

微網逆變器模塊

PEK-530

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	3
章節說明	9
實驗 1 三相 SVPWM 逆變器	10
電路模擬	10
實驗設備	14
實驗步驟	15
實驗目的	18
實驗結果	18
結論	22
實驗 2 三相雙閉環電壓控制逆變器	23
電路模擬	23
實驗設備	27
實驗步驟	28
實驗目的	31
實驗結果	31
結論	36
實驗 3 三相並網逆變器	37
電路模擬	37
實驗設備	40
實驗步驟	41
實驗目的	44
實驗結果	44
結論	46
實驗 4 三相並網逆變器 PQ 控制	47
電路模擬	47

實驗設備	51
實驗步驟	52
實驗目的	54
實驗結果	54
結論	58
實驗 5 三相逆變器 P-ω 及 Q-V 下垂控制法	59
電路模擬	59
實驗設備	63
實驗步驟	64
實驗目的	66
實驗結果	66
結論	72
實驗 6 多組逆變器並聯控制	73
電路模擬	73
實驗設備	78
實驗步驟	79
實驗目的	87
實驗結果	87
結論	89
附錄 A PEK-530 電路圖	90
Micro Grid Inverter	91
F28335 Delfino control CARD	99
Gate Driver	100
Gate Driver Power	101
附錄 B C code 燒錄流程	102
附錄 C RS232 連線	111

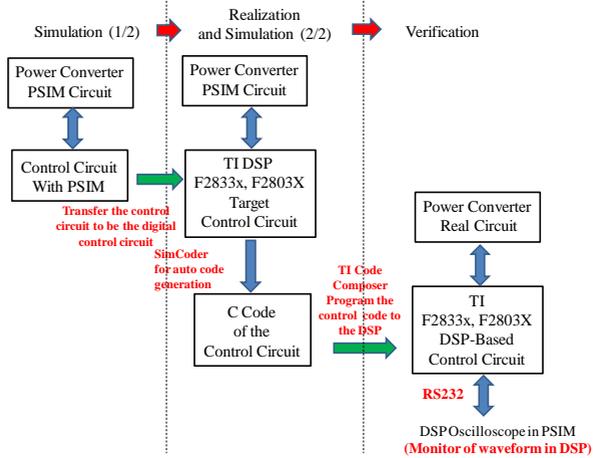
簡介

PEK-530 為微網逆變器模塊(Micro-grid Inverter Module)，如圖 0.1 所示，由兩台三相全橋逆變器(Three Phase Inverter)組成，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
微網逆變器實驗
模組



圖 0.2
教具使用程序



PEK-530 共可完成六個實驗，分別如下：

1. 三相 SVPWM 逆變器 (Three Phase SVPWM Inverter)
2. 三相雙閉環電壓控制逆變器 (Three Phase Stand-alone Inverter)
3. 三相並網逆變器 (Three Phase Grid-connected Inverter)
4. 三相並網逆變器 PQ 控制 (PQ Control of Three-phase Grid-connected inverter)
5. 三相逆變器 P- ω 及 Q-V 下垂控制法 (P- ω and Q-V Droop Control of Three Phase Stand-alone Inverter)
6. 多組逆變器並聯控制(虛擬阻抗下垂法) (Parallel Operation of Multiple Stand-alone Inverters with Virtual Impedance and Droop Control Method)

進行實驗時除需要 PEK-530 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 0.5
PTS-5000 實驗
平台



PEK-530 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。

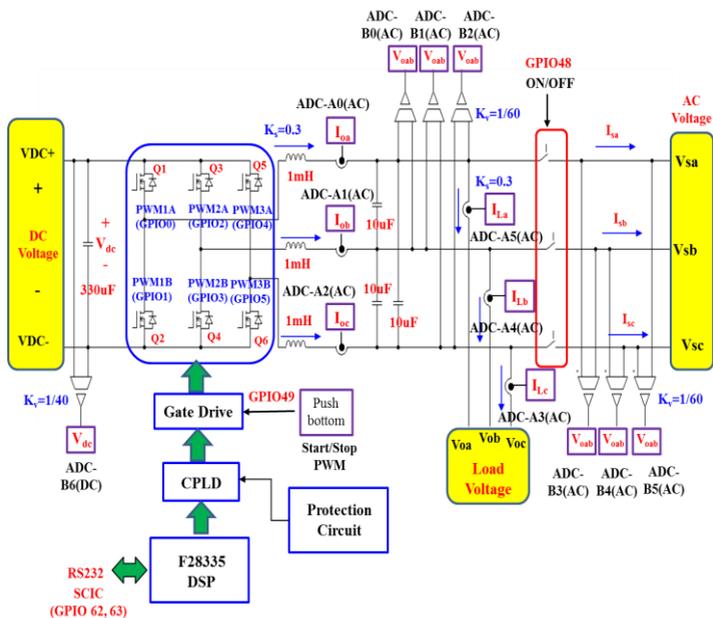


圖 0.6 I/O 配置

表 0.1 PEK-530 測試點的量測比例

感測項目	感測比例
1 直流鍊電壓(VDC)	0.0196
2 逆變器 A 相輸出電流(IO-A)	0.4768
3 逆變器 B 相輸出電流(IO-B)	0.4768
4 逆變器 C 相輸出電流(IO-C)	0.4768
5 逆變器 A 相負載電流(IL-A)	0.4768
6 逆變器 B 相負載電流(IL-B)	0.4768
7 逆變器 C 相負載電流(IL-C)	0.4768

8	逆變器輸出 AB 臂線電壓(VO-AB)	0.0287
9	逆變器輸出 BC 臂線電壓(VO-BC)	0.0287
10	逆變器輸出 CA 臂線電壓(VO-CA)	0.0287
11	市電 AB 臂線電壓(VS-AB)	0.0287
12	市電 BC 臂線電壓(VS-BC)	0.0287
13	市電 CA 臂線電壓(VS-CA)	0.0287

表 0.2 PEK-530 DSP 的回授比例

	感測項目	感測比例
1	直流鍊電壓(VDC)	0.0249
2	逆變器 A 相輸出電流(IO-A)	0.2996
3	逆變器 B 相輸出電流(IO-B)	0.2996
4	逆變器 C 相輸出電流(IO-C)	0.2996
5	逆變器 A 相負載電流(IL-A)	0.2996
6	逆變器 B 相負載電流(IL-B)	0.2996
7	逆變器 C 相負載電流(IL-C)	0.2996
8	逆變器輸出 AB 臂線電壓(VO-AB)	0.0169
9	逆變器輸出 BC 臂線電壓(VO-BC)	0.0169
10	逆變器輸出 CA 臂線電壓(VO-CA)	0.0169
11	市電 AB 臂線電壓(VS-AB)	0.0169
12	市電 BC 臂線電壓(VS-BC)	0.0169
13	市電 CA 臂線電壓(VS-CA)	0.0169

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 三相 SVPWM 逆變器	主要學習三相 SPWM 及 SVPWM 之原理，透過 PEK-530 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 三相雙閉環電壓控制逆變器	主要學習三相逆變器之建模，並學習電壓迴路及電流迴路控制器之設計，針對硬體進行規劃後透過 SimCoder 進程式撰寫。
實驗 3 三相並網逆變器	了解三相市電並聯逆變器基本原理及結構，同時學習鎖相迴路設計方法，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 進程式撰寫。
實驗 4 三相並網逆變器 PQ 控制	恒功率(PQ)控制的實質是將有效功率和無效功率解耦後分別進行控制，PEK-530 可針對 PQ 控制進行規劃後透過 SimCoder 進程式撰寫。
實驗 5 三相逆變器 P- ω 及 Q-V 下垂控制法	學習 P- ω 及 Q-V 下垂控制法，並 PEK-530 進行規劃後透過 SimCoder 進程式撰寫來實現。
實驗 6 多組逆變器並聯控制(虛擬阻抗下垂法)	了解三相逆變器之並聯控制方法，並將二組逆變器進行並聯控制，利用 PEK-530 進行規劃後透過 SimCoder 進程式撰寫。

實驗 1 三相 SVPWM 逆變器

電路模擬

逆變器規格如下：

DC Voltage $V_{DC} = 100V$

$F_s = 18kHz$, $V_{tri} = 10V_{pp}$ (PWM)

$C_d = 330\mu F$, $L = 1mH$, $C = 10\mu F$

$K_s = 0.3$ (AC current sensing factor)

$K_v = 1/60$ (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 1.1:

PSIM 檔名為 : PEK-530_Sim1_3P_SVPWM_Inv(60Hz)_V11.1.5_V1.1

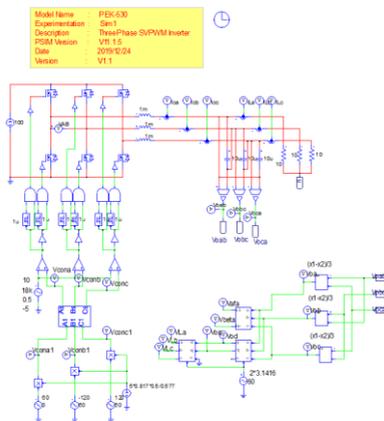


圖 1.1 實驗一 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 1.2, 1.3:

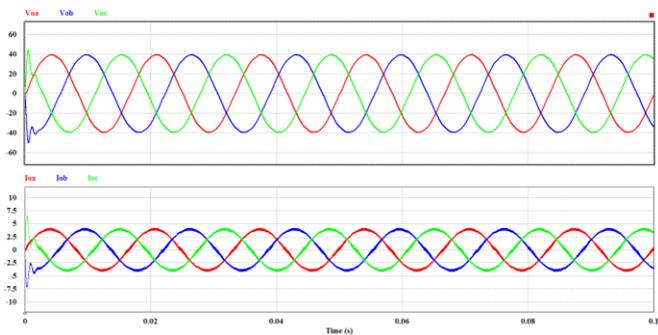


圖 1.2 實驗一類比電路模擬波形

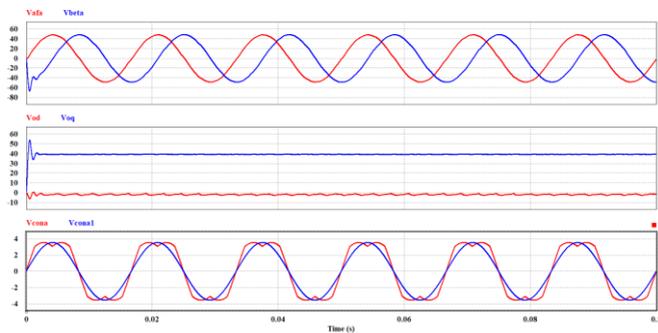


圖 1.3 實驗一類比電路模擬波形

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-530_Lab1_3P_SVPWM_Inv(60Hz)_V11.1.5_V1.1

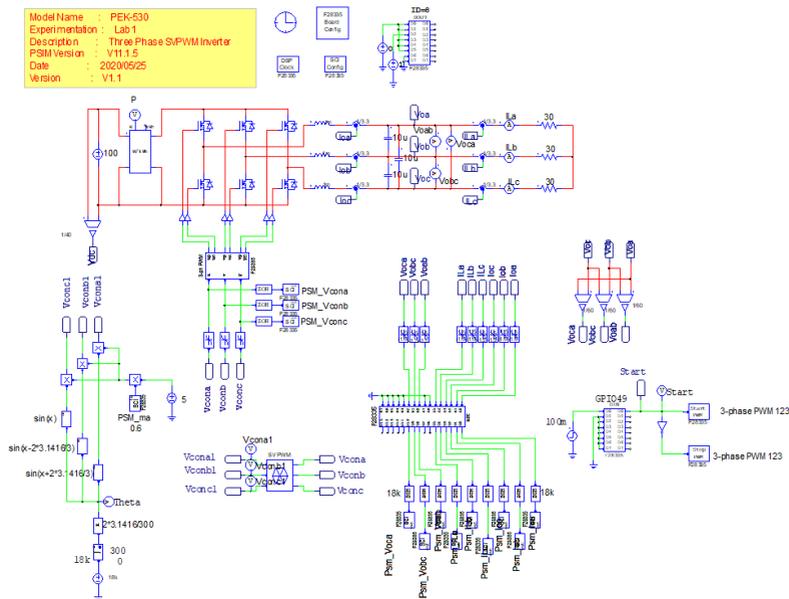


圖 1.4 實驗一 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 1.5, 1.6:

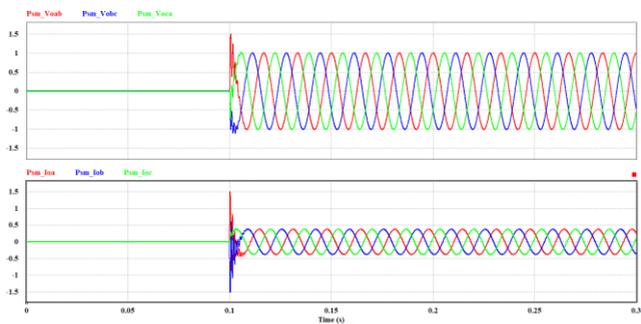


圖 1.5 實驗一數位電路模擬波形

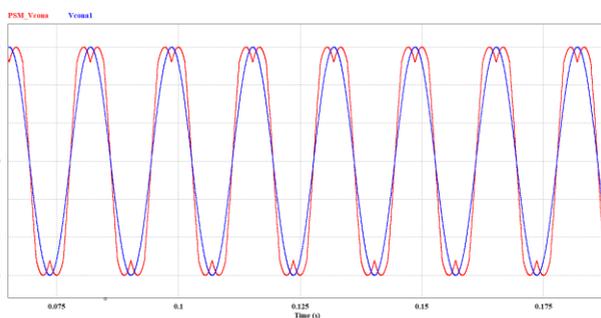


圖 1.6 實驗一數位電路模擬波形

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-530 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 1.7，請依此圖完成接線，其使用電路為 Master。

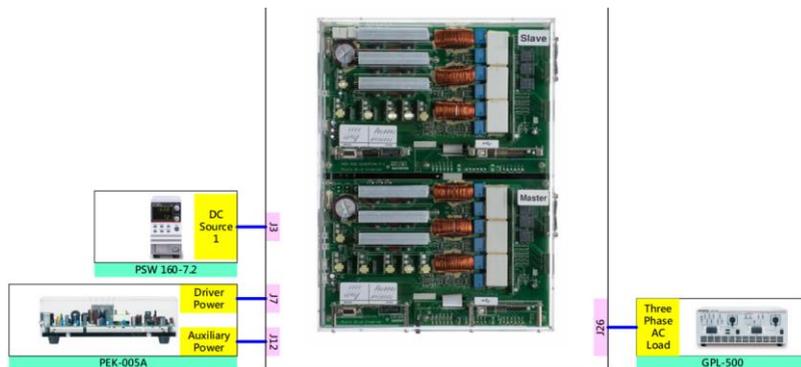


圖 1.7 實驗一接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-530 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 1.8，此時表示 DSP 電源正常。

圖 1.8
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 1.9 所示，將示波器探棒分別接至 Vo-AB, Vo-BC, Vo-CA 與 Io-A，探棒之 GND 接至模塊之 GND，模塊中量測點皆為共地。

圖 1.9
示波器探棒接線圖



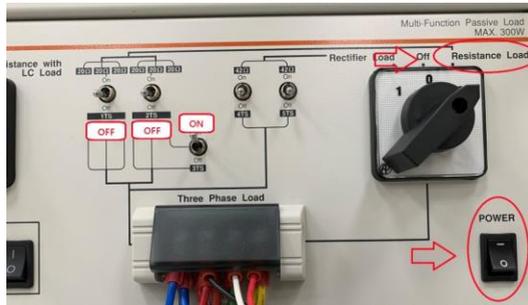
5. 如圖 1.10 所示，PSW160-7.2 操作步驟為：開啟 PSW160-7.2 電源 → 點選 Set 鍵，藉由電壓旋鈕將電壓調整至 100V，電流旋鈕將電流調整至 3A。

圖 1.10
PSW 設定圖



6. 如圖 1.11 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 1.11
GPL-500 空載設
定



7. 設定完畢後，將 PSW 電源輸出開啟後，最後將 PEK-530 開關開啟。

實驗目的

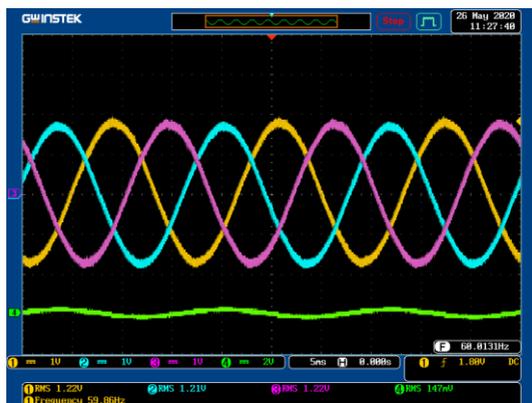
本實驗為開迴路系統，當操作在不同負載及工作週期時，觀測輸出電壓及電流的變化。

實驗結果

(1) 空載

如圖 1.12 所示，於空載時，觀測 V_{o-AB} 、 V_{o-BC} 與 V_{o-CA} 之 RMS 值分別為 1.22V(實際值為 42.509V)、1.21V(實際值 42.16V)與 1.22V(實際值為 42.509V)， I_{o-A} 之 RMS 值為 0.147A(實際值為 0.308A)。

圖 1.12 空載量測波形



(2) 半載(20 Ω)

如圖 1.13 所示，GPL-500 之 1TS, 3TS 設定為 ON，2TS 設定為 OFF，此時負載為半載。

如圖 1.14 所示，於半載時，觀測 V_{o-AB} 、 V_{o-BC} 與 V_{o-CA} 之 RMS 值皆為 1.13V(實際值為 39.373V)， I_{o-A} 之 RMS 值為 0.567A(實際值為 1.189A)。

圖 1.13
GPL-500 半載設定

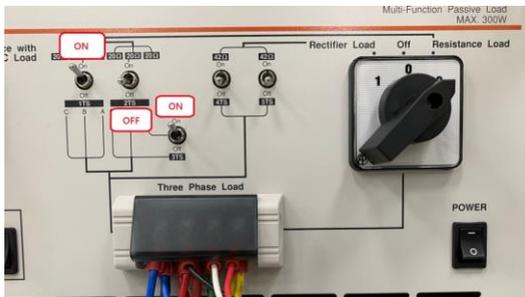
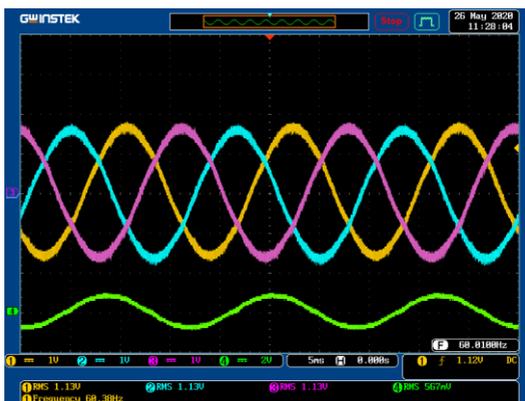


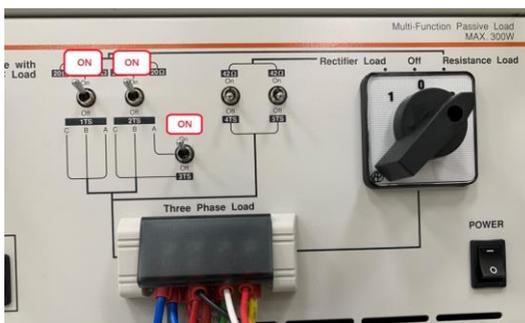
圖 1.14
半載量測波形



(3) 滿載(10Ω)

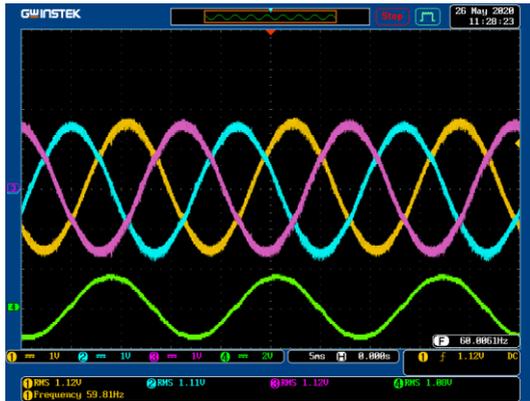
如圖 1.15 所示，GPL-500 之 1TS, 2TS, 3TS 設定皆為 ON，此時負載為滿載。

圖 1.15
GPL-500 滿載設定



如圖 1.16 所示，於滿載時，觀測 V_{o-AB} 、 V_{o-BC} 與 V_{o-CA} 之 RMS 值為 1.12V(實際值為 39.024V)、1.11V(實際值為 38.676V)、1.12V(實際值為 39.024V)， I_{o-A} 之 RMS 值為 1.08A(實際值為 2.265A)。

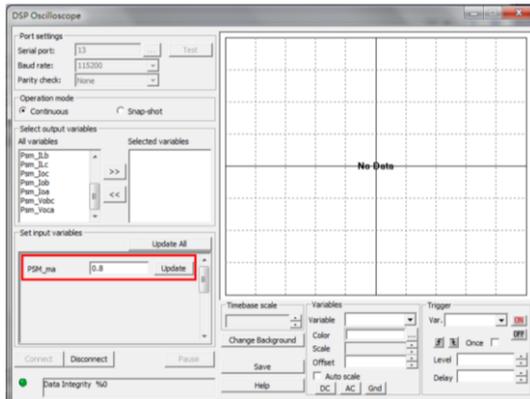
圖 1.16
滿載量測波形



(4) Duty 改變

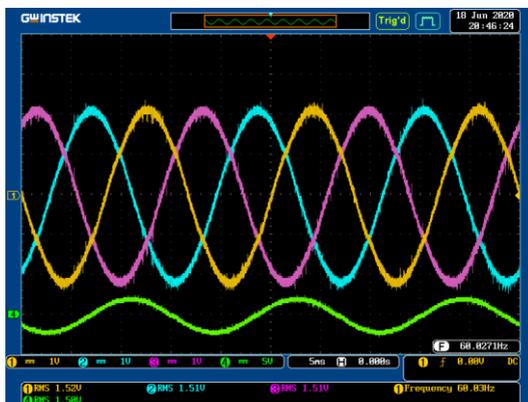
如圖 1.17 所示，經由 RS232 調整 "Set input variables" 中的 PSM_ma，此為電路中 Duty 參數，由預設的 0.6 改為 0.8 後，按下 Update。

圖 1.17
PSIM DSP 示波
器命令值設定



如圖 1.18 所示，將 DSP 示波器命令值由 0.6 設定為 0.8 時，觀測 V_{o-AB} 、 V_{o-BC} 與 V_{o-CA} 之 RMS 值為 1.52V(實際值為 52.692V)、1.51V(實際值為 52.613V)、1.51V(實際值為 52.613V)， I_{o-A} 之 RMS 值為 1.50A(實際值為 3.146A)。

圖 1.18
DSP 示波器命令
值為 0.8



實驗測試完畢後，依序關閉 PEK-530→PSW160-7.2→PEK-005A→GPL-500。

依照不同的測試條件，依序將量測之 V_o 與 I_o 填入至表 1.1 與 1.2，且參考表 0.1 之感測比例，填入實際值。

表 1.1 GPL-500 不同設定下之輸出電壓電流量測數據

GPL-500	Vo-AB(Vrms) (量測值)	Vo-AB(Vrms) (實際值)	Vo-BC(Vrms) (量測值)	Vo-BC(Vrms) (實際值)
空載	1.22V	42.509V	1.21V	42.16V
半載	1.13V	39.373V	1.13V	39.373V
滿載	1.12V	39.024V	1.11V	38.676V

GPL-500	Vo-CA(Vrms) (量測值)	Vo-CA(Vrms) (實際值)	Io-A(Irms) (量測值)	Io-A(Irms) (實際值)
空載	1.22V	42.509V	0.147A	0.308A
半載	1.13V	39.373V	0.567A	1.189A
滿載	1.12V	39.024V	1.08A	2.265A

表 1.2 滿載時不同 Duty 之輸出電壓電流量測數據

Duty 命令值	Vo-AB(Vrms) (量測值)	Vo-AB(Vrms) (實際值)	Vo-BC(Vrms) (量測值)	Vo-BC(Vrms) (實際值)
0.6	1.12V	39.024V	1.11V	38.676V
0.8	1.52V	52.962V	1.51V	52.613V

Duty 命令值	Vo-CA(Vrms) (量測值)	Vo-CA(Vrms) (實際值)	Io-A(Irms) (量測值)	Io-A(Irms) (實際值)
0.6	1.12V	39.024V	1.08A	2.265A
0.8	1.51V	52.613V	1.50A	3.146A

結論

本實驗為開迴路系統，由表 1.1 可發現空載至滿載過程中，輸出電流逐漸增加，且輸出電壓隨著負載增加而有所下降。由表 1.2 可發現，輸出電壓會隨著 Duty 的變化而變化。

實驗 2 三相雙閉環電壓控制逆變器

電路模擬

逆變器規格如下：

DC Voltage $V_{DC} = 100V$

$F_s = 18kHz$, $V_{tri} = 10V_{pp}$ (PWM)

$C_d = 330\mu F$, $L = 1mH$, $C = 10\mu F$

$K_s = 0.3$ (AC current sensing factor)

$K_v = 1/60$ (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 2.1:

PSIM 檔名為 : PEK-530_Sim2_3P_SA_Inv(60Hz)_V11.1.5_V1.1

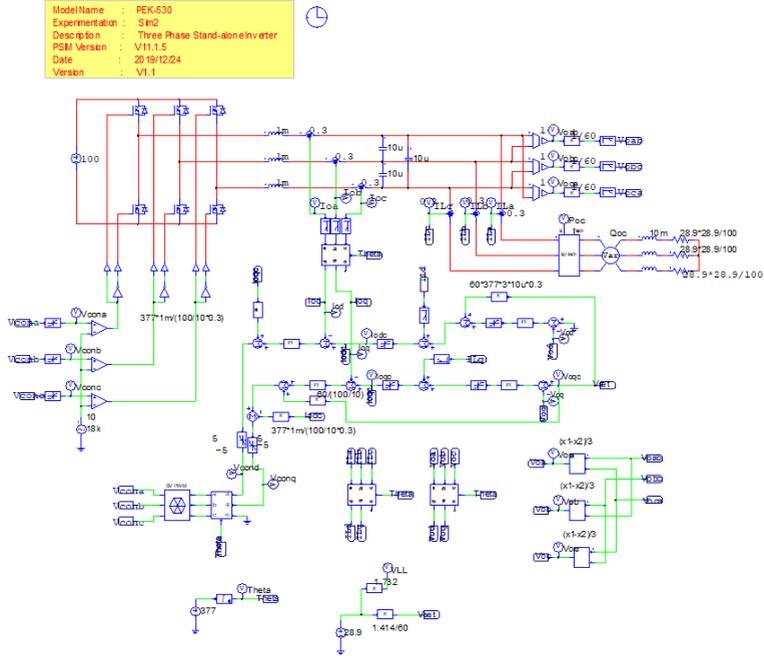


圖 2.1 實驗二 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 2.2, 2.3:

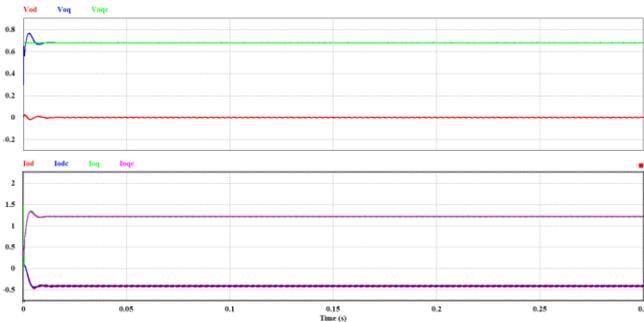


圖 2.2 實驗二類比電路模擬波形

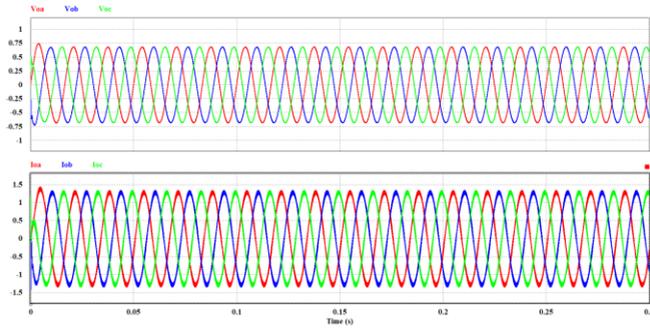


圖 2.3 實驗二類比電路模擬波形

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-530_Lab2_3P_SA_Inv(60Hz)_V11.1.5_V1.1

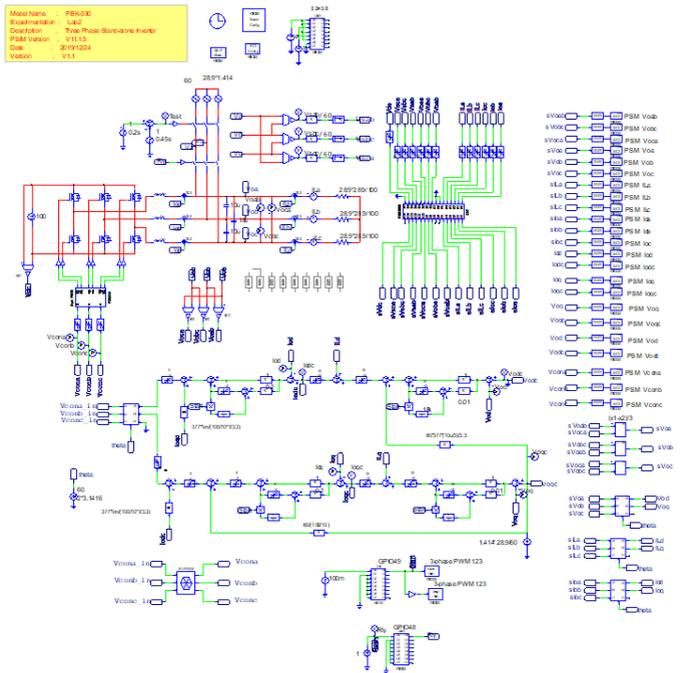


圖 2.4 實驗二 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 2.5, 2.6:

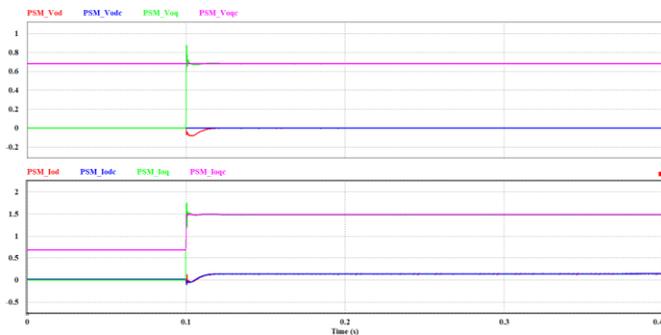


圖 2.5 實驗二數位電路模擬波形

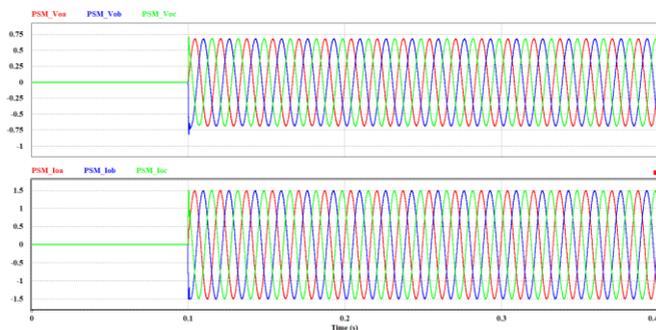


圖 2.6 實驗二數位電路模擬波形

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-530 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 2.7，請依此圖完成接線，其使用電路為 Master。

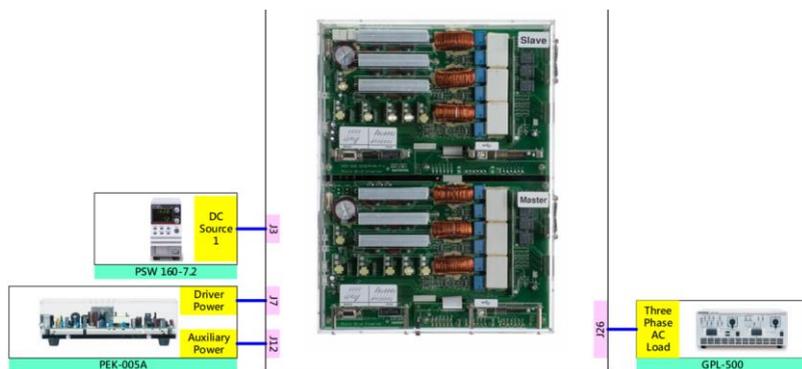


圖 2.7 實驗一接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-530 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 2.8，此時表示 DSP 電源正常。

圖 2.8

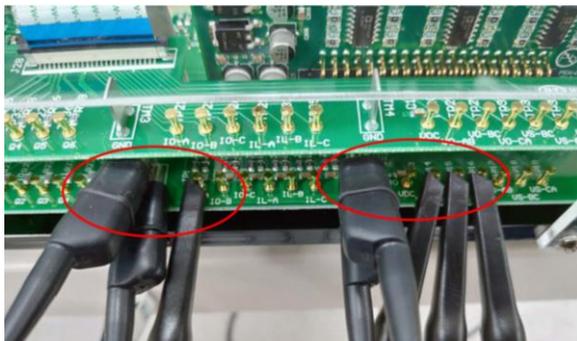
DSP 正常工作畫面



3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄。

4. 如圖 2.9 所示，將示波器探棒分別接至 V_o -AB, V_o -BC, V_o -CA 與 I_o -A，探棒之 GND 接至模塊之 GND，模塊中量測點皆為共地。

圖 2.9
示波器探棒接線圖



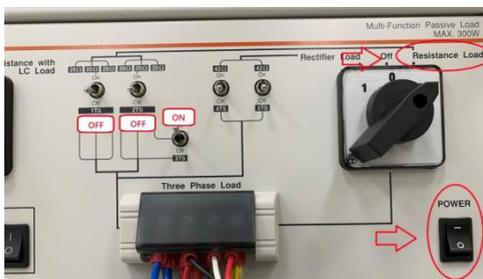
5. 如圖 2.10 所示，PSW160-7.2 操作步驟為:開啟 PSW160-7.2 電源 → 點選 Set 鍵，藉由電壓旋鈕將電壓調整至 100V，電流旋鈕將電流調整至 3A。

圖 2.10
PSW 設定圖



6. 如圖 2.11 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 2.11
GPL-500 空載設定



7. 設定完畢後，將 PSW 電源輸出開啟後，最後將 PEK-530 開關開啟。

實驗目的

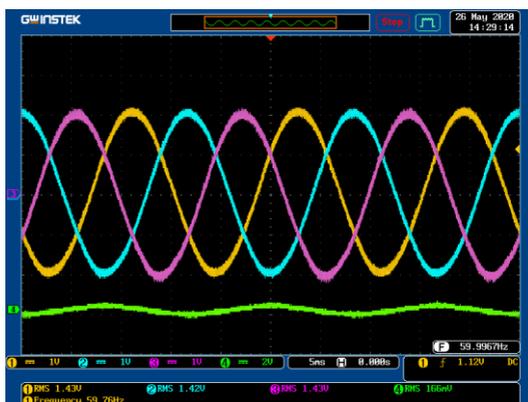
本實驗為三相逆變器實驗，透過閉迴路控制，確保輸出電壓在負載變動下，可維持穩定輸出且為平衡狀態，並觀測負載電流的狀態。

實驗結果

(1) 空載

如圖 2.12 所示，於空載時，觀測 V_{o-AB} 、 V_{o-BC} 與 V_{o-CA} 之 RMS 值分別為 1.43V(實際值為 49.826V)、1.42V(實際值為 49.477V)、1.43V(實際值為 49.826V)， I_{o-A} 之 RMS 值為 0.166A(實際值為 0.348A)。

圖 2.12 空載量測波形



(2) 半載(20Ω)

如圖 2.13 所示，GPL-500 之 1TS, 3TS 設定為 ON，2TS 設定為 OFF，此時負載為半載。

如圖 2.14 所示，於半載時，觀測 V_{o-AB} 、 V_{o-BC} 與 V_{o-CA} 之 RMS 值皆為 1.42V(實際值為 49.477V)、1.41V(實際值 49.129V)、1.43V(實際值為 49.826V)， I_{o-A} 之 RMS 值為 0.711A(實際值為 1.491A)。

圖 2.13
GPL-500 半載設定

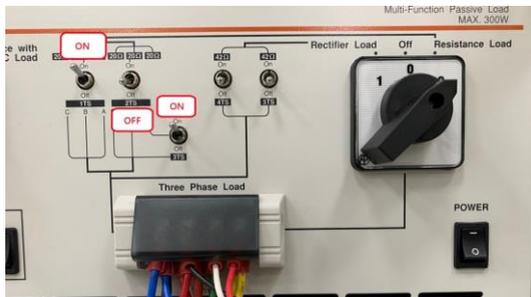
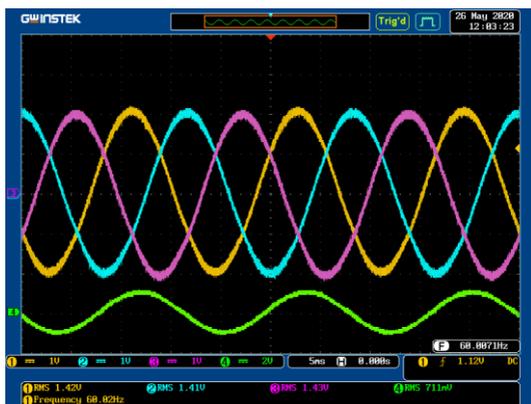


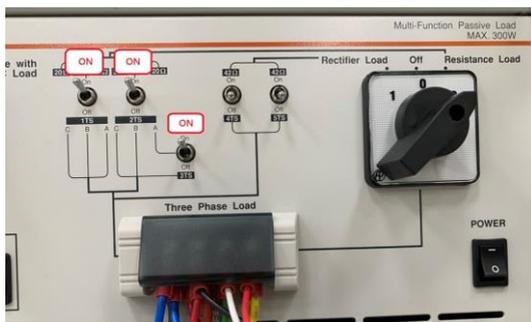
圖 2.14
半載量測波形



(3) 滿載(10Ω)

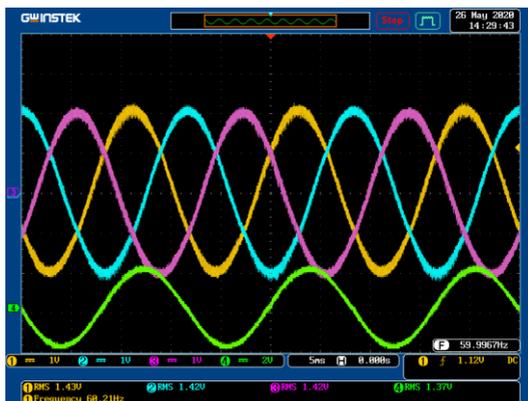
如圖 2.15 所示，GPL-500 之 1TS, 2TS, 3TS 設定皆為 ON，此時負載為滿載。

圖 2.15
GPL-500 滿載設定



如圖 2.16 所示，於滿載時，觀測 V_{o-AB} 、 V_{o-BC} 與 V_{o-CA} 之 RMS 值分別為 1.43V(實際值為 49.826V)、1.42V(實際值 49.477V)、1.42V(實際值 49.477V)， I_{o-A} 之 RMS 值為 1.37A(實際值為 2.873A)。

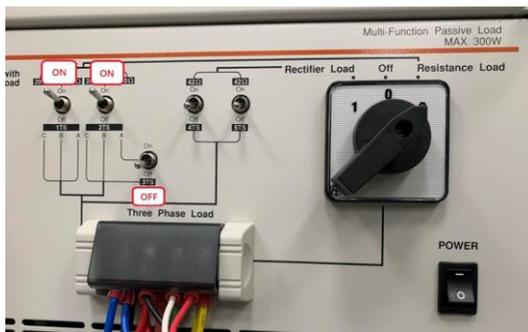
圖 2.16
滿載量測波形



(4) 不平衡載(A 相 20Ω，B 相與 C 相 10Ω)

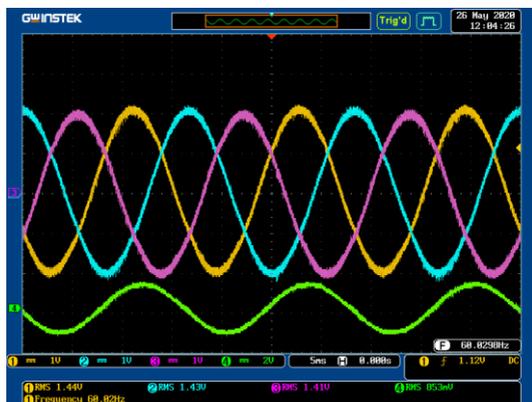
如圖 2.17 所示，GPL-500 之 1TS、2TS 設定為 ON，3TS 設定為 OFF，此時負載為不平衡載。

圖 2.17
GPL-500 不平衡
載設定



如圖 2.18 所示，於不平衡載時，觀測 V_{o-AB} 、 V_{o-BC} 與 V_{o-CA} 之 RMS 值為 1.44V(實際值為 50.174V)、1.43V(實際值為 49.826V)、1.41V(實際值為 49.129V)，三相電壓依舊維持平衡狀態。

圖 2.18
不平衡載之 V_o 實測波形



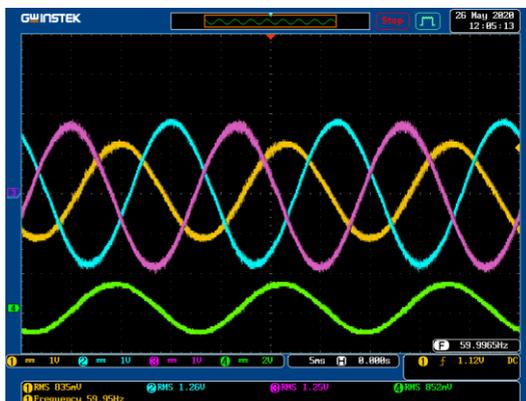
如圖 2.19 所示，將示波器探棒換至 IL-A、IL-B 與 IL-C 觀測。

圖 2.19
示波器探棒接線圖



如圖 2.20 所示，於不平衡載時，觀測 IL-A、IL-B 與 IL-C 之 RMS 值分別為 0.835A(實際值為 1.751A)、1.26A(實際值為 2.643A)、1.25V(實際值為 2.622A)，可發現負載電流為不平衡狀態。

圖 2.20
不平衡載之 IL 實測波形



實驗測試完畢後，依序關閉 PEK-530→PSW160-7.2→PEK-005A→GPL-500。

依照 GPL-500 之空載、半載、滿載及不平衡載設定下，依序將量測之 V_o 、 I_o 與 I_L 填入至表 2.1 與 2.2，且參考表 0.1 之感測比例，填入實際值。

表 2.1 GPL-500 不同設定下之輸出電壓電流量測數據

GPL-500	V_o -AB(Vrms) (量測值)	V_o -AB(Vrms) (實際值)	V_o -BC(Vrms) (量測值)	V_o -BC(Vrms) (實際值)
空載	1.43V	49.826V	1.42V	49.477V
半載	1.42V	49.477V	1.41V	49.129V
滿載	1.43V	49.826V	1.42V	49.477V
不平衡載	1.44V	50.174V	1.43V	49.826V

GPL-500	V_o -CA(Vrms) (量測值)	V_o -CA(Vrms) (實際值)	I_o -A(Irms) (量測值)	I_o -A(Irms) (實際值)
空載	1.43V	49.826V	0.166A	0.348A
半載	1.43V	49.826V	0.711A	1.482A
滿載	1.42V	49.477V	1.37A	2.873A
不平衡載	1.41V	49.129V		

表 2.2 GPL-500 不平衡載下之負載電流量測數據

GPL-500	IL-A(Vrms) (量測值)	IL-A(Vrms) (實際值)	IL-B(Vrms) (量測值)	IL-B(Vrms) (實際值)	IL-C(Vrms) (量測值)	IL-C(Vrms) (實際值)
不平衡載	0.835A	1.751A	1.26A	2.643A	1.25A	2.622A

結論

本實驗為三相逆變器系統，藉由閉迴路控制，可使三相輸出電壓於空載至滿載下，皆可維持穩定輸出且平衡，三相輸出電流逐漸增加。且切換至不平衡載時，負載電流雖為不平衡狀態，但三相輸出電壓仍可維持平衡。

實驗 3 三相並網逆變器

電路模擬

逆變器規格如下：

DC Voltage $V_{DC} = 100V$

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

$F_s = 18kHz$, $V_{tri} = 10V_{pp}$ (PWM)

$C_d = 330\mu F$, $L = 1mH$, $C = 10\mu F$

$K_s = 0.3$ (AC current sensing factor)

$K_v = 1/60$ (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 3.1:

PSIM 檔名為 : PEK-530_Sim3_3P_GC_Inv(60Hz)_V11.1.5_V1.1

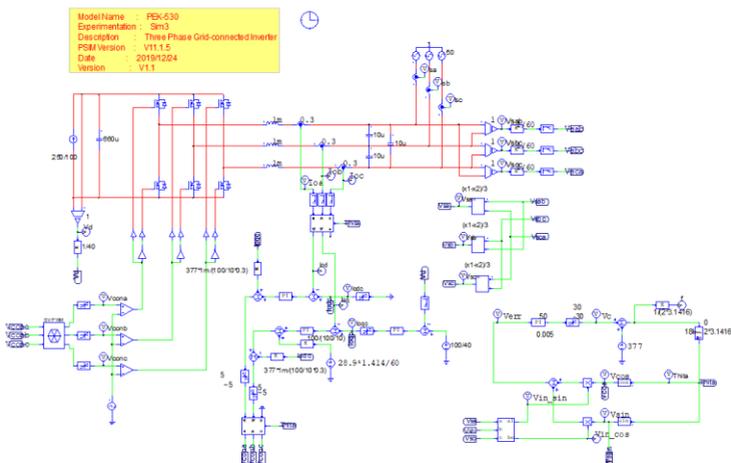


圖 3.1 實驗三 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 3.2, 3.3:

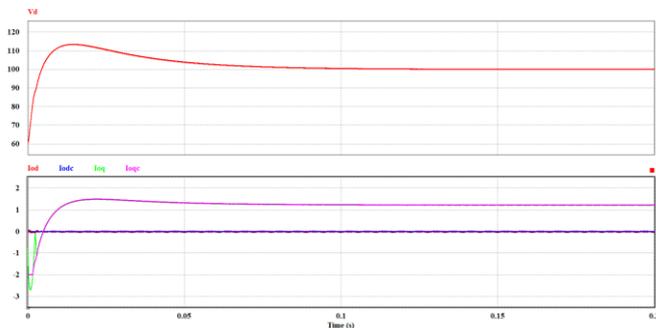


圖 3.2 實驗三類比電路模擬波形

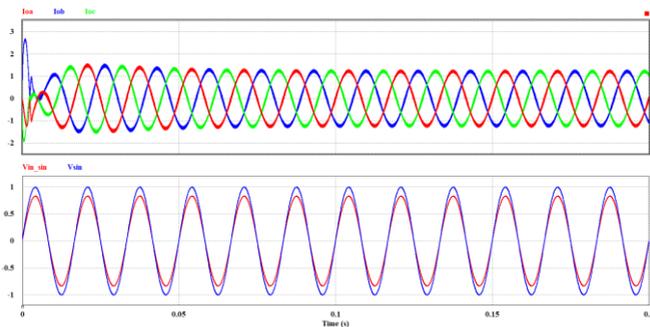


圖 3.3 實驗三類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 3.4

PSIM 檔名為：PEK-530_Lab3_3P_GC_Inv(60Hz)_V11.1.5_V1.1

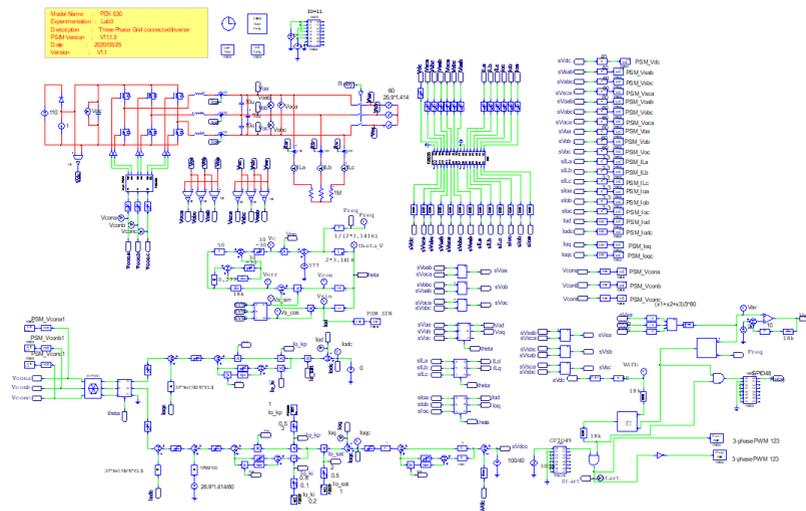


圖 3.4 實驗三 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 3.5:

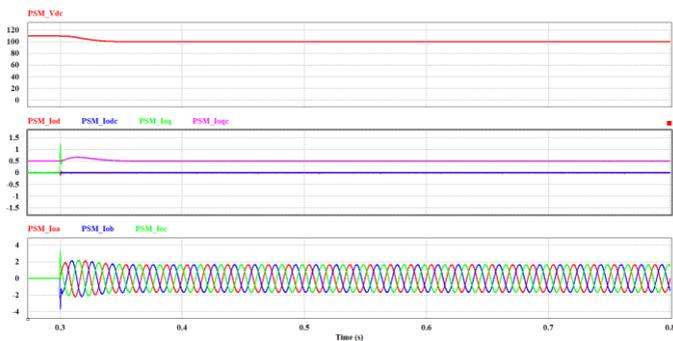


圖 3.5 實驗三數位電路模擬波形

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-530 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 3.6，請依此圖完成接線，其使用電路為 Master。

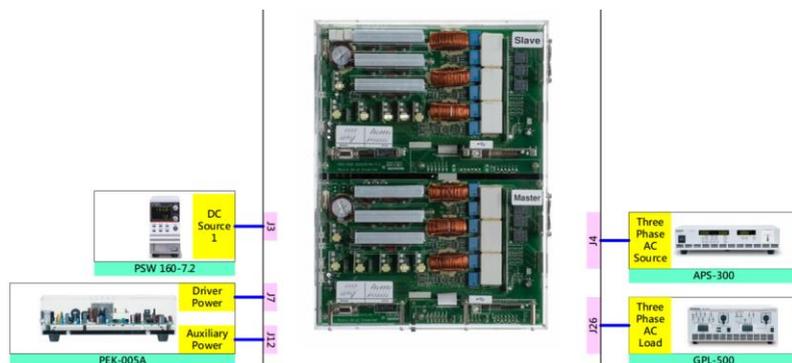


圖 3.6 實驗三接線圖

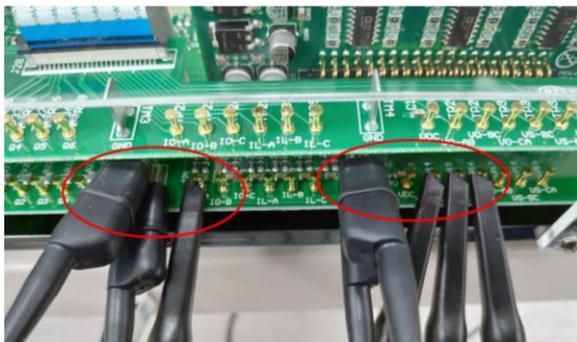
2. 接線完畢後，先確認 PEK-530 開關為 OFF，之後開啟 PEK-005A 的開關，開啟後 DSP 的紅色顯示燈亮起，如圖 3.7，此時表示 DSP 電源正常。

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. 如圖 3.8 所示，將示波器探棒分別接至 Vo-AB, Vo-BC, Vo-CA 與 Io-A，探棒之 GND 接至模塊之 GND，模塊中量測點皆為共地。

圖 3.8
示波器探棒接線圖



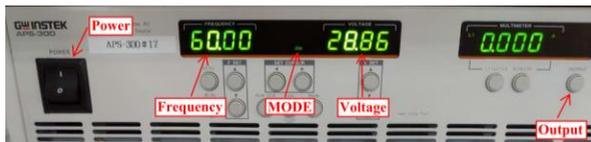
5. 如圖 3.9 所示，PSW160-7.2 操作步驟為：開啟 PSW160-7.2 電源→點選 Set 鍵，藉由電壓旋鈕將電壓調整至 110V，電流旋鈕將電流調整至 1A。

圖 3.9
PSW 設定圖



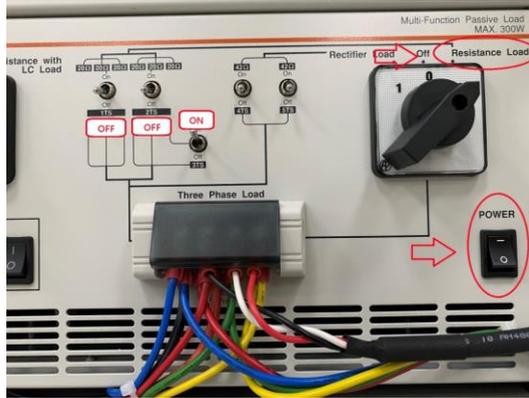
6. 如圖 3.10 所示，APS-300 操作步驟為：開啟 APS-300 電源→APS-300 設定頻率為 60Hz →操作模式為 3P4W→電壓為 28.86V。

圖 3.10
APS-300 設定圖



7. 如圖 3.11 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 3.11
GPL-500 空載設
定



- 設定完畢後，開啟 PSW 與 APS-300 電源輸出，最後將 PEK-530 開關開啟。

實驗目的

探討在不同負載功率條件下，逆變器與市電間功率變化。

實驗結果

(1) 空載

如圖 3.12 為三相電壓輸出 V_{o-AB} 、 V_{o-BC} 與 V_{o-CA} 的量測波形。

如圖 3.13 所示，PSW 輸出功率為 99.86W。在空載的情況下，逆變器所產生之功率將由 APS-300 吸收，因此可看見 APS-300 所顯示功率為單相-31.6W，故三相總功率為 $-31.6W \times 3 = -94.8W$ (負號表示吸收功率)。

圖 3.12
 V_o 實測波形

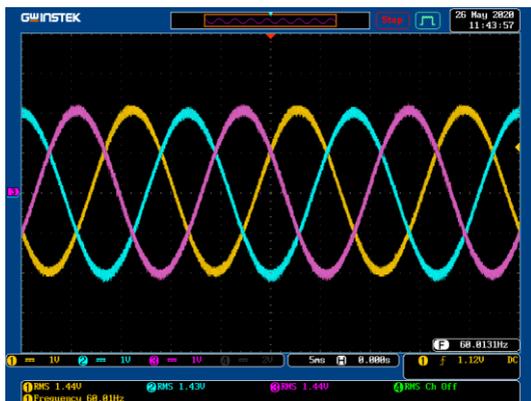


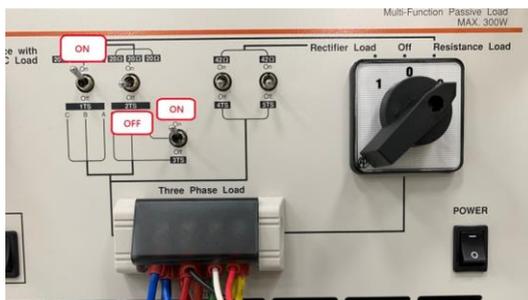
圖 3.13
空載時 PSW 與
APS-300 的功率
狀態



(2) 半載(20Ω)

1TS, 3TS 設定為 ON，2TS 設定為 OFF，如圖 3.14，此時負載為半載

圖 3.14
GPL-500 半載設定



如圖 3.15 所示，於半載情況下，PSW 輸出功率為 99.88W，此時負載所消耗功率提升至 125W，故 PSW 輸出功率無法滿足負載需求，此時 APS-300 需提供 25W 以維持系統之功率平衡，因此可看見 APS-300 功率為單相 10.1W，三相總功率為 $10.1W \times 3 = 30.3W$ 。

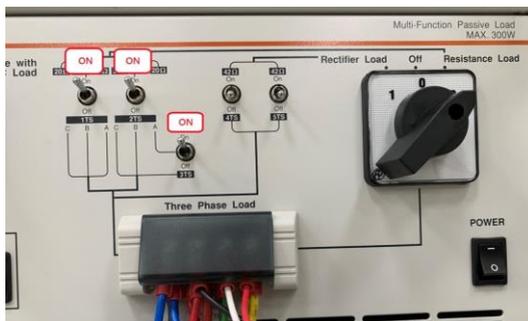
圖 3.15
半載下 PSW 與
APS-300 的功率
狀態



(3) 滿載(10Ω)

1TS, 2TS, 3TS 設定為 ON，如圖 3.16，此時負載為滿載。

圖 3.16
GPL-500 滿載設定



如圖 3.17 所示，於滿載情況下，PSW 輸出功率為 99.85W，此時負載所消耗功率提升至 250W，故 PSW 輸出功率無法滿足負載需求，此時 APS-300 需提供 150W 以維持系統之功率平衡，因此可看見 APS-300 功率為單相 50.6W，三相總功率為 $50.6W \times 3 = 151.8W$ 。

圖 3.17
滿載下 PSW 與
APS-300 的功率
狀態



實驗測試完畢後，依序關閉 PEK-530→PSW160-7.2→PEK-005A→GPL-500。

將不同負載下的 PSW 與 APS-300 的功率依序填入表 3.1

表 3.1 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)	99.86W	-94.8W	$99.86 + (-94.8) \div 0$
中載(125W)	99.88W	30.3W	$99.88 + 30.3 \div 125$
滿載(250W)	99.85W	151.8W	$99.85 + 151.8 \div 250$

結論

本實驗為三相並網逆變器系統，當逆變器所提供之功率大於負載所需功率時，會將剩餘功率饋回市電，反之當逆變器之功率不足以支撐負載所消耗時，此時市電輸出功率來補足負載功率需求，因而維持系統之功率平衡。

實驗 4 三相並網逆變器

PQ 控制

電路模擬

逆變器規格如下：

DC Voltage $V_{DC} = 100V$

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

$F_s = 18kHz$, $V_{tri} = 10V_{pp}$ (PWM)

$C_d = 330\mu F$, $L = 1mH$, $C = 10\mu F$

$K_s = 0.3$ (AC current sensing factor)

$K_v = 1/60$ (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-530_Sim4_3P_GC_Inv_PQ(60Hz)_V11.1.5_V1.1

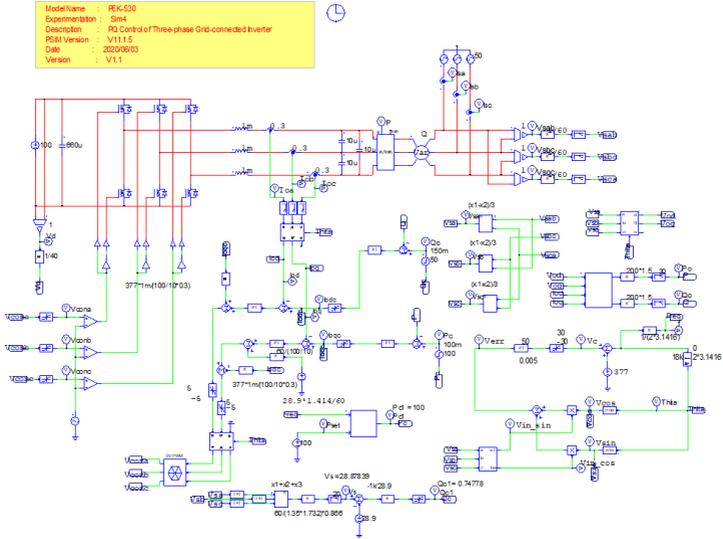


圖 4.1 實驗四 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 4.2:

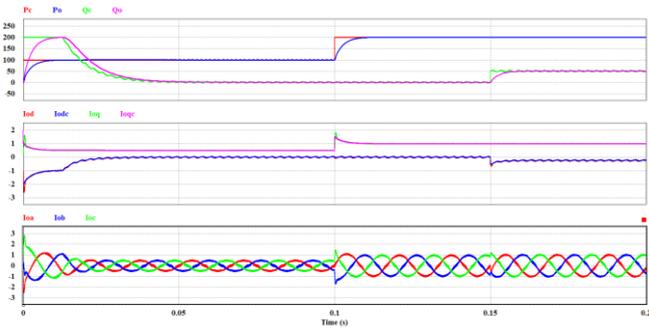


圖 4.2 實驗四類比電路模擬波形

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-530_Lab4_3P_GC_Inv_PQ(60Hz)_V11.1.5_V1.1

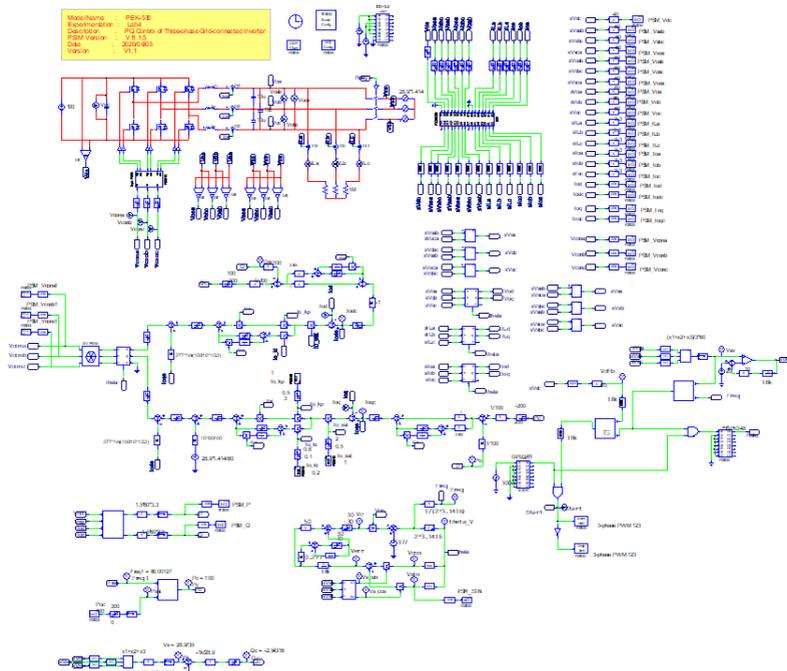


圖 4.3 實驗四 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 4.4, 4.5:

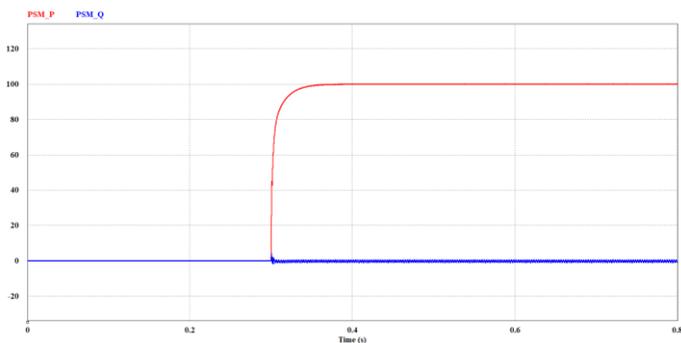


圖 4.4 實驗四數位電路模擬波形

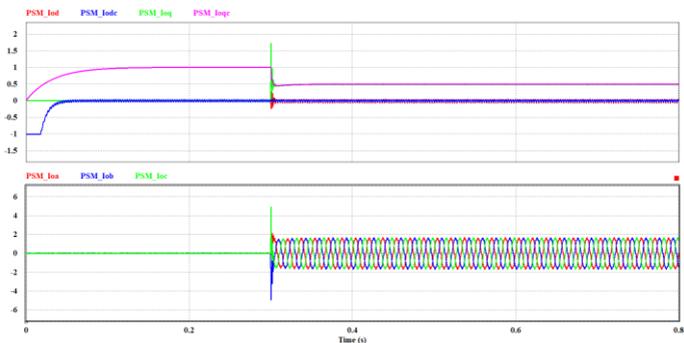


圖 4.5 實驗四數位電路模擬波形

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-530 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 4.6，請依此圖完成接線，其使用電路為 Master。

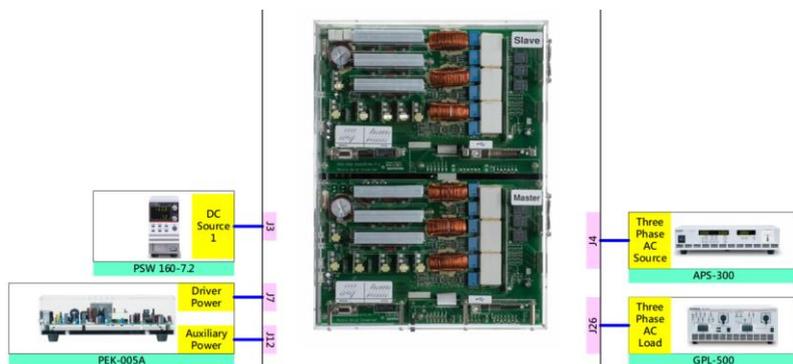


圖 4.6 實驗四接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-530 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 4.7，此時表示 DSP 電源正常。

圖 4.7

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。

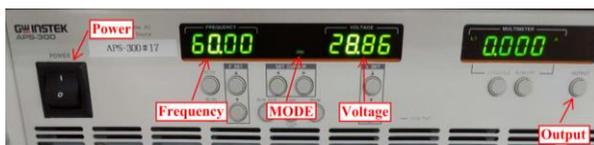
4. 如圖 4.8 所示，PSW160-7.2 操作步驟為：開啟 PSW160-7.2 電源→點選 Set 鍵，藉由電壓旋鈕將電壓調整至 100V，電流旋鈕將電流調整至 2A。

圖 4.8
PSW 設定圖



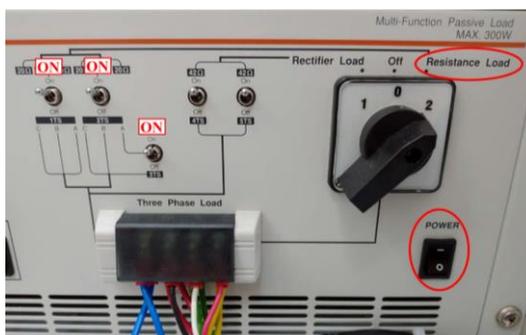
5. 如圖 4.9 所示，APS-300 操作步驟為：開啟 APS-300 電源→APS-300 設定頻率為 60Hz →操作模式為 3P4W→電壓為 28.86V。

圖 4.9
APS-300 設定圖



6. 如圖 4.10 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, 3TS 皆設定為 ON，此設定為滿載模式。

圖 4.10
GPL-500 滿載設定



7. 設定完畢後，開啟 PSW 與 APS-300 電源輸出，最後將 PEK-530 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)

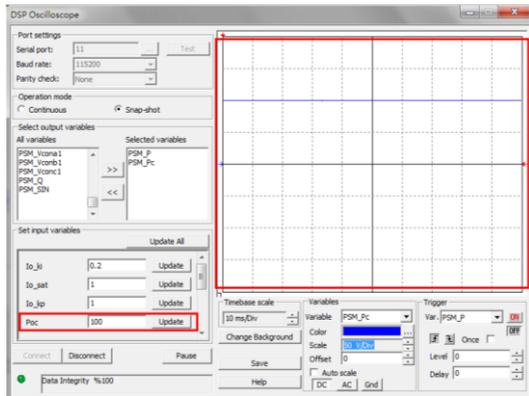
(1) 頻率為 60Hz

如圖 4.11, 4.12 所示，當 APS-300 設定頻率為 60Hz 時，實功命令值 PSM_Poc 設定為 100，DSP 示波器上顯示為 100W。

圖 4.11
APS-300 設定頻
率為 60Hz



圖 4.12
APS-300 頻率為
60Hz 之 DSP 示
波器實功波形



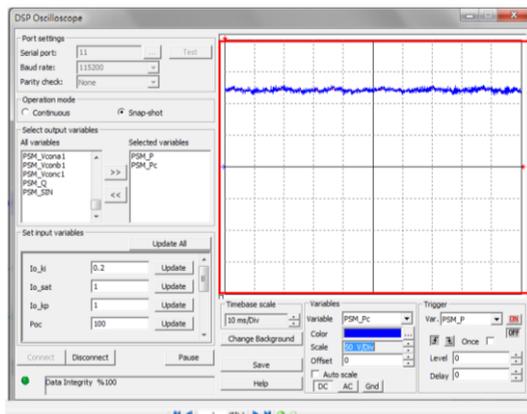
(2) 頻率為 59.3Hz

如圖 4.13、4.14 所示，當 APS-300 頻率調整為 59.3Hz 時，DSP 示波器上之功率上升。

圖 4.13
APS-300 設定頻
率為 59.3Hz



圖 4.14
APS-300 頻率為
59.3Hz 之 DSP 示
波器實功波形



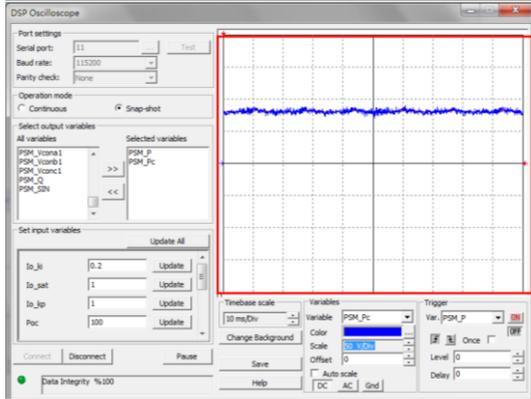
(3) 頻率為 60.7Hz

如圖 4.15、4.16 所示，當 APS-300 頻率調整為 60.7Hz 時，DSP 示波器上之功率下降。

圖 4.15
APS-300 設定頻
率為 60.7Hz



圖 4.16
APS-300 頻率為
60.7Hz 之 DSP 示
波器實功波形



2. 虛功控制(Q-V)

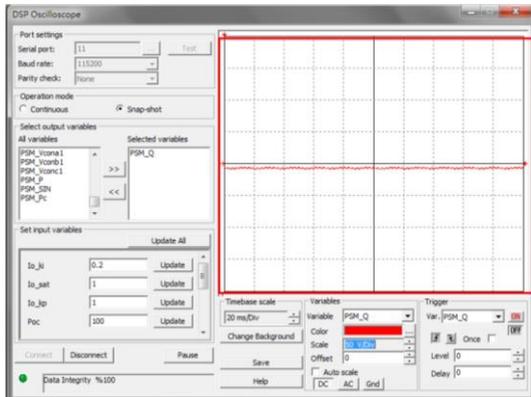
(1) 電壓為 28.86V

如圖 4.17、4.18 所示，當 APS-300 設定電壓為 28.86V 時，DSP 示波器上顯示為虛功波形。

圖 4.17
APS-300 電壓為
28.86V 之設定



圖 4.18
市電電壓 28.86V
時 DSP 示波器虛
功波形



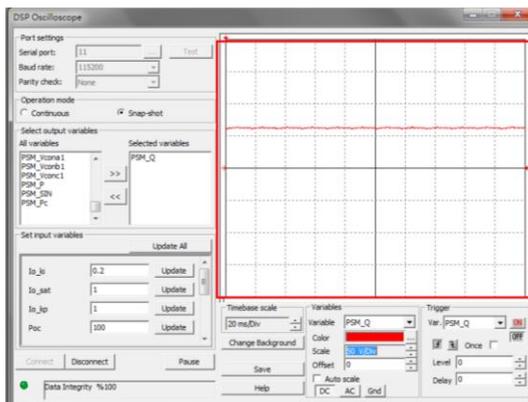
(2) 電壓為 26.86V

如圖 4.19、4.20 所示，當 APS-300 設定電壓為 26.86V 時，DSP 示波器上顯示為虛功波形。

圖 4.19
APS-300 電壓為
26.86V 之設定



圖 4.20
市電電壓 26.86V
時 DSP 示波器虛
功波形



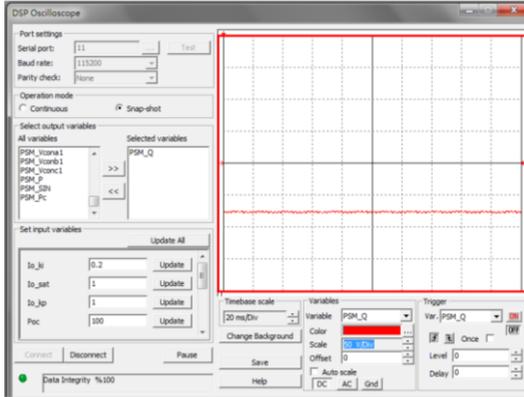
(3) 電壓為 30.86V

如圖 4.21、4.22 所示，當 APS-300 設定電壓為 30.86V 時，DSP 示波器上顯示為虛功波形。

圖 4.21
APS-300 電壓為
30.86V 之設定



圖 4.22
市電電壓 30.86V
時 DSP 示波器虛
功波形



結論

由實驗結果得知，當市電頻率變化時，逆變器會依頻率變化的程度調整輸出實功之大小。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之大小。

實驗 5 三相逆變器 P- ω 及 Q-V 下垂控制法

電路模擬

逆變器規格如下：

DC Voltage $V_{DC} = 100V$

$F_s = 18kHz$, $V_{tri} = 10V_{pp}$ (PWM)

$C_d = 330\mu F$, $L = 1mH$, $C = 10\mu F$

$K_s = 0.3$ (AC current sensing factor)

$K_v = 1/60$ (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-530_Sim5_3P_SA_Inv_PQ(60Hz)_V11.1.5_V1.1

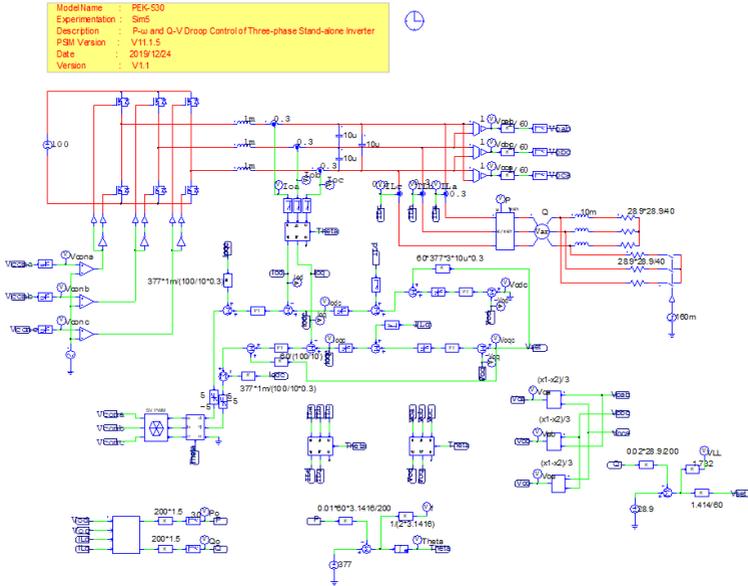


圖 5.1 實驗五 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 5.2, 5.3:

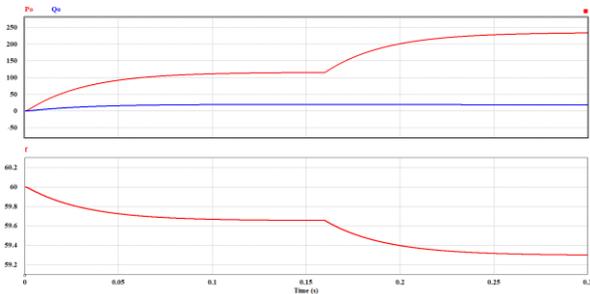


圖 5.2 實驗五類比電路模擬波形

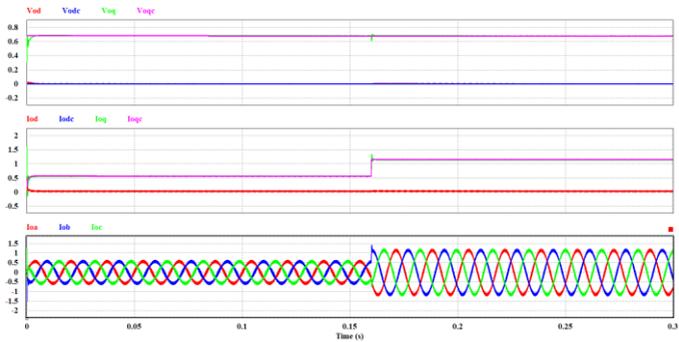


圖 5.3 實驗五類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 5.4

PSIM 檔名為：PEK-530_Lab5_3P_SA_Inv_PQ(60Hz)_V11.1.5_V1.1

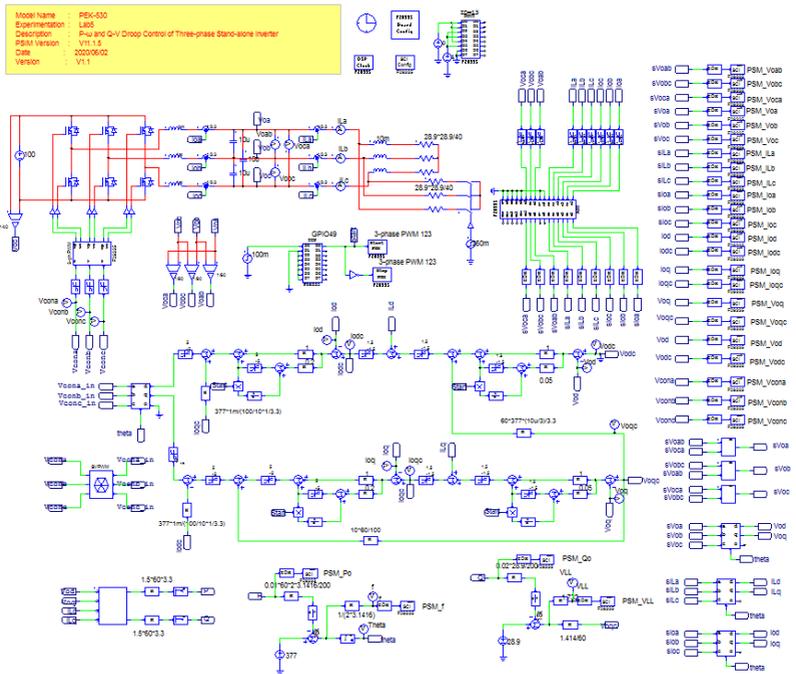


圖 5.4 實驗五 PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 5.5, 5.6:

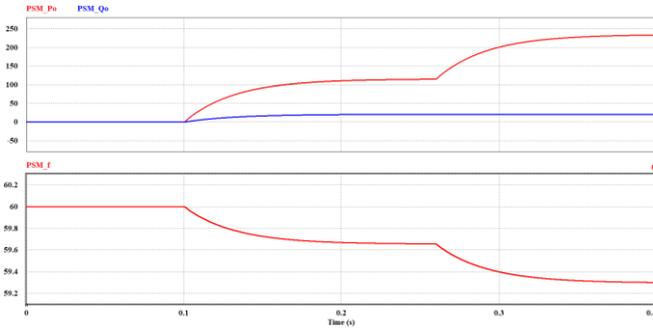


圖 5.5 實驗五數位電路模擬波形

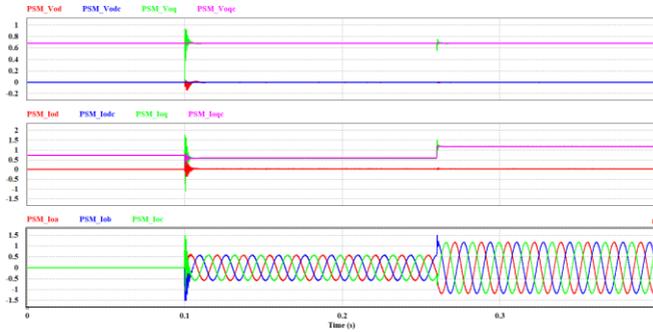


圖 5.6 實驗五數位電路模擬波形

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-530 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, GPL-600)
- PC 一台

實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 5.7，請依此圖完成接線，其使用電路為 Master。

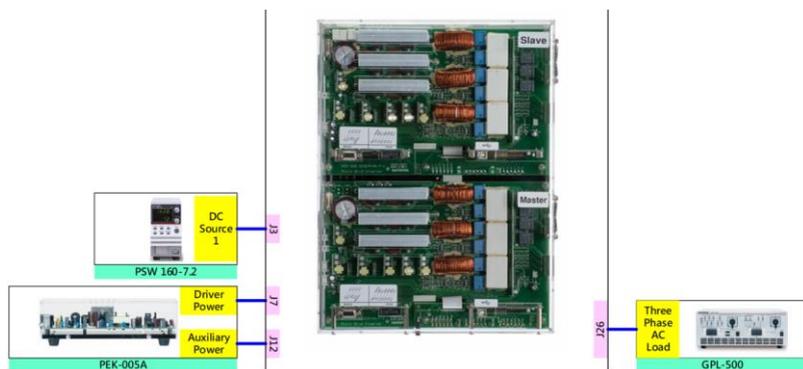


圖 5.7 實驗五接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-530 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 5.8，此時表示 DSP 電源正常。

圖 5.8

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 5.9 所示，模塊中量測點皆為共地。將示波器探棒分別接至 Vo-AB 與 Io-A，探棒之 GND 接至模塊之 GND，模塊中量測點皆為共地。

圖 5.9
示波器探棒接線圖



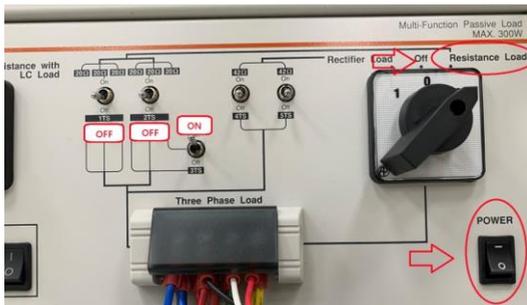
5. 如圖 5.10 所示，PSW160-7.2 操作步驟為：開啟 PSW160-7.2 電源 → 點選 Set 鍵，藉由電壓旋鈕將電壓調整至 100V，電流旋鈕將電流調整至 3A。

圖 5.10
PSW 設定圖



6. 如圖 5.11 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 5.11
GPL-500 空載設定



7. 設定完畢後，將 PSW 電源輸出開啟後，最後將 PEK-530 開關開啟。

實驗目的

此實驗為下垂控制法應用於三相逆變器系統，當實功及虛功率變化時，觀察輸出電壓及頻率是否有所變化。

實驗結果

實驗需將 DSP 示波器的量測波形儲存以便細部觀測，其操作步驟如圖 5.12 所示，為(1)選取所需儲存的波形→(2)按下 Pause→(3)按下 Save →(4)輸入檔名→(5)存檔→(6)以 Simview 開啟檔案→(7)選取觀測波形→(8)按下 Add→(9)所選取之波形會顯示在 Variables for display 下→(10)按下 OK 後即可觀測。

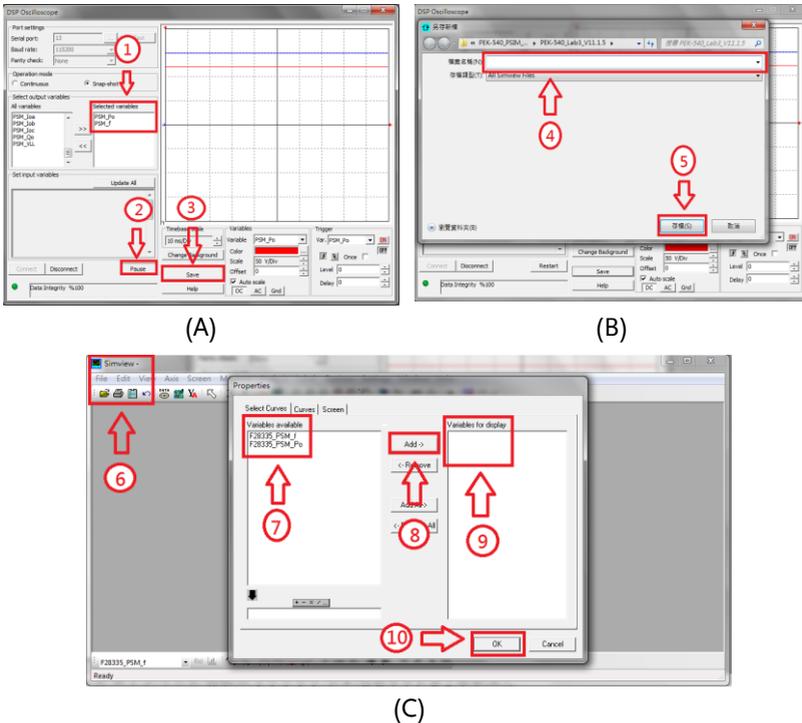


圖 5.12 DSP 示波器儲存波形操作步驟

1. P- ω 控制

(1) 空載

如圖 5.13, 5.14 所示，空載時，由示波器與 DSP 示波器皆可看到輸出頻率為 60Hz。

圖 5.13
空載時示波器量測波形

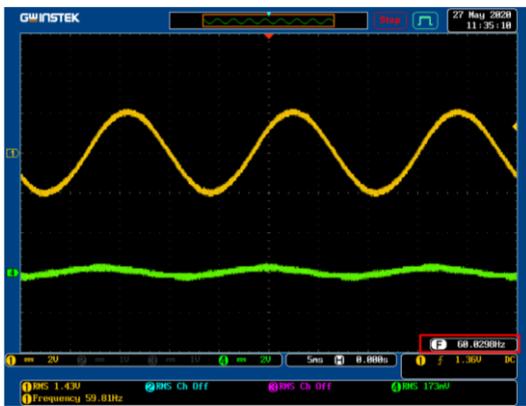
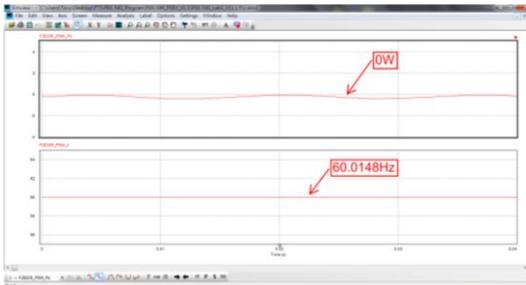


圖 5.14
空載時 DSP 示波器波形



(2) 半載(20 Ω)

如圖 5.15 所示，GPL-500 之 1TS, 3TS 設定為 ON，2TS 設定為 OFF，此時負載為半載。

如圖 5.16, 5.17 所示，於半載時，由示波器與 DSP 示波器皆可看到輸出頻率為 59.6Hz。

圖 5.15
GPL-500 半載設定

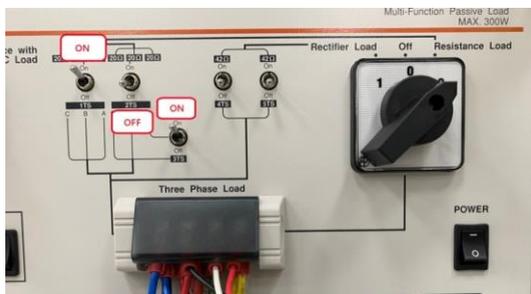
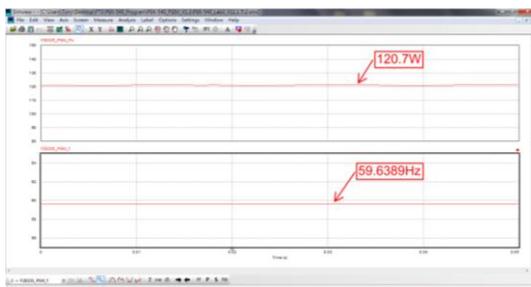


圖 5.16
半載時示波器量測波形



圖 5.17
半載時 DSP 示波器波形



(3) 滿載(10Ω)

如圖 5.18 所示，GPL-500 之 1TS, 2TS, 3TS 設定皆為 ON，此時負載為滿載。

如圖 5.19, 5.20 所示，於滿載時，由示波器與 DSP 示波器皆可看到輸出頻率為 59.2Hz。

圖 5.18
GPL-500 滿載設定

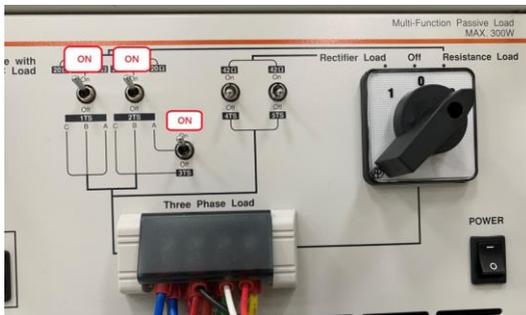


圖 5.19
滿載時示波器量測波形

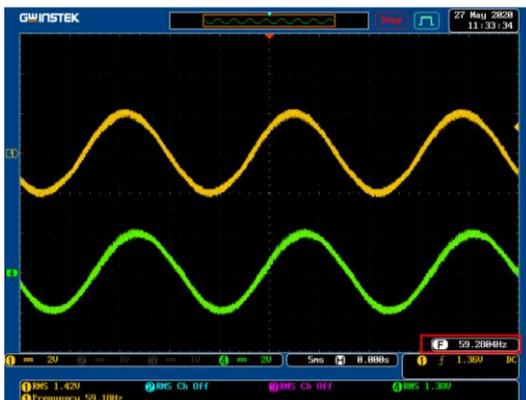
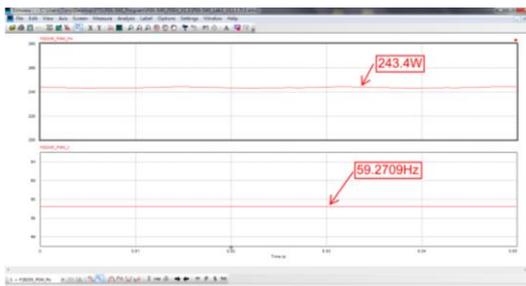


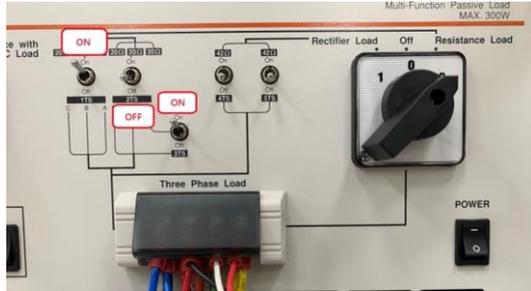
圖 5.20
滿載時 DSP 示波器波形



2. Q-V 控制

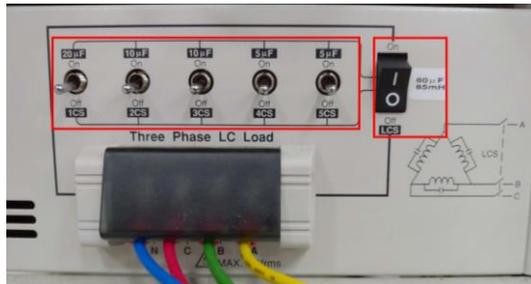
如圖 5.21 所示，GPL-500 之 1TS、3TS 設定為 ON，2TS 設定為 OFF，此時負載為半載。

圖 5.21
GPL-500 半載設定



如圖 5.22 所示，GPL-600 操作步驟為：開啟 LCS → 開啟電容 CS (依實驗所需)。

圖 5.22
GPL-600 操作步驟



(1) GPL-600 LCS、電容皆 OFF

如圖 5.23, 5.24 所示，為 GPL-600 LCS、電容皆 OFF 時，觀測虛功為 1.775W， V_{LL} 電壓為 50.046V。

圖 5.23
GPL-600LCS、電容皆 OFF

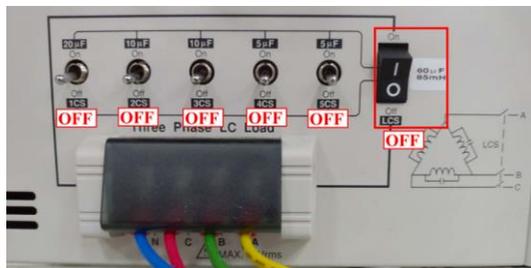
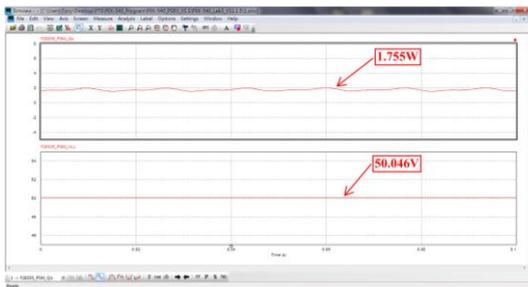


圖 5.24
DSP 示波器波形



(2) GPL-600 LCS, 電容皆 ON

如圖 5.25, 5.26 所示，為 GPL-600 LCS、電容全開狀態下，觀測虛功為 $-122.02W$ ， V_{LL} 電壓為 $50.665V$ 。

圖 5.25
GPL-600 LCS, 電容皆 ON

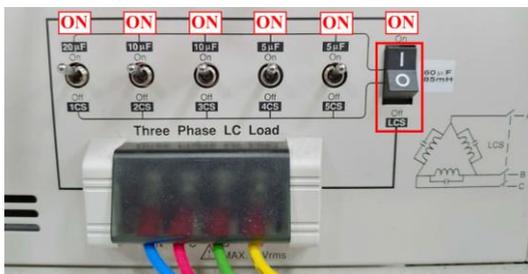
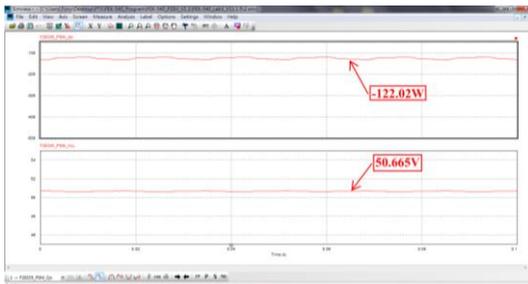


圖 5.26
DSP 示波器波形



實驗測試完畢後，依序關閉 PEK-530→PSW160-7.2→PEK-005A→GPL-500→GPL-600。

在 GPL-500 之空載、半載與滿載設定下，依序將量測之頻率 f 填入至表 5.1。

表 5.1 P 控制之頻率量測數據

GPL-500	f(頻率)
空載	60.0Hz
半載	59.6Hz
滿載	59.2Hz

在 GPL-500 為半載及 GPL-600 不同的設定下，依序將虛功 Q 與線電壓 V_{LL} 填入至表 5.2。

表 5.2 Q 控制之三相輸出電壓量測數據

GPL-600	Q(虛功)	V_{LL} (線電壓)
LCS, 電容全關	1.755W	50.046V
LCS, 電容全開	-122.02W	50.665V

結論

由實驗結果得知，透過下垂控制法，當實功增大時，頻率減小，當虛功變小時，線電壓 V_{LL} 增加。

實 驗 6 多組逆變器並聯控 制

電路模擬

逆變器規格如下：

DC Voltage $V_{DC} = 100V$

$F_s = 18kHz$, $V_{tri} = 10V_{pp}$ (PWM)

$C_d = 330\mu F$, $L = 1mH$, $C = 10\mu F$

$K_s = 0.3$ (AC current sensing factor)

$K_v = 1/60$ (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-530_Sim6_3P_SA_Inv_Parallel_VIDCM(60Hz)_V11.1.5_V1.1

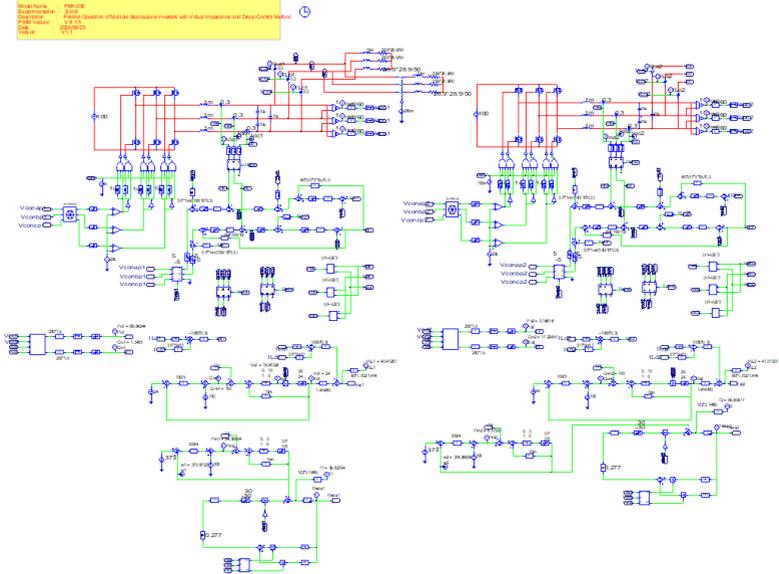


圖 6.1 實驗六 PSIM 類比電路圖

其模擬結果如圖 6.2, 6.3:

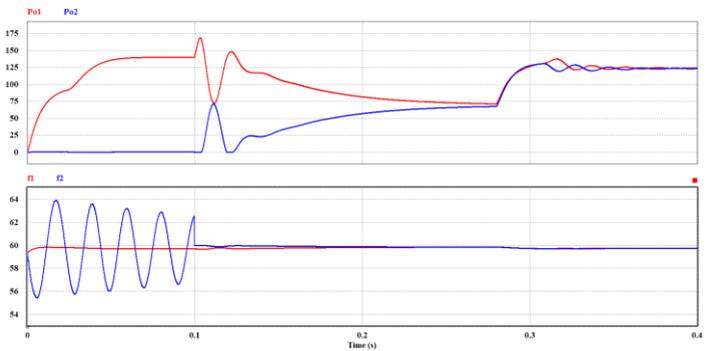


圖 6.2 實驗六類比電路模擬波形

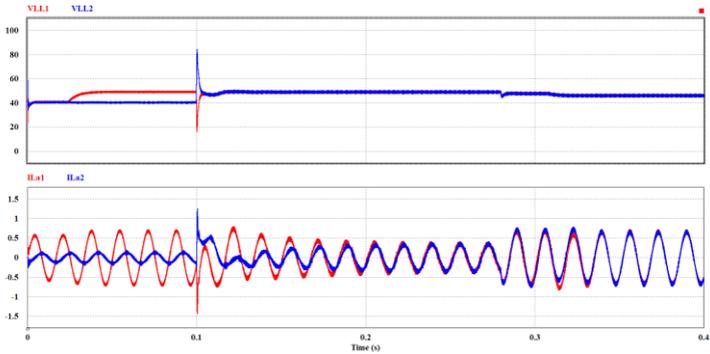


圖 6.3 實驗六類比電路模擬波形

再參照類比電路所建立的數位電路如下圖 6.4

PSIM 檔名為 : PEK-530_Lab6-1_3P_SA_Inv_Parallel_VIDCM_Master(60Hz)_V11.1.5_V1.1

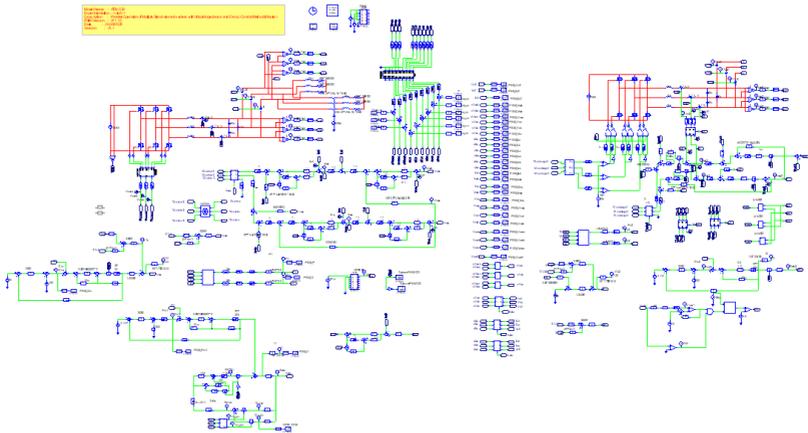


圖 6.4 實驗六 Master PSIM 數位電路圖

其模擬結果如圖 6.5, 6.6:

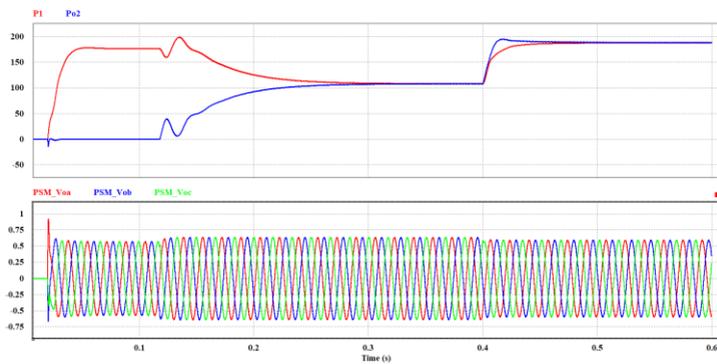


圖 6.5 實驗六 Master 數位電路模擬波形

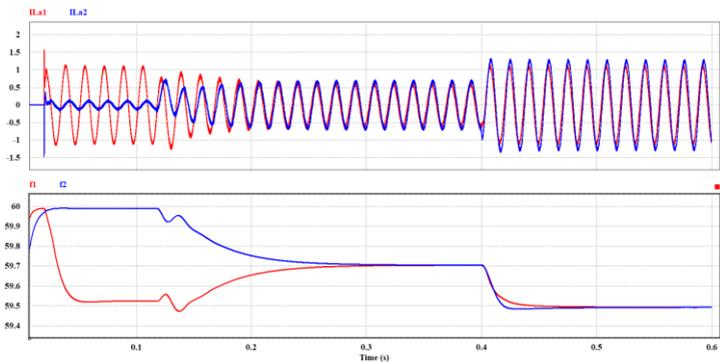


圖 6.6 實驗六 Master 數位電路模擬波形

參照類比電路所建立的 Slave 數位電路如圖 6.7:

PSIM 檔名為 : PEK-530_Lab6-2_3P_SA_Inv_Parallel_VIDCM_Slave
(60Hz)_V11.1.5_V1.1

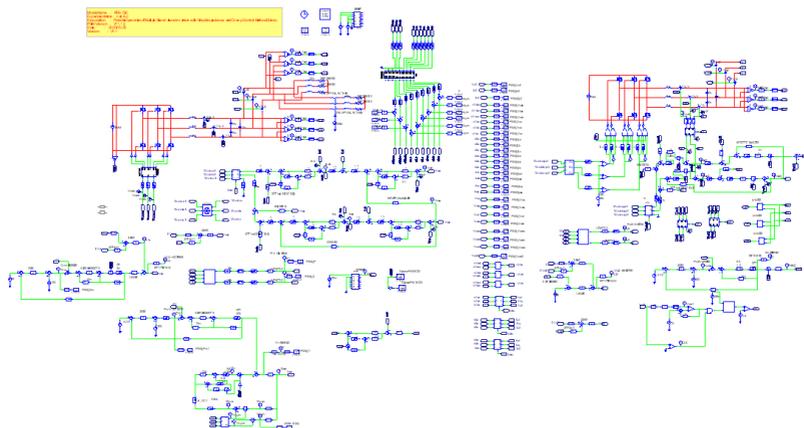


圖 6.7 實驗六 PSIM Slave 數位電路圖

其模擬結果與 Master 的電路圖相同，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-530 一台
- PEK-005A 二台
- PEK-006 一台
- PTS-5000 一台(其中使用 GDS-2204E, PSW160-7.2*2, GPL-500)
- PC 一台

實驗步驟

1. 實驗接線圖如圖 6.8，請依此圖完成接線。

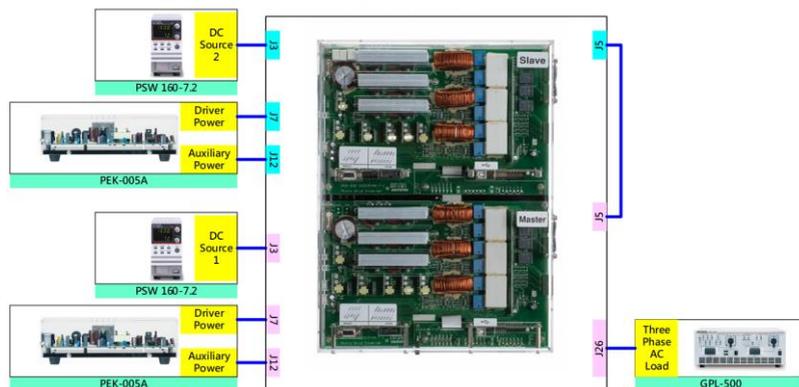


圖 6.8 實驗六接線圖

2. 接線完畢後，先確認 PEK-530 的 Master 與 Slave 開關為 OFF，之後分別開啟 PEK-005A 的開關，如圖 6.9 所示，開啟後 DSP 的紅色顯示燈亮起，此時代表 DSP 電源正常。

圖 6.9
DSP 正常工作畫面

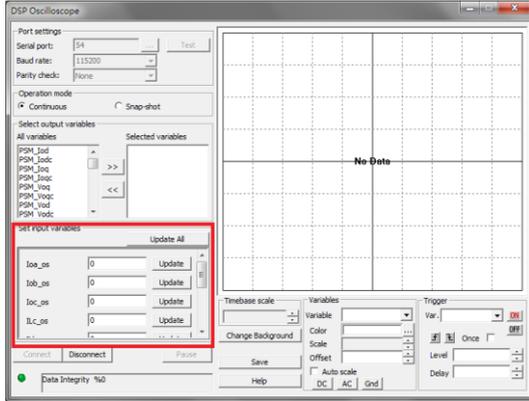


3. 請依照附錄 B(燒錄流程)進行燒錄，再請依照附錄 C(RS232 連線)進行連線。

4. 參數校正

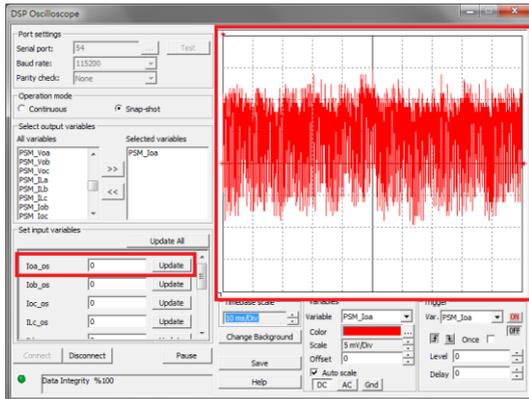
如圖 6.10 所示，PSIM 之 DSP 示波器初始命令皆為 0，若所量測之參數值有偏差而沒在零點上時，透過調整命令值，將量測參數校正歸零。

圖 6.10
量測參數之校正
命令



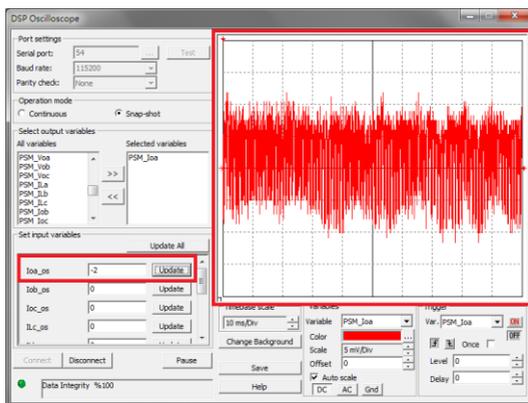
- Master 參數校正:
 - 如圖 6.11 所示，A 相輸出電流參數 “PSM_Ioa” 的波形與零點有偏差，因此需透過調整初始命令值 “Ioa_os” 使其波形與零點接近。

圖 6.11
PSM_Ioa 初始量
測波形



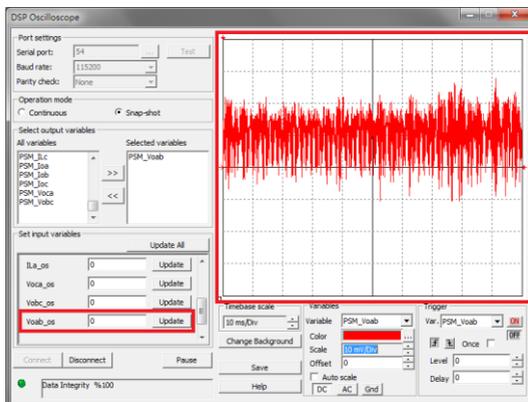
如圖 6.12 所示，將 “Ioa_os” 命令值調整為-2，可發現波形已與零點相當接近。

圖 6.12
PSM_Ioa 校正後
量測波形



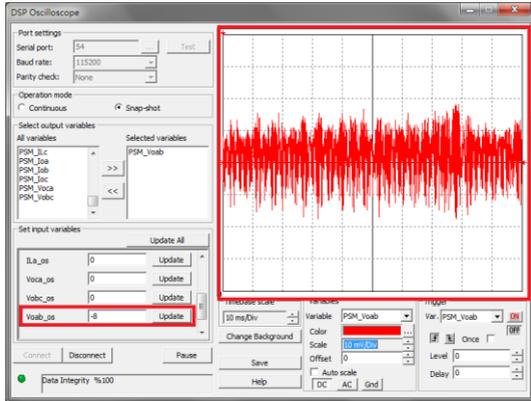
B. 如圖 6.13 所示，AB 臂線電壓參數 “PSM_Voab” 的波形與零點有偏差，因此需透過調整初始命令值 “Voab_os” 使其波形與零點接近。

圖 6.13
PSM_Voab 初始
量測波形



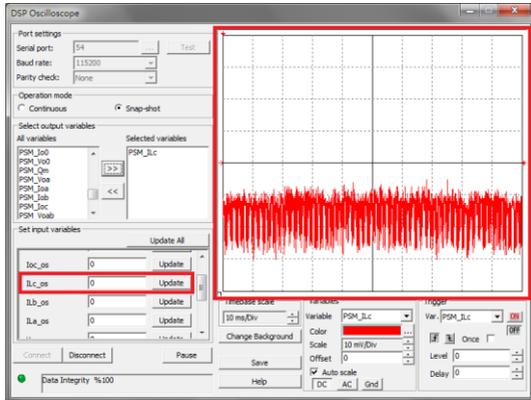
如圖 6.14 所示，將 “Voab_os” 命令值調整為-8，可發現波形已與零點相當接近。

圖 6.14
PSM_Voab 校正
後量測波形



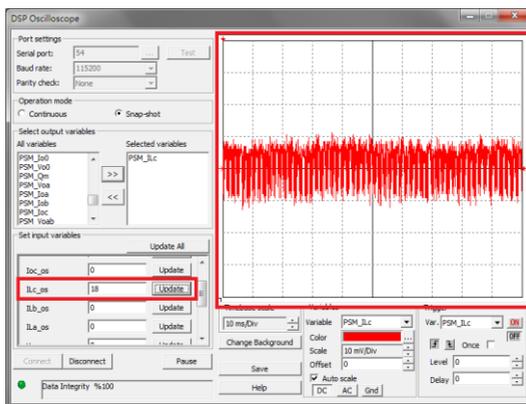
C. 如圖 6.15 所示，C 相負載電流參數 “PSM_ILc” 的波形與零點有偏差，因此需透過調整初始命令值 “ILc_os” 使其波形與零點接近。

圖 6.15
PSM_ILc 初始量
測波形



如圖 6.16 所示，將 ILc_os 命令值調整為 18，可發現波形已與零點相當接近。

圖 6.16
PSM_ILc 校正後
量測波形



- D. Master 之其他參數 Io-B、Io-C、Vo-BC、Vo-CA、IL-A 與 IL-B 也參照上述的方式來進行校正。
- E. 校正完畢後，可得如下表 6.1 的校正值(依不同機器校正值也不相同，Master 與 Slave 校正值也不同)

表 6.1 Master 各別參數的校正值

校正參數	校正值
Ioa	-2
Iob	1
Ioc	-3
ILa	3
ILb	3
ILc	18
Voab	-8
Vobc	-8
Voca	-10

F. 如圖 6.17 所示，校正完畢後，再次開啟 PSIM 檔案
 “PEK-530_Lab6-1_3P_SA_Inv_Parallel_VIDCM_Master(60Hz)_V11.1.5_V1.1”，並依序將表 6.1 的校正值回填至各參數，完成後儲存檔案並再次產生 C Code。

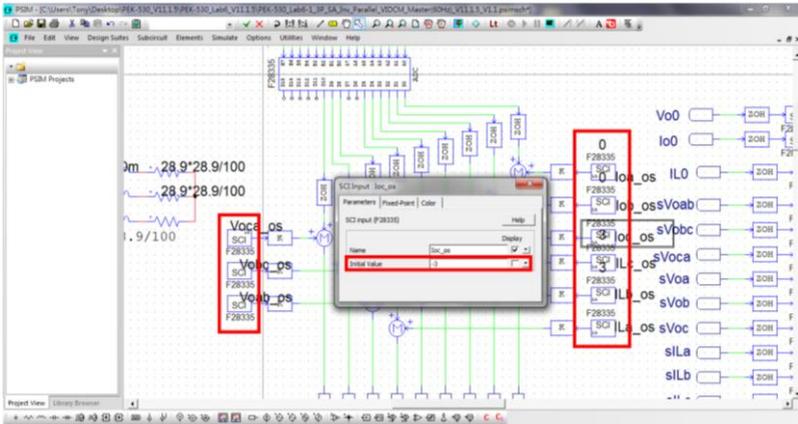
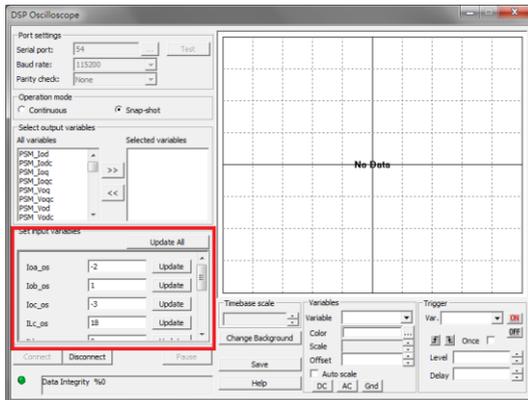


圖 6.17 將校正值回填至各參數

G. 參照附錄 B 將已存在於 CCS 的 PEK-530_Lab6-1 的檔案移除後，重新將已校正之 PSIM 檔案產生的 C Code 燒錄至 DSP 中。如圖 6.18 所示，可看到各參數的校正值已被寫入至 DSP 中。

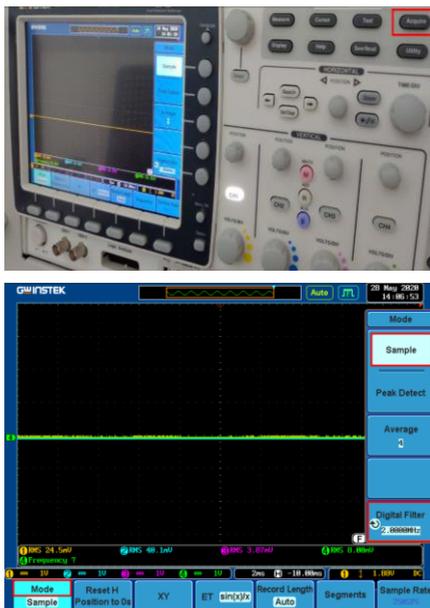
圖 6.18
 各參數命令值已被校正



- Slave 參數校正：
 請依照 Master 步驟進行 Slave 的校正。

5. 如圖 6.19 所示，本實驗需使用示波器之 Digital Filter 功能，其設定步驟為:Acquire→Mode→Sample→Digital Filter，並將濾波頻率設定為 2MHz。

圖 6.19
示波器 Digital
Filter 設定方式



6. 如圖 6.20 所示，將示波器探棒分別接至 Master Io-A, Io-B, Io-C 及 Slave Io-A，探棒之 GND 分別接至 Master 與 Slave 之 GND。

圖 6.20
示波器探棒接線
圖



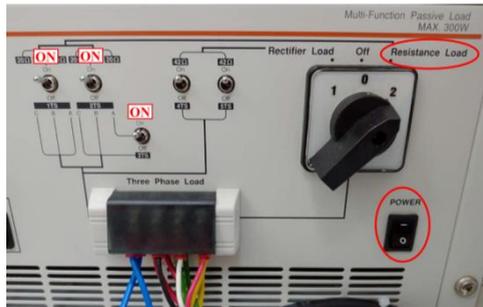
7. 如圖 6.21 所示，PSW160-7.2 操作步驟為：開啟 PSW160-7.2 電源 → 點選 Set 鍵，藉由電壓旋鈕將電壓調整至 100V，電流旋鈕將電流調整至 4A。

圖 6.21
PSW 設定圖



8. 如圖 6.22 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, 3TS 皆設定為 ON，此設定為滿載模式。

圖 6.22
GPL-500 滿載設定



9. 設定完畢後，分別開啟兩台 PSW 電源輸出，再將 PEK-530 的 Master 與 Slave 開關開啟。

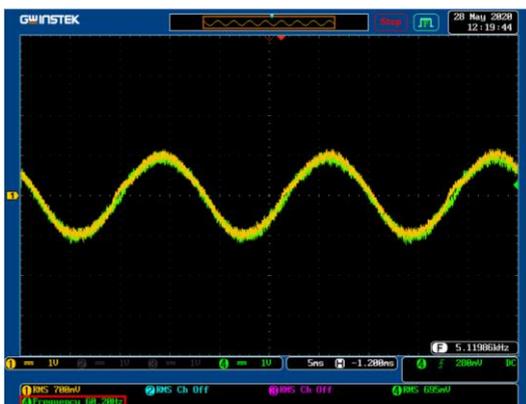
實驗目的

此實驗為逆變器之並聯系統，藉由虛擬阻抗下垂控制，觀測兩台逆變器均流的效果。

實驗結果

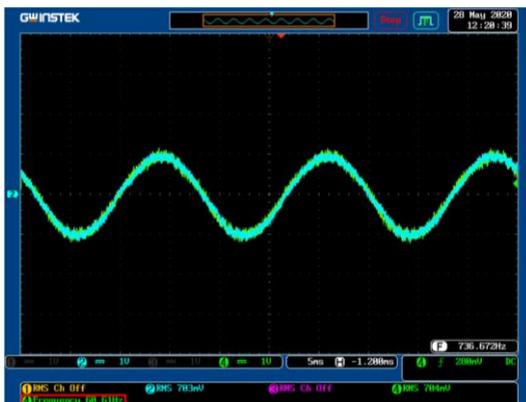
如圖 6.23 所示，觀測 Master Io-A 之 RMS 值為 0.7A (實際值為 1.468A)，Slave Io-A 之 RMS 值為 0.695A(實際值為 1.458A)。

圖 6.23
Master, Slave Io-A
實測波形



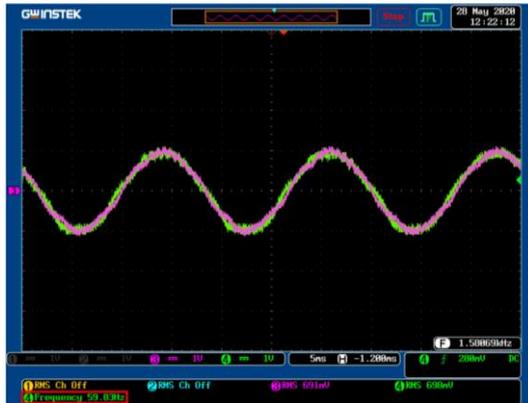
如圖 6.24 所示，觀測 Master Io-B 之 RMS 值為 0.703A (實際值為 1.474A)，Slave Io-B 之 RMS 值為 0.704A (實際值為 1.477A)。

圖 6.24
Master, Slave Io-B
實測波形



如圖 6.25 所示，觀測 Master Io-C 之 RMS 值為 0.691A (實際值為 1.449A)，Slave Io-C 之 RMS 值為 0.698A (實際值為 1.464A)。

圖 6.25
Master, Slave Io-C
實測波形



由圖 6.23-6.25 實測波形得知，經過命令值校正後，兩台逆變器有達到均流的效果。

如圖 6.26 所示，觀測 Master Io-A 之 RMS 值為 0.708A (實際值為 1.485A)、Io-B 之 RMS 值為 0.705A (實際值為 1.479A)、Io-C 之 RMS 值為 0.694A (實際值為 1.456A)。

如圖 6.27 所示，觀測 Slave Io-A 之 RMS 值為 0.689A (實際值為 1.445A)、Io-B 之 RMS 值為 0.695A (實際值為 1.458A)、Io-C 之 RMS 值為 0.703A (實際值為 1.474A)。

圖 6.26
Master 三相電流
實測波形

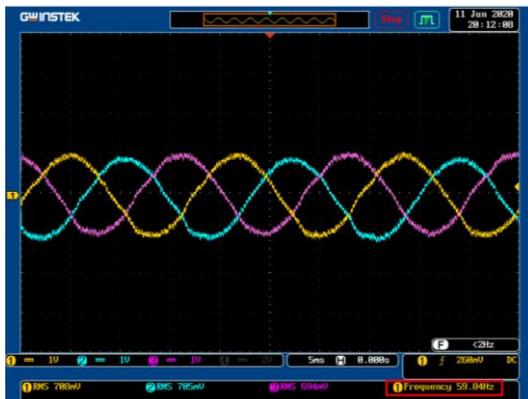
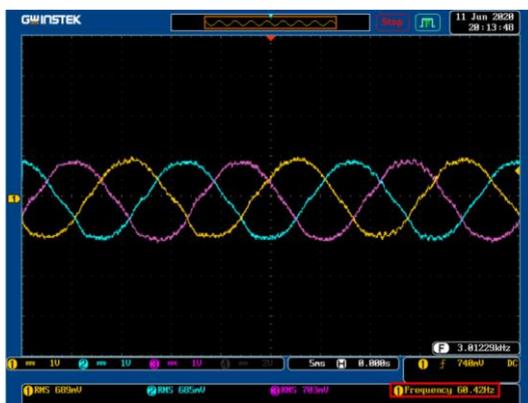


圖 6.27
Slave 三相電流實
測波形



由圖 6.26-6.27 實測波形得知，經過命令值校正後，兩台逆變器各自三相電流也維持平衡。

實驗測試完畢後，依序關閉 PEK-530 的 Master 與 Slave 開關→PSW160-7.2*2 → PEK-005A→GPL-500

依序將 Master 與 Slave 之量測電流 Io-A、Io-B 與 Io-C 填入至表 6.2，且參考表 0.1 之感測比例，填入實際值。

表 6.2 並聯模式之輸出電流量測數據

PEK-530	Vo-A(Vrms) (量測值)	Vo-A(Vrms) (實際值)	Vo-B(Vrms) (量測值)	Vo-B(Vrms) (實際值)
Master	0.708A	1.485A	0.705A	1.479A
Slave	0.689A	1.445A	0.695A	1.458A

PEK-530	Vo-C(Vrms) (量測值)	Vo-C(Vrms) (實際值)
Master	0.694A	1.456A
Slave	0.703A	1.474A

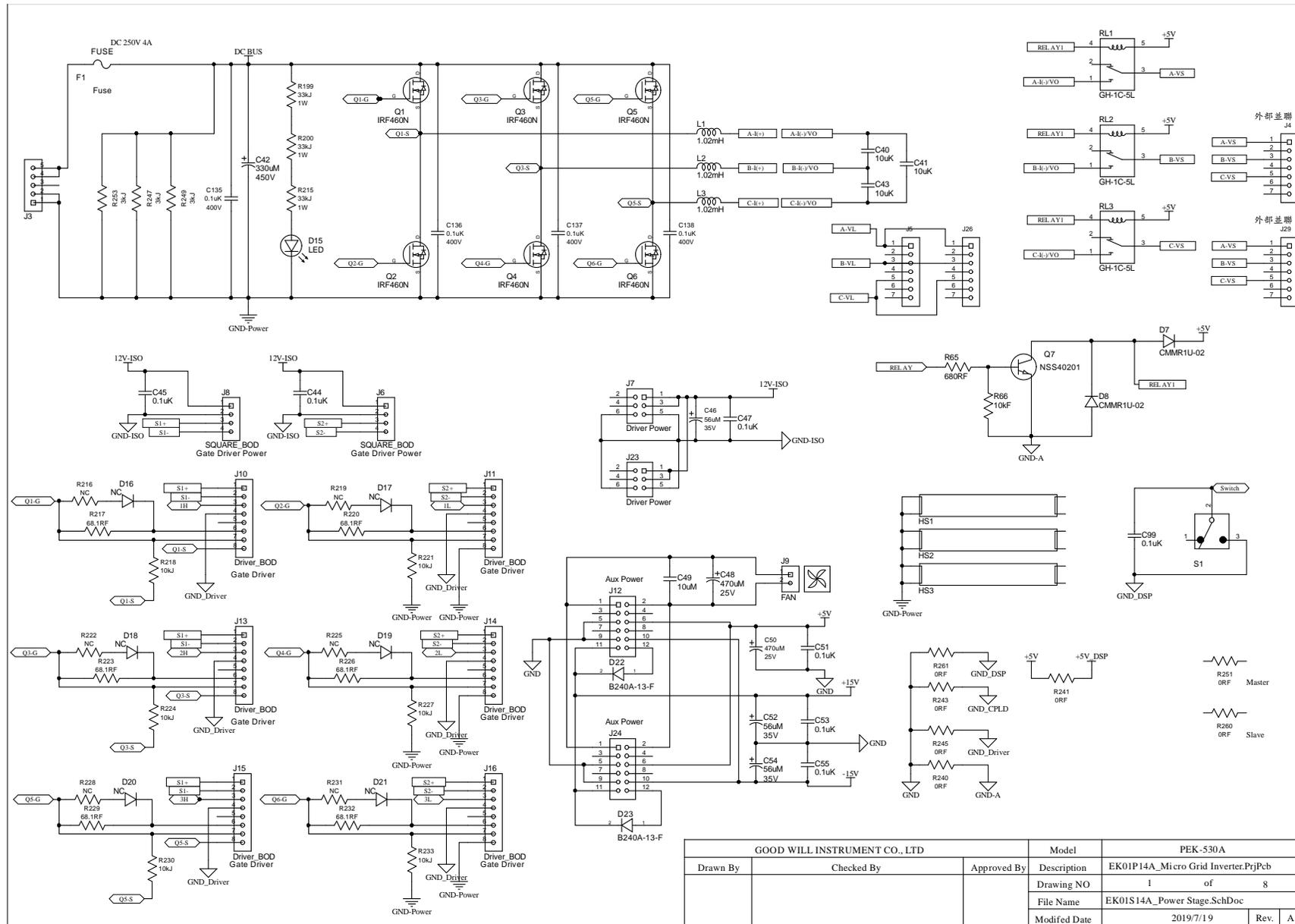
結論

此實驗為兩台三相逆變器並聯，藉由虛擬阻抗下垂法，可發現兩台逆變器間的電流與各自的三相電流均維持均流。

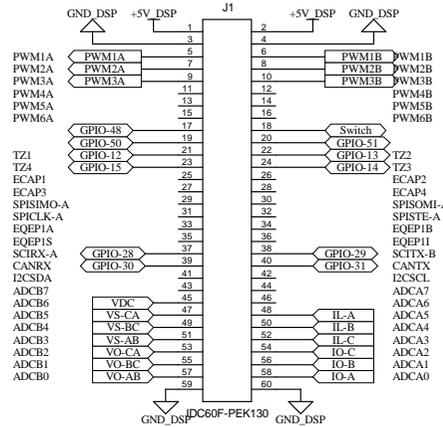
附錄 A PEK-530 電路圖

Micro Grid Inverter	91
F28335 Delfino control CARD	99
Gate Driver	100
Gate Driver Power	101

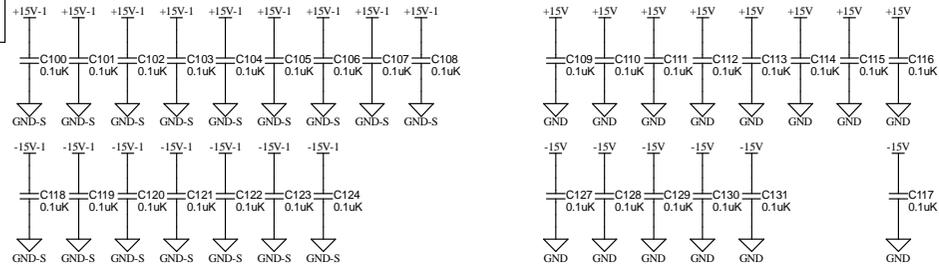
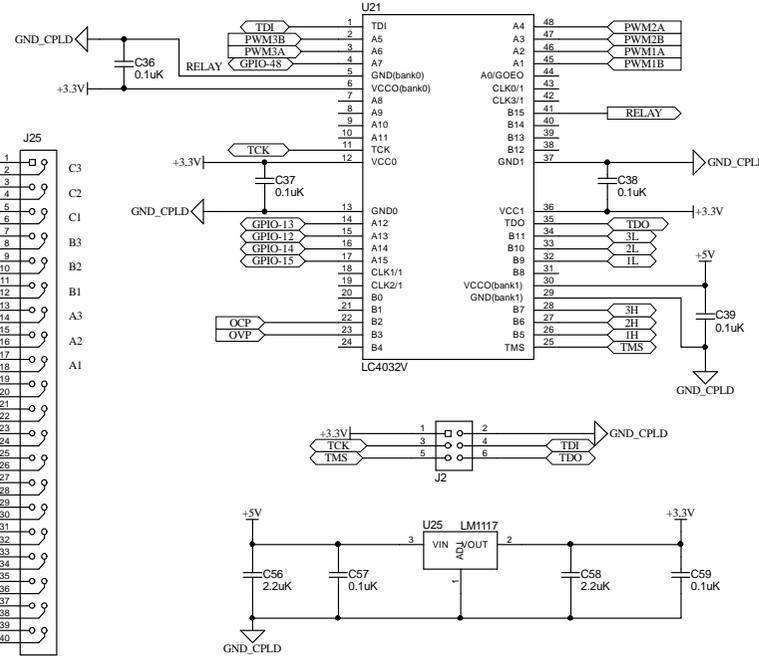
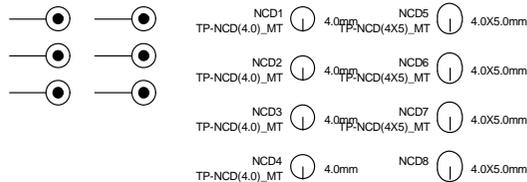
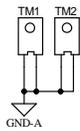
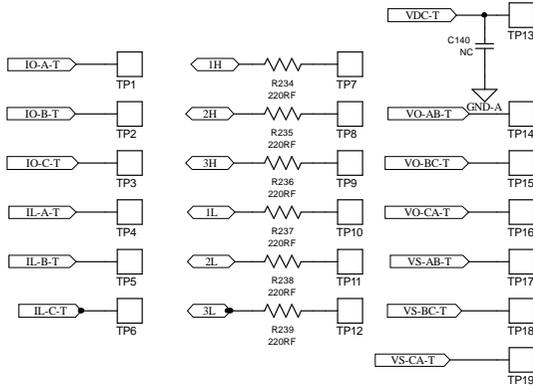
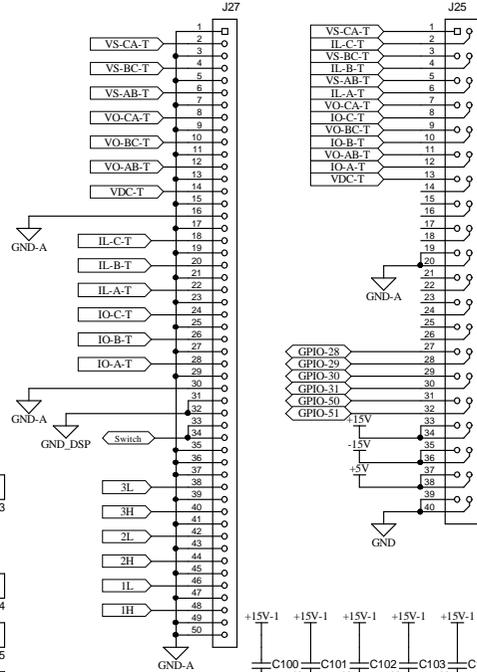
Micro Grid Inverter



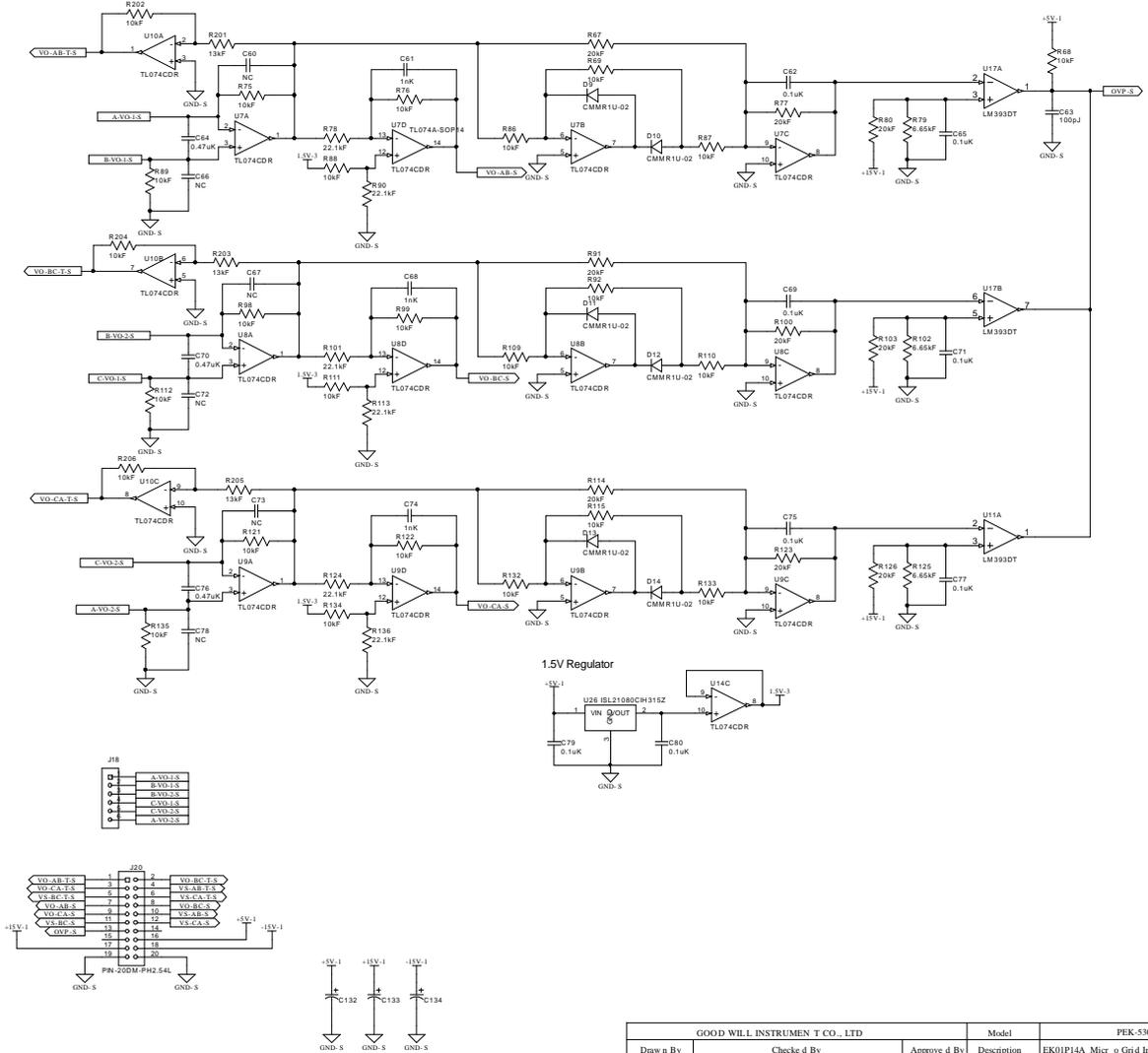
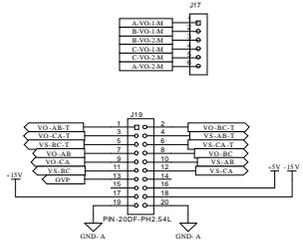
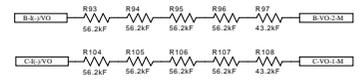
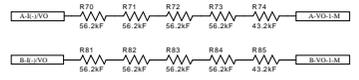
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-530A	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P14A_Micro Grid Inverter.PriPeb	
			Drawing NO	1	of 8
			File Name	EK01S14A_Power Stage.SchDoc	
			Modified Date	2019/7/19	Rev. A



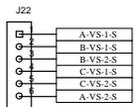
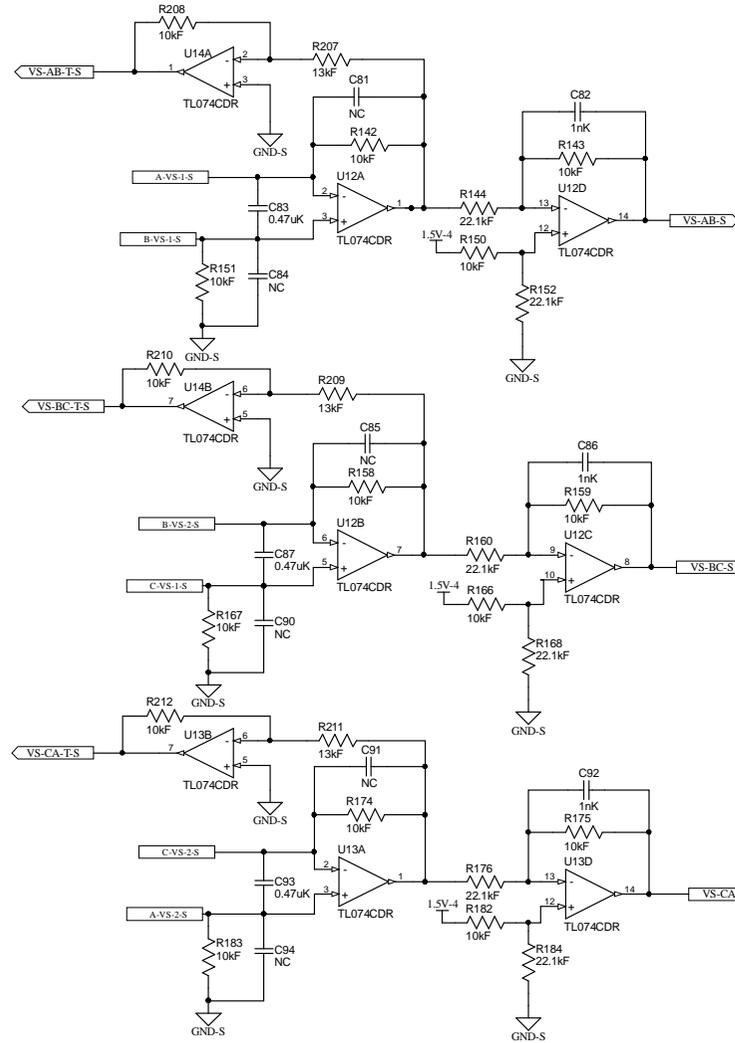
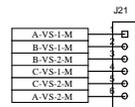
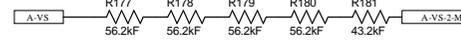
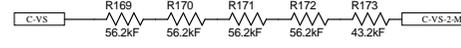
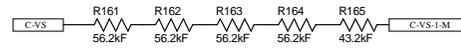
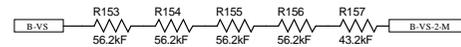
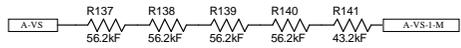
WF50-SMD-P0.5(BL112)



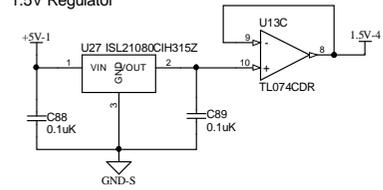
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-530 A	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P14A_Micro Grid Inverter.PtjPcb	
			Drawing NO	2	of 8
			File Name	EK01S14A_Interface CPLD.SchDoc	
			Modified Date	2019/7/9	Rev. A



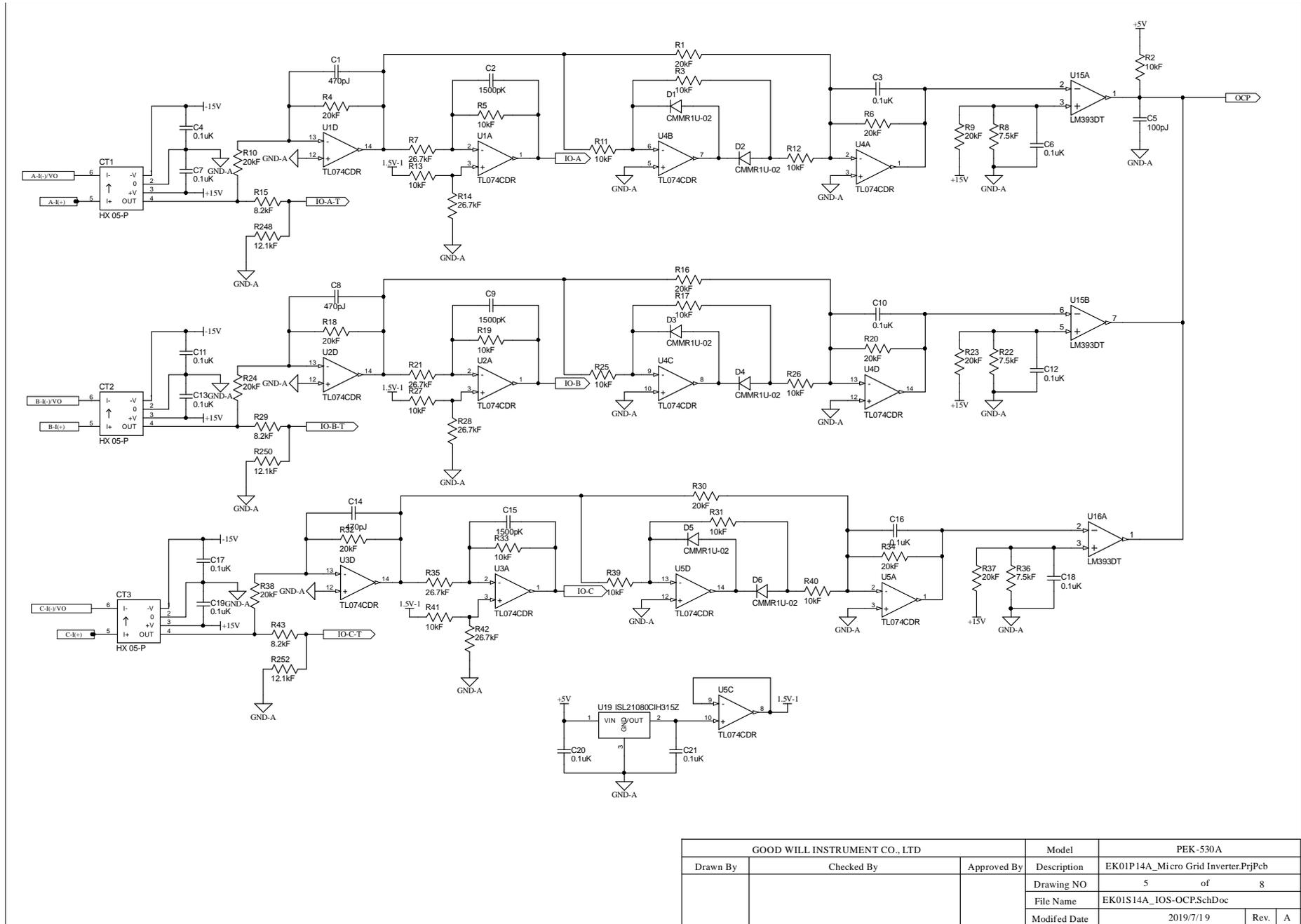
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-530A
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P14A_Micro Grid Inverter.Pcb
			Drawin g NO	3 of 8
			File Name	EK01S14A_VOS-OV P.SchDoc
			Modifie d Date	2019/7/19 Rev. A



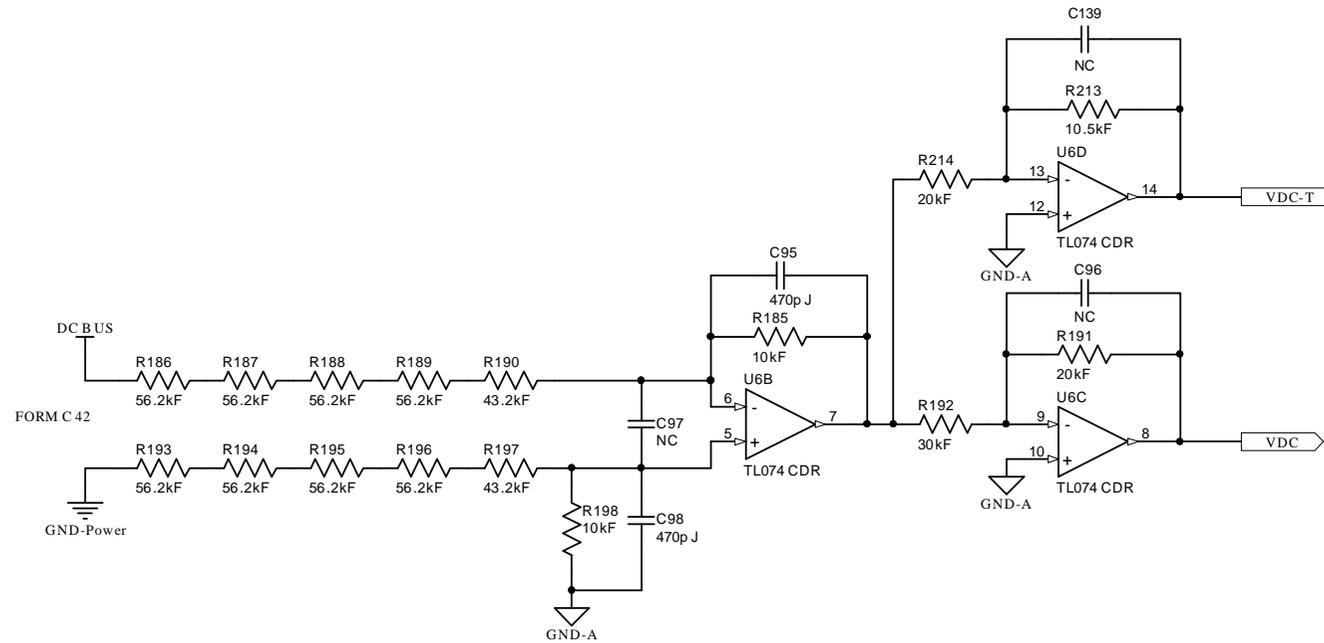
1.5V Regulator



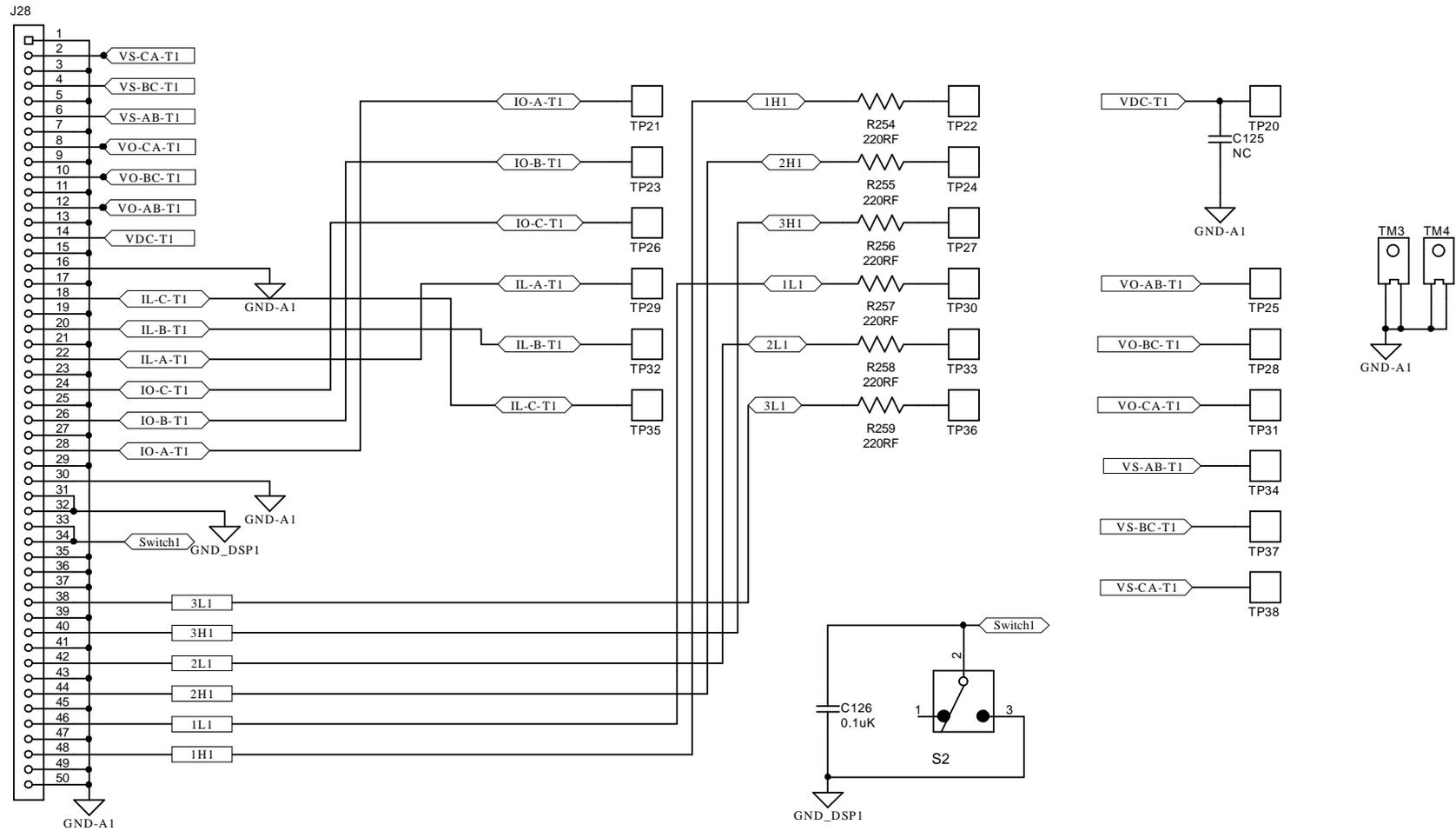
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-530A		
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P14A_Micro Grid Inverter.PrjPcb		
			Drawing NO	4	of	8
			File Name	EK01S14A_VS S.SchDoc		
			Modified Date	2019/7/19	Rev.	A



GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-530A	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P14A_Micro Grid Inverter.PrjPcb	
			Drawing NO	5	of 8
			File Name	EK01S14A_IOS-OCP.SchDoc	
			Modified Date	2019/7/19	Rev. A

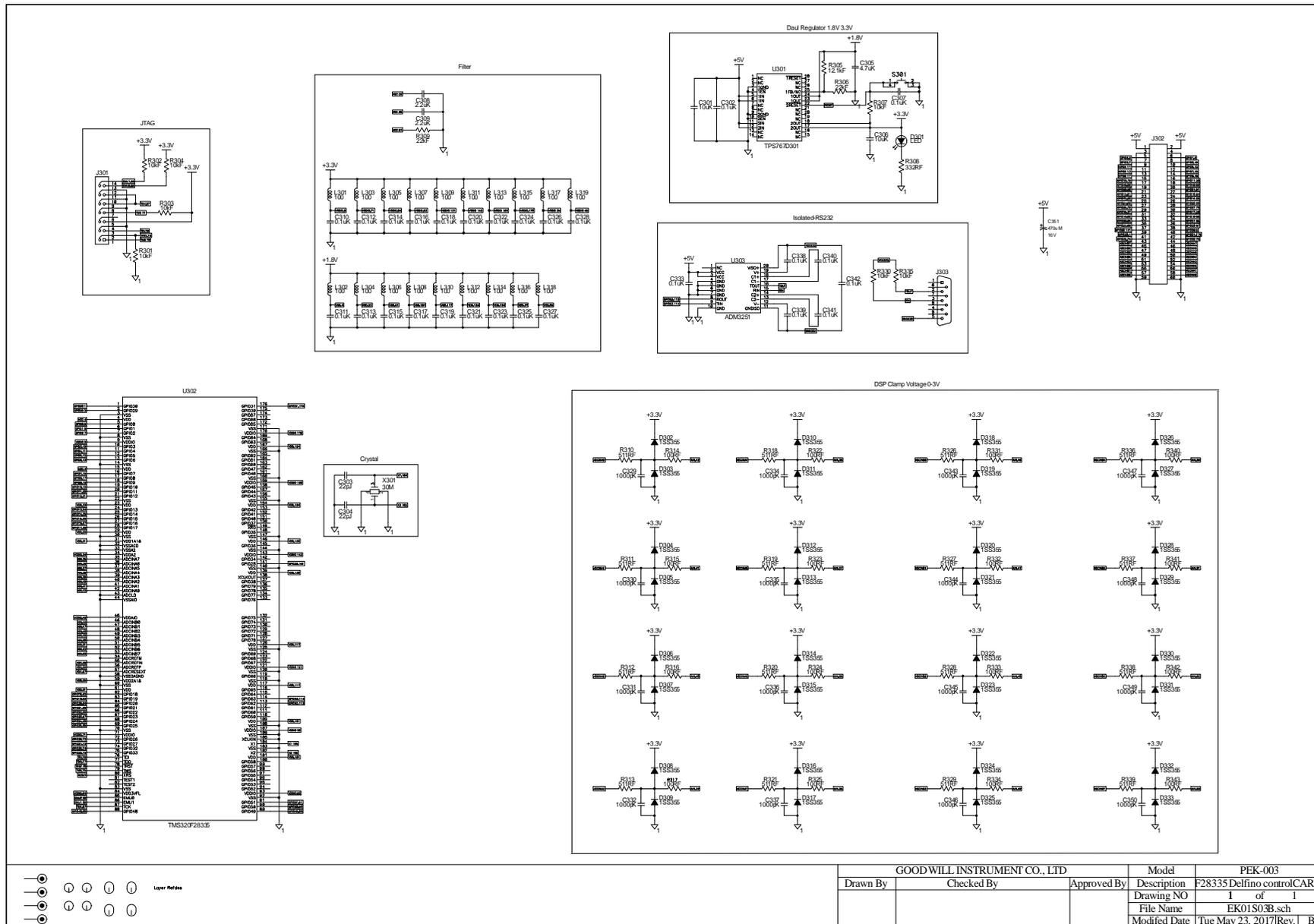


GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-530A	
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P14A_Micro Grid Inverter.PrjPcb	
			Drawing NO	7	of 8
			File Name	EK01S14A_VIS.SchDoc	
			Modified Date	2019/7/19	Rev. A

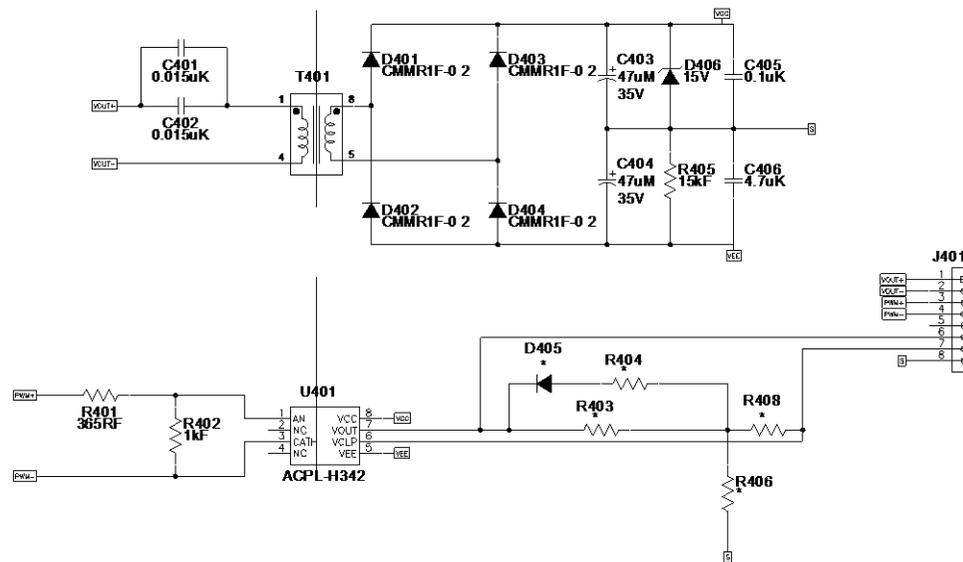


GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD			Model	PEK-530A
Drawn By	Checked By	Approved By	Description	EK01P14A_Micro Grid Inverter.PrjPcb
			Drawing NO	8 of 8
			File Name	EK01S14A_TestPin.SchDoc
			Modified Date	2019/7/19
			Rev.	A

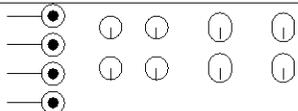
F28335 Delfino control CARD



Gate Driver



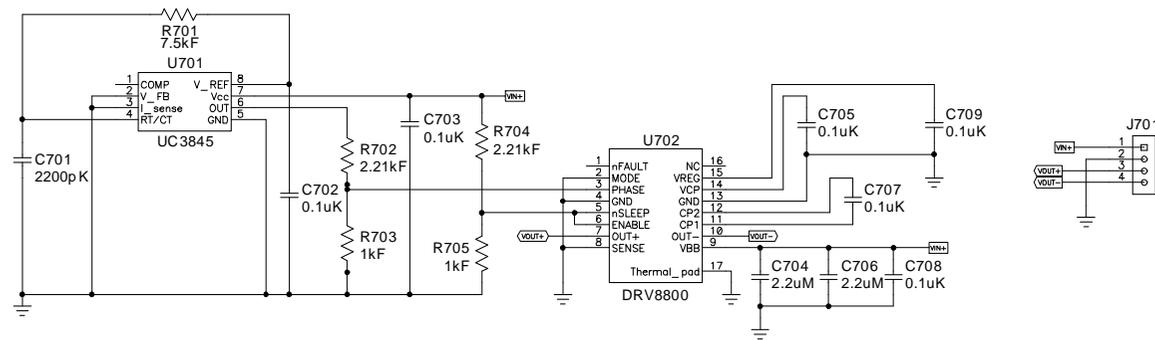
Layer Refdes



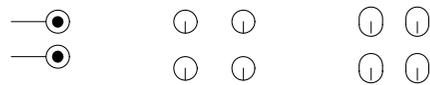
GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD

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

Gate Driver Power



Layer Refdes



GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD

Drawn By	Checked By	Approved By

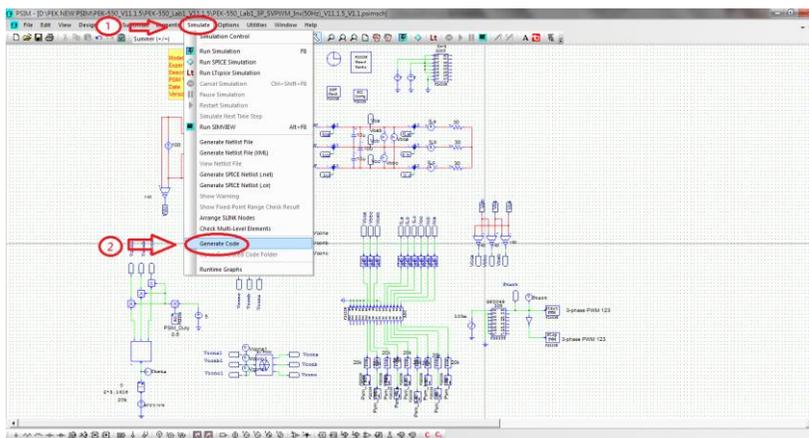
Model	PEK-100
Description	Gate Driver Power
Drawing NO	1 of 1
File Name	EK01S07A.sch
Modified Date	Mon Mar 09, 2015 Rev. A

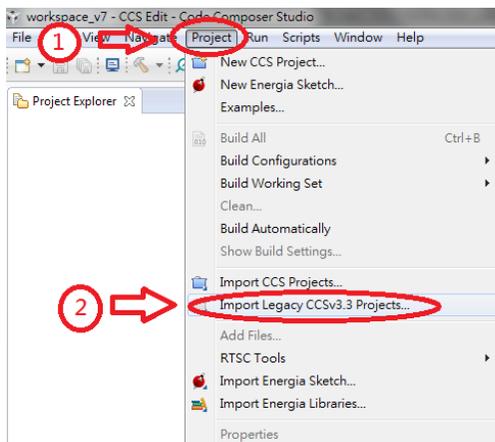
附錄 B C code 燒錄流程

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。

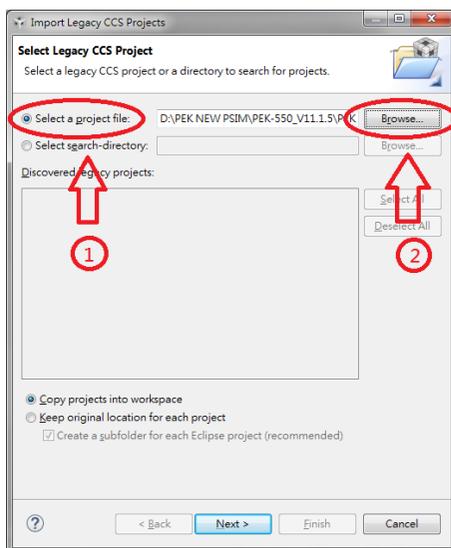
操作步驟

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。



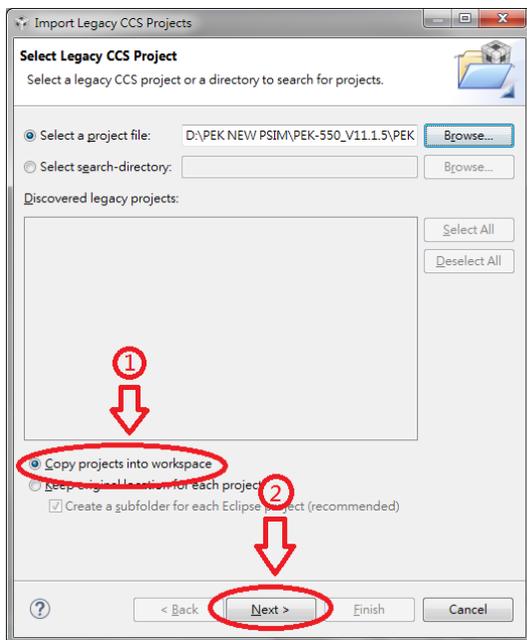


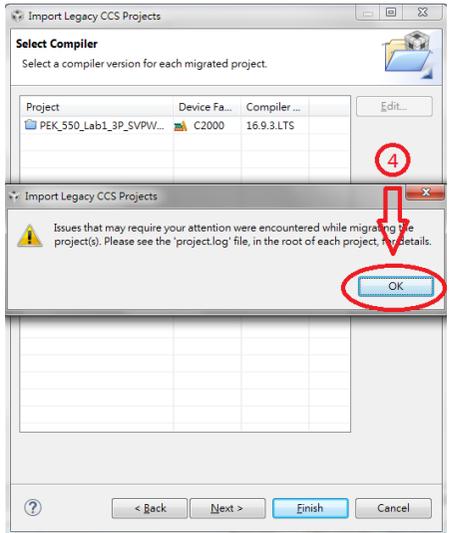
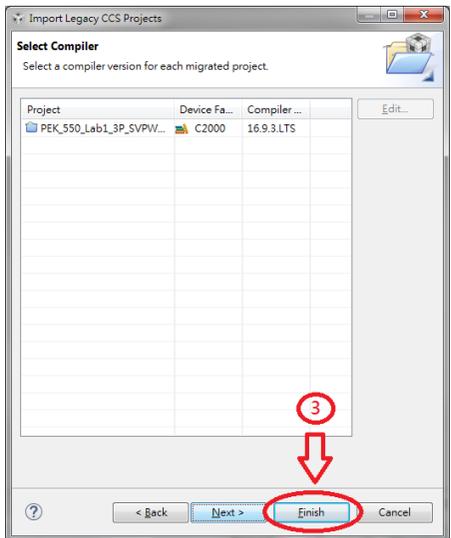
4. 在“Select a project file”中，擊點“Browse”，尋找 C Code 所在的資料夾並選取副檔名為.pjt 的檔案，如下圖。



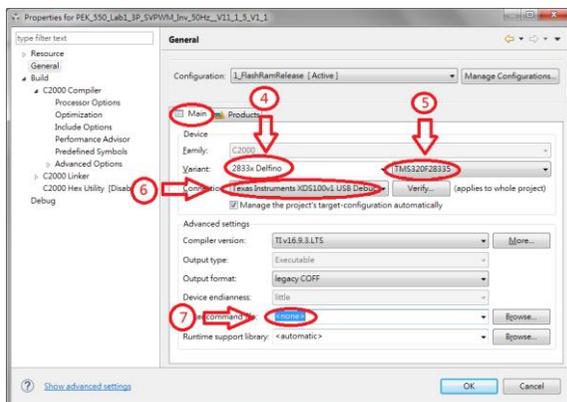


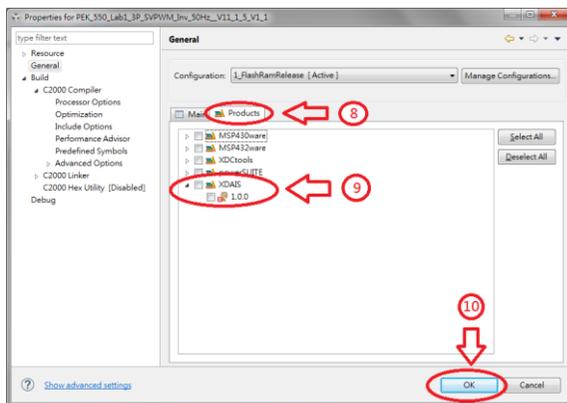
5. 選擇“Copy projects into workspace”後，擊點“Next”後，再擊點“Finish”，即可將 C Code 導入到 CCS 程式中，如下圖。



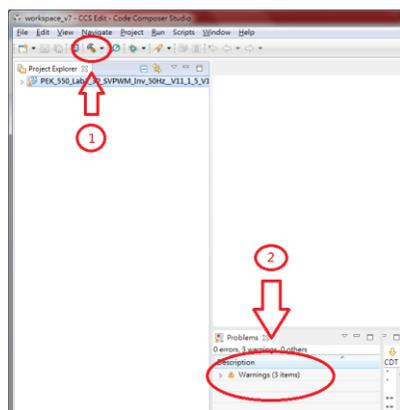


6. 選取 C Code 檔案後，在 "Project" 下選擇 "Properties"，設定如下：
 - (1) 在 Main 中 Variant 選取 "2833X Delfino 中的 TMS320F28335"
 - (2) 在 Main 中 Connection 選取 "Texas Instruments XDS100v1 USB Debug Probe"
 - (3) 在 Main 中 Linker command file 選取 "none"
 - (4) 在 Products 中將 XDAIS 取消選擇 (如果你的 CCS 版本無此選項，則不須理會)



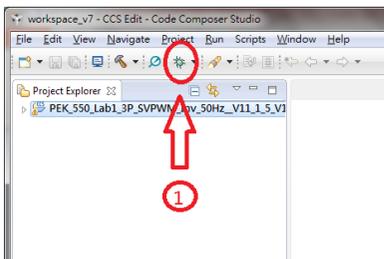


- 設定完畢後，擊點“Build”，進行編譯。編譯結束，如無 Errors，代表此程式可進行燒錄，Warnings 不影響燒錄，可忽略。

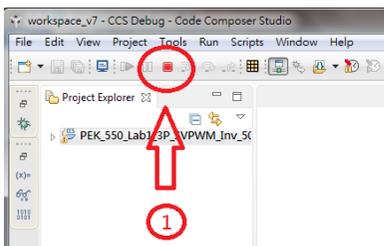


- 將 PEK-006 分別連接到 PC 與 PEK 模塊上，之後擊點“Debug”，進行燒錄。

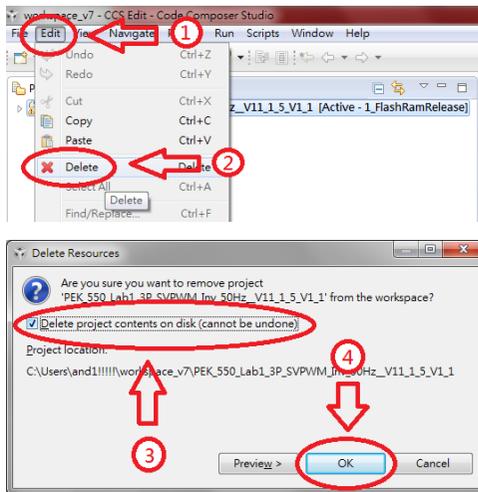




9. 燒錄結束後，擊點“Terminate”，並移除 PEK-006，如此即完成燒錄程序。



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。



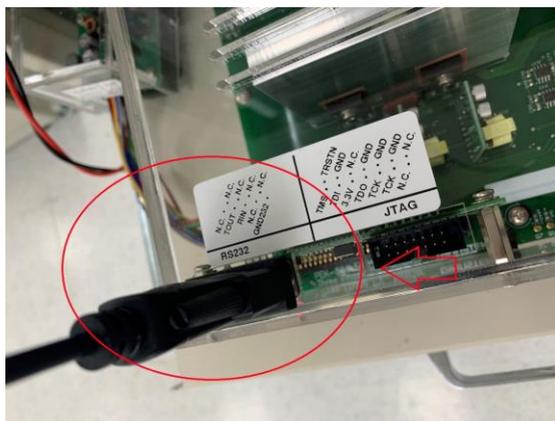
附錄 C RS232 連線

操作步驟

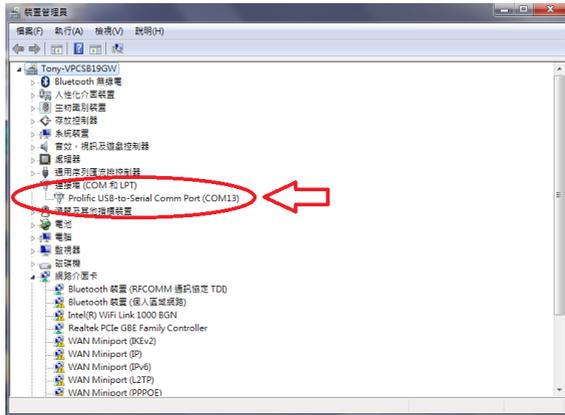
1. 將 PEK-005A 接至 PEK 模塊，確保 DSP 工作狀態正常。



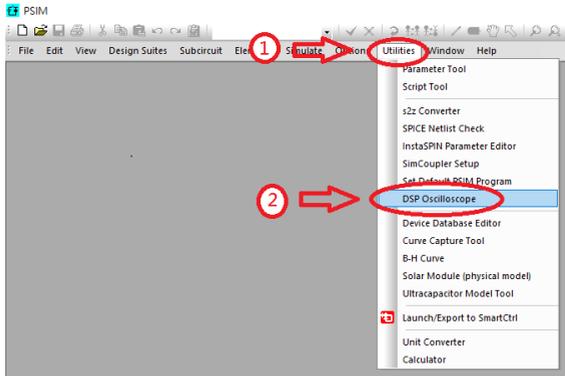
2. 將 RS232 一端連接至電腦 PC，另一端接到 PEK 的 RS232 端口。



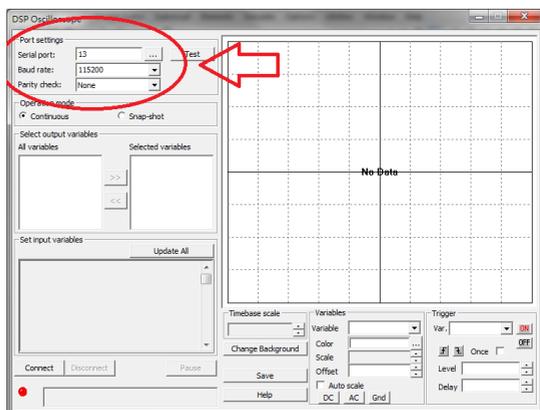
- 開啟電腦的裝置管理員，確認 RS232 所使用的連接埠(COM)位置。



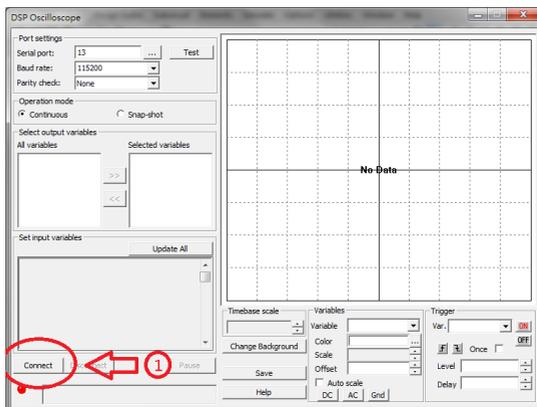
- 開啟 PSIM 程式，點選上方選單 Utilities 中 DSP Oscilloscope 選項。



- 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。

