

# 電力調節系統模塊

PEK-540

---

實驗指導書

固緯料號 **NO. 82EK-1100M01**



ISO-9001 認證企業

**GW INSTEK**

本手冊所含資料受到版權保護，未經固緯電子實業股份有限公司預先授權，不得將手冊內任何章節影印、複製或翻譯成其它語言。

本手冊所含資料在印製之前已經過校正，但因固緯電子實業股份有限公司不斷改善產品，所以保留未來修改產品規格、特性以及保養維修程式的權利，不必事前通知。

# 目錄

<b>簡介</b> .....	4
章節說明 .....	10
<b>實驗 1 交錯式降壓轉換器</b> .....	12
電路模擬 .....	12
實驗設備 .....	16
實驗步驟 .....	17
實驗目的 .....	20
實驗結果 .....	20
結論 .....	21
<b>實驗 2 交錯式升壓轉換器</b> .....	22
電路模擬 .....	22
實驗設備 .....	25
實驗步驟 .....	26
實驗目的 .....	29
實驗結果 .....	29
結論 .....	30
<b>實驗 3 雙向直流至直流轉換器</b> .....	31
電路模擬 .....	31
實驗設備 .....	34
實驗步驟 .....	35
實驗目的 .....	37
實驗結果 .....	37
結論 .....	40
<b>實驗 4 三相四線升壓式獨立型逆變器</b> .....	41
電路模擬 .....	41

實驗設備 .....	45
實驗步驟 .....	46
實驗目的 .....	49
實驗結果 .....	49
結論 .....	53
<b>實驗 5 三相四線光伏並網逆變器 .....</b>	<b>54</b>
電路模擬 .....	54
實驗設備 .....	57
實驗步驟 .....	58
實驗目的 .....	61
實驗結果 .....	61
結論 .....	63
<b>實驗 6 三相四線蓄電池儲能系統 .....</b>	<b>64</b>
電路模擬 .....	64
實驗設備 .....	69
實驗步驟 .....	70
實驗目的 .....	73
實驗結果 .....	73
結論 .....	80
<b>實驗 7 三相四線混合型系統 .....</b>	<b>81</b>
電路模擬 .....	81
實驗設備 .....	85
實驗步驟 .....	86
實驗目的 .....	89
實驗結果 .....	89
結論 .....	90
<b>附錄 A PEK-540 電路圖 .....</b>	<b>91</b>
Power Conditioning System .....	92
F28335 Delfino control CARD .....	100

Gate Driver .....	101
Gate Driver Power .....	102
<b>附錄 B C code 燒錄流程 .....</b>	<b>103</b>
<b>附錄 C RS232 連線 .....</b>	<b>112</b>
<b>附錄 D SAS 軟體操作手冊 .....</b>	<b>116</b>
介紹 .....	116
安裝與啓動 .....	116
界面說明 .....	120
操作 .....	121
附錄說明 .....	124
<b>附錄 E BATSim 軟體操作手冊 .....</b>	<b>125</b>
介紹 .....	125
安裝 .....	125
啓動 .....	128
界面說明 .....	129
操作 .....	130
監控畫面 .....	132
<b>附錄 F 設計原理 .....</b>	<b>133</b>
實驗一 交錯式降壓轉換器 .....	133
實驗二 交錯式升壓轉換器 .....	136
實驗三 雙向直流至直流轉換器 .....	141
實驗四 三相四線升壓式獨立型逆變器 .....	142
實驗五 三相四線光伏並網逆變器 .....	147
實驗六 三相四線蓄電池儲能系統 .....	152
實驗七 三相四線混合型系統 .....	155

# 簡介

PEK-540 為電力調節系統模塊(Power Conditioning System Module)，如圖 0.1 所示，前級為雙向直流直流轉換器(Bi-directional DC-DC Converter)架構，後級為三相四線全橋逆變器(Three Phase Four Wire Inverter)架構，其為全數位控制系統，實施方法如圖 0.2，目的在提供電力轉換器採用數位控制的學習平台，讓使用者透過 PSIM 軟體，除以模擬方式學習電力轉換器的原理、分析及設計外，亦可透過 PSIM 之 SimCoder 工具將控制電路轉換為數位控制程式，並可實際將以 DSP 取代之電路再作一次模擬，最後並可將透過模擬驗證過之控制程式燒錄於 DSP 晶片中，再透過 DSP 進行控制及通訊，以驗證所設計電路及控制器之正確性。

圖 0.1  
電力調節系統實  
驗模組

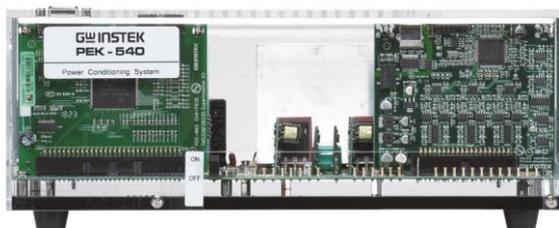
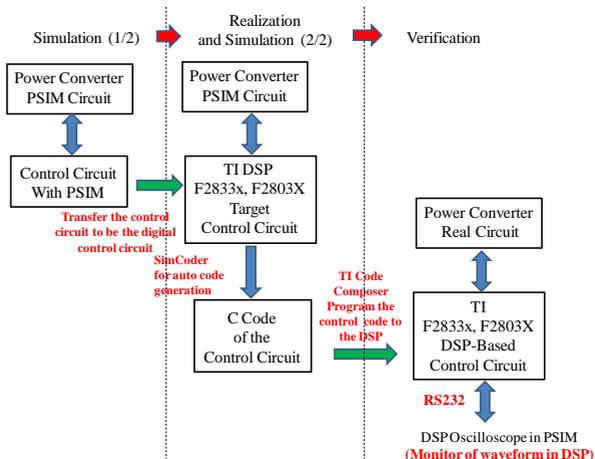


圖 0.2  
教具使用程序



PEK-540 共可完成七個實驗，分別如下：

1. 交錯式降壓轉換器 (Interleaved Buck Converter)
2. 交錯式升壓轉換器 (Interleaved Boost Converter)
3. 雙向直流至直流轉換器 (Bi-directional DC-DC Converter)
4. 三相四線升壓式獨立型逆變器 (Three Phase Four Wire Boost Stand-alone Inverter)
5. 三相四線光伏並網逆變器 (Three Phase Four Wire PV Grid-connected Inverter)
6. 三相四線蓄電池儲能系統 (Three Phase Four Wire Battery Energy Storage System)
7. 三相四線混合型系統 (Three Phase Four Wire Hybrid System)

進行實驗時除需要 PEK-540 本身外，仍需搭配 PEK-005A(輔助電源，如圖 0.3)與 PEK-006 (JTAG 燒錄器，如圖 0.4)並在 PTS-5000 的實驗平台上完成，如圖 0.5。

圖 0.3  
輔助電源模組



圖 0.4  
JTAG 燒錄器

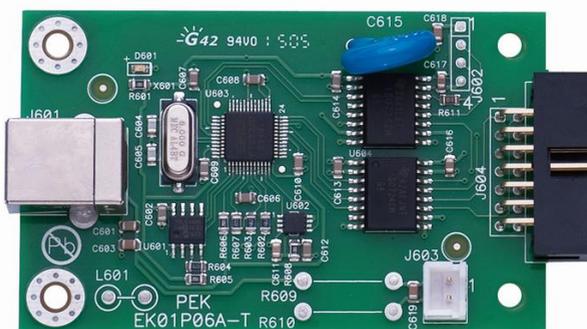


圖 0.5  
PTS-5000 實驗  
平台



PEK-540 DSP 輸入輸出腳位配置如圖 0.6，其電路圖可參考附錄 A，可區分為功率電路、感測電路、驅動電路以及保護電路。其中感測電路分為兩部分，其一為測試點量測使用，另一部分為回授 DSP 控制使用，其衰減倍率各不相同，分別如下表 0-1 與 0-2。

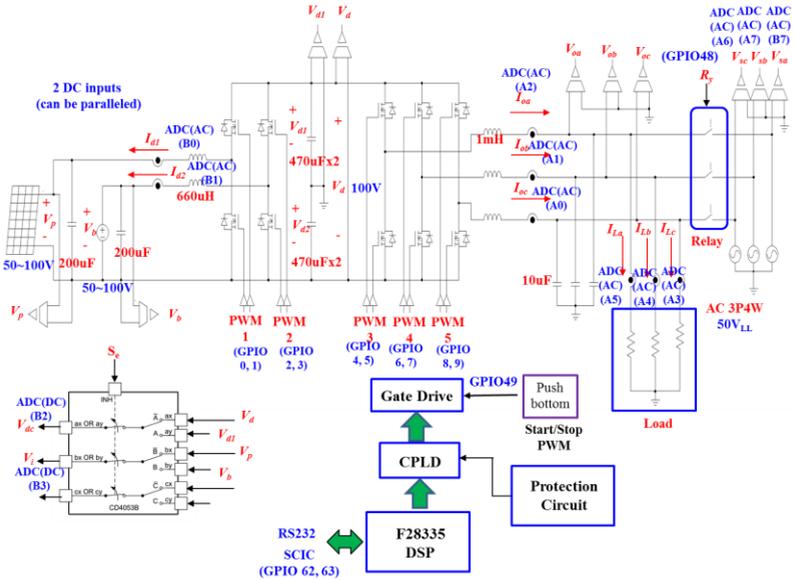


圖 0.6 I/O 配置

表 0.1 PEK-540 測試點的量測比例

感測項目	感測比例
1 光伏臂電感電流(IP)	0.4
2 電池臂電感電流(IB)	0.4
3 光伏臂輸入電壓(VP)	0.0196
4 電池臂輸入電壓(VB)	0.0196
5 直流鍊電壓(Vd)	0.0196
6 中性點對地電壓(Vd1)	0.0196
7 逆變器 A 相輸出電流(IO-A)	0.4768
8 逆變器 B 相輸出電流(IO-B)	0.4768

9	逆變器 C 相輸出電流(IO-C)	0.4768
10	逆變器 A 相負載電流(IL-A)	0.4768
11	逆變器 B 相負載電流(IL-B)	0.4768
12	逆變器 C 相負載電流(IL-C)	0.4768
13	逆變器 A 相輸出電壓(VO-A)	0.0498
14	逆變器 B 相輸出電壓(VO-B)	0.0498
15	逆變器 C 相輸出電壓(VO-C)	0.0498
16	市電 A 相電壓(VS-A)	0.0498
17	市電 B 相電壓(VS-B)	0.0498
18	市電 C 相電壓(VS-C)	0.0498

表 0.2 PEK-540 DSP 的回授比例

	感測項目	感測比例
1	光伏臂電感電流(IP)	0.2410
2	電池臂電感電流(IB)	0.2410
3	光伏臂輸入電壓(VP)	0.0249
4	電池臂輸入電壓(VB)	0.0249
5	直流鍊電壓(Vd)	0.0249
6	中性點對地電壓(Vd1)	0.0249
7	逆變器 A 相輸出電流(IO-A)	0.2996
8	逆變器 B 相輸出電流(IO-B)	0.2996
9	逆變器 C 相輸出電流(IO-C)	0.2996
10	逆變器 A 相負載電流(IL-A)	0.2996
11	逆變器 B 相負載電流(IL-B)	0.2996
12	逆變器 C 相負載電流(IL-C)	0.2996
13	逆變器 A 相輸出電壓(VO-A)	0.0249
14	逆變器 B 相輸出電壓(VO-B)	0.0249
15	逆變器 C 相輸出電壓(VO-C)	0.0249
16	市電 A 相電壓(VS-A)	0.0249
17	市電 B 相電壓(VS-B)	0.0249
18	市電 C 相電壓(VS-C)	0.0249

## 章節說明

章節安排如下

---

簡介	簡略介紹本模組的實驗方式、實驗項目、電路組成以及各章節內容等。
實驗 1 交錯式降壓轉換器	主要認識交錯式降壓轉換器電路，學習電壓及電流雙迴路控制法，透過 PEK-540 模塊了解 DSP 數位控制電路規劃及學習數位控制程式化方法，同時學習並熟悉實驗設備及軟體操作。
實驗 2 交錯式升壓轉換器	主要認識交錯式升壓轉換器電路，學習電壓及電流雙迴路控制法，透過 PEK-540 模塊了解 DSP 數位控制電路規劃及學習數位控制程式化方法。
實驗 3 雙向直流至直流轉換器	主要認識雙向直流至直流轉換器電路，學習其控制法，透過 PEK-540 模塊了解 DSP 數位控制電路規劃及學習數位控制程式化方法。
實驗 4 三相四線升壓式獨立型逆變器	了解前級升降式轉換器搭配三相逆變器整合形成之三相四線升壓式獨立型逆變器，學習逆變器之控制。
實驗 5 三相四線光伏並網逆變器	了解 PV 模組特性及各式 MPPT 方法，藉由 SimCoder 學習擾動觀察法之程式撰寫，透過 PEK-540 之升壓式轉換器來實現 MPPT，同時整合後級三相並網逆變器來完成三相光伏並網逆變器之實驗。
實驗 6 三相四線蓄電池儲能系統	了解三相四線蓄電池儲能系統之原理及結構，並將雙向直流轉換器與三相逆變器結合，進行規劃後透過 SimCoder 進程式撰寫。

---

實驗 7 以光伏發電系統再整合電池儲能系統結合型成之  
三相四線蓄電池儲 混合型微電網系統，利用 PEK-540 進行規劃後透  
能系統 過 SimCoder 進程式撰寫。

---

# 實驗 1 交錯式降壓轉換器

## 電路模擬

轉換器規格如下：

Battery Voltage  $V_b = 50V$

DC BUS Voltage  $V_d = 100V$

$F_s = 40kHz$  ,  $V_{tri} = 10V_{pp}$  (PWM)

$C_b = 200\mu F$  ,  $L_b = 661.5mH$  ,  $C_{Bus} = 470\mu F$

$K_s = 0.24$  (AC current sensing factor)

$K_v = 1/40$  (DC voltage sensing factor)

依照上述參數所建立的類比電路如下圖 1.1:

PSIM 檔名為：PEK-540\_Sim1\_IL\_Buck\_V11.1.5\_V1.1

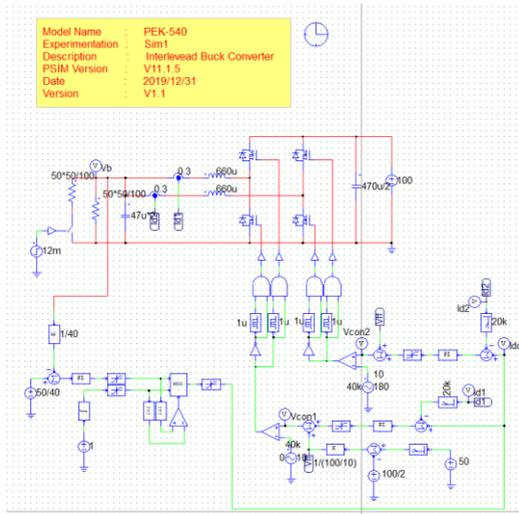


圖 1.1 實驗一 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 1.2, 1.3:

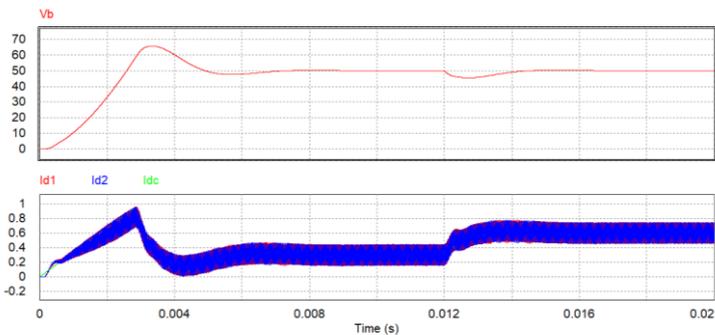


圖 1.2 實驗一類比電路模擬波形

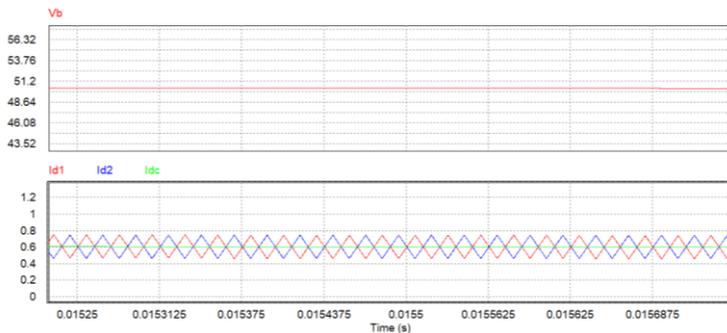


圖 1.3 實驗一類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 1.4

PSIM 檔名為 : PEK-540\_Lab1\_IL\_Buck\_V11.1.5\_V1.1

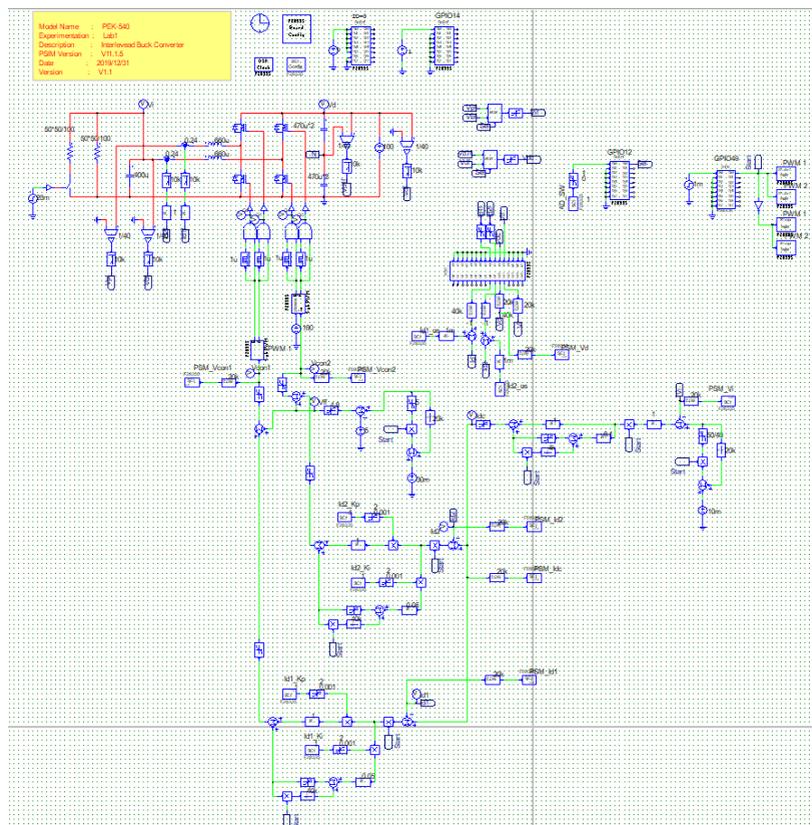


圖 1.4 實驗一 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 1.5:

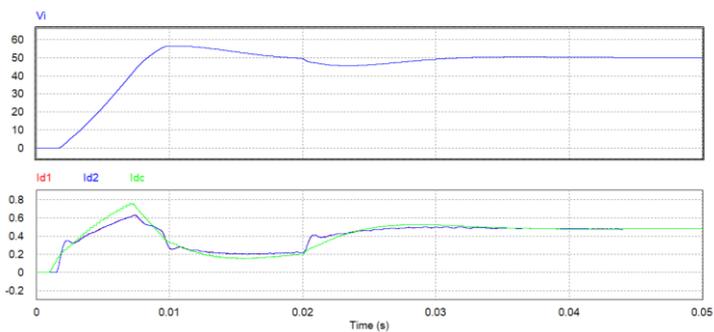


圖 1.5 實驗一數位電路模擬波形

模擬確認無誤後，利用“Simulate”的“Generate Code”自動產生對應的 C Code。

## 實驗設備

本實驗所需的設備如下，設備使用前請參照各設備使用說明書：

- PEK-540 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW160-7.2, PEL-3031E)
- PC 一台

## 實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 1.6，請依此圖完成接線。

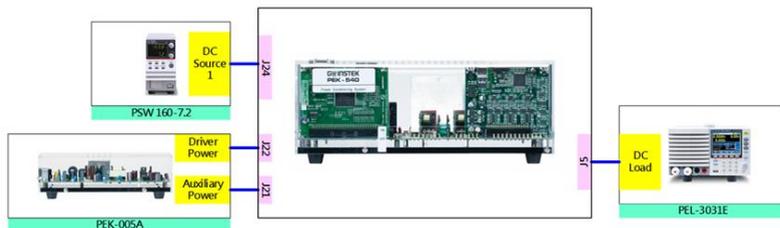


圖 1.6 實驗一接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-540 開關為 OFF，之後開啟 PEK-005A 的開關，開啟後 DSP 的紅色顯示燈亮起，如圖 1.7，此時表示 DSP 電源正常。



圖 1.7 DSP 正常工作畫面

3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。
4. 將示波器探棒分別接至 IP, IB, VB 上，如圖 1.8

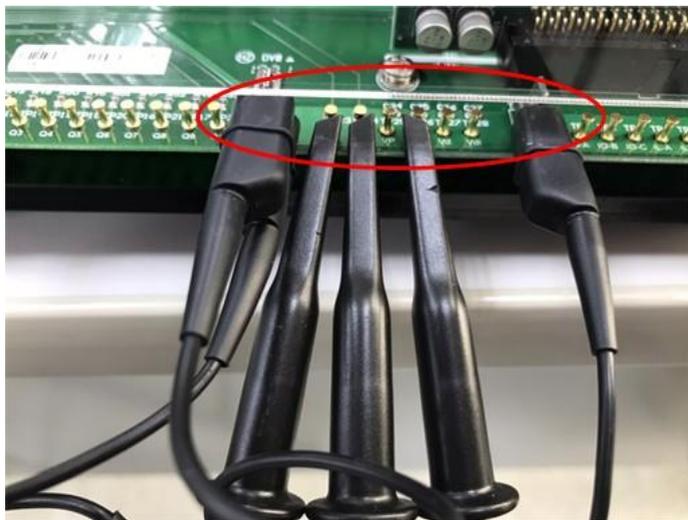


圖 1.8 示波器探棒接線圖

5. PSW160-7.2 設定為電壓 100V，電流 3A，如圖 1.9。



圖 1.9 PSW 160-7.2 設定圖

6. PEL-3031E 電源開啟後，負載模式為 CR Mode，Range 為 Low，Channel\_A 設定為 26Ω，Channel\_B 設定為 13Ω，如圖 1.10。



圖 1.10 PEL-3031E 負載設定

- 設定完畢後，將 PSW 電源、PEL-3031E 負載開關開啟，最後再將 PEK-540 開關開啟。

## 實驗目的

PEK-540 前級架構為雙向直流-直流轉換器，在 Lab1 實驗中，將操作在降壓模式，觀測在負載條件變動下，透過閉迴路系統將輸出電壓值維持穩定輸出。

## 實驗結果

因定義電感電流在升壓模式下的方向為正，故操作在降壓模式時，其電流在示波器看到為負值。

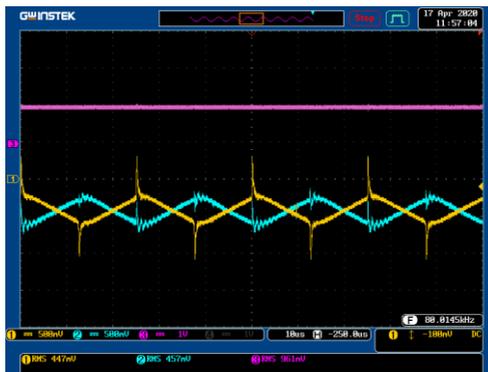
### (1) 電子負載 26Ω

圖 1.11 為電子負載於 26Ω 條件，如圖 1.12 所示，觀測 IP 輸出 RMS 電流為 0.447A(實際值 1.1175A)，IB 為 0.457A(實際值 1.1425A)，VB 輸出 RMS 電壓為 0.961V(實際值 49.03V)。

圖 1.11  
電子負載 26Ω 設定



圖 1.12  
電子負載 26Ω 量測波形



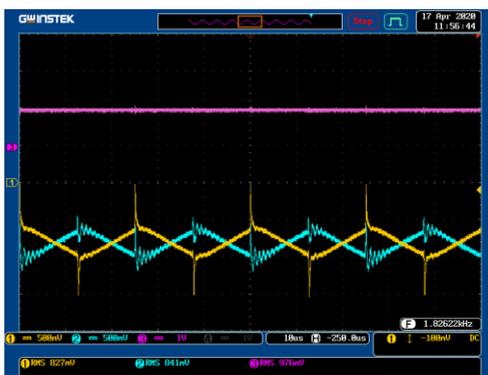
(2) 電子負載 13Ω

圖 1.13 為電子負載於 13Ω 條件下，如圖 1.14 所示，觀測 IP 輸出 RMS 電流為 0.827A(實際值 2.0675A)，IB 為 0.841A(實際值 2.1025A)，VB 輸出平均 RMS 為 0.976V(實際值 49.795V)。

圖 1.13  
電子負載 13Ω 設定



圖 1.14  
電子負載 13Ω 量測波形



依照不同負載的操作，依序將結果填入表 1.1，感測比例請參照表 0.1  
表 1.1 不同負載時輸出電壓電流量測數據

	IP(Arms)	IP(Arms)	IB(Arms)	IB(Arms)	VB(Vrms)	VB(Vrms)
	(量測值)	(實際值)	(量測值)	(實際值)	(量測值)	(實際值)
半載 (26Ω)	0.447A	1.1175A	0.457A	1.1425A	0.961V	49.03V
滿載 (13Ω)	0.827A	2.0675A	0.841A	2.1025A	0.976V	49.795V

**結論**

由表 1.1 可以發現，在閉迴路降壓轉換器系統中，負載變動情況下，輸出電流會隨著負載增加而增加，並維持輸出電壓不變。

# 實驗 2 交錯式升壓轉換器

## 電路模擬

轉換器規格如下：

- Battery Voltage  $V_b = 50V$
- DC BUS Voltage  $V_d = 100V$
- $F_s = 40kHz$  ,  $V_{tri} = 10V_{pp}$  (PWM)
- $C_b = 200\mu F$  ,  $L_b = 661.5mH$  ,  $C_{Bus} = 470\mu F$
- $K_s = 0.24$  (AC current sensing factor)
- $K_v = 1/40$  (DC voltage sensing factor)

依照上述參數所建立的類比電路如下圖 2.1:

PSIM 檔名為 : PEK-540\_Sim2\_IL\_Boost\_V11.1.5\_V1.1

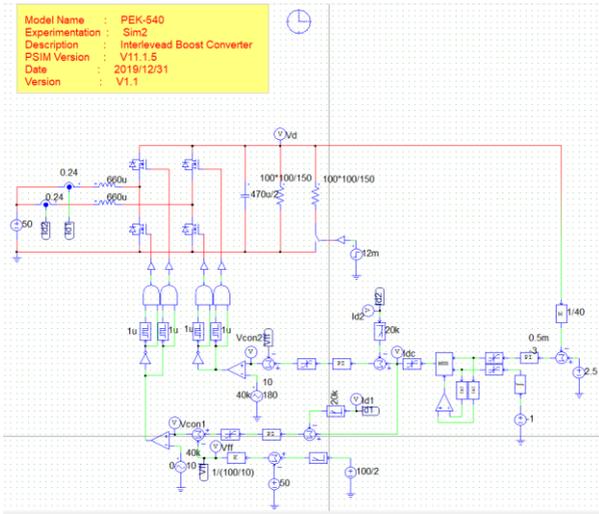


圖 2.1 實驗二 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 2.2, 2.3:

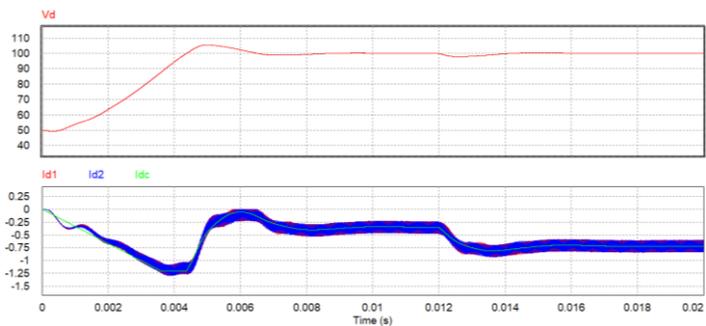


圖 2.2 實驗二類比電路模擬波形

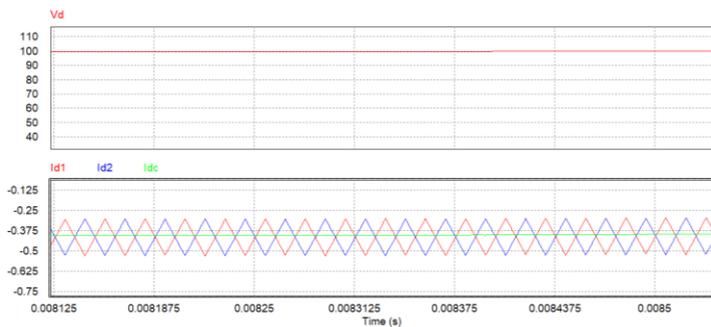


圖 2.3 實驗二類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 2.4  
 PSIM 檔名為 : PEK-540\_Lab2\_IL\_Boost\_V11.1.5\_V1.1

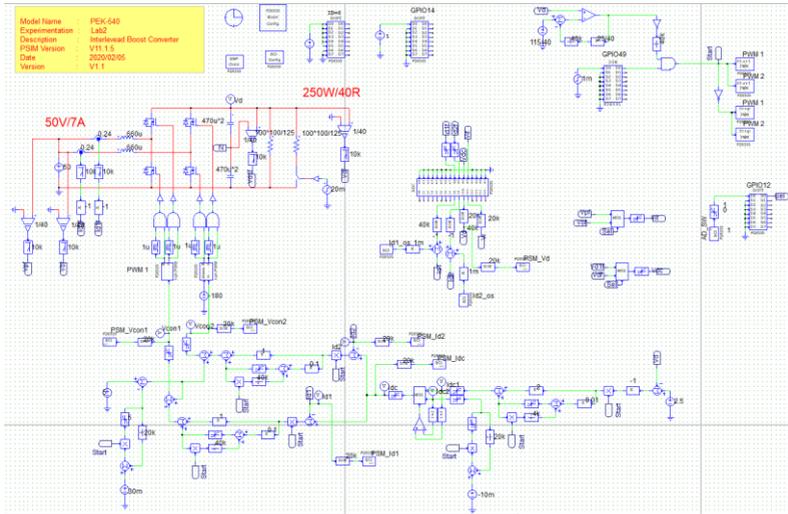


圖 2.4 實驗二 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 2.5:

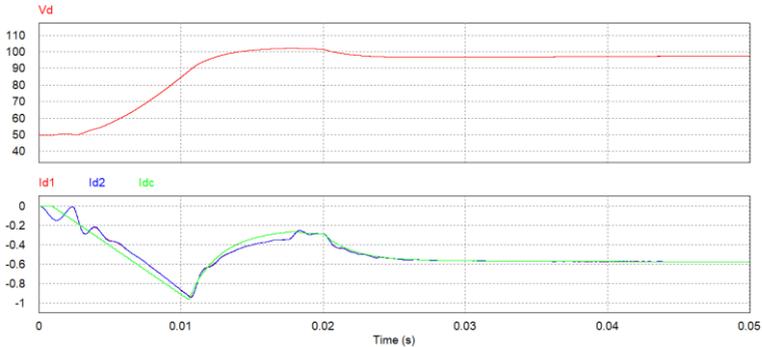


圖 2.5 實驗二數位電路模擬波形

模擬確認無誤後，利用“Simulate”的“Generate Code”自動產生對應的 C Code。

## 實驗設備

本實驗所需的設備如下，設備使用前請參照各設備使用說明書：

- PEK-540 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW160-7.2, PEL-3031E)
- PC 一台

## 實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 2.6，請依此圖完成接線。

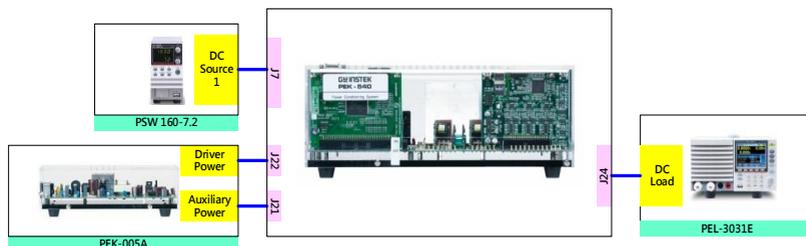


圖 2.6 實驗二接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-540 開關為 OFF，之後開啟 PEK-005A 的開關，開啟後 DSP 的紅色顯示燈亮起，如圖 2.7，此時表示 DSP 電源正常。



圖 2.7 DSP 正常工作畫面

3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。
4. 將示波器探棒分別接至 IP, IB, Vd 上，如圖 2.8



圖 2.8 示波器探棒接線圖

5. PSW160-7.2 設定為電壓 50V，電流 7A，如圖 2.9。



圖 2.9 PSW 160-7.2 設定圖

6. PEL-3031E 電源開啟後，負載模式為 CR Mode，Range 為 Low，Channel\_A 設定為 100 $\Omega$ ，Channel\_B 設定為 50 $\Omega$ ，如圖 2.10。

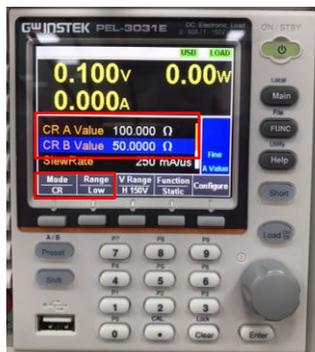


圖 2.10 PEL-3031E 負載設定

- 設定完畢後，將 PSW 電源、PEL-3031E 負載開關開啟，最後再將 PEK-540 開關開啟。

## 實驗目的

PEK-540 前級架構為雙向直流-直流轉換器，在 Lab2 實驗中，將操作在升壓模式，觀測在負載條件變動下，透過閉迴路系統將輸出電壓值維持穩定輸出。

## 實驗結果

因定義電感電流在升壓模式下的方向為正，故在示波器看到的電流為正值。

### (1) 電子負載 100Ω

在電子負載 100Ω 條件下(如圖 2.11)觀測 IP 輸出 RMS 電流為 0.411A(實際值 1.0275A)，IB 為 0.396A(實際值 0.99A)，Vd 輸出 RMS 電壓為 1.93V(實際值 98.469V)，如圖 2.12

圖 2.11

電子負載 100Ω  
設定



圖 2.12

電子負載 100Ω  
量測波形



(2) 電子負載 50Ω

在電子負載 50Ω 條件下(如圖 2.13)觀測 IP 輸出 RMS 電流為 0.827A(實際值 2.0675A)，IB 為 0.811A(實際值 2.0275A)，Vd 輸出 RMS 電壓為 1.92V(實際值 97.959V)，如圖 2.14

圖 2.13  
電子負載 50Ω 設定

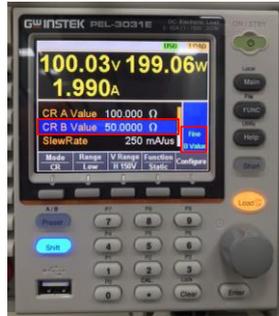


圖 2.13  
電子負載 50Ω 量測波形



依照不同負載的操作，依序將結果填入表 2.1，感測比例請參照表 0.1

表 2.1 不同負載時輸出電壓電流量測數據

	IP(Arms)	IP(Arms)	IB(Arms)	IB(Arms)	Vd(Vrms)	Vd(Vrms)
	(量測值)	(實際值)	(量測值)	(實際值)	(量測值)	(實際值)
半載(100Ω)	0.411A	1.0275A	0.396A	0.99A	1.93V	98.469V
滿載(50Ω)	0.827A	2.0675A	0.811A	2.0275A	1.92V	97.959V

結論

由表 2.1 可以發現，在閉迴路升壓轉換器系統中，負載變動情況下，輸出電流會隨著負載增加而增加，並維持輸出電壓不變。

# 實驗 3 雙向直流至直流轉換器

## 換器

### 電路模擬

轉換器規格如下：

Battery Voltage  $V_b = 50V$

DC BUS Voltage  $V_d = 100V$

$F_s = 40kHz$  ,  $V_{tri} = 10V_{pp}$  (PWM)

$C_b = 200\mu F$  ,  $L_b = 661.5mH$  ,  $C_{BUS} = 470\mu F$

$K_s = 0.24$  (AC current sensing factor)

$K_v = 1/40$  (DC voltage sensing factor)

依照上述參數所建立的類比電路如下圖 3.1:

PSIM 檔名為 : PEK-540\_Sim3\_BD\_DC-DC\_V11.1.5\_V1.1

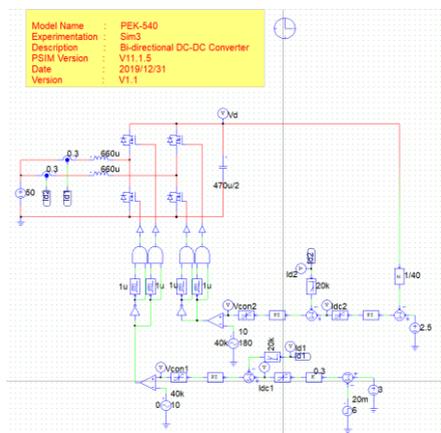


圖 3.1 實驗三 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 3.2, 3.3:

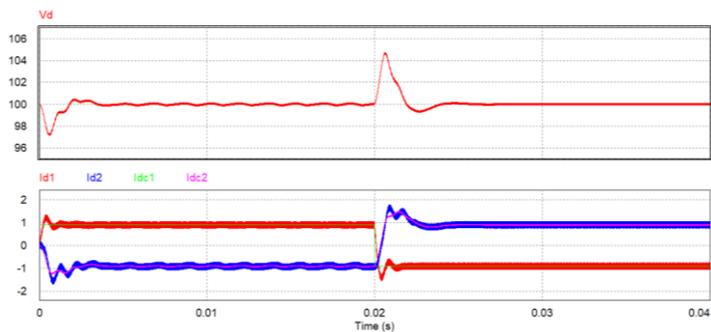


圖 3.2 實驗三類比電路模擬波形

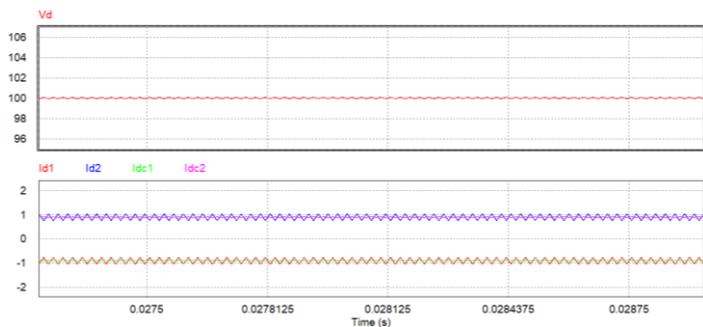


圖 3.3 實驗三類比電路模擬波形



## 實驗設備

本實驗所需的設備如下，設備使用前請參照各設備使用說明書：

- PEK-540 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW160-7.2)
- PC 一台

## 實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 3.6，請依此圖完成接線。

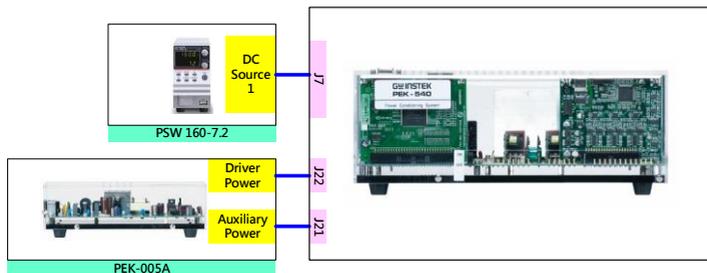


圖 3.6 實驗三接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-540 開關為 OFF，之後開啟 PEK-005A 的開關，開啟後 DSP 的紅色顯示燈亮起，如圖 3.7，此時表示 DSP 電源正常。



圖 3.7 DSP 正常工作畫面

3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。
4. 將示波器探棒分別接至 IP, IB, Vd 上，如圖 3.8

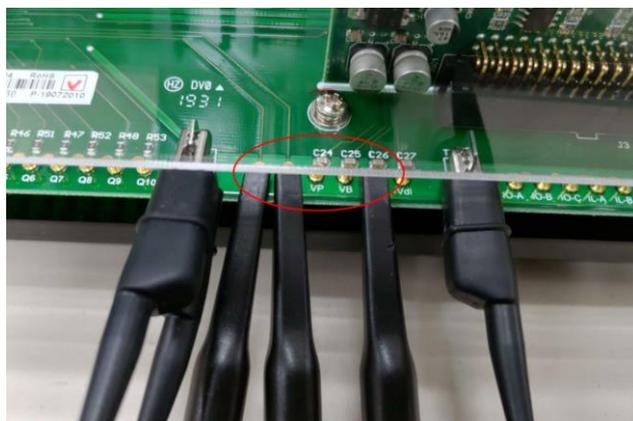


圖 3.8 示波器探棒接線圖

5. PSW160-7.2 設定為電壓 50V，電流 1A，如圖 3.9。



圖 3.9 PSW 160-7.2 設定圖

6. 請依照附錄 C(RS232 連線)進行連線。
7. 設定完畢時，將 PSW 電源輸出開啟，最後 PEK-540 開關開啟。

## 實驗目的

Lab3 為雙向直流-直流轉換器，當電路啟動時，藉由不同的電流設定，改變轉換器操作模式(Boost, Buck 模式)，觀察電感電流變化情形。

## 實驗結果

因定義電感電流在升壓模式下的方向為正，故操作在降壓模式時，其電流在示波器看到為負值。而 DSP 示波器上的 Id1 為 IP 電流，Id2 為 IB 電流。

### (1) PSM\_Id2set = 0

如圖 3.10 所示，於命令值  $PSM\_ID2SET = 0$  條件下，透過 DSP 示波器所顯示之波形，可看見 Id1 及 Id2 電流接近於零。如圖 3.11 所示，觀測 IP 輸出 RMS 電流為 0.145A(實際值 0.362A)，IB 為 0.116A(實際值 0.290A)，Vd 為 1.98V(實際值 101.02V)。

圖 3.10  
PSM\_Id2set = 0

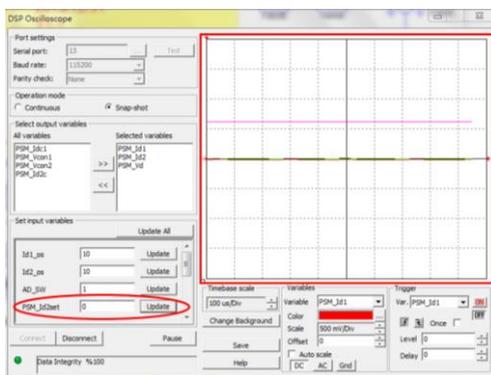


圖 3.11  
PSM\_Id2set = 0  
量測波形



(2) PSM\_Id2set = -1

如圖 3.12 所示，於命令值 PSM\_Id2set = -1 條件下，透過 DSP 示波器所顯示之波形，可看見 Id1 處於 Boost 模式(電流方向為正)，Id2 處於 Buck 模式(電流方向為負)。如圖 3.13 所示，觀測 IP 輸出 RMS 電流為 0.765A(實際值 1.912A)，IB 為 0.829A(實際值 2.072A)，Vd 為 1.98V(實際值 101.02V)。

圖 3.12  
PSM\_Id2set = -1

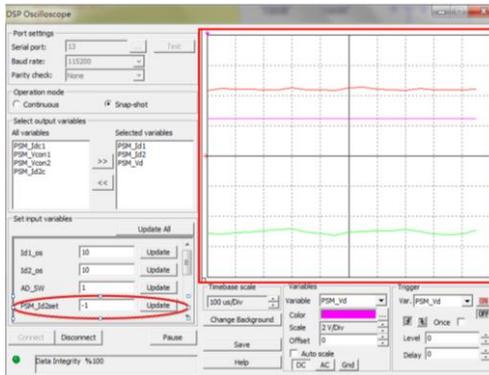


圖 3.13  
PSM\_Id2SET = -1  
量測波形



(3) PSM\_Id2set = 1

如圖 3.14 所示，於命令值 PSM\_Id2set = 1 條件下，透過 DSP 示波器所顯示之波形，可看見 Id2 處於 Boost 模式(電流方向為正)，Id1 處於 Buck 模式(電流方向為負)。如圖 3.15 所示，觀測 IP 輸出 RMS 電流為 0.939A(實際值 2.347A)，IB 為 0.860A(實際值 2.150A)，Vd 為 1.98V(實際值 101.02V)。

圖 3.14  
PSM\_Id2set= 1

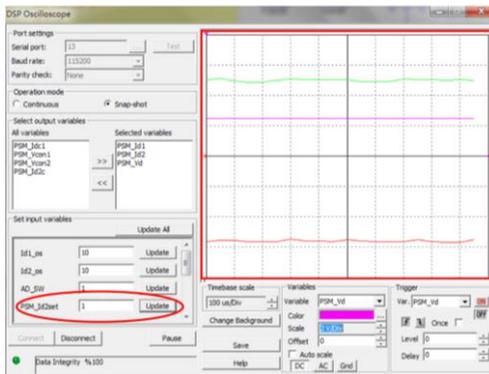


圖 3.15  
PSM\_Id2set= 1  
量測波形



依照 PSM\_Id2set 之設定下，依序將量測之 IP, IB, VdRMS 值填入至表 3.1，且參考表 0.1 之量測值與實際值量測比例，填入實際值於表 3.1。

表 3.1 於 PSM\_ID2SET 不同設定下之輸出電壓電流量測數據

	IP(Arms)	IP(Arms)	IB(Arms)	IB(Arms)	Vd(Vrms)	Vd(Vrms)
	(量測值)	(實際值)	(量測值)	(實際值)	(量測值)	(實際值)
PSM_Id2set =0	0.145A	0.362A	0.116A	0.290A	1.98V	101.02V
PSM_Id2set =-1	0.765A	1.912A	0.829A	2.072A	1.98V	101.02V
PSM_Id2set =1	0.939A	2.347A	0.860A	2.150A	1.98V	101.02V

由表 3.1 可發現，實測上兩組的電感電流會因電路損耗有所差異 (理想狀態為相同)。

## 結論

在 Lab3 的實驗中，第一組轉換器負責維持輸出電壓，而系統的電流方向由第二組轉換器的 PSM\_Id2set 命令決定，當 PSM\_Id2set 為正時，第二組操作於 Boost 模式，而第一組則操作於 Buck 模式；當 PSM\_Id2set 為負時，第二組操作於 Buck 模式，而第一組則操作於 Boost 模式。

# 實驗 4 三相四線升壓式獨立型逆變器

## 電路模擬

系統規格如下：

---

Battery Voltage  $V_b = 50V$

DC BUS Voltage  $V_d = 100V$

$F_s = 40kHz$ ,  $V_{tri} = 10V_{pp}$  (DC-DC PWM)

$F_s = 20kHz$ ,  $V_{tri} = 10V_{pp}$  (Inverter PWM)

$C_b = 200\mu F$ ,  $L_b = 661.5\mu H$ ,  $C_{Bus} = 470\mu F$

$L = 1.02mH$ ,  $C = 10\mu F$

$K_s = 0.24$  (DC current sensing factor)

$K_s = 0.3$  (AC current sensing factor)

$K_v = 1/40$  (DC voltage sensing factor)

$K_v = 1/40$  (AC voltage sensing factor)

---

依照上述參數所建立的類比電路如下圖 4. 1:

PSIM 檔名為:

PEK-540\_Sim4\_3P4W\_Boost\_SA\_Inv(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1

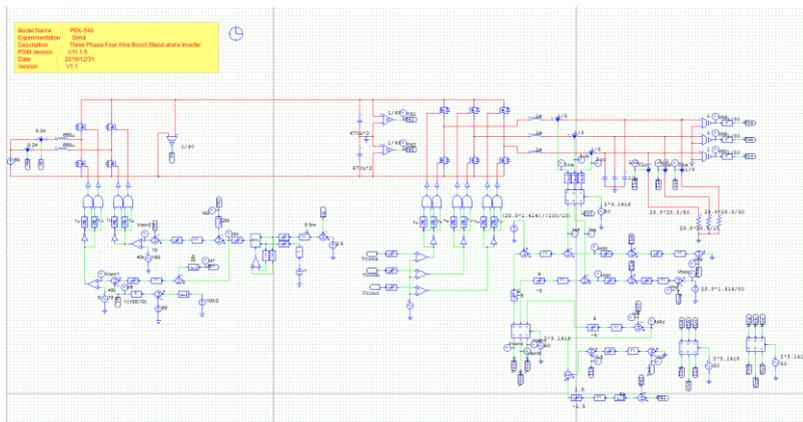


圖 4.1 實驗四 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 4.2、圖 4.3

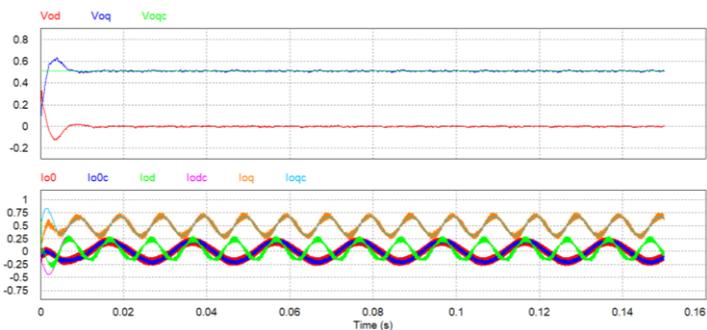


圖 4.2 實驗四類比電路模擬波形

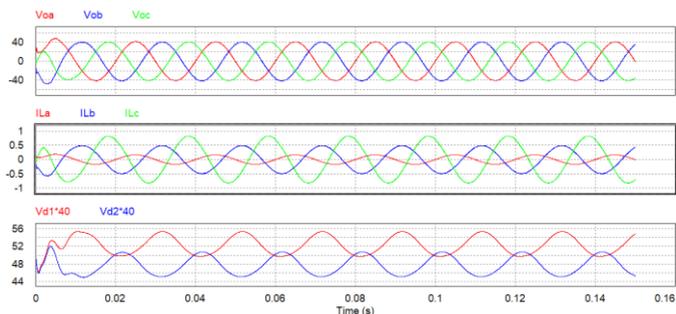


圖 4.3 實驗四類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 4.4:

PSIM 檔名為:

PEK-540\_Lab4\_3P4W\_Boost\_SA\_Inv(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1

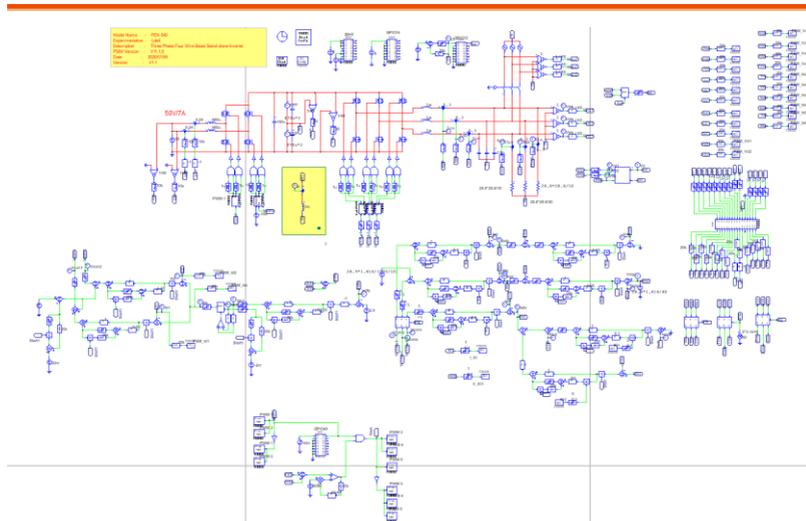


圖 4.4 實驗四 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 4.5、圖 4.6

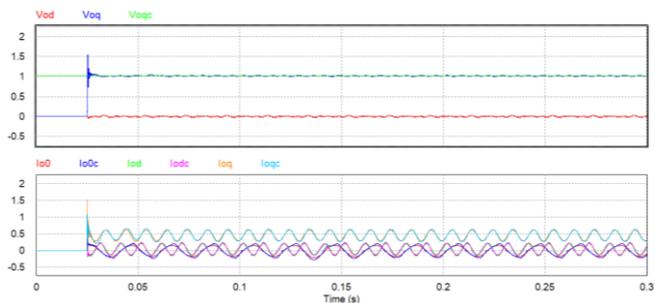


圖 4.5 實驗四數位電路模擬波形

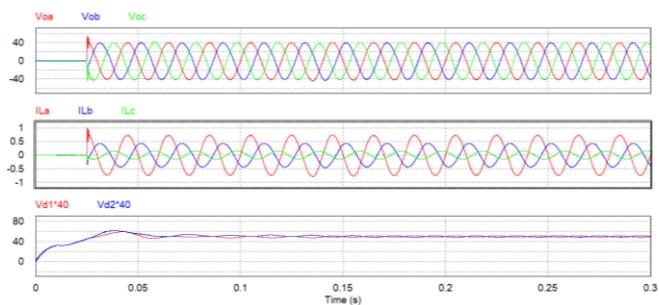


圖 4.6 實驗四數位電路模擬波形

模擬確認無誤後，利用“Simulate”的“Generate Code”自動產生對應的 C Code。

## 實驗設備

本實驗所需的設備如下，設備使用前請參照各設備使用說明書：

- PEK-540 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW 160-7.2, GPL-500)
- PC 一台

## 實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 4.7，請依此圖完成接線。



圖 4.7 實驗四接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-540 開關為 OFF，之後開啟 PEK-005A 的開關，開啟後 DSP 的紅色顯示燈亮起，如圖 4.8，此時表示 DSP 電源正常。



圖 4.8 DSP 正常工作畫面

3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。
4. 如圖 4.9 所示，將示波器探棒分別接至  $V_{OA}$ ,  $V_{OB}$ ,  $V_{OC}$ ,  $I_{OA}$  上。

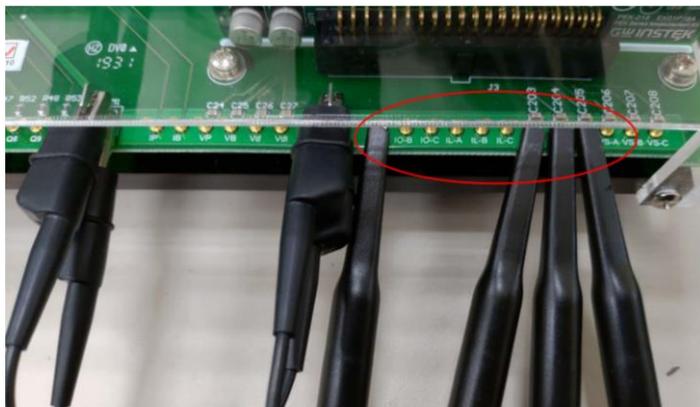


圖 4.9 示波器探棒接線圖

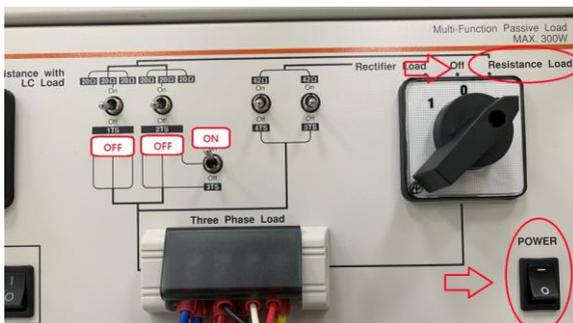
5. 如圖 4.10 所示，電源供應器 PSW160-7.2 設定為電壓 50V，電流 7.56A。

圖 4.10  
PSW 設定



6. 如圖 4.11 所示，GPL-500 操作步驟為:開啟 GPL-500 電源→Three Phase Load 旋鈕調至 2(Resistance Load) →1TS, 2TS 設定為 OFF，3TS 設定為 ON，此設定為空載模式。

圖 4.11  
GPL-500 空載設定



7. 依照附錄 C(RS232 連線)進行連線。
8. 設定完畢時，將 PSW 電源輸出開啟，最後 PEK-540 開關開啟。

## 實驗目的

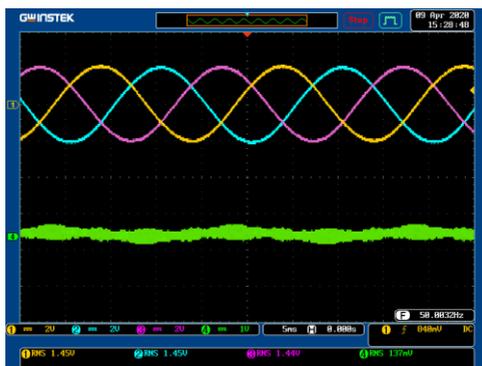
此實驗為獨立型逆變器之負載變動測試，於空載、半載、滿載操作中探討輸出電壓及輸出電流變化波形，於不平衡載操作中探討輸出電壓是否依舊平衡。

## 實驗結果

### (1) GPL-500 為空載模式

4.12 所示，於 GPL-500 為空載模式設定時，觀測  $V_{OA}$  輸出 RMS 電壓為 1.45V(實際值 29.11V)， $V_{OB}$  輸出 RMS 電壓為 1.45V(實際值 29.11V)， $V_{OC}$  輸出 RMS 電壓為 1.44V(實際值 28.91V)， $I_{OA}$  輸出 RMS 電流為 0.137A(實際值 0.287A)。

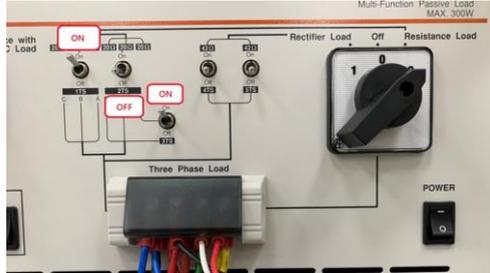
圖 4.12  
空載量測波形



(2) GPL-500 為半載模式(20Ω)

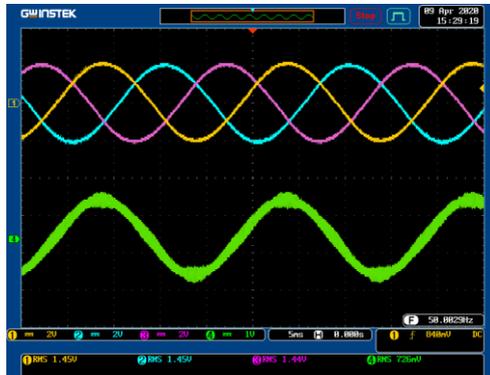
如圖 4.13 所示，1TS, 3TS 設定為 ON，2TS 設定為 OFF，此設定為半載模式。

圖 4.13  
GPL-500 半載設定



如圖 4.14 所示，於 GPL-500 為半載模式設定時，觀測 VOA 輸出 RMS 電壓為 1.45V(實際值 29.11V)，VOB 輸出 RMS 電壓為 1.45V(實際值 29.11V)，VOC 輸出 RMS 電壓為 1.44V(實際值 28.91V)，IOA 輸出 RMS 電流為 0.726A(實際值 1.522A)。

圖 4.14  
半載量測波形



(3) GPL-500 為滿載模式(10Ω)

如圖 4.15 所示，1TS, 2TS, 3TS 設定皆為 ON，此設定為滿載模式。

如圖 4.16 所示，於 GPL-500 為滿載模式設定時，觀測 VOA 輸出 RMS 電壓為 1.45V(實際值 29.11V)，VOB 輸出 RMS 電壓為 1.45V(實際值 29.11V)，VOC 輸出 RMS 電壓為 1.44V(實際值 28.91V)，IOA 輸出 RMS 電流為 1.380A(實際值 2.893A)。

圖 4.15  
GPL-500 滿載設定

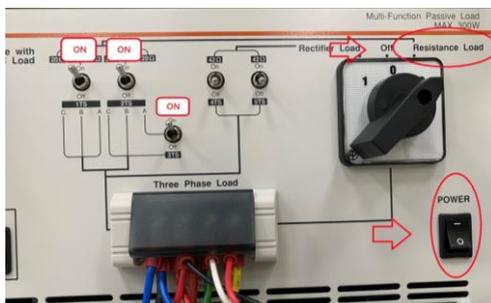
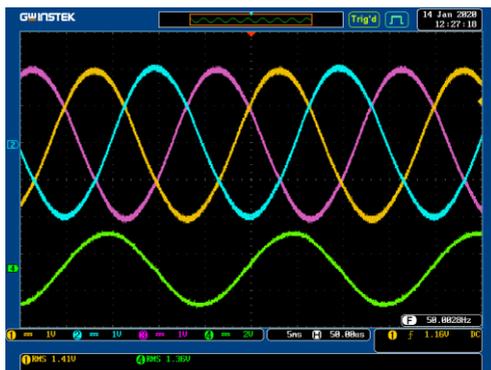


圖 4.16  
滿載量測波形



#### (4) GPL-500 為不平衡載模式( $R_a/R_b/R_c = 20/10/10\Omega$ )

如圖 4.17 所示，1TS, 2TS 設定為 ON，3TS 設定為 OFF，此設定為不平衡載模式。

如圖 4.18 所示，於 GPL-500 為不平衡載模式設定時，觀測  $V_{OA}$  輸出 RMS 電壓為 1.47V(實際值 29.51V)， $V_{OB}$  輸出 RMS 電壓為 1.45V(實際值 29.51V)， $V_{OC}$  輸出 RMS 電壓為 1.40V(實際值 28.11V)。此時輸出電壓仍為平衡狀態。

如圖 4.19 所示，於 GPL-500 為不平衡載模式設定時，觀測  $I_{OA}$  輸出 RMS 電流為 0.747A(實際值 1.566A)， $I_{OB}$  輸出 RMS 電流為 1.41A(實際值 2.955A)， $I_{OC}$  輸出 RMS 電流為 1.35A(實際值 2.830A)。此時輸出電流為不平衡狀態。

圖 4.17  
GPL-500 不平衡  
載設定

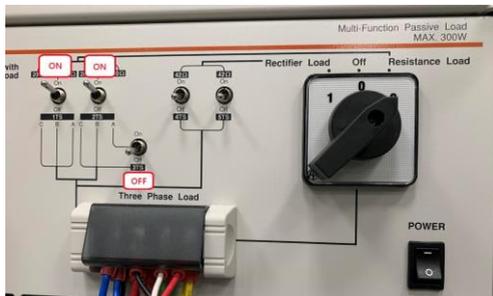


圖 4.18  
不平衡載的輸出  
電壓波形

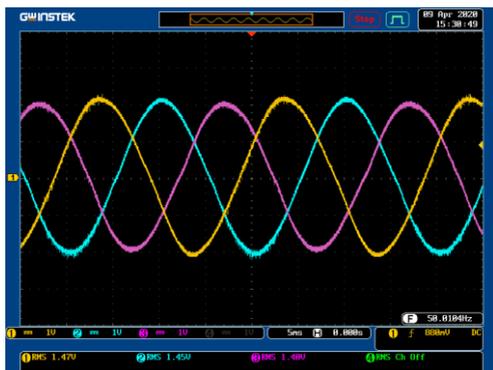
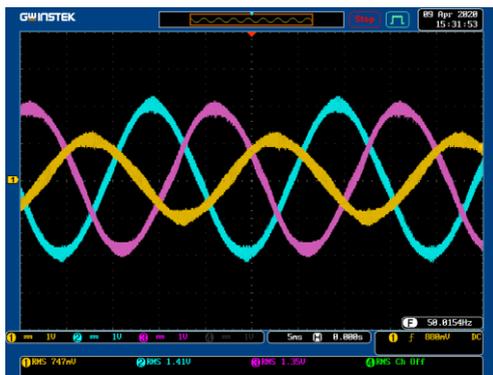


圖 4.19  
不平衡載的輸出  
電流波形



依照 GPL-500 之空載、半載、滿載設定下，依序將量測之  $V_{OA}$ ,  $V_{OB}$ ,  $V_{OC}$  與  $I_{OA}$  值填入至表 4.1，且參考表 0.1 之感測比例，填入實際值。

表 4.1 於 GPL-500 不同設定下之輸出電壓電流量測數據

GPL-500	$V_{OA}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OA}(V_{rms})$ (實際值)	$V_{OB}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OB}(V_{rms})$ (實際值)	$V_{OC}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OC}(V_{rms})$ (實際值)
空載	1.45V	29.11V	1.45V	29.11V	1.44V	28.91V
半載	1.45V	29.11V	1.45V	29.11V	1.44V	28.91V
滿載	1.45V	29.11V	1.45V	29.11V	1.44V	28.91V

GPL-500	$I_{OA}(I_{rms})$ (量測值)	$I_{OA}(I_{rms})$ (實際值)
空載	0.137A	0.287A
半載	0.726A	1.522A
滿載	1.380A	2.893A

如表 4.1 所示，當 GPL-500 由空載至滿載，輸出電流  $I_{OA}$  逐漸增加，輸出電壓  $V_{OA}$ ,  $V_{OB}$ ,  $V_{OC}$  仍維持不變。

依照 GPL-500 之不平衡載設定下，依序將量測之  $V_{OA}$ ,  $V_{OB}$ ,  $V_{OC}$ ,  $I_{OA}$ ,  $I_{OB}$ ,  $I_{OC}$  值填入至表 4.2，且參考表 0.1 之感測比例填入實際值。

表 4.2 於 GPL-500 不同設定下之輸出電壓電流量測數據

GPL-500	$V_{OA}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OA}(V_{rms})$ (實際值)	$V_{OB}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OB}(V_{rms})$ (實際值)	$V_{OC}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OC}(V_{rms})$ (實際值)
不平衡載	1.47V	29.51V	1.45V	29.11V	1.40V	28.11V
GPL-500	$I_{OA}(I_{rms})$ (量測值)	$I_{OA}(I_{rms})$ (實際值)	$I_{OB}(I_{rms})$ (量測值)	$I_{OB}(I_{rms})$ (實際值)	$I_{OC}(I_{rms})$ (量測值)	$I_{OC}(I_{rms})$ (實際值)
不平衡載	0.747A	1.566A	1.410A	2.955A	1.350A	2.830A

如表 4.2 所示，負載為不平衡載時，輸出電壓仍維持平衡狀態。輸出電流  $I_{OA}$  為 1/2 之  $I_{OB}$ ,  $I_{OC}$  電流值，因此輸出電流為不平衡狀態。

## 結論

Lab4 為獨立型逆變器之實際測試，在負載由空載至滿載的調整過程中，逆變器之輸出電流逐漸增加，輸出電壓維持不變。且操作於不平衡載時，輸出電流為不平衡狀態，輸出電壓仍為平衡狀態。

# 實驗 5 三相四線光伏並網 逆變器

## 電路模擬

系統規格如下：

---

Battery Voltage  $V_b = 50V$

DC BUS Voltage  $V_d = 100V$

AC Source Voltage  $V_{LL} = 50V_{rms}$

$F_s = 40kHz$ ,  $V_{tri} = 10V_{pp}$  (DC-DC PWM)

$F_s = 20kHz$ ,  $V_{tri} = 10V_{pp}$  (Inverter PWM)

$C_b = 200\mu F$ ,  $L_b = 661.5\mu H$ ,  $C_{Bus} = 470\mu F$

$L = 1.02mH$ ,  $C = 10\mu F$

$K_s = 0.24$  (DC current sensing factor)

$K_s = 0.3$  (AC current sensing factor)

$K_v = 1/40$  (DC voltage sensing factor)

$K_v = 1/40$  (AC voltage sensing factor)

---

依照上述參數所建立的類比電路如下圖 5. 1:

PSIM 檔名為:

PEK-540\_Sim5\_3P4W\_PV\_GC\_Inv(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1

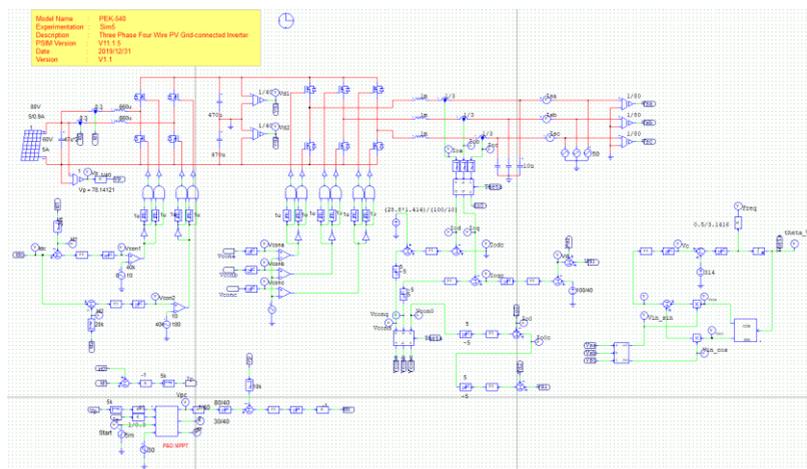


圖 5.1 實驗五 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 5.2

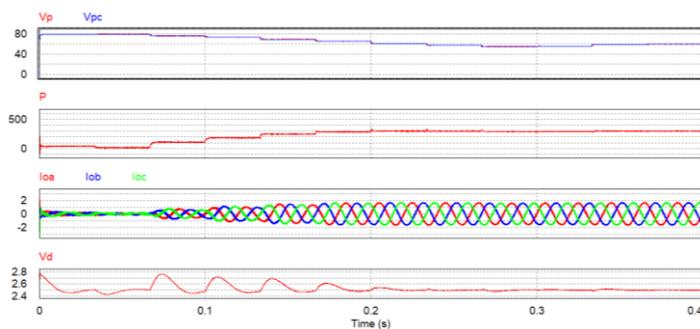


圖 5.2 實驗五類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 5.3:

PSIM 檔名為:

PEK-540\_Lab5\_3P4W\_PV\_GC\_Inv(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1

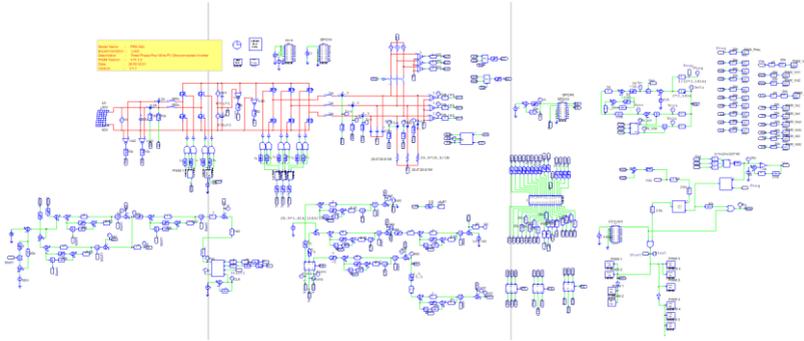


圖 5.3 實驗五 PSIM 數位電路圖

因實際產生 Code 的電路，其 MPPT 調整的頻率為 1Hz，但如以此檔案模擬需耗費相當長的時間，所以另外修改一個 MPPT 調整頻率為 100Hz 的數位電路，其檔名為

”PEK-540\_Sim5D\_3P4W\_PV\_GC\_Inv(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1”，以此檔案模擬可以在較短時間內看到模擬結果，其模擬結果如圖 5.4:

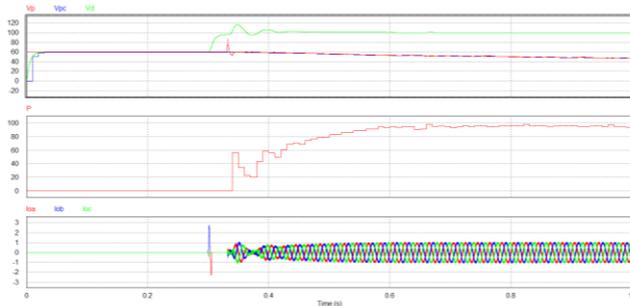


圖 5.4 實驗五數位電路模擬波形

模擬確認無誤後，利用”Simulate”的”Generate Code”自動產生對應的 C Code。

## 實驗設備

本實驗所需的設備如下，設備使用前請參照各設備使用說明書：

- PEK-540 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW 160-7.2, APS-300, GPL-500)
- PC 一台

## 實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 5.5，請依此圖完成接線。

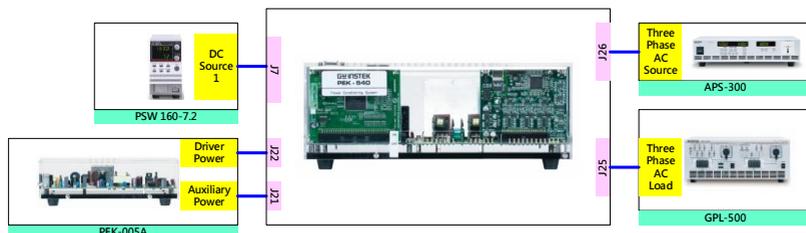


圖 5.5 實驗五接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-540 開關為 OFF，之後開啟 PEK-005A 的開關，開啟後 DSP 的紅色顯示燈亮起，如圖 5.6，此時表示 DSP 電源正常。



圖 5.6 DSP 正常工作畫面

3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。
4. 如圖 5.7 所示，將示波器探棒分別接至  $I_{OA}$ ,  $I_{OB}$ ,  $I_{OC}$  上

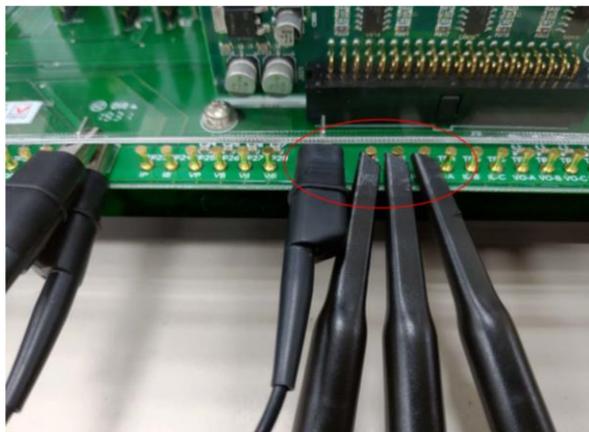


圖 5.7 示波器探棒接線圖

5. 模擬光伏系統之設定步驟請參考附錄 D(SAS 軟體操作手冊)進行設定，如圖 5.8 所示，第一條曲線之開路電壓為 60V、短路電流為 4.4A、最大功率點電壓為 50V 及最大功率點電流為 4A。如圖 5.9 所示，第二條曲線數值設定在第一最大功率點的 90%，因此第二最大功率點之開路電壓為 54V、短路電流為 3.96A、最大功率點電壓為 45V 及最大功率點電流為 3.6A。

圖 5.8  
第一條曲線設定  
值

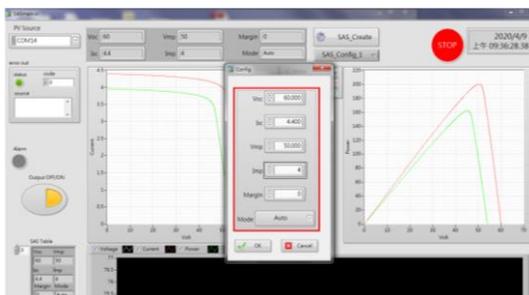
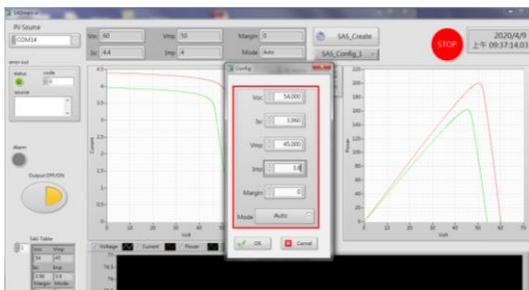
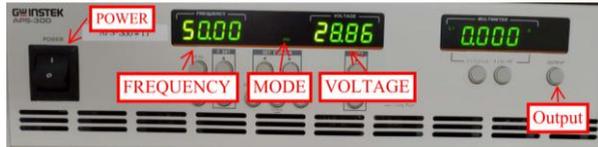


圖 5.9  
第二條曲線設定  
值



6. 如圖 5.10 所示，APS-300 操作步驟為：開啟 APS-300 電源→APS-300 設定頻率為 50Hz →操作模式為 3P4W→輸出電壓為 28.86V。

圖 5.10  
APS-300 設定圖



7. 如圖 5.11 所示，GPL-500 操作步驟為：開啟 GPL500 電源→Three Phase Load 旋鈕調至 2(Resistance Load) →1TS, 3TS 設定為 ON，2TS 設定為 OFF，此設定為半載模式。

圖 5.11  
GPL-500 半載設定圖



8. 設定完畢後，透過 SAS 程式開啟 PSW 輸出，並開啟 APS-300 輸出，而後開啟 PEK-540 進行測試。

## 實驗目的

此實驗為市電並聯型系統，以 PSW 160-7.2 模擬光伏面板行為，APS-300 模擬市電，當此系統運行時，觀測逆變器與市電之間的功率變化。

## 實驗結果

1. 當 PSW 動作初期，可發現提供至負載功率不足，因此藉由 APS-300 輸出補足負載所需功率。如圖 5.12、5.13 所示，PSW 所提供功率為 28.26W，而 APS-300 所提供單相功率為 34.8W。

圖 5.12  
初始 PSW 之輸出  
功率



圖 5.13  
初始 APS-300 之  
輸出功率



2. 如圖 5.14, 5.15 所示，當 PSW 動作一段時間後，可發現提供至負載功率上升為 105.7W，此時 APS-300 所提供之單相功率減少為 12.9W。

圖 5.14  
PSW 之輸出功率



圖 5.15  
APS-300 之輸出  
功率



3. 如圖 5.16, 5.17 所示，當達到最大功率點時，此時 PSW 輸出功率為 200W，而負載所需功率為 125W，故 APS-300 將多餘的輸出功率吸收。

圖 5.16  
最大功率點 PSW  
之輸出功率



圖 5.17  
最大功率點 APS-  
300 之輸出功率



光伏面板的功率-電壓曲線隨環境跟外在因素不停變化，因此透過設定兩條曲線切換，確保逆變器在任意的環境條件下都能夠維持最大功率輸出，以達到最高利用率。如圖 5.18, 5.19 所示，可觀測出在任意曲線切換中的輸出功率逐漸往最大功率輸出點靠近並維持。

圖 5.18  
SAS 處於第一條  
曲線的最大功率  
點

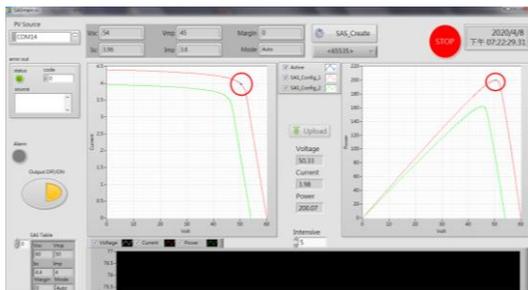
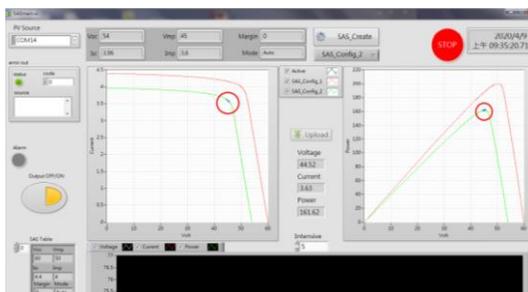


圖 5.19  
SAS 處於第二條  
曲線的最大功率  
點



## 結論

此實驗為光伏逆變器與電網並聯運行，共同提供能量並傳遞至負載。當光伏逆變器所提供功率不足時，此時由電網補足負載所需功率。而當光伏逆變器功率足以供應負載時，並可將多餘的電能饋送至電網。

# 實驗 6 三相四線蓄電池儲能系統

## 電路模擬

系統規格如下：

---

Battery Voltage  $V_b = 50V$

DC BUS Voltage  $V_d = 100V$

AC Source Voltage  $V_{LL} = 50V_{rms}$

$F_s = 40kHz$ ,  $V_{tri} = 10V_{pp}$  (DC-DC PWM)

$F_s = 20kHz$ ,  $V_{tri} = 10V_{pp}$  (Inverter PWM)

$C_b = 200\mu F$ ,  $L_b = 661.5\mu H$ ,  $C_{Bus} = 470\mu F$

$L = 1.02mH$ ,  $C = 10\mu F$

$K_s = 0.24$  (DC current sensing factor)

$K_s = 0.3$  (AC current sensing factor)

$K_v = 1/40$  (DC voltage sensing factor)

$K_v = 1/40$  (AC voltage sensing factor)

---

依照上述參數所建立的類比電路如下圖 6.1、圖 6.3、圖 6.5:

PSIM 檔名為:

PEK-540\_Sim6-1\_3P4W\_BESS\_EXT(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1

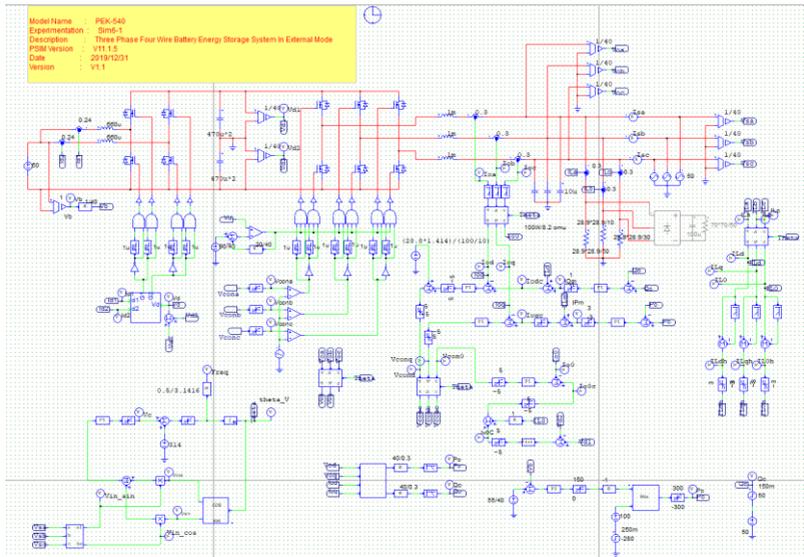


圖 6.1 實驗六 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 6.2

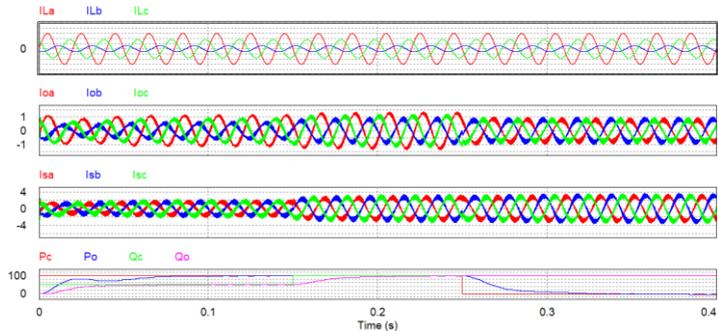


圖 6.2 實驗六類比電路模擬波形

PSIM 檔名為：  
PEK-540\_Sim6-2\_3P4W\_BESS\_PQ(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1

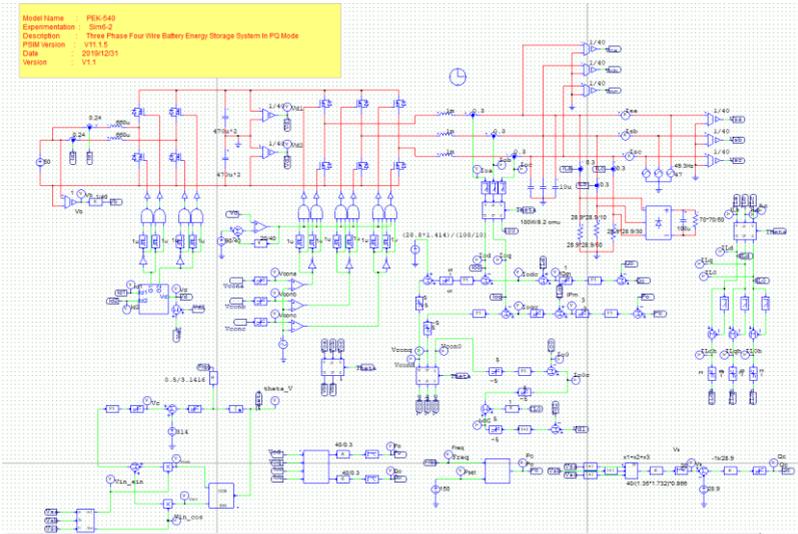


圖 6.3 實驗六 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 6.4:

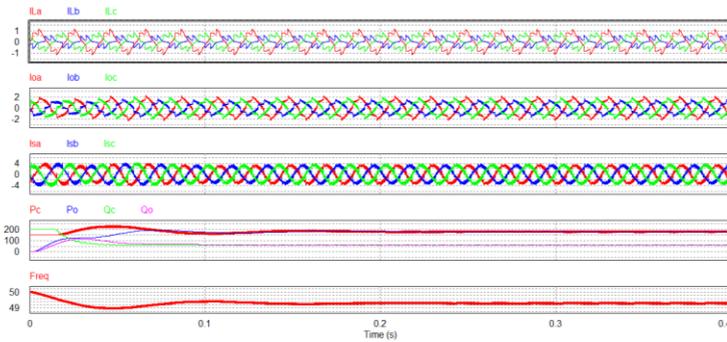


圖 6.4 實驗六類比電路模擬波形

PSIM 檔名為：

PEK-540\_Sim6-3\_3P4W\_BESS\_SA(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1

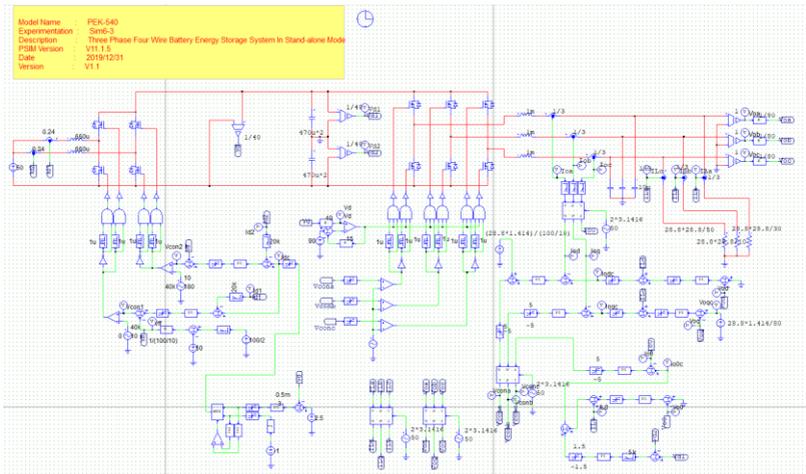


圖 6.5 實驗六 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 6.6:

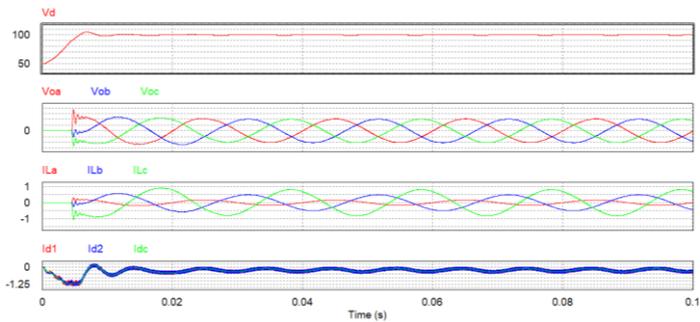


圖 6.6 實驗六類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如圖 6.7:

PSIM 檔名為 : PEK-540\_Lab6\_3P4W\_BEES(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1

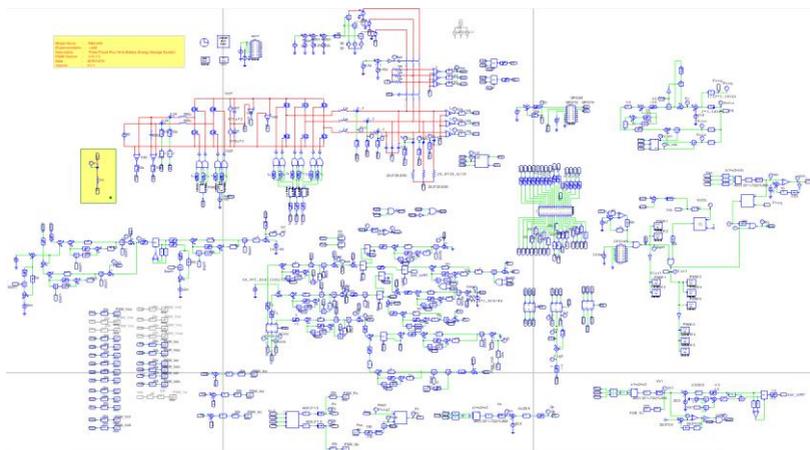


圖 6.7 實驗六 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 6.8:

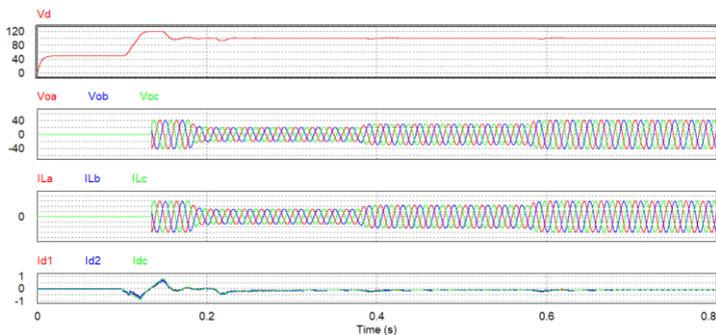


圖 6.8 實驗六數位電路模擬波形

模擬確認無誤後，利用“Simulate”的“Generate Code”自動產生對應的 C Code。

## 實驗設備

本實驗所需的設備如下，設備使用前請參照各設備使用說明書：

- PEK-540 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW 160-7.2, APS-300, PEL-3031E, GPL-500)
- PC 一台

## 實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 6.9，請依此圖完成接線。

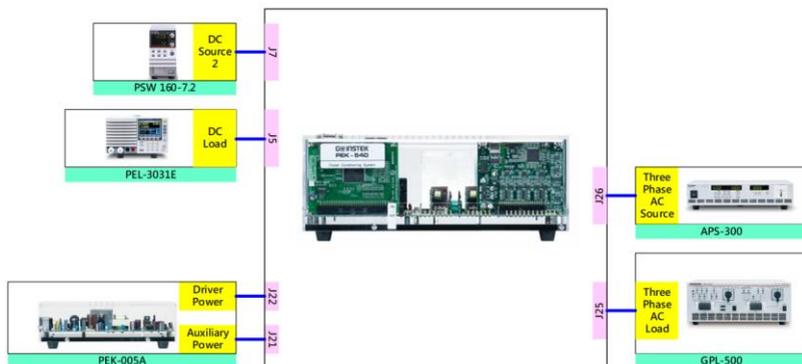


圖 6.9 實驗六接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-540 開關為 OFF，之後開啟 PEK-005A 的開關，開啟後 DSP 的紅色顯示燈亮起，如圖 6.10，此時表示 DSP 電源正常。



圖 6.10 DSP 正常工作畫面

3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。
4. 如圖 6.11 所示，將示波器探棒分別接至  $V_{OA}$ ,  $V_{OB}$ ,  $V_{OC}$ ,  $I_{OA}$  上

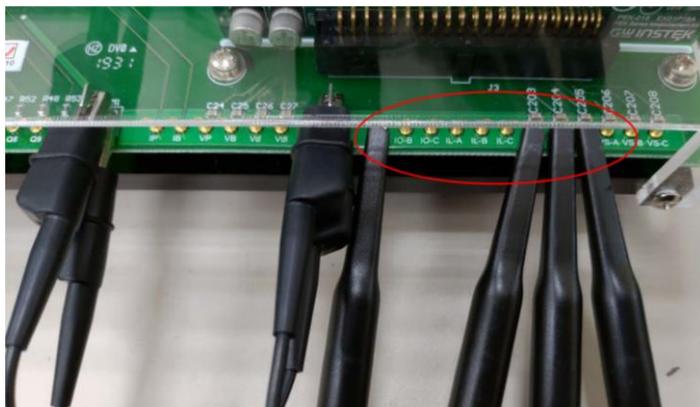
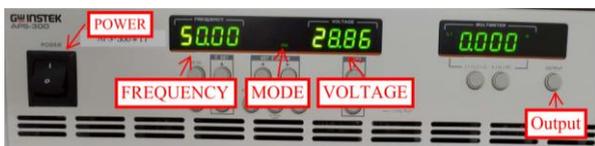


圖 6.11 示波器探棒接線圖

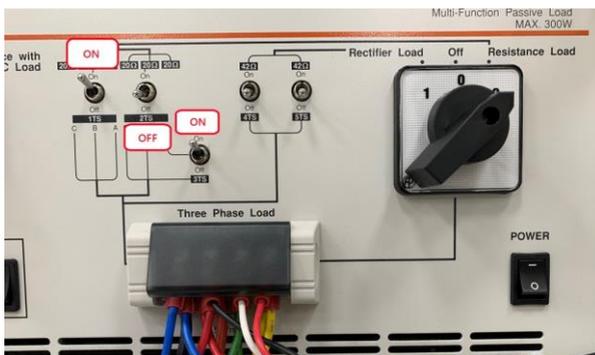
5. 如圖 6.12 所示，APS-300 操作步驟為:開啟 APS-300 電源→APS-300 設定頻率為 50Hz →操作模式為 3P4W→輸出電壓為 28.86V →確認無誤後開啟 APS-300 之 Output。

圖 6.12  
APS-300 設定圖



6. 如圖 6.13 所示，GPL-500 操作步驟為:開啟 GPL-500 電源→Three Phase Load 旋鈕調至 2(Resistance Load) →2TS 設定為 OFF，2TS, 3TS 設定為 ON，此設定為半載模式。

圖 6.13  
GPL-500 半載設定



- 依照附錄 C(RS232 連線)進行連線。
- 模擬電池之設定步驟請參考附錄 E(BATSim 軟體操作手冊)進行設定，如圖 6.14 所示，設定電池容量 300mAh，初始容量 50%，充飽電時電壓 50V，完全放電時電壓 45V，內部充放電時的壓差 0.5V。

圖 6.14 電池模擬  
參數設定



- 設定完畢後，透過 BATSim 程式開啟 PSW 與 PEL 輸出，並開啟 APS-300 輸出，最後再將 PEK-540 開關開啟。

## 實驗目的

本實驗為電池儲能系統，透過 PSW 160-7.2 及 PEL-3031E 模擬電池，APS-300 模擬市電，當此系統運行時，觀測逆變器與市電之間的功率及波形變化。

## 實驗結果

### (1) 電池放電模式

如圖 6.15 所示，逆變器輸出功率  $P_{oc}$  的初始設定為 50，其 DSP 示波器波形為逆變器之輸出電壓及電流。如圖 6.16 所示，觀測逆變器輸出電壓  $V_{OA}$  與輸出電流  $I_{OA}$  為同相狀態， $V_{OA}$  輸出 RMS 電壓為 1.43V(實際值 28.71V)， $V_{OB}$  輸出 RMS 電壓為 1.43V(實際值 28.71V)， $V_{OC}$  輸出 RMS 電壓為 1.41V(實際值 28.31V)， $I_{OA}$  輸出 RMS 電流為 0.331A(實際值 0.693A)。如圖 6.17 所示，藉由電池狀態得知，此時電池能量經由逆變器傳遞至負載，因此電池為放電模式。

圖 6.15  
命令值  $P_{oc}$  設定  
50

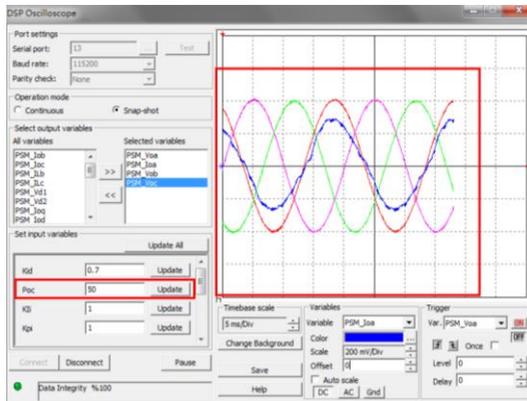


圖 6.16  
命令值 Poc 設定  
為 50 之實測波形

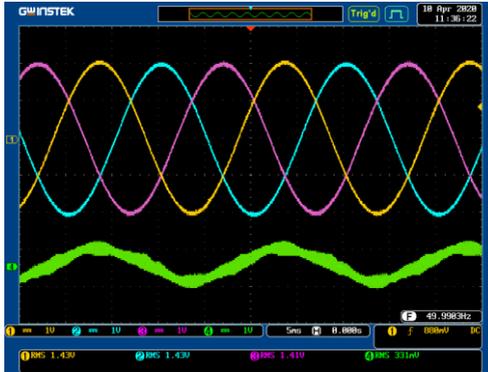


圖 6.17  
命令值 Poc 設定  
為 50 之電池狀態



## (2) 電池充電模式

如圖 6.18 所示，將逆變器輸出功率命令值 Poc 設定為-50，其 DSP 示波器波形為逆變器輸出電壓及電流。如圖 6.19 所示，觀測逆變器輸出電壓  $V_{OA}$  與輸出電流  $I_{OA}$  為反相狀態， $V_{OA}$  輸出 RMS 電壓為 1.43V(實際值 28.71V)， $V_{OB}$  輸出 RMS 電壓為 1.42V(實際值 28.51V)， $V_{OC}$  輸出 RMS 電壓為 1.42V(實際值 28.51V)， $I_{OA}$  輸出 RMS 電流為 0.280A(實際值 0.587A)。如圖 6.20 所示，藉由電池狀態得知，此時市電提供能量至電池及負載，因此電池為充電模式。

圖 6.18  
命令值 Poc 設定  
-50

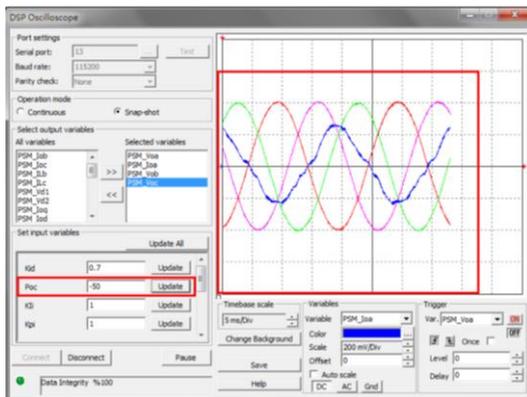


圖 6.19  
命令值 Poc 設定  
為-50 之實測波形

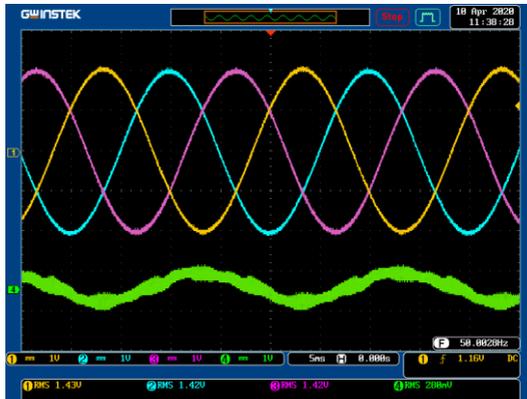


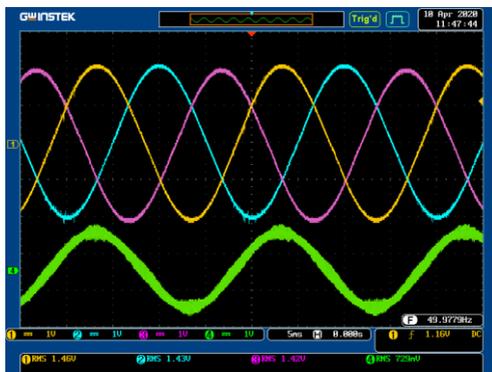
圖 6.20  
命令值 Poc 設定  
為-50 之電池狀態



### (3) 逆變器獨立模式(平衡載-半載)

將  $P_{oc}$  設定值調回 50 並關閉 APS-300，此時逆變器為獨立模式由電池提供功率。如圖 6.21 所示，觀測  $V_{OA}$  輸出 RMS 電壓為 1.46V(實際值 29.31V)， $V_{OB}$  輸出 RMS 電壓為 1.43V(實際值 28.71V)， $V_{OC}$  輸出 RMS 電壓為 1.42V(實際值 28.51V)， $I_{OA}$  輸出 RMS 電流為 0.729A(實際值 1.528A)。

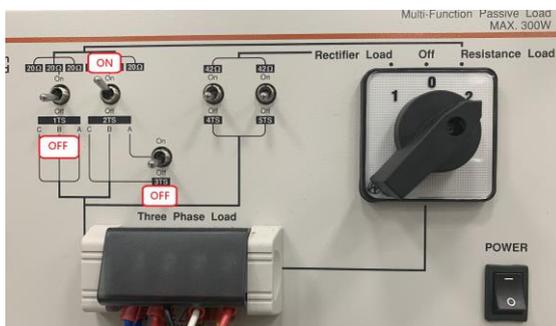
圖 6.21  
逆變器獨立模式  
之實測波形



### (4) 逆變器獨立模式(不平衡模式 $R_a/R_b/R_c = \infty/20/20\Omega$ )

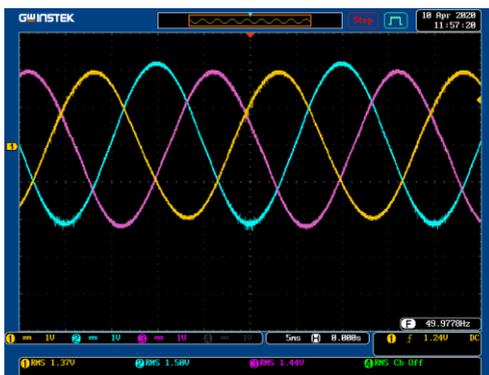
將 GPL-500 調整為不平衡載模式，旋鈕調整至 Resistance Load，2TS 設定為 ON，1TS 與 3TS 設定為 OFF，如圖 6.22 所示。

圖 6.22  
GPL-500 不平衡  
模式設定



如圖 6.23 所示，當負載為不平衡模式時，但逆變器輸出電壓仍為平衡狀態。

圖 6.23  
負載不平衡模式  
下電壓實測輸出  
波形

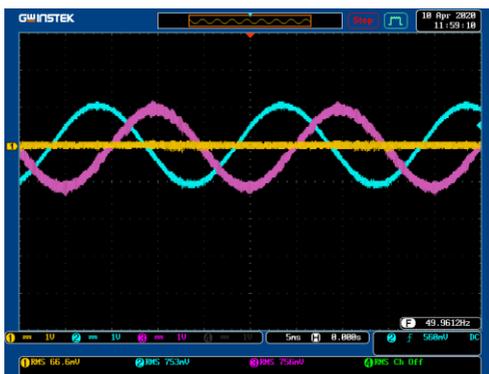


如圖 6.24 所示，將探棒改接至輸出負載電流  $I_{LA}$ ,  $I_{LB}$ ,  $I_{LC}$ 。如圖 6.25 所示，可發現  $I_{LA}$  為零，因此三相電流為不平衡狀態。

圖 6.24  
示波器探棒接線  
(不平衡載  $I_{LA}$ ,  $I_{LB}$ ,  
 $I_{LC}$ )



圖 6.25  
負載不平衡模式  
下之輸出電流實  
測波形

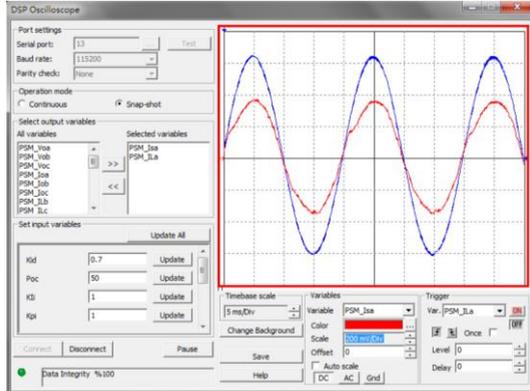


### (5) 主動功率濾波

DSP 示波器波形選擇 PSM\_I<sub>sA</sub>(市電)與 PSM\_I<sub>LA</sub>(負載)。

如圖 6.13 所示，將 GPL-500 設定為阻性載半載，並將 APS-300 開啟。此時市電及負載電流皆為正弦，如圖 6.26 所示。

圖 6.26  
阻性負載之市電、負載電流

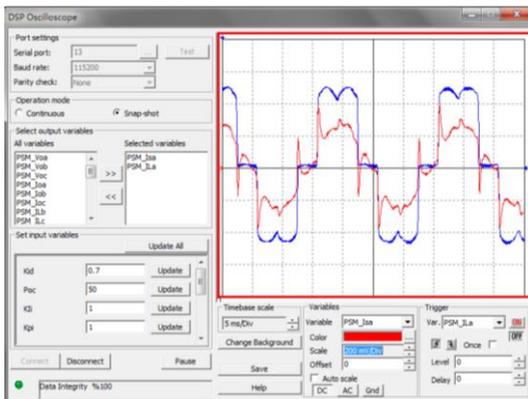


如圖 6.27 所示，將 GPL-500 調整至 Rectifier Load，4TS 為設定為 ON，5TS 為 OFF，此時為非線性負載。如圖 6.28 所示，負載電流雖為非線性電流，但市電電流可以透過逆變器的主動功率修正，可使波形接近於正弦波。

圖 6.27  
GPL-500 非線性  
載設定



圖 6.28  
非線性之市電、  
負載電流



在獨立模式之半載條件下，依序將量測之  $V_{OA}$ ,  $V_{OB}$ ,  $V_{OC}$  與  $I_{OA}$  RMS 值填入至表 6.1，感測比例請參考表 0.1。

表 6.1 獨立模式半載條件下之三相輸出電壓電流量測數據

GPL-500	$V_{OA}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OA}(V_{rms})$ (實際值)	$V_{OB}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OB}(V_{rms})$ (實際值)	$V_{OC}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OC}(V_{rms})$ (實際值)
半載	1.46V	29.31V	1.43V	28.71V	1.42V	28.51V

GPL-500	$I_{OA}(I_{rms})$ (量測值)	$I_{OA}(I_{rms})$ (實際值)
半載	0.729A	1.528A

在獨立模式之不平衡載條件下，依序將量測之  $V_{OA}$ ,  $V_{OB}$ ,  $V_{OC}$ ,  $I_{LA}$ ,  $I_{LB}$ ,  $I_{LC}$  RMS 值填入至表 6.2，感測比例請參考表 0.1。

表 6.2 獨立模式不平衡載條件下之三相輸出電壓電流量測數據

GPL-500	$V_{OA}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OA}(V_{rms})$ (實際值)	$V_{OB}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OB}(V_{rms})$ (實際值)	$V_{OC}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{OC}(V_{rms})$ (實際值)
不平衡載	1.37V	27.51V	1.50V	30.12V	1.44V	28.91V
GPL-500	$I_{LA}(I_{rms})$ (量測值)	$I_{LA}(I_{rms})$ (實際值)	$I_{LB}(I_{rms})$ (量測值)	$I_{LB}(I_{rms})$ (實際值)	$I_{LC}(I_{rms})$ (量測值)	$I_{LC}(I_{rms})$ (實際值)
不平衡載	0A	0A	0.753A	1.578A	0.756A	1.584A

由表 6.1 與 6.2 得知，於獨立模式時，無論負載為平衡或不平衡，三相輸出電壓仍會近近平衡。

## 結論

- A. 此實驗為蓄電池儲能系統，具有電池充放電模式，當電池為放電模式時，可將電池能量傳遞至負載；當電池為充電模式時，由市電傳遞能量至負載並對電池進行充電。
- B. 當市電斷開時，系統切換為獨立模式，功率將由電池傳遞至負載。當負載有變化時，逆變器仍可維持輸出電壓之平衡。
- C. 當在並網模式且負載為非線性時，透過逆變器的主動功率濾波功能，將市電電流波形補償至近似於正弦波。

# 實 驗 7 三相四線混合型系統

## 電路模擬

系統規格如下：

---

Battery Voltage  $V_b = 50V$

PV Voltage  $V_p = 50V$

DC BUS Voltage  $V_d = 100V$

AC Source Voltage  $V_{LL} = 50V_{rms}$

$F_s = 40kHz$ ,  $V_{tri} = 10V_{pp}$  (DC-DC PWM)

$F_s = 20kHz$ ,  $V_{tri} = 10V_{pp}$  (Inverter PWM)

$C_b = 200\mu F$ ,  $L_b = 661.5\mu H$ ,  $C_{Bus} = 470\mu F$

$L = 1.02mH$ ,  $C = 10\mu F$

$K_s = 0.24$  (DC current sensing factor)

$K_s = 0.3$  (AC current sensing factor)

$K_v = 1/40$  (DC voltage sensing factor)

$K_v = 1/40$  (AC voltage sensing factor)

---

依照上述參數所建立的類比電路如下圖 7.1:

PSIM 檔名為 : PEK-540\_Sim7\_3P4W\_Hybrid(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1

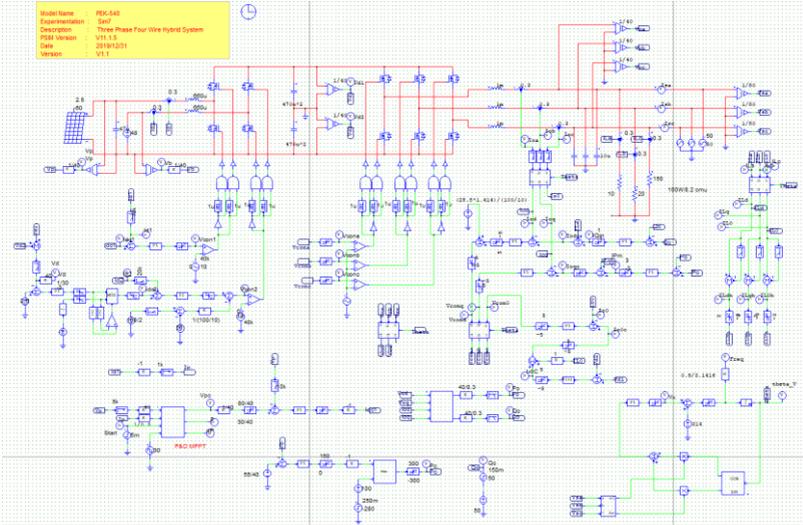


圖 7.1 實驗七 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 7.2, 7.3:

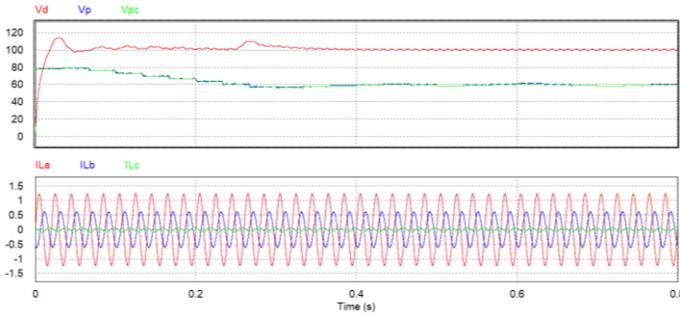


圖 7.2 實驗七類比電路模擬波形

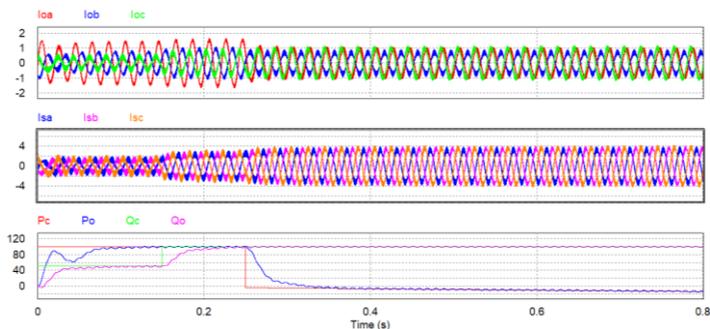


圖 7.3 實驗七類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如圖 7.4:

PSIM 檔名為 : PEK-540\_Lab7\_3P4W\_Hybrid(50Hz)\_V11.1.5\_V1.2

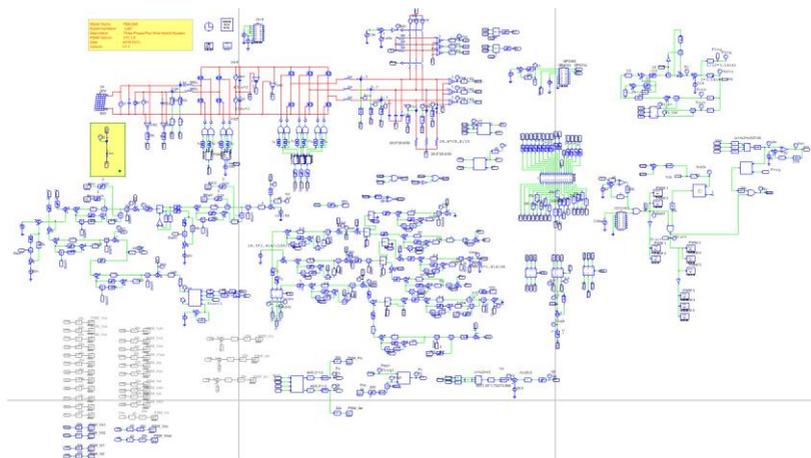


圖 7.4 實驗七 PSIM 數位電路圖

因實際產生 Code 的電路，其 MPPT 調整的頻率為 1Hz，但如以此檔案模擬需耗費相當長的時間，所以另外修改一個 MPPT 調整頻率為 100Hz 的數位電路，其檔名為

“PEK-540\_Sim7D\_3P4W\_Hybrid(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1”，以此檔案模擬可以在較短時間內看到模擬結果，其模擬結果如圖 7.5、圖 7.6:

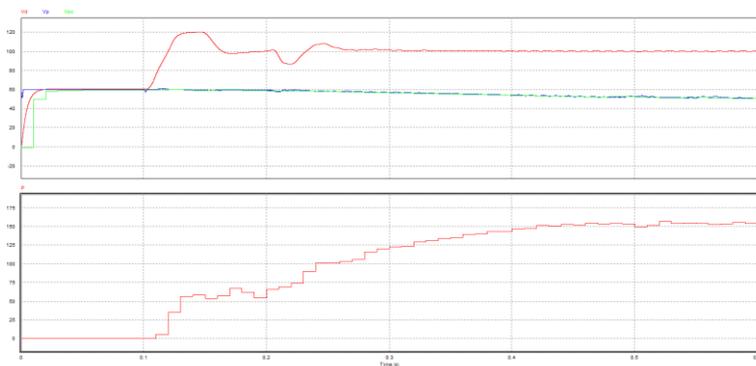


圖 7.5 實驗七數位電路模擬波形

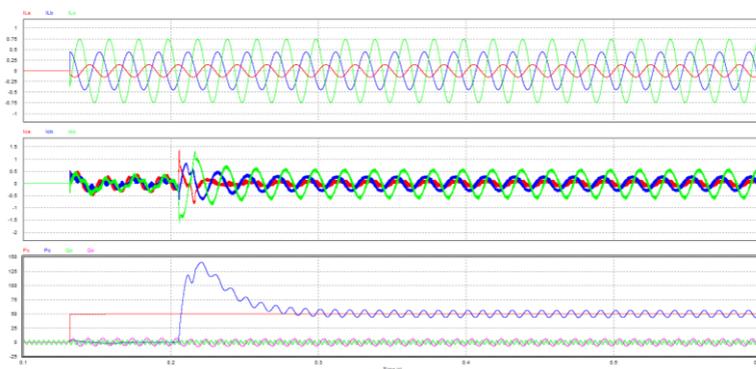


圖 7.6 實驗七數位電路模擬波形

模擬確認無誤後，利用“Simulate”的“Generate Code”自動產生對應的 C Code。

## 實驗設備

本實驗所需的設備如下，設備使用前請參照各設備使用說明書：

- PEK-540 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW 160-7.2\*2, PEL-3031E, APS-300, GPL-500)
- PC 一台

## 實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 7.7，請依此圖完成接線。

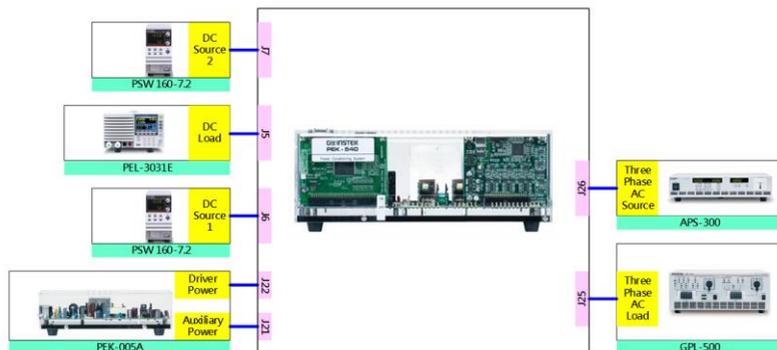


圖 7.7 實驗七接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-540 開關為 OFF，之後開啟 PEK-005A 的開關，開啟後 DSP 的紅色顯示燈亮起，如圖 7.8，此時表示 DSP 電源正常。



圖 7.8 DSP 正常工作畫面

3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。
4. 如圖 7.9 所示，將示波器探棒分別接至  $V_{OA}$ ,  $V_{OB}$ ,  $V_{OC}$ ,  $I_{OA}$  上

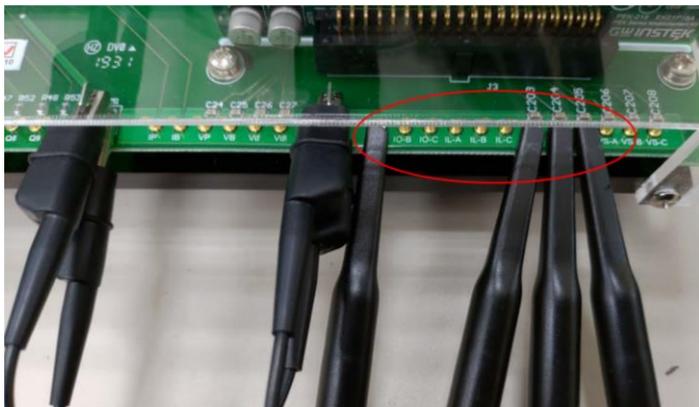
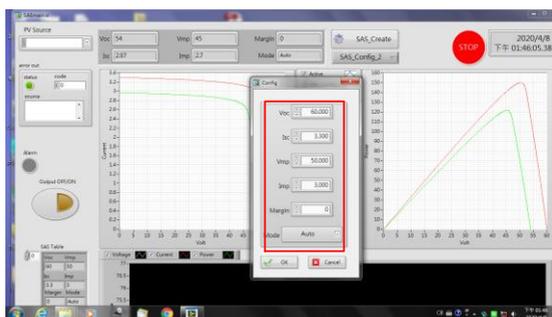


圖 7.9 示波器探棒接線圖

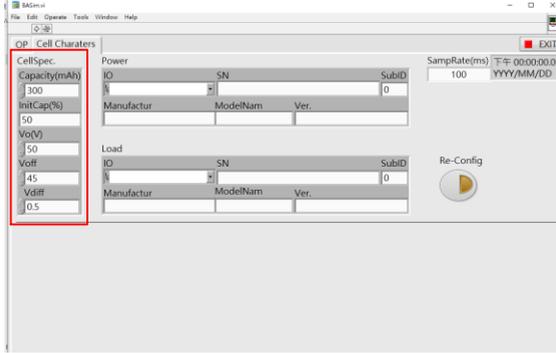
5. 模擬光伏面板之設定步驟請參考附錄 D(SAS 軟體操作手冊)進行設定，如圖 7.10 所示，第一條曲線之開路電壓為 60V、短路電流為 3.3A、最大功率點電壓為 50V 及最大功率點電流為 3A，而第二條曲線設定值為第一條曲線設定之 90% 數值。

圖 7.10  
第一條曲線設定  
值



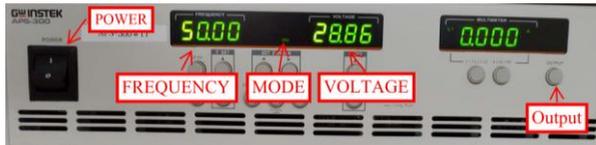
6. 模擬電池之設定步驟請參考附錄 E(BATSim 軟體操作手冊)進行設定，如圖 7.11 所示，設定電池容量 300mAh，初始容量 50%，充飽電時電壓 50V，完全放電時電壓 45V，內部充放電時的壓差 0.5V。

圖 7.11  
電池模擬參數設定



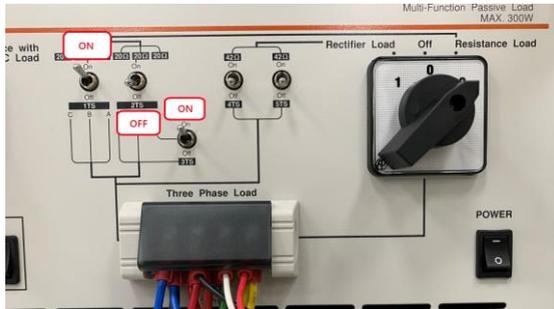
7. APS-300 電源開啟後，設定頻率為 50Hz，模式為 3P4W，輸出電壓為 28.86V，如圖 7.12 所示。

圖 7.12  
APS-300 設定圖



8. GPL-500 電源開啟後，Three Phase Load 設定為 Resistance Load，1TS, 3TS 設定為 ON，2TS 設定為 OFF，此時為半載，如圖 7.13 所示，請注意，此實驗只可在負載為半載下進行。

圖 7.13  
GPL-500 半載設定



9. 設定完畢後，透過 SAS 與 BATSim 程式開啟 PSW 與 PEL 輸出，並開啟 APS-300 輸出，而後開啟 PEK-540 進行測試。

## 實驗目的

本實驗為太陽能與電池混合之逆變器系統，其系統中，探討太陽能及電池於逆變器系統中之模式。

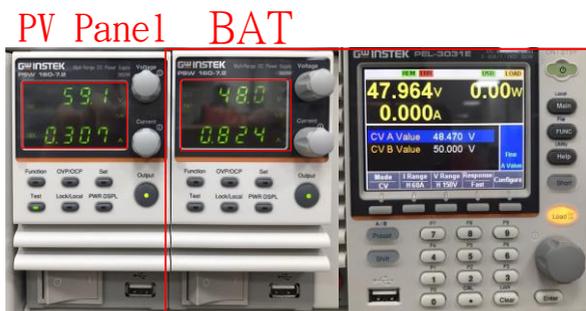
## 實驗結果

### (1) 電池放電模式

如圖 7.14 所示，當電源開啟後，由於光伏面板所產生能量不足以提供負載，因此由電池與市電提供不足之能量，此時電池為放電模式。

圖 7.14

BAT 為放電狀態



### (2) 電池充電模式

如圖 7.15 所示，當光伏面板為最大功率點輸出時，此時能量足以供給於負載，並將多餘的能量回充至電池儲能，此時電池為充電模式。

圖 7.15

BAT 為充電狀態



如圖 7.16, 7.17 所示，在實驗過程中，預設兩條不同的 PV 曲線，用以模擬不同光照下所產生的不同曲線。兩條曲線切換可隨時切換，最終都會往各自的最大功率點逼近。

圖 7.16

SAS 處於第一條曲線的最大功率點

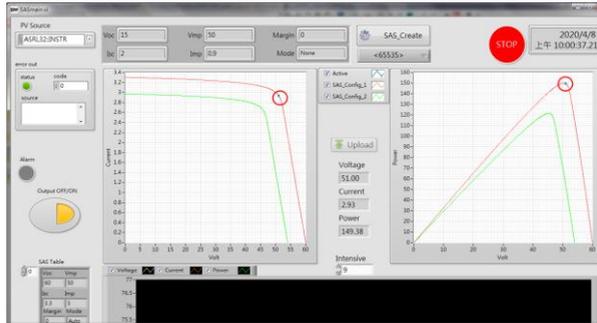
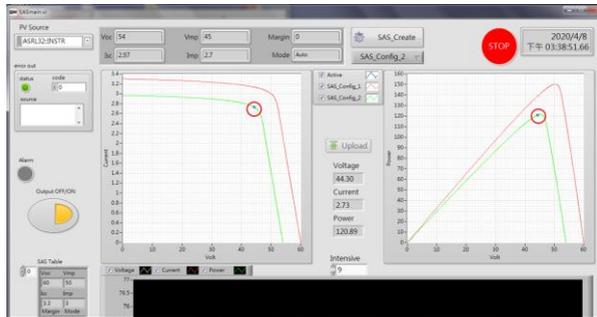


圖 7.17

SAS 處於第二條曲線的最大功率點



## 結論

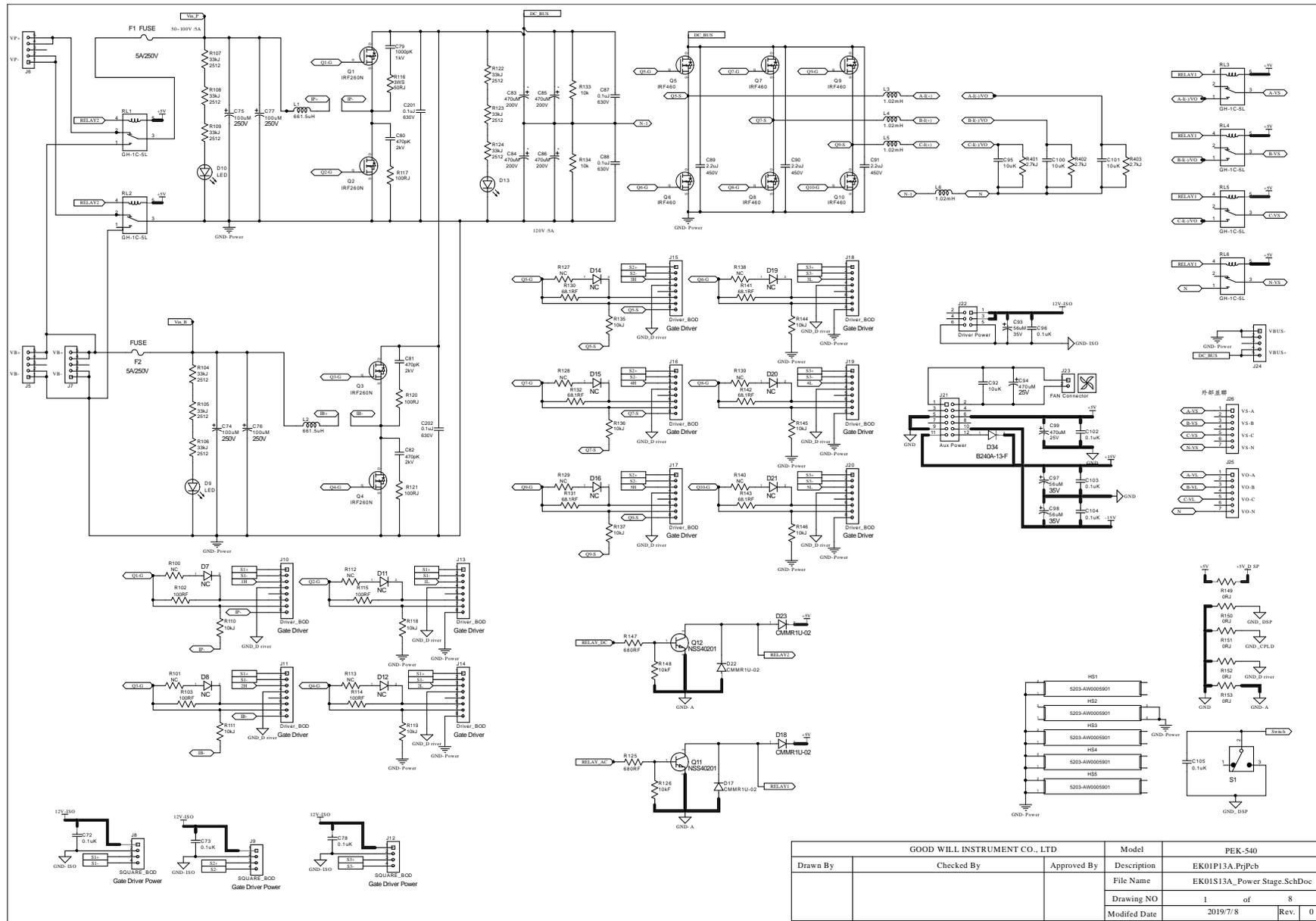
從實驗可知光伏面板所提供之功率由外在因素所決定，而當提供至負載功率不足時，此時電池會進入放電狀態來補足負載所需不足功率，而當光伏面板所提供之功率過多時，電池會進入充電狀態儲存多餘功率。

# 附錄 A PEK-540 電路圖

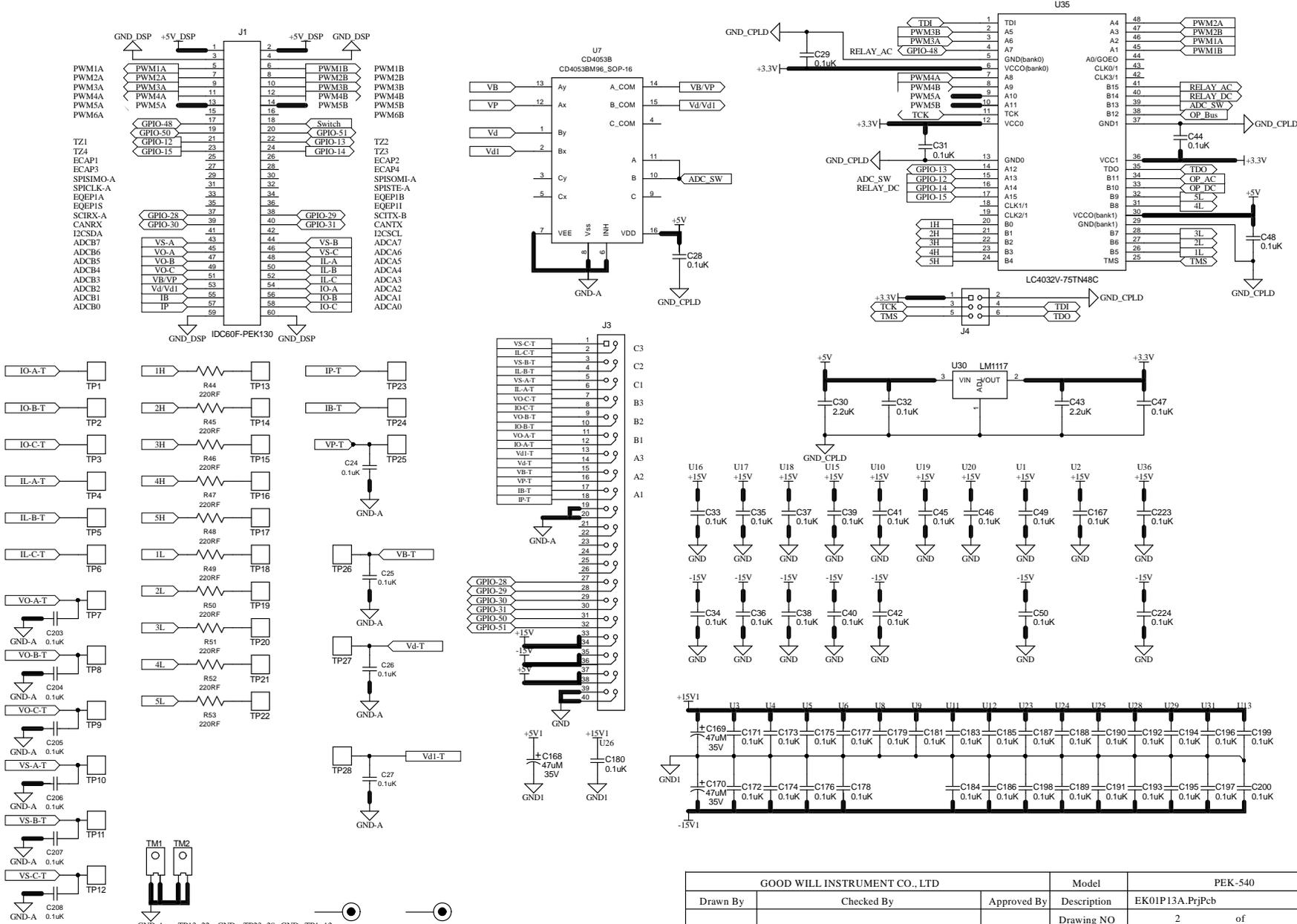
---

Power Conditioning System .....	92
F28335 Delfino control CARD .....	100
Gate Driver .....	101
Gate Driver Power.....	102

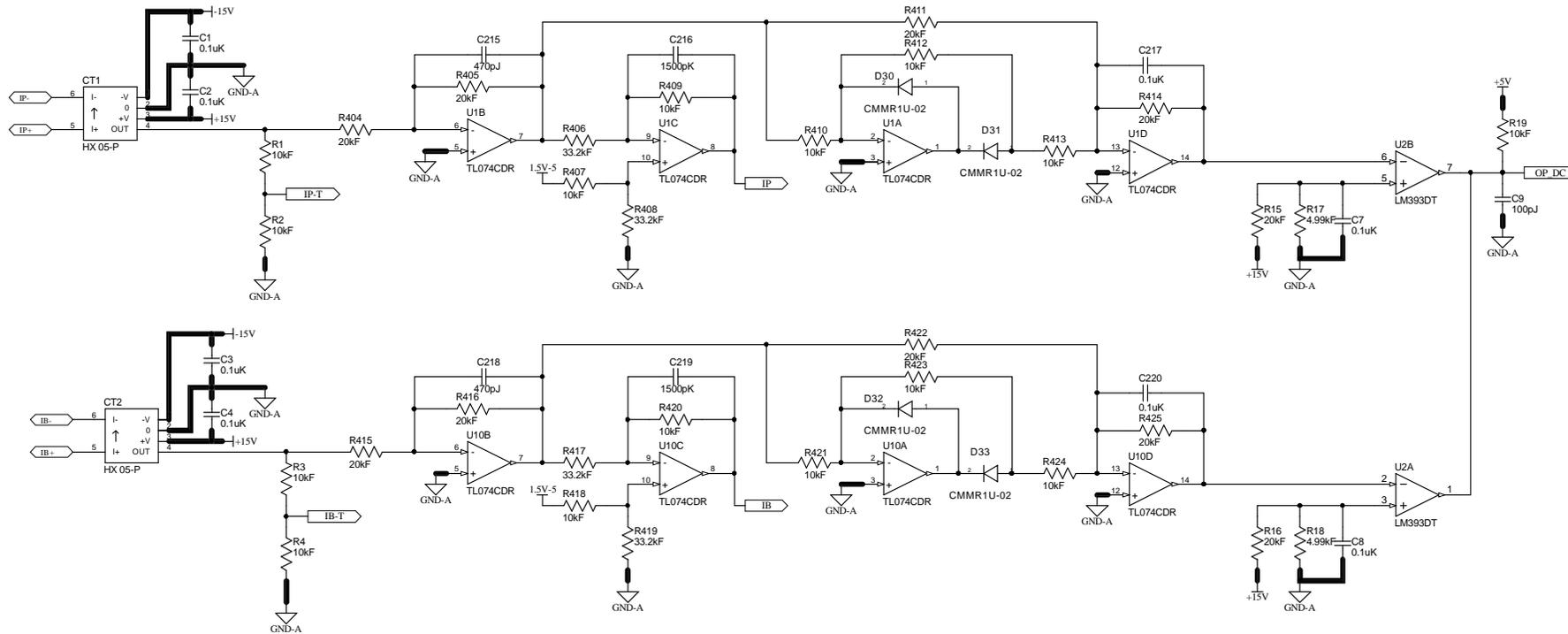
# Power Conditioning System



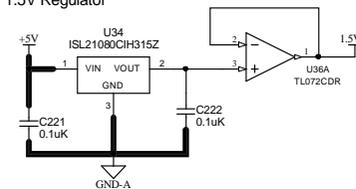
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-540
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P13A.PjgPcb
			File Name	EK01S13A_Power Stage.SchDoc
			Drawing NO	i of 8
			Modified Date	2019/7/8 Rev. 0



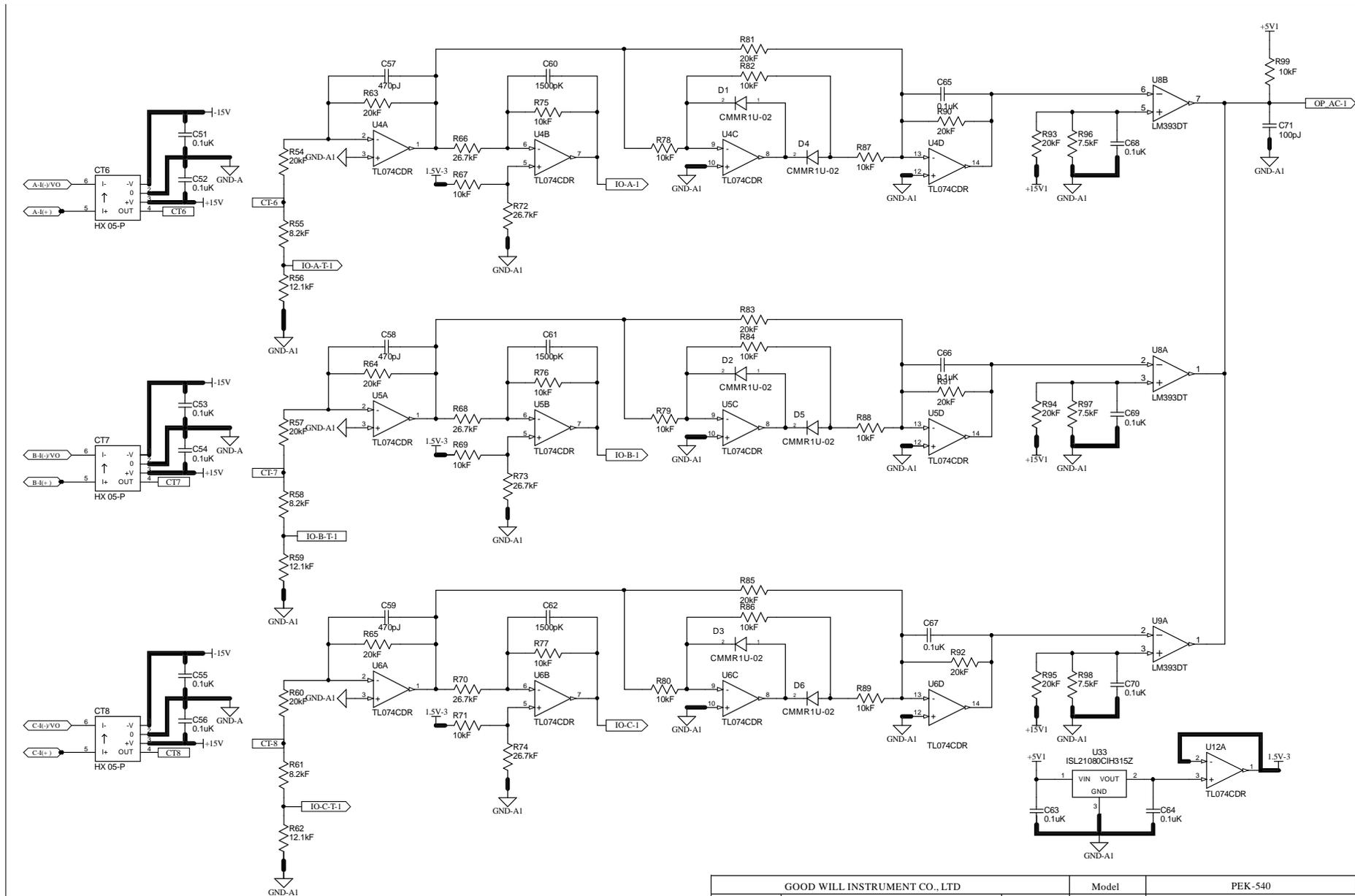
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-540	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P13A.PrjPcb	
			Drawing NO	2	of 8
			File Name	KE01S13A_Interface.SchDoc	
			Modified Date	2019/7/8	Rev. 0



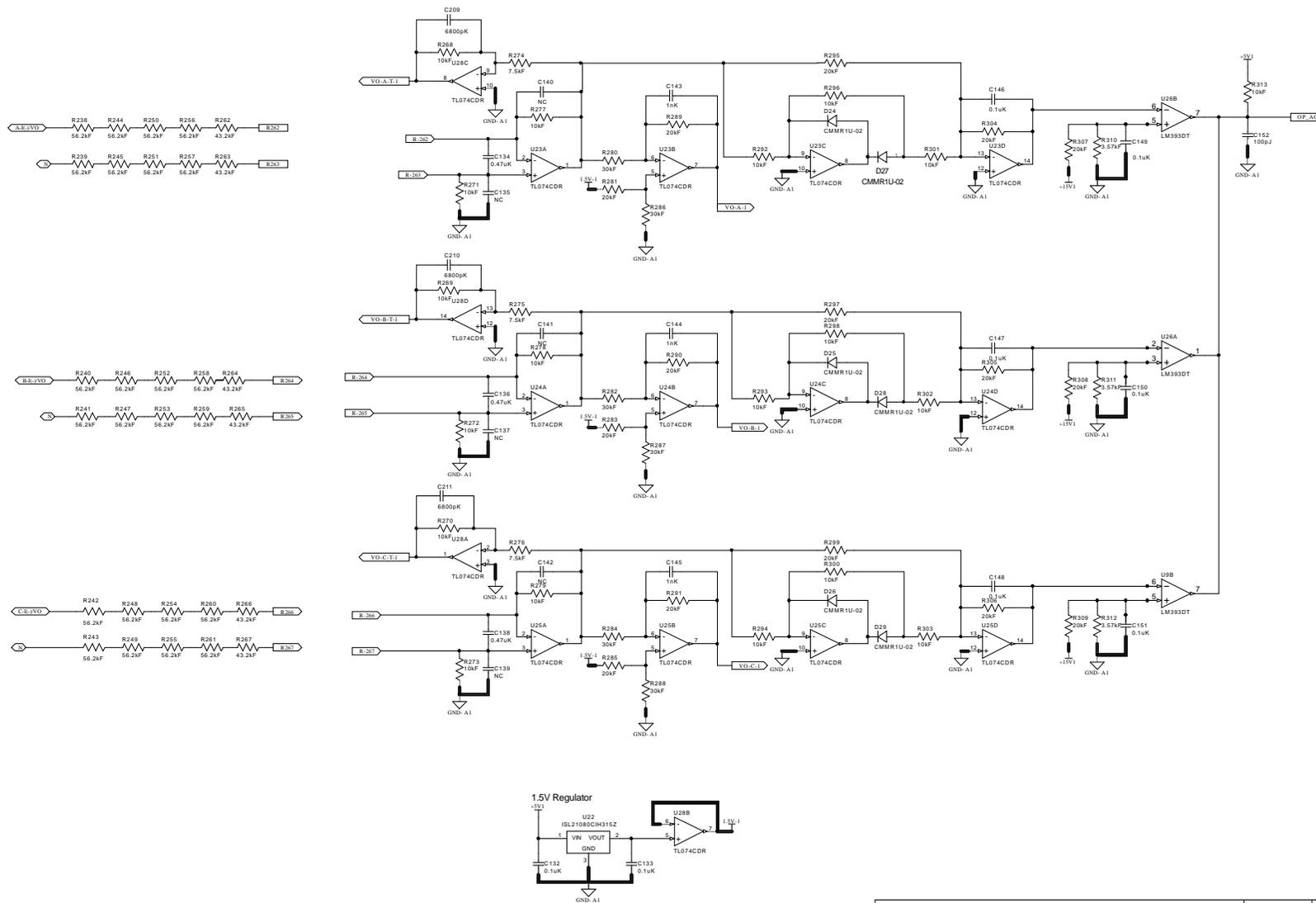
1.5V Regulator



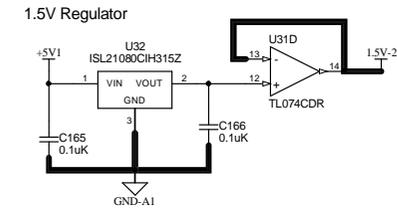
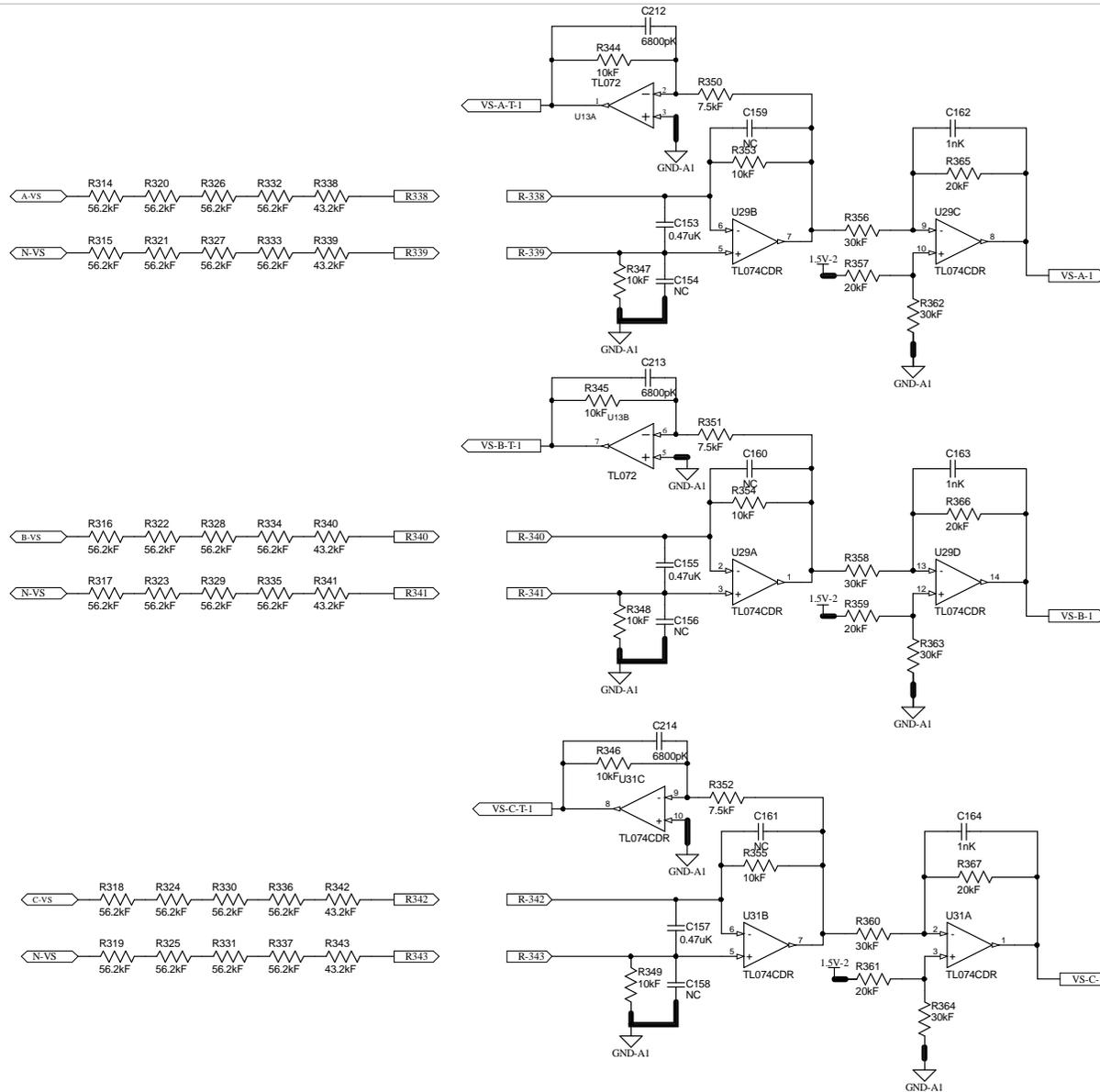
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-540	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P13A.PrjPcb	
			Drawing NO	3	of 8
			File Name	KE01S13A_IIS.SchDoc	
			Modified Date	2019/7/8	Rev. 0



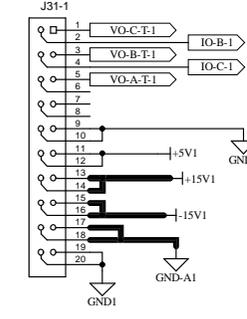
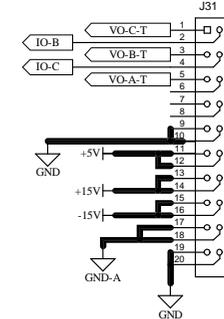
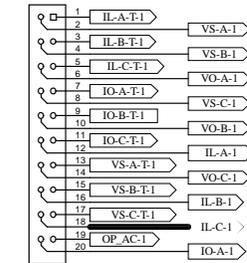
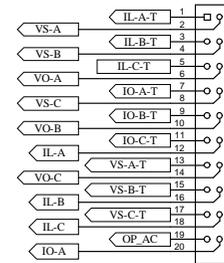
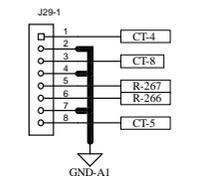
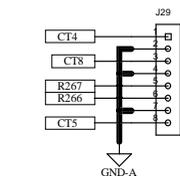
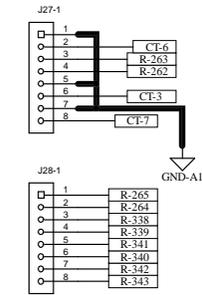
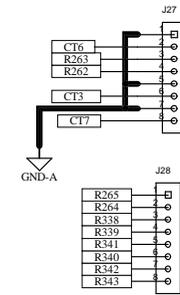
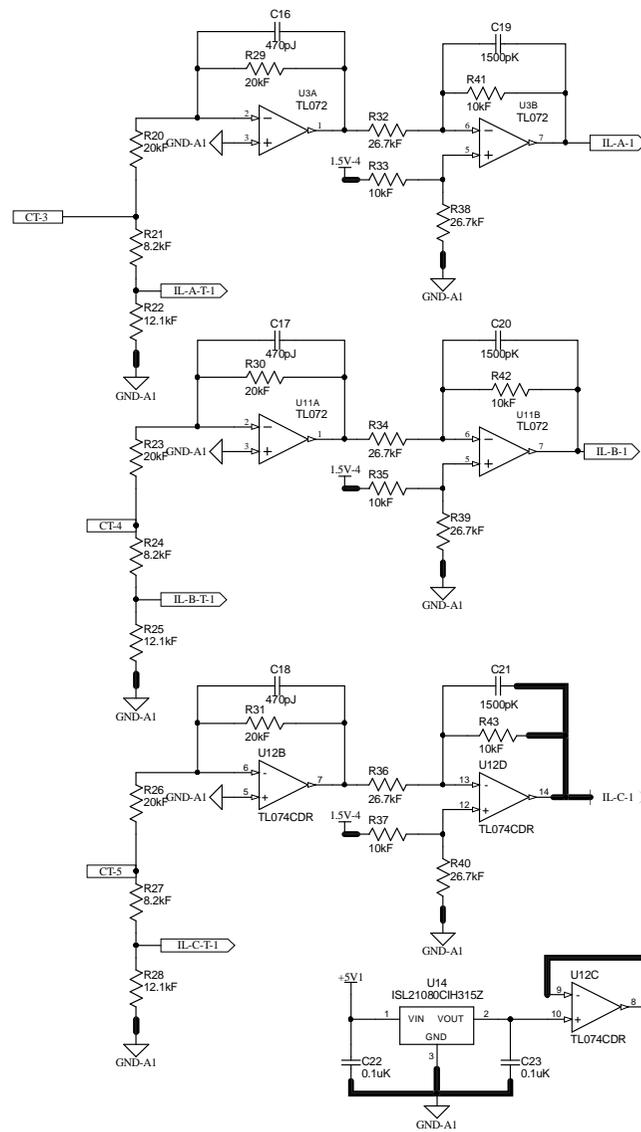
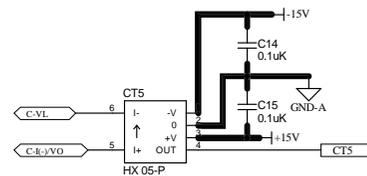
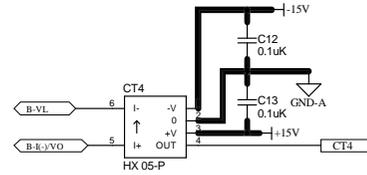
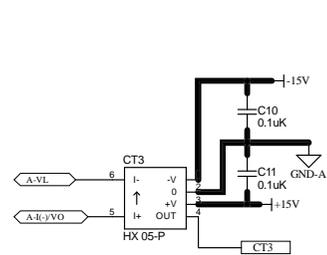
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-540	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P13A.PrjPcb	
			Drawing NO	4	of 8
			File Name	KE01S13A_IOS.SchDoc	
			Modified Date	2019/7/8	Rev. 0



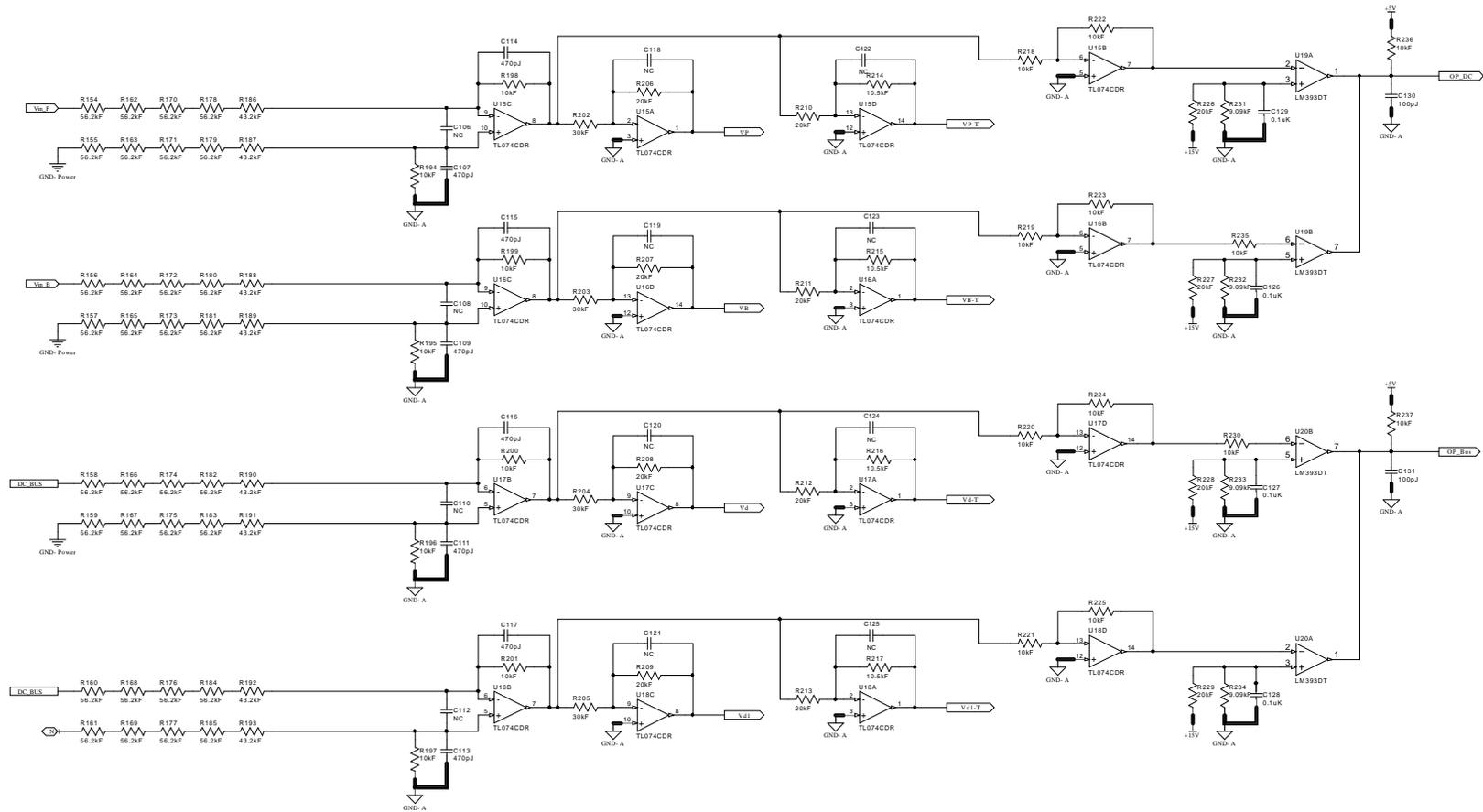
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-540
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P13A.PrjPcb
			File Name	KE01S13A_VOS_SchDoc
			Drawing NO	5 of 8
			Modified Date	2019/7/8 Rev. 0



GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-540	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P13A.PrjPcb	
			Drawing NO	6	of 8
			File Name	KE01S13A_VS.SchDoc	
			Modified Date	2019/7/8	Rev. 0

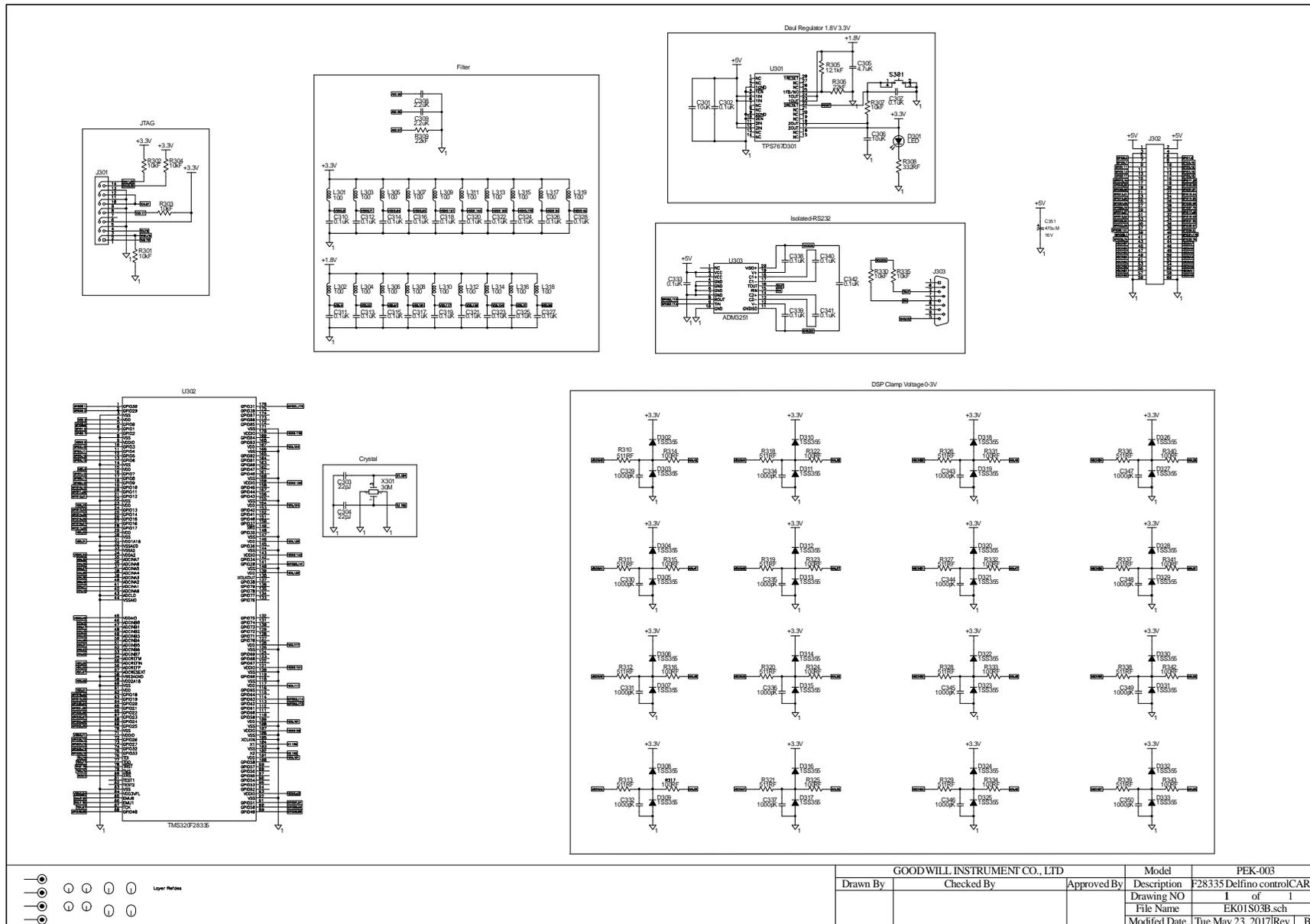


GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-540	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P13A.PrjPcb	
			Drawing NO	7	of 8
			File Name	KE01S13A_ILS.SchDoc	
			Modified Date	2019/7/8	Rev. 0



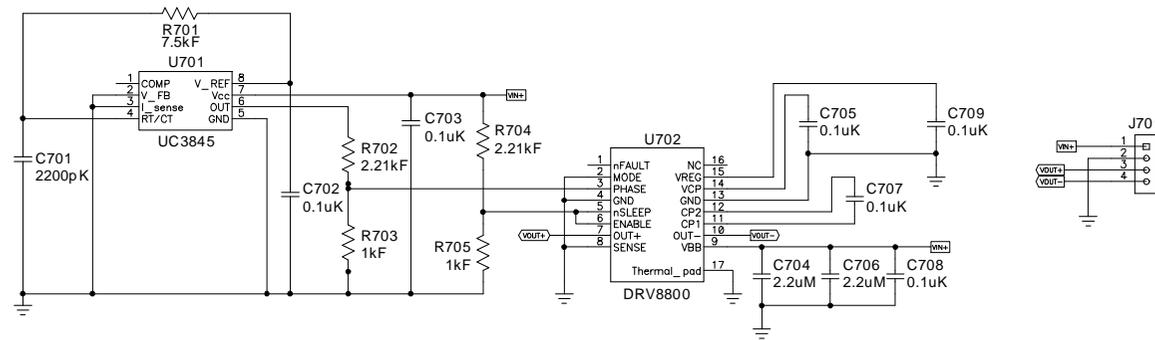
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-540	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P13A.PjgPcb	
			File Name	KE01S13A_V1S.SchDoc	
			Drawing NO	8	of 8
			Modified Date	2019/7/8	Rev. 0

# F28335 Delfino control CARD

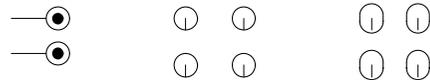




# Gate Driver Power



Layer Refdes



GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD

Drawn By	Checked By	Approved By

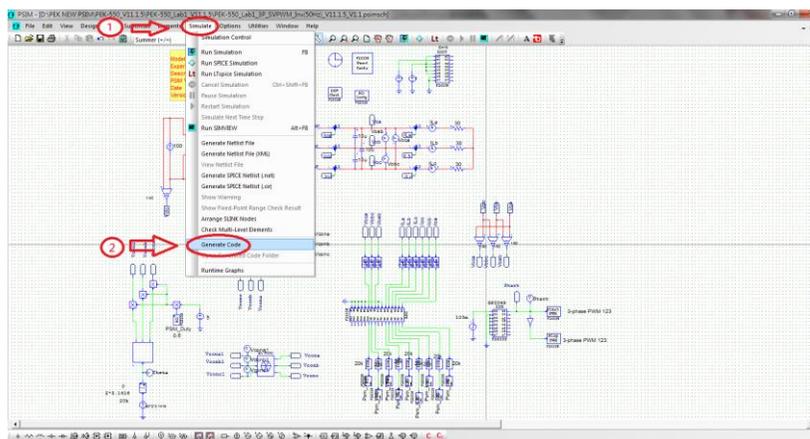
Model	PEK-100
Description	Gate Driver Power
Drawing NO	1 of 1
File Name	EK01S07A.sch
Modified Date	Mon Mar 09, 2015   Rev. A

# 附錄 B C code 燒錄流程

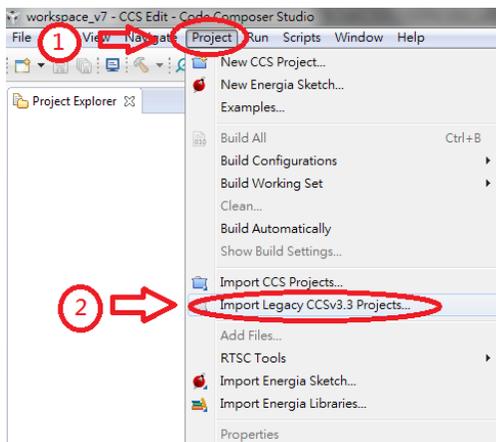
本附錄以“PEK-550\_Lab1\_3P\_SVPWM\_Inv (50Hz)\_V11.1.5\_V1.1”為例進行操作說明，步驟如下。

## 操作步驟

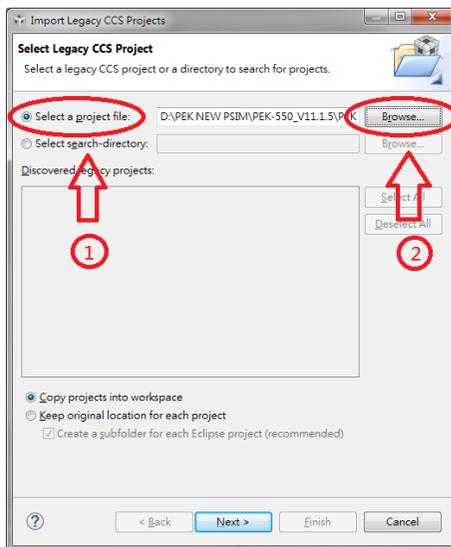
1. 在 PSIM 程式中開啟數位電路檔案“PEK-550\_Lab1\_3P\_SVPWM\_Inv(50Hz)\_V11.1.5\_V1.1”，在“Simulate”下擊點“Generate Code”，PSIM 會自動生成 C Code，如下圖。

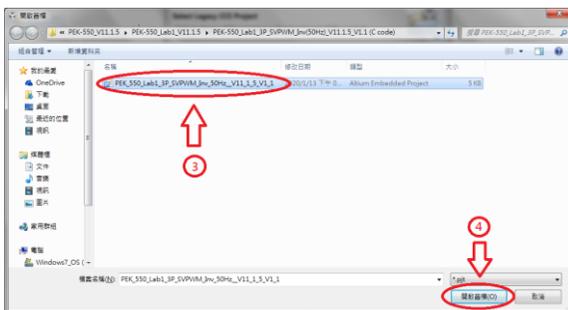




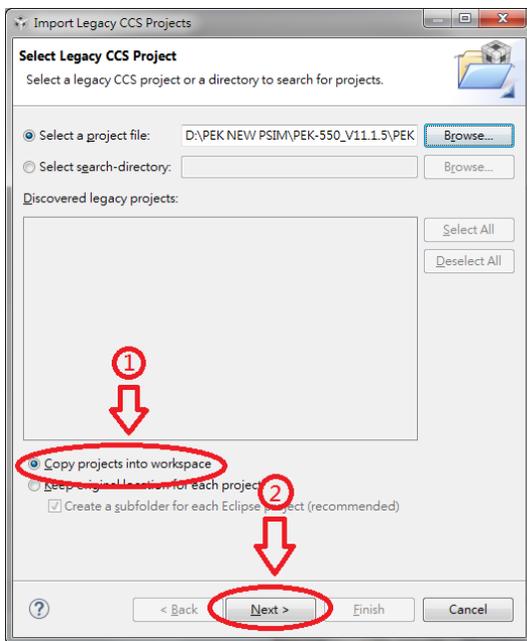


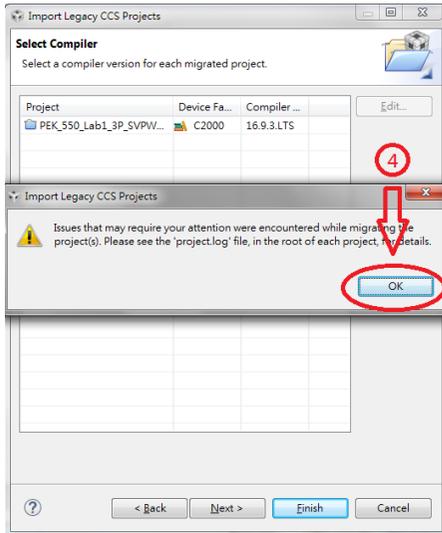
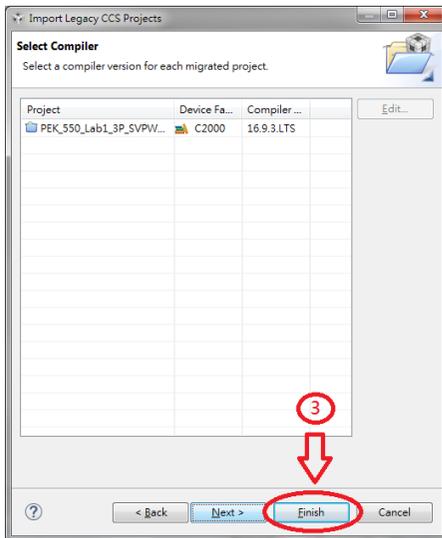
4. 在“Select a project file”中，擊點“Browser”，尋找 C Code 所在的資料夾並選取副檔名為.pjt 的檔案，如下圖。



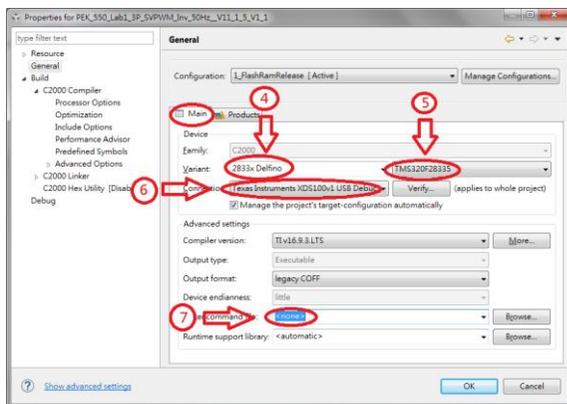
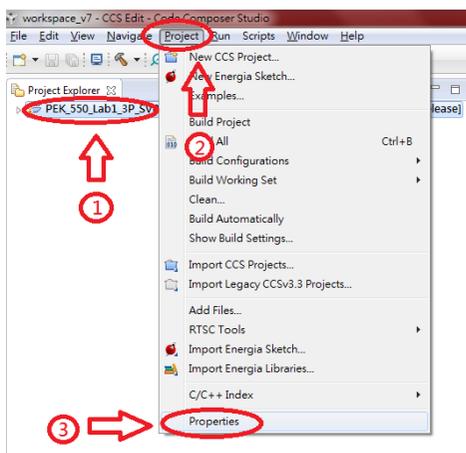


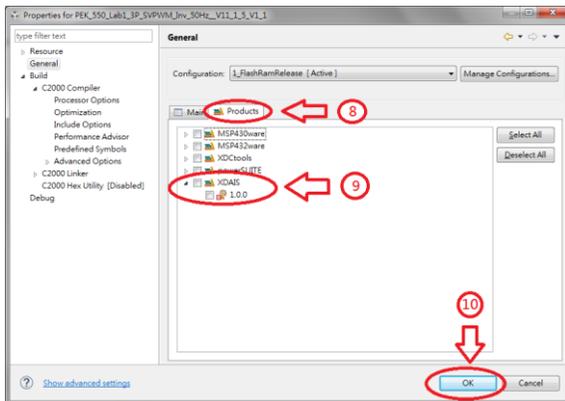
5. 選擇“Copy projects into workspace”後，擊點“Next”後，再擊點“Finish”，即可將 C Code 導入到 CCS 程式中，如下圖。



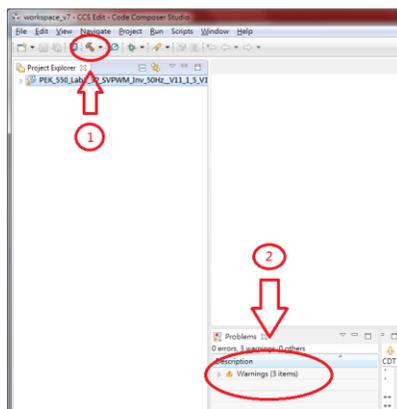


6. 選取 C Code 檔案後，在 "Project" 下選擇 "Properties"，設定如下：
  - (1) 在 Main 中 Variant 選取 "2833X Delfino 中的 TMS320F28335"
  - (2) 在 Main 中 Connection 選取 "Texas Instruments XDS100v1 USB Debug Probe"
  - (3) 在 Main 中 Linker command file 選取 "none"
  - (4) 在 Products 中將 XDAIS 取消選擇 (如果你的 CCS 版本無此選項，則不須理會)



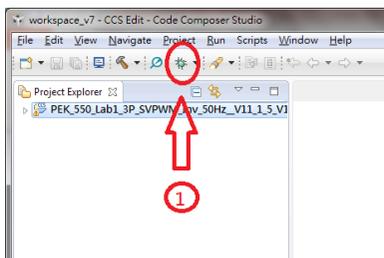


- 設定完畢後，擊點“Build”，進行編譯。編譯結束，如無 Errors，代表此程式可進行燒錄，Warnings 不影響燒錄，可忽略。

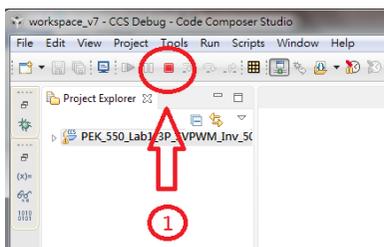


- 將 PEK-006 分別連接到 PC 與 PEK 模塊上，之後擊點“Debug”，進行燒錄。

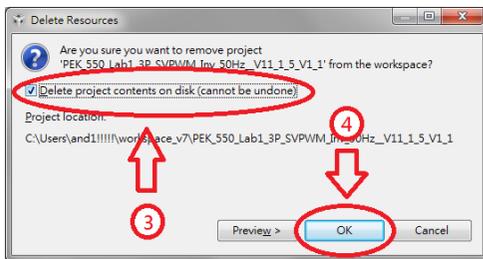
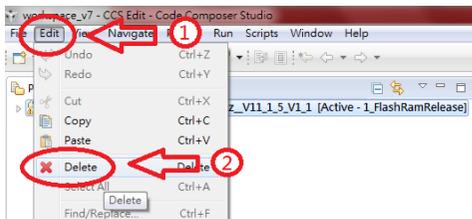




9. 燒錄結束後，擊點“Terminate”，並移除 PEK-006，如此即完成燒錄程序。

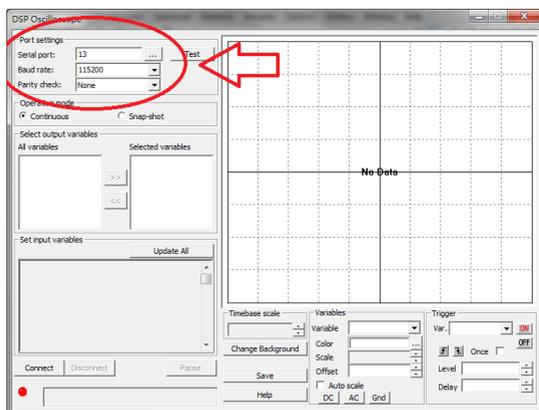


10. 如需刪除檔案，選取 C Code 檔案後，在 “Edit” 下選擇 “Delete”，勾選 “Delete project contents on disk” 後，擊點 “OK” 後完成。

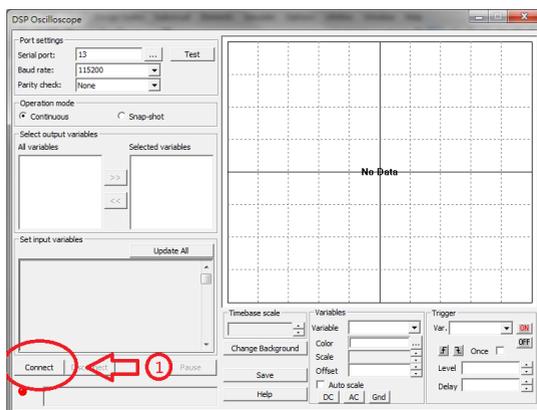




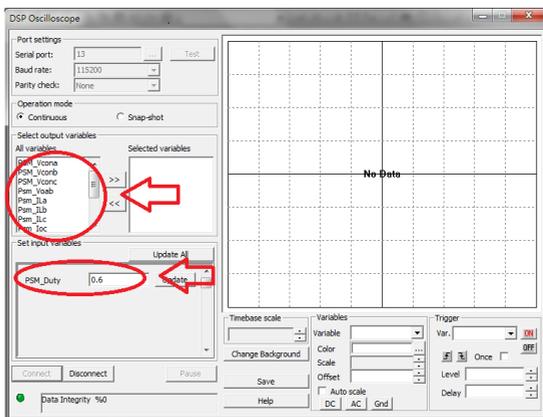




6. 設定完成後點選 **Connect** 進行 RS232 連線。



7. 正確連線後，即可看到 PSIM 電路內所規劃的 **output variables** 與 **input variables**。



# 附錄 D SAS 軟體操作手冊

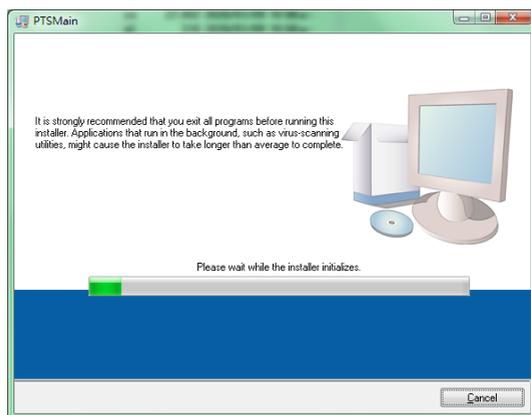
## 介紹

完整 PTS 軟體系統包含 SAS 信號追蹤，BAT 模擬與即時信號量測子系統，透過系統自動偵測功能，配置各設備於應對的功能上。

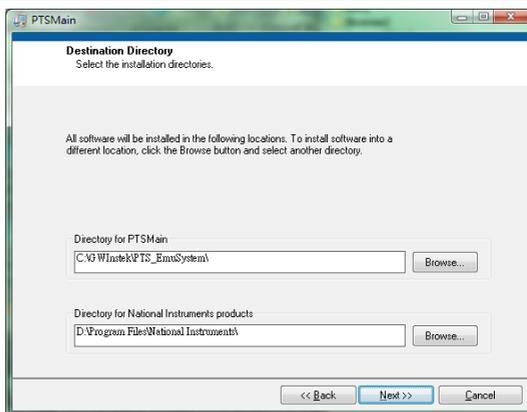
## 安裝與啓動

### 操作步驟

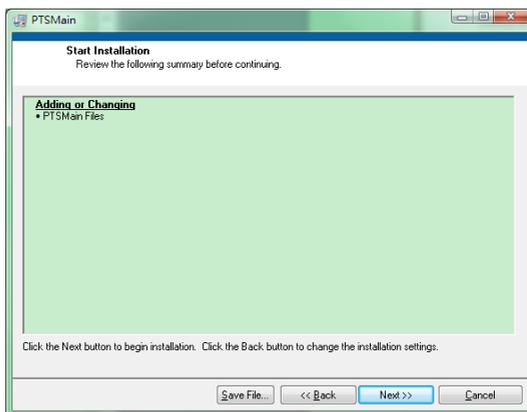
1. 安裝完整 PTS 軟體：下載 PTS5 installer,並解壓縮後於 c:\PTS installer 後，進入 Volume。執行 Setup.exe，如下。



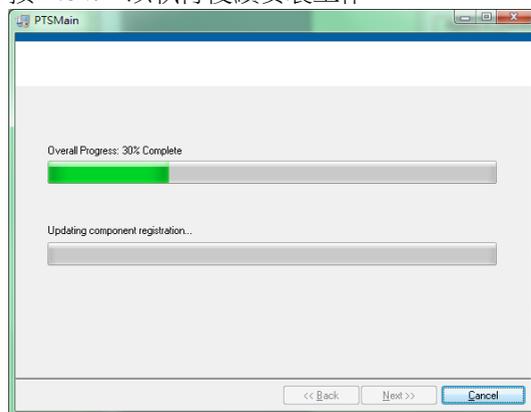
此時系統尋找是否已安裝程式執行時，必要元件；若沒有或既有元件版本較低，即列出並等候安裝；若已存在有高於執行程式所需要的版本時，則不安裝。



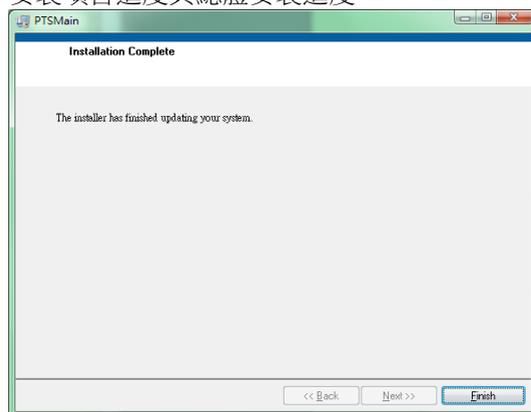
使用預設路徑即可；按“Next”繼續，以完成安裝工作。此時，此處會列出已經安裝與即將安裝的程序，包含必要的執行元件：



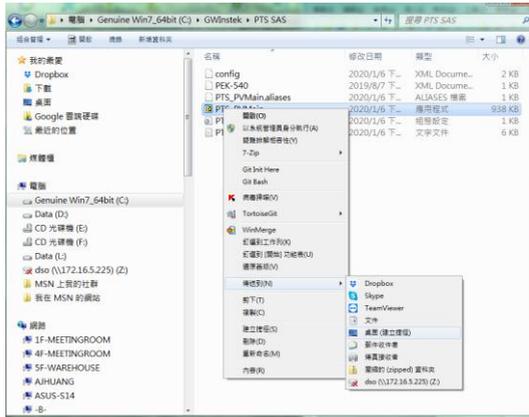
按 Next，以執行後續安裝工作。



安裝項目進度與總體安裝進度。



2. 下載 PTS SAS 套件程式，將之解壓縮至前項安裝後的路徑下；此時會在 c:\gwinstek\ 下新增一目錄。
3. 切換至目錄後，可以選擇在“桌面”上建立快捷鍵，以方便日後執行；操作畫面如下：



在 PTS\_PVMain 上，按滑鼠右鍵，開啓主選單；移至“傳送到”項目上，開啓傳送目的地選項；移至並選擇“桌面(建立捷徑)”項目上

日後要再執行時，可於“桌面”上，找到該捷徑並執行它即可。

解除安裝

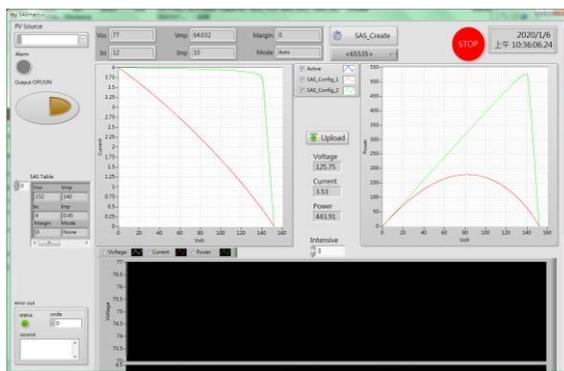
4. 在控制台內，找到“程式與功能”項目，並執行，找到 PTSMain



# 界面說明

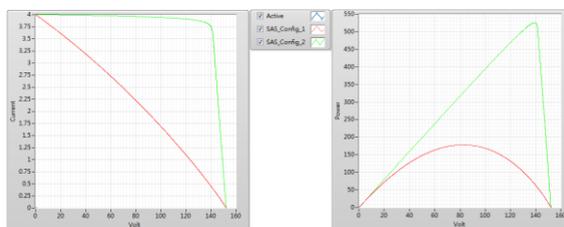
## 程式運行界面

圖表 1  
軟體主畫面



已設定系統中建置之 PV 軌跡曲線

圖表 2



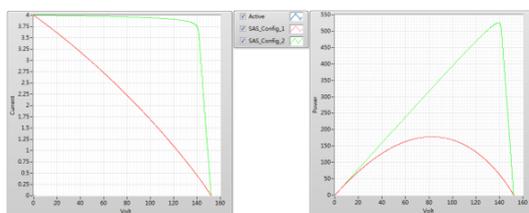
左側為 VI 顯示；右側為 PV 顯示；其中 Active 表示啓動後，真正的 IV 狀量測值可透過 Intensive 設定查看其軌跡

## 即時數值監控

圖表 3



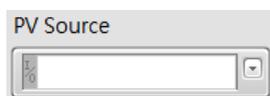
Voltage 與 Current 將會標示於圖表 2 左側 IV 曲線圖上，Voltage 與 Power 則標示於圖表 2 右側 PV 曲線圖上 Intensive 表示畫面上滯留的資料點數，可以追蹤 IVP 實際的變動軌跡



## 操作

### 設備連線設定

圖表 4  
設備選擇



建立系統連線，透過下拉式選單，指定適當設備。

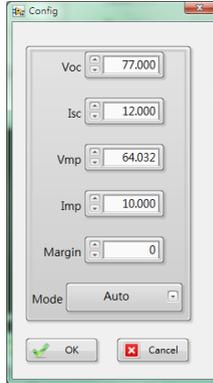
## 建立 PV 參考曲線

圖表 5  
前次設定軌跡參數



SAS\_Create：建立新的曲線，設定畫面如下：

圖表 6  
SAS 軌跡參數設定



當建立完成新的曲線後，將會在 VI 及 PV 圖表中即時顯示該曲線，同時在 SAS 表格中增加該曲線參數

Voc: 開路電壓

Isc: 短路電流

Vmp: 最大功率點電壓

Imp: 最大功率點電流

Margin: 輸出在此餘裕範圍內不更新(%)

Mode: 使用時選擇 Auto 模式

OK: 確定參數設定，同時匯入 SAS Table 中

Cancel: 放棄本次修改設定值

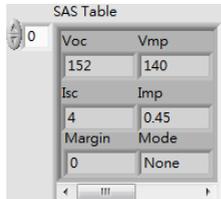
SAS Table: 已規劃好，準備寫入設備內的曲線，透過滑鼠右鍵開啓可操作功能:

Import Table, Export Table  
Import Table: 自存檔中，載入先前已建立之曲線與參數

Export Table: 匯出目前使用的曲線與參數

游標指向 SAS Table 後，透過鍵盤 delete 鍵，刪除目前的設定(軌跡曲線)

圖表 7  
軌跡參數表



## 上傳/載入測 PV 軌跡曲線參數

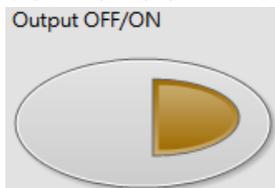
---

圖表 8



將目前 SAS Table 中設定好之軌跡曲線參數寫入設備中等待執行，同時 PSW 進入 SAS 運行模式

圖表 9



啓動/關閉 PSW 輸出

在 SAS 模式下，PSW 輸出將按選定之曲線進行反應。而在一般模式下，PSW 將做一般標準功能

## 選擇軌跡參數

---

圖表 10

參考軌跡參數選擇



## 停止與結束

---

圖表 11

一旦進行上傳動作後，設備即進入 SAS 模式，所有 Output ON/OFF 控制，決定 PSW 是否進行追跡操作



若要 PSW 回復到一般操作模式，必須選擇停止軟件，再重新啓動。

## 附錄說明

### A：PSW 追跡模式

SAS 程式啟動後，只要上傳軌跡曲線程式，PSW 便啟動追跡模式，此時使用者可在已建立之軌跡程式間，進行切換，若要離開追跡模式，則必須按“STOP”讓設備回到預設操作模式下。

### B：一般模式

在系統啟動時，會處於一般操作模式，透過成功上傳 PV 軌跡曲線“UpLoad”後，PSW 進入追跡模式。

### C：IVP 即時記錄曲線

在追跡模式下，除 IV 與 PV 軌跡外，另提供各自獨立顯示軌跡記錄圖

圖表 12



# 附錄 E BATSim 軟體操作 手冊

## 介紹

BATSim 在 PTS 系統中，以 PSW 160-7.2 與 PEL-3000 組合進行，以模擬基本電池模式；透過 PSW 模擬放電行為，以 PEL-3000 模擬充電行為。

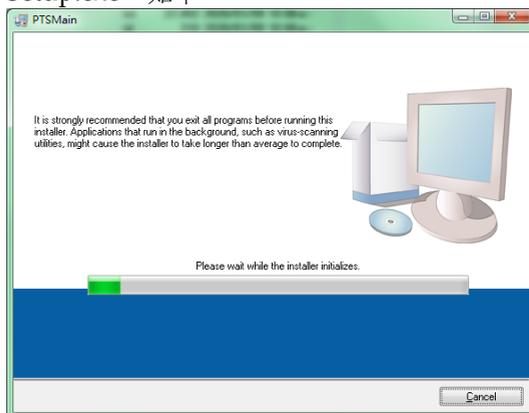
充電：當外部電壓高於 PEL-3000 的電壓時，PEL-3000 吸收功率，以此模擬電池充電行為。

放電：當外部電壓低於 PSW 電壓時，PSW 輸出功率，以此模擬電池放電行為。

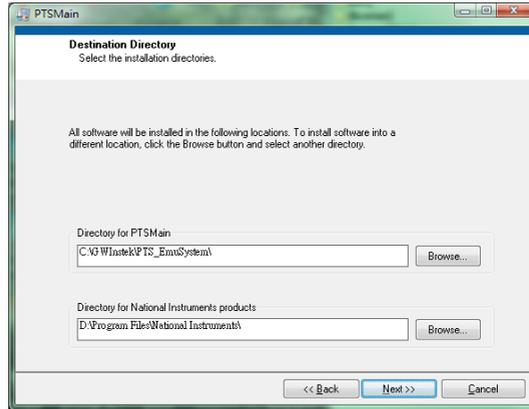
## 安裝

### 操作步驟

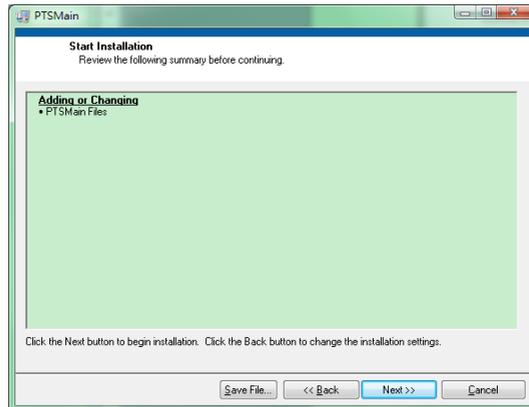
1. 安裝完整 PTS 軟體：下載 PTS5 installer,並解壓縮後於 c:\PTS installer 後，進入 Volume。執行 Setup.exe，如下



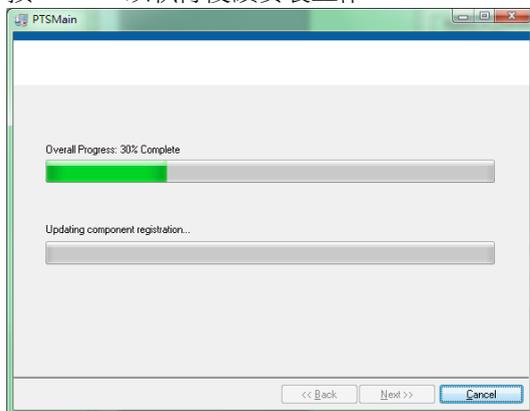
此時系統尋找是否已安裝程式執行時，必要元件；若沒有或既有元件版本較低，即列出並等候安裝；若已存在有高於執行程式所需要的版本時，則不安裝。



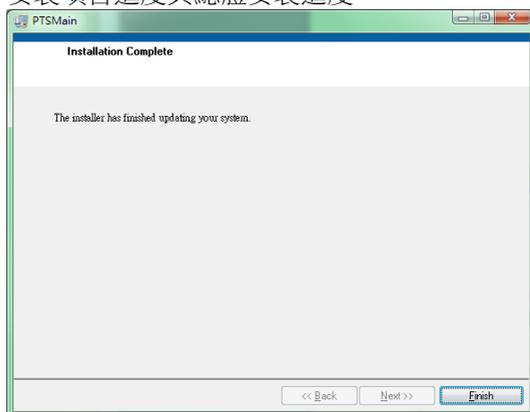
使用預設路徑即可；按“Next”繼續，以完成安裝工作。此時，此處會列出已經安裝與即將安裝的程序，包含必要的執行元件：



按 Next，以執行後續安裝工作。



安裝項目進度與總體安裝進度。



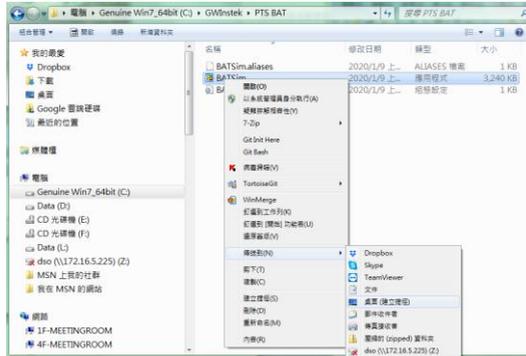
解除安裝

2. 自網站下載 PTS BATSim 套件程式，將之解壓縮於前項安裝目錄下；此時會在 c:\gwinstek\ 下新增加一個目錄。
3. 在控制台內，找到“程式與功能”項目，並執行，找到 PTSMain

## 啓動

### 操作步驟

1. 切換至目錄後，可以選擇在“桌面”上建立快捷鍵，以方便日後執行；操作畫面如下：



2. 在 BATSIm 上，按滑鼠右鍵，開啓主選單；移至“傳送到”項目上，開啓傳送目的地選項；移至並選擇“桌面(建立捷徑)”項目上  
日後要再執行時，可於“桌面”上，找到該捷徑並執行它即可。

# 界面說明

## 程式運行界面

圖表 1  
設備列表

Power			
IO	SN	SubID	
COM4	EN150256	1	
Manufacture	ModelName	Ver.	
GW-INSTEK	PSW80-13.5	02.19.20190314	

Load			
IO	SN	SubID	
COM9	EL07090202	1	
Manufacture	ModelName	Ver.	
GW	PEL-2002	V2.12	

Re-Config  


此處使用者可以透過 IO 設定，自行選擇系統中可使用的合適設備。

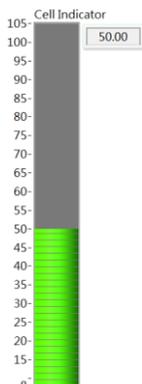
按下“Re-Config”進行設定檢測，成功則將所選擇配置的設備基本訊息顯示如上方範例所示。

目前僅支援 PEL-3000 與 PSW 系列產品

圖表 2  
擬電池基本參數設定：

CellSpec.		
Capacity(mAh)	300	• Capacity(mAh): 模擬電池容量
InitCap(%)	50	• InitCap(%): 初始容量
Vo(V)	50	• Vo(V): 標準輸出電壓
Voff(V)	45	• Voff(V): 模擬電池 Empty 時電壓
Vdiff(V)	0.5	• Vdiff(V): 模擬內部充放電時的壓差

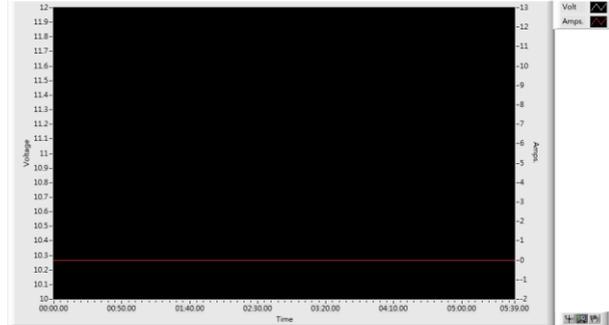
圖表 3  
電池電量指示：



圖表 4  
電池狀態顯示示：

Status	Capacity(mAh)	Voltage(V)	Current(A)
	3000	0.000	0.000

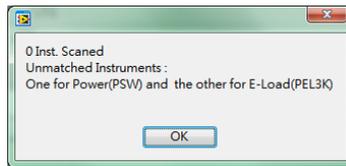
圖表 5  
電池充放電模擬記錄曲線：



在系統運行的過程中，將會按充電(PEL)放電(PSW)的行為讀取目前設備上的電壓與電流讀值，並將之顯示於上面曲線圖內。

## 操作

程式啟動後將會自動進行設備檢測，因此時並未設定連結任何設備，會顯示如下訊息：



此時僅需要適當的選定對應電源與負載設備，並重新連線即可。

## 設備連線

Power		
IO	SN	SubID
%		0
Manufacture	ModelName	Ver.

Load		
IO	SN	SubID
%		0
Manufacture	ModelName	Ver.

IO
%
COM1
COM3
COM4
LPT1
Refresh

拉出系統可用之設備列表後，為電源與負載選擇對應的資源配置；若系統沒有列出連接的設備，則在檢查實體連線後，選擇 **Refresh** 一次，看是否有列出。若仍無，再請與供應商連絡。

## 模擬參數設定

CellSpec.
Capacity(mAh)
3000
InitCap(%)
100
Vo(V)
12.15
Voff(V)
10.35
Vdiff(V)
0.3

- Capacity(mAh): 模擬電池容量
- InitCap(%): 初始容量
- Vo(V): 標準輸出電壓
- Voff(V): 模擬電池 Empty 時電壓
- Vdiff(V): 模擬內部充放電時的壓差



設定完成後，按壓 **Re-Config** 進行檢測。若檢測成功，則顯示如下；分別顯示所連線的設備相關資訊

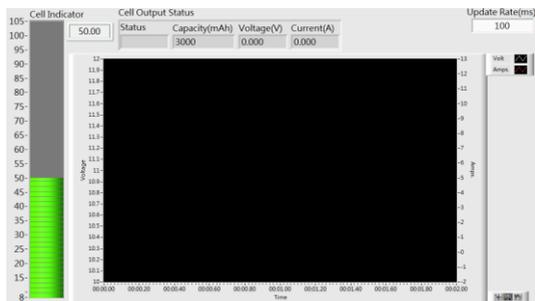
Power		
IO	SN	SubID
%COM4	EN150256	1
Manufacture	ModelName	Ver.
GW-INSTEK	PSW80-13.5	02.19.20190314

Load		
IO	SN	SubID
%COM9	EL07090202	1
Manufacture	ModelName	Ver.
GW	PEL-2002	V2.12

Power：必須是 PSW 系列設備

Load：則必須是 PEL 系列

## 監控畫面

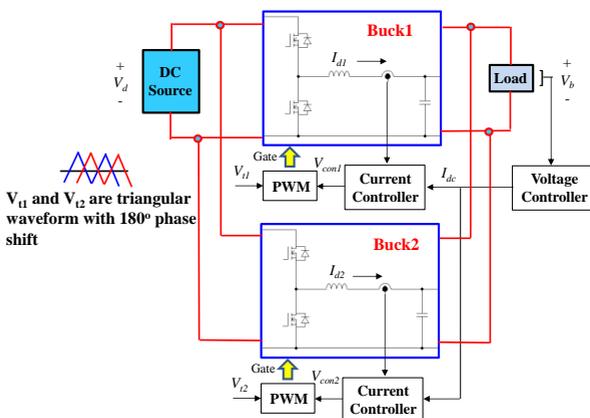


# 附錄 F 設計原理

## 實驗一 交錯式降壓轉換器

兩相交錯式降壓式轉換器如圖附錄 F 1.1 所示，其具備電流迴路及電壓控制迴路，用以維持  $V_b$  電壓，電壓迴路利用電壓回授之誤差經過電壓控制器調整得到電流命令 ( $I_{dc}$ ) 並送至二轉換器之電流控制器，二電流控制器再利用其電感電流回授之誤差經過電流控制器調整得到 PWM 之控制電壓 ( $V_{con1}$  及  $V_{con2}$ )，二轉換器之 PWM 鋸齒波 ( $V_{t1}$  與  $V_{t2}$ ) 為同頻率但相位相差 180 度用以實現交錯控制，二 PWM 觸發信號為交錯，可使電感電流之漣波亦為交錯，使得二電感電流相加後之輸出電流頻率為切換頻率之兩倍，有助於降低濾波器之值以降低濾波器體積。由於電感電流迴路設計與升壓式轉換器相同，留待實驗二一併說明，在此僅說明電壓迴路之設計。

圖附錄 F 1.1  
兩相交錯式降壓  
式轉換器



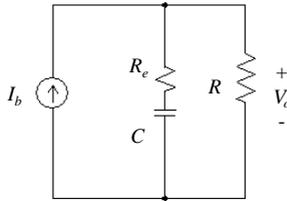
電流控制降壓式轉換器之電壓迴路等效電路如圖附錄 F1. 2(a)所示，由之可得：

$$\frac{V_b}{I_b} = \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{1 + \frac{s}{\omega_o}}, \quad \omega_z = \frac{1}{CR_e}, \quad \omega_p = \frac{1}{CR} \quad (\text{附錄 F1.1})$$

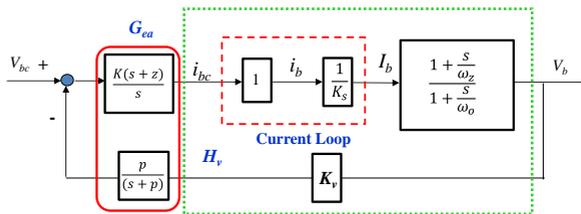
電流迴路之命令乃由電壓迴路產生，結合電流及電壓迴路之控制方塊圖如圖附錄 F1.2(b)所示，其中假設電流迴路之頻寬較電壓迴路寬出許多，因而可將電流迴路視為理想(即  $\tilde{t}_d = \tilde{t}_{dc}$ )， $k_v$  為電壓感測比例，LPF2 為低通濾波器，其與比例積分(PID)之電壓控制器結合成一 type 2 控制器。電壓迴路波德圖如圖附錄 F 1.2 (c)所示，電壓迴路之零交越頻率  $u_v$  需遠低電流迴路之頻寬，可設為  $u_v = u_f/4$ ， $z = u_v/4$ ， $p = f_s/10$ 。根據上述同步降壓式轉換器之電流及電壓控制迴路，將兩組轉換器並聯且將 PWM 相位交錯 180 度可得如圖附錄 F1.3 所示之兩相交錯式雙向 DC-DC 轉換器之控制迴路，其電路迴路之響應與圖附錄 F2.5 之電流控制迴路相同，電壓迴路則與圖附錄 F1. 2 相同。

圖附錄 F1. 2

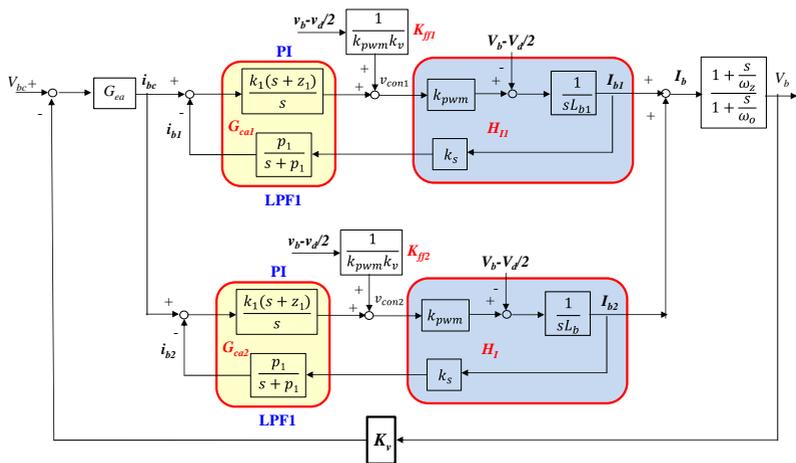
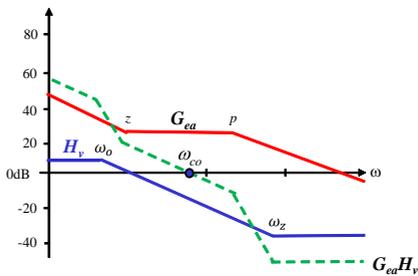
同步降壓式轉換器電壓迴路設計  
(a) 等效電路



(b) 電壓控制迴路



(c) 波德圖



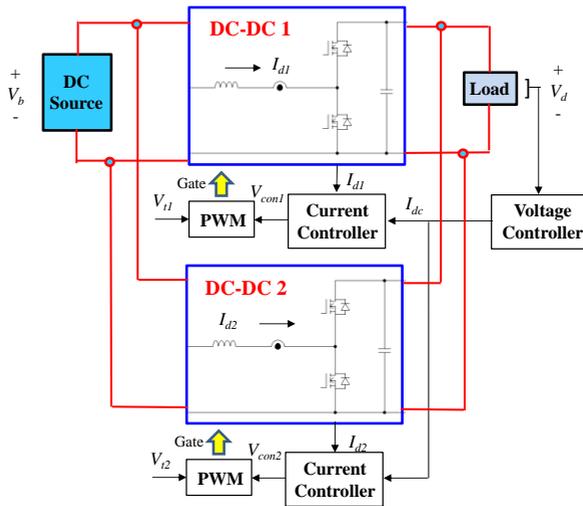
圖附錄 F1.3 兩相交錯降壓式轉換器控制架構

## 實驗二 交錯式升壓轉換器

兩相交錯式雙向 DC-DC 轉換器之控制架構如圖附錄 F2.1 所示，其具備電流迴路及電壓控制迴路，用以維持直流 bus 電壓( $V_d$ )，電壓迴路利用電壓回授之誤差經過電壓控制器調整得到電流命令( $I_{dc}$ )並送至二轉換器之電流控制器，二電流控制器再利用其電感電流回授之誤差經過電流控制器調整得到 PWM 之控制電壓( $V_{con1}$  及  $V_{con2}$ )，二轉換器之 PWM 鋸齒波( $V_{i1}$  與  $V_{i2}$ )為同頻率但相位相差 180 度用以實現交錯控制如圖附錄 F2.2 所示，二 PWM 觸發信號為交錯，可使電感電流之漣波亦為交錯，使得二電感電流相加後之輸出電流頻率為切換頻率之兩倍，有助於降低濾波器之值以降低濾波器體積。

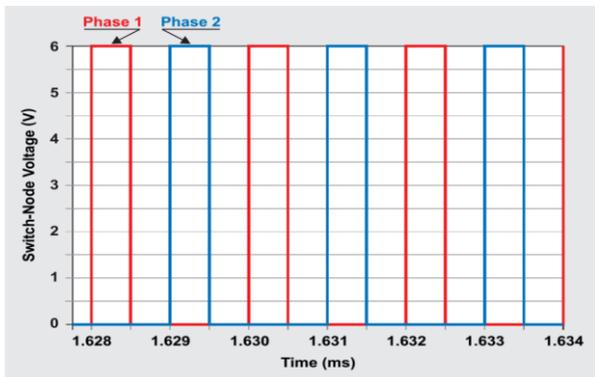
圖附錄 F2.1

兩相交錯式雙向  
DC-DC 轉換器之  
控制架構

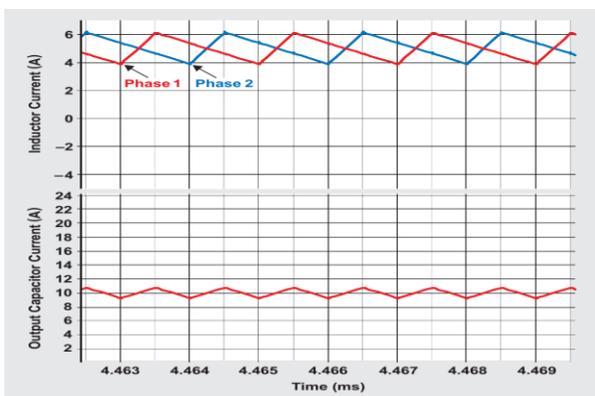


圖附錄 F2. 2

兩相交錯波形  
(a) PWM 觸發信號



(b) 電感電流



雙向 DC-DC 電路採用如圖附錄 2.3 所示之半橋式電路，由圖附錄 F2.3 可得：

$$L \frac{dI_d}{dt} = dV_d - V_b = \frac{v_{con}}{2v_{tm}} V_d + \frac{V_d}{2} - V_b \quad (\text{附錄 F2.1})$$

$$d = \frac{1}{2} + \frac{v_{con}}{2V_{tm}} \quad (\text{附錄 F2.2})$$

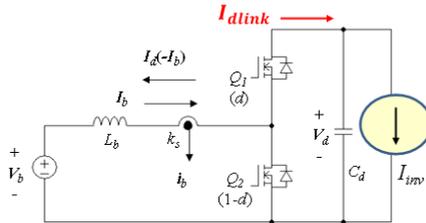
$$\frac{dI_d}{dt} = k_{pwm} v_{con} + \frac{V_d}{2} - V_b \quad (\text{附錄 F2.3})$$

$$k_{pwm} = \frac{V_d}{2v_{tm}} \quad (\text{附錄 F2.4})$$

利用(附錄 F2.3)可設計其電流迴路控制器如圖附錄 F2.4 所示，其中方塊  $H_I$  乃根據(附錄 F2.3)之小信號轉移函數所繪， $k_s$  為電流感測器之感測比例(V/A)，LPF1 為感測時所加之低通濾波器，電流控制器採用比例積分(PI)控制，PI 與 LPF1 形成一 type-2 形式之控制器，PI 控制器產生一回授控制信號  $V_{fb}$ ，其加上依前向(feedforward)控制信號  $V_{ff}$  後得到 PWM 之控制電壓  $v_{con}$ ，前向控制之目的為消除  $\frac{V_d}{2} - V_b$  對電流迴路之擾動。電流迴路之零交越頻率(相當於頻寬)  $u_I$  設計於切換頻率之 1/8~1/10。電流迴路之波德圖如圖附錄 F2.5 所示，其中可設定  $z = u_I/3$ ， $p = f_s/4$ 。

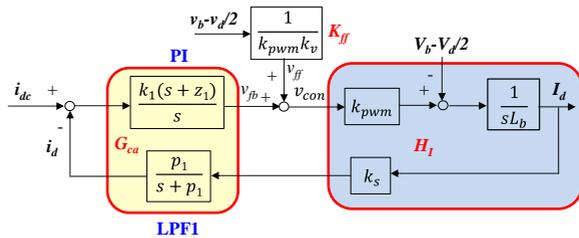
圖附錄 F2. 3

半橋式 DC-DC 轉換器



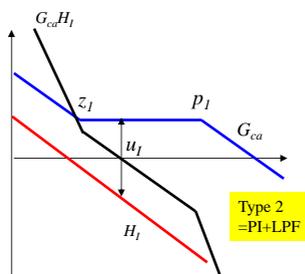
圖附錄 F2. 4

電流控制迴路



圖附錄 F2. 5

電流迴路波德圖



圖附錄 F2.3 在穩態時由功率平衡可得：

$$I_{dlink} V_d = -V_b I_d \quad (\text{附錄 F2.5})$$

如圖附錄 F2.3 所示，在直流電壓維持為定值時 DC-DC 轉換器輸出電流  $I_{dlink}$  等於變流器等效輸入電流  $I_{inv}$ ，移除平衡時電流之穩態值，直流鏈電壓迴路可以圖附錄 F2.6(a) 之小信號模型來代表，由之可得：

$$\frac{\widetilde{V}_d}{\widetilde{I}_{dlink}} = \frac{1}{sC_d} \quad (\text{附錄 F2.6})$$

利用(附錄 F 2.5)可得：

$$\widetilde{I}_{dlink} = \frac{-V_b}{V_d} \widetilde{I}_d \quad (\text{附錄 F2.7})$$

由(附錄 F 2.6)及(附錄 F 2.7)可得：

$$\frac{\widetilde{V}_d}{\widetilde{I}_d} = \frac{\widetilde{V}_d}{\widetilde{I}_{dlink}} \frac{\widetilde{I}_{dlink}}{\widetilde{I}_d} = \left(-\frac{V_b}{V_d}\right) \frac{1}{sC_d} \quad (\text{附錄 F2.8})$$

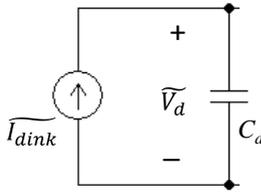
電流迴路之命令乃由電壓迴路產生，結合電流及電壓迴路之控制方塊圖如圖附錄 F2.6(b) 所示，其中假設電流迴路之頻寬較電壓迴路寬出許多，因而可將電流迴路視為理想(即  $\widetilde{i}_d = \widetilde{i}_{dc}$ )， $k_v$  為電壓感測比例，LPF2 為低通濾波器，其與比例積分(PI)之電壓控制器結合成一 type 2 控制器。電壓迴路波德圖如圖附錄 F2.6(c) 所示，考慮 Inverter 在三相負載不平衡下  $I_{inv}$  具有低頻漣波，電壓迴路之零交越頻率  $u_v$  需遠低於二次基本波以降低電感電流命令  $i_{dc}$  之漣波，其中可設定  $z = u_v/4$ ， $p = f_s/10$ 。

根據上述半橋式 DC-DC 轉換器之電流及電壓控制迴路，將兩組轉換器並聯且將 PWM 相位交錯 180 度可得如圖附錄 F 2.7 所示之兩相交錯式雙向 DC-DC 轉換器之控制迴路，其電路迴路之響應與前述圖附錄 F 2.4 之控制迴路相同，電壓迴路則與圖附錄 F 2.6 相同。

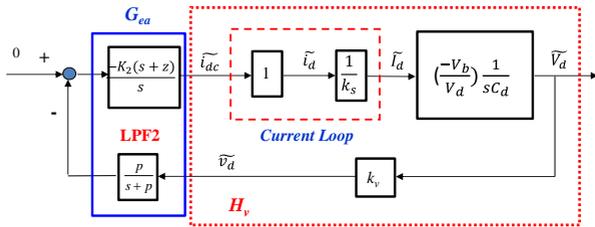
圖附錄 F2. 6

雙相 DC-DC 轉換器電壓迴路小信號模型

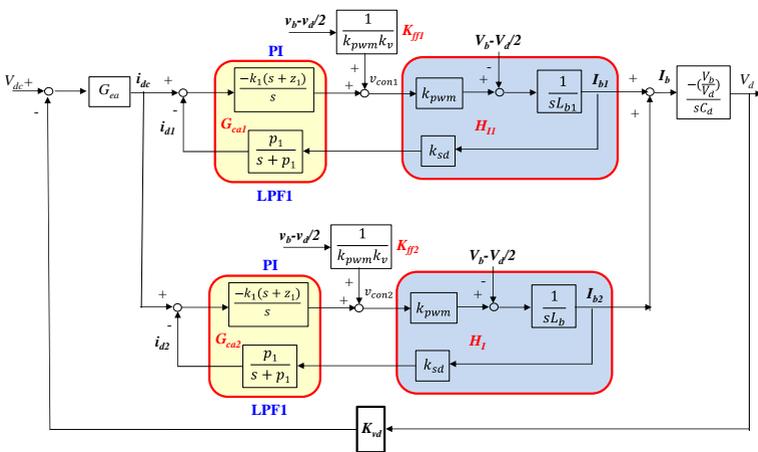
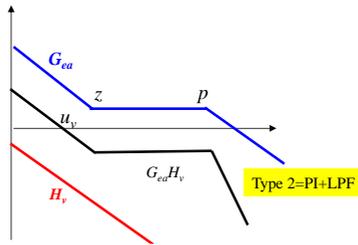
(a) 等效電路



(b) 電壓控制迴路



(c) 波德圖



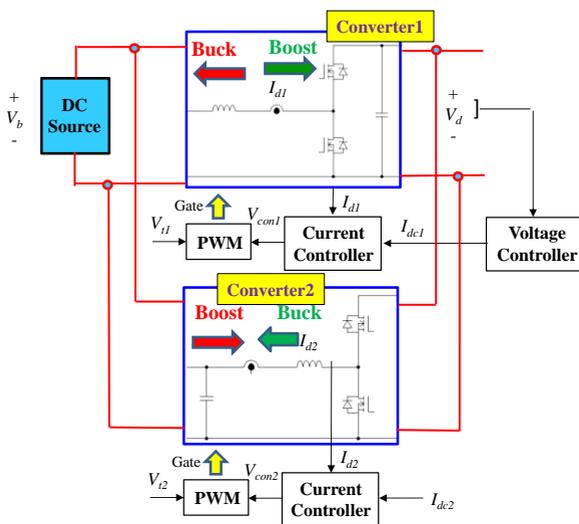
圖附錄 F2.7 兩相交錯式雙向 DC-DC 轉換器之控制迴路

### 實驗三 雙向直流至直流轉換器

結合 Lab1 之同步降壓式轉換器與 Lab2 之同步升壓式轉換器，如圖附錄 F3.1 所示之電路，一若操作於降壓式、另一則操作於升壓式，二者之輸入及輸出並接在一起，低壓側( $V_b$ )連接至電源，如此可以驗證二轉換器均具備雙向功率調整能力，且能量可回收，一台當成另一台之負載，不須額外之負載。Converter 1 具備電壓及電流迴路， $V_d$  電壓由 Converter 1 維持，Converter 2 則僅具電流迴路，電流命令由  $I_{dc2}$  設定， $I_{dc2}$  可正可負。當  $I_{dc2}$  為正時 Converter 2 相當於 Converter 1 之負載，Converter 1 操作於升壓模式，Converter 2 操作於降壓模式。當  $I_{dc2}$  為負時 Converter 1 相當於 Converter 2 之負載，Converter 1 操作於降壓模式，Converter 則操作於升壓模式。

圖附錄 F3.1

雙向 DC-DC 轉換器



## 實驗四 三相四線升壓式獨立型逆變器

升壓式電路於實驗二已經介紹過，接下來針對獨立型逆變器說明

三相四線式 Inverter 之控制架構如圖附錄 F4.1 所示，由圖附錄 F4.1

可得：

$$L \frac{dI_{oa}}{dt} = V_{An} - V_{an} \quad (\text{附錄 F4.1})$$

$$L \frac{dI_{ob}}{dt} = V_{Bn} - V_{bn} \quad (\text{附錄 F4.2})$$

$$\frac{dI_{oc}}{dt} = V_{Cn} - V_{cn} \quad (\text{附錄 F4.3})$$

$$I_{oA} + I_{oB} + I_{oC} = I_{oN} \quad (\text{附錄 F4.4})$$

採用 SPWM 切換之 ABC 三個臂之電壓可表示為：利用

$$V_{in} = \frac{v_{con i}}{2v_{tm}} V_d, \quad i = A, B, C \quad (\text{附錄 F4.5})$$

利用(附錄 F 4.1)~(附錄 F 4.5)可得：

$$\begin{bmatrix} L \frac{dI_{oa}}{dt} \\ L \frac{dI_{ob}}{dt} \\ L \frac{dI_{oc}}{dt} \end{bmatrix} = \frac{V_d}{2v_{tm}} \begin{bmatrix} v_{conA} \\ v_{conB} \\ v_{conC} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} \quad (\text{附錄 F4.6})$$

定義：

$$k_{pwm} = \frac{V_d}{2v_{tm}} \quad (\text{附錄 F4.7})$$

可得：

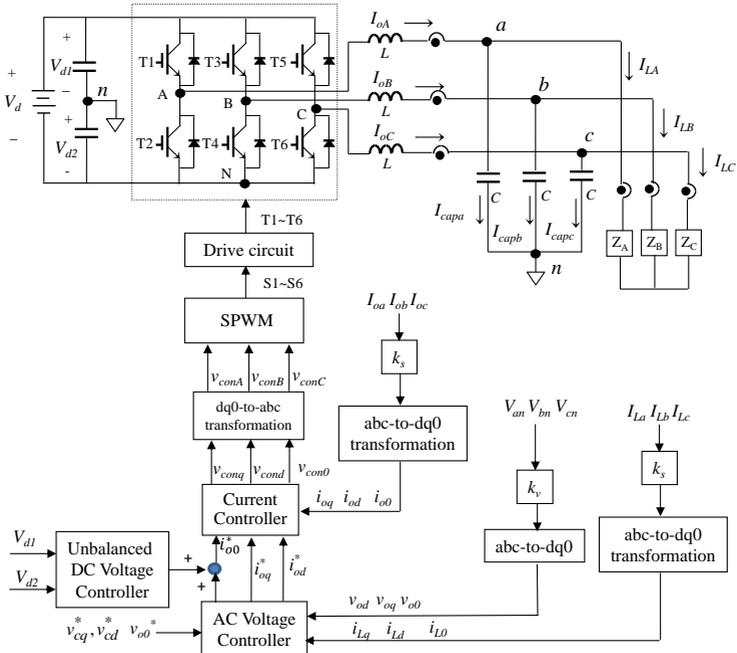
$$\begin{bmatrix} L \frac{dI_{oa}}{dt} \\ L \frac{dI_{ob}}{dt} \\ L \frac{dI_{oc}}{dt} \end{bmatrix} = k_{pwm} \begin{bmatrix} v_{conA} \\ v_{conB} \\ v_{conC} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} \quad (\text{附錄 F4.8})$$

利用 abc-dq0 軸轉換可得：

$$\begin{bmatrix} L \frac{dI_{od}}{dt} \\ L \frac{dI_{oq}}{dt} \\ L \frac{dI_{o0}}{dt} \end{bmatrix} = k_{pwm} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{cond} \\ V_{conq} \\ V_{con0} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{od} \\ V_{oq} \\ V_{o0} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & \omega L & 0 \\ -\omega L & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{od} \\ I_{oq} \\ I_{o0} \end{bmatrix} \quad (\text{附錄 F4.9})$$

同理輸出電壓亦可得：

$$\begin{bmatrix} C \frac{dV_{od}}{dt} \\ C \frac{dV_{oq}}{dt} \\ C \frac{dV_{o0}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{od} \\ I_{oq} \\ I_{o0} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{Ld} \\ I_{Lq} \\ I_{L0} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & \omega C & 0 \\ -\omega C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{od} \\ V_{oq} \\ V_{o0} \end{bmatrix} \quad (\text{附錄 F4.10})$$

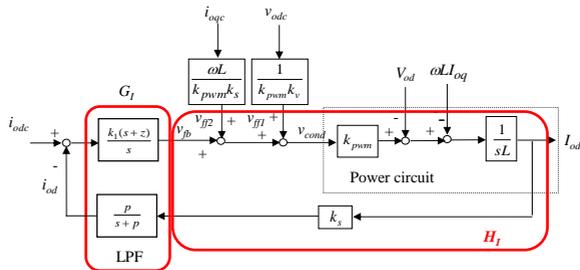


圖附錄 F4.1 三相四線獨立式 Inverter 之控制架構

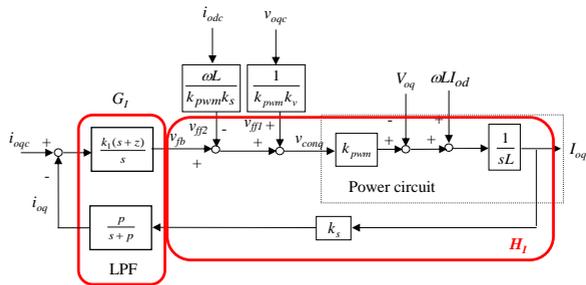
利用(附錄 F 4.9)可設計變流器之電流迴路如圖附錄 F 4.2 所示，其中之電力電路(power circuit)方塊乃利用(附錄 F 4.9)所繪，控制器乃以回授控制( $v_{fb}$ )與前向控制( $v_{ff1}$  與  $v_{ff2}$ )並用，前向控制乃用以直接抵銷  $V_{od}$ 、 $\omega LI_{oq}$ (d 軸，q 軸及 0 軸原理亦同)對於電流迴路之擾動，回授控制乃以比例積分( $G_I$ )與低通濾波(LPF)組成一二類誤差放大器，控制迴路波德圖如圖附錄 F 4.3(d)所示，電流迴路之頻寬可設定於切換頻率之 1/10~1/8。

圖附錄 F4. 2

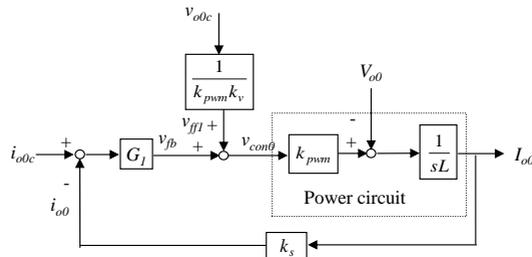
獨立式 Inverter  
電流控制迴路  
(a) d 軸



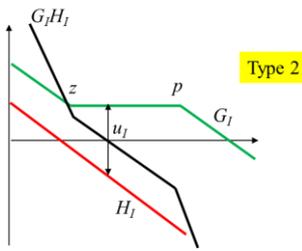
(b) q 軸



(c) 0 軸



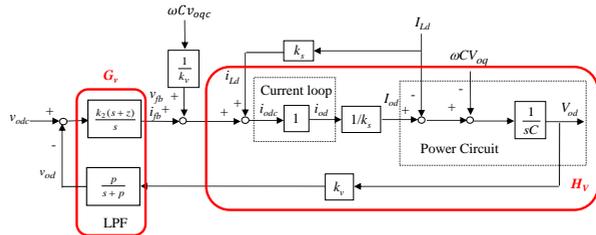
(d) 波德圖



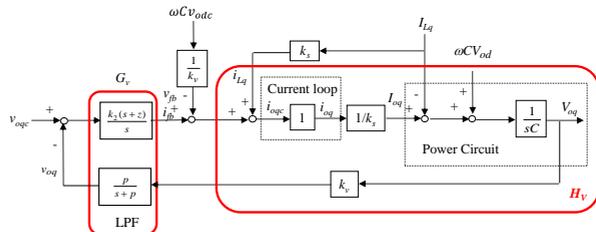
利用(附錄 F4.10)可設計變流器之電壓迴路如圖附錄 F4.3 所示，其中之電力電路(power circuit)方塊乃利用(附錄 F4.10)所繪，且將電流迴路設為理想，亦即電流追蹤的響應令為 1。控制器乃以回授控制與前向控制並用，前向控制乃以感測之負載電流( $i_{Ld}$ 、 $i_{Lq}$  及  $i_{L0}$ )直接抵銷負載電流( $I_{Ld}$ 、 $I_{Lq}$  及  $I_{L0}$ )對於電壓迴路之擾動，回授控制乃以比例積分( $G_v$ )與低通濾波(LPF)組成一二類誤差放大器，控制迴路波德圖如圖附錄 F4.3(d)所示，電壓迴路之頻寬可設定電流迴路頻寬之 1/4。上述之 d 軸及 0 軸之命令乃設為零，0 軸之電壓控制乃用以平衡三相負載不平衡的條件下亦能維持平衡。

圖附錄 F4. 2

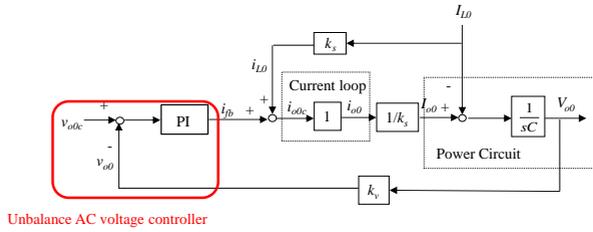
獨立式 Inverter  
電壓控制迴路  
(a) d 軸



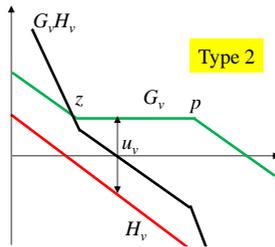
(b) q 軸



(c) 0 軸



(d) 波德圖



## 實驗五 三相四線光伏並網逆變器

基於 PEK-540 兩級式電路架構，尚可實現圖附錄 F5.1 所示光伏並網三相四線式 Inverter，兩組 DC-DC 轉換器之輸入為光伏模組，形成一多串式(multi-string) PV Inverter。光伏模組輸入之 DC-DC 轉換器之目的為將 PV 模組電壓升壓至 DC bus 電壓且能夠使光伏組操作於其最大功率點，第二級 Inverter 再將電力饋入市電。DC-DC 轉換器之控制架構如圖附錄 F5.2 所示，為一三迴路控制架構，最外迴路為最大功率點追蹤控制迴路(MPPT)，其產生光伏模組之電壓命令( $v_{pc}$ )，中間迴路為電壓控制迴路，其目的在使光伏模組電壓( $v_p$ )追隨其命令，電壓控制器將產生一最內電流迴路之電流命令( $I_{Lc}$ )，其目的在使電感電流( $I_L$ )追隨此電流命令，電流迴路產生最終 PWM 之控制電壓( $v_{comp}$ )，再與 PWM 三角波( $v$ )比較得到開關之責任週期。

由圖附錄 F5.2 可得：

$$L \frac{dI_L}{dt} = dV_d - V_{pv} \tag{附錄 F5.1}$$

責任週期可表示為：

$$d = \frac{1}{2} + \frac{v_{comp}}{2V_{tm}} \tag{附錄 F5.2}$$

$v_{tm}$  為三角波之震幅，將(附錄 F 5.2)代入(附錄 F 5.1)可得：

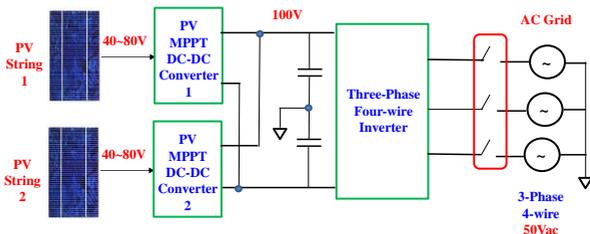
$$L \frac{dI_L}{dt} = k_{pwm} v_{comp} + \frac{V_d}{2} - V_{pv} \tag{附錄 F5.3}$$

其中

$$k_{pwm} = \frac{V_d}{2v_{tm}} \tag{附錄 F5.4}$$

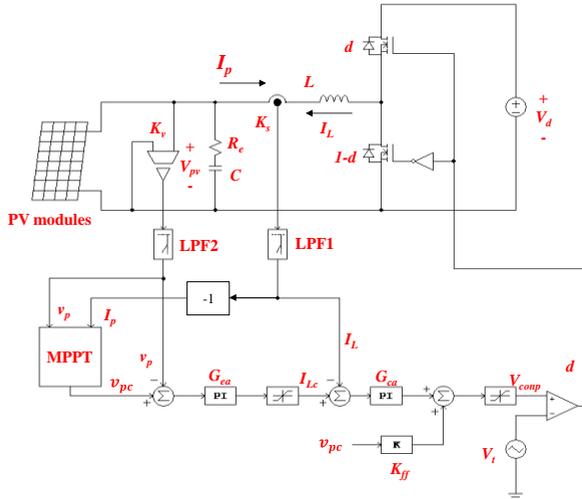
圖附錄 F5.1

光伏並網三相四線式 Inverter



圖附錄 F5. 2

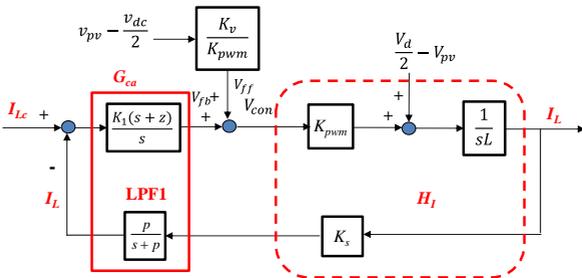
光伏模組 DC-DC  
轉換器之 MPPT  
控制架構



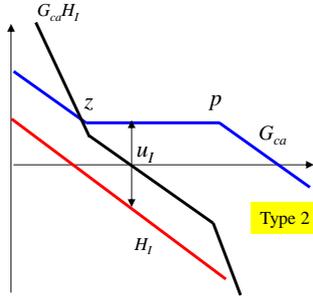
利用(附錄 F 5.3)可設計其電流迴路控制器如圖附錄 F 5.3(a)所示，其中方塊  $H_I$  乃根據(附錄 F 5.4)之小信號轉移函數所繪， $k_s$  為電流感測器之感測比例(V/A)，LPF1 為感測時所加之低通濾波器，電流控制器採用比例積分(PI)控制，PI 與 LPF1 形成一 type-2 形式之控制器，PI 控制器產生一回授控制信號  $V_{fb}$ ，其加上依前向(feedforward)控制信號  $V_{ff}$  後得到 PWM 之控制電壓  $v_{con}$ ，前向控制之目的為消除  $\frac{V_d}{2} - V_{pv}$  對電流迴路之擾動。電流迴路之零交越頻率(相當於頻寬)  $u_l$  設計於切換頻率之 1/8~1/10。電流迴路之波德圖如圖附錄 F 5.3(b)所示，其中可設定  $z = u_l/3$ ， $p = f_s/4$ 。

圖附錄 F5. 3

PV DC-DC 轉換器  
之電流迴路設計  
(a) 控制方塊圖



(b) 波德圖



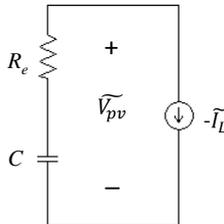
PV 模組可視為一電壓源電壓迴路可以圖附錄 F 5.4(a)之小信號模型來代表，由之可得：

$$\frac{\tilde{v}_{pv}}{\tilde{I}_L} = \frac{-(1+\frac{s}{\omega_z})}{sC}, \quad \omega_z = \frac{1}{R_e C} \tag{附錄 F5.5}$$

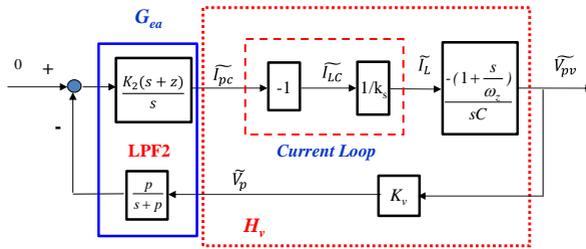
電流迴路之命令乃由電壓迴路產生，結合電流及電壓迴路之控制方塊圖如圖附錄 F 5.4(b)所示，其中假設電流迴路之頻寬較電壓迴路寬出許多，因而可將電流迴路視為理想(即  $\tilde{t}_L = \tilde{I}_L$ )， $K_v$  為電壓感測比例，LPF2 為低通濾波器，其與比例積分(PI)之電壓控制器結合成一 type 2 控制器。電壓迴路波德圖如圖附錄 F 5.4(c)所示，電壓迴路之零交越頻率  $u_v$  需遠低於電流路之頻寬，可設為  $u_v = u_I/4$ ， $z = u_v/4$ ， $p = f_s/10$ 。

圖附錄 F5. 4

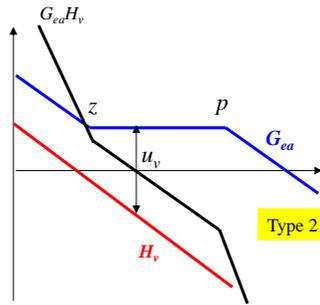
PV DC-DC 轉換器  
之電壓迴路設計  
(a) 小信號等效電路



(b) 控制方塊圖



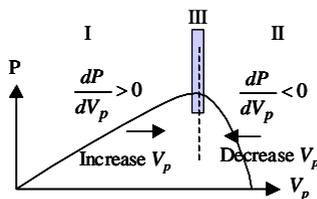
(c) 波德圖



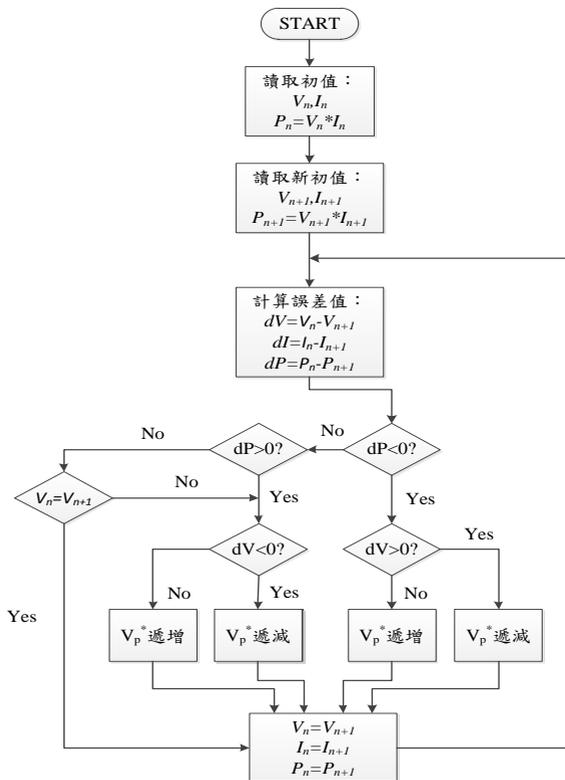
最大功率點追蹤控制一般採用擾動觀察法(perturbation and observation, P&O)，其概念如圖附錄 F5.5(a)在  $P-V_p$  特性曲線上移動工作點之方法，依據本次取樣所計算得到的  $dP/dV_p$  斜率來決定工作區間在 I 或 II 區間，當在 I 區間則下一次移動方向為增加  $V_p$ ，反之在 II 區間則下一次移動方向為減少  $V_p$ ，每次均需移動工作點再作判斷，因此稱為擾動觀察法。擾動觀察法實際必須藉由程式執行，其流程圖如圖附錄 F5.5(b)所示。

圖附錄 F5.5

MPPT 控制方法  
(a) 擾動觀察法概念



(b) 擾動觀察法程序



## 實驗六 三相四線蓄電池儲能系統

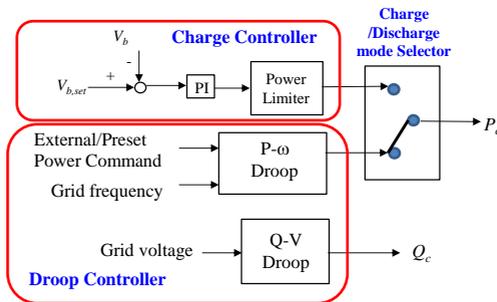
由於 DC-DC 轉換器與獨立式逆變器的應用前面章節已經提過，後續將針對並網模式的電能管理控制器說明：

### A. P- $\omega$ 及 Q-V 下垂控制

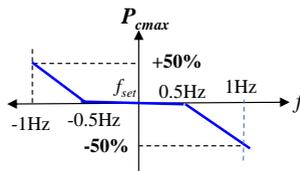
在市電正常時之電能管理控制器如圖附錄 F6.1(a)所示，Inverter 之實功命令可來自電池充電器，亦或來自調節負載準位之外部(或預設)命令，為了協助支撐電網電壓，PCS 須依據電網電壓及頻率調節此實功及虛功命令，圖附錄 F6.2(b)所示為 P- $\omega$ 下垂調節方式，當市電頻率低於正常  $f_{set}$  值時，PCS 提供較高於原設定值之實功，反之市電頻率高於正常  $f_{set}$  值時則降低其實功輸出。此處 P- $\omega$ 之調整範圍設定為  $\pm 1\text{Hz}$ ，在  $\pm 0.5\text{Hz}$  內維持正常實功輸出設定，超過  $0.5\text{Hz}$  則線性增加(或減少)輸出設定，至  $\pm 1\text{Hz}$  時為增減 50%。圖附錄 F6.1(c)則為 Q-V 下垂調節方式，Q-V 下垂之調整範圍設定為  $\pm 20\%$  額定電壓，當  $V_{pcc}$  電壓低於額定值時，PCS 提供較高於原設定之虛功，反之  $V_{pcc}$  電壓高於額定值時則降低其虛功輸出設定。調整方式為線性增減，至  $\pm 20\%$  額定電壓時為調整  $\pm 50\%$  虛功設定值。

圖附錄 F6.1

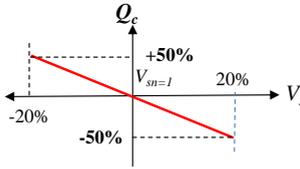
市電正常時之並網模式控制器  
(a) 電能管理控制器組成



(b) P- $\omega$ 下垂控制

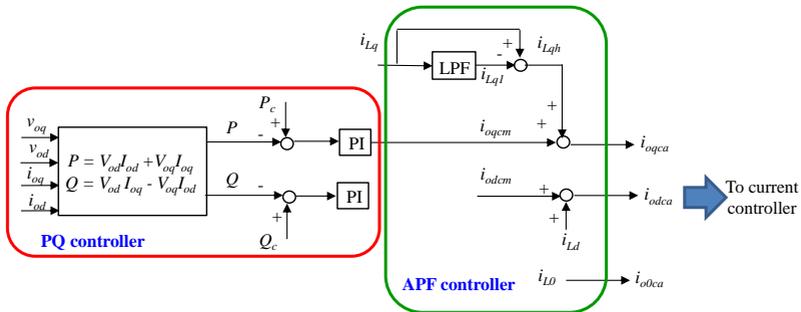


(c) Q-V 下垂控制



**B. PQ 控制器及主動濾波(APF)控制器**

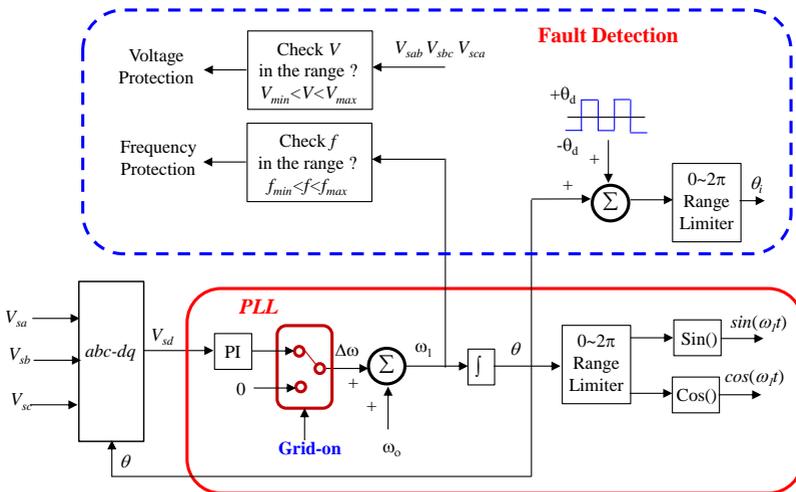
圖附錄 F6.2 包含 PQ 控制器與 APF 控制器乃位於管理控制器之內迴路，PQ 控制器乃接受上述之電能管理控制器產生之命令( $P_c$  與  $Q_c$ )經由比例積分(PI)調整後得到  $i_{oqcm}$  與  $i_{odcm}$  之電流命令，再經由 APF 控制器得到最終之電流命令。APF 控制器的目的在補償負載電流諧波( $q$  與  $d$  軸)、虛功與負載電流不平衡，為達到這些補償功能，其利用  $q$  軸之負載電流( $i_{Lq}$ )經由低通濾波器後得到實功負載電流基本波( $i_{Lql}$ )，再由二者之差值計算實功電流之諧波( $i_{Lqh}$ )，最後  $q$  軸之電流命令乃由  $i_{oqcm}$  與  $i_{Lqh}$  相加而得( $i_{oqca}=i_{oqcm}+i_{Lqh}$ )，使得 PCS 得以補償負載之實功電流諧波。負載虛功與虛功電流之諧波則需完全補償，因此  $d$  軸之電流命令由  $i_{odcm}$  與  $i_{Ld}$  相加而得( $i_{odca}=i_{odcm}+i_{Ld}$ )。為了補償負載之不平衡電流， $0$  軸之電流命令則由負載電流之  $0$  軸成份產生( $i_{o0ca}=i_{L0}$ )。



圖附錄 F6. 2 PQ 控制器與 APF 控制器

### C. 鎖相迴路控制器

鎖相迴路(PLL)控制器如圖附錄 F6.3 所示，其在判斷市電電壓存在時，Grid-on 信號選擇利用  $d$  軸的市電信號( $V_{sd}$ )經由一比例積分控制器產生頻率修正信號( $\Delta\omega$ )， $\Delta\omega$ 與預設之頻率 $\omega_0$ 相加後得到鎖相頻率 $\omega_1$ ， $\omega_1$ 經過積分後得到角度信號 $\theta$ ， $\theta$ 再回授至  $abc$ - $dq$  軸轉換，當被 $\Delta\omega$ 修正至零即達到同步。PLL 輸出頻率信號亦可供市電電壓頻率檢測，而 $\theta$ 角則亦可供產生同步之正弦波信號。在無市電情況下，Grid-on 信號選擇 PLL 則由預設之頻率 $\omega_0$ 產生角度信號 $\theta$ ，供獨立模式之軸轉換使用。



圖附錄 F6.3 鎖相迴路(PLL)控制器

## 實驗七 三相四線混合型系統

實驗七整合了實驗五和實驗六形成混和型系統，將實驗六的交錯式轉換器其中一相拿來做太陽能光伏轉換器，其設計方法與先前相同，故這裡就不在贅述。