



交通部臺灣鐵路管理局

工務處

Department of Construction
Taiwan Railway Administration, MOTC

砸道車電源電路板之研製

Study of Power Supply for Tamping Machine

中華民國 98 年 4 月

序


軌道養路機械為本局養路自動化重要之一環，自民國 71 年起陸續購置大型砸道車、道岔砸道車、整碴車、篩碴車、穩定車等車輛迄今已逾 27 年者有之，早期購置之砸道車多已老舊，故障之頻率增高，零、配件之購置日益困難，待料時間增長，為維持這些老舊車輛之功能，工務養護總隊戮力以赴進行機械維修及保養。

吾友進財君自 87 年至工務養護總隊服務，即對工作盡心盡力，利用公餘時間進修，取得碩士學位，並應用所學對砸道車之電源電路板進行研製，除可大量節省成本並縮短採購時間提高設備利用率，對日益繁重之路線養護及人員不足均有甚大助益。

為傳承及分享進財君個人之學識與實務經驗，進財君將對電源電路板之研製過程，考量因素等做完整之記載與說明，其敬業及不藏私精神，值得吾人效法。

「地藏菩薩本願經」內云：「...心如工畫師，能畫諸世間，...」，每個人的未來要自己點點滴滴的累積，祝進財君未來的技術與經驗能更上一層樓。

副總工程司

張 悅 

目錄

序	i
目錄	ii
圖目錄	iv
表目錄	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 本文架構	4
第二章 電源轉換與穩壓電路的原理與構造	5
2.1 電源轉換器的分類	5
2.2 穩壓電路的分類與原理	11
第三章 DC-DC 轉換器基礎理論與系統架構	17
3.1 DC-DC 轉換器基礎理論	17
3.2 電路架構	26
第四章 實驗結果與討論	31
4.1 硬體電路製作與電路實測	31
4.2 穩壓性能實測	40
4.3 實驗結果	51

第五章 結論與建議.....	54
5.1 結論	54
5.2 未來研究方向	55
參考文獻	56

圖目錄

圖 2-1 電源轉換器分類圖	5
圖 2-2 AC-DC-AC 轉換示意圖	6
圖 2-3 降壓型 AC/AC 電路示意圖	7
圖 2-4 線性電源供應器電路示意圖	8
圖 2-5 Flyback 切換式電源供應器電路示意圖	9
圖 2-6 DC/AC 電路示意圖	10
圖 2-7 稽納二極體特性曲線圖	11
圖 2-8 稽納二極體基本穩壓電路圖	12
圖 2-9 電晶體與稽納二極體之基本穩壓電路圖	13
圖 2-10 OPA 構成之電壓隨耦器基本電路圖	14
圖 2-11 OPA 與稽納二極體之基本穩壓電路圖	14
圖 2-12 OPA 與電晶體之基本穩壓電路圖	15
圖 2-13 穩壓 IC 基本穩壓電路圖	16
圖 3-1 研究方法與架構流程圖	17
圖 3-2 DC-DC 轉換器動作原理圖	19
圖 3-3 降壓式轉換器基本電路架構圖	20
圖 3-4 降壓式轉換器於 CCM 模式下之各電壓、電流形圖	21

圖 3-5 昇壓式轉換器基本電路架構圖	22
圖 3-6 昇壓式轉換器於 CCM 模式下之各電壓、電流形圖	23
圖 3-7 昇降壓式轉換器基本電路架構圖	24
圖 3-8 昇降壓式轉換器於 CCM 模式下之各電壓、電流形圖	25
圖 3-9 電源轉換示意圖	26
圖 3-10 $\pm 15V$ 電源電路圖	27
圖 3-11 $\pm 10V$ 參考準位電路圖	28
圖 3-12 $\pm 10V$ 電源轉換示意圖	29
圖 3-13 $\pm 10V$ 電源電路圖	30
圖 4-1 電源電路板實體圖 (正面)	31
圖 4-2 電源電路板實體圖 (背面)	32
圖 4-3 電源電路板之完整電路圖	32
圖 4-4 PCB 板正面 Layout 圖	34
圖 4-5 PCB 板反面 Layout 圖	34
圖 4-6 PCB 板正面照片圖	36
圖 4-7 PCB 板反面照片圖	36
圖 4-8 電路板元件配置圖	37
圖 4-9 $+15V$ 之漣波波形圖	38

圖 4-10	-15V 之漣波波形圖	39
圖 4-11	示波器零電位電壓誤差波形圖	40
圖 4-12	輸入電壓為 18V 之電壓波形圖	41
圖 4-13	輸入電壓為 18V 時， $\pm 15V$ 無載電壓輸出波形圖	42
圖 4-14	輸入電壓為 18V 時， $\pm 15V$ 負載為 50% 的電壓輸出波形圖	42
圖 4-15	輸入電壓為 18V 時， $\pm 15V$ 滿載電壓輸出波形圖	43
圖 4-16	輸入電壓為 18V 時， $\pm 10V$ 無載電壓輸出波形圖	43
圖 4-17	輸入電壓為 18V 時， $\pm 10V$ 負載為 50% 的電壓輸出波形圖	44
圖 4-18	輸入電壓為 18V 時， $\pm 10V$ 滿載電壓輸出波形圖	44
圖 4-19	輸入電壓為 24V 之電壓波形圖	45
圖 4-20	輸入電壓為 24V 時， $\pm 15V$ 無載電壓輸出波形圖	45
圖 4-21	輸入電壓為 24V 時， $\pm 15V$ 負載為 50% 的電壓輸出波形圖	46
圖 4-22	輸入電壓為 24V 時， $\pm 15V$ 滿載電壓輸出波形圖	46
圖 4-23	輸入電壓為 24V 時， $\pm 10V$ 無載電壓輸出波形圖	47
圖 4-24	輸入電壓為 24V 時， $\pm 10V$ 負載為 50% 的電壓輸出波形圖	47
圖 4-25	輸入電壓為 24V 時， $\pm 10V$ 滿載電壓輸出波形圖	48
圖 4-26	輸入電壓為 36V 之電壓波形圖	48
圖 4-27	輸入電壓為 36V 時， $\pm 15V$ 無載電壓輸出波形圖	49

圖 4-28 輸入電壓為 36V 時， $\pm 15V$ 負載為 50% 的電壓輸出波形圖	49
圖 4-29 輸入電壓為 36V 時， $\pm 15V$ 滿載電壓輸出波形圖	50
圖 4-30 輸入電壓為 36V 時， $\pm 10V$ 無載電壓輸出波形圖	50
圖 4-31 輸入電壓為 36V 時， $\pm 10V$ 負載為 50% 的電壓輸出波形圖	51
圖 4-32 輸入電壓為 36V 時， $\pm 10V$ 滿載電壓輸出波形圖	51

表目錄

表 1-1 各型養路機械數量及電源電路板數量分配一覽表	2
表 2-1 各種轉換器應用電路及應用範圍一覽表	6
表 2-2 線性與切換式電源轉換器的優缺點比較表	9
表 4-1 電路元件規格一覽表	33
表 4-2 電路板孔徑一覽表	37
表 4-3 各輸入電壓之穩壓狀態比較表	52
表 4-4 電源電路板特性規格一覽表	53

第一章 緒論

台灣鐵路自西元 1891 年開通[1]至今已逾百餘年，隨著科技的進步與工程技術的日益精良，行車速度已由早期蒸氣火車平均數十公里，提高到 130 km/h 的商業運轉速度，其主因除動力機車牽引力及速度等性能大幅改善外，軌道結構的強化亦扮演著相當重要的角色。

台鐵目前所使用的軌道結構仍以石碴軌道為主，鋼軌則已由鐵路興建初期的 18 kg，提升至現今以 50 kg 及 60 kg 為主的重軌化路線；固定用的軌枕也以混凝土材質的 PC 枕取代舊有的木枕，如此，已大幅提升軌道結構的強度及精準度。隨著鐵路重軌化時代的來臨，台鐵自鐵路電氣化時期即由國外引進多部的大型養路機械，即俗稱的砸道車，以因應因軌化所增加的路線養護難度及日益縮減的人力不足等問題。

1.1 研究動機與目的

隨著早期購入的砸道車面臨汰舊換新及環島鐵路興建後對砸道車數量之需求，台鐵亦陸續購入多部各種新型式的砸道車以擔負路線養護之責。早期砸道車礙於當時控制技術及電力電子與感測器等元件的技術尚未發展至相當成熟，在控制上仍有部份採用機械式控制，因此砸道車上的電子設備數量並不多。隨著半導體技術的突飛猛進，在新購入之各型式砸道車上已加裝各型式的電子及電腦輔助設備，雖可提升路線養護之成效，但卻也突顯消耗功率

大增的缺點。

台鐵所購入的砸道車主要是由奧地利 Plasser & Theurer 生產製造，主結構除車身本體外，大致可分為砸道、起道、撥道、及量測等幾大部份，該公司在設計控制電路時，考量其各機構電源消耗的特性與獨立性，因此將上述各大機構的電源供應各自獨立，除可縮短維修時程外，更可避免因電源電路板一旦發生故障時，造成系統完全當機之隱憂。表 1-1 為目前台鐵購入之各型養路機械數量及電源電路板數量分配一覽表。

表 1-1 各型養路機械數量及電源電路板數量分配一覽表

名 稱	型 式	現有數量	電 源 電 路 板		總 計
			型 號	每部數量	
大型砸道車	08-32(舊)	8	EK-813	6	48
大型砸道車	08-32(新)	1	EK-813	1	1
大型砸道車	09-32	4	EK-813	5	20
中型砸道車	08-08	9	EK-813	6	54
中型砸道車	08-16	8	EK-813	6	48
道岔砸道車	08-275	1	EK-813	4	4
穩 定 車	DGS 62N	1	EK-813	1	1

EK-813 為砸道車等原廠所使用的電源電路板型號，與近年來所購入維修用電源電路板之 PCB 板型號為 EK-814SV 相較，兩者除僅於連接器上的跳線不同外，所提供的輸出功率均為 20W，故本文僅對 EK-813 做研討，在設計完成時，僅需於 PCB 佈線時將兩者不同之處列入考量，即可完成相容於

EK-813 與 EK-814 的通用型電源電路板。

由已發生故障的電源電路板及原廠提供的電路圖加以分析，電路板主要核心為 DC-DC Converter Module，功能為將 DC +24V 轉換成 DC $\pm 15V$ 的輸出，並利用該輸出電壓與運算放大器（OPA）及電晶體等電子元件組成的穩壓電路相互配合，以產生 DC $\pm 10V$ 的穩定電壓輸出。經查諸多已發生故障的電源電路板，主要故障原因均為 DC-DC Converter Module 輸出電壓偏高，約為 $\pm 20V$ ，已超過一般 OPA 容許的工作電壓範圍，且此時輸出電流亦明顯不足，已無法正常供電。另一次要故障原因為電源電路板上的 OPA 故障無法正常工作，而導致 $\pm 10V$ 的電壓輸出異常。

原廠電路板上 20W 電源轉換器為國外電源供應器廠商接受 Plasser & Theurer 委託承製，接腳及孔位與國內市售功能特性相當之電源轉換器並不相同；電路板上常用的 OPA 型號分別為 OP04CY 或 uA747CN，已於多年前停產，國內代理商亦無存貨可供採購，且可替用之 LM747 在國內使用並不普及，而造成零售價格偏高，在此雙重不利的因素影響下，造成電路板維修不易。

由表 1-1 可得知，本局目前由 30 餘部的大型養路機械共同擔負鐵路路線養護之責，所需的電源電路板總數量甚多，當今電源電路板維修方式大都以購入之新品更換，鮮少由更換故障之零件而維修。由於電源電路板之成品及各項零組件均需透過專責代理商方能購得，系屬外洋購料，採購過程曠日

費時並所費不貲，故本文之研究將以電力電子及穩壓電路等技術做為理論基礎，設計並製作出功能本同、性能超越 EK-813 的相容電路板，以供各工務段砸道車維修之用，減少因待料而影響工進，進而提升養路之效能並節省公帑支出。

1.2 本文架構

本文共分為五章。

第一章 簡述各型砸道車的電源電路板的使用狀況，並描述本文的研究動機與目的。

第二章 介紹各類型電源轉換器的基本特性及各種穩壓電路的基本構造與其優缺點，以便對電源供應系統的原理及特性有一概括了解。

第三章 提出本文所應用的各種理論基礎，並規劃出整體系統架構，依據系統架構設計出相對應的電源供應電路，並將各電路做一適當整合，以完成電路之設計。

第四章 將本文所提出的控制理論付諸實現。電源電路板包含了諸多小電路，在以電腦輔助設計完成後，透過實驗室的完整模擬實測，將電路予以實現，以確保本文所提出的電源電路為可行。

第五章 針對本文所提出的電源電路板的研究過程及實驗結果加以討論，並規劃出未來努力方向。

第二章 電源轉換與穩壓電路的原理與構造

電源依交變特性可分為交流電源與直流電源兩種。交流電自發電廠由發電機組產生後，經由輸電及配電等設備傳送到用戶，成為目前工業及家庭主要電力來源，可直接供給於交流負載使用，或經適當轉換後即可成為直流負載的電源供應。

直流負載所需的電源供應需具有電壓保持恆定且不隨時間改變的特性，雖與交流電特性迥然不同，但兩種電源卻可透過電力電子技術而相互轉換，以因應眾多特性不同的負載使用。

2.1 電源轉換器的分類

電源轉換器依輸出入特性不同約略可分為 AC/AC、AC/DC、DC/AC、與 DC/DC 等種類，如圖 2-1 所示

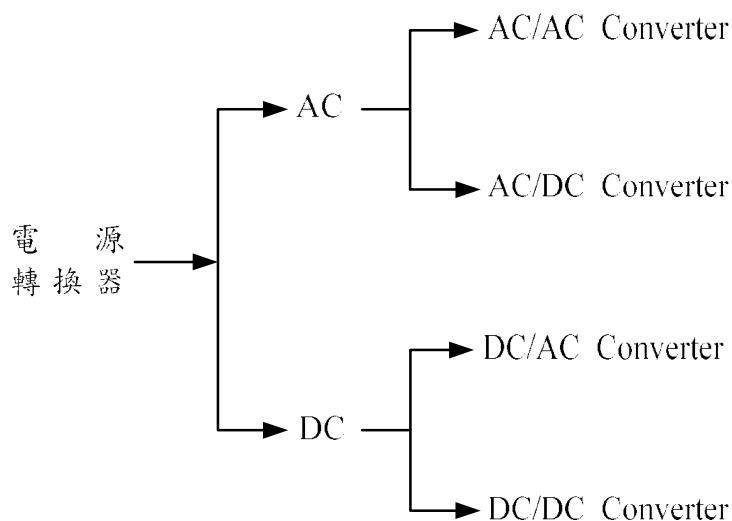


圖 2-1 電源轉換器分類圖

以各種電源轉換器做為理論基礎，可發展出諸多不同的應用電路，以符合各種不同場合需要，應用電路及應用範圍一覽表如表 2-1 所示。

表 2-1 各種轉換器應用電路及應用範圍一覽表

轉換器種類	應用電路	應用範圍
AC/AC Converter	1.交流電壓控制器 2.矩陣式轉換器 (Matrix Converter) 3.直流鏈轉換器 (DC Link Converter) 4.換流器 (Cycle Converter)	電熱與感應加熱 變頻器
AC/DC Converter	1.二極體整流器 2.相位控制器	一般整流電路 功率因數修正電路
DC/AC Converter	1.反流器 (Inverter)	馬達驅動控制 太陽能電力轉換 UPS
DC/DC Converter	1.截波器 (Chopper) 2.切換式電源供應器	電子式安定器 切換式電源供應器

(1)AC/AC Converter

AC/AC Converter[2]的轉換電路可分為兩大類，一為如圖 2-2 所示先將 AC 先轉換成 DC，再由 DC 轉換至 AC 的 AC-DC-AC 轉換器。

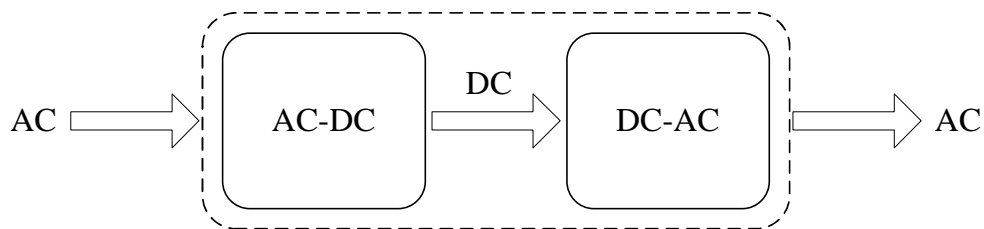


圖 2-2 AC-DC-AC 轉換示意圖

此種轉換器內部需經由兩個轉換程序，在轉換器在轉換過程中均有損失產生，因此常造成轉換效率不佳。若圖 2-2 中的 AC-DC 轉換器效率為 η_1 ，DC-AC 轉換器效率為 η_2 ，整體總效率 $\eta_T = \eta_1 \times \eta_2$ ，因 η_1 與 η_2 均為小於 1，且總效率 η_T 為兩者乘積，故 η_T 勢必遠小於 1，但由於電路結構簡單，仍有 AC/AC 轉換電路會採用此種模式。

另一種 AC/AC Converter 為直接將輸入的 AC 電源轉換成不同頻率或振幅的 AC 電源輸出，具有高轉換效率的優點，電路甚為複雜且控制方式繁多，除如圖 2-3 所示的降壓型轉換器外，亦有升壓型與變載等多種轉換器。

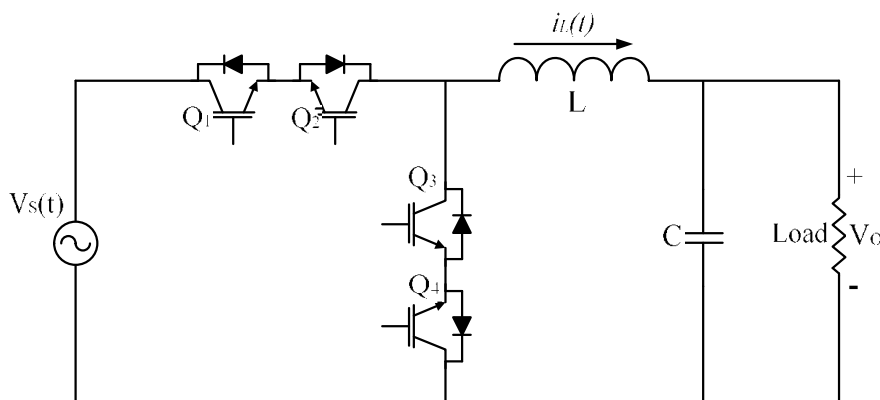


圖 2-3 降壓型 AC/AC 電路示意圖

圖 2-3 中的電子開關 $Q_1 \sim Q_4$ 分別由控制電路控制導通順序，以獲得降壓後的交流變頻輸出，由於控制方式已達數十種，且至目前仍有多種理論持續研發，故在此不加贅述。

(2) AC/DC Converter

一般常見的 AC/DC Converter 設備為電源供應器，依電路結構不同可分為

線性式電源供應器和交換式電源供應器 [3] 兩種。

線性式電源供應器為使用變壓器、二極體、與電容器共同組成，電路示意圖如圖 2-4 所示，由於交流電源經變壓器降壓後，經二極體 D_1 與 D_2 做全波整流及電容濾波穩壓後，可產生穩定直流電源輸出並供應負載使用。此種電路有電路簡單、成本低廉、穩定度高、暫態響應快、漣波小、及電磁干擾小等優點，但卻有體積大、重量重、轉換效率低、及無法以直流做為輸入等缺點。

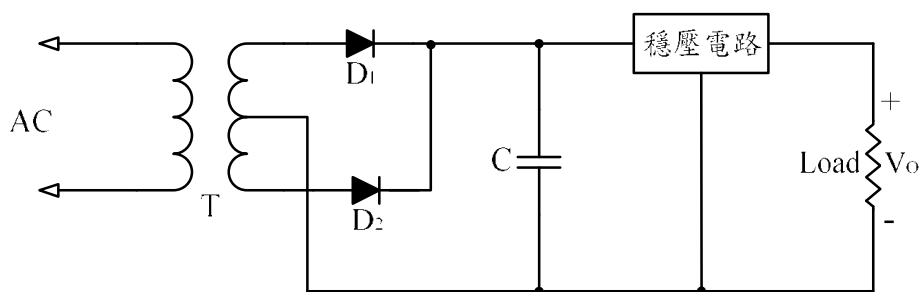


圖 2-4 線性電源供應器電路示意圖

以功率電子開關及隔離變壓器及電容器、二極體等被動元件所組成的切換式電源供應器即可克服線性式電源供應器存在的缺點。切換式電源供應器具有效率高、重量輕、可做直流輸入、及空載時耗電低等優點，相較線性式電源供應器則有電路複雜、漣波較大、及電磁干擾較大等缺點。

圖 2-5 為功率為 100W 以下的 Flyback 切換式電源供應器電路示意圖，其中 $D_1 \sim D_4$ 與 C_1 組成全波整流及濾波電路，此電源透過功率電子開關與隔離變壓器，將能量傳送到變壓器二次側的電容 C_2 儲存，以得輸出電壓 V_0 。

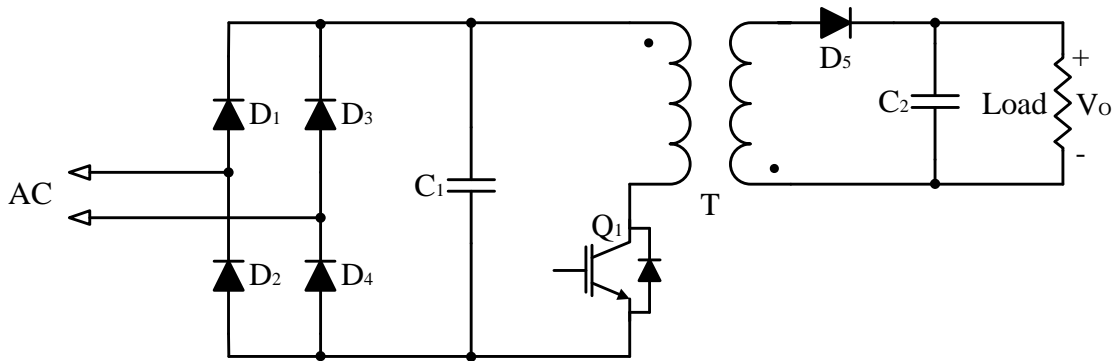


圖 2 - 5 Flyback 切換式電源供應器電路示意圖

一般切換式電源轉換器的工作頻率為 20k Hz~100k Hz，如與 ZVS 或 ZAS 技術配合，則可將切換頻率提升至 200k Hz 以上，可獲得更穩定的輸出電壓。

表 2 - 2 為線性與切換式電源轉換器的優缺點比較表。

表 2 - 2 線性與切換式電源轉換器的優缺點比較表

	線性電源供應器	切換式電源供應器
優點	1. 電路結構簡單 2. 輸出電壓漣波小 3. 電磁干擾 (EMI) 小 4. 電路可靠度與穩定性高	1. 體積小、重量輕 2. 轉換效率高 3. 輸入電壓範圍大 4. 功率密度高
缺點	1. 體積與重量龐大 2. 效率差	1. 控制與電路結構複雜 2. EMI 與雜訊干擾嚴重 3. 輸出電壓漣波較大 4. 電路穩定度易受溫度影響

(3)DC/AC Converter

DC/AC Converter 亦可稱為 Inverter，電路示意圖如圖 2-6 所示[4]，功率電子開關 Q_1 與 Q_2 導通與否為由外部的控制電路加以控制，控制電路主要是由一個高頻的三角波和低頻的正弦波做比較而產生控制訊號，故在 A 點對地所量測而得的為 PWM 脈波訊號，此一訊號流經由電感 L 和電容 C 組成的低通濾波器（Low Pass Filter）後，可產生近似正弦波 V_O 輸出。常見的應用為不斷電系統（Uninterruptable Power System，UPS），當市電停電時，將儲存於電池內部化學能轉換成的直流電源，經由 DC/AC 的轉換電路產生交流電輸出，以對儀器及設備持續供電，避免因市電停電而造成損失及資料流失。

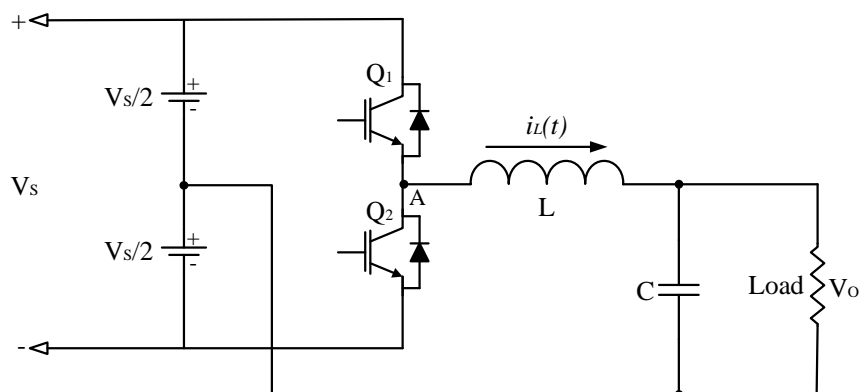


圖 2-6 DC/AC 電路示意圖

(4)DC/DC Converter

交流電欲昇壓或降壓可以透過變壓器輕易達成，但直流電則需透過電子切換技術才能予以實現，常見的直流電源轉換器有降壓式轉換器（Buck Converter）、昇壓式轉換器（Boost Converter）與昇降壓式轉換器（Buck-Boost

Converter)。近年來因 3C 及行動產品數量激增，對於直流電源轉換器需求也顯著增加，因此良好的直流電源轉換器需具有高轉換效率、輸出入隔離、及短路與過載保護等特性。

2.2 穩壓電路的分類與原理

理想的線性穩壓電源需具有穩定性高、漣波低、可靠性高、不受負載及溫度變化影響等特性，依輸出入特性可分為穩壓電源、恆流電源、與穩壓恆流電源。穩壓電源常使用的穩壓元件為稽納二極體、電晶體、OPA、與線性穩壓 IC 等幾大類。

(1) 稽納二極體

稽納二極體 (Zener Diode) 為 P-N 接合的半導體，主要特性為利用崩潰時電壓 V_Z 保持不變的特性，作為穩壓之用，其特性曲線如圖 2-7 所示。

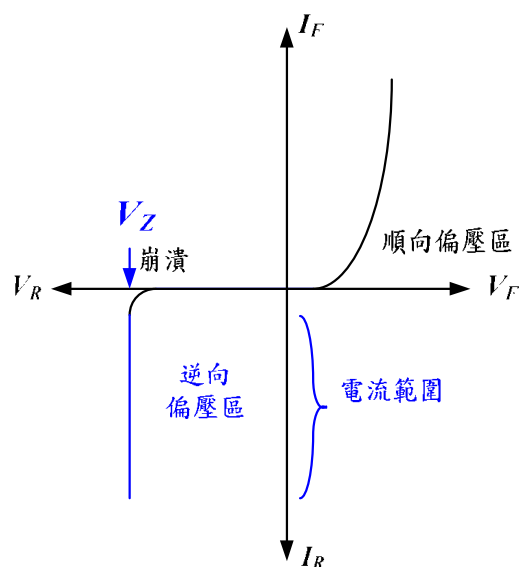


圖 2-7 稽納二極體特性曲線圖

由圖 2-7 中可得知，當稽納二極體工作於順向偏壓時，特性與一般二極體相同；若施以反向偏壓，在額定電流範圍內，稽納二極體將保持恆定電壓輸出，可利用此性來做為穩壓電路的主要穩壓元件，穩壓電路的基本電路圖如圖 2-8 所示。由於稽納二極體的穩壓電路構造簡單，並可提供高品質的穩壓電源輸出，且低功率的稽納二極體價格甚為低廉，故常被做為低功率穩壓電路使用。

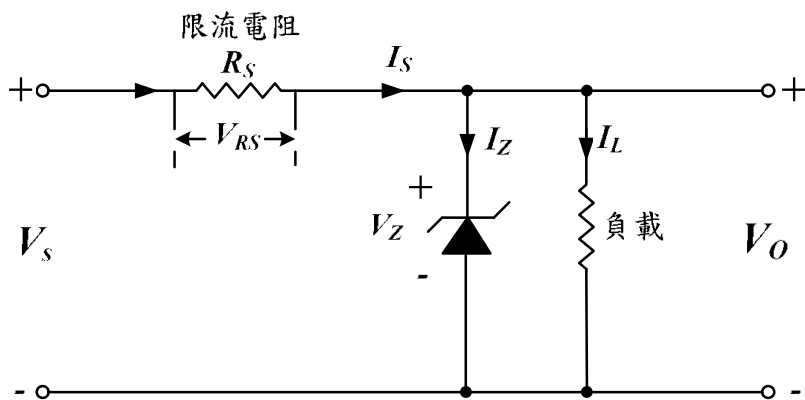


圖 2-8 稽納二極體基本穩壓電路圖

圖 2-8 中的 V_o 為輸出電壓， I_L 為流經負載的電流。稽納二極體與負載做並聯連接，故輸出電壓會等於稽納二極體的崩潰電壓 V_Z ，輸出電壓與負載電流可分別由方程式(2-1)與(2-2)表示。

$$V_o = V_Z \quad (2-1)$$

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} \quad (2-2)$$

稽納二極體一般額定功率並不高，在設計穩壓電路時需加入限流電阻加以保護以避免燒毀，限流電阻與電路總電流可由方程式(2-3)表示。

$$I_S = \frac{V_S - V_Z}{R_S} \quad (2-3)$$

其中， I_S 為電路總電流， R_S 為限流電阻。

(2) 電晶體穩壓

雖然稽納二極體可提供穩定的電壓輸出，但高功率的稽納二極體價格不菲，相較高功率電晶體具物美價廉特性，若能將低功率的稽納二極體與高功率的電晶體做適當組合，即可提供較大電流的輸出，形成高功率的穩壓電路，此種電路結構稱為射極隨耦調節器 (Emitter-Follower Regulator)，基本穩壓電路圖如圖 2-9 所示。

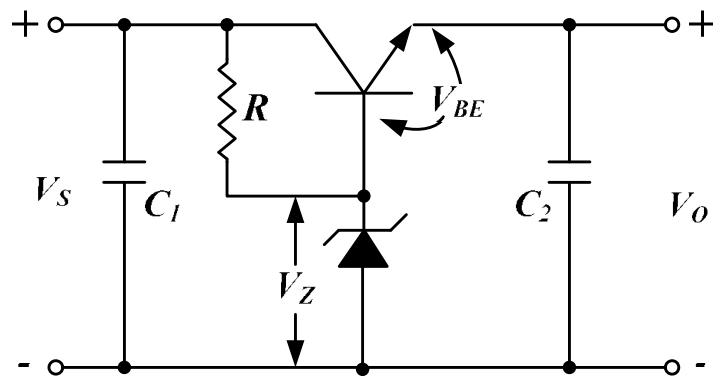


圖 2-9 電晶體與稽納二極體之基本穩壓電路圖

輸出電壓與稽納二極體的關係可由方程式(2-4)表示。

$$V_o = V_Z - V_{BE} \quad (2-4)$$

其中， V_o 為輸出電壓， V_Z 稽納二極體崩潰電壓， V_{BE} 為電晶體 B-E 間導通壓降，一般約為 0.7V。

圖 2-9 中 R 為限流電阻，保護稽納二極體之用， C_1 與 C_2 為電源濾波用。

(3)OPA 穩壓

以運算放大器構成電壓隨耦器，如圖 2-10 所示，具有輸入電壓等於輸出電壓 $V_s = V_o$ 與放大增益等於 1 的特性，再與適當的標準電壓電壓參考元件組合，則可構成以 OPA 為核心的穩壓電路。圖 2-11 所示的穩壓電路即為採用稽納二極體做為標準電壓產生器，以獲得穩定的電壓 V_o 輸出，其關係可由方程式(2-5)表示。

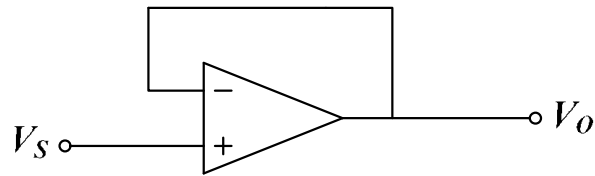


圖 2-10 OPA 構成之電壓隨耦器基本電路圖

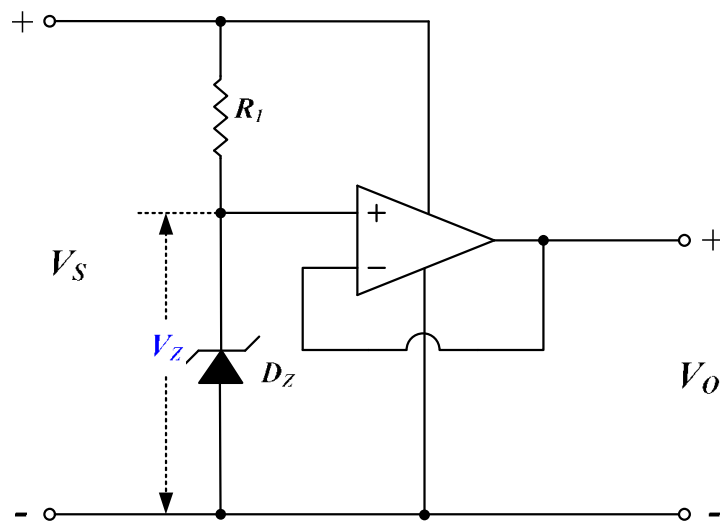


圖 2-11 OPA 與稽納二極體之基本穩壓電路圖

$$V_o = V_Z \quad (2-5)$$

其中， V_o 為輸出電壓， V_Z 稽納二極體崩潰電壓。

由於 OPA 所能提供的電流不大，故圖 2-11 的電路僅能適用於較低功率的場合，如欲使用較大的負載，可在 OPA 的輸出端再與高功率之電晶體做串聯組合，即為如圖 2-12 所示的電路圖。

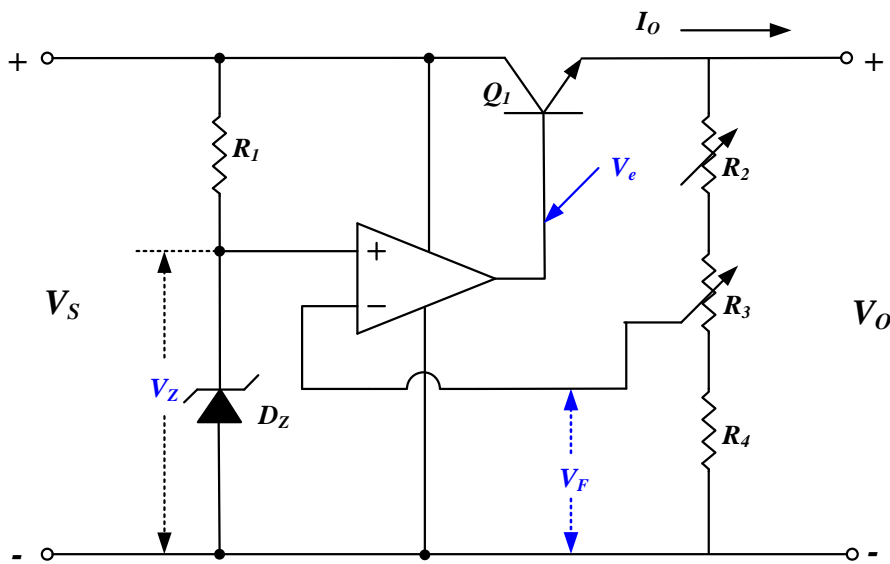


圖 2-12 OPA 與電晶體之基本穩壓電路圖

圖 2-12 中 R_1 為稽納二極體之限流電阻，由稽納二極體所產生的參考電壓 V_Z 接至 OPA 的正相輸入端，而取樣電壓 V_F 接至反相輸入端，當輸出電壓 V_O 正常時，則 $V_Z = V_F$ 。

(4) 積體穩壓 IC

$\mu A7800$ 與 $\mu A7900$ 系列的積體穩壓 IC 具有安裝容易、輸入電壓範圍大、輸出電壓穩定、具保護功能、及價格低廉等特點，已被廣泛使用，也成為用途最廣、銷售量最大的穩壓 IC。

78 系列的穩壓 IC 內部主要包括啟動電路、參考電壓、差動放大器、調整

器、及保護電路等組成，圖 2 - 13 為使用穩壓 IC 做為穩壓元件的基本電路圖。

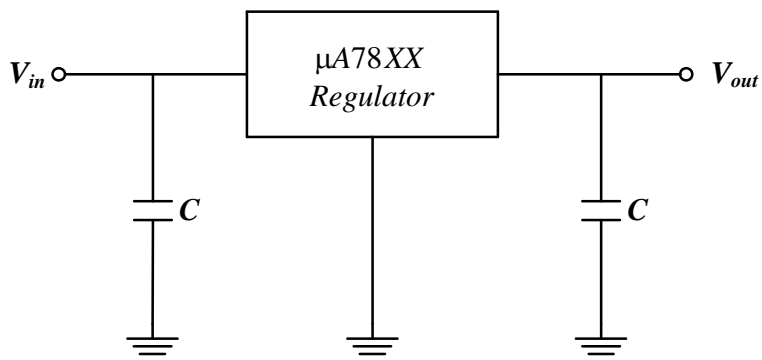


圖 2 - 13 穩壓 IC 基本穩壓電路圖

圖 2 - 13 中 $\mu A78XX$ 的後兩位數字即代表輸出電壓，市售標準規格有 5V、6V、12V、15V、18V、與 24V 等多種規格，只要輸入電壓 V_{in} 大於輸出電壓，即可使穩壓 IC 正常工作，保持恆定電壓輸出。電容器 C 主要功能做為輸入與輸出端濾波之用。

78 與 79 系列穩壓 IC 常見的封裝型式為 TO-220 塑料包裝，額定電流僅為 1A，在使用上造成諸多限制，且能量轉換效率低，多餘的輸入電壓均以熱量型式利用與接地端連接的散熱片散失，為其主要缺點。

第三章 DC-DC 轉換器基礎理論與系統架構

本文主要為研究如何藉由以 DC-DC Converter 的控制方法及與穩壓電路技術的相輔相成，以產生所欲輸出之穩定電壓。利用精密可變電阻，可讓輸出電壓在額定可調範圍內自由調整，以符合實際應用之所需。

圖 3-1 為本文的研究方法與架構流程圖，藉由資料收集與文獻參閱以完成電路設計與製作，除將完成之電路進行實驗模擬外，並進行實車測試，以確保本文所製作的電路板為可用。

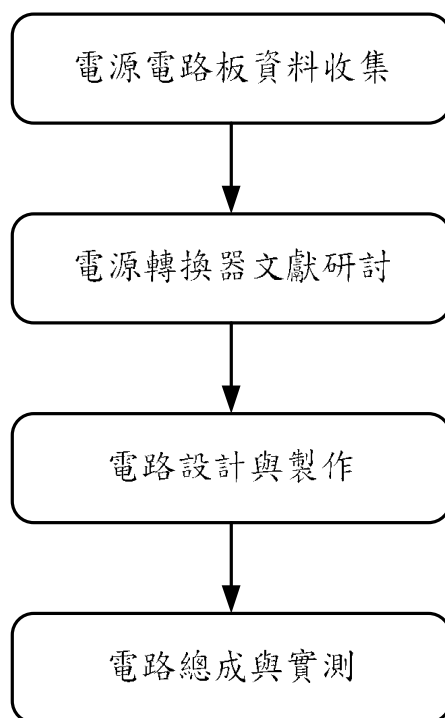


圖 3-1 研究方法與架構流程圖

3.1 DC-DC 轉換器基礎理論

切換式 DC-DC 電源轉換器可分為基本型轉換器 (Basic Converter) 與衍

生型轉換器 (Derived Converter) 兩大類。

基本型轉換器以降壓式 (Buck) 轉換器、昇壓式 (Boost) 轉換器、與昇降壓式 (Buck-Boost) 轉換器為主要代表，具有輸入端與輸出端間並無電氣隔離之特性。電路結構主要是由一個主動功率元件及被動的電感、二極體、與電容器等元件所共同組成，此主動功率元件主要功能為當作切換開關使用，一般為使用雙極性電晶體 (BJT)、場效應電晶體 (MOSFET) 與閘極絕緣雙極性電晶體 (IGBT)。

衍生型轉換器與基本型轉換器不同之處在於衍生型轉換器的輸入端與輸出端間具有電氣隔離的特性，且所使用的主動功率元件也常超過一個以上，共包含了反馳式 (Flyback) 轉換器、順向式 (Forward) 轉換器、推挽式 (Push-Pull)、半橋式轉換器 (Half-Bridge)、與全橋式轉換器 (Full-Bridge) 等幾大類。

切換式 DC-DC 轉換器動作原理[5]如圖 3-2 所示，若圖 3-2 中之 SW 為理想開關，當 SW 閉合時，輸出與輸入相同；而當 SW 打開時，輸出則為零，故輸出之平均電壓可由方程式(3-1)表示。

$$V_{OUT} = \frac{1}{T} \int_0^T v_{OUT}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_{IN} dt = V_{IN} D \quad (3-1)$$

其中， V_{IN} 為輸入電壓； D 為責任週期； V_{OUT} 為輸出電壓。

藉由調整責任週期 (Duty Cycle) D 大小，即可控制輸出之平均電壓，如

方程式(3-2)所示。

$$D \equiv \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on}f \quad (3-2)$$

其中， f 為切換頻率，單位為 Hz。

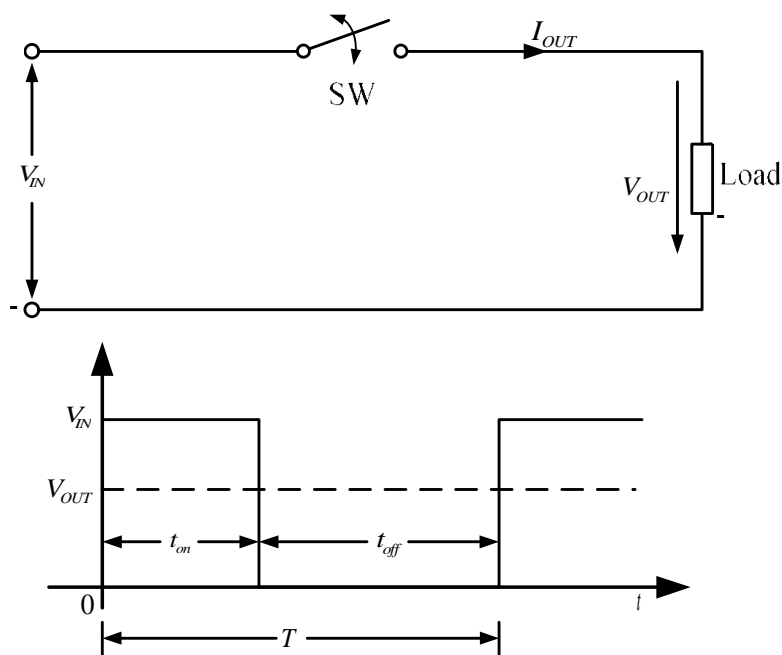


圖 3 - 2 DC-DC 轉換器動作原理圖

(1)降壓式 (Buck) 轉換器

圖 3 - 3 所示為降壓式轉換器基本電路架構圖，由於切換開關直接與輸入電源串聯，且亦無變壓器做電氣隔離，因此形成直流共用型態，輸入電流為非連續；輸出電流則依電感 L 上所儲存與復原的磁通關係，以決定電感上之電流導通與否，故在設計時，轉換器可在連續導通模式 (Continuous Conduction Mode, CCM) 與不連續導通模式 (Discontinuous Conduction Mode, DCM) 中則一選擇設計。

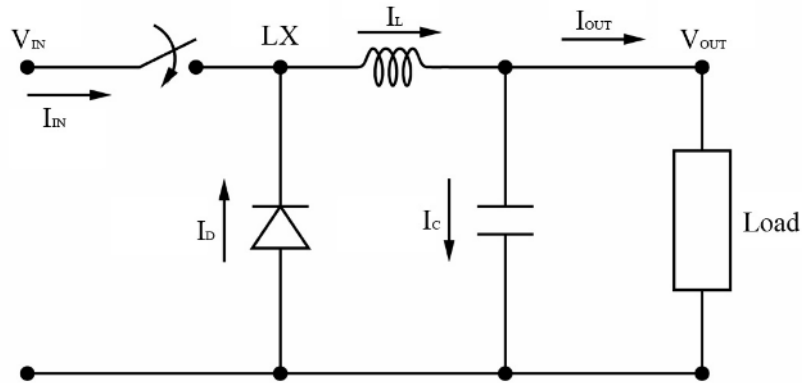


圖 3-3 降壓式轉換器基本電路架構圖

連續導通模式 (Continuous Conduction Mode, CCM)，其電感上的電流最小值為保持連續且不降為零，所以對於負載較重之使用場合均為採用此種模式設計，故連續導通模式亦可稱為重負載模式 (Heavy Load Mode)。

不連續導通模式 (Discontinuous Conduction Mode, DCM)，其電感上的電流最小值可為零且不連續，對於負載較輕之使用場合可採用此種模式設計，故亦可稱為輕負載模式 (Light Load Mode)。

在實際應用上，雖然有兩種模式可供設計選擇，但由於連續導通模式可以獲得較佳的輸出特性，故一般均都設計操作於連續導通模式。

降壓式轉換器操作模式如圖 3-4 所示，在 CCM 模式下，當開關 SW 導通，二極體 D 截止，功率直接由電源 V_{IN} 輸入至電感 L 及負載；當開關 SW 截止，二極體 D 導通，電感 L 將儲存的能量釋放並供應於負載，故電感器的電壓可由方程式(3-3)表示之。

$$V_L = V_{IN} - V_{OUT} \quad (3-3)$$

而電感 L 上的電壓電流關係可由方程式(3-4)表示。

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = L \frac{\Delta I_L}{\Delta t} \quad (3-4)$$

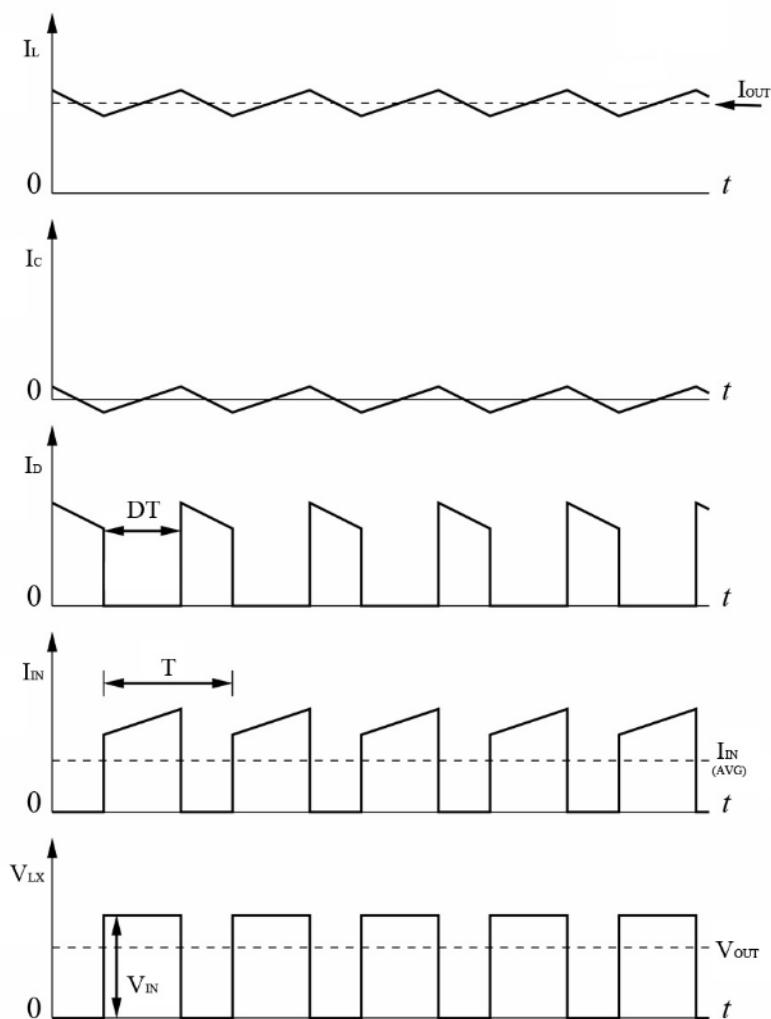


圖 3-4 降壓式轉換器於 CCM 模式下之各電壓、電流形圖

因 V_L 與 L 為定值，故 I_L 在圖 3-4 中會呈現線性上升變化。當 SW 截止時，電感上電壓 $V_L = -V_{OUT}$ ，呈現負值， I_L 會呈現線性下降變化。因此電感 L 在一完整的切換週期裡平均電壓為零，可由方程式(3-5)表示。

$$\int_0^T V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{off}}^T V_L dt = 0 \quad (3-5)$$

由於 V_L 在 t_{on} 與 t_{off} 為定值，此定值可由方程式(3-6)與方程式(3-7)表示。

$$V_L(t_{on}) = V_{IN} - V_{OUT} \quad (3-6)$$

$$V_L(t_{off}) = -V_{OUT} \quad (3-7)$$

將方程式(3-6)與方程式(3-7)加以整理後可得方程式(3-8)。

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = D \quad (3-8)$$

由方程式(3-8)可得知，輸出電壓與責任週期成正比關係。

(2) 昇壓式 (Boost) 轉換器

圖 3-5 所示為昇壓式轉換器基本電路架構圖，特性與降壓式轉換器相似，由於輸入與輸出成直流共用型態，切換開關與輸入電源有共同接地，因此輸入電流為連續。

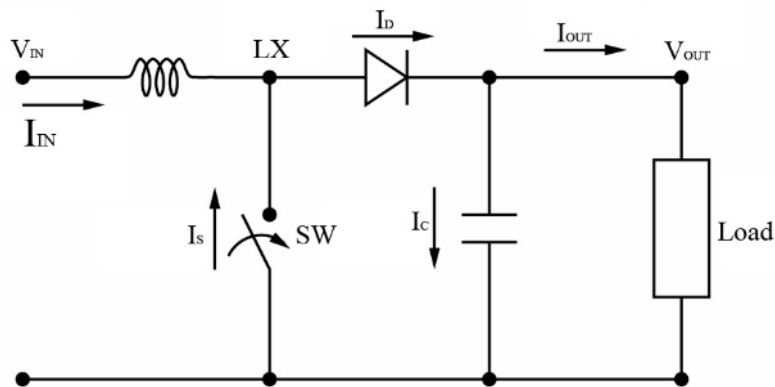


圖 3-5 昇壓式轉換器基本電路架構圖

昇壓式轉換器操作模式如圖 3-6 所示，在 CCM 模式下，當開關 SW 導通，輸入電源 V_{IN} 對 L 充電，此時電感儲存能量；當開關 SW 截止， V_{IN} 對負載提供能量，電感 L 亦同時釋放能量給負載。

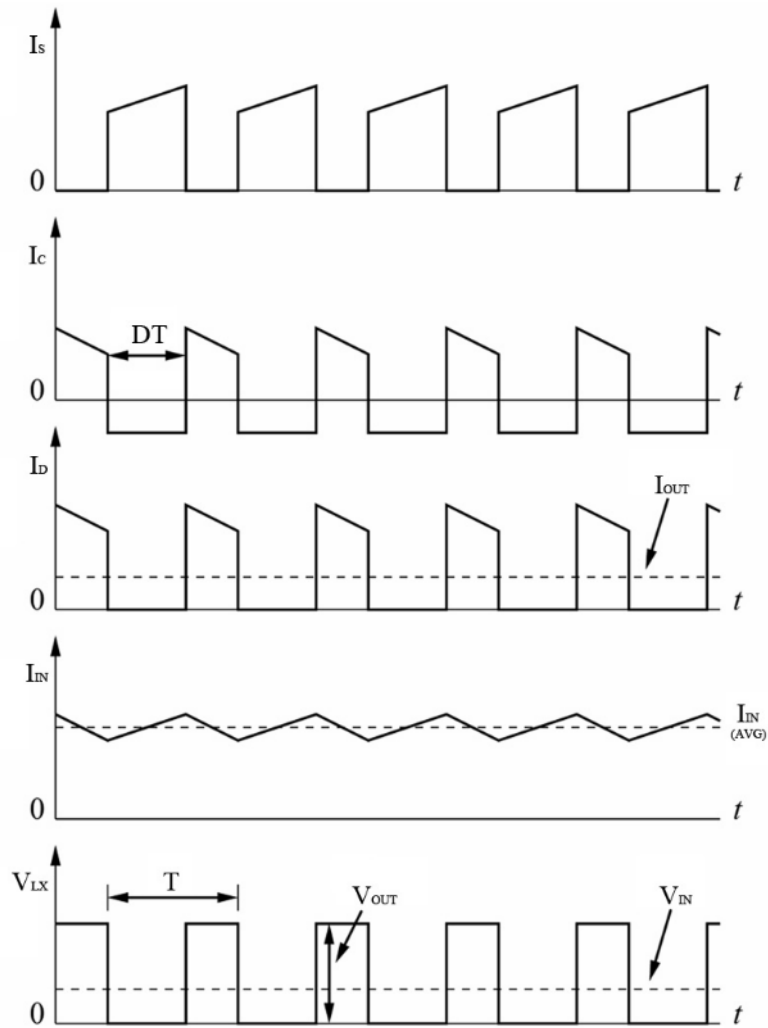


圖 3-6 昇壓式轉換器於 CCM 模式下之各電壓、電流形圖

當 SW 導通時，電感上電壓 $V_L = V_{IN}$ ；SW 截止時，電感上電壓 $V_L = V_{IN} - V_{OUT}$ ，且電感 L 在一個完整的切換週期裡平均電壓為零，可由方程式 (3-9) 表示。

$$V_{IN}t_{on} + (V_{IN} - V_{OUT})t_{off} = 0 \quad (3-9)$$

將方程式加以整理可得輸入與輸出的電壓、電流、及責任週期的相互關係，分別由方程式(3-10)與方程式(3-11)表示。

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} = \frac{1}{1-D} \quad (3-10)$$

$$\frac{I_{OUT}}{I_{IN}} = 1-D \quad (3-11)$$

(3) 昇降壓式 (Buck-Boost) 轉換器

將降壓式與昇壓式轉換器做適當的串聯結合，則可成為如圖 3-7 所示的昇降壓式轉換器。當 SW 導通時，電流會流經電感 L ，並將能量儲存於其中，此時二極體 D 處於逆向偏壓狀態，假設電容器 C 已被充飽電，此時電容器 C 即可繼續對負載提供能量。

當 SW 截止時，則電感 L 將已儲存的能量釋放，此時電感 L 上的電壓極性因楞次定律而反轉，而使二極體 D 導通。儲存於電感 L 上之能量，則會在負載上產生反向的輸出電流，同時對電容器 C 充電，此時負載 Load 上的輸出電壓極性恰好與輸入電壓相反。

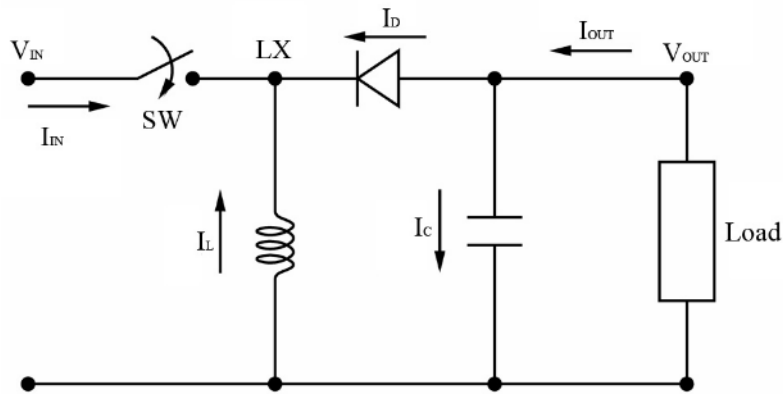


圖 3-7 昇降壓式轉換器基本電路架構圖

昇降壓式轉換器操作模式如圖 3-8 所示，輸出的平均電壓如方程式(3-12)所示。

$$-V_{OUT} = V_{IN} \times \frac{D}{1-D} \quad (3-12)$$

當責任週期 D 為 100% 時，則：

$$V_{IN} \times I_{IN} = V_{OUT} \times I_{OUT} \quad (3-13)$$

將方程式(3-12)與方程式(3-13)加以整理後可得方程式(3-14)。

$$V_{IN} = I_{OUT} \times \frac{D}{1-D} \quad (3-14)$$

可由上述方程式得知，當責任週期 $D=50\%$ 時， $-V_{OUT} = V_{IN}$ ，且 $-I_{OUT} = I_{IN}$ 。

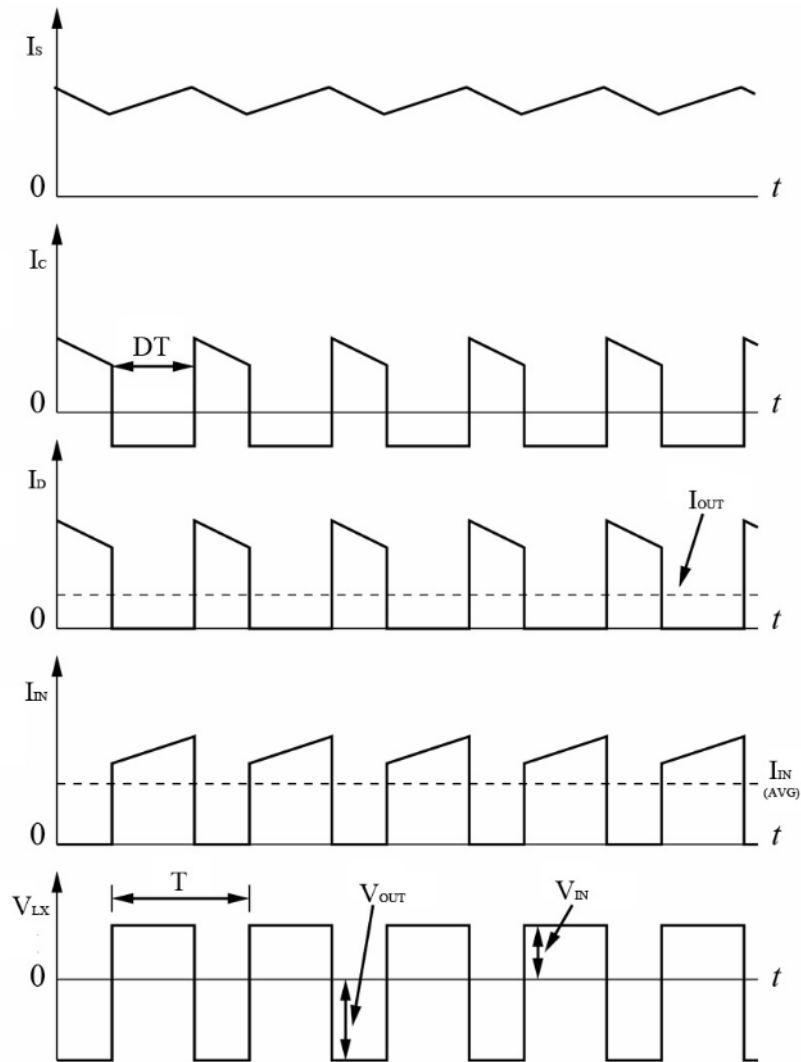


圖 3-8 昇降壓式轉換器於 CCM 模式下之各電壓、電流形圖

3.2 電路架構

本文電路主要結構為將由砸道車發電機所產生的 DC +24V 直流電源，經由 DC-DC Converter 及穩壓電路，轉換成 DC $\pm 15V$ 與 DC $\pm 10V$ 的兩組雙電源輸出，轉換示意圖如圖 3-9 所示。

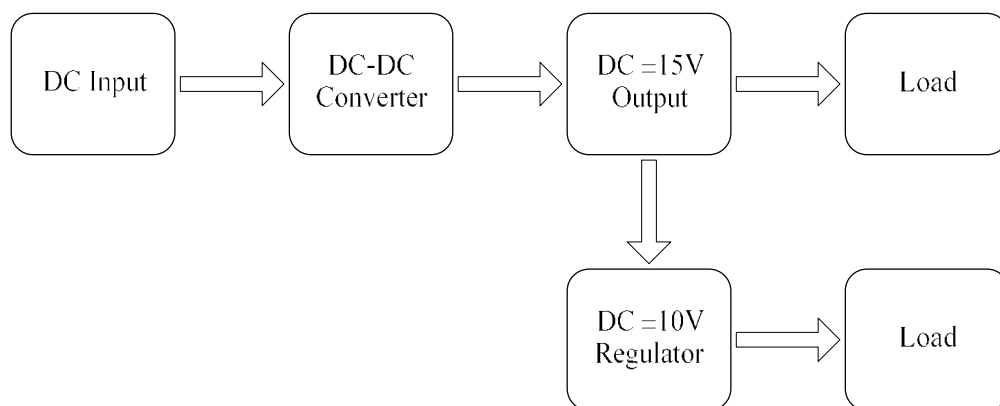


圖 3-9 電源轉換示意圖

DC $\pm 15V$ 的電壓輸出主要做為後端電路板上 OPA 與其他負載的電源供應，同時也提供約 0.8W 的功率做為 DC $\pm 10V$ 穩壓電路的電源輸入。由於 DC $\pm 10V$ 的主要功用為提供砸道車上各機構電位計使用，在功率消耗上甚小，但其精準度要求甚鉅，故該穩壓電路需有不受輸入電壓變化、負載變化、及溫度影響等特性。

(1) $\pm 15V$ 電源供應單元

由圖 3-9 的電源轉換示意圖可知，提供產生 $\pm 15V$ 的電源轉換器為整體電路核心所在，其理論基礎則詳見於本文 3.1 節。在設計此一轉換電路時，除需考量轉換器的輸出入特性外，更需與濾波及保護等電路一仝組成，方可將

此直流轉換器付諸於實現。綜觀國內交換式電源供應器製造廠商，吾可發現由明緯（MEAN WELL）公司所生產製造的 DKA30B-15[6]，其諸多特性皆符合本文電源轉換器之規格要求，故本文之電源轉換器則決定採用市售商用的規格轉換器，不再另行設計製作，以縮短整體電路開發時程。

圖 3-10 為利用 DKA30B-15 所設計的 $\pm 15V$ 穩壓電路，其中 F1 為 1.6A 的保險絲，防止過載之用；D1 為防止輸入電源反接之二極體；C1、C3、C5、與 C8 則為輸出入電源端的高頻濾波器；C2、C4、C6、與 C7 為輸出入電源端的穩壓濾波器；DZ1 與 DZ2 為防止轉換器故障而輸出過高電壓的過電壓保護器；VR1 則為電壓調整用之精密可變電阻，電壓調整範圍為 $\pm 15V \pm 10\%$ 。

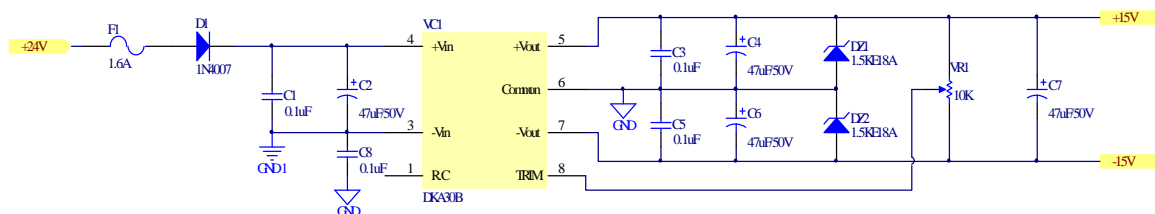


圖 3-10 $\pm 15V$ 電源電路圖

砸道車發電機的標準輸出電壓為 DC +24V，其值會隨負載變化及外在因素約有 $\pm 3V$ 的電壓變化，但本文所使用的轉換器，輸入電壓範圍允許由+18V 到+36V，足以忍受發電機輸出電壓的變化。

雖在 DKA30B-15 內部的輸入端，已有設計一組 π 型濾波器，但在實際應用上，仍會在輸入端多加一組濾波電路，以減少電源雜訊的干擾。除此之外，該轉換器內部在輸出端雖有短路保護與過載保護之設計，但本文仍額外再設

計±18V 的過電壓保護電路，以便對負載端有著實且周詳的保護。

(2)±10V 參考準位

±10V 的輸出電壓主要為提供砸道車上各機構電位計使用，因此±10V 的絕對值應為相同，不可有誤差產生，以免影響電位計量計之精準度，故在設計±10V 的穩壓電路時，可採用市售具有相當穩定輸出的電壓位準參考元件做為±10V 穩壓電路之參考電壓。本文所採用的電壓位準 IC 為 ANALOG 公司生產的 REF01，其包裝為 DIP 的封裝型式[7]。

以 REF01 作為±10V 的參考電壓輸出元件，電路圖如圖 3-11 所示，其中 C9 為電源雜訊濾除之用；R1、R2、R3 與 OPA 共同組成-10V 的參考電壓輸出，但 R1 與 R2 需使用精密型電阻，以免所產生的±10V 絕對值有所誤差；VR2 則為電壓調整用之精密可變電阻，電壓調整範圍為±10V±3%。

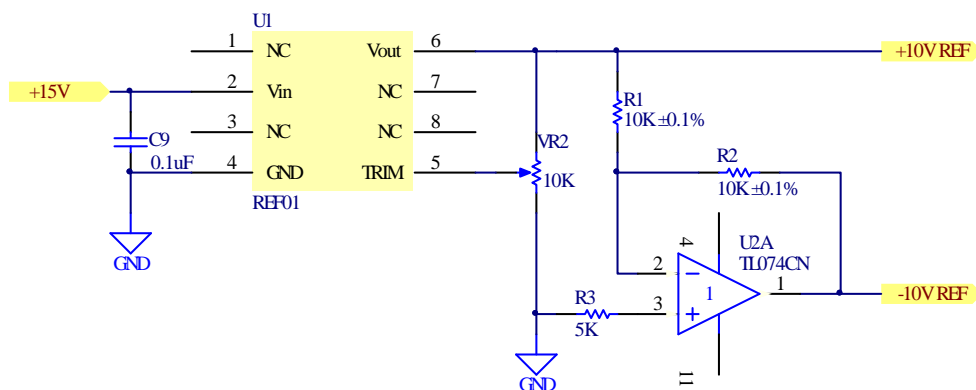


圖 3-11 ±10V 參考準位電路圖

REF01 具有良好的電氣特性，輸入電壓範圍最大值為 DC +40V，也即當電源轉換器一旦發生故障而導致輸出+15V 電壓拉高時，不致影響±10V 參考

電壓的輸出準位，而使後端 $\pm 10V$ 穩壓電路的輸出產生變化。

(3) $\pm 10V$ 電源供應單元

本文所設計之電源電路板為 $\pm 15V$ 與 $\pm 10V$ 兩組雙電源同時輸出，因 $\pm 10V$ 所需的功率僅為 $0.8W$ ，電流也僅需 $40mA$ ，故無需再使用 DC-DC Converter 來產生所需的電壓，僅需以本文 2.2 節中所提及的線性穩壓電路方可完成，以減少成本支出，其電源轉換示意圖如圖 3 - 12 所示。

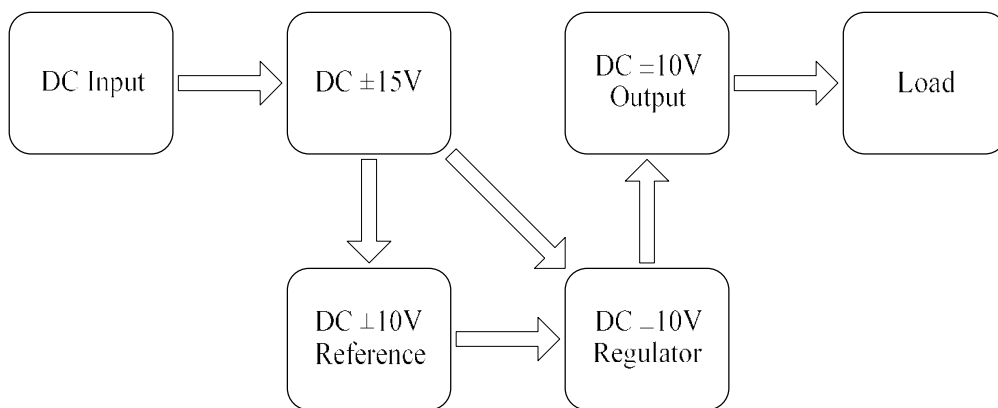


圖 3 - 12 $\pm 10V$ 電源轉換示意圖

依圖 3 - 12 所示的電源轉換示意圖做為設計理念，再以 OPA 搭配電晶體做穩壓電路，並與圖 3 - 11 所產生的 $\pm 10V$ 參考電壓做組合，即可完成如圖 3 - 13 所示的 $\pm 10V$ 穩壓電路。

圖 3 - 13 為輸出 $\pm 10V$ 的線性穩壓電路，其中 Q1 與 Q2 分別為 NPN 與 PNP 互補型的電晶體，主要功能為與後端的 OPA 產生串聯式穩壓；U2B 與 U2C 兩組 OPA 的輸入端分別與 $\pm 10V$ 的參考電壓做連接，同時再與輸出電壓做負迴授比較，以產生動態穩定，使 $\pm 10V$ 保持與參考電壓一致的穩定輸出；R4

與 R9 為限流輸出，將輸出電流限制於 40mA；D2~D5 功能為電晶體過載保護；
R6 與 R7 則與輸出端做並聯連接，其目的為做阻抗匹配。

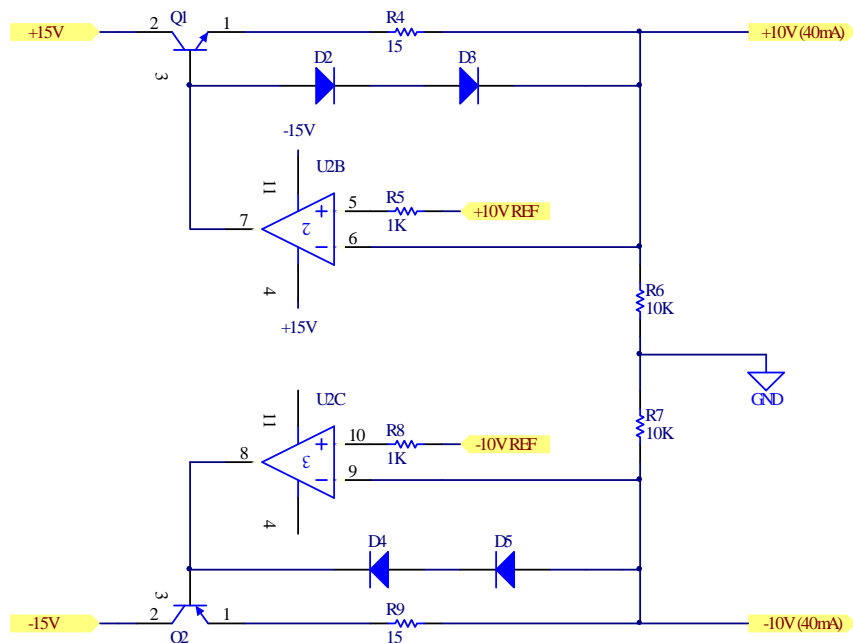


圖 3 - 13 ±10V 電源電路圖

圖 3 - 13 中所採用的電晶體 Q1 與 Q2 型號分別 2SC1384 與 2SA684，其 C 極的最大電流為 1A，C-E 的耐壓也有 50V，已可大幅滿足本電路之各種電氣特性。OPA 之選用，亦選用市售且易於購得之零件，以減少製作成本及降低維修待料之機率。

由於±10V 之穩定性要求甚嚴，在選用零件時，除需考量由外在及電路本身所產生的干擾影響外，更需具有良好的阻抗匹配特性，而市售的 TL074 則符合此要求，除具有低雜訊特性外，在 14 PIN 的 DIP 封裝裡更有 4 組 OPA 可供使用，已可滿足本文電路對 OPA 數量之需求。

第四章 實驗結果與討論

本文的電路以 DC-DC Converter Module 為主要核心，將輸入的+24V 電源轉換成可調的 $\pm 15V$ 輸出，並再利用該輸出電壓，透過電壓參考單元及 OPA 與電晶體所組成的串聯式穩壓電路一全配合，即可將具限流保護 $\pm 10V$ 的電源供應共同設計於同一 PCB 板上。

4.1 硬體電路製作與電路實測

本文硬體電路為使用 PCB 電腦輔助設計[8][9]製作而成，電路經由軟體繪製後隨即可產生相對應的稿件輸出。將其產生的稿件與雙面感光電路板配合，經曝光、顯影、蝕刻、鑽孔、裁切、及焊接，即可將此電源電路以印刷電路板模式呈現，焊接好的電路實體圖如圖 4-1、圖 4-2 所示。由於電路製作過程均為採用電腦輔助設計，對日後大量生產具有其便利性。

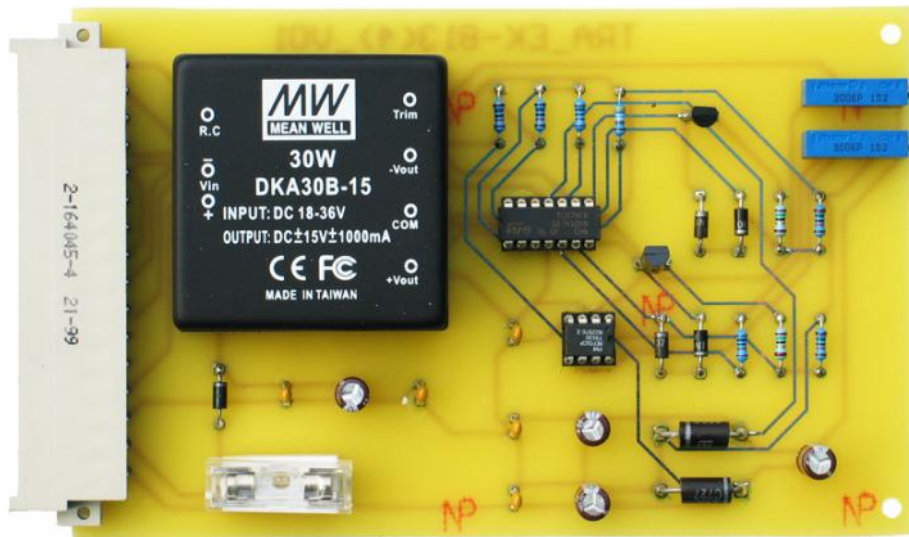


圖 4-1 電源電路板實體圖（正面）

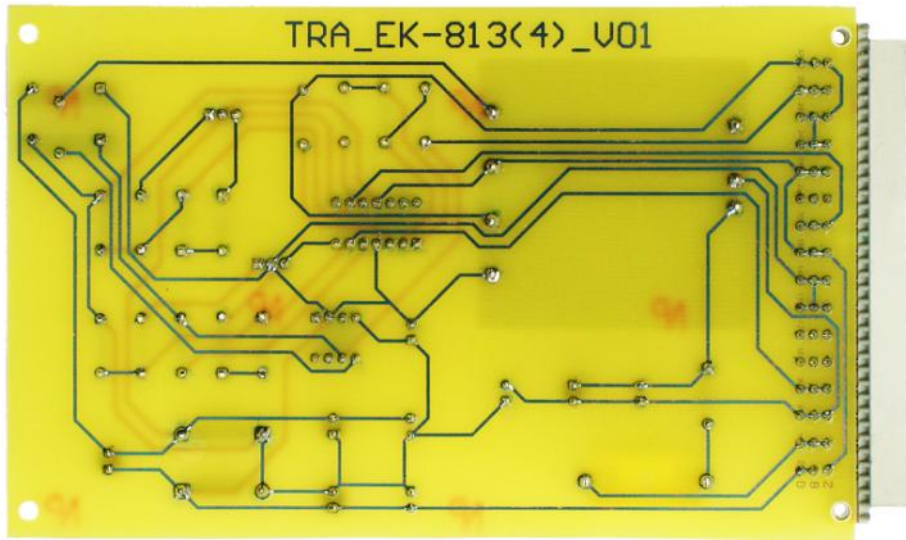


圖 4-2 電源電路板實體圖 (背面)

(1) 電路設計

將本文 3.2 節中的各電路加以綜合整理可得如圖 4-3 所示之電源電路板完整電路圖，圖中所使用各元件規格及數量一覽表則如表 4-1 所示。

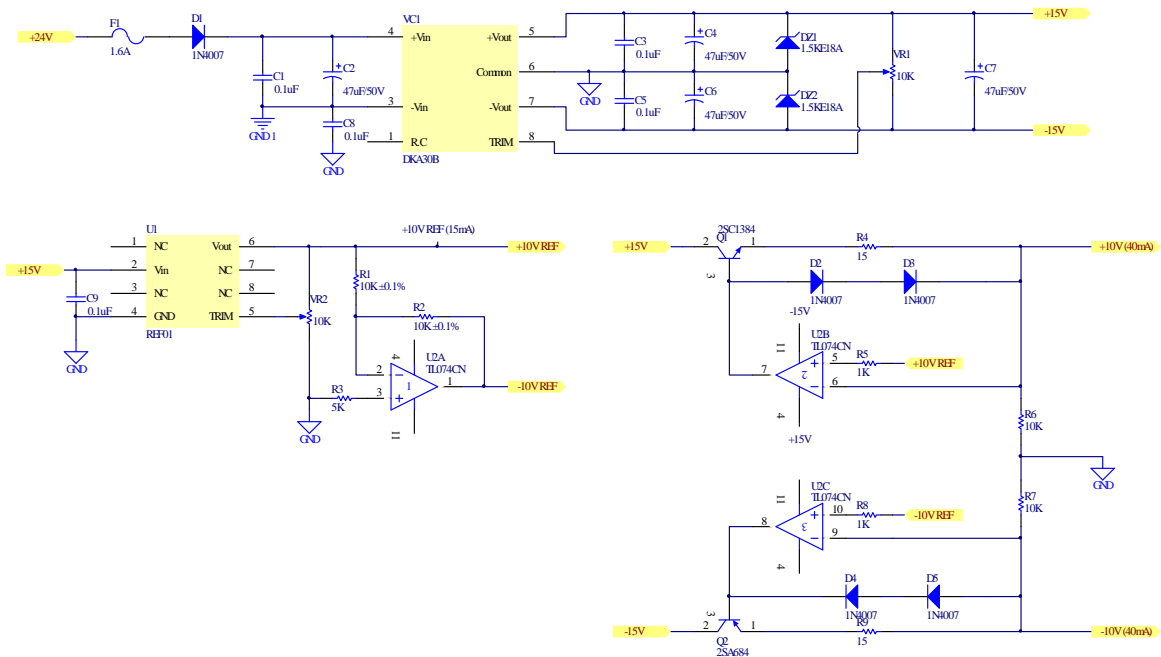


圖 4-3 電源電路板之完整電路圖

表 4-1 電路元件規格一覽表

零件編號	名稱	規格	數量	備註
Q1	電晶體	2SC1384	1	NPN
Q2	電晶體	2SA684	1	PNP
U1	電源準位 IC	REF01	1	DIP
U2	運算放大器	TL074	1	DIP
R4、R9	精密電阻	15Ω	2	1/4W
R5、R8	精密電阻	1kΩ	2	1/4W
R3	精密電阻	5kΩ	1	1/4W
R1、R2	精密電阻	10kΩ	4	1/4W
VR1、VR2	可變電阻	10kΩ	2	精密 15 轉
C2、C4、C6、C7	電容器	47uF/50V	4	電解質、日製
C1、C3、C5、C8、C9	電容器	0.1uF	5	積層
D1~D5	二極體	1N4007	5	Si
DZ1、DZ2	穩壓二極體	1.5KE18A	2	Si
F1	保險絲	1.6A	1	20 mm
	保險絲座	20 mm	1	附蓋
	IC 座	8 PIN	1	圓孔
	IC 座	14 PIN	1	圓孔

在完成電路繪製後，隨即進入 PCB 板的佈線作業，由於本文所使用的零組件甚多，且部份零件的 Footprint 並未在設計軟體的零件庫中預先建立，需重新建製。在完成各零件置放作業與板形規劃後，需先完成規劃預佈線路之

寬度、焊點、及鑽孔孔徑大小等程序，方可由手動佈線方式將圖 4-3 電路轉換成如圖 4-4 與圖 4-5 所示之 Layout 圖輸出，以待後續感光板曝光之用。

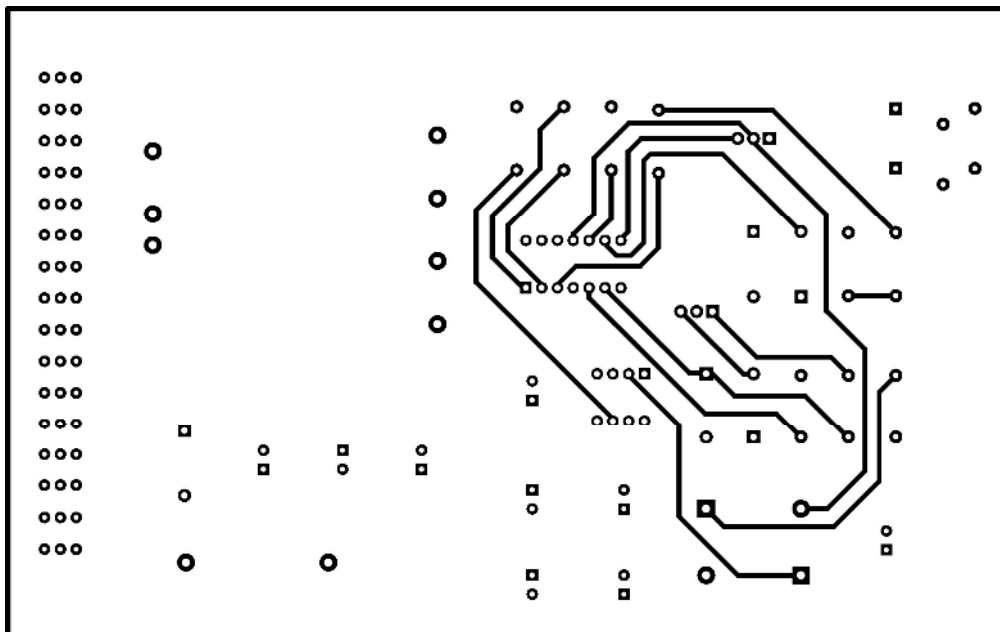


圖 4-4 PCB 板正面 Layout 圖

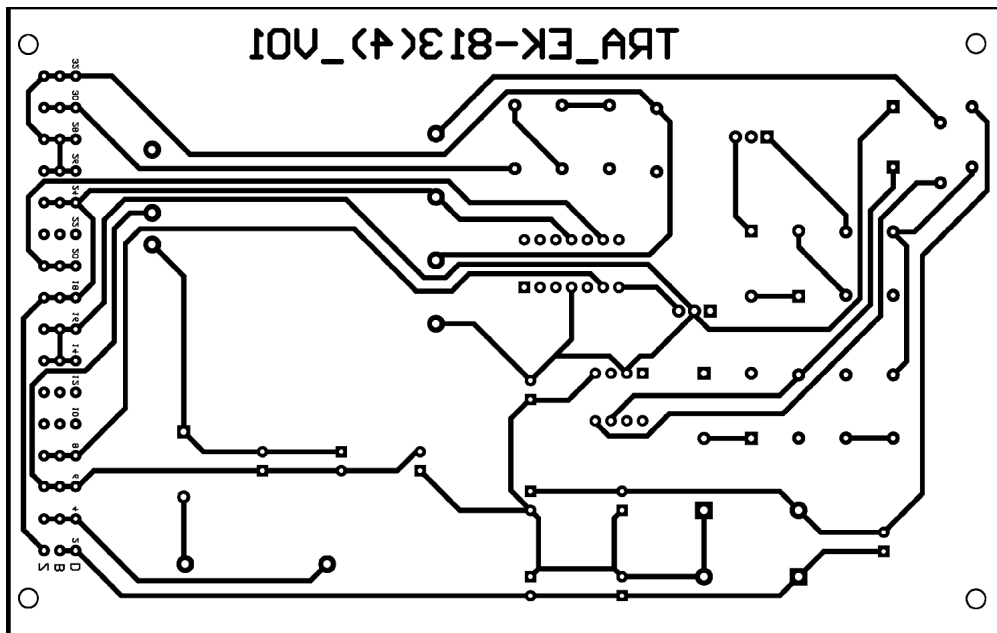


圖 4-5 PCB 板反面 Layout 圖

(2) 電路板製作

圖 4-1、圖 4-2 中的電路板為使用感光型的玻璃纖維雙面板所製作而成，電路板實際尺寸為 100×160×1.6 mm，在製作前需先將圖 4-4 與圖 4-5 製作成底片模式，將此膠片以真空曝光機做雙面同時曝光後，再以適量顯影劑溶於一定比例的清水中加以顯像，待顯像完後的電路板經清水清洗後即可進入最後蝕刻程序。由於早期大都採用氯化鐵溶液進行蝕刻，除本身氯化鐵溶液噴濺於衣物難以清洗外，更有嚴重環境污染之虞，故本電路板決定採用市售藍色環保蝕刻液進行蝕刻，並搭配溫控蝕刻機進行蝕刻程序；對於已達到飽合之廢棄蝕刻液，必需使用專屬中和劑加以中和，以減少對環境的影響及破壞。

經蝕刻完後的電路板經洗淨及乾燥後，已將所佈好的線路及焊點完整留下，隨即進入最後鑽孔階段，由於所選擇的電路板材質為 FR4 玻璃纖維，材質較一般電木板堅硬，若使用一般材質的鑽頭進行鑽孔，易於因鑽頭硬度不足及磨耗不鋒利而破壞鑽孔之完整性，因此，本電路板所使用的鑽頭皆為鎢鋼鑽頭，具有較高之硬度，在使用高速鑽床鑽孔下，可保鑽孔之美觀及完整性，圖 4-6、圖 4-7 為已製作完成的 PCB 板正面及反面照片圖。由於本電路所使用之零件種類繁多，因此亦有多種孔徑需個別鑽孔處理，以便插件焊接，表 4-2 為本電路之電路板孔徑一覽表。

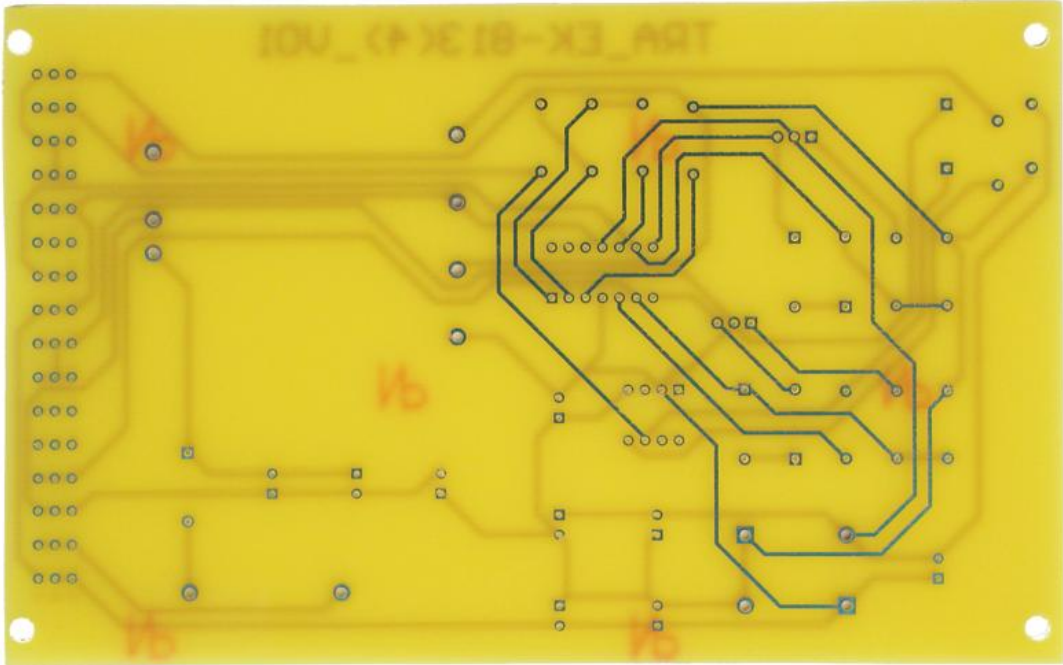


圖 4 - 6 PCB 板正面照片圖

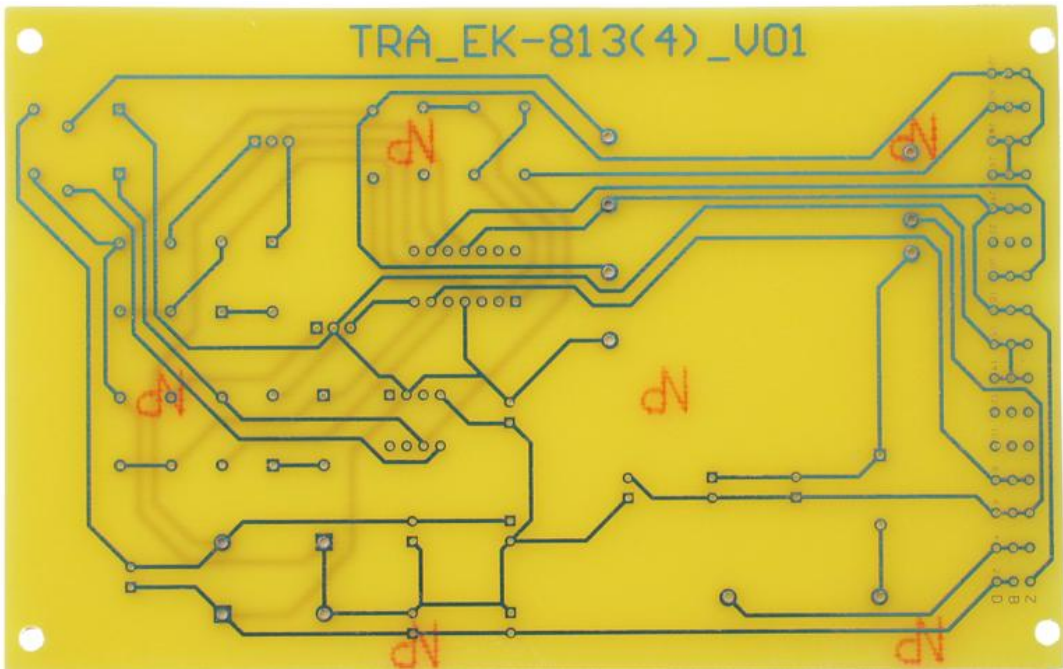


圖 4 - 7 PCB 板反面照片圖

依電腦輔助設計軟體所產生的如圖 4-8 所示的插件圖逐一放置，不可產生錯置情況，以免造成電路動作不正常或燒毀。焊接時亦需注意每一個焊點，除不可產生空焊、包焊、與假焊外，焊點用錫量更應酌量，方不至產生相互干擾及短路。

(3) 電路實測

本電源電路大致可分為 DC-DC Converter、 ± 10 電壓參考電路、 ± 10 電壓輸出及保護與濾波等幾大單元，由於所產生的電源為供應後端諸多 OPA 及電位計使用，因此在輸出部份需由儀器觀察其穩定度，需確保漣波值甚小及無高頻諧波，方不致使其他電路產生振盪或使欲控制之機構產生誤動作。圖 4-9、圖 4-10 為 DC-DC Converter 所產生的 $\pm 15V$ 兩端的漣波波形圖。

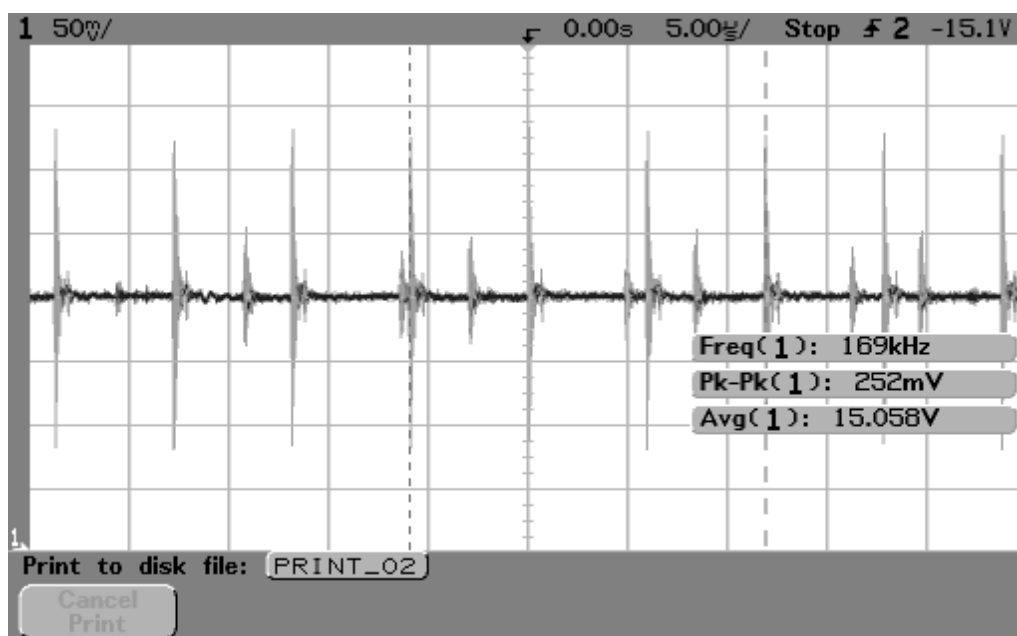


圖 4-9 +15V 之漣波波形圖

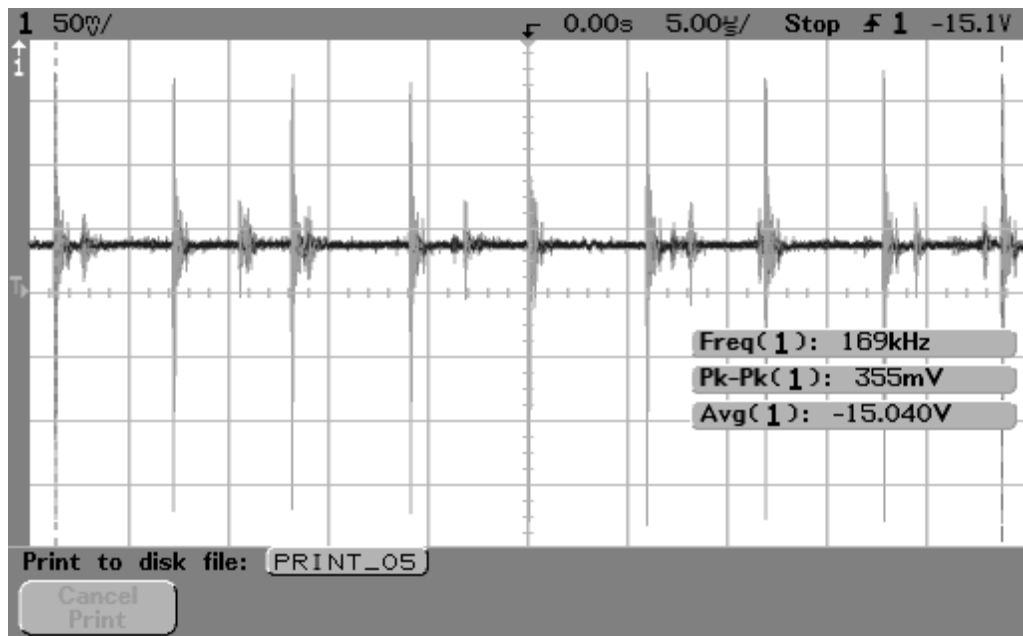


圖 4 - 10 -15V 之漣波波形圖

圖 4 - 9 中的波形為使用 Agilent 的 54624A 示波器所量測而得，其中 Freq(1) 代表 DC-DC Converter 內 +15V Converter 的切換頻率為 169k Hz；漣波的峰對峰值 Pk-Pk(1) 為 252mV；+15V 平均輸出電壓為 +15.058V。

圖 4 - 10 中的 Freq(1) 代表 DC-DC Converter 內 -15V Converter 的切換頻率為 169k Hz；漣波的峰對峰值 Pk-Pk(1) 為 355mV；-15V 平均輸出電壓為 -15.040V。

綜合上述可得知本文所選用的 DC-DC Converter Module 輸出的 ±15V 輸出電壓絕對值相差甚小，且漣波的平均電壓值亦甚小，故所輸出的電壓可以很平穩的供給後端電路中 OPA 使用，同時並可相當平穩的做為 ±10V 的電源供應。由於本電路所產生的 ±10V 電源為供應後端電位計之使用，電位計主要功

用為砸道車在砸道時負責路線方向、高低、水平及下砸深度校準之用，其精準度要求甚鉅，因此，在 $\pm 10V$ 調整時，需使用具有較高準確度的數位電錶予以調整，以免因不精準的電壓值影響到路線養護的品質。

4.2 穩壓性能實測

將已製作測試完成的電路板透過實驗室的量測儀器即可模擬本文所製作的電路實際使用情形，由於本次所使用的 Agilent 54624A 示波器，在同時量測兩組電壓波形且無任何訊號輸入情況下會存在約 $-350mV$ 的誤差值，其波形圖如圖 4-11 所示，因此，欲同時使用 ch1 與 ch2 量測時電壓波形時，需將此誤差值列入計算，以求得實際電壓輸出的數值。

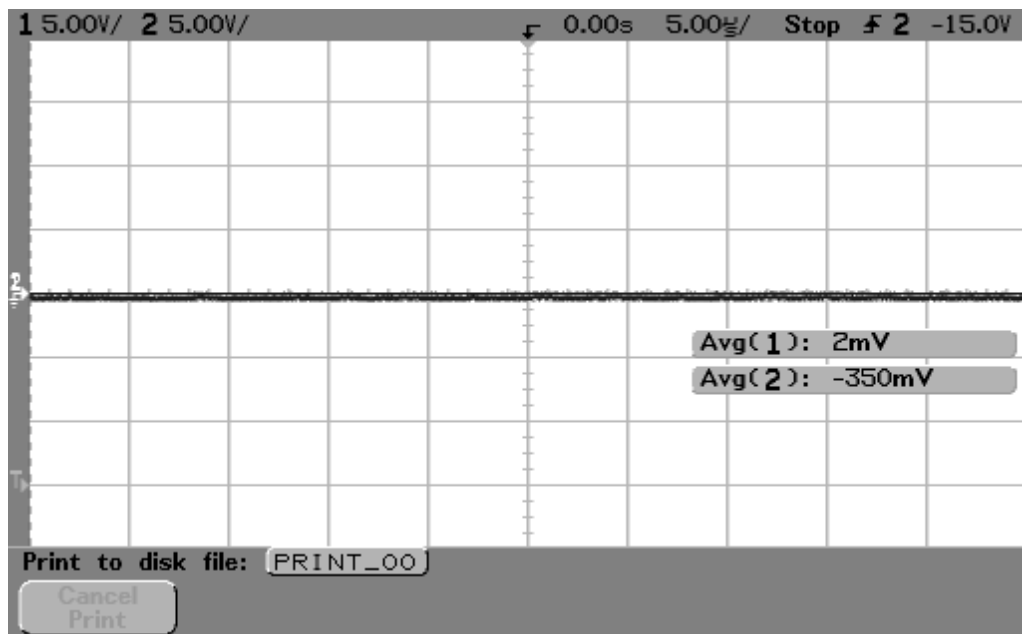


圖 4-11 示波器零電位電壓誤差波形圖

本電路板實際應用為使用砸道車的+24V 發電機作為電源輸入，當發電機輕載與滿載時，所能提供的輸入電壓值也不盡相同，負載愈高則電壓降愈大，除此之外，當負載產生劇烈變化時，發電機所能提供的電壓也非穩定的標準值+24V，故為求本文所設計的電路板可符合實際應用所需，因此在實驗過程中，共設計了多組不同的輸入電壓值及負載，以觀察其±15V 與±10V 的壓降變化及穩壓情況。

(1)輸入電壓為 18V

將輸入電壓調整為如圖 4-12 中 Avg(1)所示的 18V。

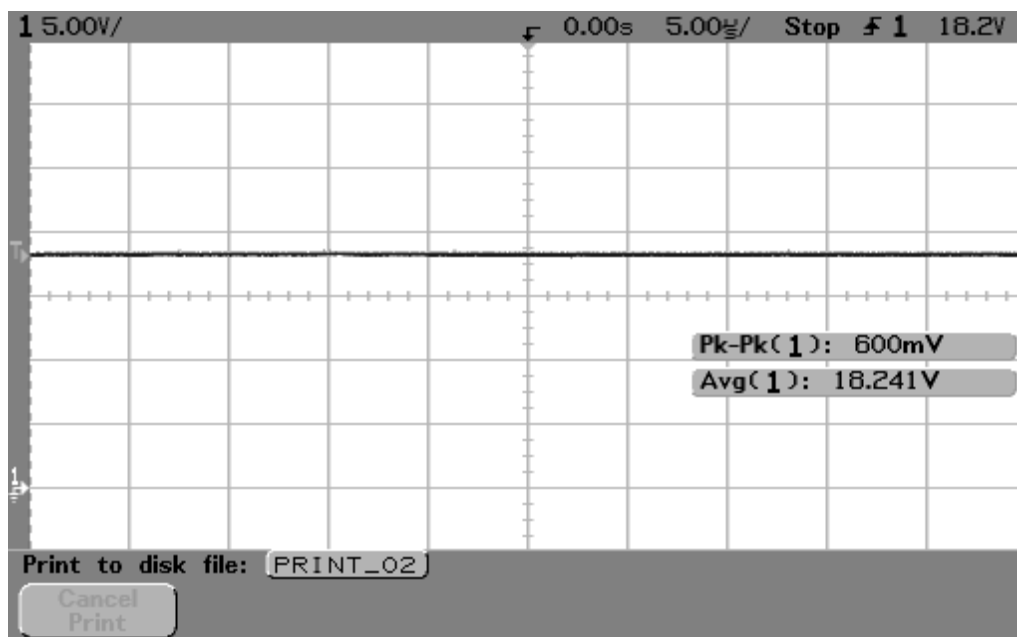


圖 4-12 輸入電壓為 18V 之電壓波形圖

分別以示波器量測±15V 於無載如圖 4-13 所示、50%負載如圖 4-14 所示、及滿載如圖 4-15 所示的電壓波形與實際量測值。

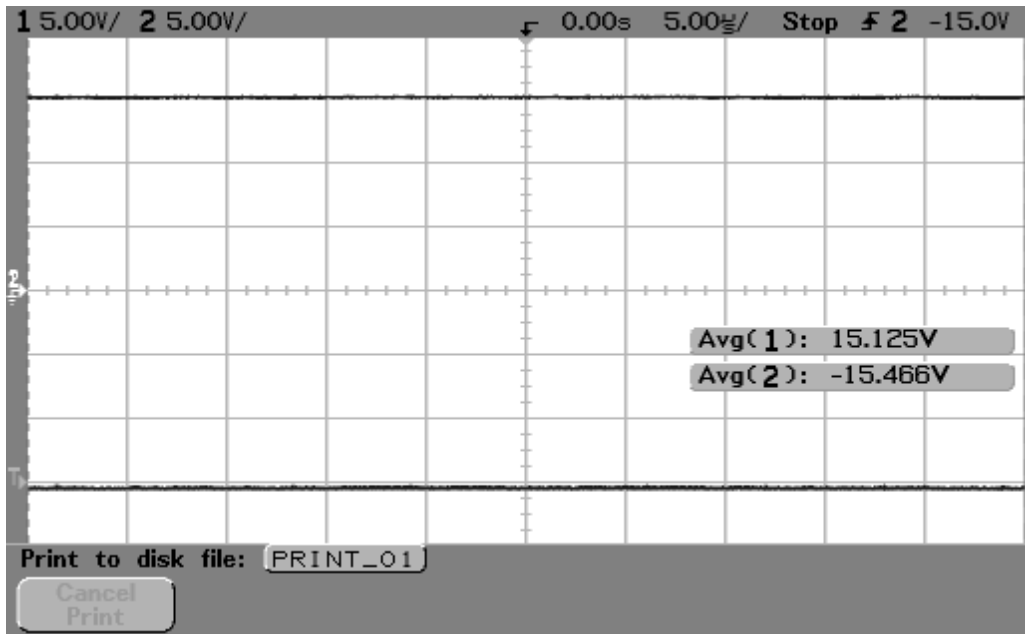


圖 4 - 13 輸入電壓為 18V 時，±15V 無載電壓輸出波形圖

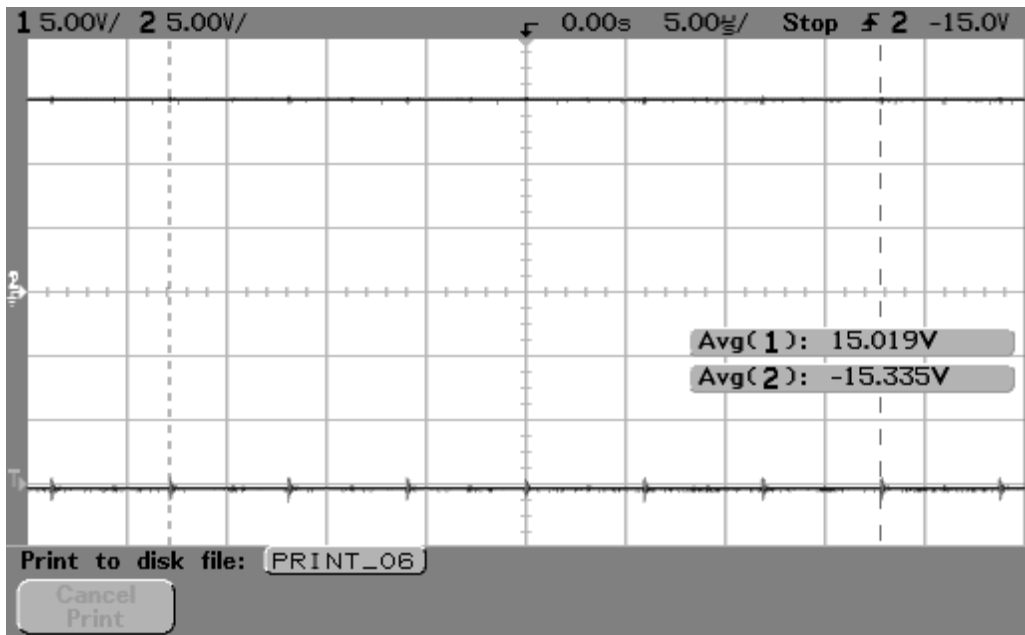


圖 4 - 14 輸入電壓為 18V 時，±15V 負載為 50% 的電壓輸出波形圖

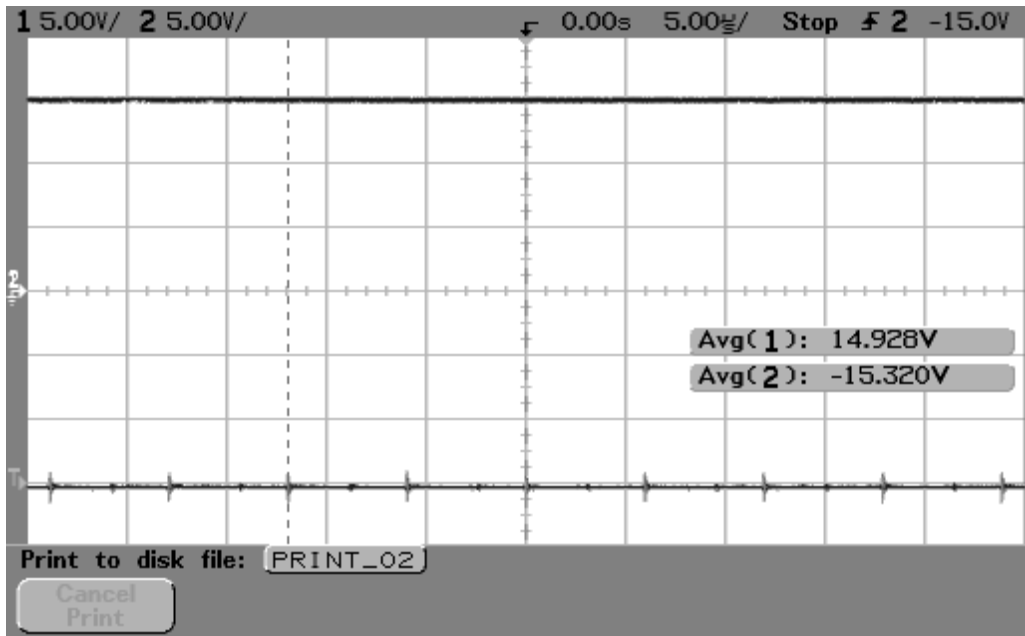


圖 4-15 輸入電壓為 18V 時，±15V 滿載電壓輸出波形圖

重新以示波器量測±10V 於無載如圖 4-16 所示、50% 負載如圖 4-17 所示、及滿載如圖 4-18 所示的電壓波形與實際量測值。

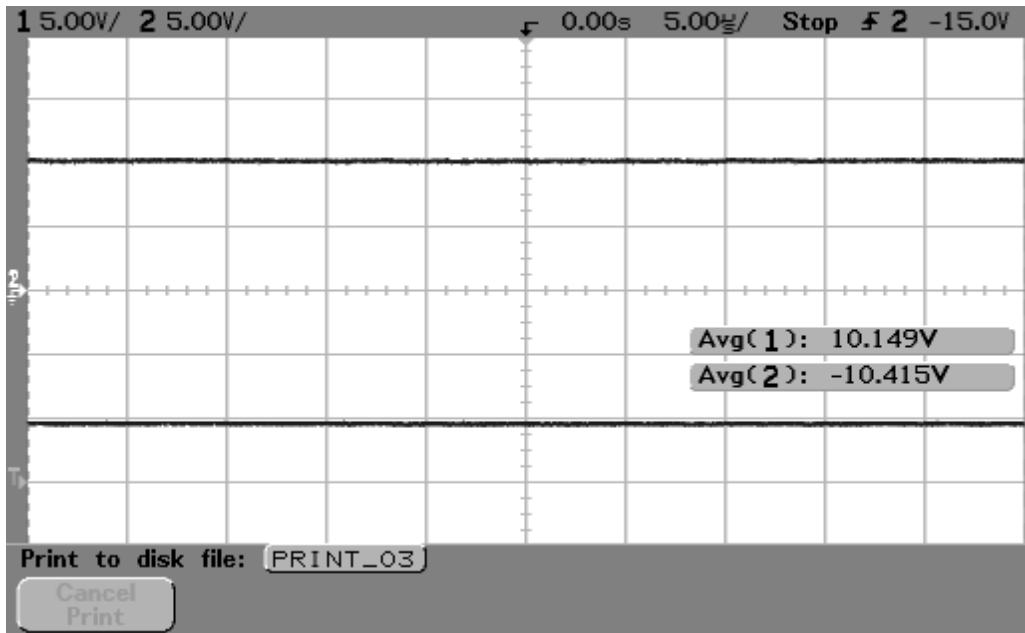


圖 4-16 輸入電壓為 18V 時，±10V 無載電壓輸出波形圖

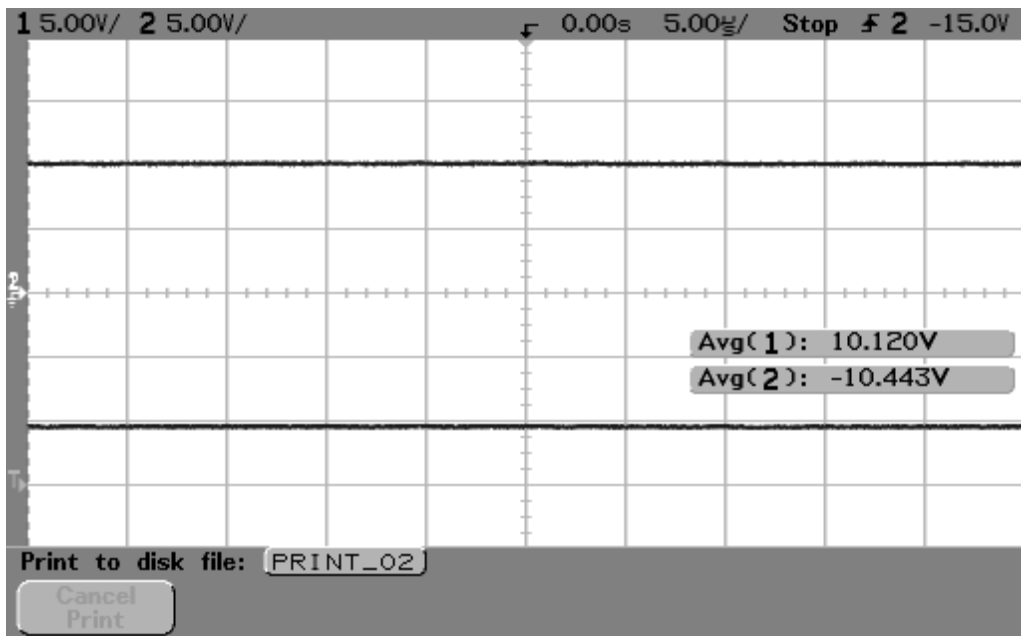


圖 4 - 17 輸入電壓為 18V 時，±10V 負載為 50% 的電壓輸出波形圖

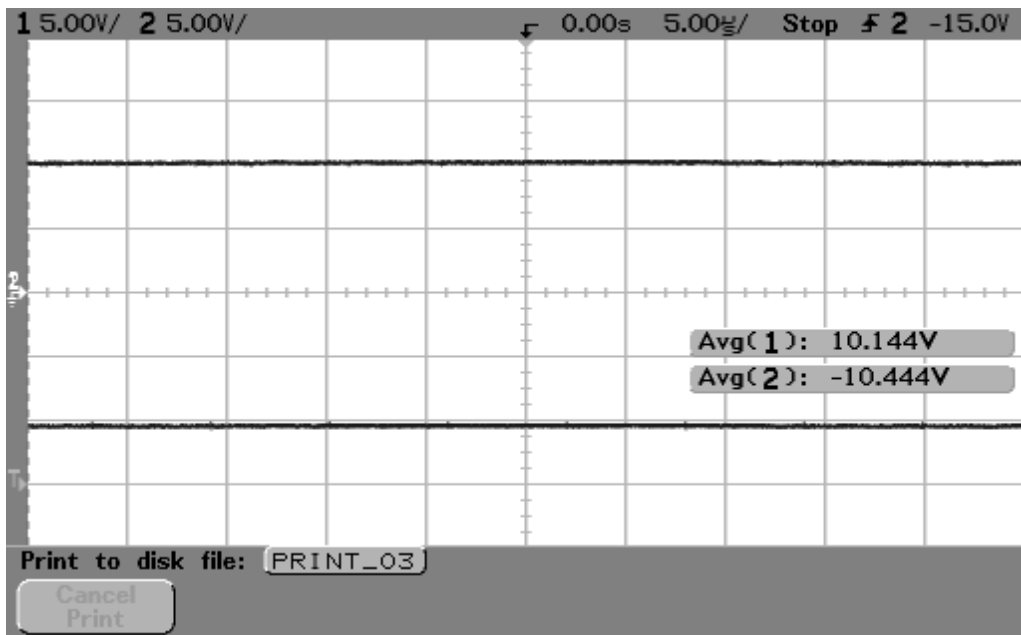


圖 4 - 18 輸入電壓為 18V 時，±10V 滿載電壓輸出波形圖

(2) 輸入電壓為 24V

將輸入電壓調整為如圖 4 - 19 中 Avg(1) 所示的 24V。

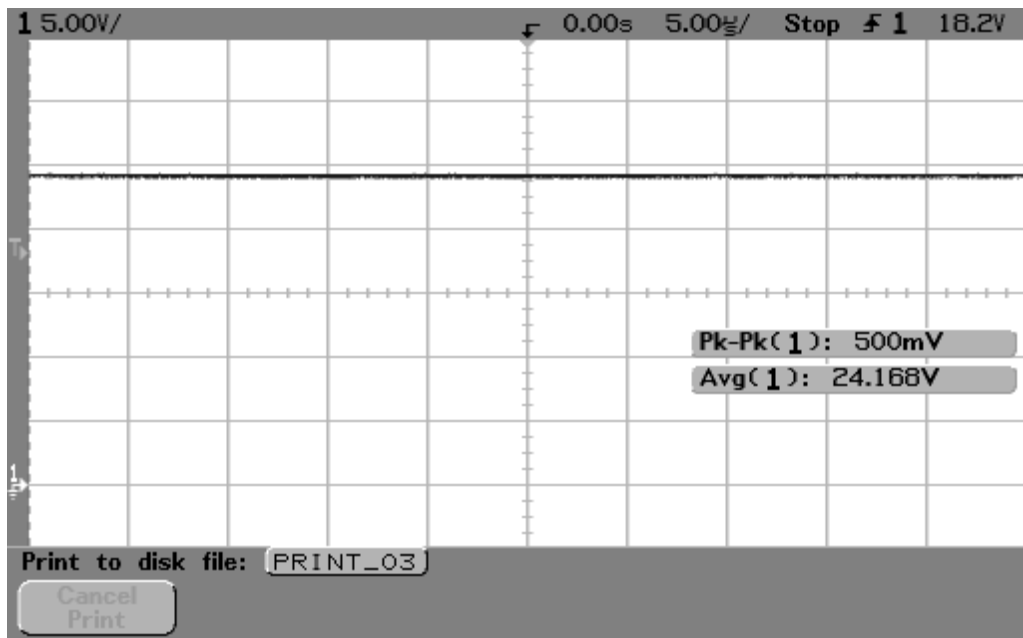


圖 4 - 19 輸入電壓為 24V 之電壓波形圖

分別以示波器量測 $\pm 15V$ 於無載如圖 4 - 20 所示、50% 負載如圖 4 - 21 所示、及滿載如圖 4 - 22 所示的電壓波形與實際量測值。

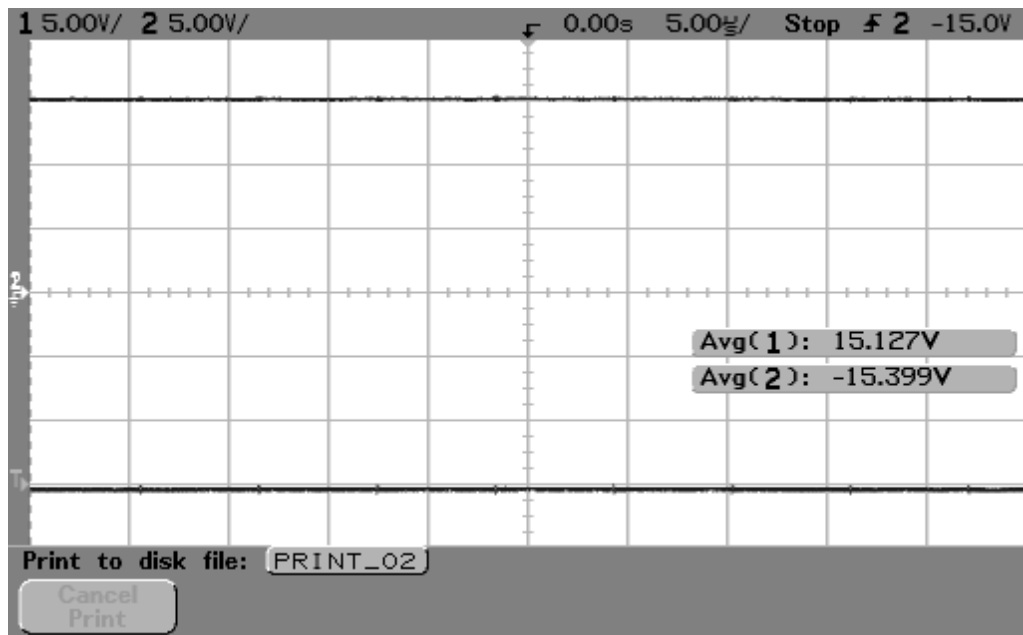


圖 4 - 20 輸入電壓為 24V 時， $\pm 15V$ 無載電壓輸出波形圖

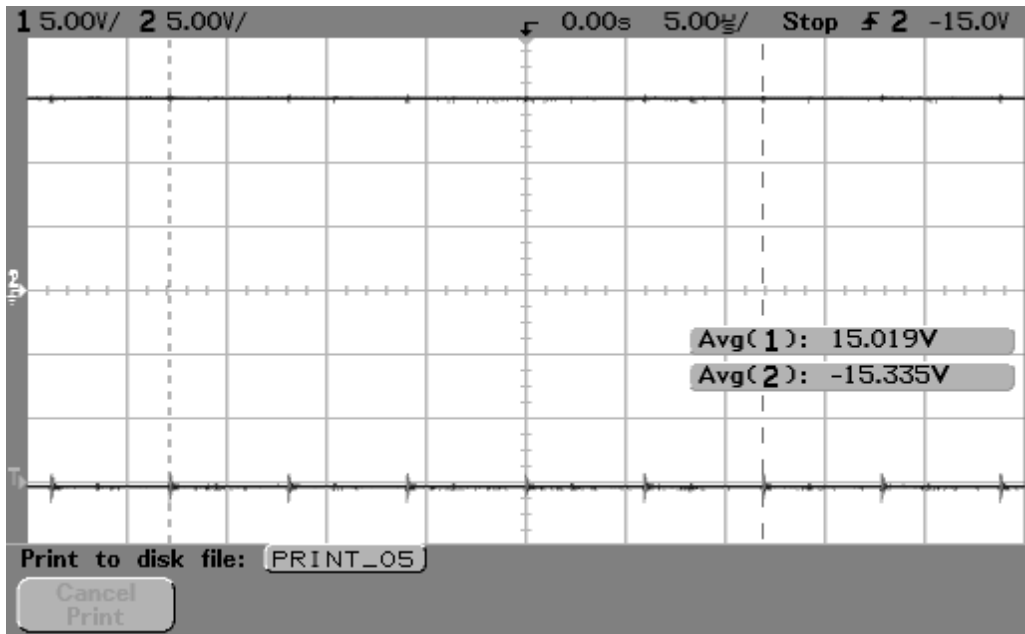


圖 4 - 21 輸入電壓為 24V 時，±15V 負載為 50% 的電壓輸出波形圖

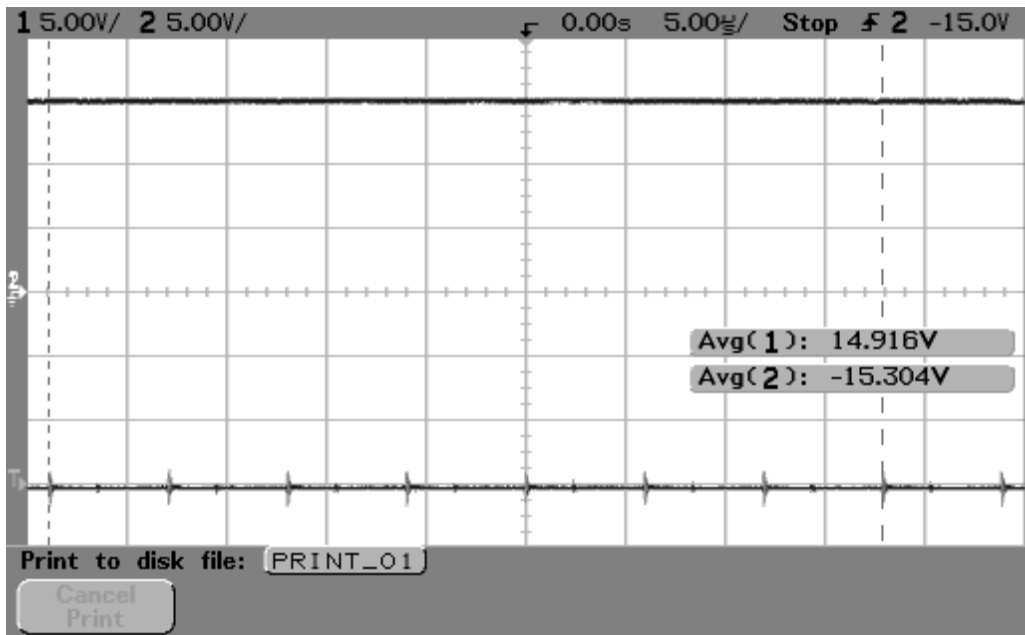


圖 4 - 22 輸入電壓為 24V 時，±15V 滿載電壓輸出波形圖

重新以示波器量測 $\pm 10\text{V}$ 於無載如圖 4-23 所示、50% 負載如圖 4-24 所示、及滿載如圖 4-25 所示的電壓波形與實際量測值。

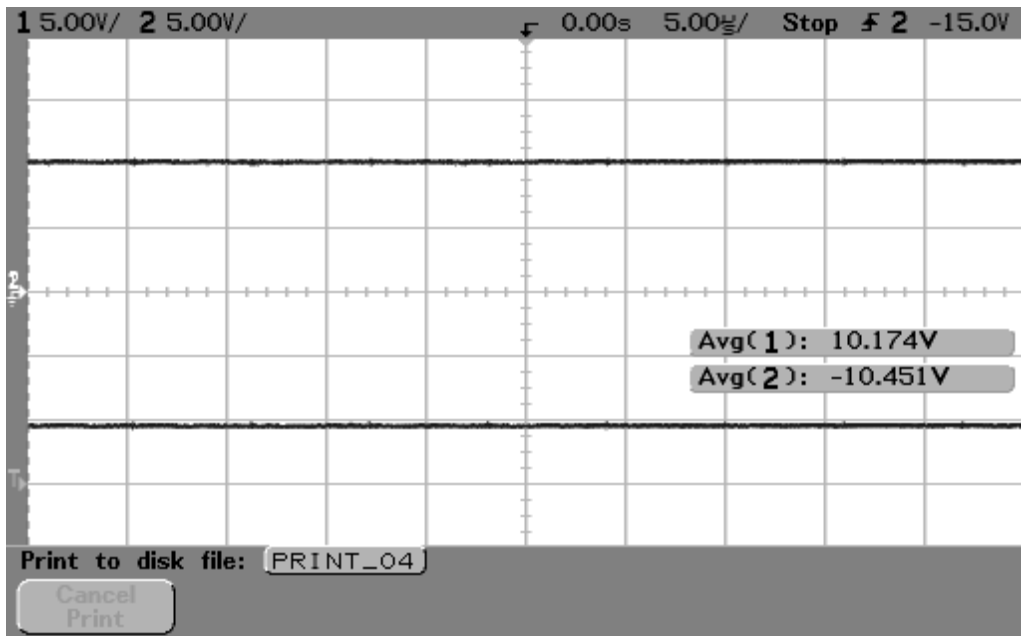


圖 4-23 輸入電壓為 24V 時， $\pm 10\text{V}$ 無載電壓輸出波形圖

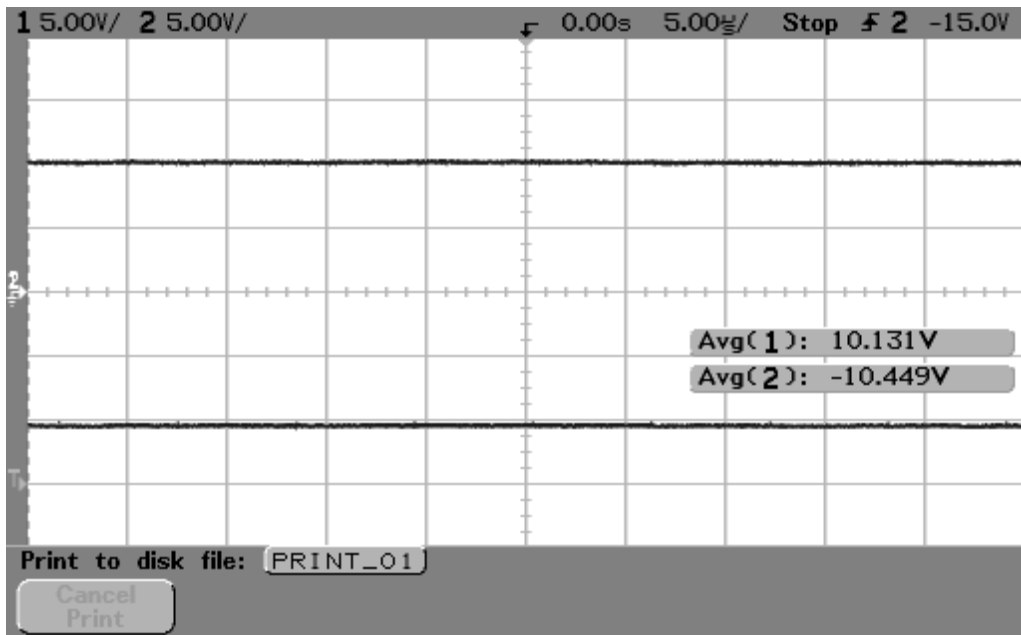


圖 4-24 輸入電壓為 24V 時， $\pm 10\text{V}$ 負載為 50% 的電壓輸出波形圖

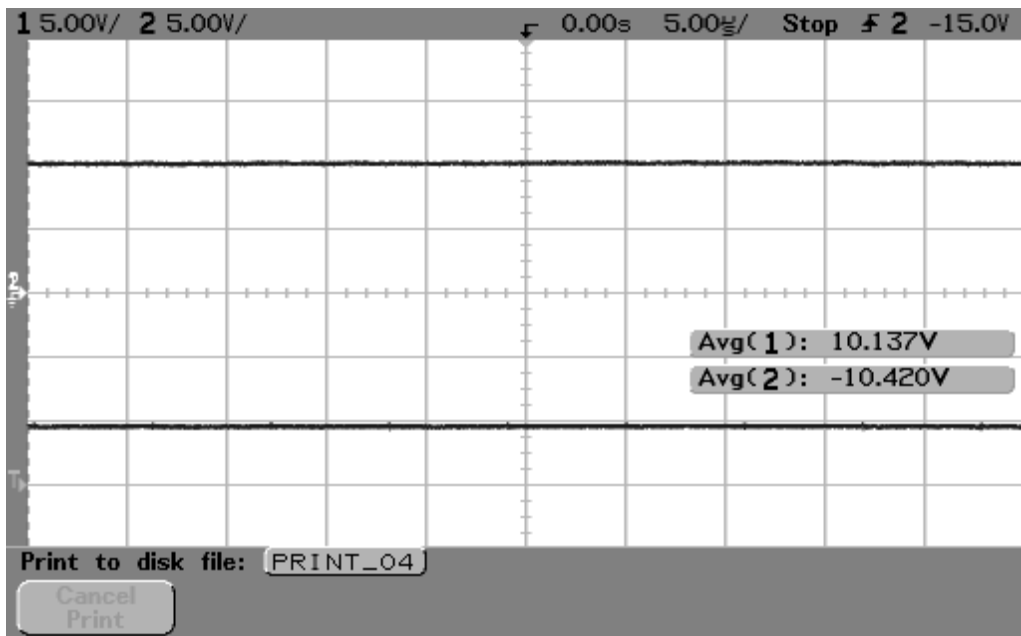


圖 4-25 輸入電壓為 24V 時，±10V 滿載電壓輸出波形圖

(3) 輸入電壓為 36V

將輸入電壓調整為如圖 4-26 中 Avg(1) 所示的 36V。

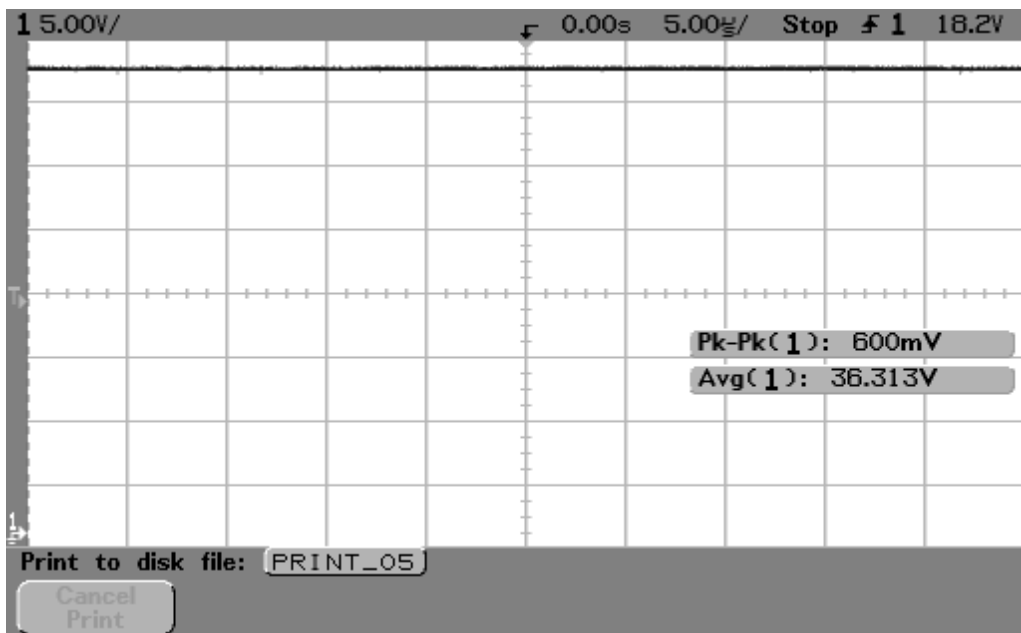


圖 4-26 輸入電壓為 36V 之電壓波形圖

分別以示波器量測 $\pm 15\text{V}$ 於無載如圖 4-27 所示、50% 負載如圖 4-28 所示、及滿載如圖 4-29 所示的電壓波形與實際量測值。

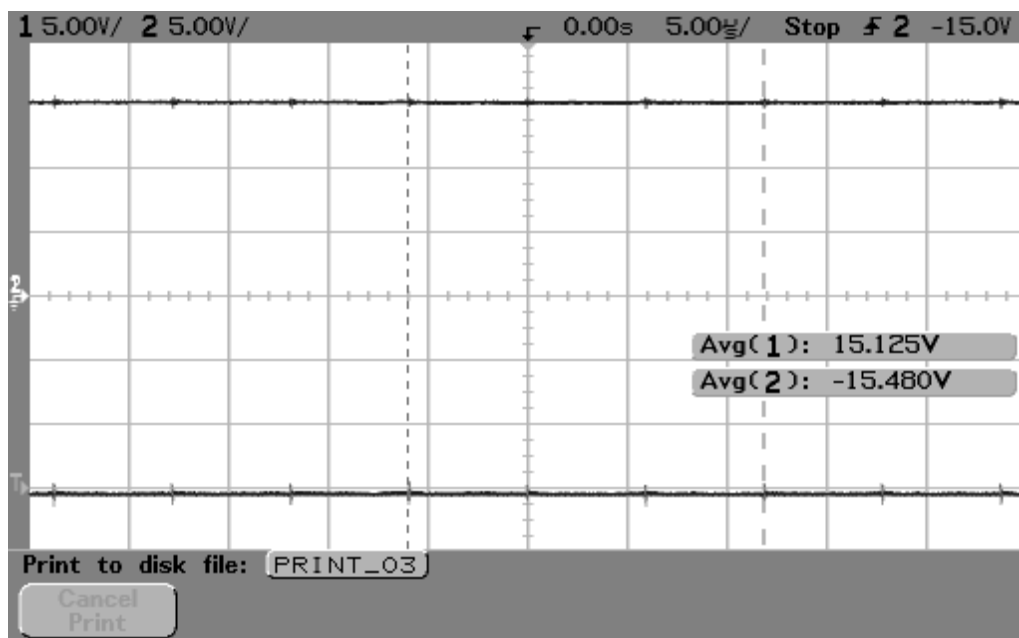


圖 4-27 輸入電壓為 36V 時， $\pm 15\text{V}$ 無載電壓輸出波形圖

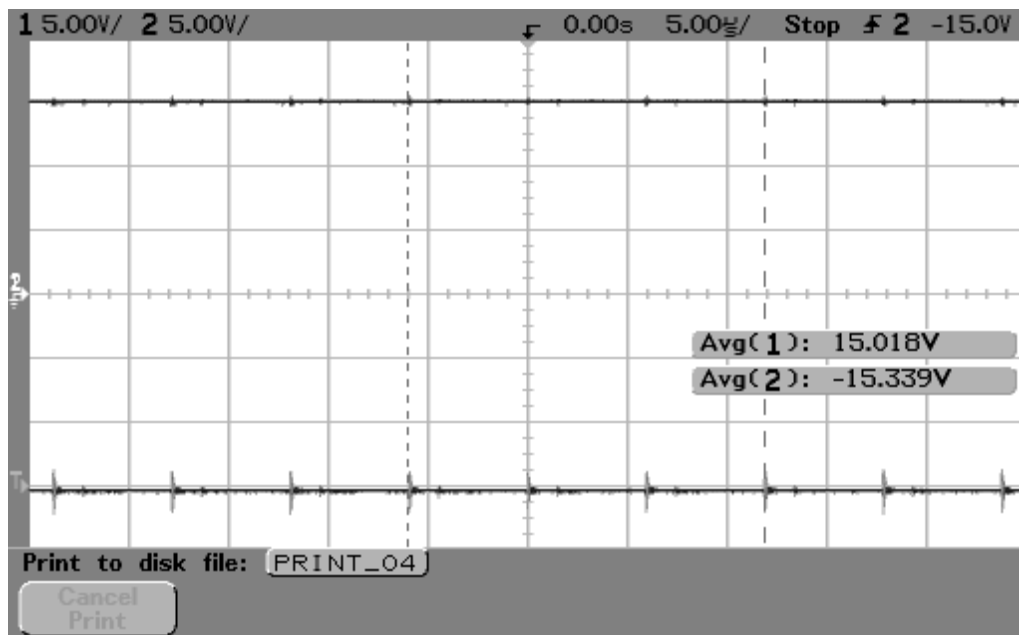


圖 4-28 輸入電壓為 36V 時， $\pm 15\text{V}$ 負載為 50% 的電壓輸出波形圖

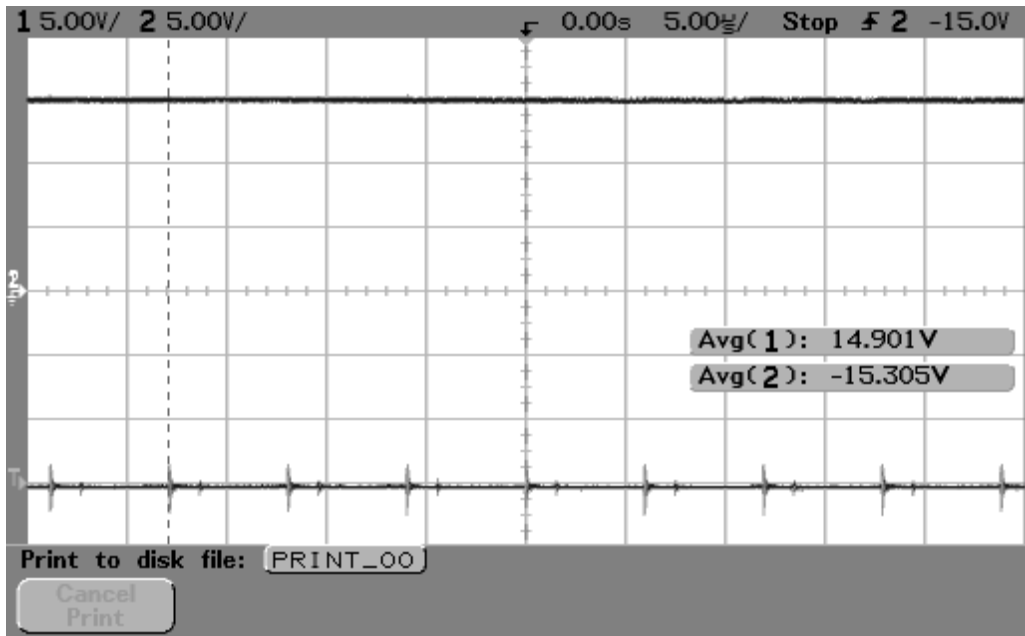


圖 4-29 輸入電壓為 36V 時，±15V 滿載電壓輸出波形圖

重新以示波器量測±10V 於無載如圖 4-30 所示、50% 負載如圖 4-31 所示、及滿載如圖 4-32 所示的電壓波形與實際量測值。

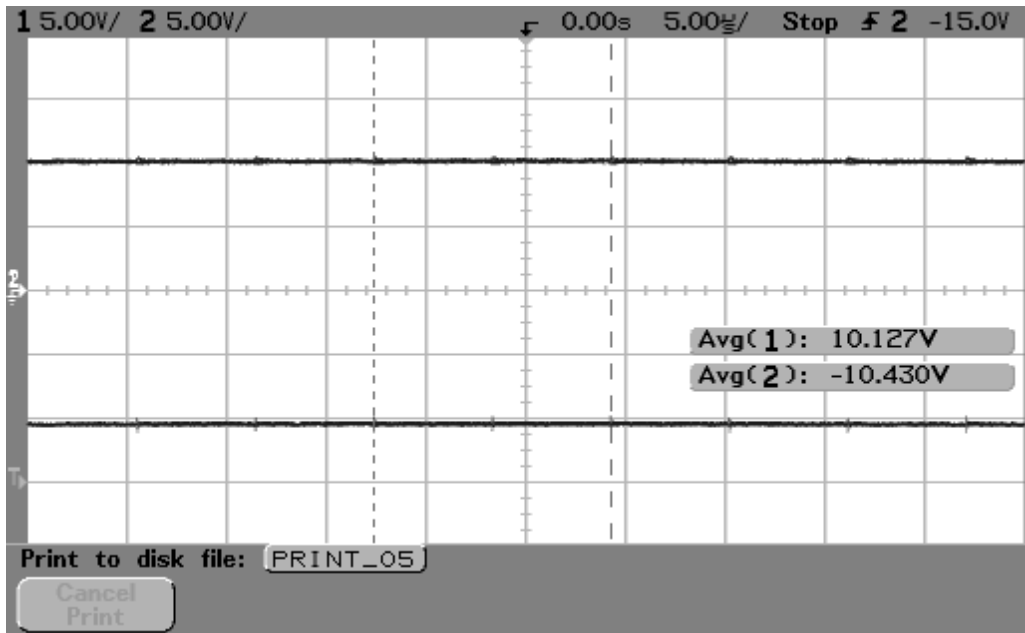


圖 4-30 輸入電壓為 36V 時，±10V 無載電壓輸出波形圖

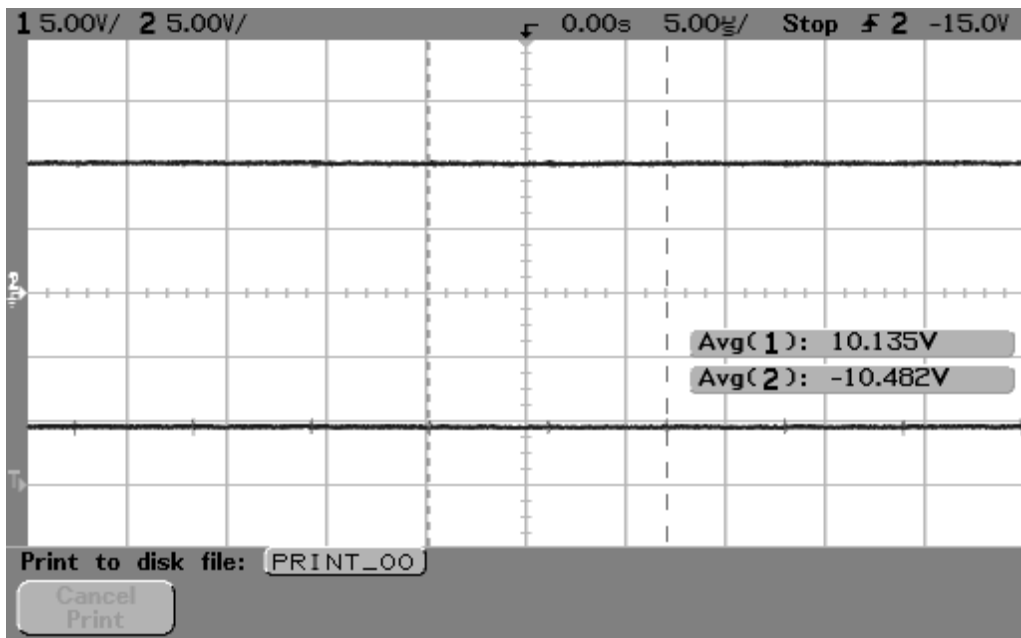


圖 4 - 31 輸入電壓為 36V 時， $\pm 10V$ 負載為 50% 的電壓輸出波形圖

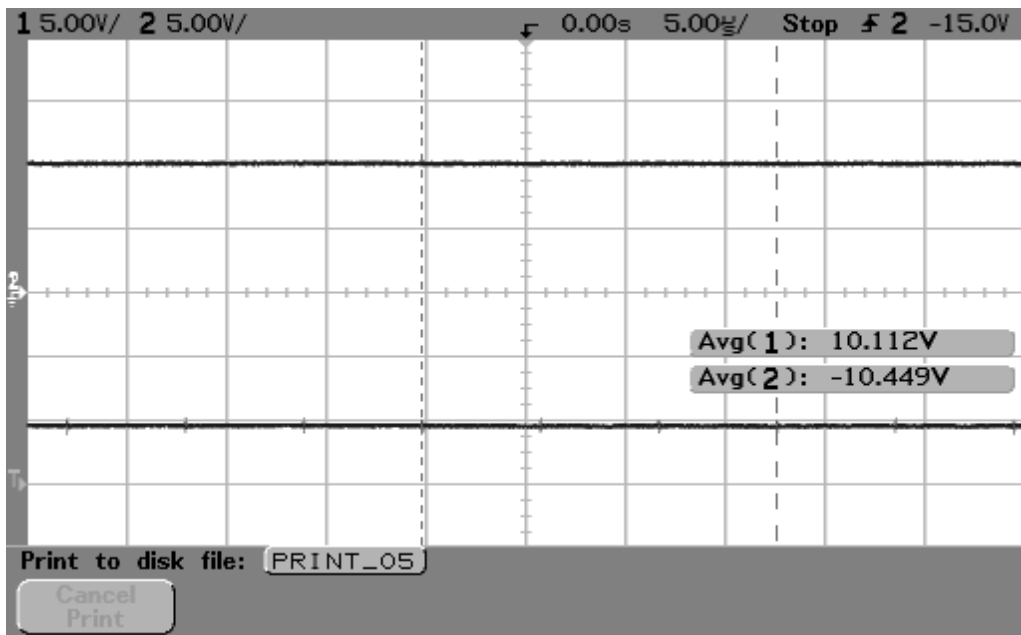


圖 4 - 32 輸入電壓為 36V 時， $\pm 10V$ 滿載電壓輸出波形圖

4.3 實驗結果

將本文 4.2 節中的實驗數據加以整理可得如表 4 - 3 所示之各輸入電壓之

穩壓狀態比較表，表中壓降百分比可由方程式(4-1)計算而得。

$$VR\% = \frac{V_o - V}{V} \times 100\% \quad (4-1)$$

其中，VR% 為壓降百分比； V_o 為無載輸出電壓； V 為滿載輸出電壓。

表 4-3 各輸入電壓之穩壓狀態比較表

輸入電壓	輸出電壓	無載	50%負載	滿載	壓降百分比
18V	+15V	15.125	15.019	14.928	1.32%
	-15V	-15.466	-15.335	-15.320	0.95%
	+10V	10.149	10.120	10.144	0.05%
	-10V	-10.415	-10.443	-10.444	-0.28%
24V	+15V	15.127	15.019	14.916	1.41%
	-15V	-15.399	-15.335	-15.304	0.62%
	+10V	10.174	10.131	10.137	0.36%
	-10V	-10.451	-10.449	-10.420	0.29%
36V	+15V	15.125	15.018	14.901	1.50%
	-15V	-15.480	-15.339	-15.305	1.14%
	+10V	10.127	10.135	10.112	0.15%
	-10V	-10.430	-10.482	-10.449	-0.18%

本實驗所使用的 DC-DC Converter 為交換式電源轉換器，故由示波器量測而得的平均輸出電壓值亦會隨時間而有些微變化，並非恆定之輸出值；且±10V 的輸出電流限制在 40mA，總功率也僅有 0.8W，此一功率值對 30W 的轉換器而言並不會造成電壓降，在此雙重因素影響下，則會造成在量測及顯示上存

在这些微误差，此即为表 4-3 中的输入电压分别为 18V 与 36V 的±10V 压降百分比产生负值的原因。

由表 4-3 中分析，在不同的输入电压下，±15V 与±10V 在满载时所产生的压降甚小，尤其以±15 在满载时的压降也仅有 0.2V，此一电压变化量并不会对所欲供应后端的电路产生任何影响。

综合表 4-1 中所选用的各零组件特性规格，可得如表 4-4 所示之电源电路板特性规格一览表。

表 4-4 电源电路板特性规格一览表

輸 入	電壓	DC +18V~DC +36V
	電流	滿載：1.5A (DC 24V)
	濾波器	電容濾波器、 π 型濾波器
輸 出	電壓	DC ±15V、DC ±10V
	電流	DC ±15V：±1A、DC ±10V：±40mA
	功率	30W
	電壓調整範圍	DC ±15V：±10%、DC ±10V：±3%
環 境	工作溫度、溼度	-25°C~+70°C、20%~90% RH
	儲存溫度、溼度	-40°C~+105°C、10%~95% RH
保 護	過載保護	110~250%，30 秒
	短路保護	所有輸出端，30 秒
	限流保護	DC ±10V：40mA
其 他	MTBF	100k hrs，25°C
	尺寸	180*100*25 mm (L*W*H)
	重量	180g

第五章 結論與建議

自養路機械化至今，台鐵已陸續購買為數不少的各型養路機械，迄今已著實分配於各工務段隊使用，且使用頻率甚高、效果甚好，大幅改善路線品質並提高行車安全。目前雖已有部份機械逾使用年限，但僅需保養得當，維修零組件供應無短缺，亦能擔任養護路線之責，故零組件之供應就顯得格外重要。維修用之零組件，除可透過國內代理商向國外原廠採購外，部份零件材料可在國內尋求可相容的產品替代之，更亦可透過產、官、學的互助，研發設計所需的各項零組件，以縮短外洋採購時程及節省公帑支出。

5.1 結論

依本文提出的電源供應方式所設計製作的電源電路板，目前已分別安裝於 2 部 09-32 大型砸道車上的砸道機構控制部份進行實車測試，迄今並未發生任何故障。由於砸道機構部份在砸道過程中作動頻繁，此處控制迴路相較他處則消耗較多電力，安裝至此測試，除可測得實際使用成效外，更可彰顯該電路板之耐用程度。

綜觀目前本局已損壞的電源電路板，其故障原因皆為 $\pm 15V$ 的輸出電壓值異常，常為約為 $\pm 20V$ 或更高，幾乎已超過一般 OPA 的工作電壓容許值，因此常會造成機構動作不良或燒毀其他電路板之情事。 $\pm 15V$ 的電源為以 Switch Power Supply Converter 做為理論基礎所產生的，會造此電壓值輸出異常之原

因主要為電路中負責切換的功率電子元件損壞所造成，該元件損壞原因除切換頻率過高及材料老化因素外，一般為不自覺的長時間高載或過載使用所造成。故為避免因設計功率值不足而縮短電源電路板的使用壽命，本文所採用的 DC-DC Converter Module 功率為 30W，較原始設計之 20W 多出 25% 的功率；且在輸入電源部份更具彈性，電壓值可從+18V~+36V，避免因砸道車發電機輸出的+24V 電壓異常或不穩定而影響電路之正常工作。

5.2 未來研究方向

電源電路板於開發研製過程中需靠純手工製作雙面 PCB 板，耗時費工，但所研製而成的樣品已完成最後實車測試階段，故已可委由國內 PCB 板製造廠商大量生產所需的 PCB 板，除可提升整體電路的穩定性外，亦可降低製作成本、縮短製作時程，在電路的美觀上更有所助益。另在零件選用上，均為選購國內外知名廠商所生產製造及易於國內購得之各種商用零組件，除價格低廉外，更對日後維修及採購上具相當便利性。

本文電路板之完成，蒙工務處各級主、官、管的支持與協助，及工務養護總隊郭慶進工程司對各型砸道車養護經驗的傳承與技術諮詢，更感謝諸多為本電路板催生的鐵路同仁，本研究內容及成果將貢獻給交通部台灣鐵路管理局，以為鐵路路線之養護略盡棉薄之力。

參考文獻

- [1] 黃民仁，新世紀鐵路工程學_基礎篇，文笙書局，民國96年。
- [2] E. C. Servetas and A. V. Vlachakis, “A New Ac Voltage Regulator Using Thyristors,” IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, Vol. Ieci-28, No. 2, pp.140-145, May 1981.
- [3] 梁適安，交換式電源供應器之理論與實務設計（修訂版），全華科技圖書股份有限公司，民國97年。
- [4] P. Sanchis, et al., “Boost DC–AC Inverter: A New Control Strategy,” IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 20, No.2, pp.343-353, Mar. 2005.
- [5] 王順忠譯，電力電子學，東華書局，民國90年。
- [6] “25~30W DC-DC Dual Output Converter,” Technical Data From MEAN WELL.
- [7] “ANALOG DEVICE 10V Precision Voltage Reference,” Technical Data From ANALOG.
- [8] 張義和，Altium Designer 6 電腦輔助電路設計【電路圖篇】，全華科技圖書股份有限公司，民國96年。
- [9] 張義和，Designer 6 電腦輔助電路設計【電路板篇】，全華科技圖書股份有限公司，民國96年。