

單相光伏逆變器模塊

PEK-510

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

簡介	4
章節說明	10
實驗 1 升壓式轉換器	12
電路模擬	12
實驗設備	15
實驗步驟	16
實驗目的	18
實驗結果	18
結論	20
實驗 2 升壓式轉換器之輸入電壓控制	21
電路模擬	21
實驗設備	24
實驗步驟	25
實驗目的	27
實驗結果	27
結論	28
實驗 3 升壓式轉換器之最大功率點追蹤	29
電路模擬	29
實驗設備	32
實驗步驟	33
實驗目的	35
實驗結果	35
結論	36
實驗 4 單相升壓獨立式逆變器	37
電路模擬	37

實驗設備.....	40
實驗步驟.....	41
實驗目的.....	43
實驗結果.....	43
結論.....	46
實驗 5 單相並網逆變器.....	47
電路模擬.....	47
實驗設備.....	51
實驗步驟.....	52
實驗目的.....	55
實驗結果.....	55
結論.....	59
實驗 6 單相光伏並網逆變器.....	60
電路模擬.....	60
實驗設備.....	63
實驗步驟.....	64
實驗目的.....	67
實驗結果.....	67
結論.....	69
實驗 7 單相光伏並網逆變器 PQ 控制.....	70
電路模擬.....	70
實驗設備.....	74
實驗步驟.....	75
實驗目的.....	78
實驗結果.....	78
結論.....	85
實驗 8 單相逆變器之孤島保護.....	86
電路模擬.....	86
實驗設備.....	89

實驗步驟.....	90
實驗目的.....	93
實驗結果.....	93
結論.....	98
附錄 A PEK-510 電路圖	99
Single Phase PV Inverter.....	100
F28335 Delfino control CARD	104
Gate Driver	105
Gate Driver Power.....	106
附錄 B C code 燒錄流程	107
附錄 C RS232 連線.....	116
附錄 D SAS 軟體操作手冊	120
介紹.....	120
安裝與啓動	120
界面說明.....	124
操作	125
附錄說明.....	128

簡介

PEK-510 為單相光伏逆變器模塊(Single Phase PV Inverter Module)，如圖 0.1 所示，前級為升壓式轉換器(Boost Converter)架構，後級為單相全橋逆變器(Single Phase 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
單相光伏逆變器
實驗模組

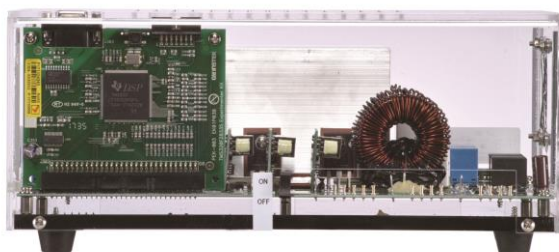
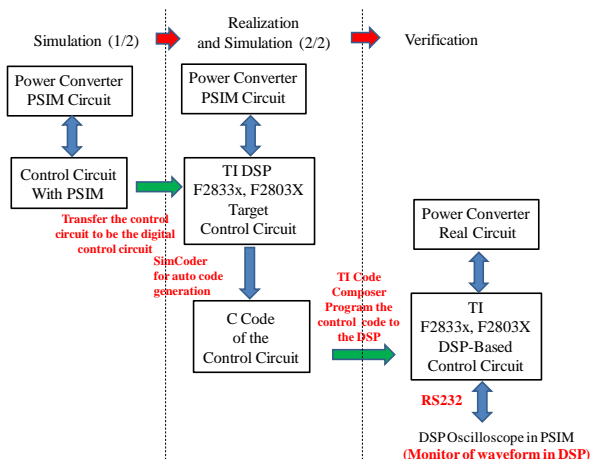


圖 0.2
教具使用程序



PEK-510 共可完成八個實驗，分別如下：

1. 升壓式轉換器 (Boost Converter)
2. 升壓式轉換器之輸入電壓控制 (Input Voltage Control of Boost Converter)
3. 升壓式轉換器之最大功率點追蹤 (MPPT Control of Boost Converter)
4. 單相升壓獨立式逆變器 (Single Phase Boost Stand-alone Inverter)
5. 單相並網逆變器 (Single Phase Grid-connected Inverter)
6. 單相光伏並網逆變器 (Single Phase PV Grid-connected Inverter)
7. 單相光伏並網逆變器 PQ 控制 (PQ Control of Single-phase PV Grid-connected Inverter)
8. 單相逆變器之孤島保護 (Single Phase Islanding Protection Inverter)

進行實驗時除需要 PEK-510 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

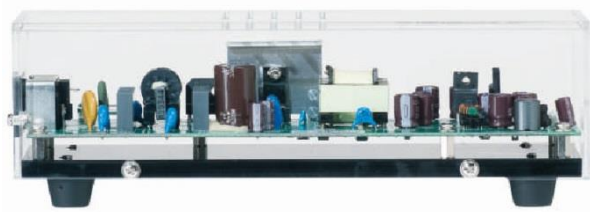


圖 0.4
JTAC 燒錄器

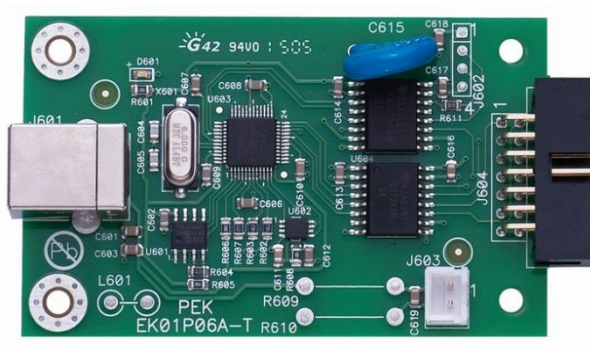


圖 0.5
PTS-5000 實驗
平台



PEK-510 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。

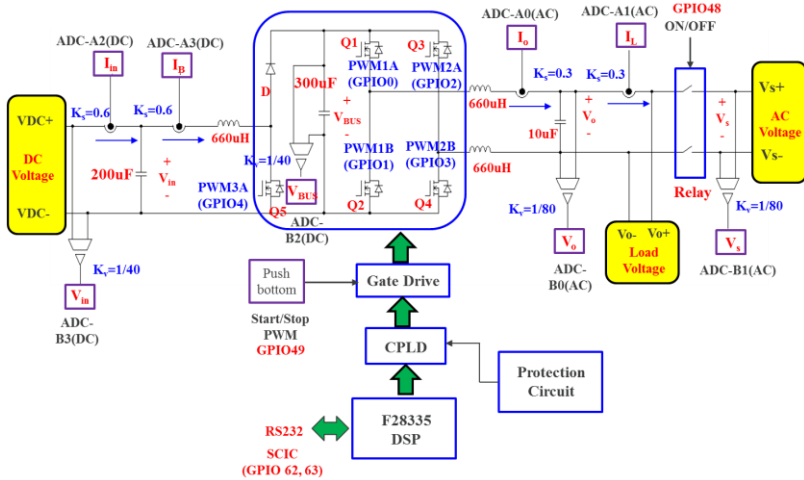


圖 0.6 I/O 配置

表 0.1 PEK-510 測試點的量測比例

感測項目	感測比例
1 升壓轉換器輸入電壓(Vin)	0.0249
2 直流鍊電壓(VBUS)	0.0249
3 升壓轉換器輸入電流(Iin)	0.8
4 升壓轉換器電感電流(IB)	0.8
5 逆變器輸出電流(Io)	0.8
6 逆變器負載電流(IL)	0.8
7 逆變器輸出電壓(Vo)	0.0124
8 市電電壓(Vs)	0.0124

表 0.2 PEK-510 DSP 的回授比例

	感測項目	感測比例
1	升壓轉換器輸入電壓(V_{in})	0.0249
2	直流鍊電壓(VBUS)	0.0249
3	升壓轉換器輸入電流(I_{in})	0.6
4	升壓轉換器電感電流(I_B)	0.6
5	逆變器輸出電流(I_o)	0.2996
6	逆變器負載電流(I_L)	0.2996
7	逆變器輸出電壓(V_o)	0.0124
8	市電電壓(V_s)	0.0124

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 主要學習 PWM 切換升壓式轉換器之原理及工作
升壓式轉換器 模式，透過 PEK-510 模塊了解電壓及電流之量測方法，同時學習 TI F28335 DSP IC 腳位、PWM 及 A/D 硬體之設定，並了解如何利用 RS-232 進行 DSP 內部信號之控制與量測。

實驗 2 主要學習升壓式轉換器之小訊號模型推導，並學
升壓式轉換器之輸入電壓控制 習輸入電壓控制法，針對硬體進行規劃後透過 SimCoder 進行程式撰寫。

實驗 3 了解 PV 模組特性及各式 MPPT 方法，學習擾動
升壓式轉換器之最大功率點追蹤 觀察法之 SimCoder 程式撰寫，並透過 PEK-510 之升壓式轉換器來確認實驗結果。

實驗 4 主要學習單相逆變器之建模，並學習電壓迴路及
單相升壓獨立式逆變器 電流迴路控制器之設計，針對硬體進行規劃後透過 SimCoder 進行程式撰寫。

實驗 5 了解單相市電並聯逆變器基本原理及結構，同時
單相並網逆變器 學習單相並聯逆變器之鎖相迴路設計方法，並學習電壓迴路及電流迴路控制器設計，針對市電並聯逆變器進行規劃後透過 SimCoder 進行程式撰寫。

實驗 6 了解光伏並網逆變器之原理及結構，並將升壓式
單相光伏並網逆變器 轉換器與單相逆變器結合形成光伏並網逆變器之實驗，進行規劃後透過 SimCoder 進行程式撰寫。

實驗 7 了解智慧型逆變器之實功管理與虛功注入之驗證
單相光伏並網逆變器 PQ 控制 能力，並針對硬體進行規劃後透過 SimCoder 進
行程式撰寫。

實驗 8 了解孤島保護的目的及孤島測試驗證的方法，並
單相逆變器之孤島保護 針對硬體進行規劃後透過 SimCoder 進行程式撰
寫。

實驗 1 升壓式轉換器

電路模擬

轉換器規格如下：

- Input Voltage $V_{in} = 50V$
- BUS Voltage $V_{bus} = 80V$
- $F_s = 40kHz$, $V_{tri} = 5V_{pp}$ (PWM)
- $L_b = 661.5\mu H$, $C_{BUS} = 300\mu F$
- $K_s = 0.6$ (DC 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-510_Sim1_Boost_V11.1.5_V1.1

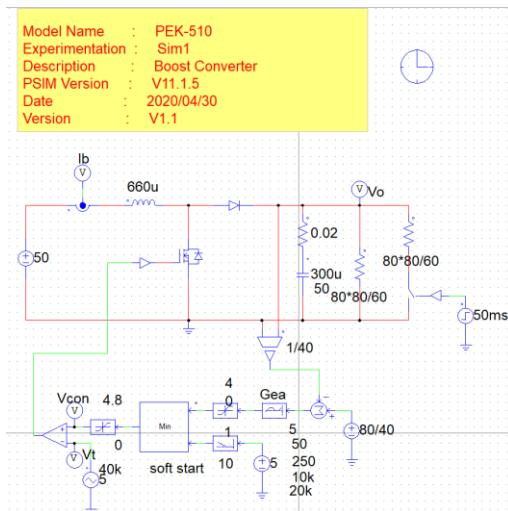


圖 1.1 實驗一 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 1.2, 1.3:

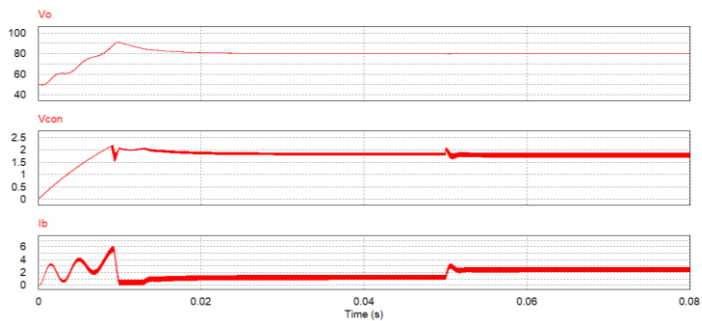


圖 1.2 實驗一類比電路模擬波形

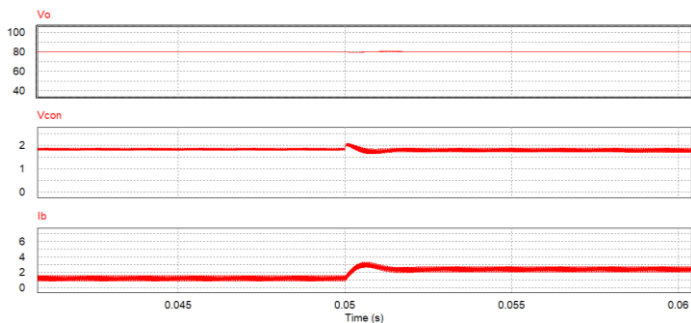


圖 1.3 實驗一類比電路模擬波形

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-510_Lab1_Boost_V11.1.5_V1.1

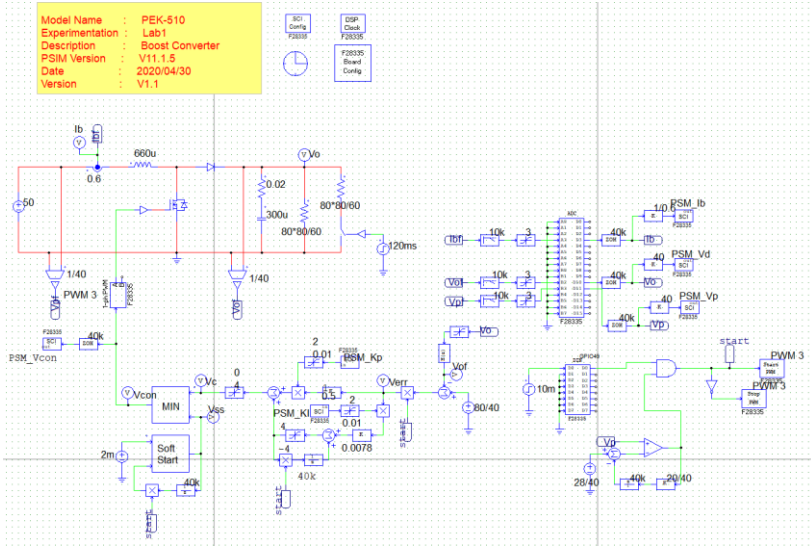


圖 1.4 實驗一 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 1.5:

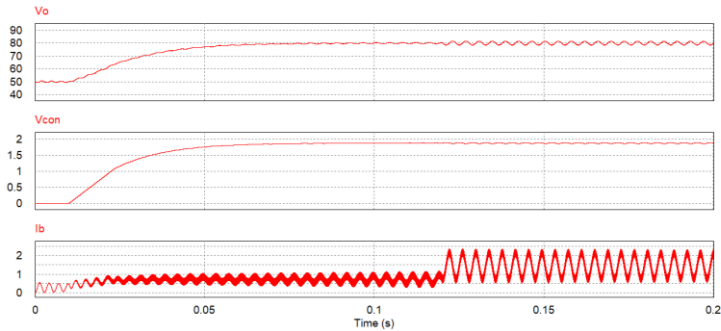


圖 1.5 實驗一數位電路模擬波形

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-510 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。

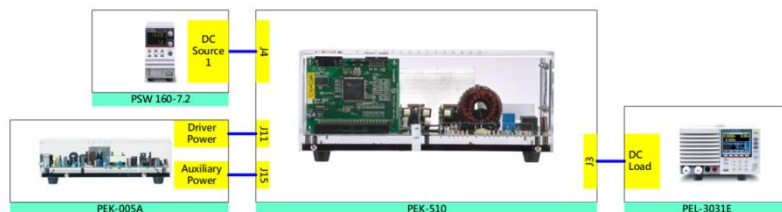
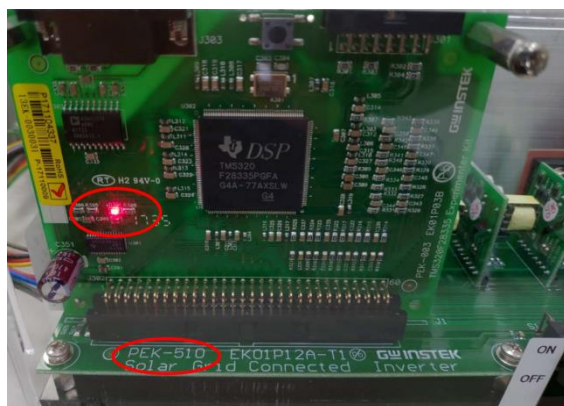


圖 1.6 實驗一接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-510 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。

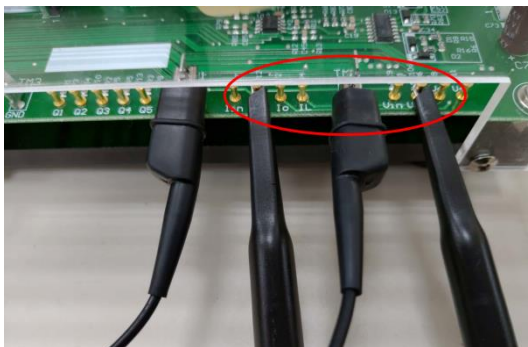
圖 1.7
DSP 正常工作畫面



3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。

4. 如圖 1.8 所示，將示波器探棒分別接至 I_B , V_{BUS} 上。

圖 1.8
示波器探棒接線圖



5. 如圖 1.9 所示，電源供應器 PSW160-7.2 設定為電壓 50V，電流 3A。

圖 1.9
PSW 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 50Ω，Channel_B 設定為 100Ω，如圖 1.10。

圖 1.10
PEL-3031E 負載設定



7. 設定完畢後，將 PSW 電源輸出，最後再將 PEK-510 開啟。

實驗目的

本實驗為升壓式轉換器，負載分別設定為 100Ω 及 50Ω 情況下，探討其對輸出電壓波形影響。

實驗結果

(1) 電子負載 100Ω

如圖 1.11 所示，當負載設定為 100Ω ，此時輸出電壓 $80V$ 、輸出功率 $62.85W$ 。如圖 1.12 所示，觀測 I_B 為 $1.08A$ (實際值 $1.35A$)， V_{Bus} 為 $1.98V$ (實際值 $79.52V$)

圖 1.11
電子負載 100Ω

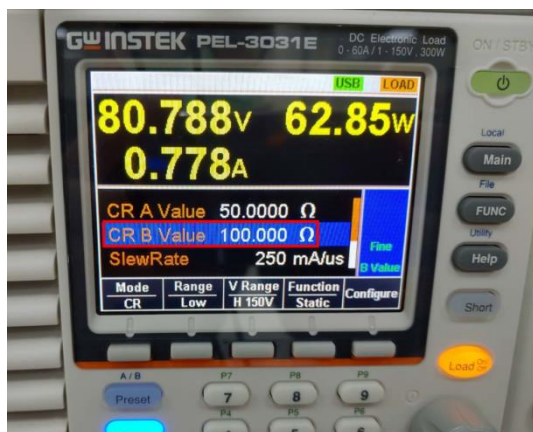
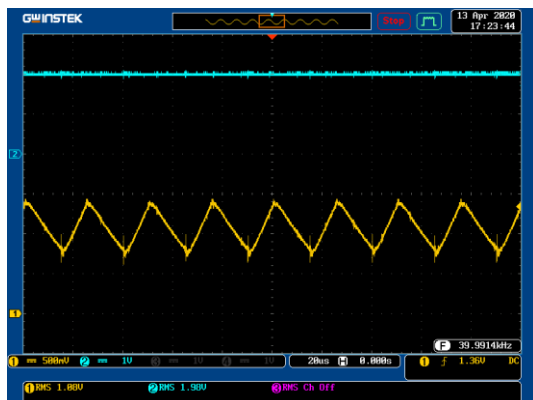


圖 1.12
負載 100Ω 之量測波形



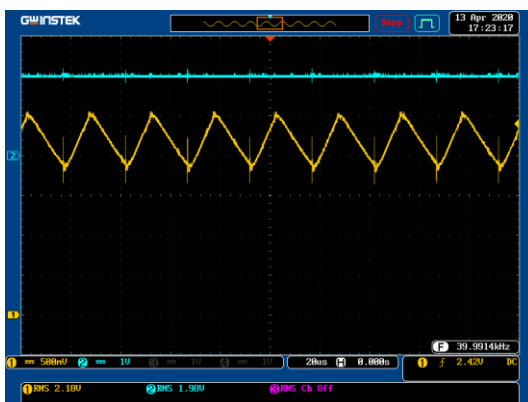
(2) 電子負載 50Ω

如圖 1.13 所示，當負載設定為 50Ω，此時電路功率為輸出電壓 80V、輸出功率 128W。如圖 1.14 所示，觀測 I_B 為 2.18A(實際值 2.725A)， V_{BUS} 為 1.98V(實際值 79.52V)。

圖 1.13
電子負載 50Ω



圖 1.14
負載 50Ω 之量測
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

	$I_B(I_{rms})$ (量測值)	$I_B(I_{rms})$ (實際值)	$V_{BUS}(V_{rms})$ (量測值)	$V_{BUS}(V_{rms})$ (實際值)
負載(100Ω)	1.08A	1.35A	1.98V	79.52V
負載(50Ω)	2.18A	2.73A	1.98V	79.52V

結論

由表 1.1 可發現，升壓式轉換器於負載變動時，IB 電流隨著負載變化(半載至滿載)而有所改變，但輸出電壓仍透過迴授控制維持穩定。

實驗 2 升壓式轉換器之輸入電壓控制

電路模擬

轉換器規格如下：

Input Voltage $V_{in} = 50V$

BUS Voltage $V_{bus} = 80V$

$F_s = 40kHz$, $V_{tri} = 5V_{pp}$ (PWM)

$L_b = 661.5\mu H$, $C_{BUS} = 300\mu F$

$K_s = 0.6$ (DC 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-510_Sim2_Input_Control_Boost_V11.1.5_V1.1

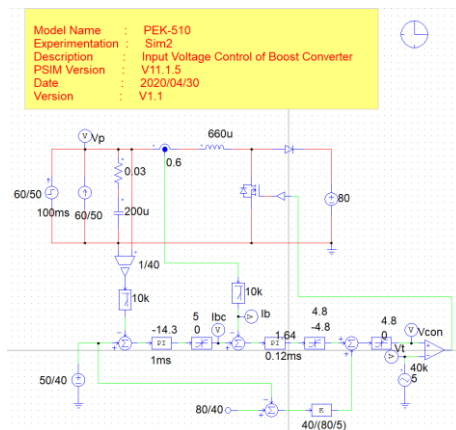


圖 2.1 實驗二 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 2.2, 2.3:

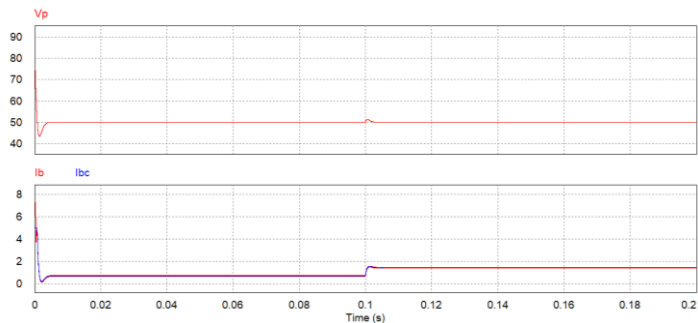


圖 2.2 實驗二類比電路模擬波形

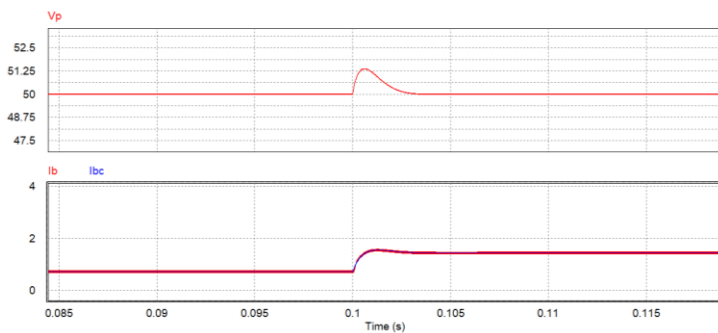


圖 2.3 實驗二類比電路模擬波形

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-510_Lab2_Input_Control_Boost_V11.1.5_V1.1

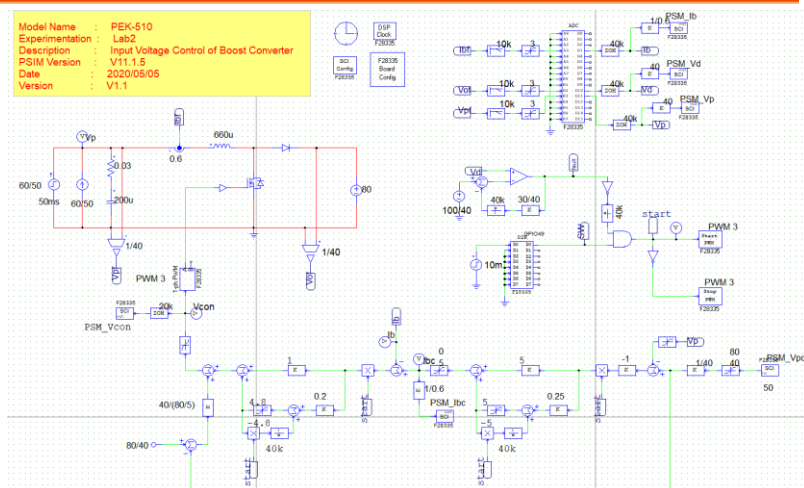


圖 2.4 實驗二 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 2.5:

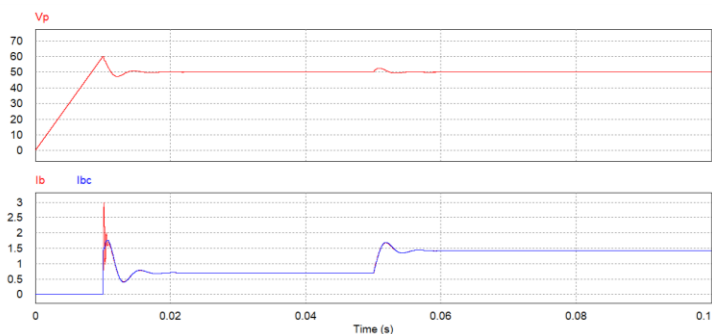


圖 2.5 實驗二數位電路模擬波形

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-510 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。

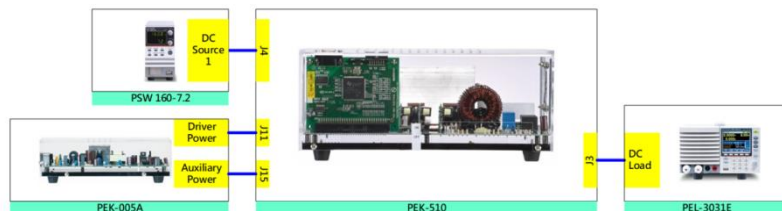
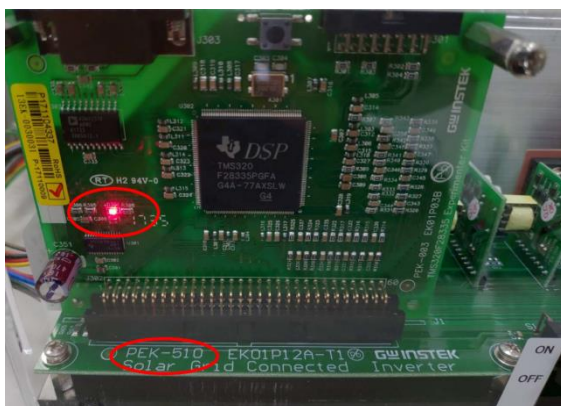


圖 2.6 實驗二接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-510 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。

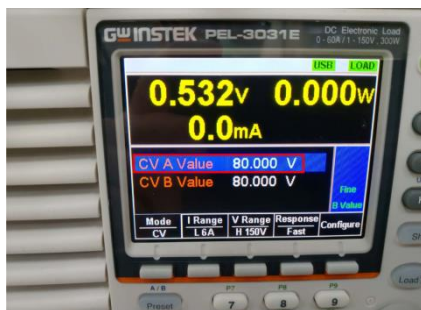
4. 如圖 2.8 所示，PSW160-7.2 設定為電壓 60V，電流 1.2A。

圖 2.8
示波器探棒接線
圖



5. 如圖 2.9 所示，PEL-3031E 設定為 CV 模式，Value 設定為 80V。

圖 2.9
PEL-3031E 設定



6. 設定完畢後，依序將 PSW 與 PEL 輸出開啟，最後將 PEK-510 開啟。

實驗目的

本實驗為升壓式轉換器，透過閉迴路控制將輸入電壓穩定在所設計之電壓值。由於輸出電壓沒有做迴授控制，因此需將電子負載設定為 CV 模式用來維持輸出電壓，避免開機時因輸出電壓過高而造成損壞。

實驗結果

(1) 輸入電壓設定為電壓 60V，電流 1.2A

如圖 2.10 所示，開啟 PEK-510 後，電源供應器電壓會由預設值 60V 調整至 50V，並進入 CC 模式，以設定的電流值輸出。如圖 2.11 所示，此時電子負載之輸出電壓為 80V 與功率 56W。

圖 2.10
PSW 輸出顯示

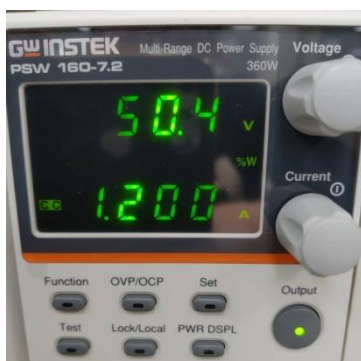
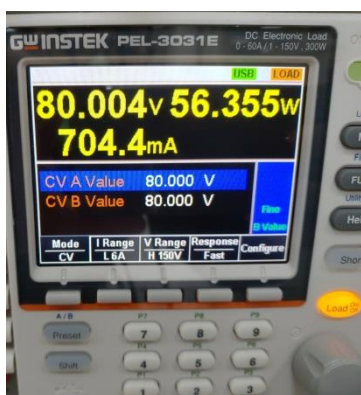


圖 2.11
PEL 負載顯示



(2) 輸入電壓設定為電壓 60V，電流 2.4A

如圖 2.12 所示，開啟 PEK-510 後，電源供應器電壓會由預設值 60V 調整至 50V，並進入 CC 模式，以設定的電流值輸出。如圖 2.13 所示，電子負載之輸出電壓為 80V 及功率 114W。

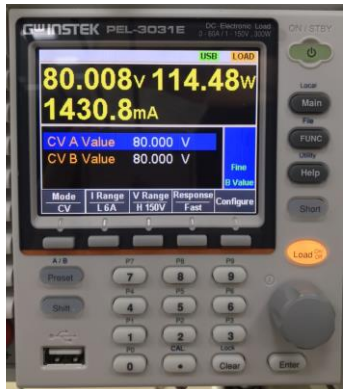
圖 2.12

PSW 輸出顯示



圖 2.13

PEL 負載顯示



結論

此實驗為升壓式轉換器，從實驗中可觀測到，回授系統會將輸入電壓控制至所設計之電壓值。

實驗 3 升壓式轉換器之最大功率點追蹤

電路模擬

轉換器規格如下：

Input Voltage $V_{in} = 50V$

BUS Voltage $V_{bus} = 80V$

$F_s = 40kHz$, $V_{tri} = 5V_{pp}$ (PWM)

$L_b = 661.5\mu H$, $C_{BUS} = 300\mu F$

$K_s = 0.6$ (DC 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-510_Sim3_MPPT_Control_Boost_V11.1.5_V1.1

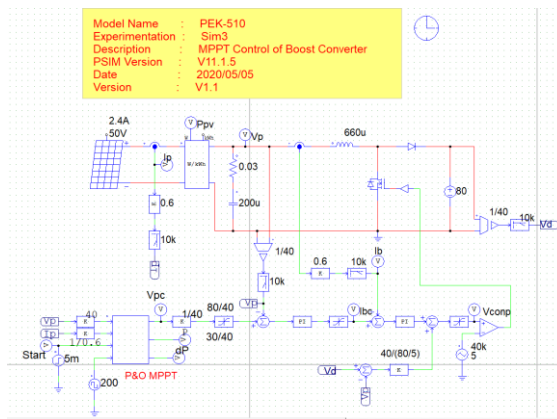


圖 3.1 實驗三 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 3.2:

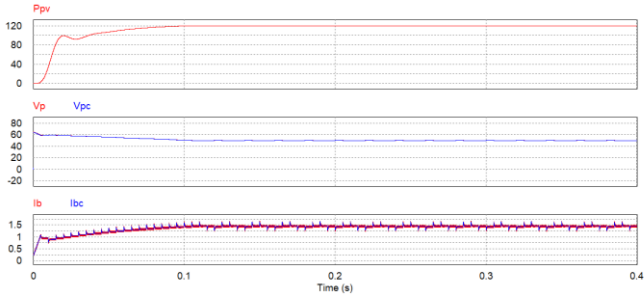


圖 3.2 實驗三類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 3.3

PSIM 檔名為 : PEK-510_Lab3_MPPT_Control_Boost_V11.1.5_V1.1

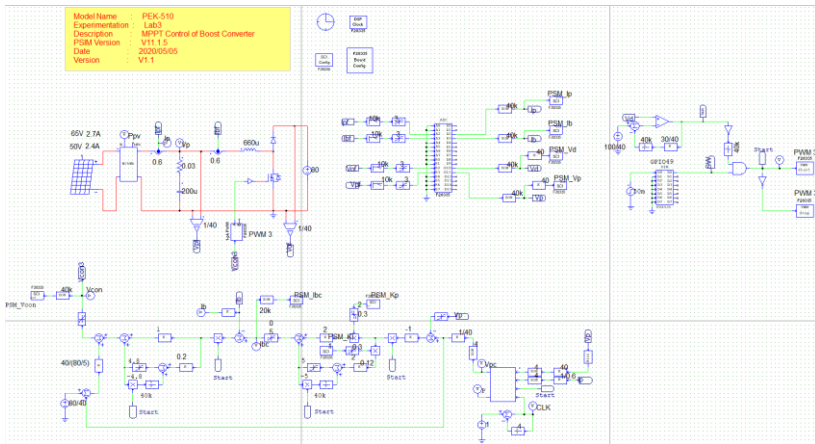


圖 3.3 實驗三 PSIM 數位電路圖

因實際產生 Code 的電路，其 MPPT 調整的頻率為 4Hz，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-510_Sim3D_MPPT_Control_Boost_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 3.4:

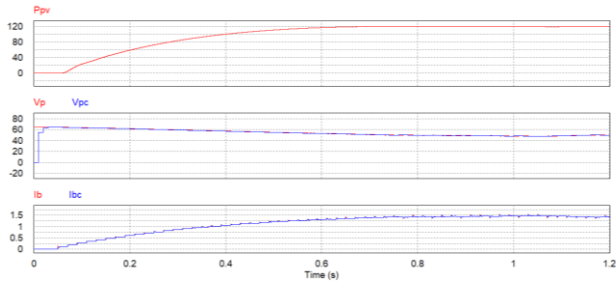


圖 3.4 實驗三數位電路模擬波形

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-510 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 3.5，請依此圖完成接線。

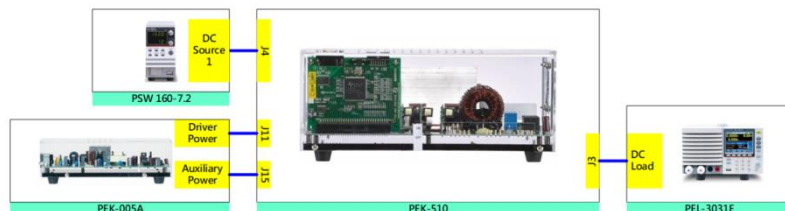
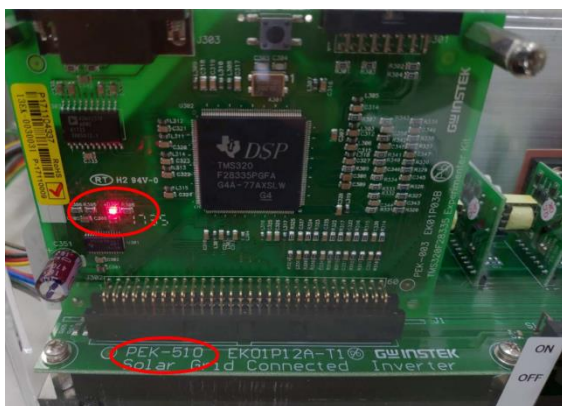


圖 3.5 實驗三接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-510 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 3.6，此時表示 DSP 電源正常。

圖 3.6
DSP 正常工作畫面



3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。
4. 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 3.7 所示，第一條曲線之開路電壓為 65V、短路電流為 2.7A、最大功率點電壓為 50V 及最大功率點電流為 2.4A。如圖 3.8 所示，第二條曲線數值設定在第一條曲線的 90%，因此第二條曲線之開路電壓為 58.5V、短路電流為 2.43A、最大功率點電壓為 45V 及最大功率點電流為 2.16A。

圖 3.7
第一條曲線設定
值

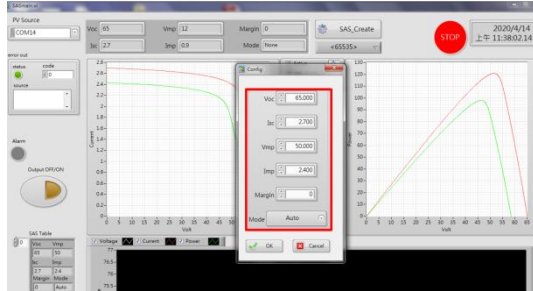
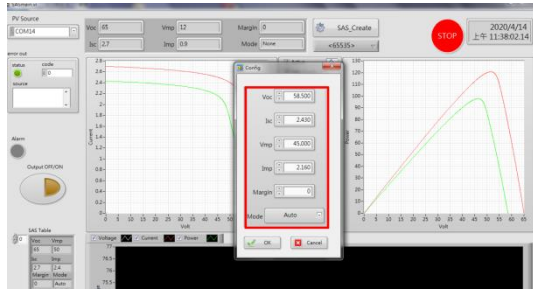


圖 3.8
第二條曲線設定
值



5. 如圖 3.9 所示，直流負載設定 CV 模式，電壓為 80V。

圖 3.9
直流負載設定



6. 設定完畢後，透過 SAS 程式開啟 PSW 輸出並將 PEL 拉載，最後再開啟 PEK-510 進行測試。

實驗目的

模擬光伏面板操作在不同的 PV 曲線時，透過最大功率點追蹤控制，維持最大功率輸出，以達到最高利用率。

實驗結果

透過 SAS 程式模擬光伏面板的 PV 曲線，並藉由最大功率點追蹤控制，在任意的環境條件下都設法維持最大功率輸出，以達到最高利用率。如圖 3.10, 3.11 所示，可發現輸出功率逐漸往最大功率點靠近並維持。

圖 3.10
SAS 處於第一條
曲線之初始啟動
狀態

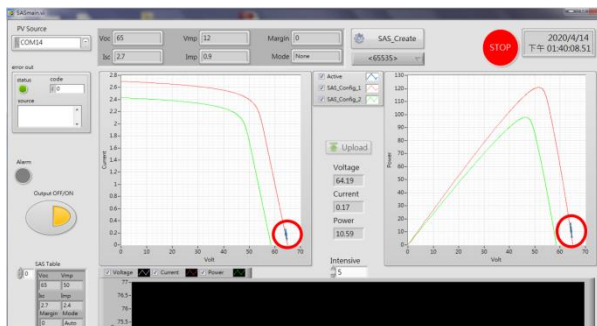
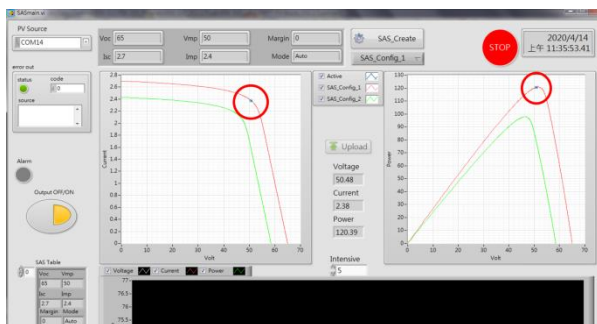


圖 3.11
SAS 處於第一條
曲線之最大功率
點



然而光伏面板的 PV 曲線隨環境跟外在因素不停變化，因此藉由第二條曲線來驗證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 3.12, 3.13 所示，亦可發現輸出功率逐漸往最大功率輸出點靠近並維持。

圖 3.12
SAS 切換至第二條曲線時的狀態

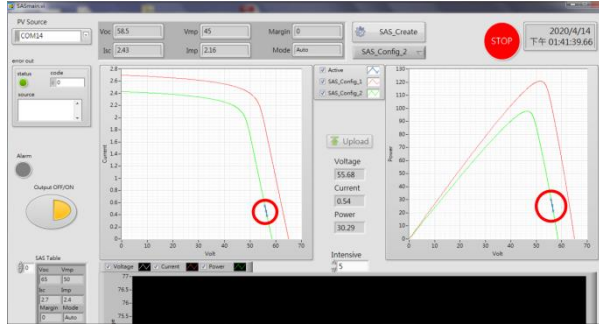
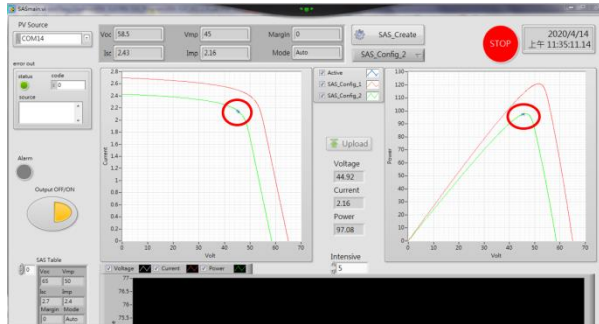


圖 3.13
SAS 處於第二條曲線之最大功率點



結論

此實驗為升壓式轉換器，模擬光伏面板受到強光及環境等外界因素影響變化時，其 PV 曲線也隨之變化，但 MPPT 控制器仍可找到當下曲線的最大功率點。

實驗 4 單相升壓獨立式逆變器

變器

電路模擬

系統規格如下：

DC Input Voltage $V_b = 50V$

DC bus Voltage $V_d = 80V$

$F_s = 40kHz$, $V_{tri} = 5V_{pp}$ (Boost PWM)

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

$L_b = 661.5\mu H$, $C_{BUS} = 300\mu F$

$L = 661.5\mu H$, $C = 10\mu F$

$K_s = 0.3$ (AC current sensing factor)

$K_s = 0.6$ (DC current sensing factor)

$K_v = 1/80$ (AC voltage 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 4.1:

PSIM 檔名為:

PEK-510_Sim4_1P_Boost_SA_Inv(50Hz)_V11.1.5_V1.1

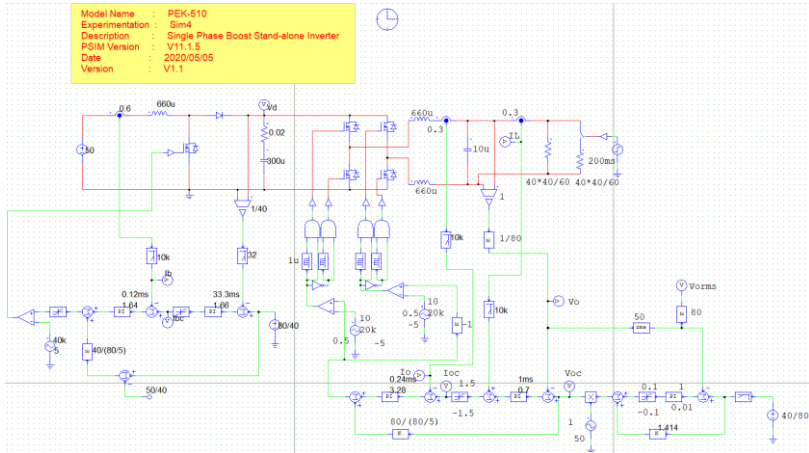


圖 4.1 實驗四 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 4.2:

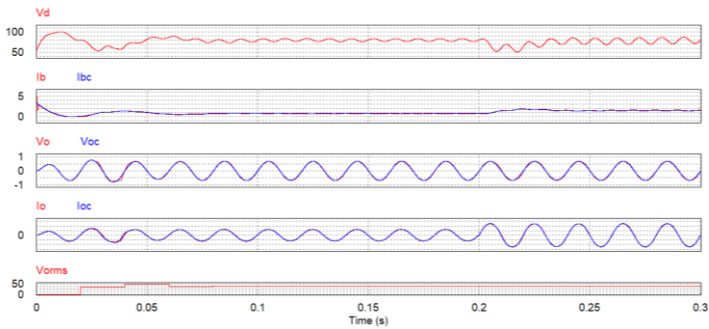


圖 4.2 實驗四類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 4.3

PSIM 檔名為：

PEK-510_Lab4_1P_Boost_SA_Inv(50Hz)_V11.1.5_V1.1

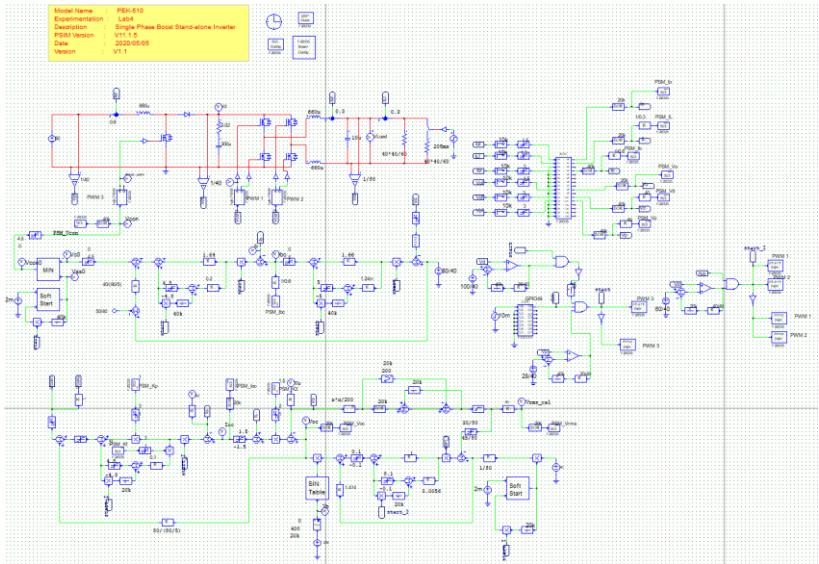


圖 4.3 實驗四 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 4.4:

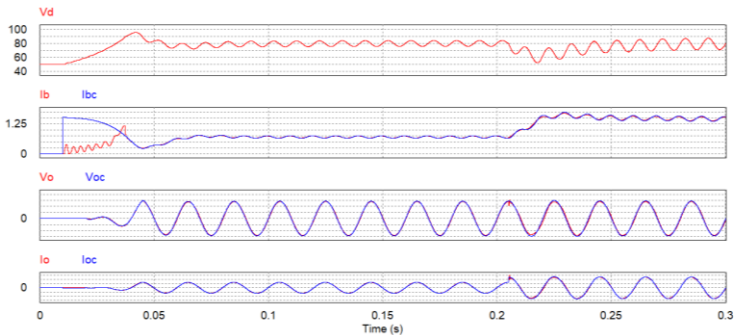


圖 4.4 實驗四數位電路模擬波形

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-510 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW160-7.2, GPL-500)
- PC 一台

實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 4.5，請依此圖完成接線。

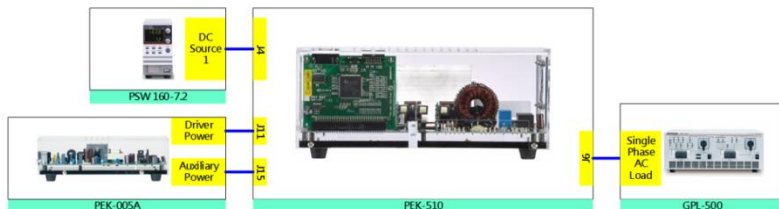
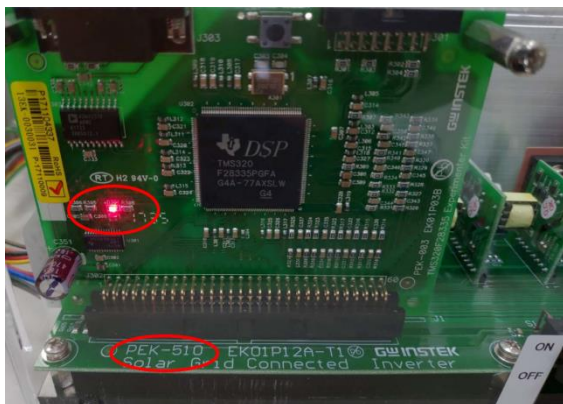


圖 4.5 實驗四接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-510 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 4.6，此時表示 DSP 電源正常。

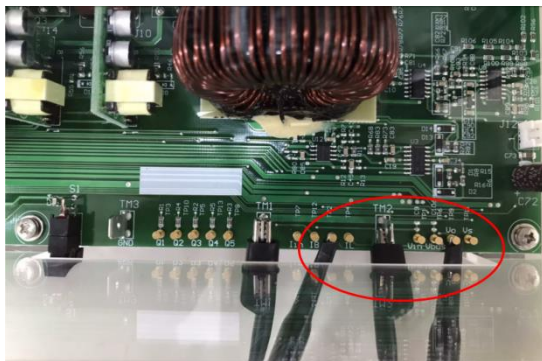
圖 4.6
DSP 正常工作畫面



3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。

4. 如圖 4.7 所示，將示波器探棒分別接至 V_o , I_o 。

圖 4.7
示波器探棒接線圖



5. 如圖 4.8 所示，PSW160-7.2 設定為電壓 50V，電流 3A。

圖 4.8
PSW 設定圖



6. 如圖 4.9 所示，GPL-500 操作步驟為:開啟 GPL500 電源→Single Phase Load 旋鈕調至 2(Resistance with LC Load) →1SS、2SS、3SS 及 LCS 設定皆為 OFF，此設定為空載模式。

圖 4.9
GPL-500 空載設定



7. 設定完畢後，開啟 PSW，最後將 PEK-510 開關開啟。

實驗目的

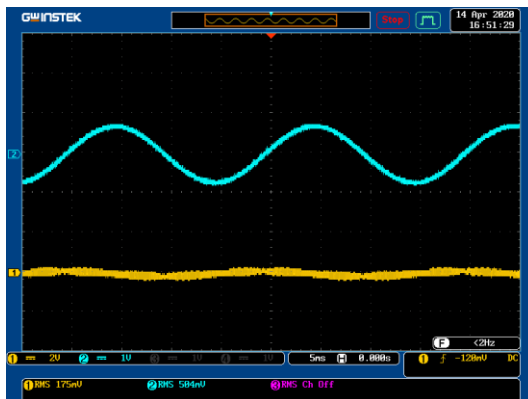
本實驗為單相逆變器實驗，透過閉迴路控制，確保輸出電壓在任何負載變動下，皆可維持穩定輸出，並觀測輸出電流變化。

實驗結果

(1) 空載

如圖 4.10 所示，於空載時，觀測 V_o RMS 值為 0.504V(實際值為 40.65V)， I_o RMS 值為 0.175A(實際值為 0.22A)。

圖 4.10
於空載下之 V_o ，
 I_o 實測波形



(2) 輕載(42Ω)

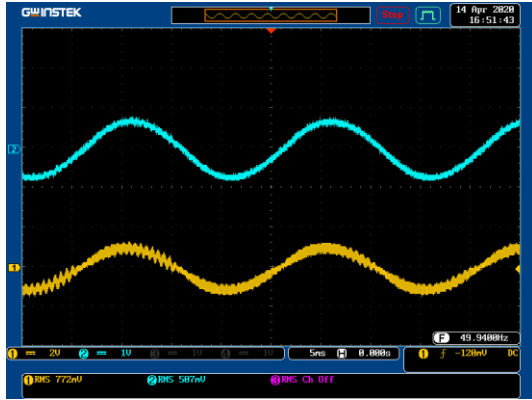
如圖 4.11 所示，GPL-500 之 1SS 設定為 ON，2SS, 3SS 設定為 OFF，此時負載為輕載。

圖 4.11
GPL-500 輕載設
定



如圖 4.12 所示，於輕載時，觀測 V_O RMS 值為 0.507V(實際值為 40.89V)， I_O RMS 值為 0.772V(實際值為 0.97A)。

圖 4.12
於輕載下之 V_O 、 I_O 實測波形



(3) 中載(21Ω)

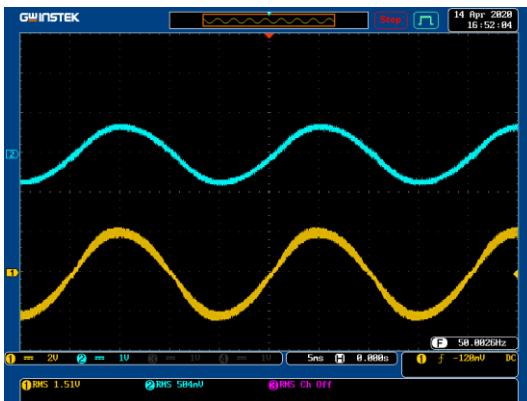
如圖 4.13 所示，GPLK-500 之 1SS、2SS 設定為 ON，3SS 設定為 OFF，此時負載為中載。

如圖 4.14 所示，於中載時，觀測 V_O RMS 值為 0.504V(實際值為 40.65V)， I_O RMS 值為 1.51A(實際值為 1.89A)。

圖 4.13
GPL-500 中載設定



圖 4.14
於中載下之 V_o ,
 I_o 實測波形



(4) 滿載(14Ω)

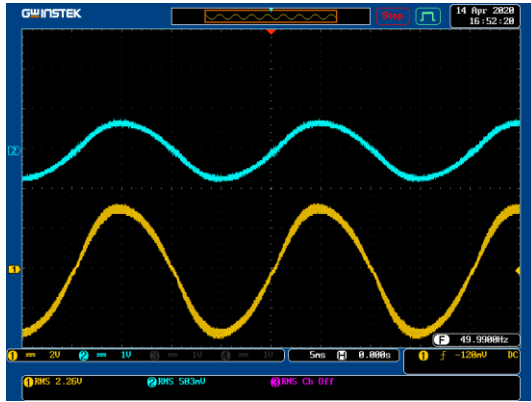
如圖 4.15 所示，GPL-500 之 1SS, 2SS, 3SS 設定皆為 ON，此時負載為滿載。

如圖 4.16 所示，於滿載時，觀測 V_o RMS 值為 0.503V(實際值為 40.56V)， I_o RMS 值為 2.26A(實際值為 2.83A)。

圖 4.15
GPL-500 滿載設定



圖 4.16
於滿載下之 V_o ,
 I_o 實測波形



依照 GPL-500 之空載、輕載、中載與滿載設定下，依序將量測之 V_o , I_o 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 GPL-500 不同設定下之電壓電流量測數據

	V_o (Vrms) (量測值)	V_o (Vrms) (實際值)	I_o (Irms) (量測值)	I_o (Irms) (實際值)
空載	0.504V	40.65V	0.175A	0.22A
輕載	0.507V	40.89V	0.772A	0.97A
中載	0.504V	40.65V	1.51A	1.89A
滿載	0.503V	40.56V	2.26A	2.83A

結論

本實驗為單相逆變器實驗，由表 4.1 可發現空載至滿載過程中，輸出電流逐漸增加，但輸出電壓仍維持於 40V。

實驗 5 單相並網逆變器

電路模擬

系統規格如下：

DC bus Voltage $V_d = 80V$

AC Source Voltage $V = 40 V_{rms}$

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

$L = 661.5\mu H$, $C = 10\mu F$

$K_s = 0.3$ (AC current sensing factor)

$K_v = 1/80$ (AC voltage 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 5.1:

PSIM 檔名為 : PEK-510_Sim5_1P_GC_Inv(50Hz)_V11.1.5_V1.1

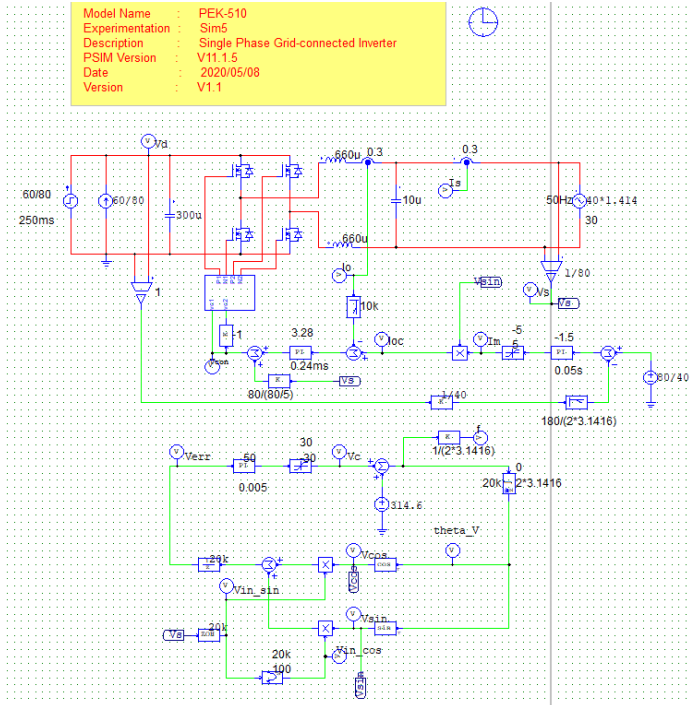


圖 5.1 實驗五 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 5.2:

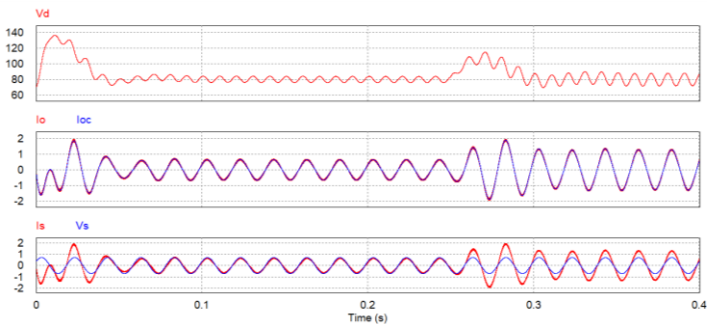


圖 5.2 實驗五類比電路模擬波形

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-510_Lab5_1P_GC_Inv(50Hz)_V11.1.5_V1.1

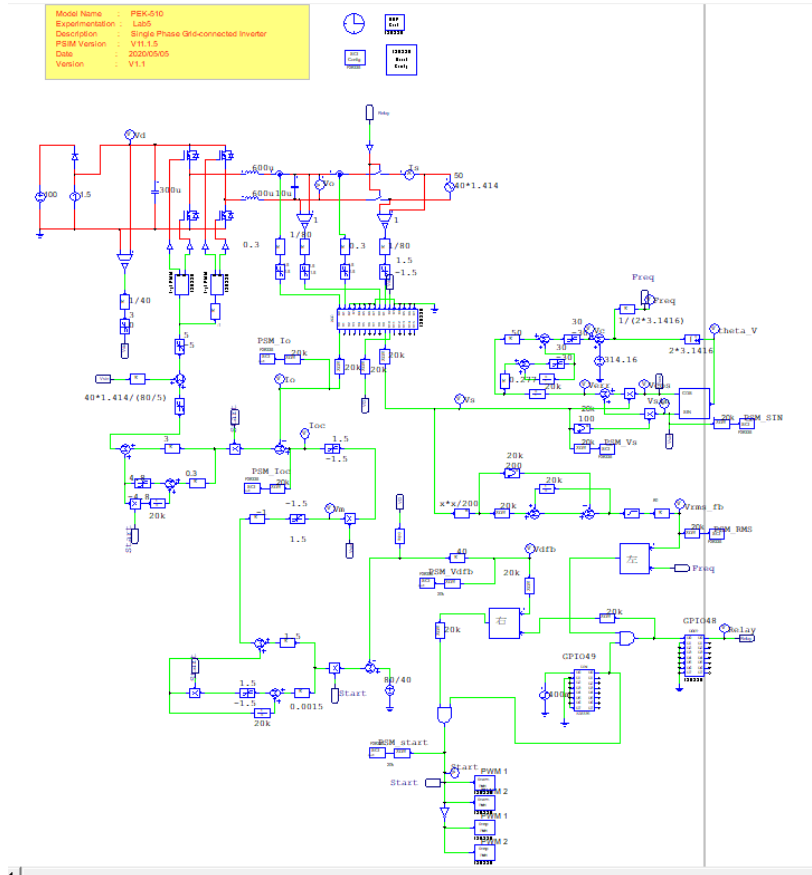


圖 5.3 實驗五 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 5.4:

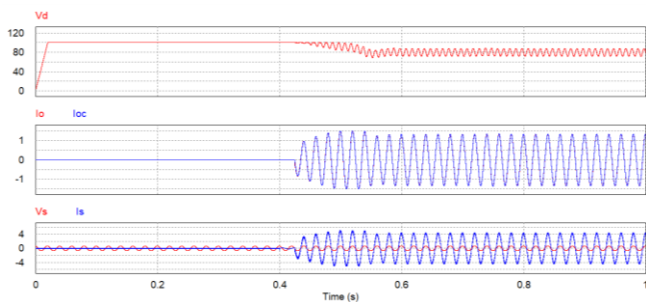


圖 5.4 實驗五數位電路模擬波形

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-510 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW160-7.2, 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。

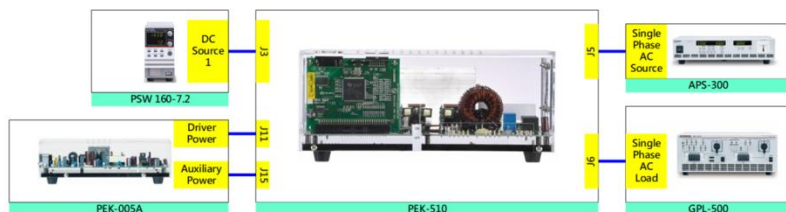
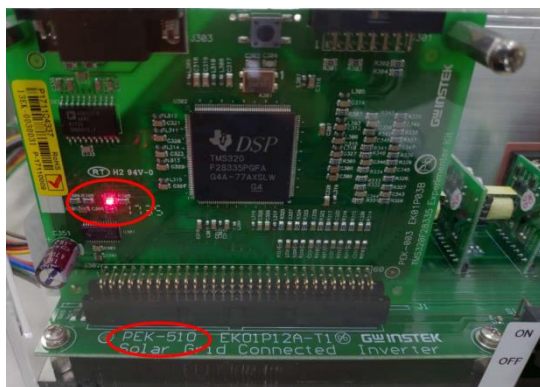


圖 5.5 實驗五接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-510 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 V_{BUS} , V_o 。

圖 5.7
示波器探棒接線圖



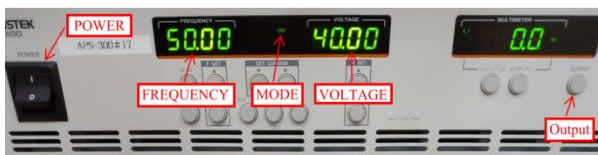
5. 如圖 5.8 所示，PSW160-7.2 設定為電壓 100V，電流 1.2A。

圖 5.8
PSW 設定圖



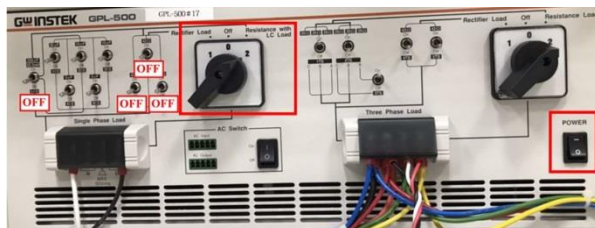
6. 如圖 5.9 所示，APS-300 操作步驟為:開啟 APS-300 電源→APS-300 設定頻率為 50Hz →操作模式為 1P2W→電壓為 40V。

圖 5.9
APS-300 設定圖



7. 如圖 5.10 所示，GPL-500 操作步驟為：開啟 GPL500 電源→Single Phase Load 旋鈕調至 2(Resistance with LC Load) →1SS, 2SS, 3SS 設定皆為 OFF, LCS 為 OFF，此設定為空載模式。

圖 5.10
GPL-500 空載設
定



8. 設定完畢後，透過 SAS 程式開啟 PSW 輸出，並開啟 APS-300 輸出後，再將 PEK-510 開關開啟。

實驗目的

本實驗為市電並網逆變器系統，探討在不同負載功率需求下，逆變器與市電間功率變化。

實驗結果

(1) 空載

如圖 5.11 所示，觀測 V_{ORMS} 值為 0.499V(實際值為 40.24V)， I_{ORMS} 值為 1.77A(實際值為 2.21A)。如圖 5.12 所示，PSW 所提供輸出功率為 97W，在空載的情況下，逆變器所產生的功率將饋送回市電，故所有能量透過 APS-300 所吸收，因此可看見 APS 上所顯示功率為 -87.6W(負號表示吸收功率)。

圖 5.11 逆變器 V_o , I_o 實測波形

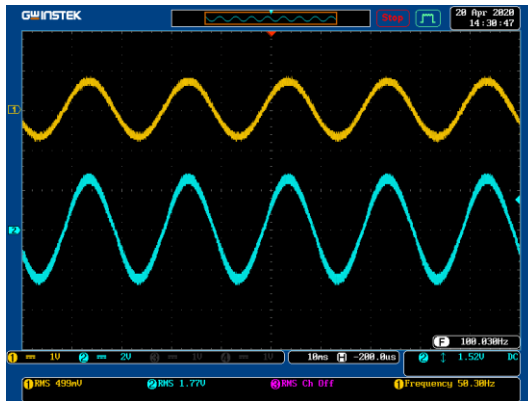


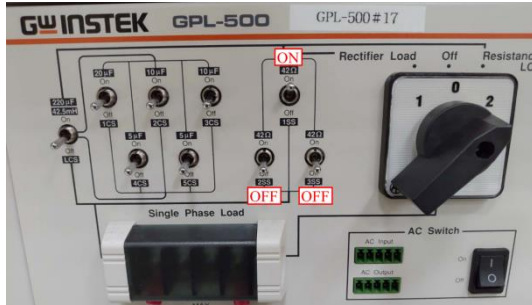
圖 5.12 空載時 PSW 與 APS-300 的功率狀態



(2) 輕載(42Ω)

如圖 5.13 所示，1SS 設定為 ON，2SS,3SS 設定為 OFF，此時負載為輕載。

圖 5.13
GPL-500 輕載設定



如圖 5.14 所示，於輕載情況下，PSW 輸出功率為 97W，此時負載消耗部分功率，而多餘的功率饋送至市電，因此可看見 APS 功率為 -50.4W。

圖 5.14
輕載時 PSW 與 APS-300 的功率狀態



(3) 中載(21Ω)

如圖 5.15 所示，1SS,2SS 設定為 ON，3SS 設定為 OFF，此時負載為中載。

圖 5.15
GPL-500 中載設定



如圖 5.16 所示，於中載情況下，PSW 輸出功率為 97W，此時負載所消耗功率提升，故饋送至市電的功率減少，因此可看見 APS 功率為 -14.0W。

圖 5.16
中載時 PSW 與
APS-300 的功率
狀態



(4) 滿載(14Ω)

如圖 5.17 所示，1SS, 2SS, 3SS 設定皆為 ON，此時負載為滿載。

圖 5.17
GPL-500 滿載設定



如圖 5.18 所示，於滿載情況下，PSW 輸出功率為 97W，此時逆變器所提供功率不足以支撐負載消耗，這時市電將協助提供不足能量以確保功率平衡，故 APS-300 提供功率 22.3W。

圖 5.18
滿載下 PSW 與 APS-300 的功率狀態



實驗完成後，請先關閉 PEK-510，再將 PSW 與 APS-300 及 GPL-500 關閉。

將空載、輕載、中載及滿載之 PSW 與 APS-300 的功率依序填入表 5.1

表 5.1 不同負載下 PSW 與 APS-300 的功率狀態

負載功率	PSW 輸出功率	APS 輸出功率	(考量元件損耗)
空載(0W)	97W	-87.6W	$97 + (-87.6) \div 0$
輕載(38W)	97W	-50.40W	$97 + (-50.4) \div 38$
中載(76W)	97W	-14.0W	$97 + (-14.0) \div 76$
滿載(112W)	97W	22.3W	$97 + 22.3 \div 112$

結論

本實驗為並網逆變器系統，當逆變器所提供之功率大於負載所需功率時，會將其餘之功率饋回市電，反之當逆變器之功率不足以支撐負載所消耗時，此時市電將輸出功率補足負載功率需求，因而維持系統之功率平衡。

實驗 6 單相光伏並網逆變器

電路模擬

系統規格如下：

DC Input Voltage $V_b = 50V$

DC bus Voltage $V_d = 80V$

AC Source Voltage $V = 40V_{rms}$

$F_s = 40kHz$, $V_{tri} = 5V_{pp}$ (Boost PWM)

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

$L_b = 661.5\mu H$, $C_{BUS} = 300\mu F$

$L = 661.5\mu H$, $C = 10\mu F$

$K_s = 0.3$ (AC current sensing factor)

$K_s = 0.6$ (DC current sensing factor)

$K_v = 1/80$ (AC voltage 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 6.1:

PSIM 檔名為 : PEK-510_Sim6_1P_PV_GC_Inv(50Hz)_V11.1.5_V1.1

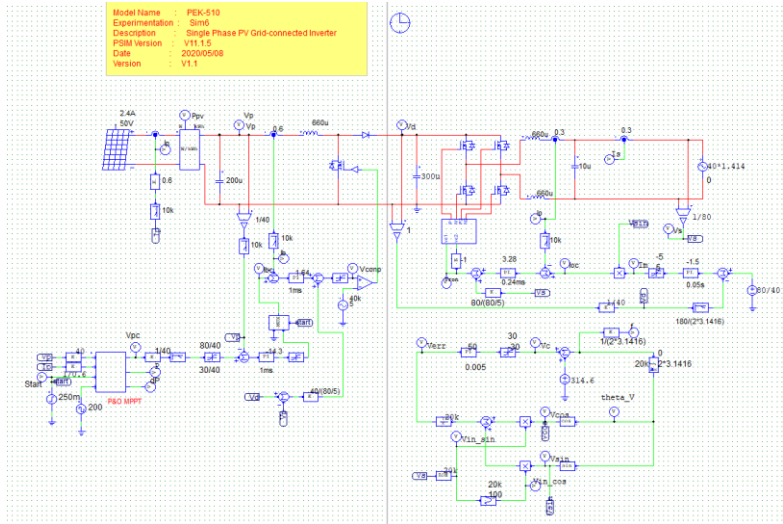


圖 6.1 實驗六 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 6.2:

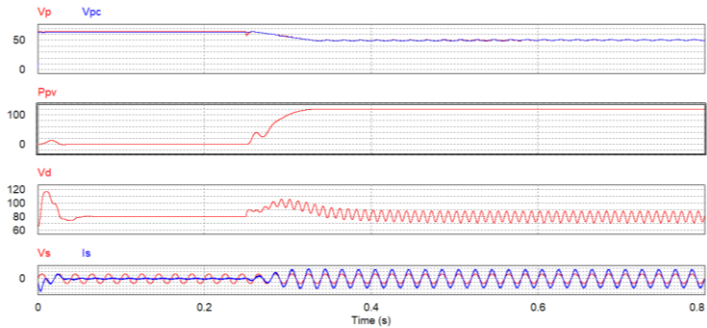


圖 6.2 實驗六類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 6.3

PSIM 檔名為：PEK-510_Lab6_1P_PV_GC_Inv(50Hz)_V11.1.5_V1.1

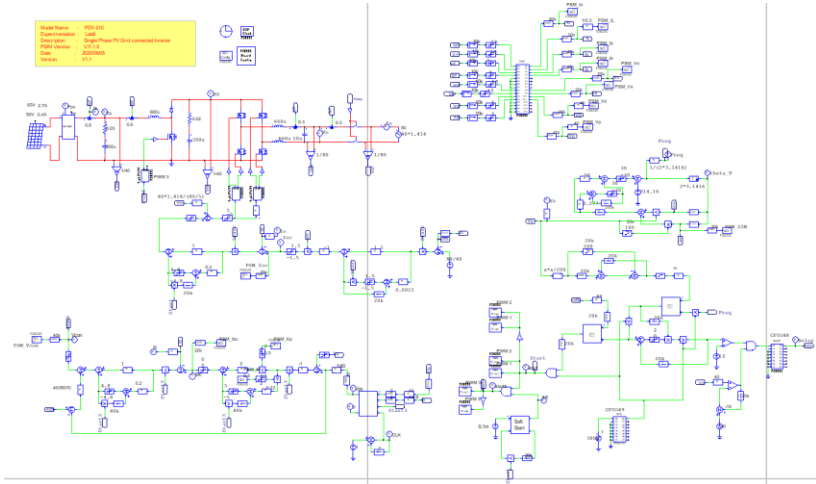


圖 6.3 實驗六 PSIM 數位電路圖

因實際產生 Code 的電路，其 MPPT 調整的頻率為 2Hz，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-510_Sim6D_1P_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 6.4:

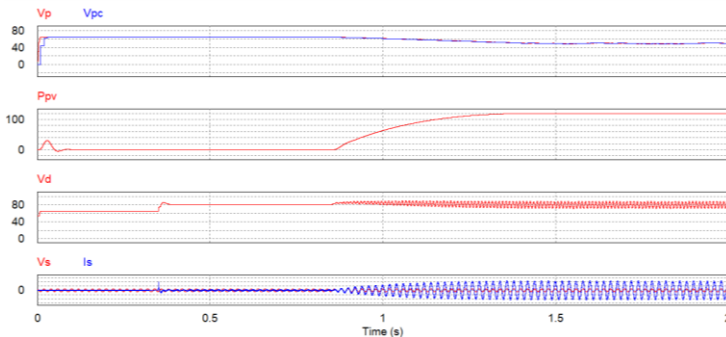


圖 6.4 實驗六數位電路模擬波形

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-510 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW160-7.2, APS-300, GPL-500)
- PC 一台

實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 6.5，請依此圖完成接線。

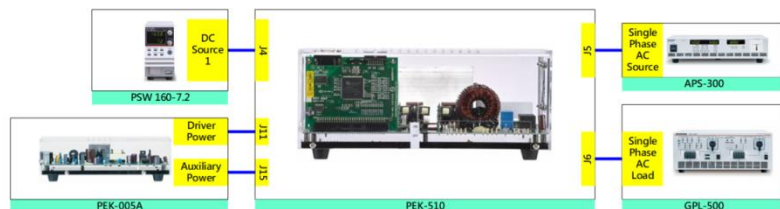
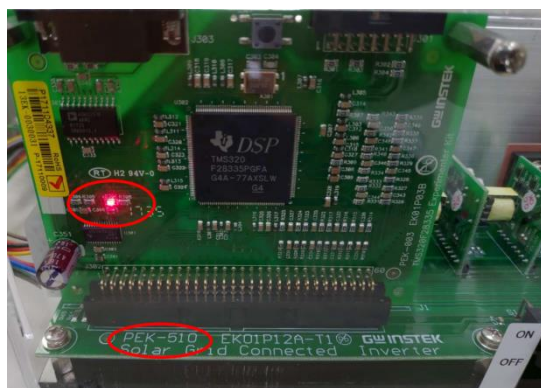


圖 6.5 實驗六接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-510 的開關為 OFF，之後開啟 PEK-005A 的開關，如圖 6.6 所示，開啟後 DSP 的紅色顯示燈亮起，此時代表 DSP 電源正常。

圖 6.6
DSP 正常工作畫面



3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。
4. 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 6.7 所示，第一條曲線之開路電壓為 65V、短路電流為 2.7A、最大功率點電壓為 50V 及最大功率點電流為 2.4A。如圖 6.8 所示，第二條曲線數值設定在第一條曲線的 90%，因此第二條曲線之開路電壓為 58.5V、短路電流為 2.43A、最大功率點電壓為 45V 及最大功率點電流為 2.16A。

圖 6.7
第一條曲線設定
值

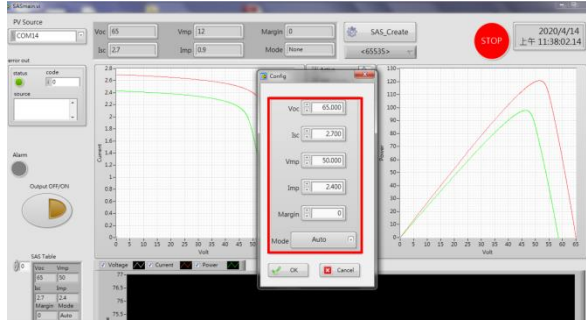
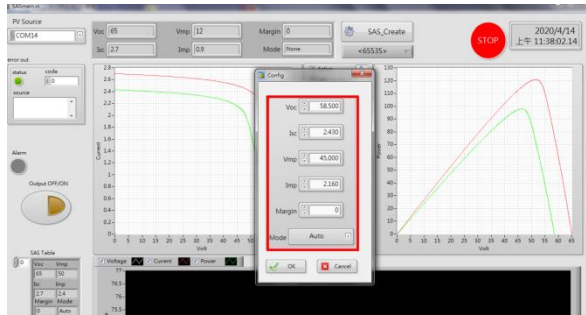
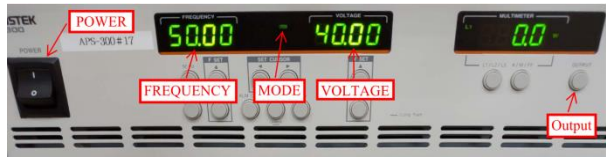


圖 6.8
第二條曲線設定
值



5. 如圖 6.9 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 1P2W→電壓為 40V。

圖 6.9
APS-300 設定圖



6. 如圖 6.10 所示，GPL-500 操作步驟為:開啟 GPL-500 電源→Single Phase Load 旋鈕調至 2(Resistance with LC Load) →1SS, 2SS, 3SS 設定皆為 ON、LCS 為 OFF，此設定為滿載模式。

圖 6.10
GPL-500 滿載設定



7. 設定完畢後，透過 SAS 程式開啟 PSW 輸出，並開啟 APS-300 輸出後，再將 PEK-510 開關開啟。

實驗目的

觀測 PV 曲線的輸出功率是否藉由 MPPT 控制器而達到最大功率輸出。

實驗結果

如圖 6.11, 6.12 所示，由 SAS 程式中，可看到第一條曲線的輸出功率，會由初始啟動狀態逐漸上升，且最終上升至最大功率點。

圖 6.11

SAS 處於第一條曲線之初始啟動狀態

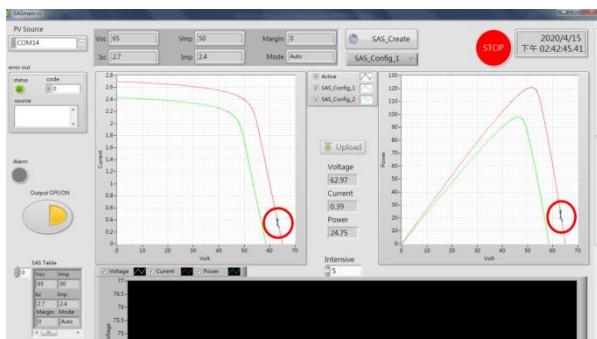
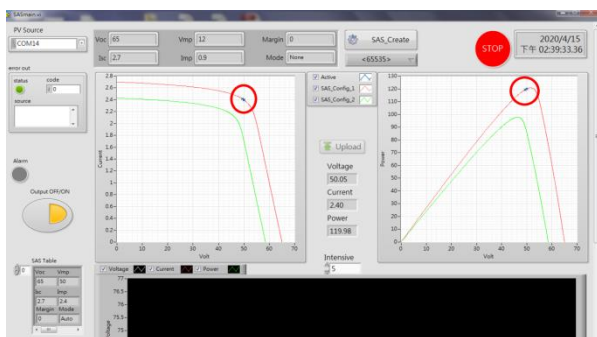


圖 6.12

SAS 處於第一條曲線之最大功率點



如圖 6.13, 6.14 所示，由電源供應器也可看到輸出功率由 SAS 初始啟動狀態下逐漸上升，且最終上升至最大功率點。

圖 6.13
電源供應器處於第一條曲線之初始啟動狀態



圖 6.14
電源供應器處於第一條曲線之最大功率點



如圖 6.15, 6.16 所示，因 I-V, P-V 曲線受環境及外界因素影響，進而改變為第二條曲線，其輸出功率即使瞬間下降後，仍逐漸上升，且最終上升至最大功率點。

圖 6.15
SAS 切換至第二條曲線時的狀態

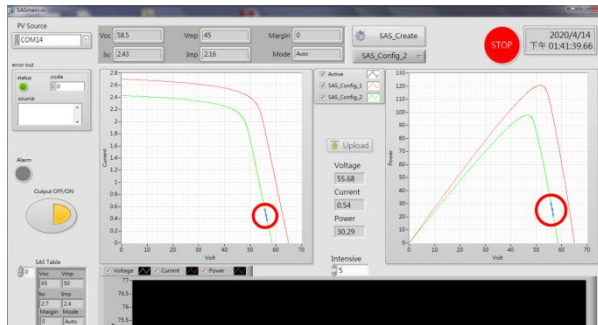
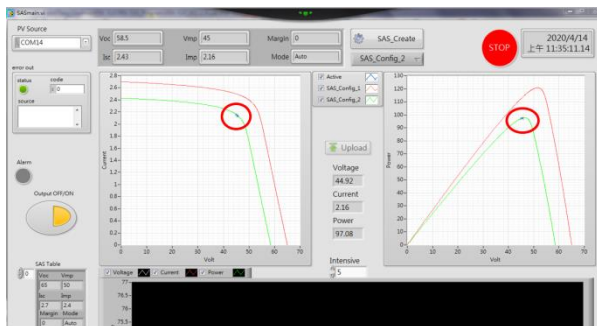


圖 6.16
SAS 處於第二條
曲線之最大功率
點



如圖 6.17, 6.18 所示，由電源供應器中發現，即使切換至第二條曲線時功率瞬間下降，但最終仍上升至最大功率點。

圖 6.17
電源供應器處於
第二條曲線之切
換瞬間狀態



圖 6.18
電源供應器處於
第二條曲線之最大
功率點



結論

此實驗電路前級為升壓式轉換器，後級為單相逆變器，因太陽能板接收到強光及環境等外界因素影響，改變 PV 曲線，為確保充分利用，升壓式電路藉由最大功率點追蹤(MPPT)的功能，使太陽能面板維持於最大功率輸出，即使 PV 曲線因環境有所影響，仍可達成當下之最高利用率。單相逆變器則與市電並聯，將能量傳遞至負載及市電。

實驗 7 單相光伏並網逆變器 PQ 控制

電路模擬

系統規格如下：

DC Input Voltage $V_b = 50V$

DC bus Voltage $V_d = 80V$

AC Source Voltage $V = 40V_{rms}$

$F_s = 40kHz$, $V_{tri} = 5V_{pp}$ (Boost PWM)

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

$L_b = 661.5\mu H$, $C_{BUS} = 300\mu F$

$L = 661.5\mu H$, $C = 10\mu F$

$K_s = 0.3$ (AC current sensing factor)

$K_s = 0.6$ (DC current sensing factor)

$K_v = 1/80$ (AC voltage 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 7.1:

PSIM 檔名為:

PEK-510_Sim7_1P_PV_GC_Inv_PQ(50Hz)_V11.1.5_V1.1

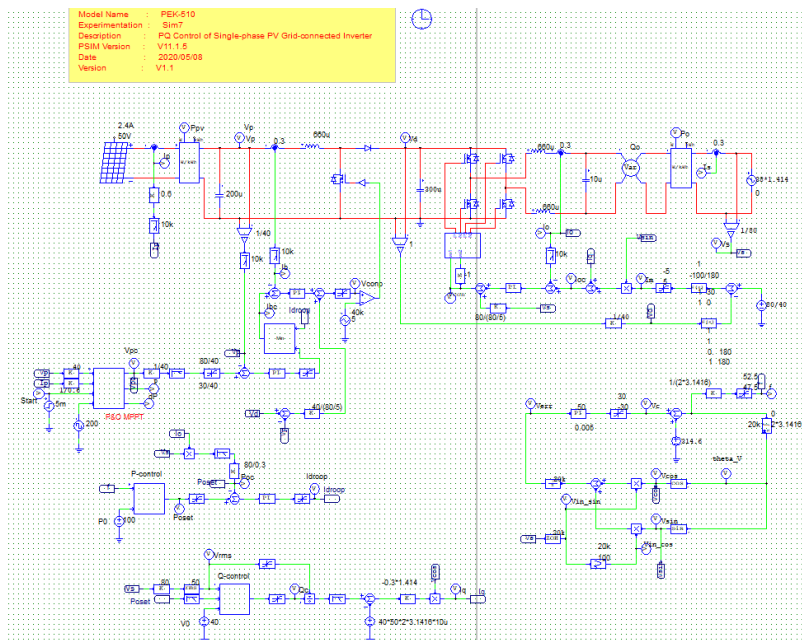


圖 7.1 實驗七 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 7.2:

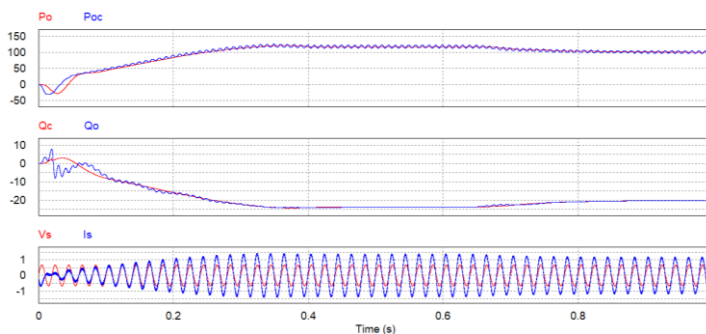


圖 7.2 實驗七類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 7.3

PSIM 檔名為：

PEK-510_Lab7_1P_PV_GC_Inv_PQ(50Hz)_V11.1.5_V1.1

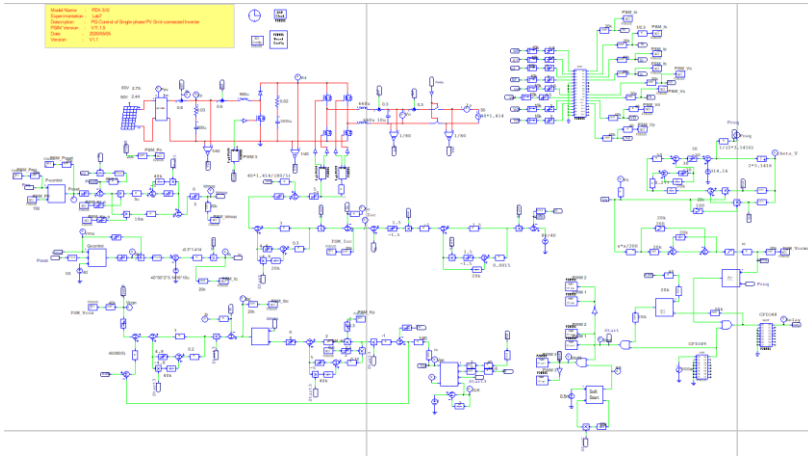


圖 7.3 實驗七 PSIM 數位電路圖

因實際產生 Code 的電路，其 MPPT 調整的頻率為 2Hz，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 的數位電路並將設定值 PSM_P0 改為 110，其檔名為 “PEK-510_Sim7D_1P_PV_GC_Inv_PQ(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 7.4、圖 7.5:

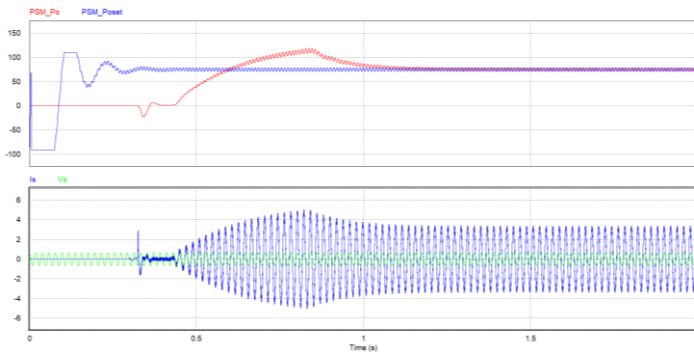


圖 7.4 實驗七數位電路模擬波形

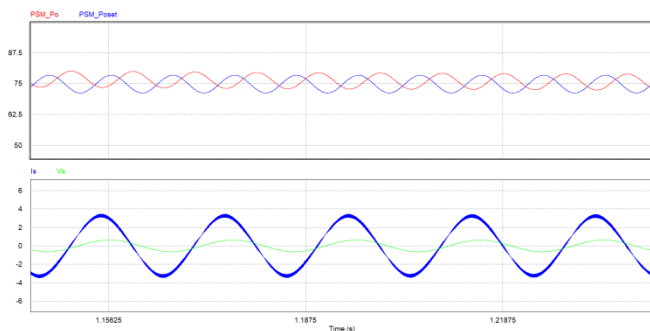


圖 7.5 實驗七數位電路模擬波形

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-510 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW160-7.2, APS-300, GPL-500)
- PC 一台

實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 7.6，請依此圖完成接線。

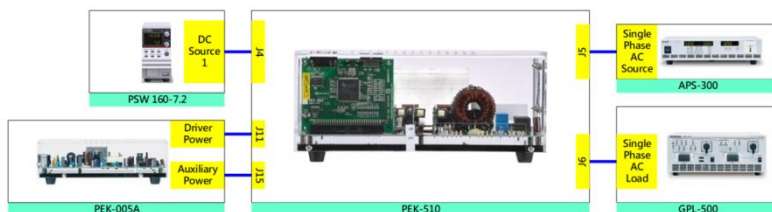
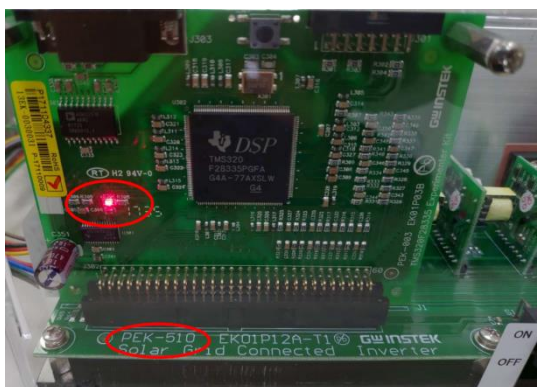


圖 7.6 實驗七接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-510 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 7.7，此時表示 DSP 電源正常。

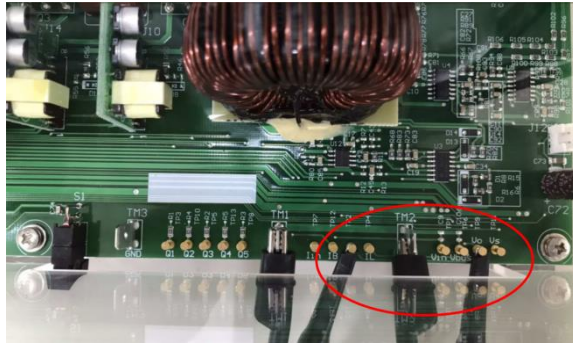
圖 7.7
DSP 正常工作畫面



3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。

4. 如圖 7.8 所示，將示波器探棒分別接至 V_o , I_o 。

圖 7.8
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 7.9 所示，第一條曲線之開路電壓為 65V、短路電流為 2.7A、最大功率點電壓為 50V 及最大功率點電流為 2.4A。如圖 7.10 示，第二條曲線數值設定在第一條曲線的 90%，因此第二條曲線之開路電壓為 58.5V、短路電流為 2.43A、最大功率點電壓為 45V 及最大功率點電流為 2.16A。

圖 7.9
第一條曲線設定值

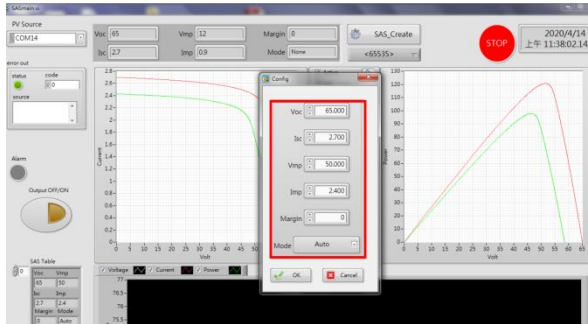
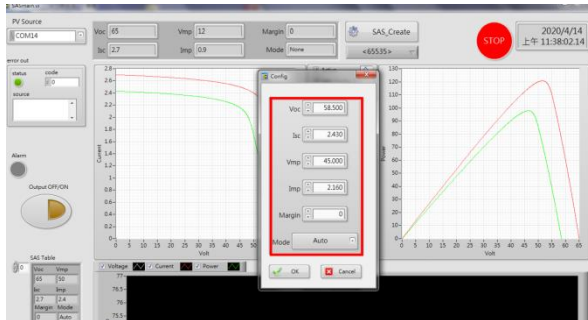
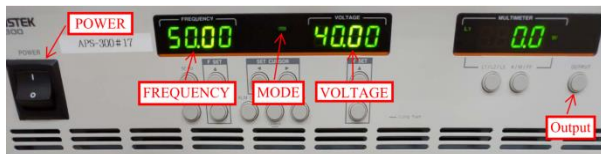


圖 7.10
第二條曲線設定值



6. 如圖 7.11 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 1P2W→電壓為 40V。

圖 7.11
APS-300 設定圖



7. 如圖 7.12 所示，GPL-500 操作步驟為:開啟 GPL-500 電源→Single Phase Load 旋鈕調至 2(Resistance with LC Load) →1TS, 2TS, 3TS 設定皆為 ON, LCS 為 OFF，此設定為滿載模式。

圖 7.12
GPL-500 滿載設定



8. 請依照附錄 C(RS232 連線)進行連線
9. 設定完畢後，透過 SAS 程式開啟 PSW 輸出，並開啟 APS-300 輸出後，再將 PEK-510 開關開啟。

實驗目的

此實驗為智慧逆變器(Smart Inverter)的應用，當市電發生電壓或頻率的變化時，逆變器將依當前的狀況藉由系統的 PQ 控制器調整功率(實功或虛功)輸出。

實驗結果

(1) 實功控制(P- ω)

如圖 7.13 所示，系統輸出功率限制值 PSM_Poset 為 150W(初始功率設定值 PSM_P0 亦為 150W)，當系統達到第一條曲線的最大功率點時，此時的逆變器輸出功率 PSM_PO 約略為 100W。在此條件下，若要採用下垂控制藉由調整 ω 進而改變 PSM_Poset 使 PSM_PO 輸出降低不易實現。因此將設定值 PSM_P0 調整為 110(使得 PSM_Poset 與 PSM_PO 相近)，如圖 7.14 所示，將在此條件下調整 ω 進行下垂控制。

圖 7.13
PSM_PO 設定值
為 150

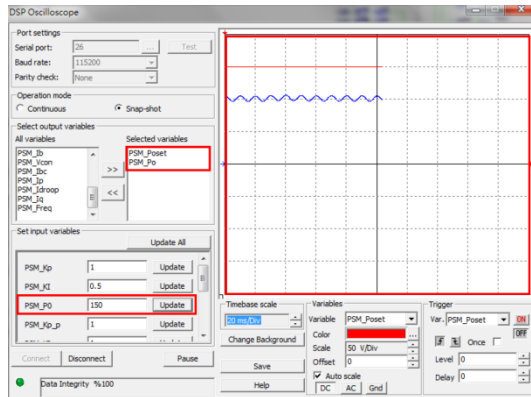
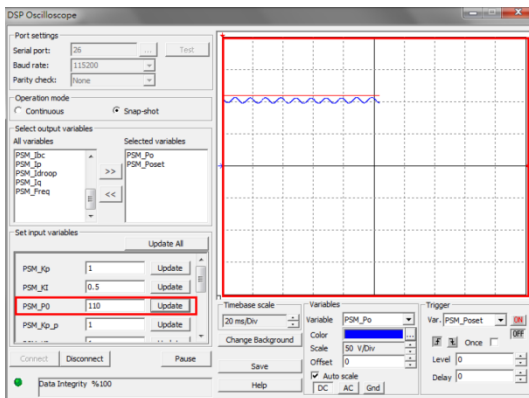


圖 7.14
PSM_P0 設定值
為 110



如圖 7.15, 7.16 所示, 由 SAS 程式中, 可看到第一條曲線會由初始啟動狀態逐漸上升, 且最終到達最大功率點。

圖 7.15
SAS 處於第一條
曲線之初始啟動
狀態

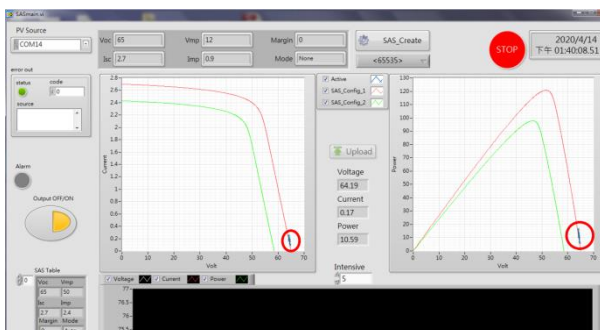
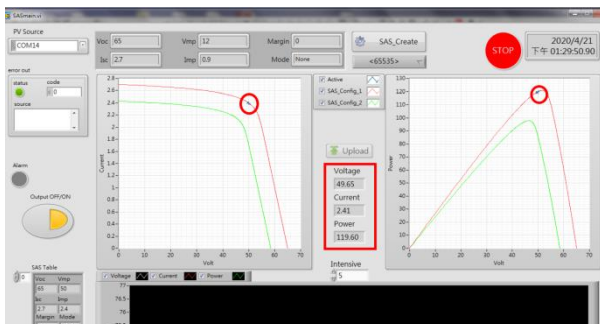


圖 7.16
SAS 處於第一條
曲線之最大功率
點



如圖 7.17 所示, 在此條件下將 APS-300 頻率調整為 51Hz。如圖 7.18, 此時 PSM_Poset 因 ω 上升而下降, 使得 PSM_Po 隨之降低。

如圖 7.19，當系統不再以最大功率輸出時，則 PV 曲線必須偏離最大功率點以維持功率平衡。

圖 7.17
APS-300 設定為
51Hz



圖 7.18
PSM_Poset 與
PSM_Po 因 ω 上
升而改變

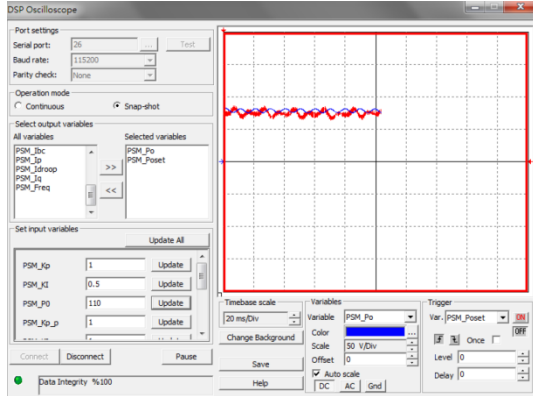
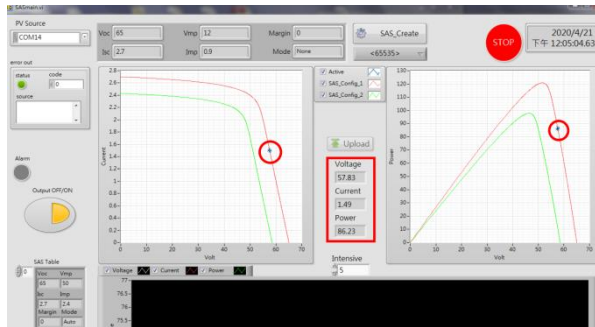


圖 7.19
SAS 偏離最大功
率點



如圖 7.20 與 7.21 所示，亦可發現當 APS-300 的頻率由 50Hz 調整為 51Hz 時，逆變器的輸出電流由 2.07A (實際值為 2.588A) 降為 1.53A (實際值為 1.913A)，代表輸出功率隨之下降

圖 7.20

APS-300 頻率為
50Hz 時逆變器輸出
電壓電流波形

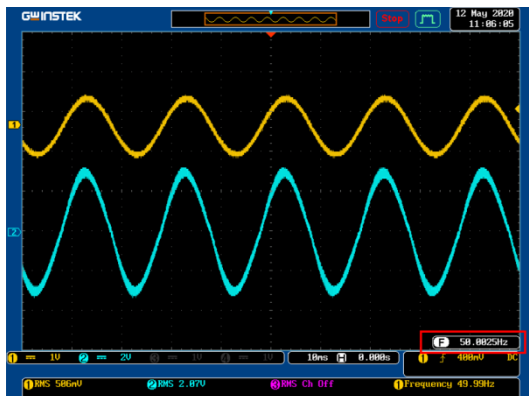
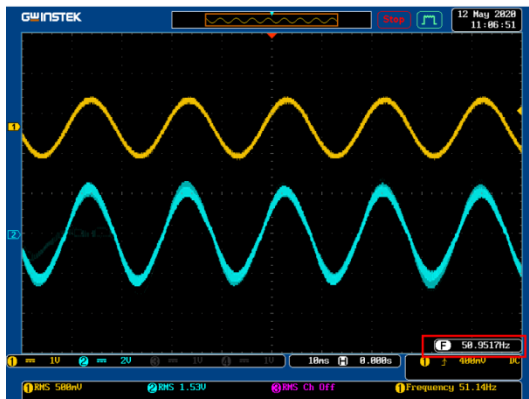


圖 7.21

APS-300 頻率為
51Hz 時逆變器輸出
電壓電流波形



如圖 7.22 所示，於 ASP-300 頻率為 51Hz 時，將 PV 曲線由第一條
切換至第二條，其輸出功率瞬間下降。如圖 7.23 所示，即使輸出功
率瞬間下降，但其仍逐漸上升且最終上升至與第一條曲線相近的功率
點。

圖 7.22
SAS 處於切換至
第二條的瞬間

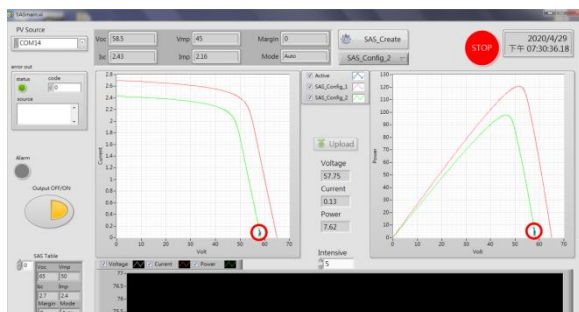
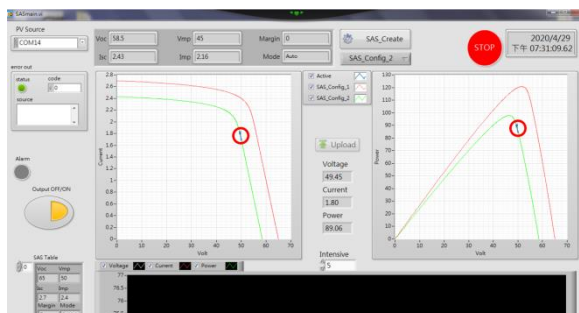


圖 7.23
SAS 處於第二條
曲線的功率輸出
(非最大功率點)



(2) 虛功控制(Q-V)

如圖 7.24 所示，APS-300 輸出電壓為 40V，此時逆變器無虛功輸出。
如圖 7.25 所示，由 DSP 示波器可看到 PSM_Vs 與 PSM_Is 無相位差，
如圖 7.26 所示，亦可在實際電路中觀測。

圖 7.24
APS-300 電壓為
40V 之設定



圖 7.25
市電電壓 40V 時
DSP 示波器電壓
與電流波形

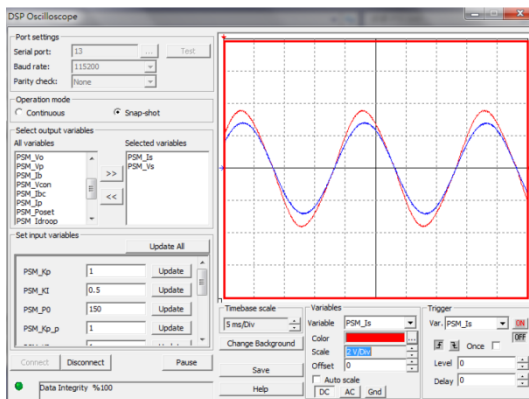
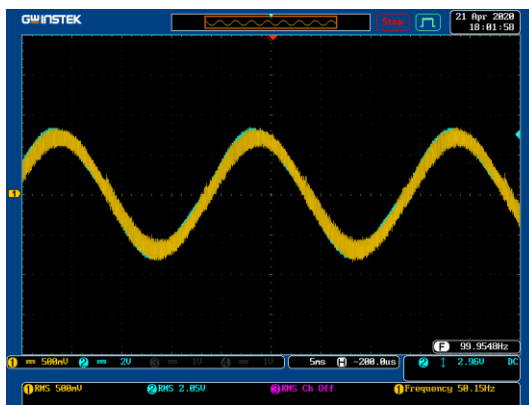


圖 7.26
市電電壓 40V 時
示波器電壓與電
流波形



如圖 7.27 所示，將 APS-300 輸出電壓調整為 36V，因此逆變器有虛功產生。如圖 7.28 所示，可看到 PSM_Vs 與 PSM_Is 間有了相位差且 PSM_Is 領先 PSM_Vs，如圖 7.29 所示，亦可在實際電路中觀測。

圖 7.27
APS-300 電壓為
36V 之設定



圖 7.28
市電電壓 36V 時
DSP 示波器電壓
與電流波形

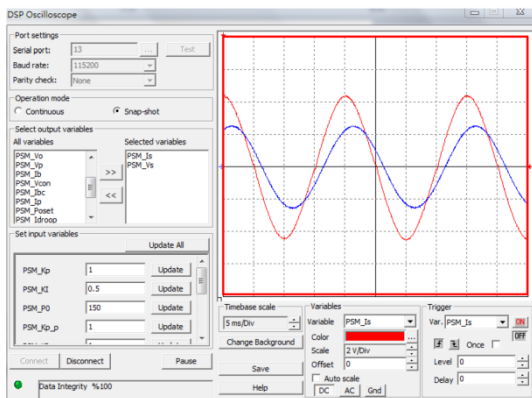
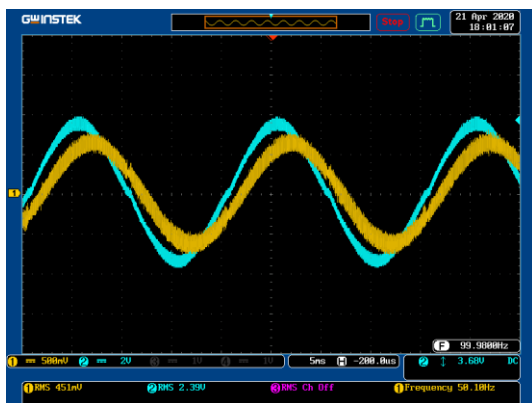


圖 7.29
市電電壓 36V 時
示波器電壓與電
流波形



如圖 7.30 所示，將 APS-300 輸出電壓調整為 44V，因此逆變器有虛功產生。如圖 7.31 所示，可看到 PSM_Vs 與 PSM_Is 間有了相位差且 PSM_Is 落後 PSM_Vs。如圖 7.32 所示，亦可在實際電路中觀測。

圖 7.30
APS-300 電壓為
44V 之設定



圖 7.31
市電電壓 44V 時
DSP 示波器電壓
與電流波形

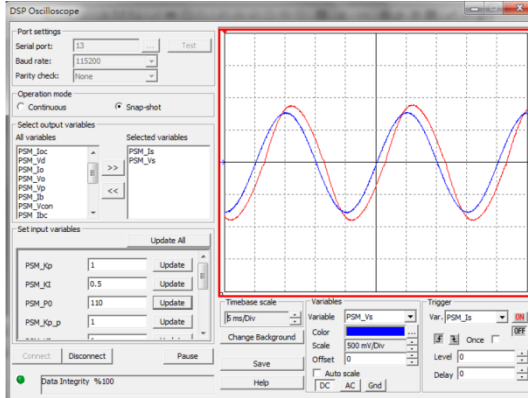
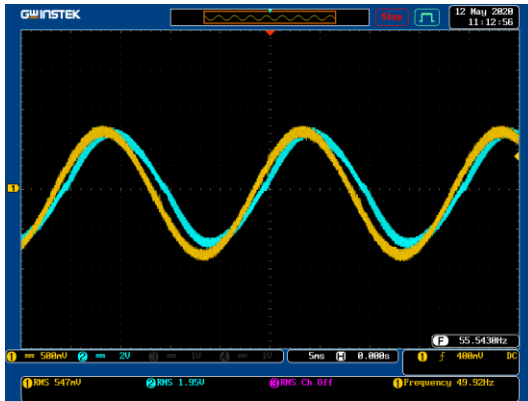


圖 7.32
市電電壓 44V 時
示波器電壓與電
流波形



結論

由實驗結果得知，當市電頻率上升時，逆變器會依頻率變化的程度降低其輸出實功的大小。而當市電電壓變化時，逆變器會依電壓變化的程度調整其輸出虛功的大小。

實驗 8 單相逆變器之孤島 保護

電路模擬

系統規格如下：

DC bus Voltage $V_d = 80V$

AC Source Voltage $V = 40V_{rms}$

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

$L = 661.5\mu H$, $C = 10\mu F$

$K_s = 0.3$ (AC current sensing factor)

$K_v = 1/80$ (AC voltage 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 8.1:

PSIM 檔名為:

PEK-510_Sim8_1P_Islanding_Prot_Inv(50Hz)_V11.1.5_V1.1

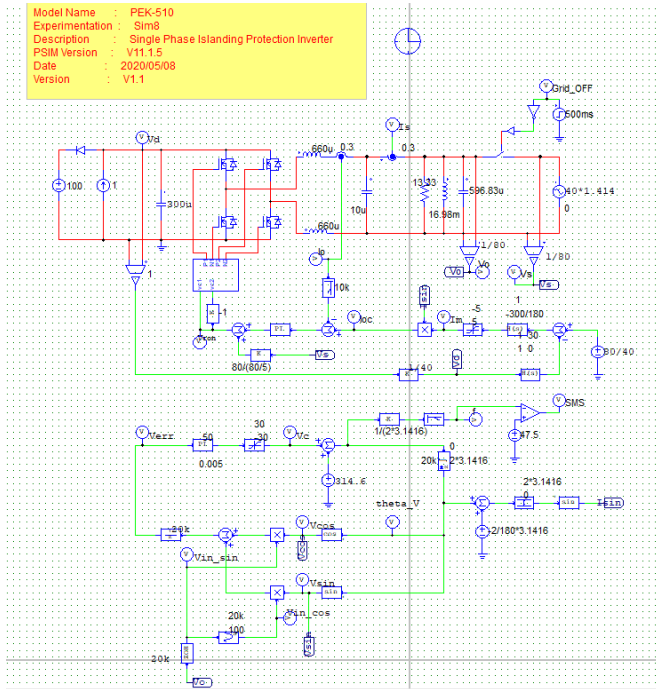


圖 8.1 實驗八 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 8.2:

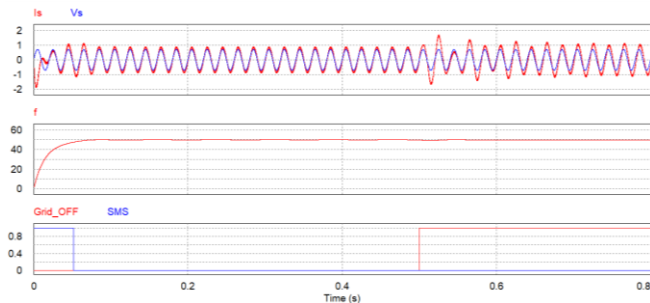


圖 8.2 實驗八 類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 8.3

PSIM 檔名為：

PEK-510_Lab8_1P_Islanding_Prot_Inv(50Hz)_V11.1.5_V1.1

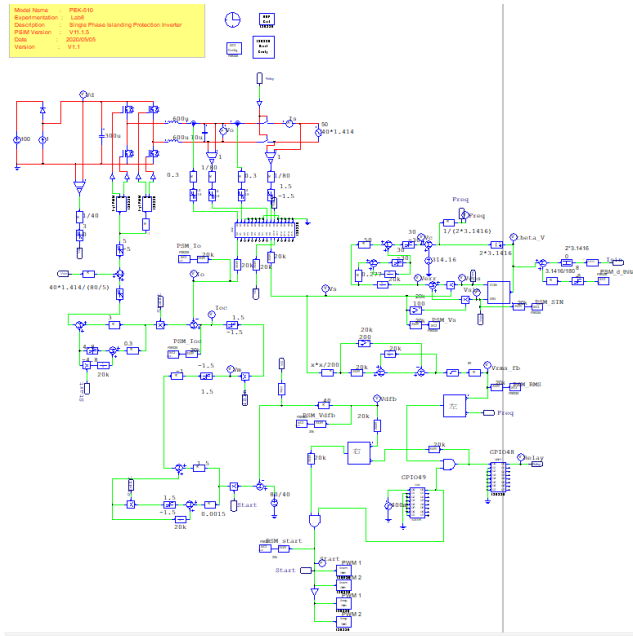


圖 8.3 實驗八 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 8.4:

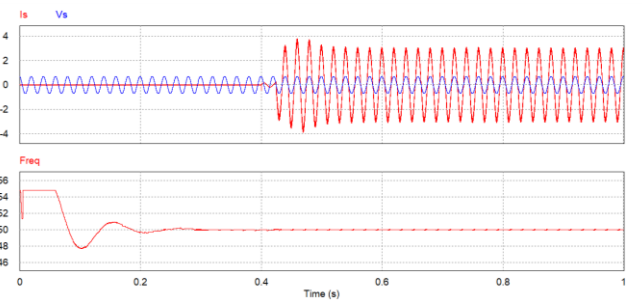


圖 8.4 實驗八 數位電路模擬波形

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-510 一台
- PEK-005A 一台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW160-7.2, APS-300, GPL-500)
- PC 一台

實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 8.5，請依此圖完成接線。

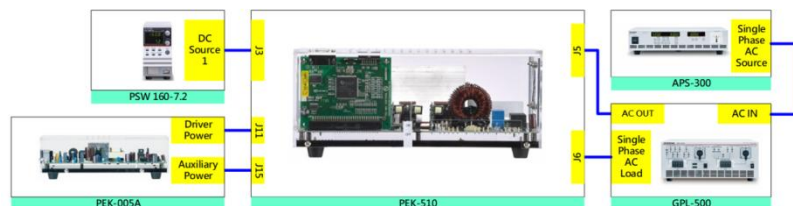
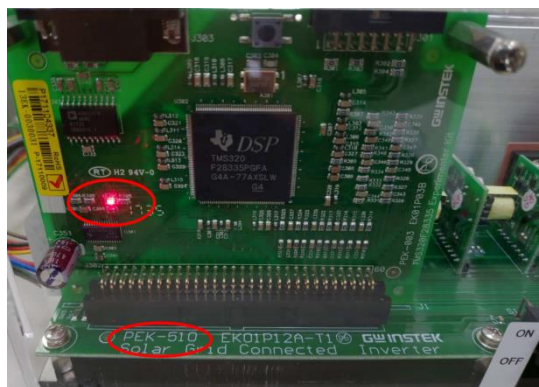


圖 8.5 實驗八接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-510 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 8.6，此時表示 DSP 電源正常。

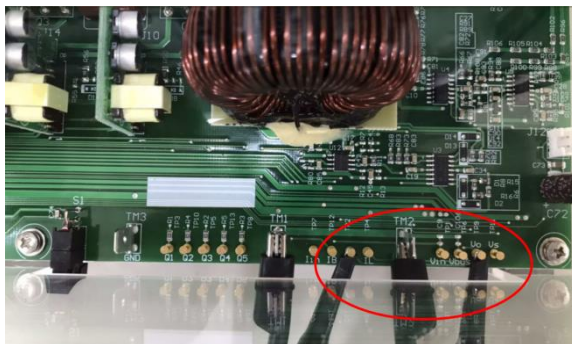
圖 8.6
DSP 正常工作畫面



3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄，再請依照附錄 C(RS232 連線)進行連線。

4. 如圖 8.7 所示，將示波器探棒分別接至 V_o , I_o 。

圖 8.7
示波器探棒接線圖



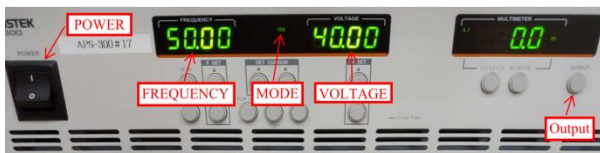
5. 如圖 8.8 所示，PSW160-7.2 設定為電壓 100V，電流 1.5A。

圖 8.8
PSW 設定值



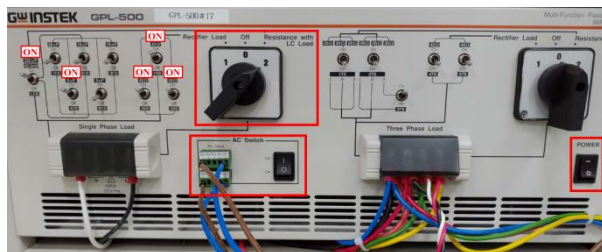
6. 如圖 8.9 所示，APS-300 操作步驟為:開啟 APS-300 電源→APS-300 設定頻率為 50Hz →操作模式為 1P2W→電壓為 40V。

圖 8.9
APS-300 設定圖



7. 如圖 8.10 示，GPL-500 操作步驟為:開啟 GPL500 電源→Single Phase Load 旋鈕調至 2(Resistance with LC Load) →1SS、2SS、3SS 設定皆為 ON→LCS 設定為 ON→4CS(電容 5uF)設定為 ON(電容設定依照實驗需求)，此設定為 RLC 負載模式→開啟 AC Switch。如圖 8.5 及 8.10 所示，APS-300 接至 AC Input，再藉由單相測試線由 AC Output 接至 PEK-510。

圖 8.10
GPL-500 單相
RLC 負載設定



- 設定完畢後，將 PSW 與 APS-300 電源輸出後，再將 PEK-510 開關開啟。

實驗目的

本實驗模擬逆變器與電網並聯運行時，電網發生故障而導致電力中斷，逆變器因處於孤島狀態而未跳脫，藉由加入主動頻率偏移偵測(AFD)的控制方式使逆變器能即時跳脫。

實驗結果

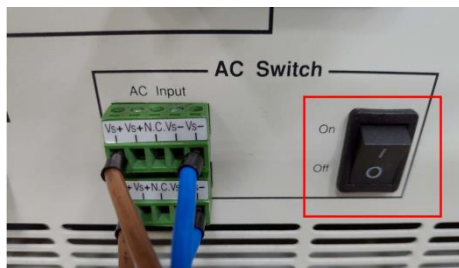
(1) 未建立孤島現象

如圖 8.11 所示，當 PEK-510 開關開啟後，可看到此時 PSW 提供功率為 120W，而 APS-300 亦提供單相 8.4W 的功率。如圖 8.12 所示，此時將 AC Switch 斷開(也就是將市電輸入中斷)，逆變器因察覺市電已斷開而跳脫。

圖 8.11
PSW, APS-300 之
功率(PSW 為
1.5A)



圖 8.12
APS-300 斷開



(2) 建立孤島現象

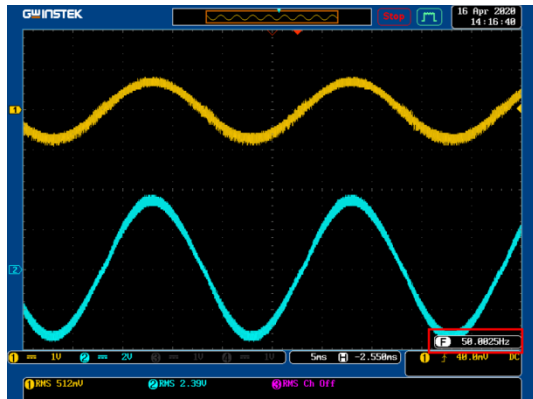
為建立孤島現象，需藉由調整 PSW 輸出功率，使 APS-300 輸出功率降為零。如圖 8.13 所示，當 PSW 輸出電流調整為 1.6A, PSW 輸出功率為 130W 時、此時 APS-300 輸出功率為零。

在此條件下，將 GPL-500 的 AC Switch 斷開，PEK-510 仍持續工作，即表示逆變器無法察覺市電已斷開而持續動作，此時即為孤島現象。如圖 8.14 所示，由 V_o 可得知系統所產生之諧振頻率為 50Hz。

圖 8.13
PSW, APS-300 之
功率(PSW 為
1.6A)



圖 8.14
孤島狀態下的輸
出電壓頻率



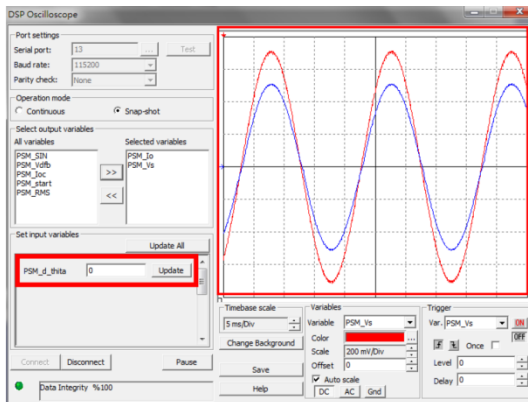
若 APS-300 輸出功率為零，且 AC Switch 斷開後，PEK-510 依舊跳脫，則表示此時系統所產生之諧振頻率不在設定範圍內(本實驗設定頻率為 48~52Hz)，須先關閉 PEK-510，之後關閉 PSW 及 APS-300。此時需將 GPL-500 之並聯電容做微調(1CS ~ 5CS)。當完成並聯電容微調後，依序重複前面步驟，直到 PEK-510 不跳脫。如圖 8.15 所示，本實驗所採用之並聯電容為 4CS(5uF)。

圖 8.15
並聯電容設定



如圖 8.16 所示，產生孤島現象後，藉由 PSIM 的 DSP 示波器透過調整命令值 PSM_d_thita(初始值為零)，可改變偏移角度。

圖 8.16
偏移角度(theta)



A. 偏移角度為 1

如圖 8.17 所示，輸出電壓頻率為 50.48Hz。

B. 偏移角度為 4

如圖 8.18 所示，輸出電壓頻率為 51.42Hz。

C. 偏移角度為 5

輸出電壓頻率>52Hz，此時 PEK-510 跳脫。

D. 偏移角度為-1

如圖 8.19 所示，輸出電壓頻率為 49.91Hz。

E. 偏移角度為-6

如圖 8.20 所示，輸出電壓頻率為 48.33Hz。

F. 偏移角度為-7

因輸出電壓頻率<48Hz，此時 PEK-510 跳脫。

圖 8.17
偏移角度為 1

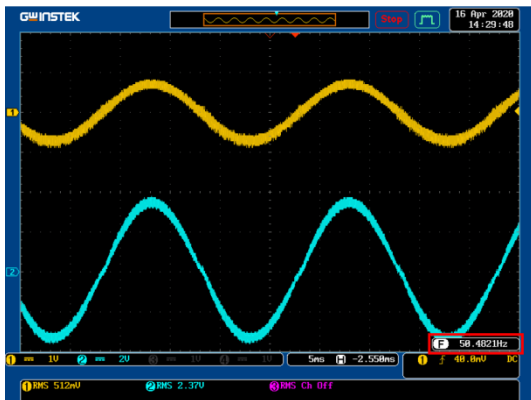


圖 8.18
偏移角度為 4

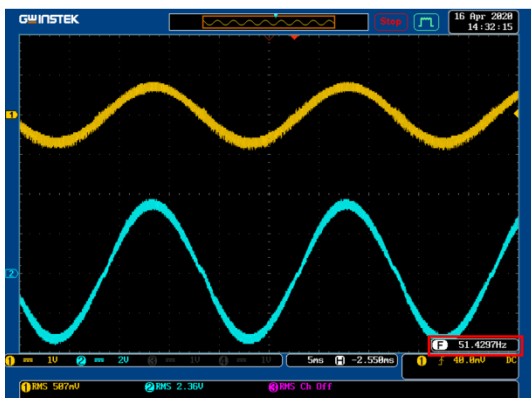


圖 8.19
偏移角度為-1

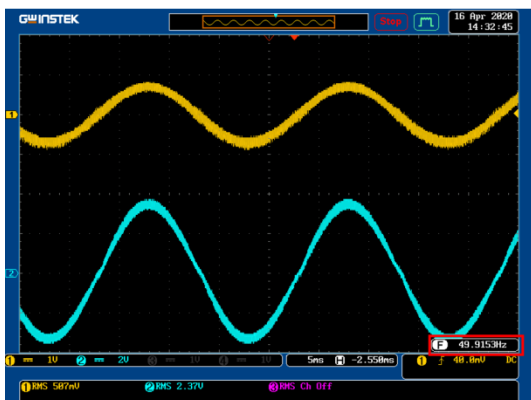
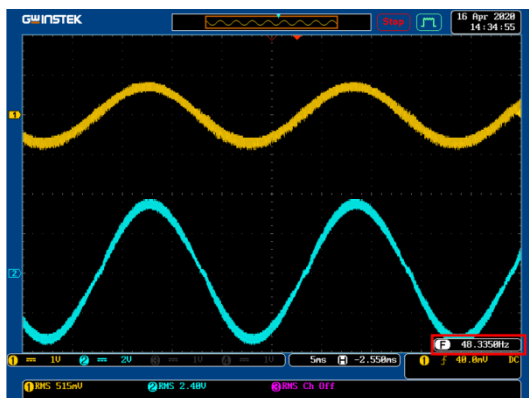


圖 8.20
偏移角度為-6



將不同偏移角度以及相對電壓頻率填入表 8.1

表 8.1 偏移角度與輸出電壓頻率

偏移角度	輸出電壓頻率(Hz)
0	50.00Hz
1	50.48Hz
2	50.80Hz
3	51.11Hz
4	51.42Hz
-1	49.91Hz
-2	49.56Hz
-3	49.23Hz
-4	48.91Hz
-5	48.66Hz
-6	48.33Hz

由表 8.1 發現，隨著偏移角度為正值增加，輸出電壓頻率也逐漸增加，直到 PEK-510 跳脫(輸出電壓頻率大於 52Hz)。隨著偏移角度為負值增加，輸出電壓頻率也逐漸下降，直到 PEK-510 跳脫(輸出電壓頻率小於 48Hz)。

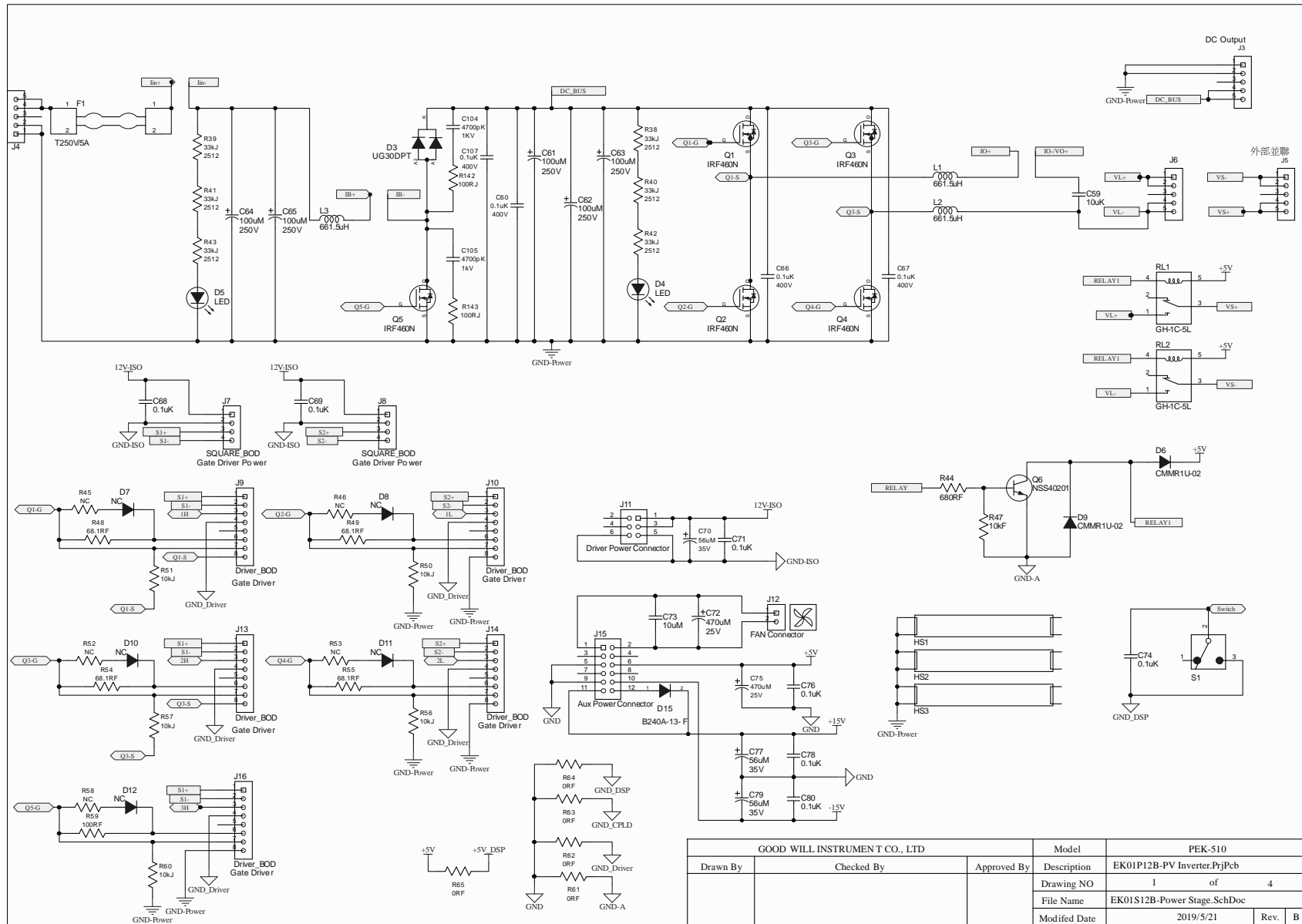
結論

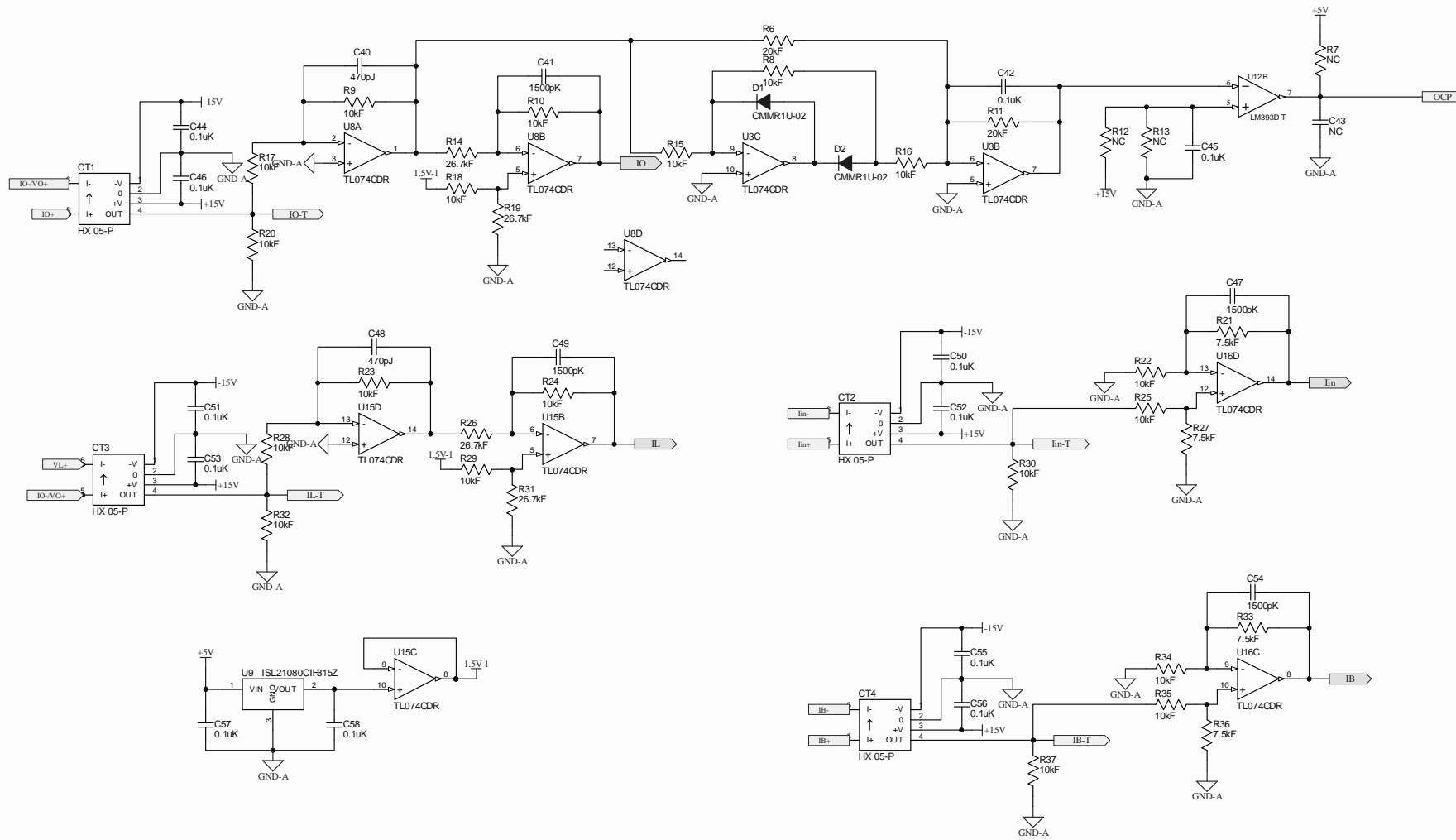
由實驗結果可看到，主動頻率偏移偵測可在系統處於孤島現象時利用調整偏移角度，使頻率超出系統所設定之範圍，達到孤島保護的功能。

附錄 A PEK-510 電路圖

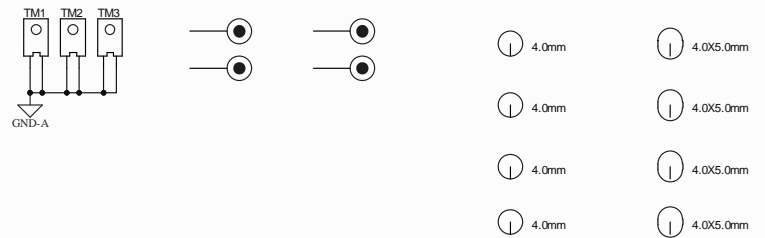
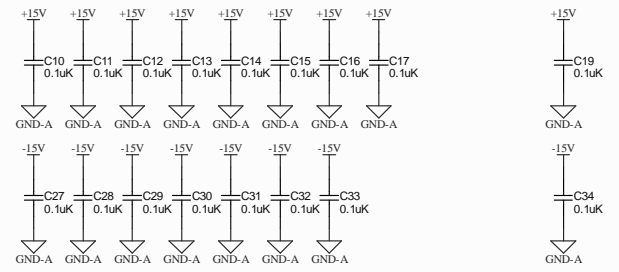
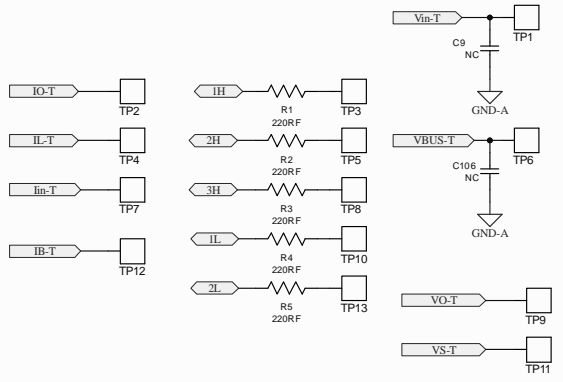
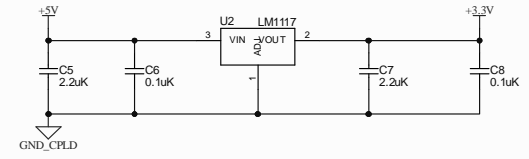
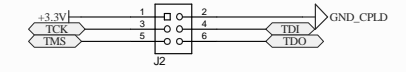
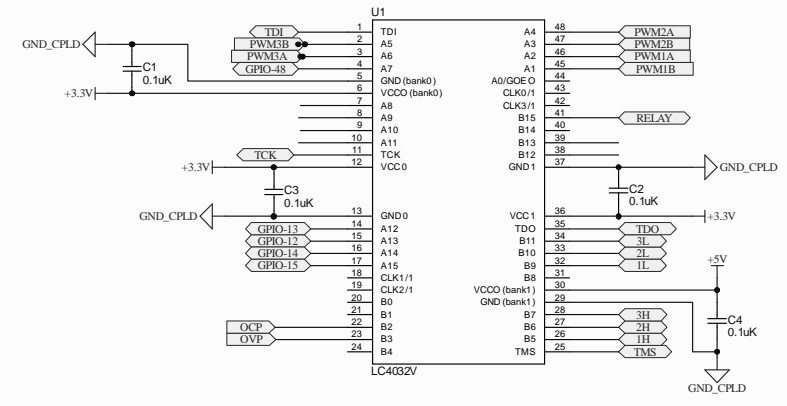
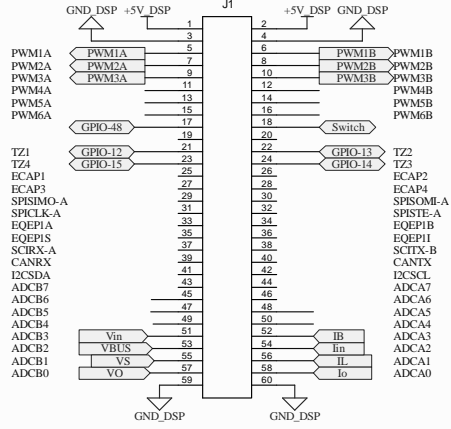
Single Phase PV Inverter.....	100
F28335 Delfino control CARD	104
Gate Driver	105
Gate Driver Power.....	106

Single Phase PV Inverter

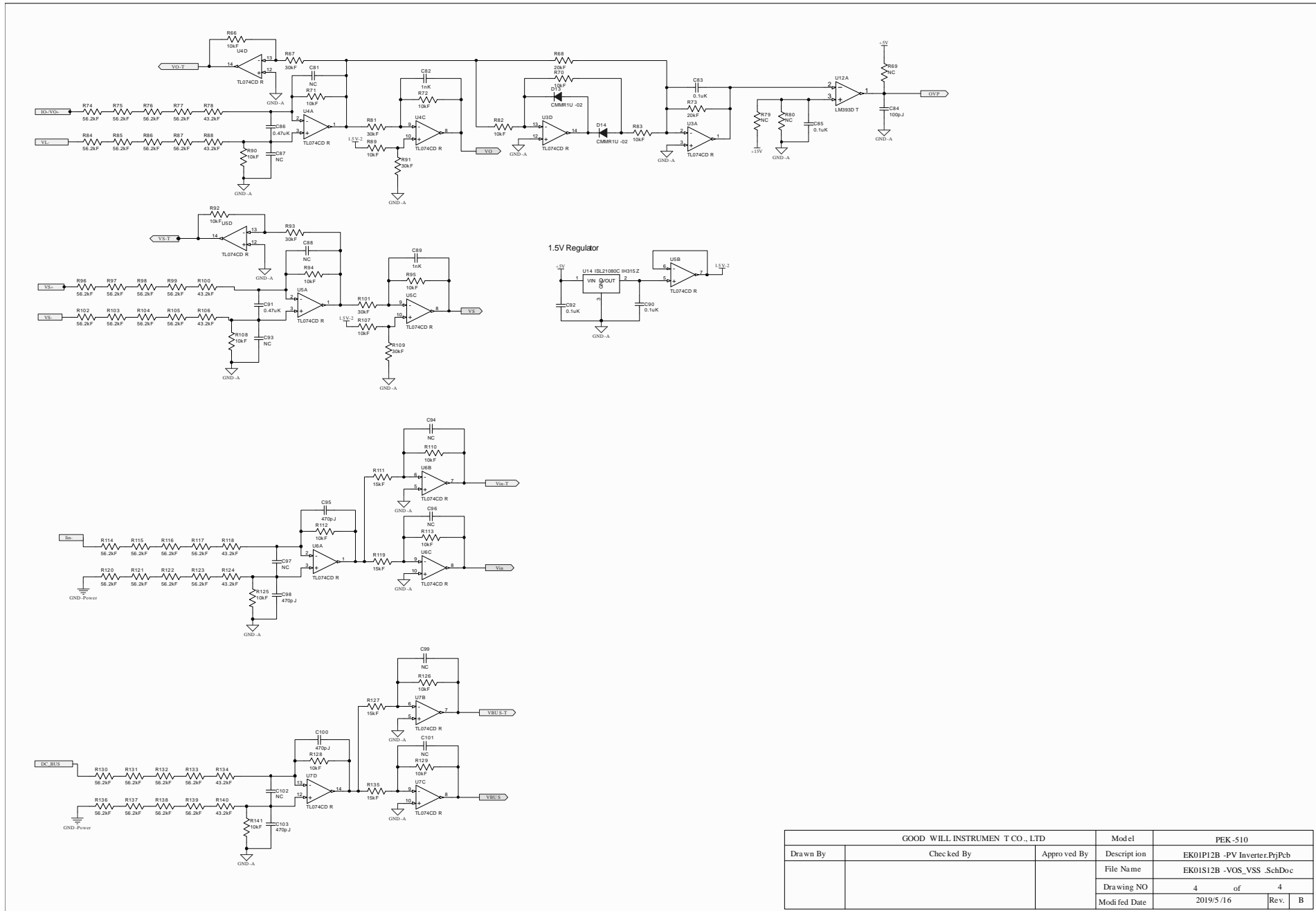




GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-510	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P12B-PV Inverter.PrjPcb	
			Drawing NO	2	of 4
			File Name	EK01S12B-IOS.SchDoc	
			Modified Date	2019/5/16	Rev. B

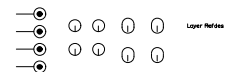
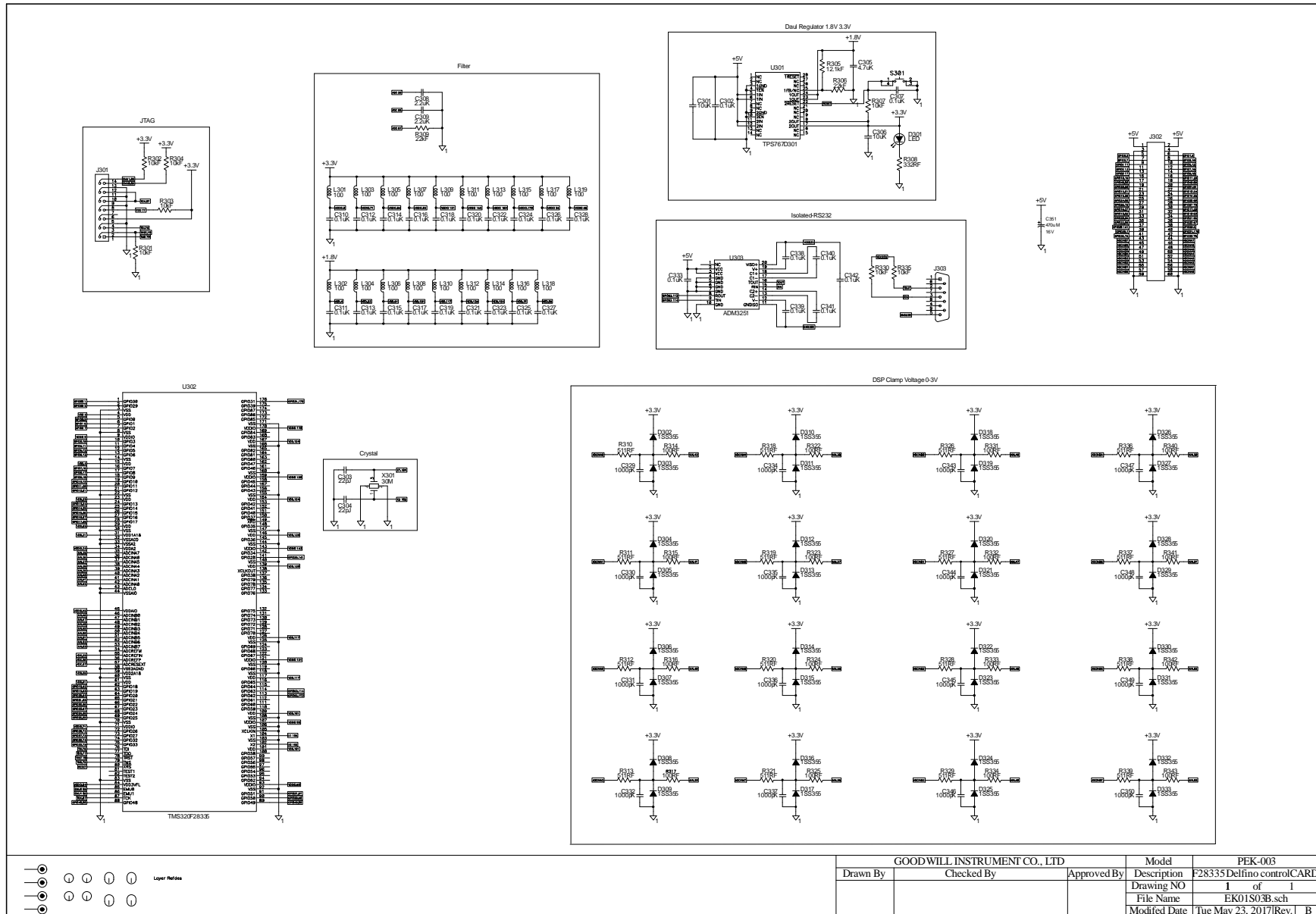


GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-510	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P12B-PV Inverter.PrjPeb	
			Drawing NO	3	of 4
			File Name	EK01S12B-Interface.SchDoc	
			Modified Date	2019/5/21	Rev. B



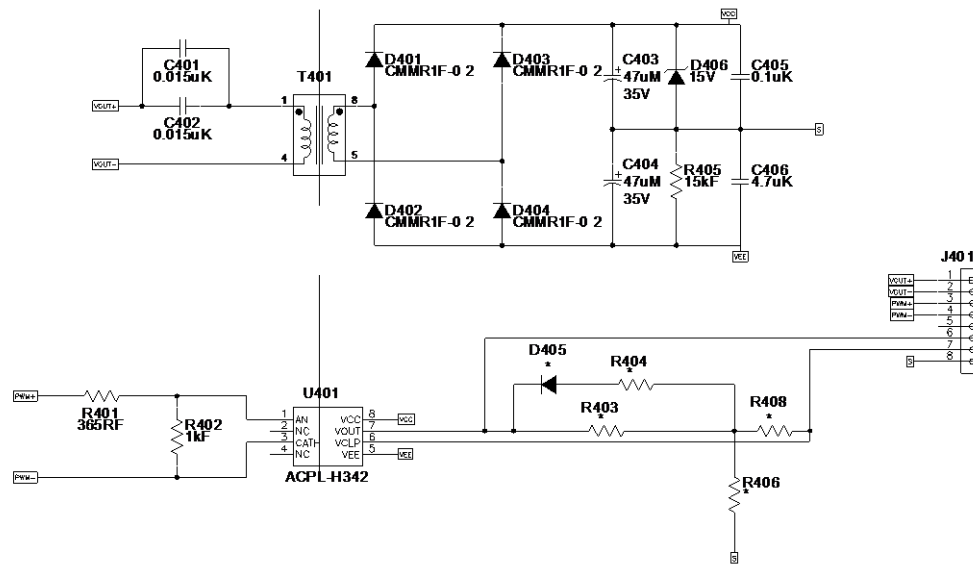
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-510	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P12B -PV Inverter.PriPcb	
			File Name	EK01S12B -VOS_VSS_SchDoc	
			Drawing NO	4	of 4
			Modified Date	2019/5/16	Rev. B

F28335 Delfino control CARD

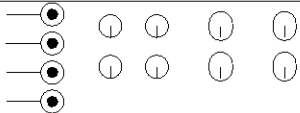


GOODWILL INSTRUMENT CO., LTD			Modd	PEK-003
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	F28335 Delfino controlCARD
			Drawing NO	1 of 1
			File Name	EK01S03B.sch
			Modified Date	Tue May 23, 2017 Rev. B

Gate Driver

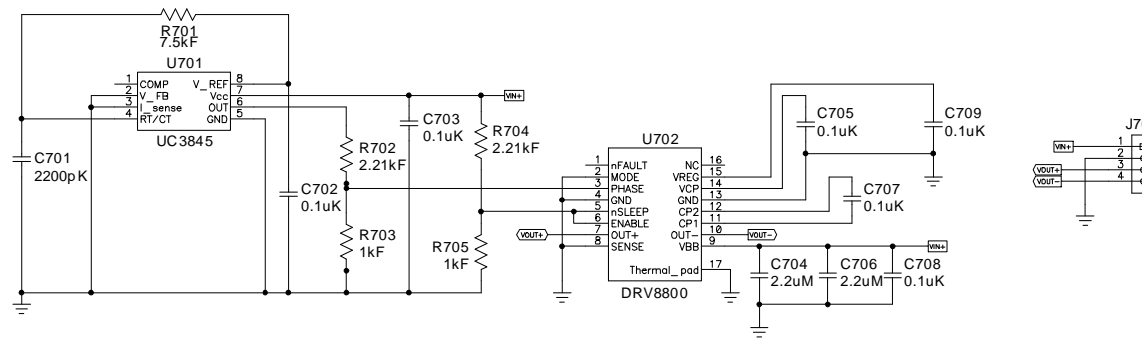


Layer Refdes

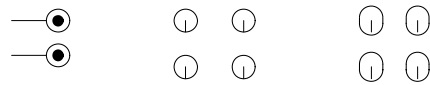


GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-004	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	Gate Driver	
			Drawing NO	1	of 1
			File Name	EK01S04B.sch	
			Modified Date	Fri May 19, 2017	Rev. B

Gate Driver Power



Layer Refdes



GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD

Drawn By	Checked By	Approved By

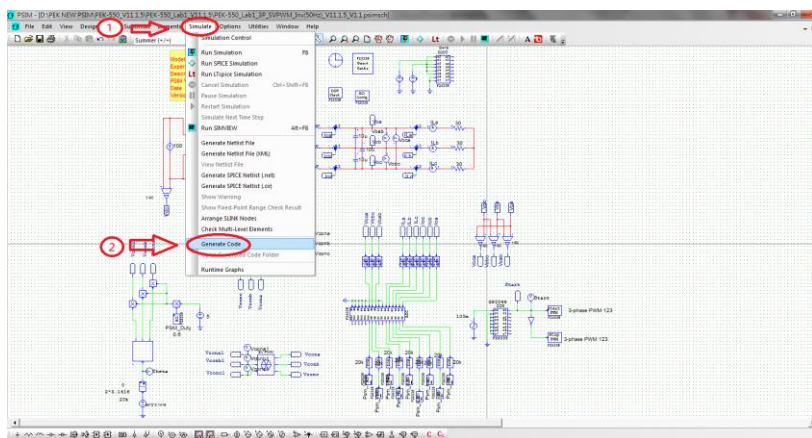
Model	PEK-100
Description	Gate Driver Power
Drawing NO	1 of 1
File Name	EK01S07A.sch
Modified Date	Mon Mar 09, 2015 Rev. A

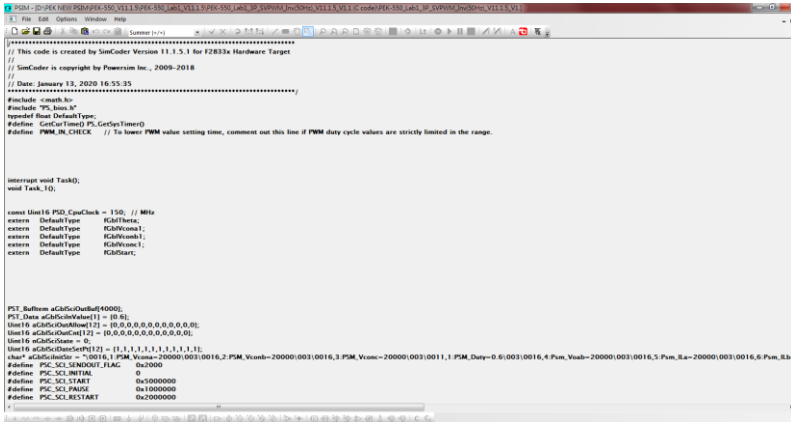
附錄 B C code 燒錄流程

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。



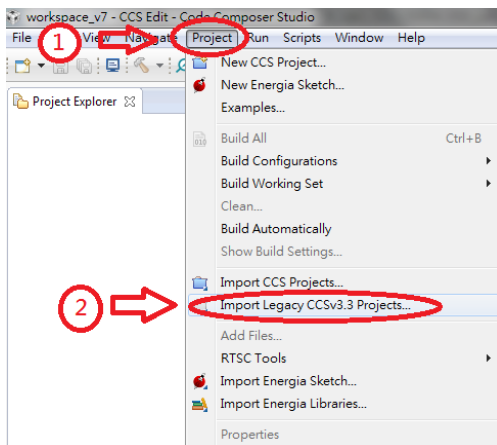


2. 系統會在 PSIM 電路檔案所在的資料內，產生一個與 PSIM 電路檔案相同檔名的資料夾，並將 C Code 與燒錄所需的相關檔案存放在此資料夾內，如下圖

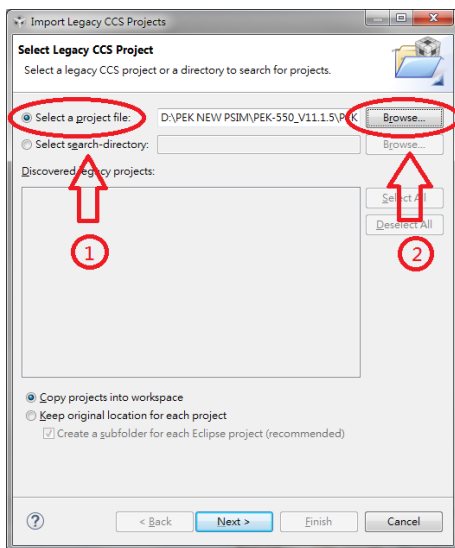
檔案名稱	日期	類型	大小
PEK-550_Lab1_3P_SVPWM_Inv(S0Hz)_V11.5_V1.1 (C code)	2020/1/13 下午 01:54	檔案資料夾	
PEK_Subcircuit_SVPWM_V11.5_V1.1	2019/8/9 下午 05:20	PSIM Document	14 KB
PEK-550_Lab1_3P_SVPWM_Inv(S0Hz)_V11.5_V1.1	2019/12/24 下午 02:19	PSIM Document	171 KB
PEK-550_Sim1_3P_SVPWM_Inv(S0Hz)_V11.5_V1.1	2019/12/24 下午 02:18	PSIM Document	105 KB

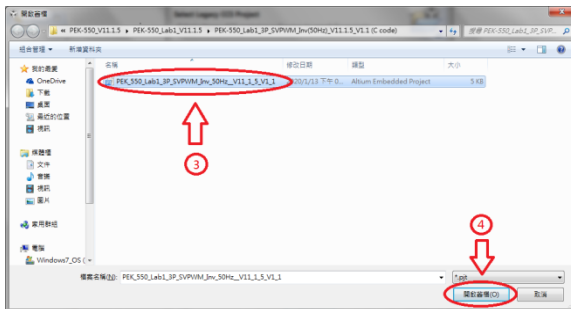
名稱	修改日期	類型	大小
F2833x_Headers_nonBIOS	2020/1/13 下午 0...	Windows 命令檔...	9 KB
F28335_FLASH_Lnk	2020/1/13 下午 0...	Windows 命令檔...	7 KB
F28335_FLASH_RAM_Lnk	2020/1/13 下午 0...	Windows 命令檔...	6 KB
F28335_RAM_Lnk	2020/1/13 下午 0...	Windows 命令檔...	4 KB
passwords	2020/1/13 下午 0...	ASM Source File	4 KB
PEK_550_Lab1_3P_SVPWM_Inv_50Hz_V11_1_5_V1_1	2020/1/13 下午 0...	C Source File	13 KB
PEK_550_Lab1_3P_SVPWM_Inv_50Hz_V11_1_5_V1_1	2020/1/13 下午 0...	Altium Embedde...	5 KB
PS_bios	2020/1/13 下午 0...	C/C++ Header File	22 KB
PsBiosRamF33xFloat	2018/7/25 上午 0...	Altium Library	631 KB
PsBiosRomF33xFloat	2018/7/25 上午 0...	Altium Library	636 KB
rts2800_fpu32_fast_supplement	2013/1/16 下午 0...	Altium Library	17 KB

3. 開啟 CCS，在“Project”下，擊點“Import Legacy CCSv3.3 Projects”，如下圖。

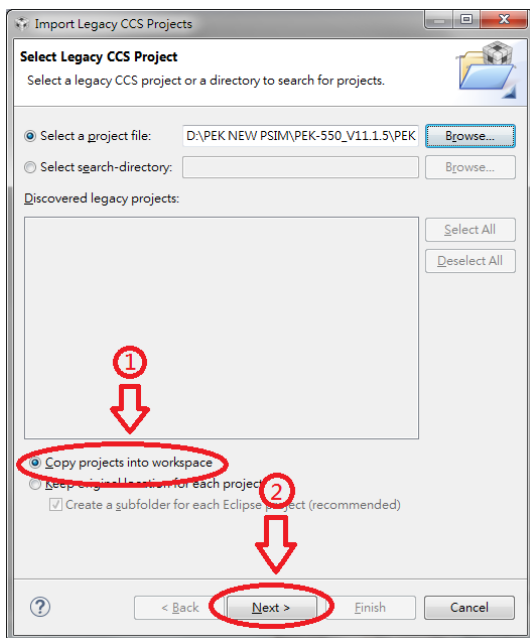


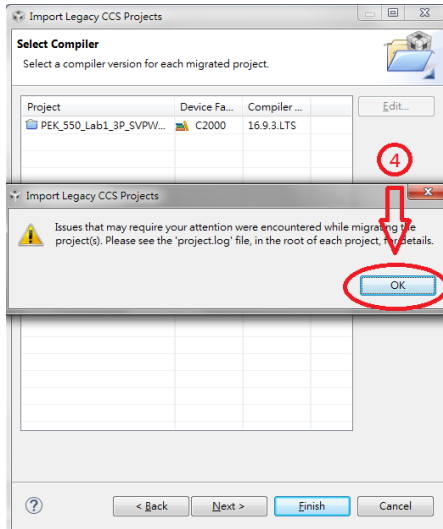
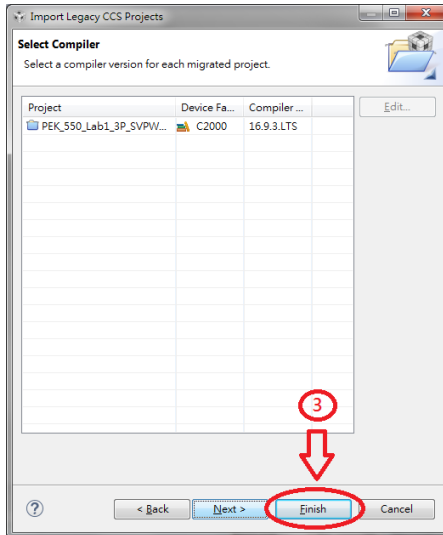
4. 在“Select a project file”中，擊點“Browse”，尋找 C Code 所在的資料夾並選取副檔名為.pjt 的檔案，如下圖。



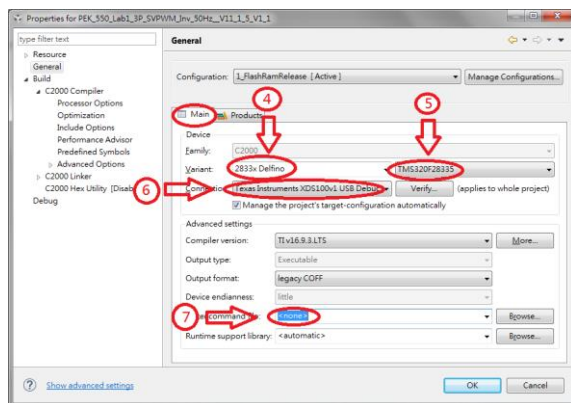
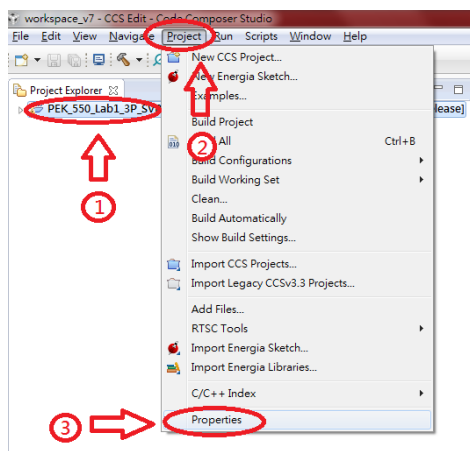


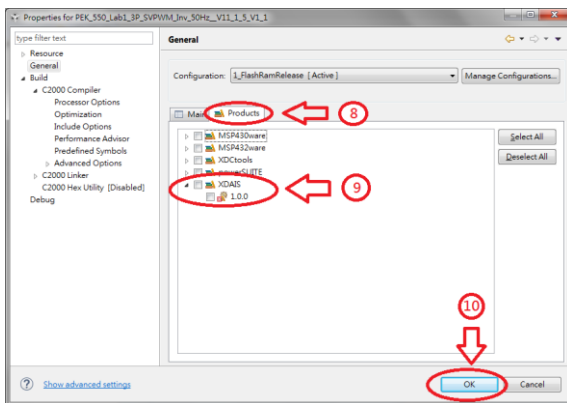
5. 選擇“Copy projects into workspace”後，擊點“Next”後，再擊點“Finish”，即可將 C Code 導入到 CCS 程式中，如下圖。



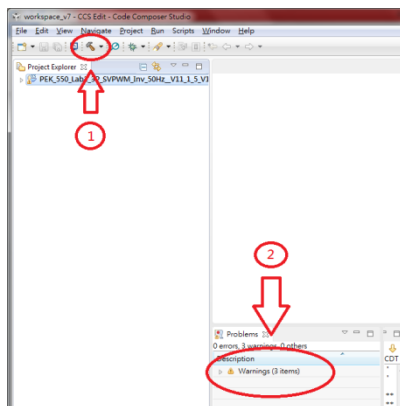


6. 選取 C Code 檔案後，在 "Project" 下選擇 "Properties"，設定如下：
 - (1) 在 Main 中 Variant 選取 "2833X Delfino 中的 TMS320F28335"
 - (2) 在 Main 中 Connection 選取 "Texas Instruments XDS100v1 USB Debug Probe"
 - (3) 在 Main 中 Linker command file 選取 "none"
 - (4) 在 Products 中將 XDAIS 取消選擇 (如果你的 CCS 版本無此選項，則不須理會)



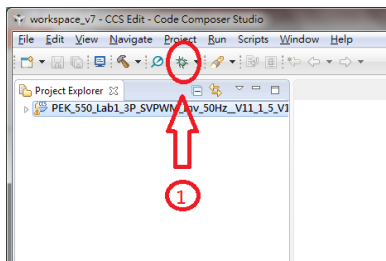


- 設定完畢後，擊點“Build”，進行編譯。編譯結束，如無 Errors，代表此程式可進行燒錄，Warnings 不影響燒錄，可忽略。

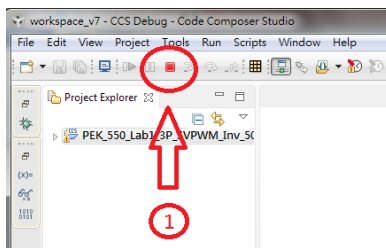


- 將 PEK-006 分別連接到 PC 與 PEK 模塊上，之後擊點“Debug”，進行燒錄。

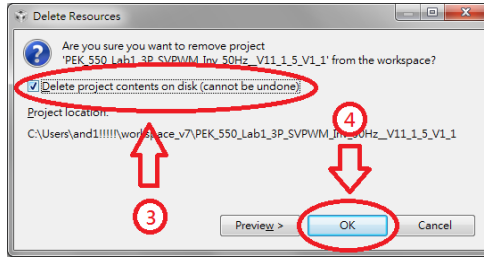
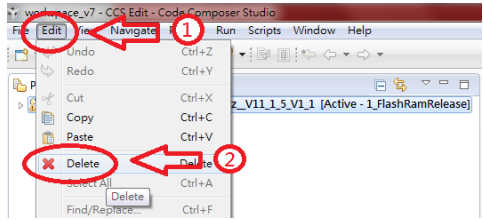




9. 燒錄結束後，擊點“Terminate”，並移除 PEK-006，如此即完成燒錄程序。



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。



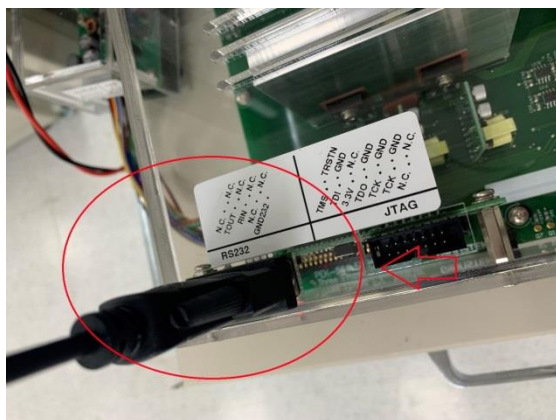
附錄 C RS232 連線

操作步驟

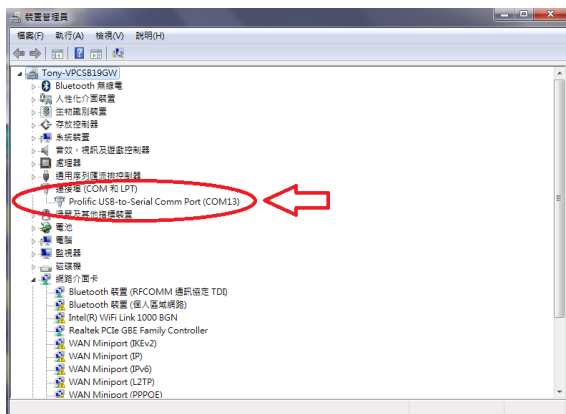
1. 將 PEK-005A 接至 PEK 模塊，確保 DSP 工作狀態正常。



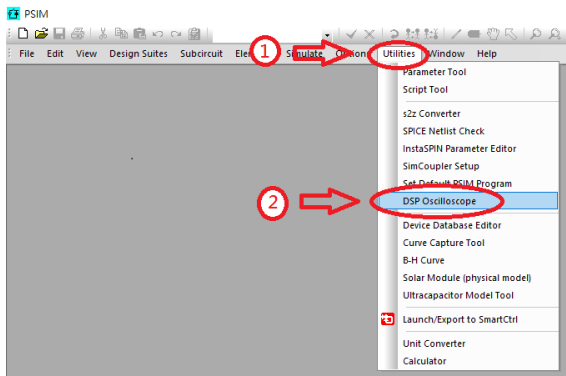
2. 將 RS232 一端連接至電腦 PC，另一端接到 PEK 的 RS232 端口。



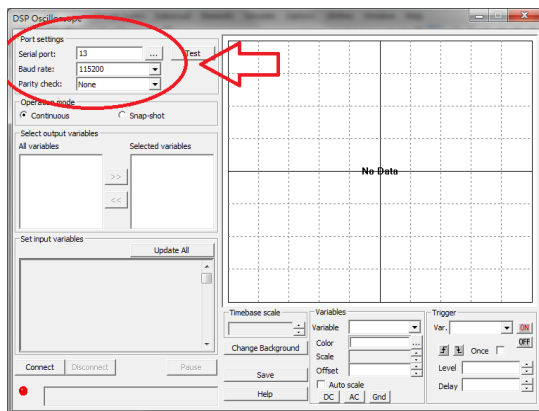
3. 開啟電腦的裝置管理員，確認 RS232 所使用的連接埠(COM)位置。



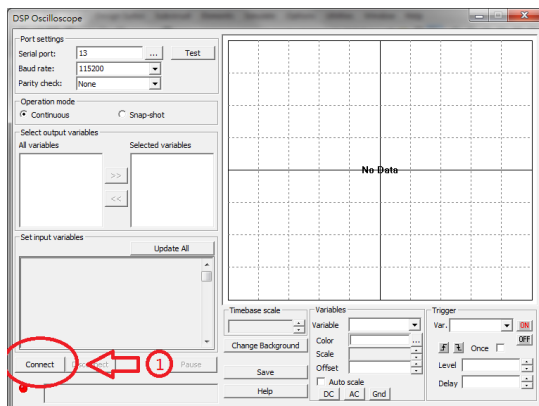
4. 開啟 PSIM 程式，點選上方選單 Utilities 中 DSP Oscilloscope 選項。



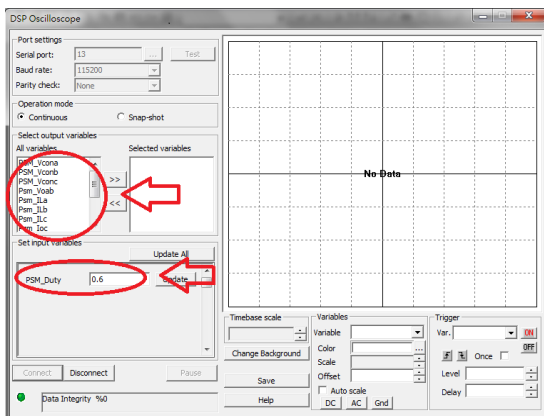
5. Port settings 的設定如下:
 - (1) Serial port 選取 RS232 所使用的連接埠 (COM)位置。
 - (2) Baud rate 設定為 115200。
 - (3) Parity check 設定為 None。



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

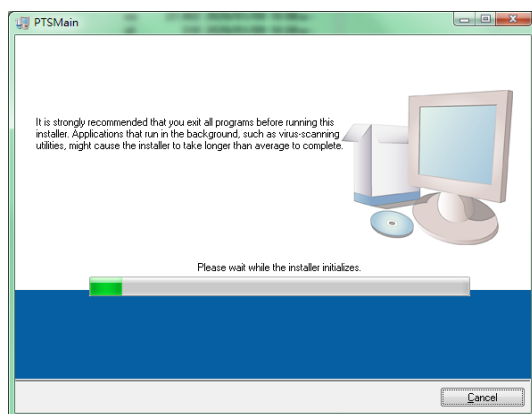
介紹

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。

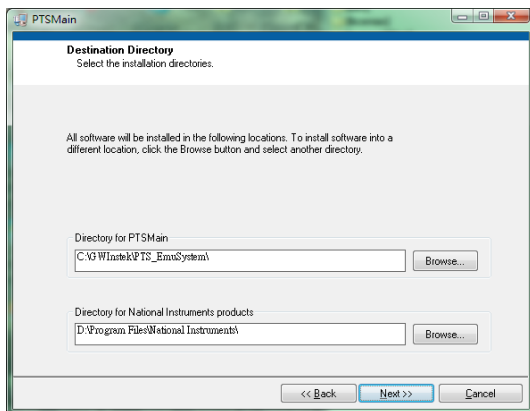
安裝與啓動

操作步驟

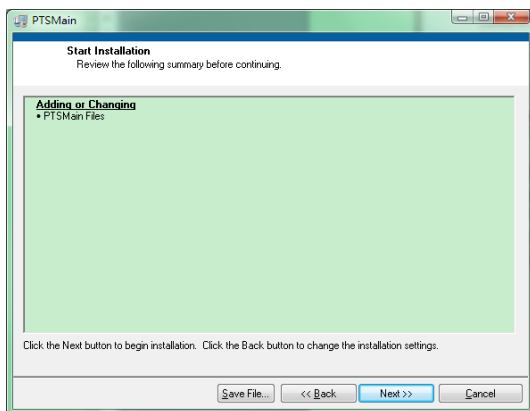
1. 安裝完整 PTS 軟體：下載 PTS5 installer,並解壓縮後於 c:\PTS installer 後，進入 Volume。執行 Setup.exe，如下。



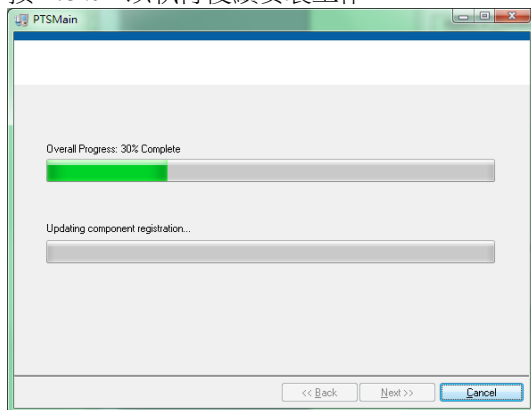
此時系統尋找是否已安裝程式執行時，必要元件；若沒有或既有元件版本較低，即列出並等候安裝；若已存在有高於執行程式所需要的版本時，則不安裝。



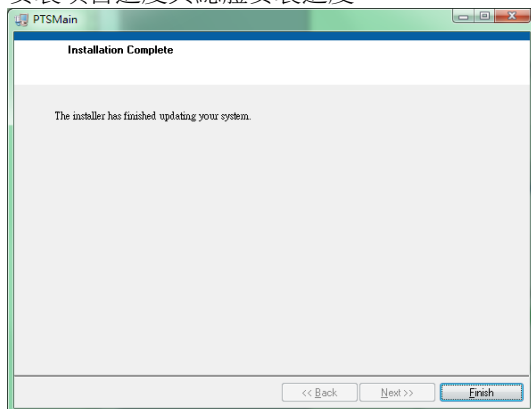
使用預設路徑即可；按“Next”繼續，以完成安裝工作。此時，此處會列出已經安裝與即將安裝的程序，包含必要的執行元件：



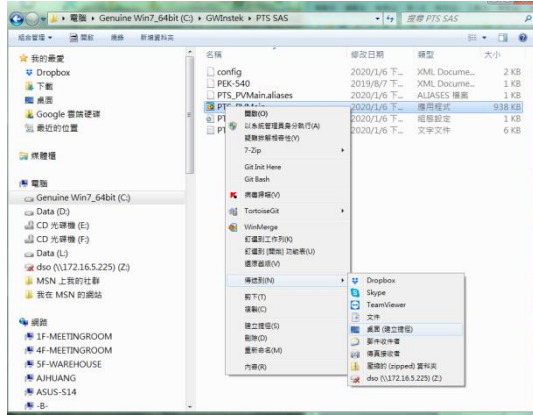
按 Next，以執行後續安裝工作。



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

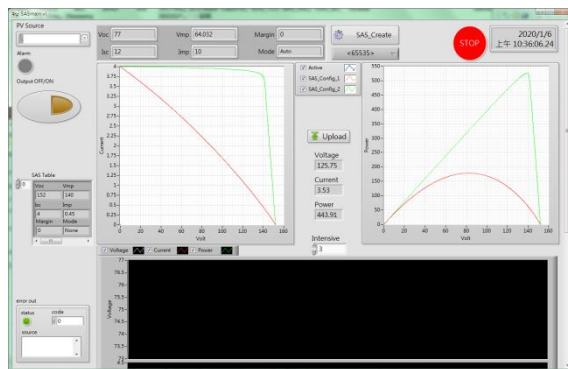
4. 在控制台內，找到“程式與功能”項目，並執行，找到 PTSMain



界面說明

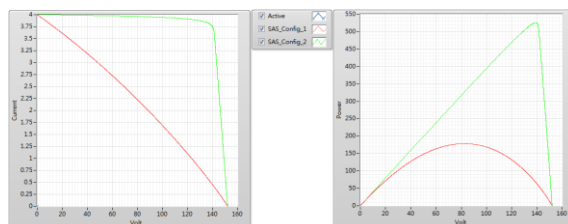
程式運行界面

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



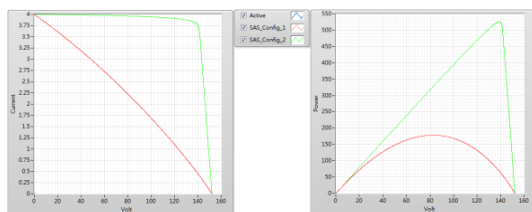
左側為 VI 顯示；右側為 PV 顯示；其中 Active 表示啟動後，真正的 IV 狀量測值可透過 Intensive 設定查看其軌跡

即時數值監控

圖表 3



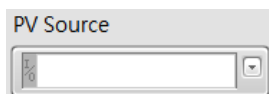
Voltage 與 Current 將會標示於圖表 2 左側 IV 曲線圖上，Voltage 與 Power 則標示於圖表 2 右側 PV 曲線圖上。Intensive 表示畫面上滯留的資料點數，可以追蹤 IVP 實際的變動軌跡。



操作

設備連線設定

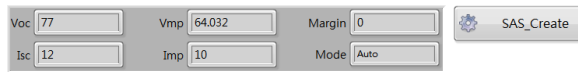
圖表 4
設備選擇



建立系統連線，透過下拉式選單，指定適當設備。

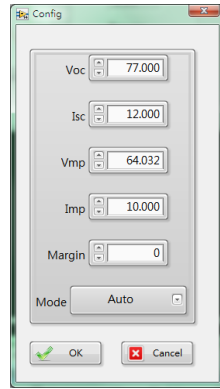
建立 PV 參考曲線

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

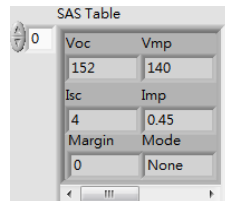
Margin: 輸出在此餘裕範圍內不更新(%)

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

圖表 7
軌跡參數表



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)

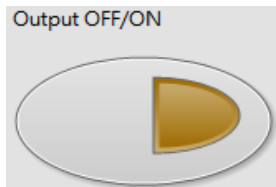
上傳/載入測 PV 軌跡曲線參數

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

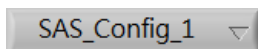


啓動/關閉 PSW 輸出

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

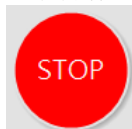


參考軌跡參數選擇

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

