

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告  
期中進度報告

新型直流不斷電系統之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2213 - E - 197 - 006

執行期間： 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：江茂欽

共同主持人：

計畫參與人員：林進來、陳信中、蔡仲盛

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立宜蘭大學

中 華 民 國 93 年 9 月 6 日



# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 新型直流不斷電系統之研究

計畫編號：NSC 92-2213-E-197-006

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

計畫主持人：江茂欽 國立宜蘭大學電機系

計畫參與人員：林進來 國立宜蘭大學電機系

陳信中 國立宜蘭大學電機系

蔡仲盛 國立宜蘭大學電機系

### 一、中文及英文摘要

#### 摘要

本計畫旨在研究一種新型單級式直流不斷電系統，使具備體積小、重量輕、效率高及成本低等特性。本文之特徵乃在於，當輸入交流電源供電正常時，採用新型雙開關SEPIC轉換器，其中一開關主要功能在控制交流輸入側之電流波形；而另一開關則在控制直流輸出電壓之大小，因此，可達到輸入交流電流控制迴路與輸出直流電壓控制迴路完全獨立控制之目標，故系統之輸入交流電流具低諧波高功因，且輸出直流電壓具極佳之動態響應。另一方面，兼對蓄電池充電。當輸入之交流電源供電異常時，系統操作於直流變直流降升壓(buck-boost)轉換器模式，因蓄電池在線上備用，故可維持一平穩之直流電壓供負載所需。最後，並以若干實驗結果，以驗證本計畫之可行性。

**關鍵詞：**直流不斷電系統、功率因數

#### Abstract

A novel dc uninterruptible power supply is proposed in this project. Basically the proposed converter is an integration result of a power factor correction circuit with a dc-to-dc converter to achieve simple hardware circuit, high efficiency, and low cost for extra UPS function. Under normal operation, a novel two-switch SEPIC converter operates as an ac to dc converter with sinusoidal input current, unity power factor, and low ripple dc output voltage, and as a battery charger if a battery

is added. Since both the input boost supply and the output supply can be controlled independently, a fast transient response can be maintained at both the input for active current waveshaping and at the output for good output regulation. When the ac source is outaged, the proposed converter functions as a dc-to-dc buck-boost converter, therefore the desired dc output voltage can be provided. Finally, some experimental results are presented for verification.

**Keywords :** dc uninterruptible power supply, power factor

### 二、前言

近年來金融交易系統、緊急醫療系統、通訊系統及其他各種精密工業製造系統，常使用精密之儀器設備及資訊產品，故以橋式整流器為基礎之非線性負載被廣泛使用，因其脈衝狀之輸入電流，導致電力系統之諧波污染日趨嚴重，嚴重影響供電品質。另一方面，各種精密設備及資訊產品對供電電壓之穩定與否均十分敏感，因此，如何提供一穩定性高且可靠性佳之電源供精密負載使用，是當前重要之研究課題。目前為改善供電之穩定度及可靠性，各種不斷電系統被廣泛使用，以改善供電品質。

傳統交流不斷電系統不論是何種架構，均包含輸入功率級(即交流變直流轉換器)、蓄電池充電級、輸出功率級(即直流變交流轉換器)與控制單元。此種架構雖然可達到提高供電品質之目的，但仍有下列之缺點：

- (1)系統需經多級之能量轉換處理，故需較多之功率半導體開關元件，且控制線路複雜，故費用較高。
- (2)因系統需多級之能量轉換處理，所需之元件數量多，故系統之體積大、重量重且因多級之能量轉換故效率低。
- (3)由於經多級之能量轉換過程，致該系統之暫態特性亦較差。

有鑑於上述之情形，許多學者提出許多不同架構之直流不斷電系統，於國內外文獻上發表[1-6]，其特色在於直接提供不中斷之高品質直流電壓供負載所需。雖然，所提出之架構，均具不斷電功能之交流變直流轉換器，但上述文獻所採用之功率轉換器架構於輸入側之交流電流控制迴路與輸出側之直流電壓控制迴路無法獨立控制，因此，內迴路之電流控制迴路為達到輸入側之交流電流低諧波高功因，則外迴路之直流電壓控制迴路將受到嚴格之限制，導致輸出側之直流電壓其暫態響應不佳。本文之目的在於提出一種新型高功因交流變直流轉換器，其輸入側之交流電流控制迴路與輸出側之直流電壓控制迴路可完全獨立控制，達到輸入側之交流電流低諧波高功因，且輸出側之直流電壓具極佳之動態響應，不受輸入交流電流控制迴路之任何干擾與限制。另一方面，當交流電源正常供電時，電路架構係一高功因之交流變直流轉換器，同時兼對蓄電池充電。又當交流供電異常時，可將電路架構轉換成由蓄電池供電之直流變直流轉換器，以維持極佳之供電品質，期能有效解決傳統不斷電系統之缺點。

### 三、研究目的

本計畫之主要目的，係在提出一種僅需單級能量轉換過程之直流不斷電系統，俾能減少損失並提高效率、簡化線路並降低成本。

本計畫之另一目的，係在提出一種當交流電源正常供電時，輸入側之交流電流控制迴路與輸出側之直流電壓控制迴路完全獨立之直流不斷電系統。且輸入交流電流為純弦波並與交流電壓相位一致之高功因轉換器。

本計畫之次一目的，係在提出一種由交流

正常供電模式轉換至交流異常斷電模式時，無切換延遲時間，可即時供電之直流不斷電系統。

緣是，為達成上述之目的，因此，本計畫提出新型功率電路架構之直流不斷電系統。其特徵乃在於單級式具線路簡單、輸出電壓暫態響應快速且具高功率因數之特性，使其應用場合更加寬廣，故可達性能優越並兼具實用化之目的。

## 四、研究方法

### 4.1 系統架構及操作原理

本計畫所提出之新型直流不斷電系統之系統架構，如圖1所示。圖1主要係由主功率轉換器及蓄電池充電器等兩大部分所組成，分別詳述如下：

#### A. 主功率轉換器

由圖1可知，所提出之主功率轉換器係由一橋式整流器、兩電感器( $L_1$ 及 $L_2$ )、兩電容器( $C_1$ 及 $C_2$ )、兩快速回復之功率二極體( $D_1$ 及 $D_2$ )及兩個功率開關( $SW_1$ 及 $SW_2$ )所組成。本計畫所提出之功率轉換器係修改傳統SEPIC轉換器，僅在其中多加入功率開關 $SW_2$ 及功率二極體 $D_1$ ，使能量轉換電容 $C_1$ 之充電及放電時間，能分別加以獨立控制。由圖1明顯可見所提出之轉換器其功率電路非常簡單。所提出之功率轉換器其控制電路係由輸入交流電流控制迴路及輸出直流電壓控制迴路所組成。交流輸入側之電流，經由輸入電流控制迴路，藉 $SW_1$ 調變責任週期，使交流輸入電流為純弦波且與電源電壓同相位，以改善系統之功率因數。而且藉由迴授電容器 $C_1$ 上之電壓 $V_{C1}$ ，以維持能量轉移電容器 $C_1$ 之電壓與參考電壓 $V_{ref}$ 相同，如此可改善傳統SEPIC型功因修正電路，能量轉移電容器之電壓應力太大且無法控制之缺點。另一方面，直流輸出電壓則經由輸出電壓控制迴路，藉由 $SW_2$ 責任週期之變化，以維持穩定之電壓。由圖1明顯可知，所提出之轉換器其交流輸入電流控制迴路與輸出直流電壓控制迴路，可完全獨立控制。上述輸入電流控制迴路其硬體控制電路只需採用一般習

用之功因修正積體電路UC3854即可達到所需之功能；而且輸出直流電壓控制迴路其硬體控制電路亦可採用一般習用之PWM控制積體電路UC3525即可達到所需之功能，因此，控制線路簡易且成本低。

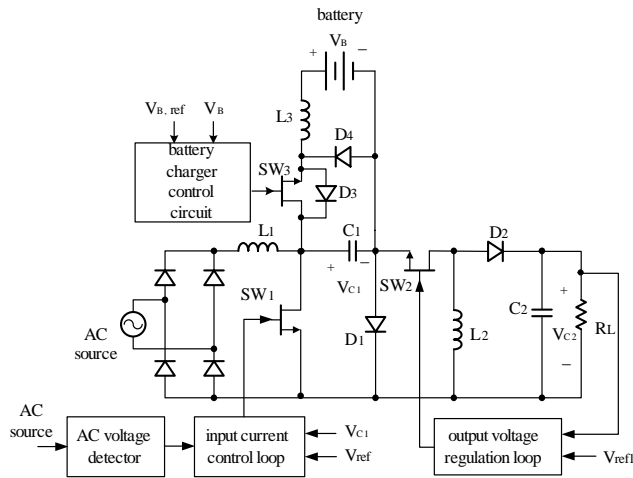


圖1 所提出新型直流不斷電系統之系統架構

## B. 蓄電池充電器

蓄電池充電器係由另一組功率開關SW<sub>3</sub>、功率二極體D<sub>4</sub>及電感器L<sub>3</sub>所組成之降壓型(buck)充電器，此種架構之優點係蓄電池之端電壓可比電容器C<sub>1</sub>之端電壓低，因此所需串聯之蓄電池數目較少。此蓄電池充電器因採用定電壓控制，故其控制電路亦可採用一般習用之PWM控制積體電路UC3525即可達到所需之功能，線路簡易且成本低。

### 4.2 工作模式分析

為進一步了解系統之操作，系統詳細之工作原理分別以正常供電模式、充電模式及交流斷電模式等三部份說明如下：

#### A. 正常供電模式

於正常供電模式下，主功率轉換器可依功率開關SW<sub>1</sub>及SW<sub>2</sub>之導通及截止狀態，分為三種模式說明如下：

**a. 模式一：**如圖2(a)所示，在此工作模式，功率開關SW<sub>1</sub>導通、SW<sub>2</sub>截止、功率二極體D<sub>1</sub>截止、

D<sub>2</sub>導通，經功率二極體整流過後之電源V<sub>s</sub> > 0對電感L<sub>1</sub>持續儲能，使得電感L<sub>1</sub>上的電流i<sub>L1</sub>上升；另一方面電感L<sub>2</sub>將原先所儲存之能量轉移至負載R<sub>L</sub>，致輸出電壓V<sub>o</sub>會逐漸上升。

**b. 模式二：**如圖2(b)所示，在此工作模式，功率開關SW<sub>1</sub>及SW<sub>2</sub>均導通、功率二極體D<sub>1</sub>及D<sub>2</sub>均截止，經功率二極體整流過後之電源V<sub>s</sub> > 0對電感L<sub>1</sub>持續儲能，使得電感L<sub>1</sub>上的電流i<sub>L1</sub>上升；另一方面，電容C<sub>1</sub>將儲能轉移至電感L<sub>2</sub>；另外，電容C<sub>2</sub>則提供儲能至負載R<sub>L</sub>，但輸出電壓V<sub>o</sub>會因電容C<sub>2</sub>之持續放電而逐漸下降。

**c. 模式三：**如圖2(c)所示，在此工作模式，功率開關SW<sub>1</sub>及SW<sub>2</sub>均截止、功率二極體D<sub>1</sub>及D<sub>2</sub>均導通，經過功率二極體整流過後的電源V<sub>s</sub>及電感L<sub>1</sub>原先的儲能全部均對電容C<sub>1</sub>充電，因此電容C<sub>1</sub>的電壓逐漸上升，且使得電感L<sub>1</sub>上的電流i<sub>L1</sub>逐漸下降；另一方面，電感L<sub>2</sub>將原先所儲存之能量轉移至負載R<sub>L</sub>，致輸出電壓V<sub>o</sub>會逐漸上升。

#### B. 充電模式

於正常供電模式下，若蓄電池端電壓太低，則主轉換器之電容C<sub>1</sub>上之電壓經降壓式轉換器對蓄電池充電，充電電路如圖3(a)所示，其功率開關SW<sub>3</sub>導通與截止時之等效電路分別如圖3(b)及 3(c)所示。

#### C. 交流電源斷電模式

當交流電源供電異常時，交流電壓偵測器輸出之信號，將跳脫交流電源，並使功率開關SW<sub>1</sub>強迫導通，使蓄電池之能量能順利轉移至輸出級之直流變直流降升壓型轉換器。於交流電源斷電時，電容器C<sub>1</sub>上之電壓V<sub>C1</sub>將即刻下降，當此電壓低於蓄電池電壓V<sub>b</sub>時，蓄電池經電感器L<sub>3</sub>及功率開關SW<sub>3</sub>之背接二極體D<sub>3</sub>，將能量轉移至電容器C<sub>1</sub>，同時將使電容器電壓V<sub>C1</sub>穩定地箝制於蓄電池電壓V<sub>b</sub>。交流電源部分則因橋式整流電路之二極體逆偏而被隔離。於此模式之等效電路如圖4所示。只要藉由輸出電壓控制迴路產生功率開關SW<sub>2</sub>適當之導通與截止時間，即

可使等效於降升壓型直流變直流轉換器輸出一平穩之直流電壓。

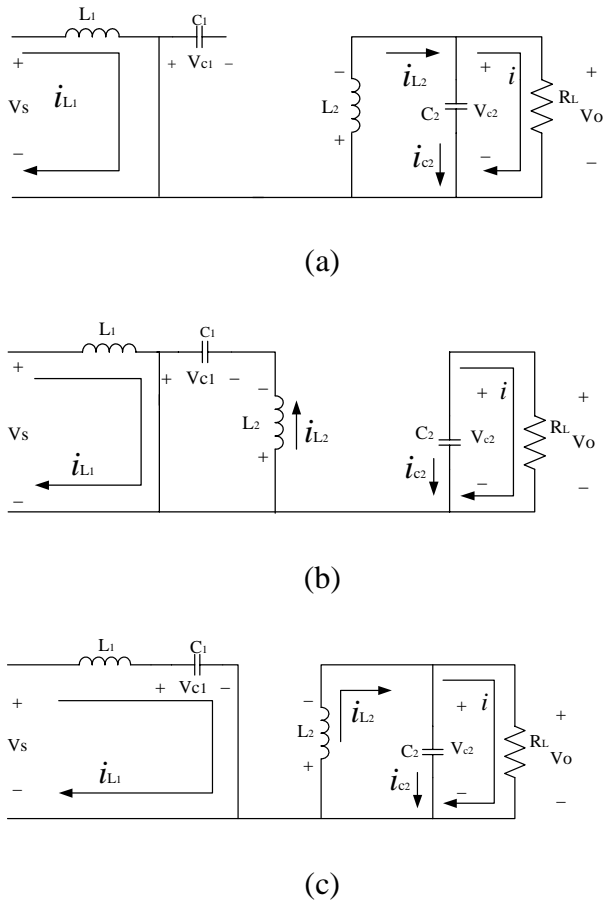


圖2 交流供電正常時，各操作模式之等效電路  
(a)模式一，(b)模式二，(c)模式三

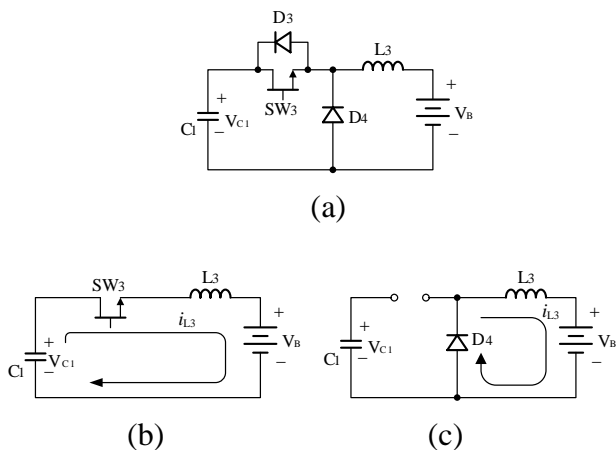


圖3 (a)充電模式下之充電器電路；(b)充電器於SW<sub>3</sub>導通時之等效電路；(c)充電器於SW<sub>3</sub>截止時之等效電路

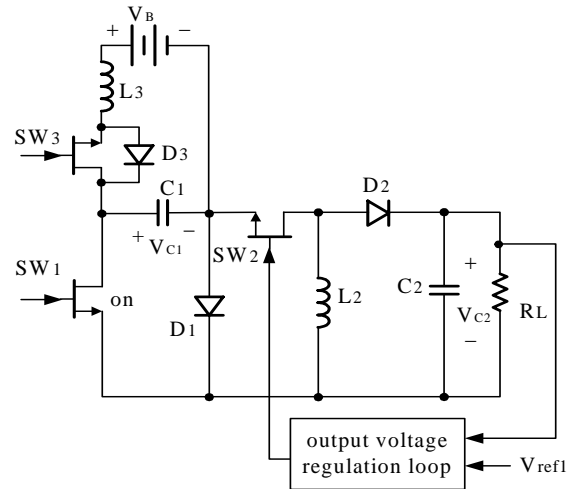


圖4 交流電源斷電模式，系統之等效電路

## 五、實驗結果

為驗證本計畫之可行性及性能，實體製作一雛形之不斷電系統如圖5所示，其參數如下：  
電感器： $L_1=2.5\text{mH}$ ， $L_2=2.26\text{mH}$ ， $L_3=0.82\text{mH}$   
電容器： $C_1=680\mu\text{F}$ ， $C_2=1200\mu\text{F}$   
功率開關：IRFP450  
功率二極體：F10A60  
輸出電壓：48V  
負載電阻：46

圖6所示係交流輸入側之電壓及電流波形，由圖中明顯可見，電流波形含低諧波成分且與電壓波形相位一致。圖7所示係交流電流波形及其頻譜分析圖，為進一步瞭解各次諧波成分大小及總諧波失真(THD)，利用動態信號分析儀(HP 35670)實測交流電流之諧波成分如表1所示。由表1明顯可知各次諧波含量均極低，主要諧波成分均低於基本波大小之1.7%，而總諧波失真THD=3.113%。圖8所示係直流輸出電壓為48V之波形及其漣波成份。另一方面，轉換器之暫態特性如圖9所示，係將負載電阻由76.8Ω瞬時變化至46Ω後再回復至76.8Ω，其中上圖為輸出直流電壓受負載變化之影響，而下圖為負載電流瞬時變化之波形，由圖9可知輸出直流電壓變化之幅度小，且快速回復原輸出電壓。當交

流電源瞬間中斷及瞬間恢復供電時，對輸出直流電壓之影響如圖10所示，圖10(a)上圖為交流電源瞬時中斷時之波形，下圖之輸出直流電壓波形仍能維持平穩之直流電壓供電。圖10(b)上圖為交流電源瞬時恢復供電時之波形，下圖為輸出直流電壓波形，明顯可見亦能維持平穩之直流電壓供電，提供負載高品質之電源。

## 六、結論

本計畫提出一種新型單級式直流不斷電系統，所採用之雙開關SEPIC轉換器，其交流電流控制迴路與輸出直流電壓控制迴路可完全獨立控制，故系統可達到輸入交流電流低諧波高功因，且輸出直流電壓具有極佳之動態響應。又因結合不斷電系統之觀念，使其更適合筆記型個人電腦、工作站、量測儀器及其它需不可中斷直流電源之產品。由實驗之結果可知，交流電源正常供電時，交流側電流之THD均小於5%，且功率因數亦大於99%。當交流電源瞬時中斷或瞬時恢復供電，均能維持平穩之電壓供負載所需。

## 七、參考文獻

- [1] N. Mohan, T.M. Undeland, and W. P. Robbins, "Power electronics: converters, applications and design", (John Wiley and Sons, 1989), pp.102-152.
- [2] C. T. Pan, J. J. Shieh, J. S. Lin and M. C. Jiang, "A Novel Uninterruptible power supply", *Proc. of the 17<sup>th</sup> Symposium on Electrical Power Engineering*, pp.792-797, 1996.
- [3] K.W. Ma and Y.S. Lee, "An Integrated Flyback Converter for dc Uninterruptible power supply", *IEEE Applied Power Electronics Conference (APEC) Proc.*, pp. 661-667, 1994.
- [4] E. Rodriguez and J. Arau, "A Novel DC-UPS with Power Factor Correction in a Single Structure," *IEEE Power Electronics Specialists Conf.*, pp. 1838-1843, 1996.
- [5] K.W. Ma and Y.S. Lee, "A Novel Uninterruptible dc-dc Converter for UPS Applications", *IEEE Transactions on Industry Application*, Vol.28 No. 4, July/August 1992.
- [6] M. Jain, M. Danicle and P. Jain, "A High Frequency Triport Topology for Low Power DC-UPS", *IEEE Power Electronics Specialist Conference PESC'98*, pp. 1796-1802, 1998.

- [7] G.K. Andersen and F. Blaabjerg, "Current Programmed Control of a Single Phase Two-Switch Buck-Boost Power Factor Correction Circuit," *Proc. Sixteenth Ann. IEEE Applied Power Electron. Conf. Expos. (APEC)*, 2001, pp. 350-356.
- [8] J. Chen, D. Maksimovic and R. Erickson, "A New Low-Stress Buck-Boost Converter for Universal-Input PFC Applications," *Proc. Sixteenth Ann. IEEE Applied Power Electron. Conf. Expos. (APEC)*, 2001, pp. 343-349.
- [9] G. W. Moon, "Novel single-stage, single-switch, AC/DC converter with magnetic energy feedback technique for power factor correction", *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, vol. 146, no. 1, January 1999.
- [10] J. Y. Lee, and M. J. Youn, "A single-stage power-factor correction converter with simple link voltage suppressing circuit (LVSC) ", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 48, no. 3, June 2001.

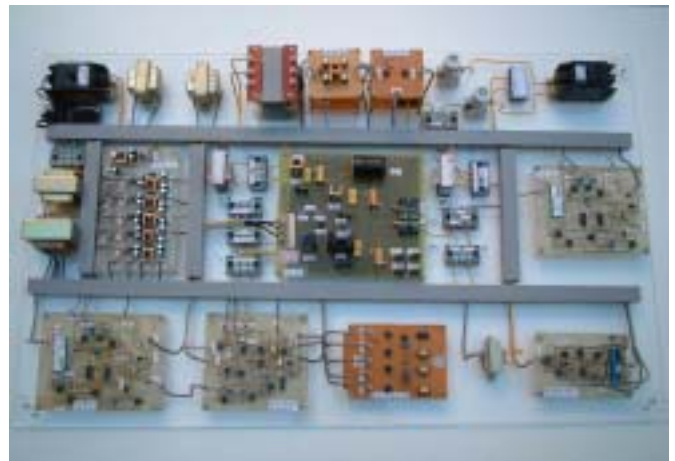


圖5 直流不斷電系統之實體照片

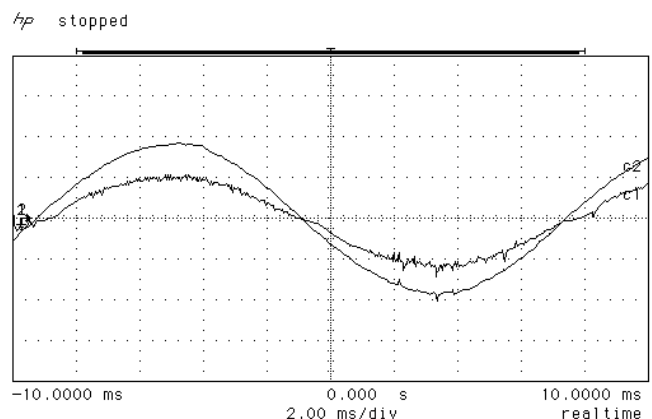


圖6 交流側輸入電壓及電流波形

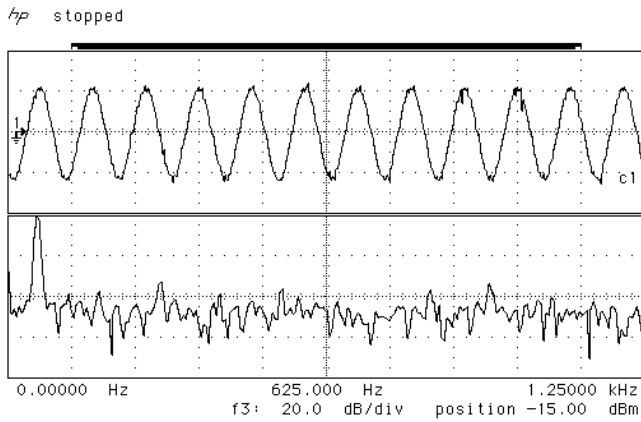


圖7 交流側輸入電流及其頻譜分析圖

表 1 交流側輸入電流各諧波成分分析表

頻率階數	頻率(HZ)	百分比(%)
1st	60	100
2nd	120	1.27
3th	180	0.79
4th	240	0.50
5th	300	1.13
6th	360	0.29
7th	420	0.89
8th	480	0.11
9th	540	1.61
10th	600	0.06
11th	660	0.88
12th	720	0.05
13th	780	0.85
14th	840	0.08
15th	900	0.62
16th	960	0.06
17th	1.02k	0.45
18th	1.08k	0.11
19th	1.14k	0.42
20th	1.2k	0.09

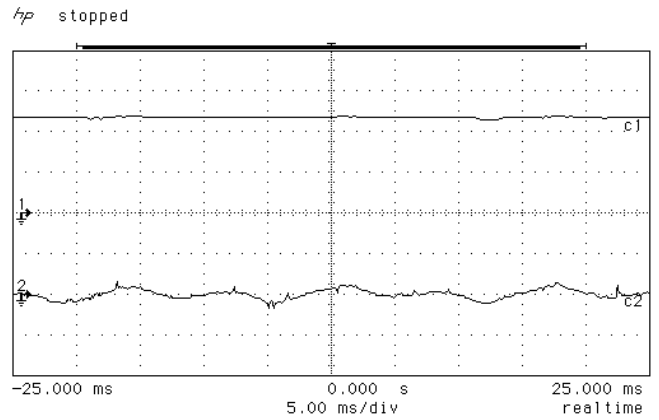


圖8 直流輸出電壓及其漣波成份

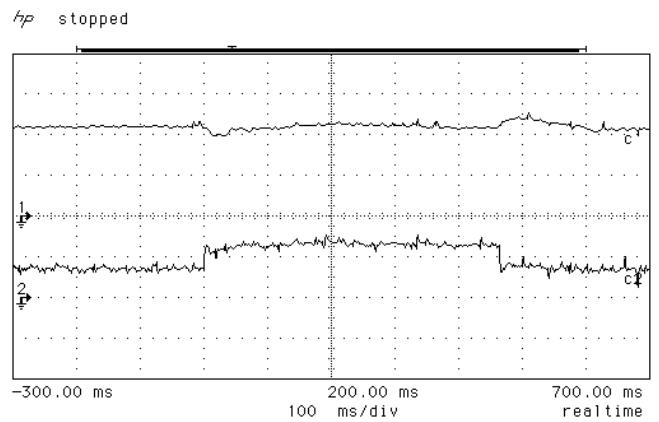
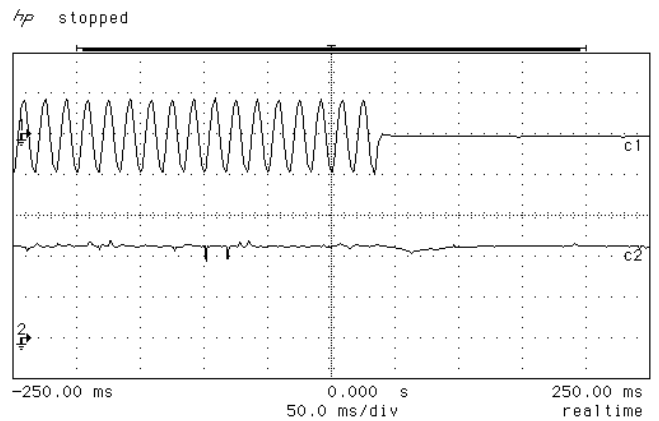
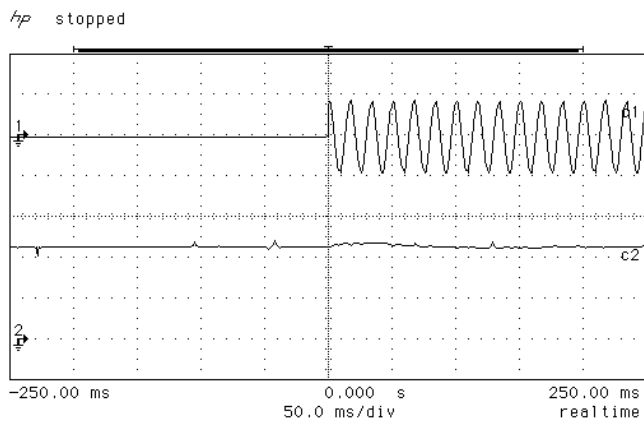


圖9 負載步級變化對輸出直流電壓之影響



(a)



(b)

圖10 (a)交流電源電壓瞬時中斷對輸出直流電壓之影響； (b)交流電源電壓瞬時恢復對輸出直流電壓之影響