

## 第五章

### 實體製作與實測結果

#### 5.1 前言

本章將依據第四章吾人所提出之單相直交流轉換器之並聯控制策略，規劃並製作兩台單相直交流轉換器並聯之雛形電路。基於元件材料與實驗室實作安全性考量，吾人將額定規格降為以下所示之系統參數：

額定輸入電壓： $V_{dc} = 240V$

開關切換頻率： $f_s = 20KHz$

額定輸出電壓： $v_o = 100V_{rms}$

額定輸出功率： $P_o = 200W$

輸出電壓頻率： $f_o = 15Hz$

濾波電感： $L = 1mH$

濾波電容： $C = 20\mu F$

首先依據上述規格利用商用軟體 MATLAB/SIMULINK 作開迴路控制與閉迴路控制之模擬，且將模擬結果與實測結果作一比較，藉此驗證吾人所提閉迴路控制策略之可行性。由於實際電路元件並非理想元件，因此量測實際電路上之電容值與電感值，提出下列與規格不同之模擬參數：

第一台輸入電壓： $V_{dc1} = 241.2V$

第二台輸入電壓： $V_{dc2} = 238.8V$

第一台濾波電感： $L_1 = 932\mu H$

第二台濾波電感： $L_2 = 984\mu F$

第一台濾波電容： $C_1 = 19.2\mu F$

第二台濾波電容： $C_2 = 19.6\mu F$

圖 5-1 至圖 5-5 為開迴路控制下之模擬波形，圖 5-6 至圖 5-10 為閉迴路控制下之模擬波形。接著在第二節中，吾人將以模組化的方式進行實體電路製作，將整個系統分成數個模組方塊，以便偵錯與維護。最後再加以整合測試，並紀錄一些實作波形以驗證吾人所提單相直交流轉換器並聯控制策略之可行性。

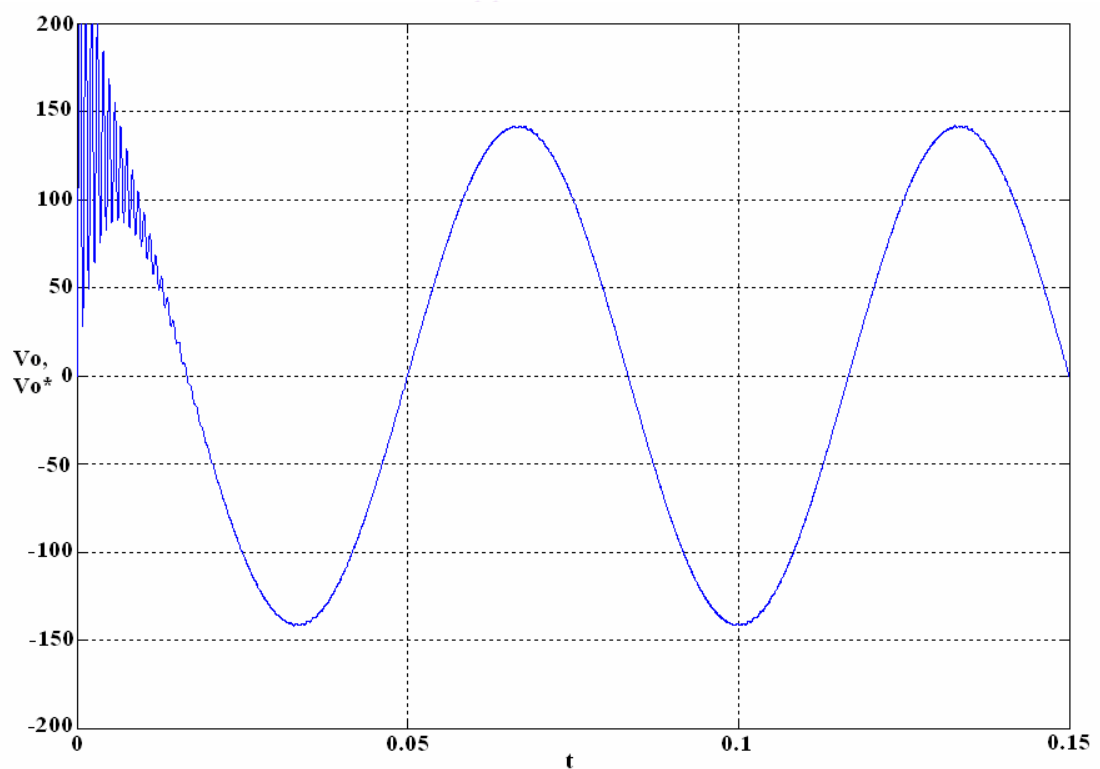


圖 5-1 開迴路控制下之輸出電壓模擬波形圖

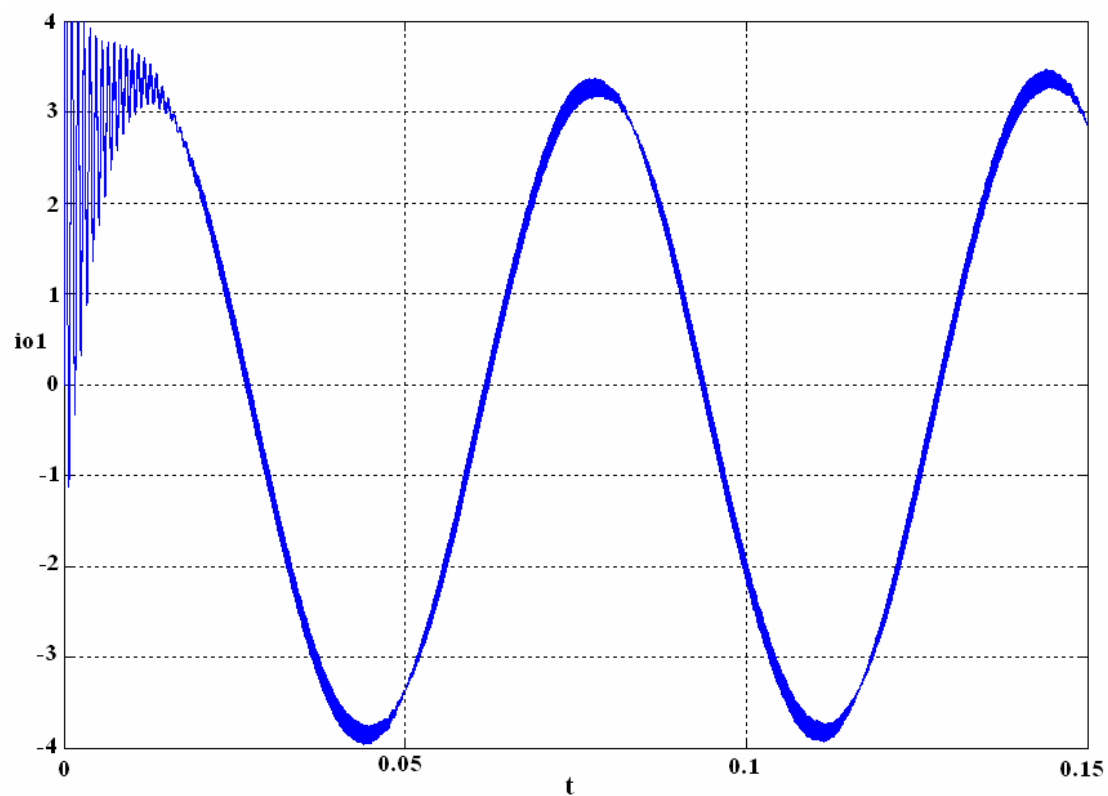


圖 5-2 開迴路控制下之第一台輸出電流輸出電流模擬波形圖

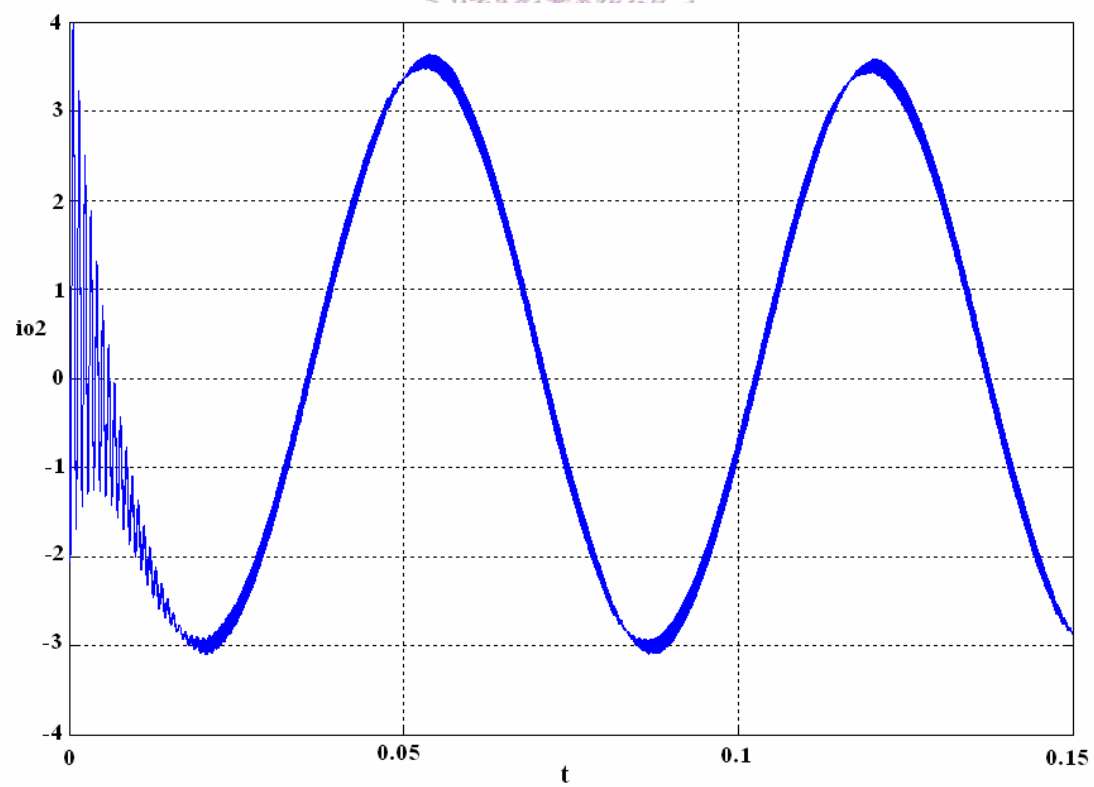


圖 5-3 開迴路控制下之第二台輸出電流模擬波形圖

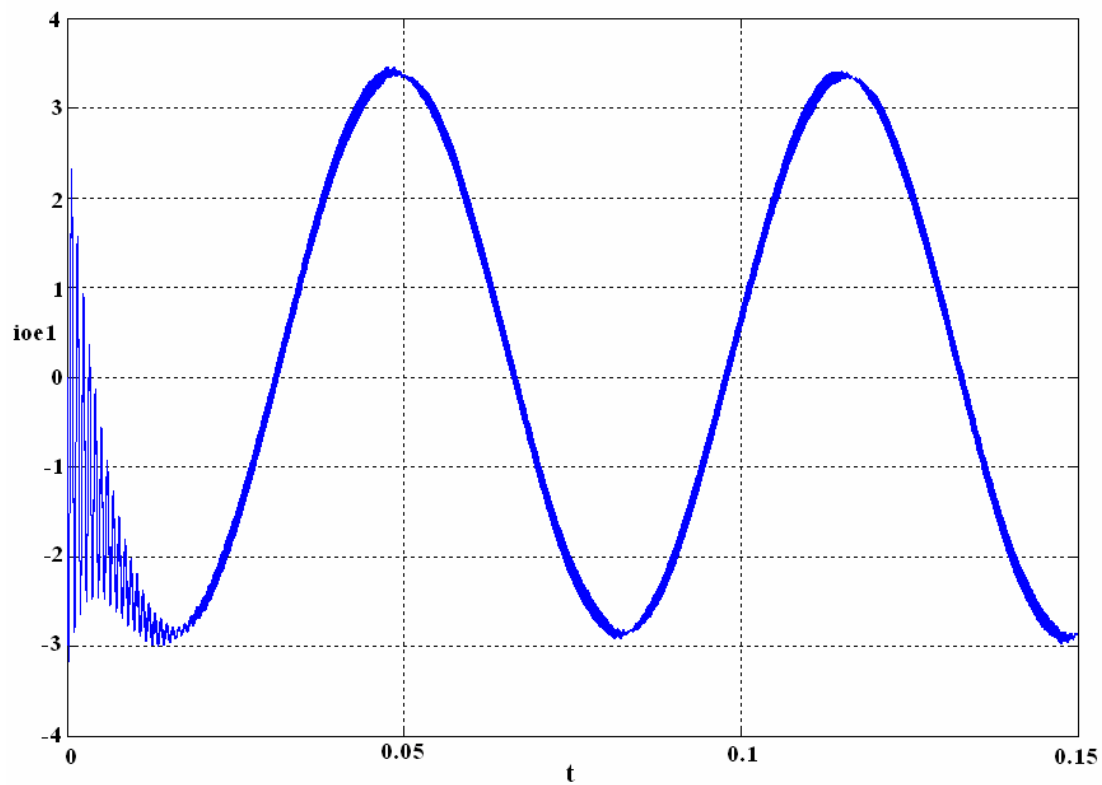


圖 5-4 開迴路控制下之第一台電流誤差量  $i_{oe1}$  模擬波形圖

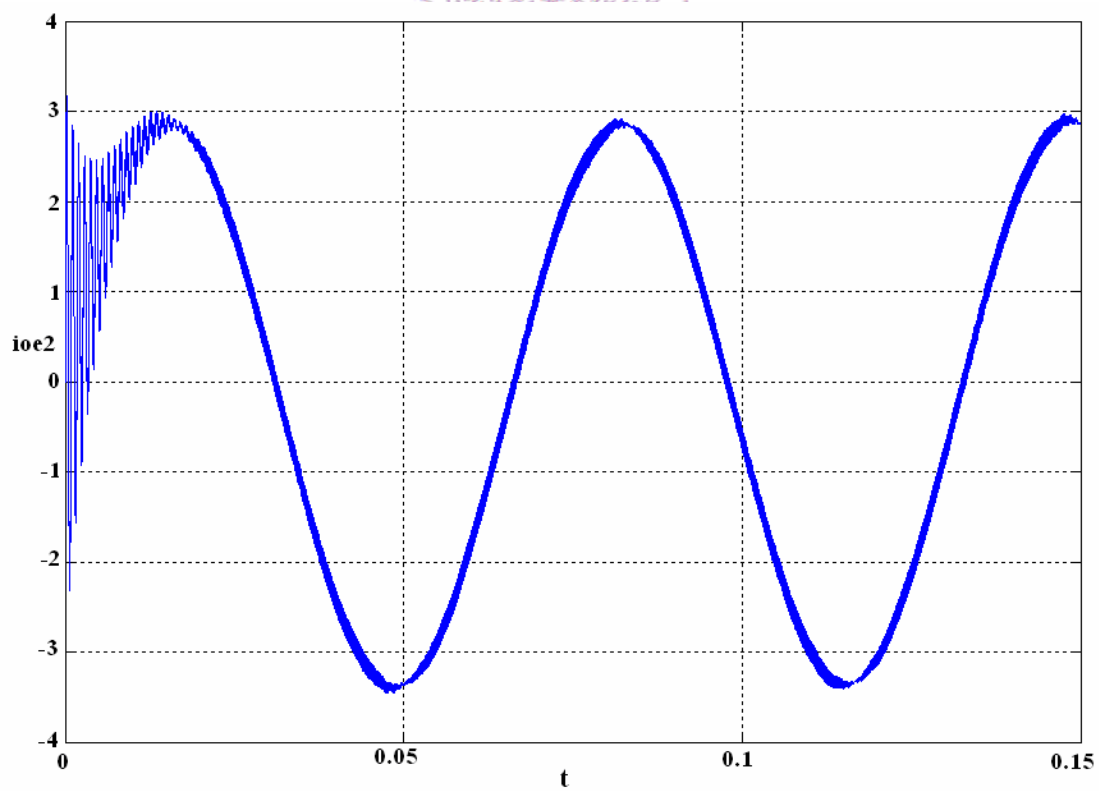


圖 5-5 開迴路控制下之第二台電流誤差量  $i_{oe2}$  模擬波形圖

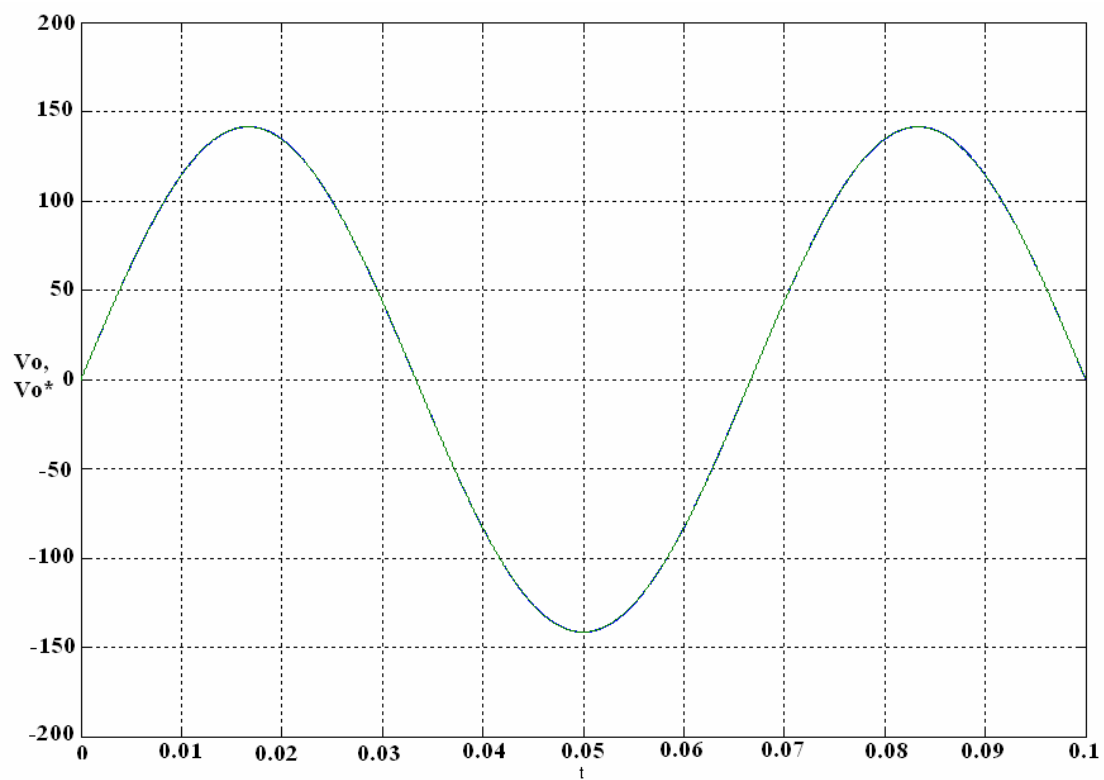


圖 5-6 閉迴路控制下之輸出電壓模擬波形圖

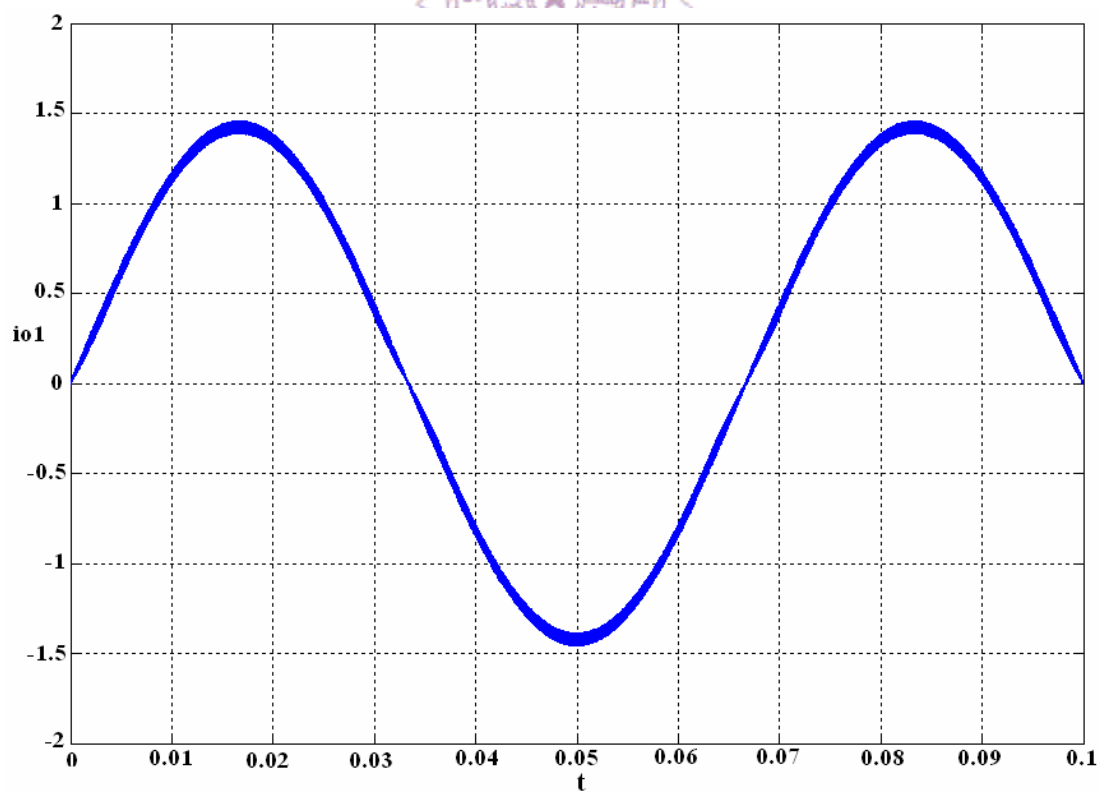


圖 5-7 閉迴路控制下之第一台輸出電流輸出電流模擬波形圖

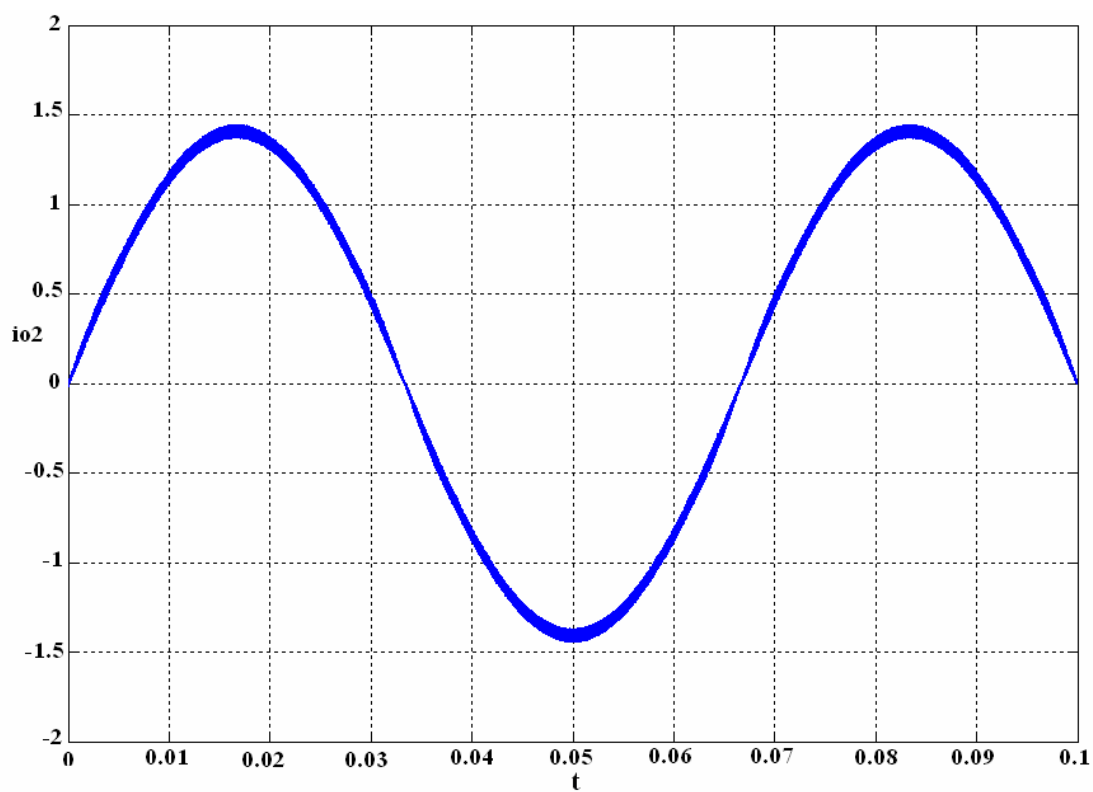


圖 5-8 閉迴路控制下之第二台輸出電流模擬波形圖

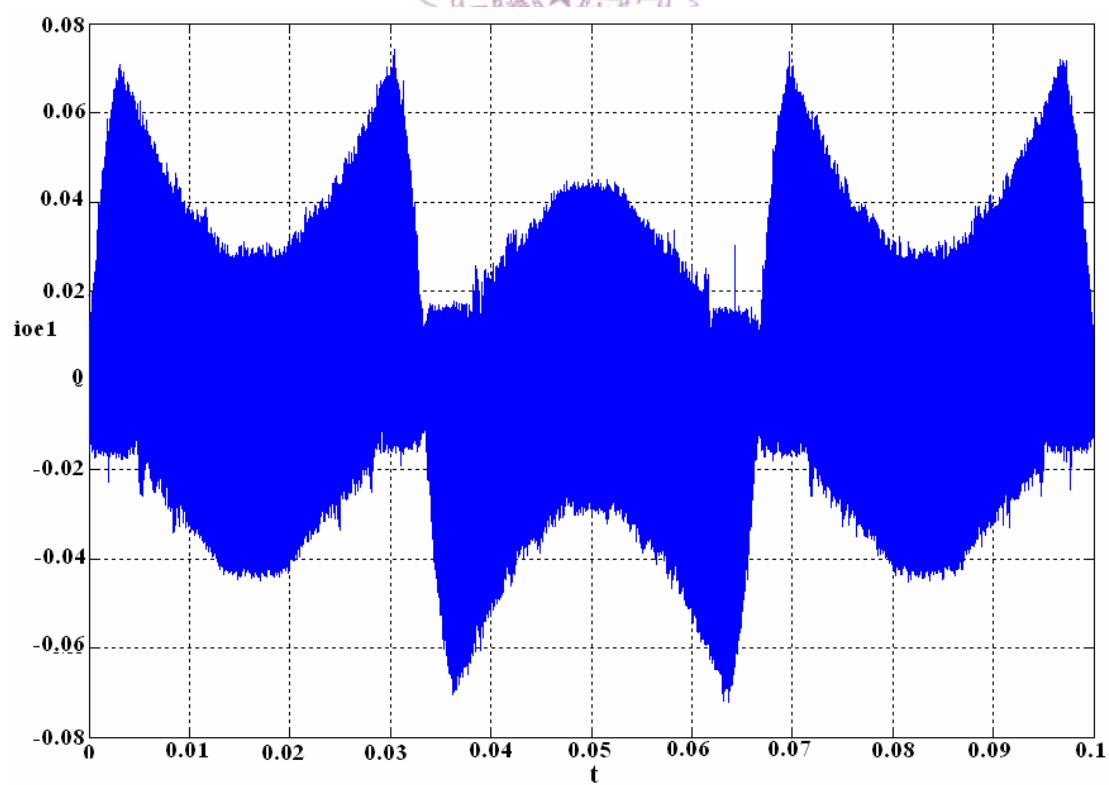


圖 5-9 閉迴路控制下之第一台電流誤差量  $i_{oel}$  模擬波形圖

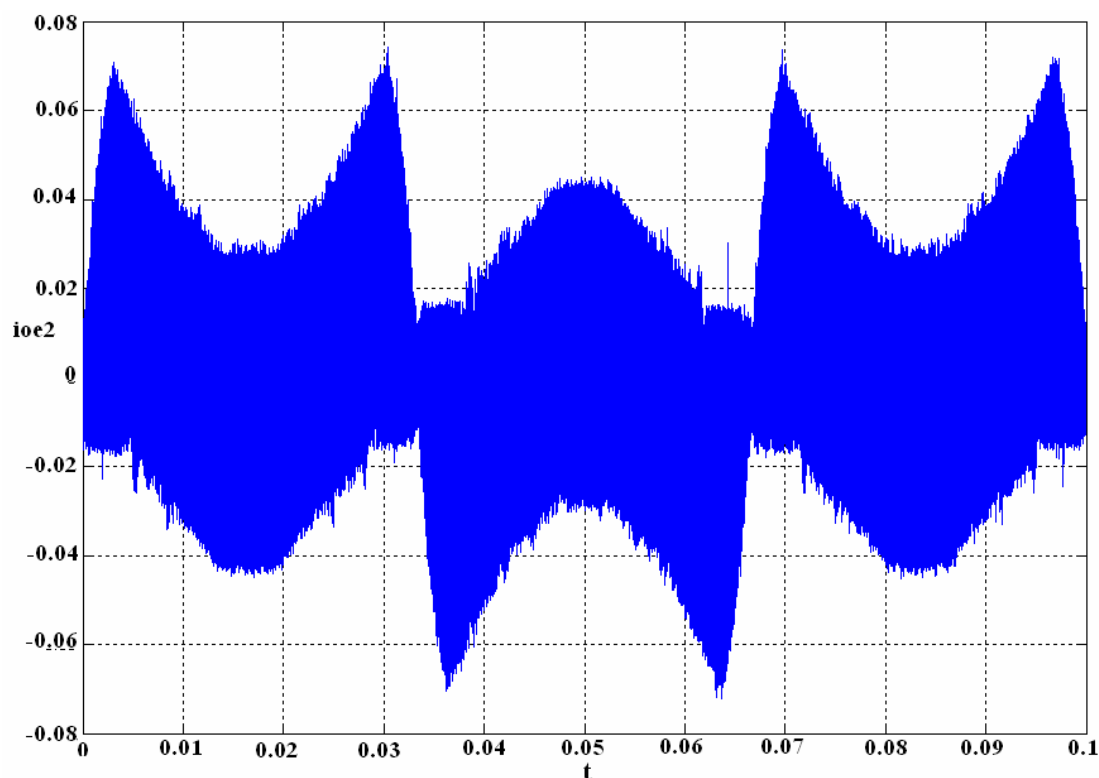


圖 5-10 閉迴路控制下之第二台電流誤差量  $i_{oe2}$  模擬波形圖

## 5.2 實體製作

為簡化設計上之複雜度以及方便製作與除錯，在硬體電路製作上，吾人將整體系統劃分為數個區塊，逐一設計其內部電路。如圖 5-1 所示，其中將整體系統分成兩大部分：

### 第一部份：電力電路

由直流電壓源、主動式開關、電感器、電容器及電阻等所組成。

### 第二部份：控制電路

A.類比電路，即迴授信號與 DSP 之介面電路，包括輸出電壓偵測電路、輸出電流偵測電路、電容電流偵測電路與閘極隔離驅動電路。

B.數位控制電路，即數位訊號處理器。

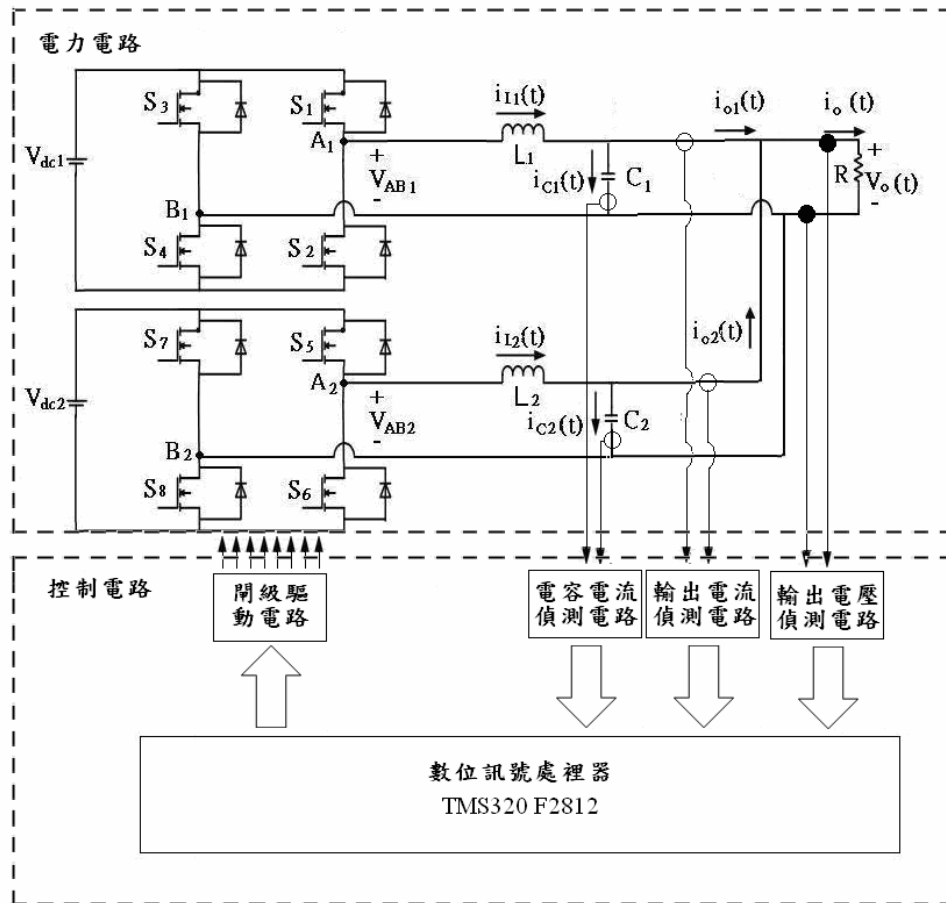


圖 5-11 整體系統方塊圖

另外，圖 5-12 為偵測電路與數位訊號處理器模組之資料傳輸方塊圖。

以下將針對每個方塊中之硬體電路作一說明。

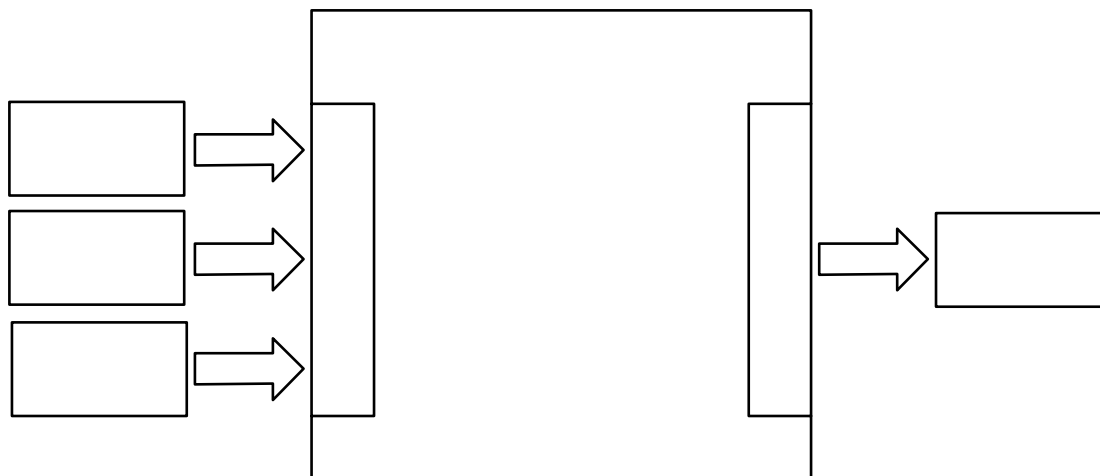


圖 5-12 偵測電路與數位訊號處理器模組之資料傳輸方塊圖



## 1. 電力電路部份：

如圖 5-11 上半部所示，電力電路部份由兩台單相直交流轉換器構成，其中每台轉換器中各包含一個直流電壓源( $V_{dc1}:240V, V_{dc2}:240V$ )、一個電容器( $C_1:20\mu F, C_2:20\mu F$ )、一個電感器( $L_1:1mH, L_2:1mH$ )、四顆主動開關( $S_1 \sim S_8$ )及負載(R)。其中直流電壓源( $V_{dc}$ )為市電透過自藕變壓器經橋式整流所提供，其最大供應電壓為 $300V$ 。主動開關部分使用 HARRIS 公司之 MOSFET 功率半導體開關，型號為 IRFP460，其最大汲級與源級額定耐壓(Drain-Source Vlotage  $V_{DS}$ )為 $500V$ ，額定汲級電流(Continuous Drain Current  $I_D$ )為 $20A$ ，所能承受之最大脈衝電流(Pules Drain Current  $I_{DM}$ )為 $80A$ ，導通電阻(On-State Resistance  $R_{DS}$ )為 $0.27\Omega$ 。



## 2. 控制電路部份：

控制電路包含 A.迴授訊號與 DSP 模組之介面電路及 B.數位控制電路兩個部份，茲分述如下：

### A.迴授訊號與 DSP 模組之介面電路

#### (1) 輸出電壓偵測電路

圖 5-13 為輸出電壓偵測器之電路圖，首先利用電阻分壓將輸出電壓分壓以降低輸出電壓訊號，接著再利用 AD202JN 作隔離以避免電力電路與控制電路共地，接著使用一電壓箝制電路以避免迴授訊號超過 DSP 模組之讀取範圍( $0 \sim 5V$ )，再將輸出電壓迴授訊號送進 DSP 模組之類比/數位轉換器(ADC)中轉換成數位訊號，所得之數位訊號即

可代表輸出電壓之數位訊號。

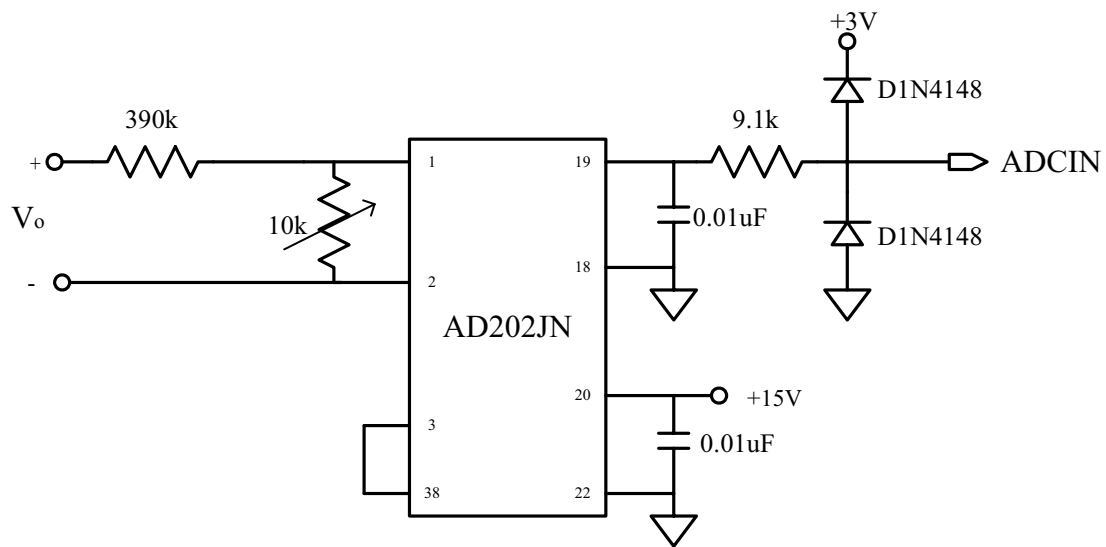


圖 5-13 輸出電壓偵測器之電路圖

## (2) 電流偵測電路

電流偵測電路如圖 5-14 所示，其主要功能是為了測得電力電路中輸出電流信號以及電容電流信號，電路中使用霍爾原件所構成之電流感測器，其型號為 LA 55-P，規格為 50A/15V，將電流訊號轉換成電壓訊號，再經一個二階低通濾波器濾除高頻雜訊，得到一較純淨之弦波電壓訊號後，再將此一電壓訊號藉由位移放大器，使訊號變成以 +1.5V 為準位之電壓訊號，接著利用電壓箝制電路控制迴授訊號，使其不超過 DSP 模組所能讀取之範圍(0~3V)，最後經過類比/數位轉換器(ADC)後送進 DSP 作為電流迴授之數位訊號。

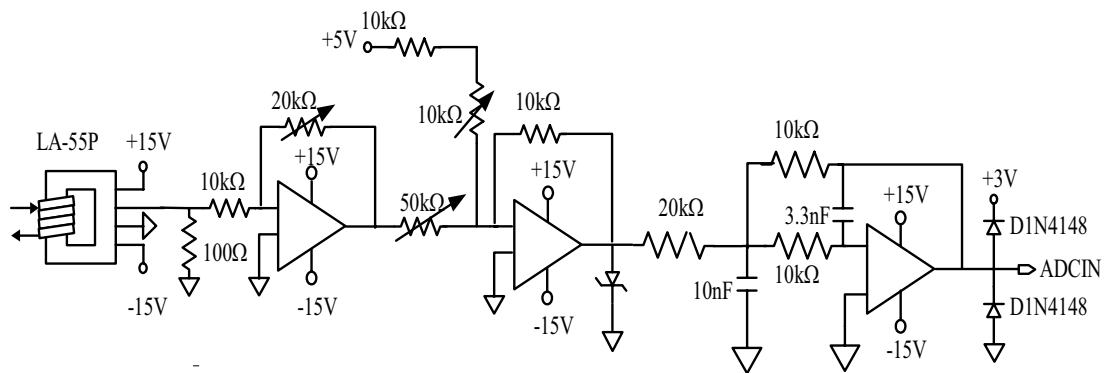


圖 5-14 電流偵測電路

### (3) 閘極隔離驅動電路

為避免閘極控制電路與電力電路發生共地之現象，必須於閘極控制訊號產生電路之輸出端加入一隔離驅動電路，如圖 5-15 所示，藉以控制功率半導體開關的導通與截止以確保轉換器能正常運作。於此電路中，吾人採用東芝 TOSHIBA 公司所生產之光耦合隔離器 TLP250 做為此電路之訊號隔離元件。

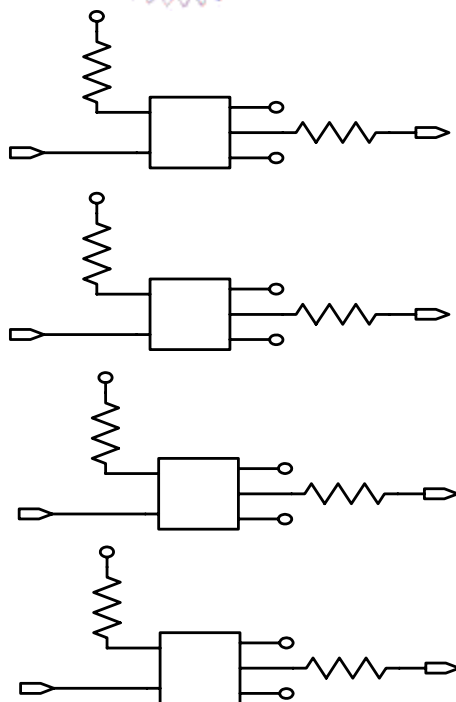


圖 5-15 閘極隔離驅動電路

## B.數位控制電路：數位訊號處理器(DSP)

與一般類比控制器相比較，數位控制器具有以下的優點：

1. 藉由軟體修正，系統升級容易。
2. 微處理器整合許多功能於晶片內，使得外部所需之零件減少，成本亦較低。
3. 使用數位元件，系統的飄移性減少，準確性提高。

但是受到微處理器執行速度不快和數值化處理誤差問題的影響，僅能適用於較低速度及準備度不是很高的場合。近年來德州儀器(TI)公司設計一系列數位訊號處理器，已能涵蓋傳統微處理器之優點與功能，並且亦具運算速度快、精密度高、周邊支援豐富...等優點。TI 公司在 1998 年所推出之 TMS320C/F24x 系列晶片中，增進了 A/D 轉換器、快閃記憶體、PWM 模組...等功能，非常適合應用於電力電子學門，所以吾人選用 TMS320 F2812 之數位訊號處理器模組(EVM Board)作為轉換器系統之控制器。圖 5-16 所示為控制器程式內容之流程圖，接下來吾人將以此流程圖說明如何利用 TMS320 F2812 來控制單相直交流轉換器並聯之運作。由圖 5-16 可知，程式內容主要包含一個主程式及一個中斷服務常式，主程式之主要功能在於將 DSP 作一初始化，其中包括控制演算過程中各項變數的初始值、A/D 轉換器模組之設定、PWM 模組設定與等待中斷之迴圈。中斷要求的發生是由 GP Timer 1 於連續上數/下數模式下回數至零時而得，當中斷要求產生，便進入中斷服務常式，其功能為抓取 A/D 轉換器模組所儲存之數位回授訊號及 DPLL 所產生之數位電源相角訊號，對取得之各系統訊號作演算進而實現控制法則，接著將演算而得之開關調變比較值輸入

PWM 模組中，最後由 PWM 模組產生開關調變訊號至系統之隔離驅動電路，而且程式流程返回等待中斷之迴圈。

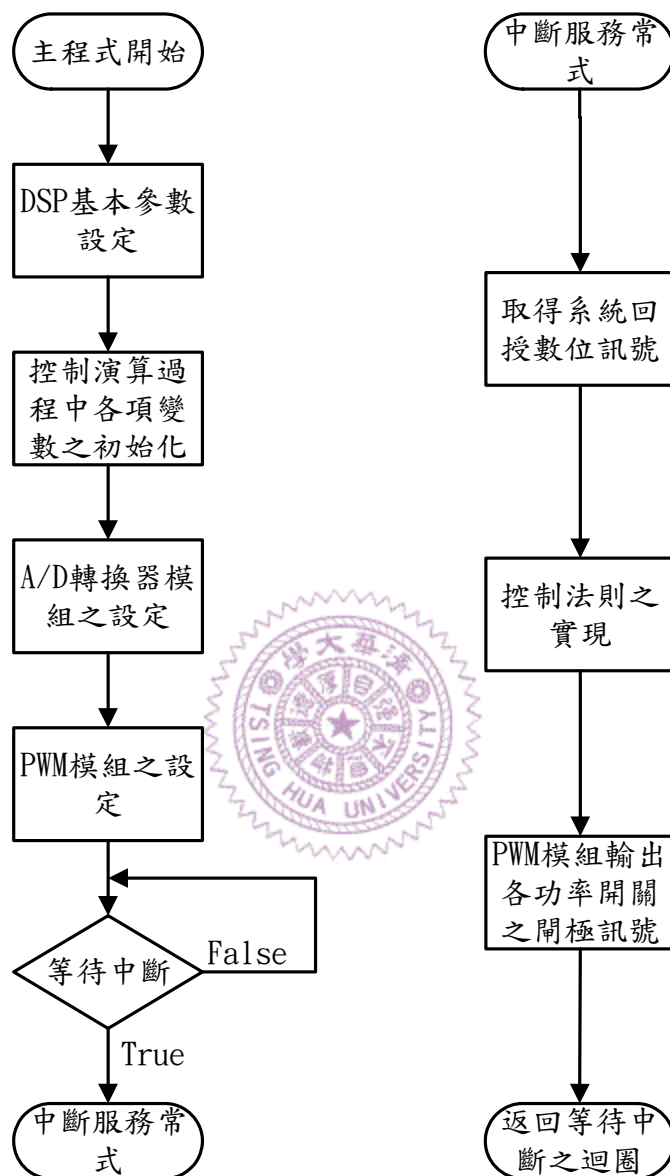


圖 5-16 DSP 內部程式之規劃流程圖

### 5.3 實測結果

根據 5.2 節所規劃的各方塊硬體電路實作，吾人於製作完成時先



對各電路方塊進行測試，經確定電路工作無誤之後再加以整合，最後完成單相直交流轉換器並聯系統的硬體電路離型，如圖 5-7 所示。在說明實測波形之前，先做以下定義

$$\text{輸出電壓誤差百分比} = \left| \frac{\text{額定輸出電壓} - \text{實際輸出電壓}}{\text{額定輸出電壓}} \right| * 100\%$$

$$\text{輸出電流誤差百分比} = \frac{\text{每台輸出電流誤差量}}{\text{每台額定輸出電流}} * 100\%$$

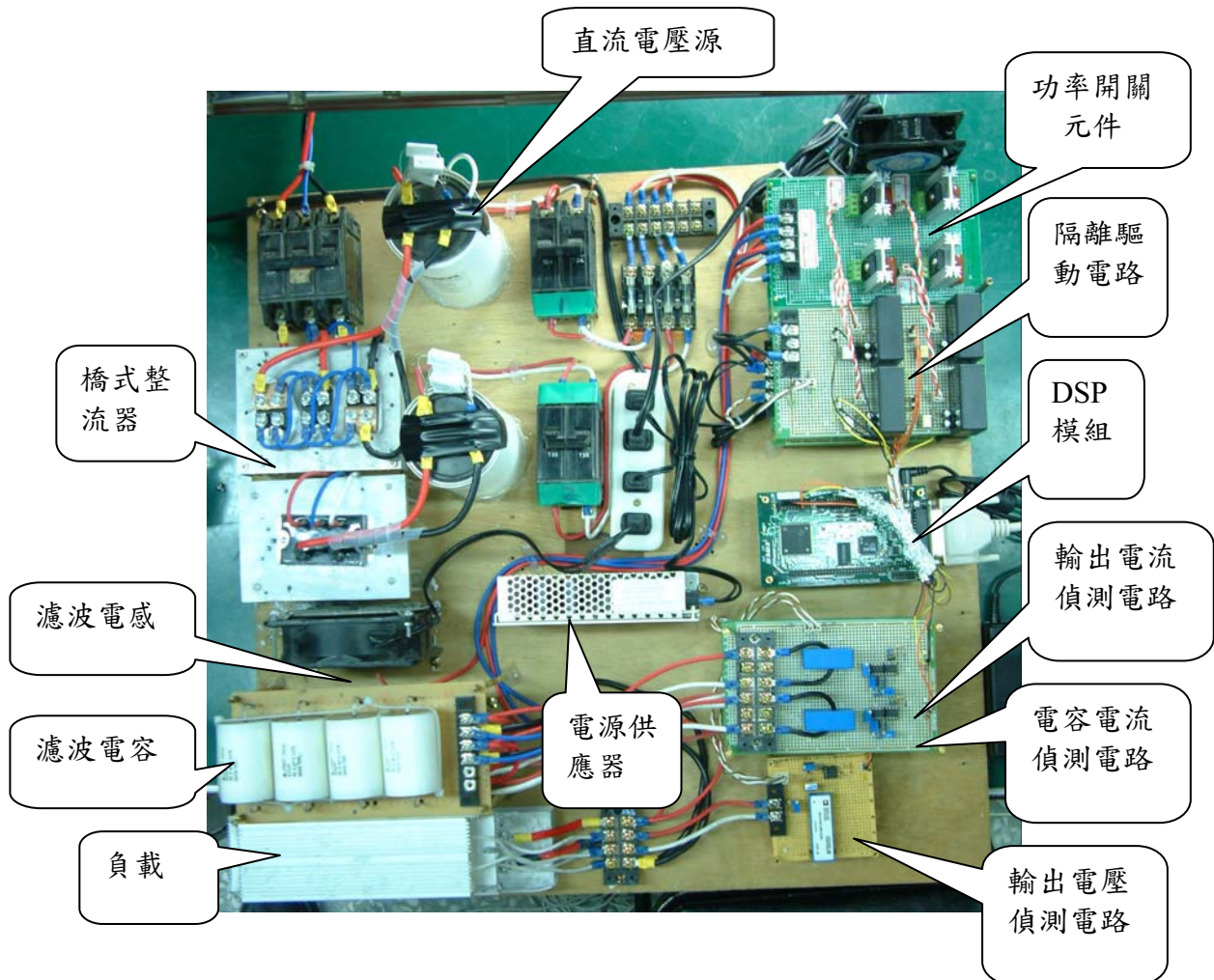


圖 5-17 兩台單相直交流轉換器並聯之硬體電路

圖 5-18 到圖 5-21 所示依序為系統開迴路控制下之實際電壓 ( $V_o$ )、

第一台輸出電流 ( $i_{o1}$ ) 與第二台輸出電流 ( $i_{o2}$ )、第一台電流誤差量 ( $i_{oe1}$ ) 與第二台電流誤差量 ( $i_{oe2}$ ) 之穩態實測波形圖，其中由圖 5-18 可以看出輸出電壓為  $139V$  (誤差為  $1.71\%$ )，由圖 5-19 可以看出  $i_{o1}$  與  $i_{o2}$  除了振幅大小不一樣之外，還有相位差，因此造成第一台與第二台均有電流誤差，由圖 5-20 與圖 5-21 可以看出第一台電流誤差與第二台電流誤差百分比皆為  $240.4\%$ ；圖 5-22 到圖 5-26 所示依序為系統閉迴路控制下之實際電壓 ( $V_o$ )、第一台輸出電流 ( $i_{o1}$ )、第二台輸出電流 ( $i_{o2}$ )、第一台電流誤差量 ( $i_{oe1}$ ) 與第二台電流誤差量 ( $i_{oe2}$ ) 之穩態實測波形圖，由圖 5-22 可以看出輸出電壓為  $141.1V$  (誤差為  $0.23\%$ )，由圖 5-23 與圖 5-24 中可以看出  $i_{o1}$  與  $i_{o2}$  振幅大小與相位幾乎相同，因此第一台與第二台所發生之電流誤差皆很小，由圖 5-25 與圖 5-26 可以看出第一台電流誤差與第二台電流誤差百分比皆為  $2.82\%$ 。由以上所述可以看出系統在閉迴路控制下仍然能有效控制輸出電壓，而且每一台的輸出電流幾乎相等，使得電流誤差量很小。

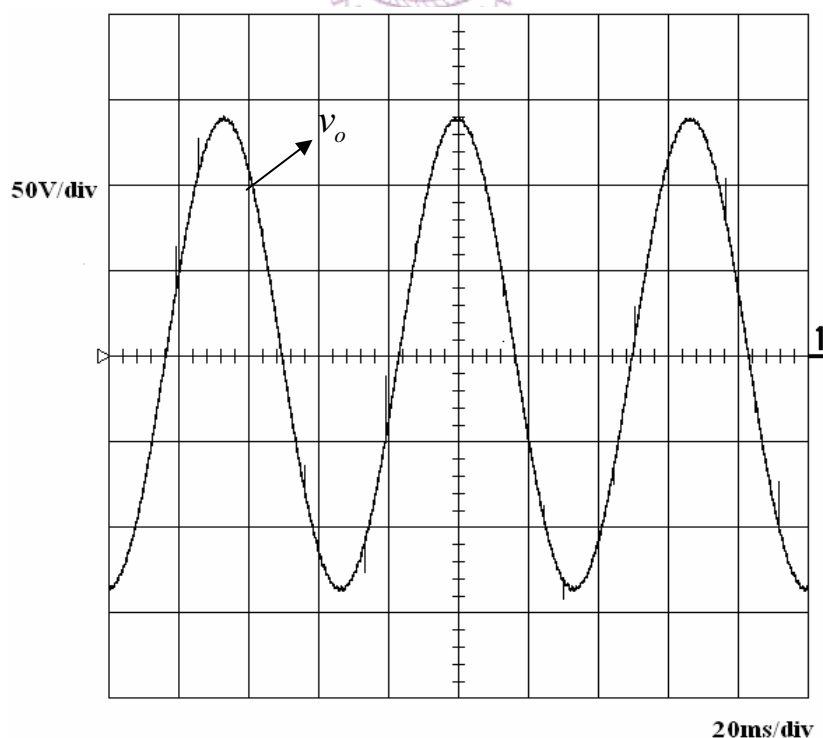


圖 5-18 開迴路控制下之輸出電壓實測波形圖

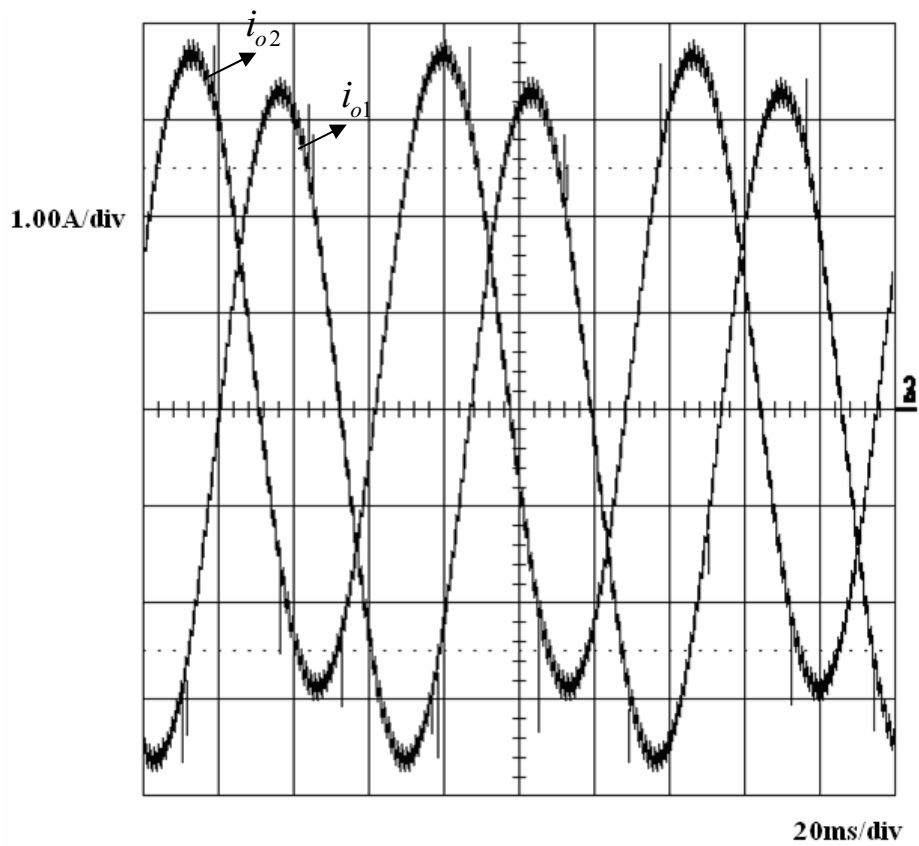


圖 5-19 開迴路控制之第一台輸出電流與第二台輸出電流實測波形圖

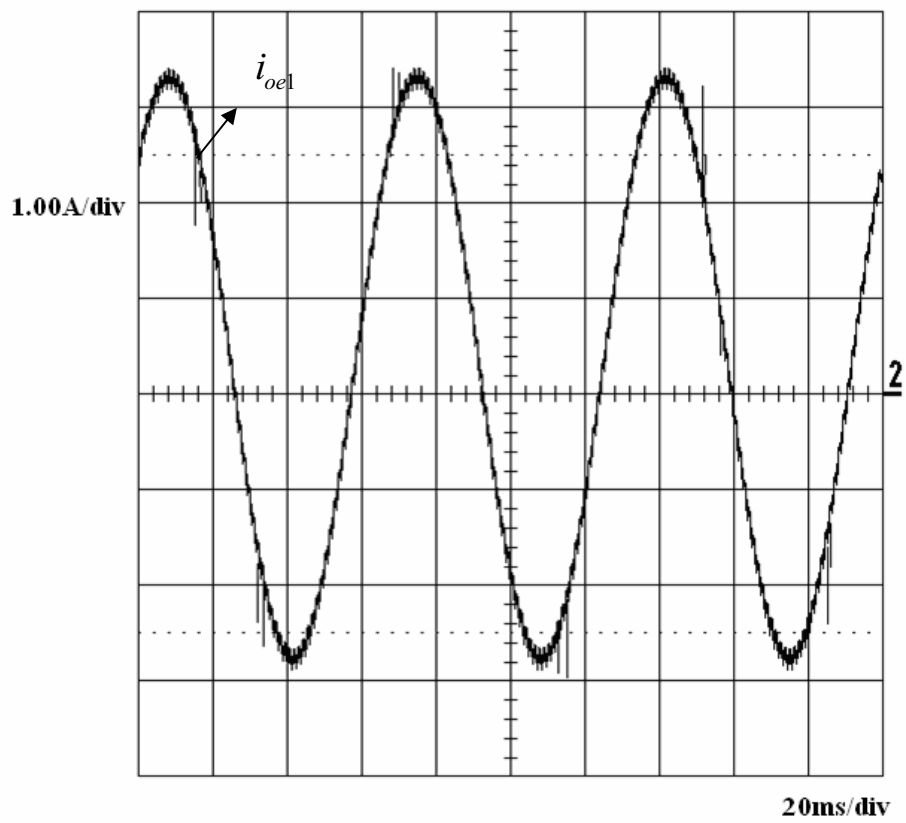


圖 5-20 開迴路控制下之第一台電流誤差量  $i_{oe1}$



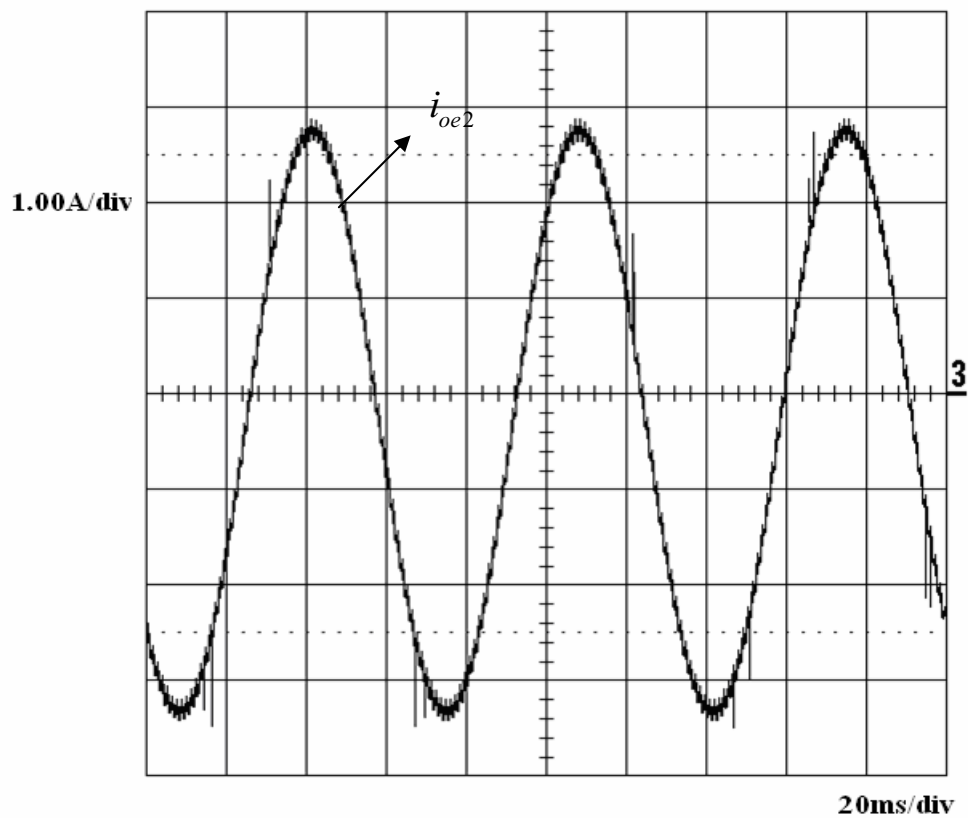


圖 5-21 開迴路控制下之第二台電流誤差量  $i_{oe2}$

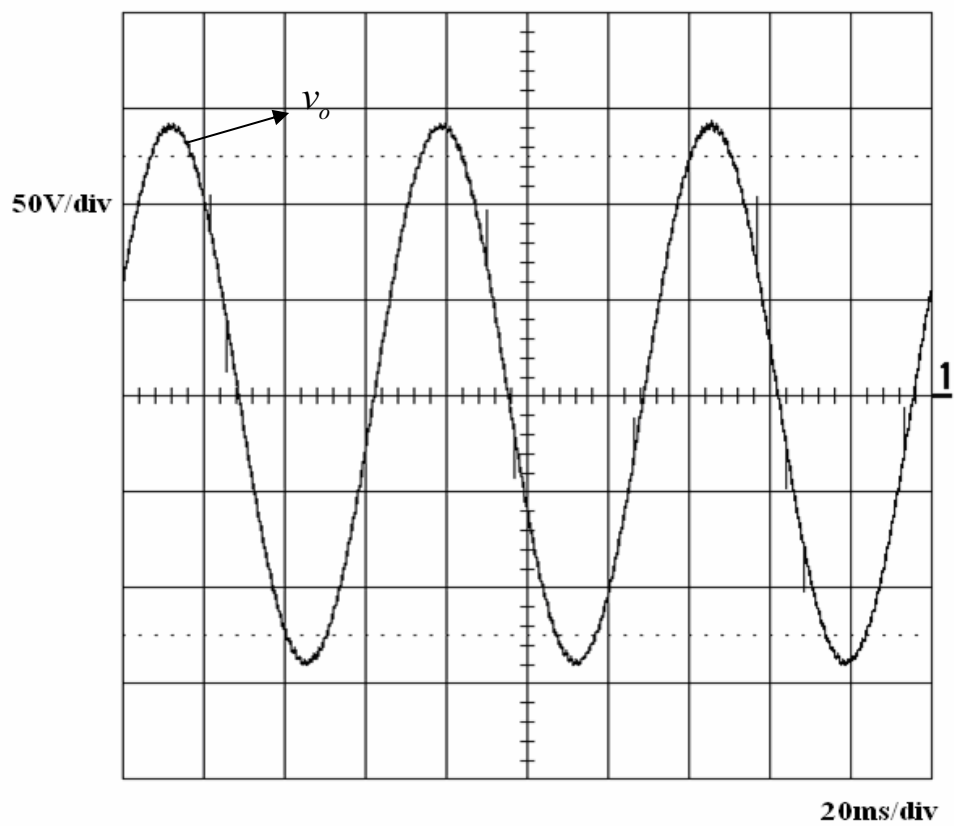


圖 5-22 閉迴路控制下之輸出電壓實測波形圖

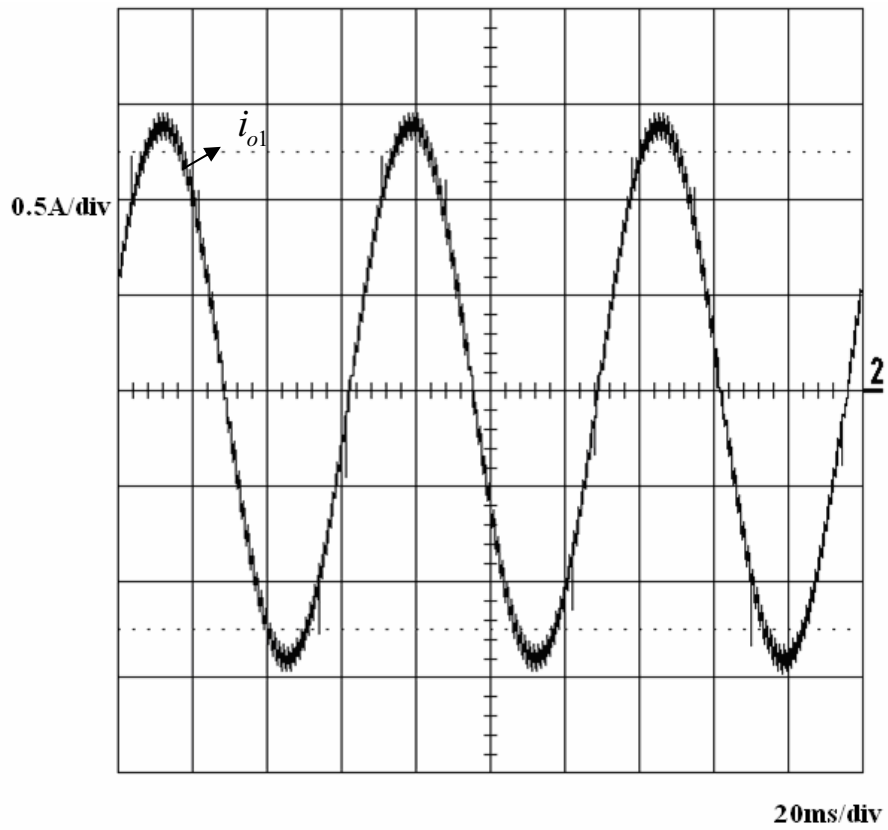


圖 5-23 閉迴路控制下之第一台輸出電流實測波形圖

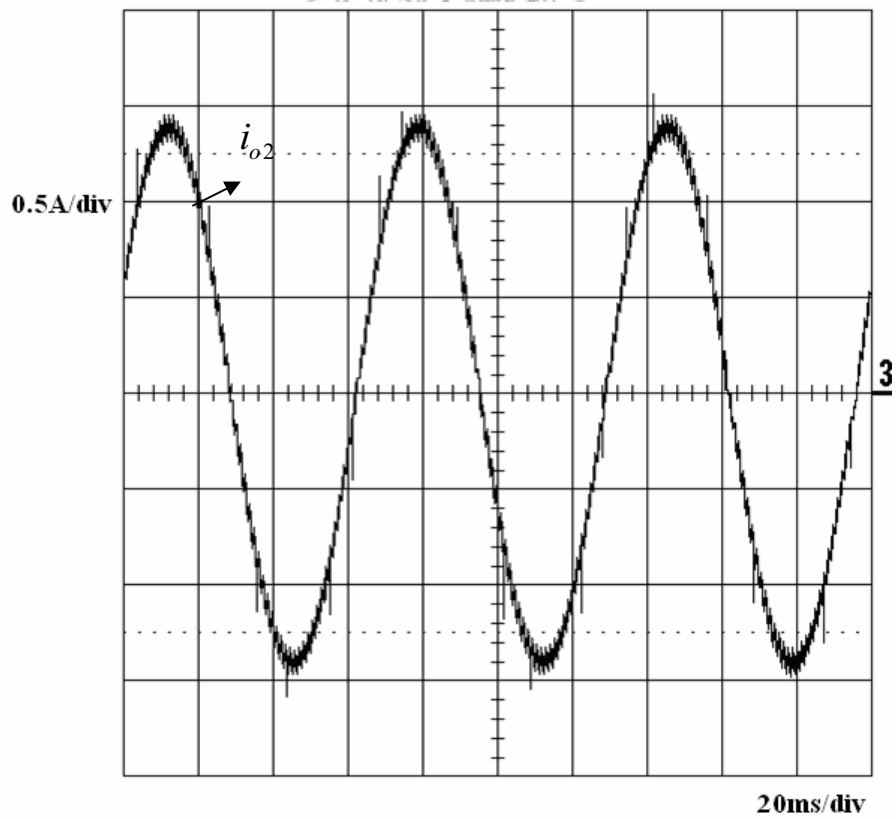


圖 5-24 閉迴路控制下之第二台輸出電流實測波形圖

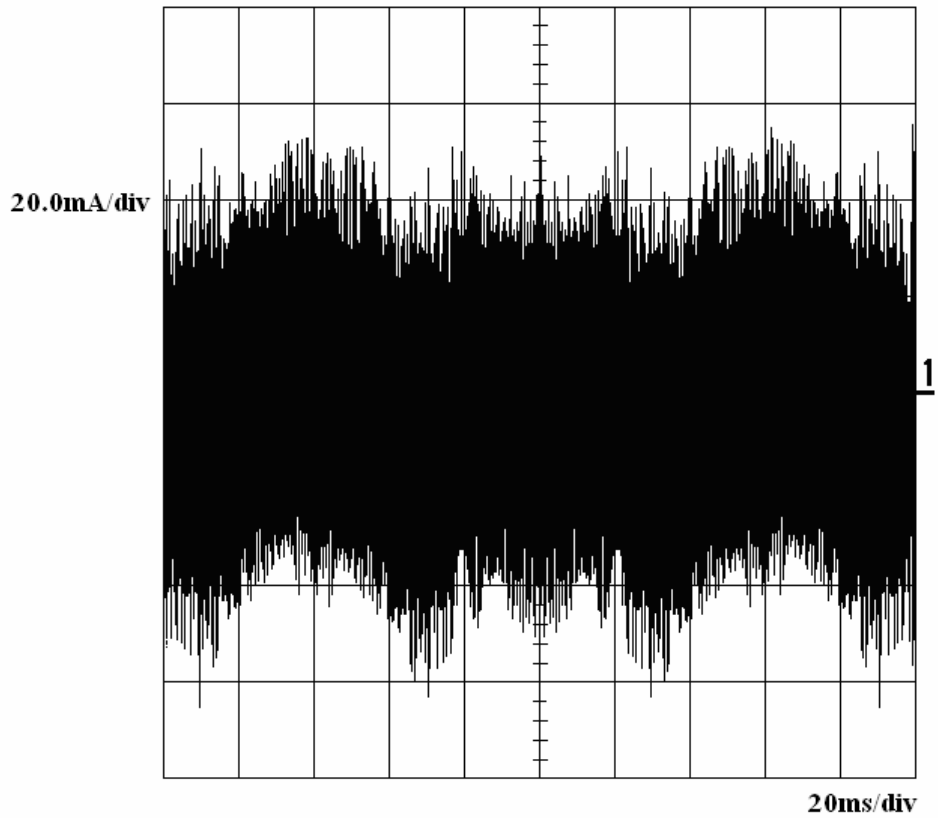


圖 5-25 閉迴路控制下之第一台電流誤差量

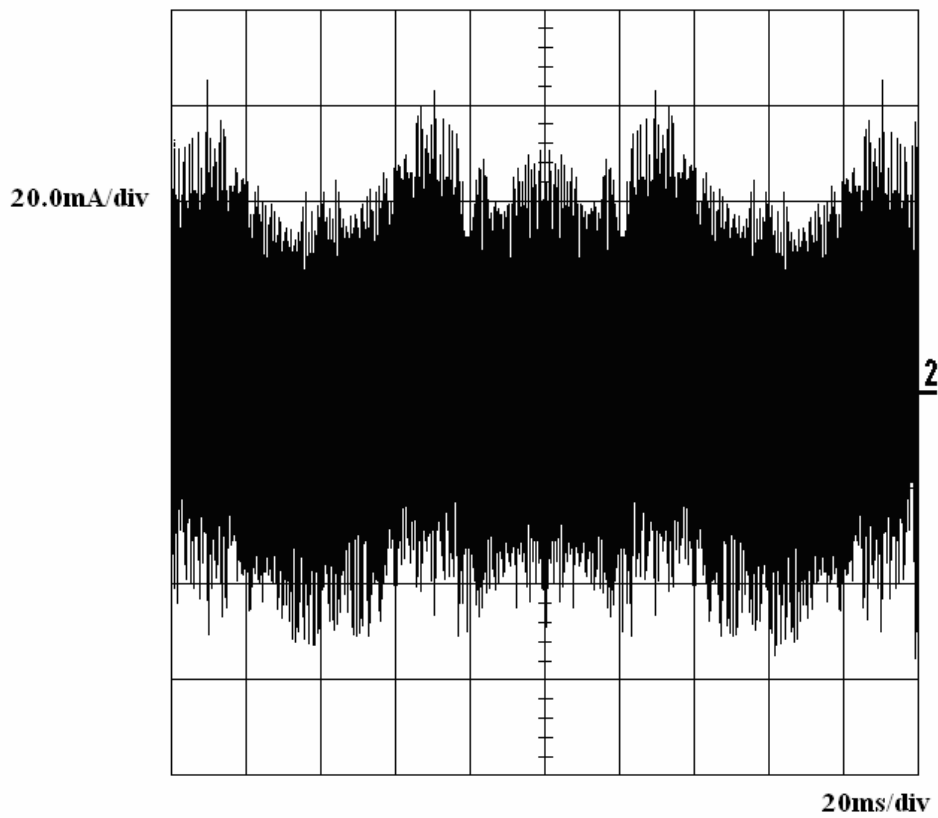


圖 5-26 閉迴路控制下之第二台電流誤差量

綜合上述實作結果，吾人可知本論文所提控制策略實現之實體電路確能達到預期之效果。

