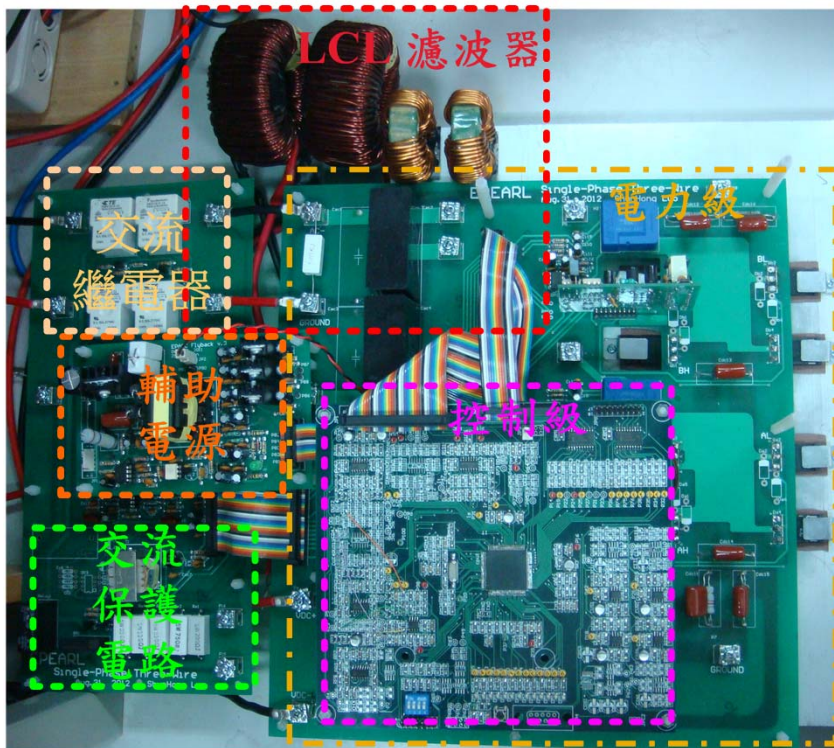


(二) 併網型控制技術研究

1. 高功率雙向換流器之輸出濾波器分析與設計
2. 單相與三相數位控制器之設計、模擬與實驗驗證
3. 雙向換流器之PFC與併網功能實驗驗證(配合子計畫一)
4. 完成一篇期刊論文、兩篇研討會論文、專利四件、產業界投入合作計畫2件

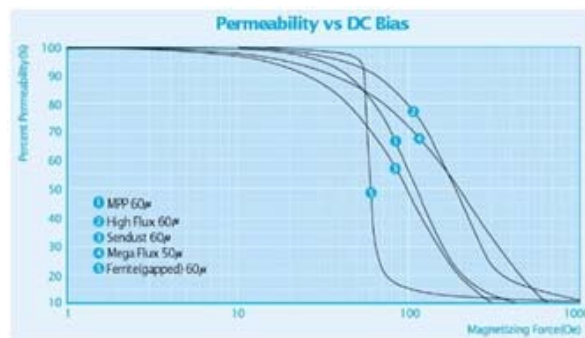
➤ LCL濾波器(I)

■ 單相雙向LCL換流器



輸出濾波器分析與設計

- 本系統在大功率下的電感值會因為大電流而劇烈衰減，若不考慮此因素將會導致電流的不穩定與失真，因此必須選用適當的鐵芯並且考慮電感值的變化。
- 若系統控制法則不考慮感值變化，則磁導率範圍通常被選定為100%~85%，本計畫考慮感值變化的控制法則的100%~20%磁導率範圍相比，鐵芯體積將減少很多，如下圖所示，CM1340060的電感體積約是CM778060的5倍。



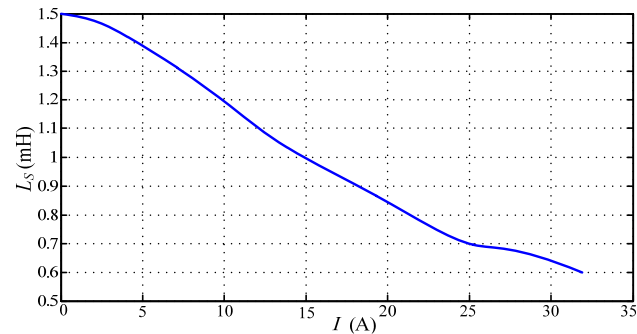
鐵芯導磁率與磁場強度變化曲線



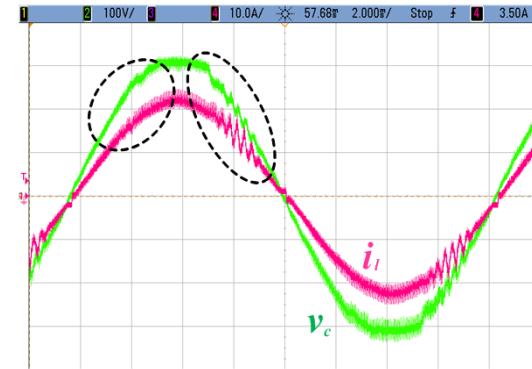
CM778060和CM1340060電感照片

➤ LCL濾波器(II)

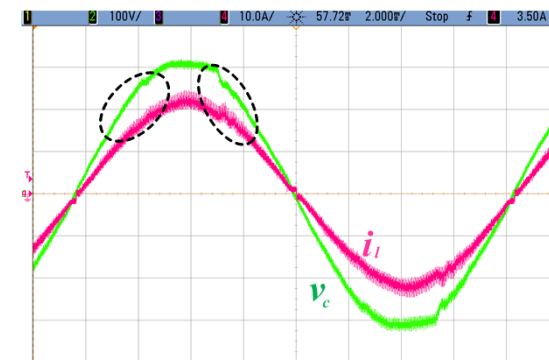
- 當磁場強度為40(Oe)以下，各鐵芯的導磁率幾乎為定值，但隨著磁場強度增加將使鐵芯導磁率降低，可發現MPP鐵芯導磁率具有較和緩的變化趨勢，且鐵芯損失又最低，故本研究選擇MPP鐵芯作為濾波器的電感。下圖為電流由1 A增加到32 A所量測的電感變化率，將電感變化率寫入微控制器中，以調節電感值變化的影響。



電感感值變化曲線圖



改善前： $(i_1: 10\text{A/div}; v_p: 100\text{V/div}; \text{time: } 2\text{ms/div})$

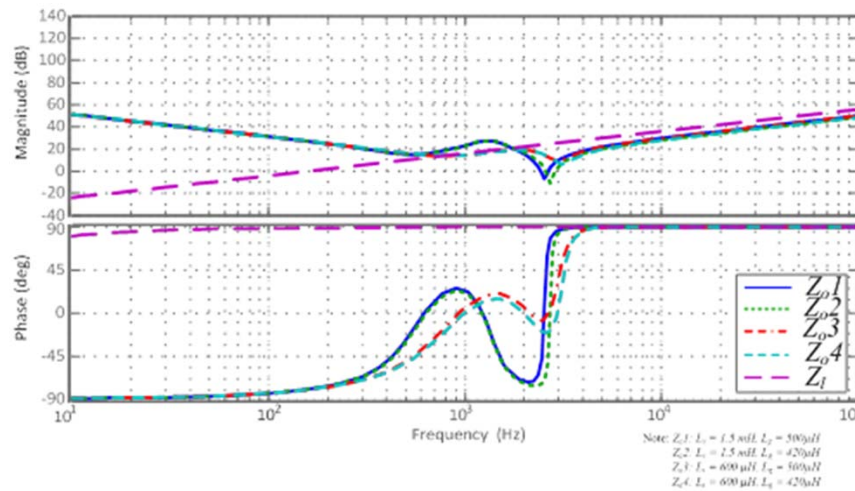


改善後： $(i_1: 10\text{A/div}; v_p: 100\text{V/div}; \text{time: } 2\text{ms/div})$

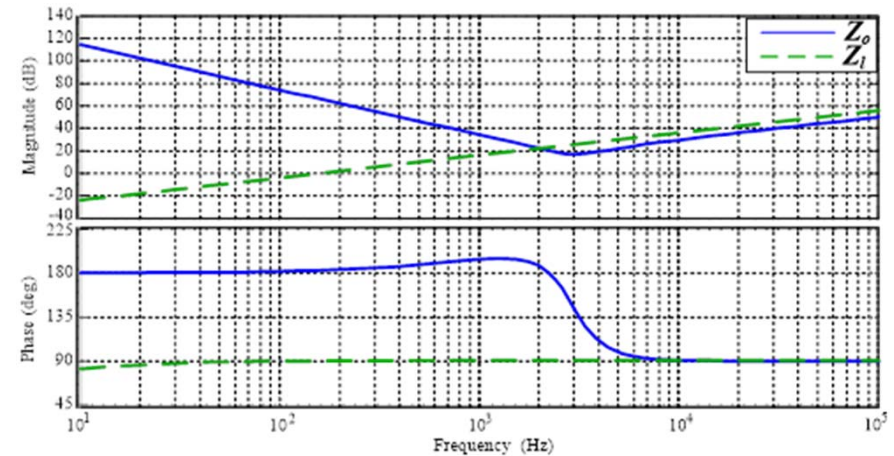
➤ 數位控制器

- 電網阻抗為 0.01Ω , 1mH
- 輸出阻抗與電網阻抗交接處: $\text{PM}=80$ 度
- 輸出阻抗不受輸出濾波電感值影響，系統穩定不震盪

傳統控制方法(SPWM)



本計畫控制方法(D- Σ)



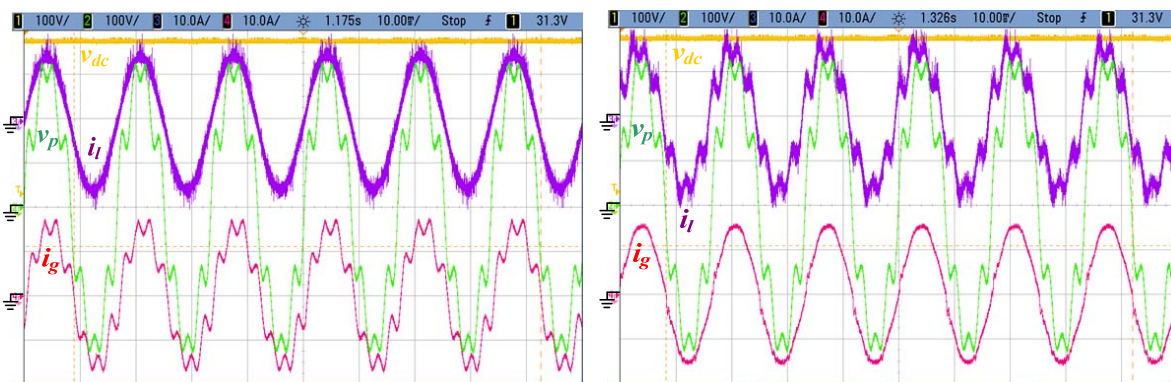
換流器輸出阻抗 Z_0 和電網阻抗 Z_1 波德圖

市電併聯模式(單相)

併網型雙向換流器—市電併聯模式(具濾波
電容電流補償機制: **Filter-Capacitor
Current Compensation**)

市電併聯模式下4種市電電壓 v_g 失真之實測 ($L_l = 2 \text{ mH}$)

測試條件	市電諧波 次數	%	實測內容	不加入電 容電流補 償控制	加入電容 電流補償 控制
I	5	9.8	PF	0.96	0.98
	7	15.8	v_g THD(%)	18.5	18.4
	8	2.16	i_g THD(%)	18.8	3.2
II	3	4.9	PF	0.98	0.99
	5	1.6	v_g THD(%)	6.4	6.4
	7	2.7			
	11	1.4	i_g THD(%)	9.4	3.8
	15	2			
17	1.1				
III	3	17.8	PF	0.96	0.98
			v_g THD(%)	17.8	17.7
			i_g THD(%)	17.7	2.1
IV	7	4.6	PF	0.97	0.98
	9	1	v_g THD(%)	4.9	5.1
	21	0.9			
	39	0.7	i_g THD(%)	5.1	2.5



(i_l and i_g : 10A/div; v_p and v_{dc} :
100V/div; time: 10ms/div)

不加入電容電流補償機制

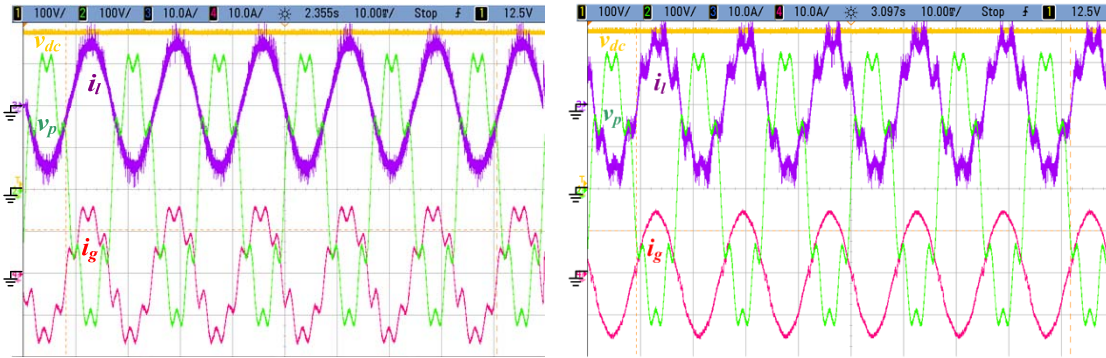
(i_l and i_g : 10A/div; v_p and v_{dc} :
100V/div; time: 10ms/div)

加入電容電流補償機制

第I種測試條件市電併聯模式之實測波形 ($L_l = 2 \text{ mH}$)

➤ 整流模式(單相)

併網型雙向換流器—整流模式(具濾波電容電流補償機制: **Filter-Capacitor Current Compensation**)



$(i_l \text{ and } i_g: 10A/div; v_p \text{ and } v_{dc}: 100V/div; \text{time: } 10ms/div)$

不加入電容電流補償機制

$(i_l \text{ and } i_g: 10A/div; v_p \text{ and } v_{dc}: 100V/div; \text{time: } 10ms/div)$

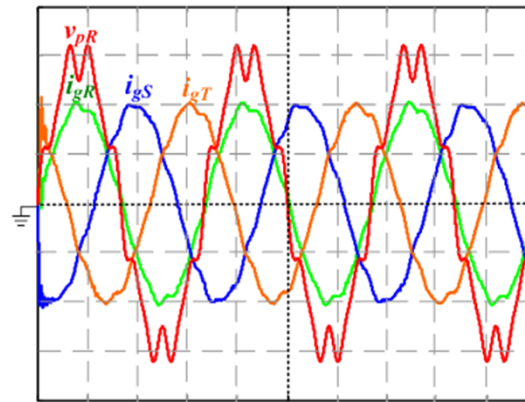
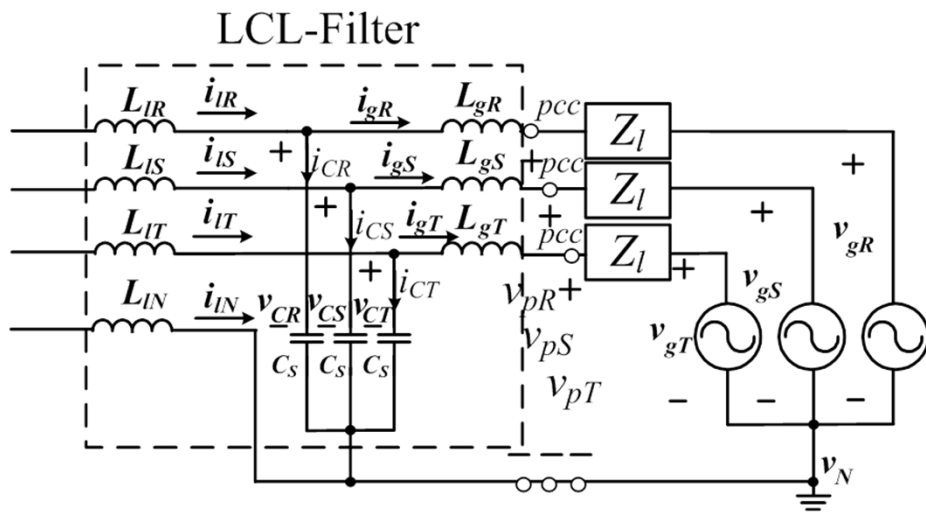
加入電容電流補償機制

第I種測試條件下整流模式之實測波形 ($L_f = 2 \text{ mH}$)

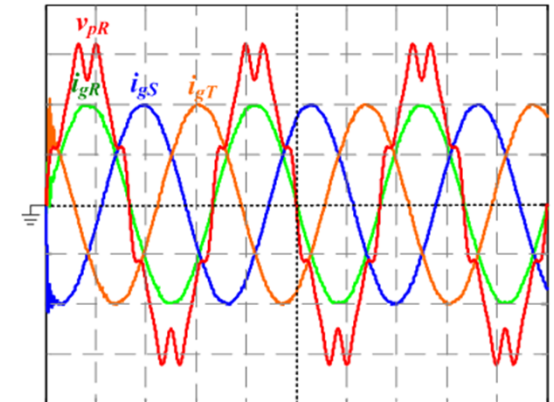
整流模式下4種市電電壓 v_g 失真之實測 ($L_f = 2 \text{ mH}$)

測試條件	市電諧波次數	%	實測內容	不加入電容電流補償控制	加入電容電流補償控制
I	5	9.8	PF	0.96	0.98
	7	15.8	v_g THD(%)	18.4	18.4
	8	2.16	i_g THD(%)	18.7	2.8
II	3	4.9	PF	0.98	0.99
	5	1.6	v_g THD(%)	6.4	6.4
	7	2.7			
	11	1.4	i_g THD(%)	9.3	3.3
	15	2			
17	1.1				
III	3	17.8	PF	0.96	0.98
			v_g THD(%)	17.7	17.8
			i_g THD(%)	17.8	2.0
IV	7	4.6	PF	0.97	0.98
	9	1	v_g THD(%)	4.9	5.0
	21	0.9			
	39	0.7	i_g THD(%)	5.1	2.6

➤ 三相四線模擬



不加入電容電流補償機制



加入電容電流補償機制