

線性式電源整流器低諧波輸出控制

經濟部標準檢驗局台南分局 林昆平技正
許經杭技士
吳福正技士

摘要

整流器是許多電腦週邊設備不可豁缺的電能，而台灣又是電腦及週邊產品出口大宗國，因此電源供應器產業蓬勃發展是必然的，其中輕薄短小及輸出穩定之交換式電源供應器(Switch Power Supply:SPS)，已取代傳統線性整流器的地位，成為外銷主力並取得世界龍頭地位，然 SPS 有嚴重的高頻電磁干擾問題(150KHz~300MHz)，在交流電源側產生的諧波含量，也較線性整流器來得嚴重，為一耗能產品。線性整流器則不然，構造僅由橋式全波整流電路及濾波電容組成，雖有輸出電壓不穩定現象，但價錢低，無任何高頻電磁干擾，市場上仍然有其存在的價值，要解決的，只是如何降低其在交流電源側，產生的諧波問題。本文除介紹此兩種整流器的異同外，也以實驗證明，只要稍許改變濾波電容設計值，即可達成線性電源整流器的低諧波省電輸出，相信能建立讀者對家中整流器的相關認知。

Abstract

The adaptor is a must for numerous computer peripherals. As an important computer exporter worldwide, the dc power supply industry is bloomy in Taiwan. In today's dc power supply market, the switch power supply (PSP) has replaced the linear adaptor as main stream in the industry globally for its compact size. However, SPS has a serious problem of high frequency electromagnetic interference and causes harmonic feedback for the AC power source compared with linear adaptor. The energy consumption is also worse for SPS than linear adaptor. Linear adaptor is composed of Bridge rectifier Ckt and filter capacitor. Although its output voltage is unstable, the low cost and no high frequency electromagnetic interference retain its status in the market while decreasing the harmonic problems in AC primacy. This paper introduces and compares the basic concepts of these two adaptors. The proposed methods corroborated by experiments will show appropriate change of filter capacitor value can save the power consumption and reduce the harmonic wave. We believe this paper can build the basic knowledge for home use adaptors.

關鍵詞 (Key Words) :

突波雜訊電流 (Surge Noise Current)、
電磁干擾 (Electromagnetic Interference , EMI)、
換向片 (Commutator)、
全波整流電路 (Bridge Rectifier Ckt)。

一、前言

目前市售整流器有兩種，一為線性式，一為交換式，線性式因受限內部變壓器體積，容量頂多 20W 左右，輸出直流為毫安級，可以說容量小，體積大、輸出不穩定；交換式則不然，容量達 2000W，輸出穩定且電流大，實現直流電源大容量的可能，雖然線性式整流器因上述缺點，逐漸被交換式取代，不過其價格便宜及較低高頻雜訊干擾，在市場上仍有其需求，像是應用在較不精密及低容量的電子設備上，如收音機、迷你隨身聽、計算機及遊戲器等。由於線性式整流器高頻雜訊並不嚴重，主要干擾是低頻諧波，由輸出端整平電路「濾波電容充放電效應」在電源輸入端引發。此種低頻雜訊電流不僅會與供電系統併發共振現象，還會侵入同一電源饋線運轉中電器內部，造成當機，而太多的諧波電流，更會使產品功因下降，能源浪費。故本文擬藉由控制濾波電容大小，觀測其對電源輸入端衍生諧波電流的影響，希望在不增加任何抑制元件及成本下，找到低諧波輸出的可能[2]。故本文第一節先介紹線性式與交換式整流器的結構與異同，使讀者了解目前市售整流器概況，第二節製作一線性式整流電路模擬基板及選定整平電路濾波電容組合，進行投入測試，以量測其諧波失真，第三節分析整個實驗結果，最後則是結論。實驗顯示，藉由濾波電容值改變，確實可達成降低整流器電源輸入端諧波污染，相信對線性整流器製造商，在競爭及強調低雜訊上，仍有改善的空間。

二、線性式整流器與交換式整流器的比較

就市售整流器容量而言，線性式明顯較交換式來得小(表 1 及表 2)；從電路觀點而言(圖 1 與圖 2)，線性式構造簡單，主要由交流降壓變壓器、全波整流電路及整平電路濾波電容電感所構成，交換式則除全波整流電路及整平電路外，多增加了輸出入端高頻電磁干擾濾波器、半導體開關元件 Q1、控制 Q1 開閉的 IC 電路 $\mu pc1094c$ 及直流脈波輸入 Dc to Dc 轉換器 T_1 ，同時輸出側也多出一組回授電路 PC_1 ，以維持輸出穩定的特性，構造上複雜許多。圖 3 圖 4 為其內部實體結構，圖 5 圖 6 為其外觀比較，交換式明顯輕薄短小，兩者優缺點總結如下：

1. 線性整流器 110V 輸入電源經降壓交流 3V 後，以整流電路及整平電路整成直流 3V，交直流兩側沒有隔離作用，易發危險；交換式則不然，電源 110V 先被整成直流 110V，再以半導體切換開關交換成一次 3V 直流脈波，並經直流轉換器作為隔離，轉成二次 3V 直流脈波，交直流兩側明顯以切換開關及轉換器進行阻隔。
2. 線性整流器以四顆二極體構成整流電路，搭配一組整平電路，使輸出波形為含漣波雜訊的近似直線；交換式則以 IC 將整流電路縮小化並搭配交換電路、整平電路、輸出入側雜訊抑制元件，使波形輸出為穩定直線。
3. 線性整流器輸入端有降壓變壓器，其二次感應電壓公式如 1-1 式所示，對同樣感應電壓而言，線性式採低頻率 60HZ 輸入，磁通小，匝數多，體積龐大受限，輸出瓦數最大只到 20W；交換式則採調變後高頻脈波輸入，頻率高達 20KHz~300KHz，產生磁通大，匝數可縮小，市售

瓦數可達 80W，體積重量卻只有線性式 20W 的五分之三。

- 現今電子產品均規定直流電源只容許 1% 變動，否則會對產品產生傷害。但線性整流器輸出電壓易受輸入電源及負載變動而改變，已漸不合時宜；交換式則不然，輸出側設計有回授電路，可隨時調變脈波寬度及頻率，維持直流穩定輸出。
- 線性式與交換式電源均會在交直流輸出入側，產生低頻雜訊電流(Harmonic)，主要是二極體的非線性結構與整平電路濾波電容充放電效應引起，但交換式在高頻雜訊及突波干擾上顯得更為嚴重，需更多電磁干擾抑制元件，故價錢貴，電路也複雜許多。

$$E_2 = 4.44 f N \Phi \quad (1-1)$$

f：電源頻率 N：匝數 Ø：磁力線

24V	15V	12V	9V	6V	5V	4.5V	3V
500mA	700mA	1.5A	700mA	850mA	700mA	700mA	350mA

表 1 線性式整流器市售規格

24V	19V	18V	16V	15V	12V	9V	7.5V	6V	3V
3A	2.64A	3A	3A	3A	5A	2A	2A	3A	3A

表 2 交換式整流器市售規格

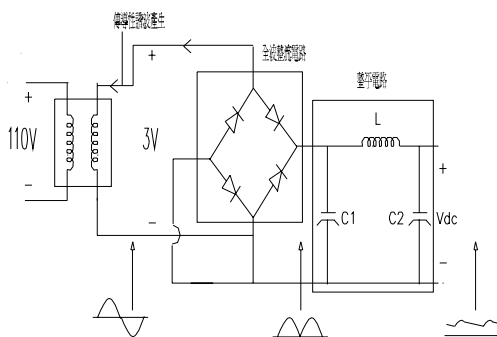


圖 1 線性整流器電路

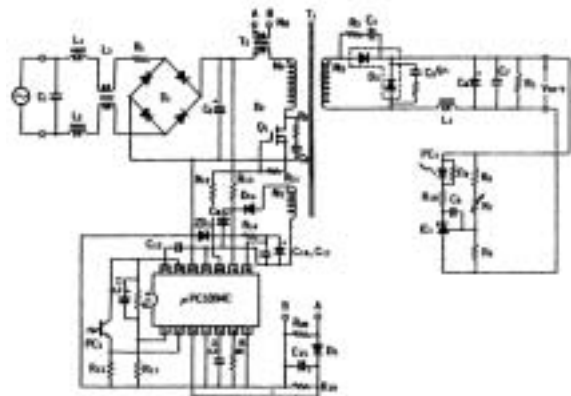


圖 2 交換式整流器電路

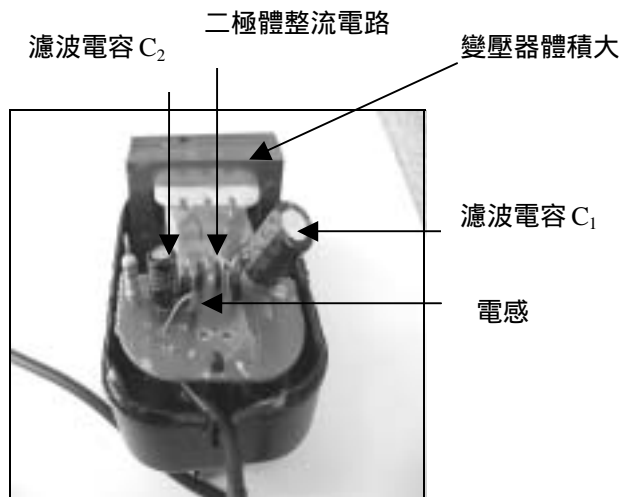


圖 3 線性式整流器結構

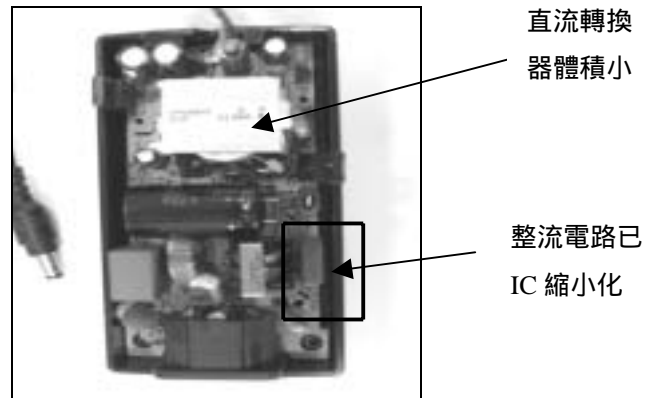


圖 4 交換式整流器結構



圖 5 線性式整流器外觀(3V)
(具經濟部標準檢驗局合格標識)



圖 6 交換式整流器外觀(3V)
(具經濟部標準檢驗局符合性聲明標識)

三、橋式整流電路模擬基板製作與濾波電容選定[2]

為了探討線性整流器電源輸入端諧波污染情形，依據圖 1 電路結構，製成圖 7 全波整流電路模擬基板，採用儀器及元件如下，實驗選用整平電路濾波電容 C_1 及 C_2 共 9 種組合(表 3)，而電感採三種選擇分別為 0.5mH、3mH、27.7mH，負載則使用純電阻構成的負載箱，以避免影響量測的準確性，諧波電流失真測量點，選在自耦變壓器二次側 12V，因變壓器線性電壓比關係，其結果等同一次側 110V 的諧波失真，圖 8 顯示整個量測情形。

- 1.自耦變壓器：設定 110V/12V
- 2.電阻負載箱
- 3.諧波失真分析儀：HIOKI 8806
- 4.整平電路之電感規格選用(自費訂製品圖 9)：0.5mH、3mH、27.7mH
- 5.整平電路之濾波電容 C_1 及 C_2 (自費規格品圖 10)：1000 μ f、100 μ f、10 μ f
- 6.整流電路二極體規格：1200V 25A

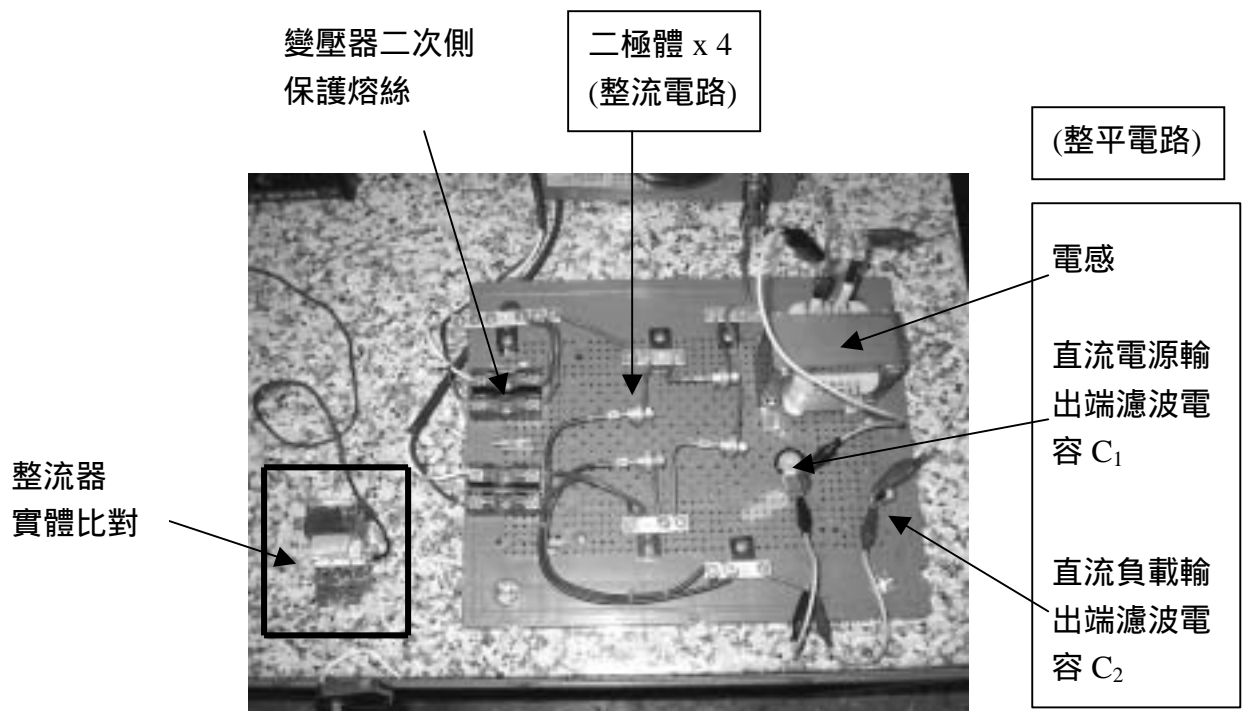


圖 7 全波整流電路模擬基板製作

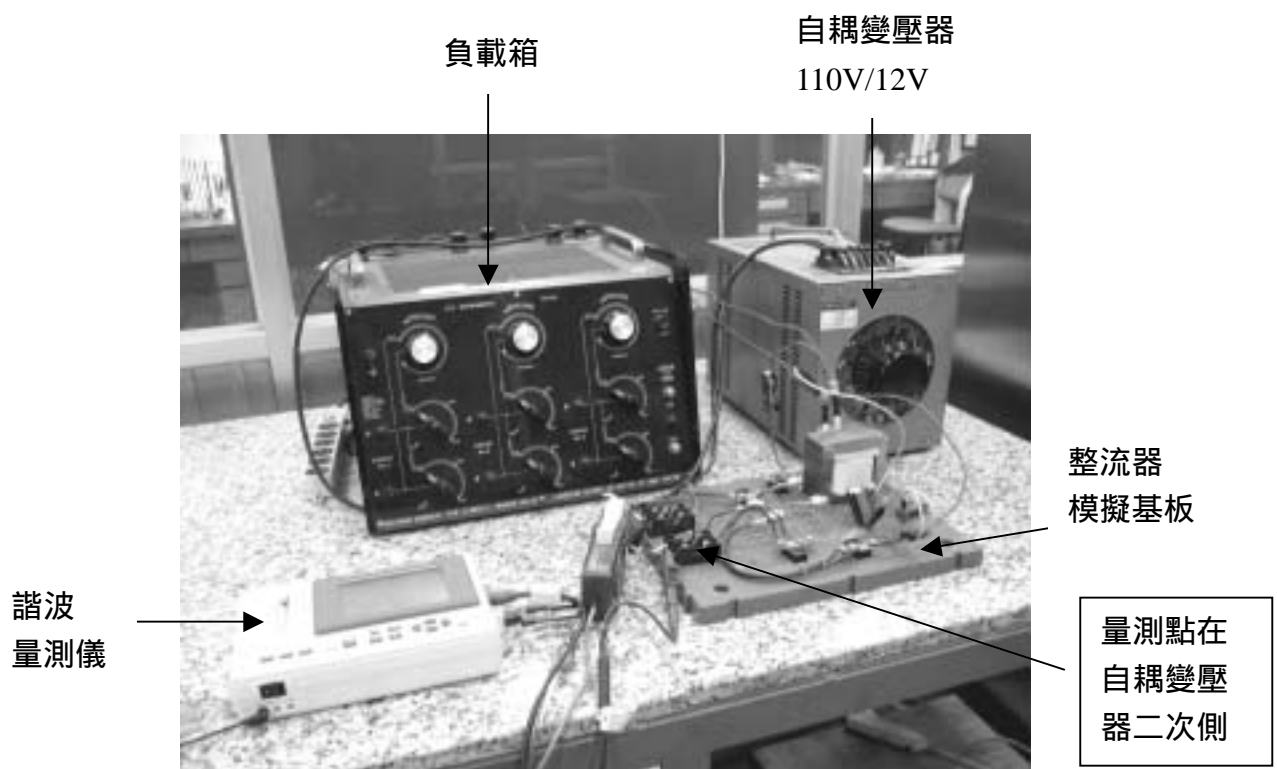


圖 8 變壓器二次側傳導性諧波失真量測情形

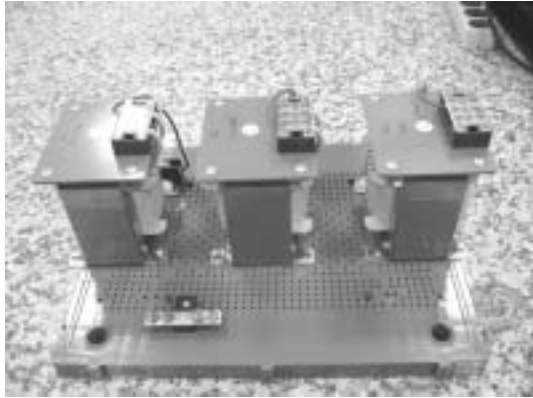


圖 9 電感(0.5mH、3mH、27.7mH)

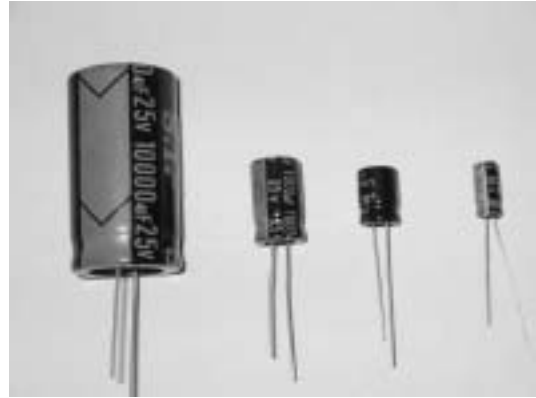


圖 10 濾波電容(1000µf、100µf、10µf)

測試模式	濾波電容選用	測試模式	濾波電容選用
1	C1=10uf C2=10uf	6	C1=100uf C2=1000uf
2	C1=10uf C2=100uf	7	C1=1000uf C2=10uf
3	C1=10uf C2=1000uf	8	C1=1000uf C2=100uf
4	C1=100uf C2=10uf	9	C1=1000uf C2=1000uf
5	C1=100uf C2=100uf		

表 3 濾波電容組合模式

三、實驗結果分析與評論

首先投入電感 $L=0.5\text{mH}$ ，搭配表 3 九種濾波電容組合，在電源端輸入端分別進行諧波失真量測，量測結果如表 4，我們選取綜合諧波電流失真 THD、第 3 次諧波電流失真 D_3 及第 5 次諧波電流失真 D_5 ，作為觀測指標，將其量測數據整理在表 5，即可發現六點特徵

- [特徵 1] 當 C_1 太大時， C_2 再怎麼改變，對電源輸入端諧波失真 THD、 D_3 、 D_5 幾無太大改變。
例如 $C_1=1000\text{uf}$ ， C_2 由 $10\text{uf} \iff 100\text{uf} \iff 1000\text{uf}$ ，數據 THD、 D_3 、 D_5 明顯變化不大
- [特徵 2] 諧波次數越高，其諧波含量越低，但主諧波以 3 次、5 次、7 次量較大。
- [特徵 3] C_1 固定時， C_2 由 $10\text{uf} \iff 100\text{uf} \iff 1000\text{uf}$ ，則 THD、 D_3 、 D_5 均有上升的趨勢。
- [特徵 4] C_2 固定時， C_1 由 $10\text{uf} \iff 100\text{uf} \iff 1000\text{uf}$ ，則 THD、 D_3 、 D_5 也明顯攀升。
- [特徵 5] $C_1 + C_2$ 值越大者，THD、 D_3 、 D_5 就越大；反之 $C_1 + C_2$ 越小者，其 THD、 D_3 、 D_5 就越小。
- [特徵 6] $C_1 + C_2$ 值越大者，整平後的直流電壓 V_{dc} 會越趨近於變壓器二次側交流 12V 大小值；反之 $C_1 + C_2$ 越小者，其 V_{dc} 就越低於期望輸出的 12V。

同理，投入電感 $L=3\text{mH}$ 及 $L=27.7\text{mH}$ 搭配表 3，可將其量測數據(未列出)整理成表 6 及表 7，其結果也同樣具備 **特徵 1 ~ 特徵 6** 的情形，但就表 5~7 進行比較，可發現另兩個特徵

[特徵 7]

電感越大，則 THD、 D_3 、 D_5 有下降趨勢且直流電壓 V_{dc} 低於預定輸出 12V。

[特徵 8]

電感太大時， C_2 由 $10\ \mu\text{f} \Rightarrow 100\ \mu\text{f} \Rightarrow 1000\ \mu\text{f}$ ，則 THD、 D_3 、 D_5 幾乎沒什麼變化，但仍然呈現 $C_1 + C_2$ 值越大，THD、 D_3 、 D_5 微揚趨勢。有一點要注意的是， $C_1 + C_2$ 值越小，THD、 D_3 、 D_5 反遭擴大。

* HARM * RMS-RATIO CH2 VALUE				
x20 freq:60.3Hz				
N	N	N	N	N
1	100.00%	0.34%	0.00%	0.17%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.34%
3	2.91%	0.00%	0.00%	0.51%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	1.54%	0.51%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.51%	0.17%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	0.68%	0.00%	0.00%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1-RMS	THD-F	THD-R		
1.62 A	3.55%	3.55%		

測試模式 1 ($C_1=10, C_2=10$)

* HARM * RMS-RATIO CH2 VALUE				
x20 freq:60.2Hz				
N	N	N	N	N
1	100.00%	1.35%	0.00%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	6.05%	0.84%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.17%	0.00%
5	5.53%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	4.04%	0.17%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	3.03%	0.00%	0.00%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.17%
1-RMS	THD-F	THD-R		
1.65 A	9.93%	9.88%		

測試模式 2 ($C_1=10, C_2=100$)

* HARM * RMS-RATIO CH2 VALUE				
x20 freq:60.2Hz				
N	N	N	N	N
1	100.00%	2.03%	0.11%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%
3	63.47%	0.11%	0.00%	0.00%
4	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%
5	17.36%	0.23%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	2.82%	0.11%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	1.47%	0.11%	0.00%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1-RMS	THD-F	THD-R		
2.94 A	65.95%	55.03%		

測試模式 3 ($C_1=10, C_2=1000$)

* HARM * RMS-RATIO CH2 VALUE				
x20 freq:60.2Hz				
N	N	N	N	N
1	100.00%	1.68%	0.51%	0.51%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	4.55%	1.18%	0.17%	0.17%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.17%
5	4.38%	0.51%	0.00%	0.17%
6	0.00%	0.17%	0.00%	0.00%
7	2.87%	0.51%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	1.85%	0.34%	0.00%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1-RMS	THD-F	THD-R		
1.64 A	7.58%	7.58%		

測試模式 4 ($C_1=100, C_2=10$)

* HARM * RMS-RATIO CH2 VALUE				
x20 freq:60.0Hz				
N	N	N	N	N
1	100.00%	1.94%	0.00%	0.00%
2	0.00%	0.16%	0.00%	0.16%
3	12.53%	1.23%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	9.52%	0.81%	0.16%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	5.32%	0.00%	0.00%	0.32%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	3.05%	0.00%	0.00%	0.16%
10	0.00%	0.16%	0.00%	0.00%
1-RMS	THD-F	THD-R		
1.74 A	17.26%	17.01%		

測試模式 5 ($C_1=100, C_2=100$)

* HARM * RMS-RATIO CH2 VALUE				
x20 freq:60.4Hz				
N	N	N	N	N
1	100.00%	1.88%	0.22%	0.00%
2	0.65%	0.00%	0.00%	0.11%
3	64.60%	0.00%	0.22%	0.00%
4	0.77%	0.00%	0.00%	0.11%
5	18.58%	0.22%	0.00%	0.11%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	1.33%	0.44%	0.11%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	1.55%	0.00%	0.00%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1-RMS	THD-F	THD-R		
3.01 A	67.26%	55.78%		

測試模式 6 ($C_1=100, C_2=1000$)

* HARM * RMS-RATIO CH2 VALUE				
x20 freq:59.9Hz				
N	N	N	N	N
1	100.00%	5.65%	0.12%	0.24%
2	0.24%	0.00%	0.00%	0.00%
3	58.07%	2.36%	0.24%	0.24%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%
5	20.73%	1.77%	0.71%	0.12%
6	0.12%	0.00%	0.00%	0.00%
7	11.90%	0.94%	0.24%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	4.58%	1.18%	0.24%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1-RMS	THD-F	THD-R		
2.78 A	63.25%	53.43%		

測試模式 7 ($C_1=1000, C_2=10$)

* HARM * RMS-RATIO CH2 VALUE				
x20 freq:59.9Hz				
N	N	N	N	N
1	100.00%	5.55%	0.12%	0.12%
2	0.23%	0.12%	0.00%	0.00%
3	60.32%	3.01%	0.35%	0.23%
4	0.12%	0.12%	0.00%	0.23%
5	22.77%	1.97%	0.46%	0.23%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	12.37%	0.46%	0.12%	0.12%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	4.74%	1.27%	0.00%	0.12%
10	0.00%	0.00%	0.23%	0.00%
1-RMS	THD-F	THD-R		
2.87 A	66.71%	55.48%		

測試模式 8 ($C_1=1000, C_2=100$)

* HARM * RMS-RATIO CH2 VALUE				
x20 freq:59.7Hz				
N	N	N	N	N
1	100.00%	1.75%	0.62%	0.21%
2	0.62%	0.00%	0.00%	0.00%
3	68.01%	2.27%	0.10%	0.00%
4	0.72%	0.10%	0.00%	0.00%
5	21.57%	0.62%	0.10%	0.00%
6	0.21%	0.00%	0.00%	0.00%
7	5.47%	1.55%	0.21%	0.10%
8	0.10%	0.10%	0.10%	0.00%
9	6.50%	0.52%	0.00%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1-RMS	THD-F	THD-R		
3.30 A	71.93%	58.30%		

測試模式 9 ($C_1=1000, C_2=1000$)

表 4 $L=0.5\text{mH}$ 下，操作模式 1~9

C₁=10μf,	C₂=10μf ⇨	C₂=100μf ⇨	C₂=1000μf
THDi	3.59%	9.93%	65.95%
D ₃	2.91%	6.06%	63.47%
D ₅	1.54%	5.56%	17.36%
V _{dc}	9V	9.2V	11.3V
C₁=100μf,	C₂=10μf ⇨	C₂=100μf ⇨	C₂=1000μf
THDi	7.59%	17.26%	67.26%
D ₃	4.55%	12.58%	64.60%
D ₅	4.38%	9.52%	18.58%
V _{dc}	10.9V	11.1V	11.5V
C₁=1000μf,	C₂=10μf ⇨	C₂=100μf ⇨	C₂=1000μf
THDi	63.25%	66.71%	71.93%
D ₃	58.07%	60.92%	68.01%
D ₅	20.73%	22.77%	21.57%
V _{dc}	11V	11.5V	12.3V

表 5 L=0.5mH 下 數據分析

C₁=10μf,	C₂=10μf ⇨	C₂=100μf ⇨	C₂=1000μf
THDi	4.74%	6.78%	31.49%
D ₃	3.65%	6.09%	30.80%
D ₅	2.19%	2.26%	6.08%
V _{dc}	9V	9V	10V
C₁=100μf,	C₂=10μf ⇨	C₂=100μf ⇨	C₂=1000μf
THDi	4.07%	8.29%	30.06%
D ₃	3.51%	7.43%	27.95%
D ₅	0.37%	3.28%	9.83%
V _{dc}	8.9V	8.9V	10.14V
C₁=1000μf,	C₂=10μf ⇨	C₂=100μf ⇨	C₂=1000μf
THDi	61.99%	62.22%	41.28%
D ₃	56.78%	57.33%	33.75%
D ₅	20.82%	19.67%	22.18%
V _{dc}	10.6V	10.7V	10.7V

表 6 L=3mH 下 數據分析

C₁=10μf,	C₂=10μf ⇨	C₂=100μf ⇨	C₂=1000μf
THDi	42.17%	42.40%	44.01%
D ₃	32.26%	32.65%	33.18%
D ₅	19.12%	18.59%	20.74%
V _{dc}	9V	9V	9V
C₁=100μf,	C₂=10μf ⇨	C₂=100μf ⇨	C₂=1000μf
THDi	40.04%	41.02%	42.60%
D ₃	29.87%	30.38%	32.29%
D ₅	15.27%	14.86%	17.04%
V _{dc}	8.7V	8.7V	8.6V
C₁=1000μf,	C₂=10μf ⇨	C₂=100μf ⇨	C₂=1000μf
THDi	69.20%	69.84%	70.72%
D ₃	62.82%	63.49%	64.28%
D ₅	24.66%	24.91%	25.27%
V _{dc}	10.52V	10.9V	10.9V

表 7 L=27.7mH 下 數據分析

四、結論

由本文實驗可知，當負載為線性元件時，濾波電容值的改變，會使整流器電源輸入端的諧波污染有某種程度的改變，實驗顯示當 C₁+C₂ 增加時，諧波污染會隨之增加，因此可藉由選擇較小電容值組合，來達成控制電源輸入端的低諧波輸出，只是如此一來，其直流輸出電壓會有明顯偏低現象。另整流電路中用作整平電路的電感，有阻擋濾波電容充放電衍生的交流漣波作用，實驗顯示，電感值取大一點時，諧波電流失真有下降的趨勢，只是幅度不大，而當電感值取太大時，直流輸出電壓會降低，且此時 C₁+C₂ 取越小，則電源諧波反而呈現擴大趨勢。筆者還是建議整流器製造商，濾波電容仍然以選取較小者為優先考量，電感雖大一點可使諧波失真下降，但降幅不大，何況其在 C₁+C₂ 設計越小時，會呈現反效果，是故仍建議選取電感值小者。不過最好還是像本文一樣，選定不同濾波電容加電感組合，經由實驗量測及成本考量，從中選取一個較低諧波污染模式，作為最後設計值，雖然會耗費更多時間進行 TRY ON ERR，不過若因此而能設計出標榜低諧波污染的整流器，不也是廠商產品更具優勢的籌碼，僅以此文提供國內線性整流器製造商，低諧波輸出概念。

五、參考文獻

- 1.張耀彰 著,"負載電容變化對電源電流諧波的影響",電力研討會,1999

2.CNS9078 C4351 "線性電源轉接器"

3.林昆平 著,"An Advanced Computer Code For Single-Tuned Harmonic Filter Design",IEEE
Transation on Industry Application,Vol.34,No.4, July/Aug.