

電力整流器低諧波輸出控制

經濟部標準檢驗局台南分局 技正 林昆平
技士 許經杭
技士 洪飛良

一、前言

電力整流器是許多直流負載不可缺的電能，許多直流負載工廠或控制製程設備，多多少少會看到這種交直流轉換器，但這類電力整流器卻有個大問題，在電源輸入端衍生大量諧波電流並透過機台電源線向外傳導，第一個受害者就是功因改善電容器的燒毀，第二個是與電源阻抗發生共振現象，擴大諧波並造成設備保護器跳脫，影響生產線運作，此外諧波電流還會對同一電源饋線上，其它機電設備，產生電壓干擾，造成機台當機或電腦螢幕持續性模糊，而太多諧波含量還會造成機台功因下降及能源損耗，可說是供電品質與能源損耗主要元兇。因此如何降低電力整流器諧波污染，又不致投入太多抑制成本，自是研究的重點。本文擬藉由控制整流器內部濾波電容值，在不增加任何抑制元件及成本狀況下，達成低諧波輸出的可能 [1]，故本文先讓讀者了解電力整流器構造原理，其次在實驗室製作一電力整流電路模擬基板，選定整平電路濾波電容組合，以進行投入測試，更量測其電源輸入端諧波失真情形，最後分析整個實驗結果。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，相信對電力整流器製造商、業者、電力工程師，在購買電力整流器，調整設備性能及降低機台諧波電流上，有清楚的概念。另一方面，電力整流器縮小化，就是家中資訊設備不可缺的直流電源，俗稱整流器(Adapter)，因此本研究結果，對電源製造商、電磁干擾工程師、國內電機電子實驗室人員及商品檢驗人員，亦有參考價值。

二、電力整流器的特性

電力整流器構造簡單，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如圖 1 所示，其有以下的特點：

- 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。
- 輸入端有變壓器以調整二次側感應電壓如 1-1 式，其頻率以 60HZ 輸入，有磁通小、匝數多及體積龐大缺點。
- 整流器輸出電壓易受輸入電源及負載變動而改變。
- 整流器在交流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所引起。

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

f：電源頻率 N：匝數 Φ ：磁力線

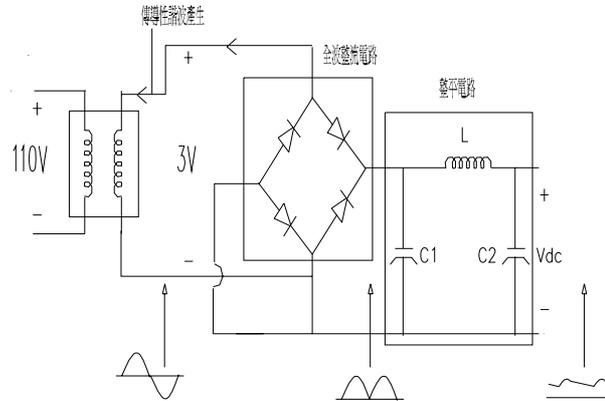


圖 1 電力整流器內部電路

三、橋式整流電路模擬基板製作與濾波電容選定[2]

爲了探討整流器電源輸入端諧波污染情形，依據圖 1 電路結構以製成圖 2 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 1)，而電感採三種選擇分別爲 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，因變壓器線性電壓比關係，其結果等同一次側 110V 的諧波失真情形，爲了實驗的安全性，我們降低濾波電容額定電壓值，以獲得較小體積電容，因此設定二次側電壓爲 12V，圖 3 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 4)： 0.5mH、3mH、27.7mH
- 5.整平電路之濾波電容 C_1 及 C_2 (規格品圖 5)：1000 μ f、100 μ f、10 μ f
- 6.整流電路二極體規格：1200V 25A

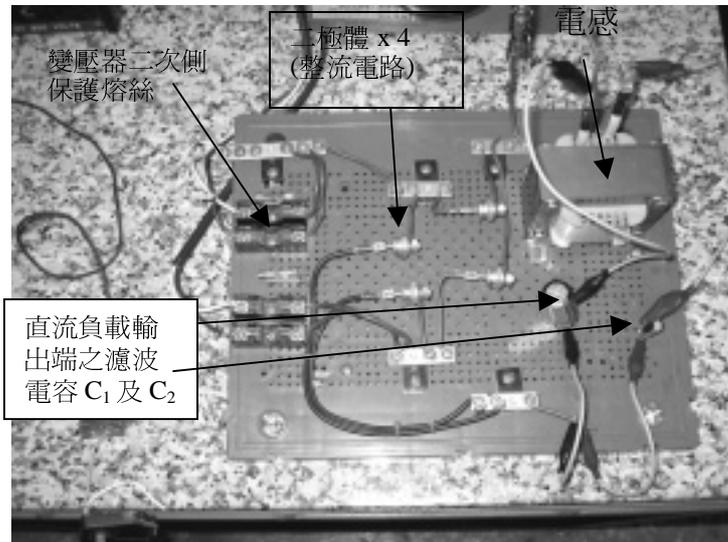


圖 2 全波整流電路模擬基板製作



圖 3 變壓器二次側傳導性諧波失真量測情形

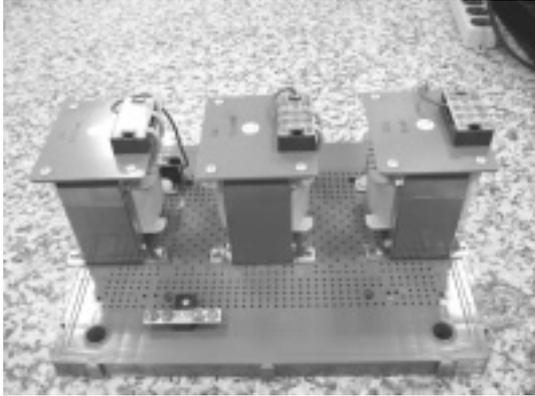


圖 4 電感(0.5mH、3mH、27.7mH)

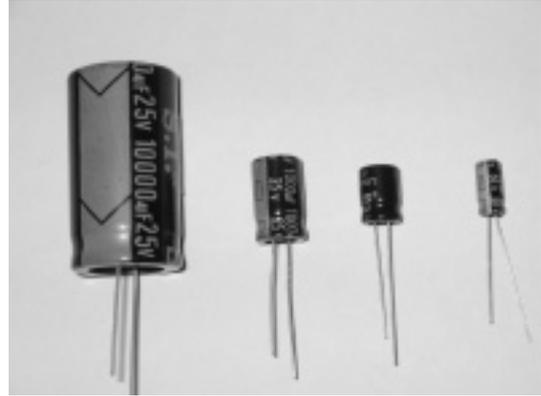


圖 5 濾波電容(1000µf、100µf、10µf)

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 1 濾波電容組合模式

四、實驗結果分析與評論

首先投入電感 $L=0.5\text{mH}$ ，搭配表 1 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 2，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 3，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。

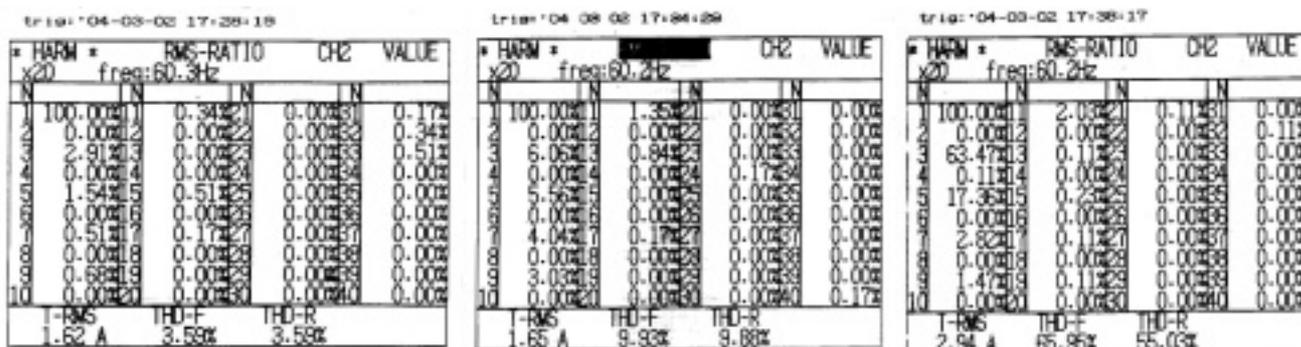
同理，投入電感 $L=3mH$ 及 $L=27.7mH$ 搭配表 1，可將其量測數據(未列出)整理成表 4 及表 5，其結果也同樣具備 特徵 1 ~ 特徵 6 的情形，但就表 3~5 進行比較，可發現另兩個特徵

[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]

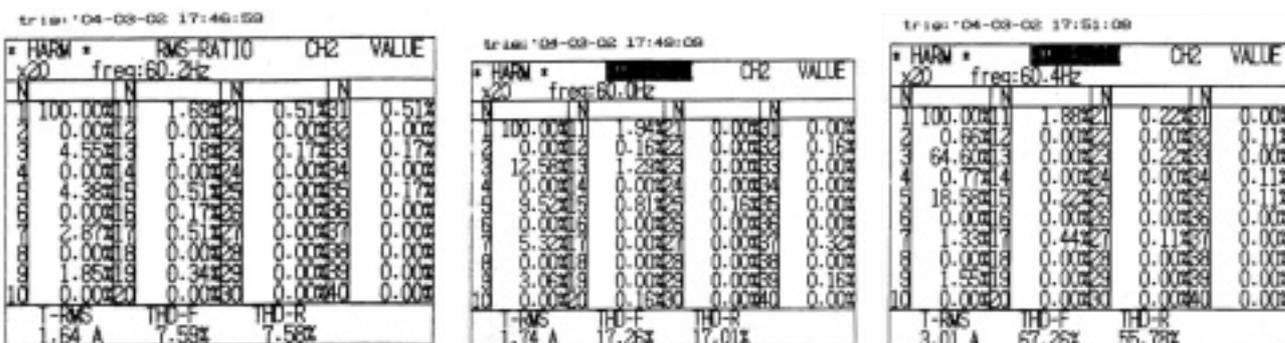
電感太大時， C_2 由 10 uf \Rightarrow 100 uf \Rightarrow 1000 uf，則 THD、 D_3 、 D_5 幾乎沒什變化，但仍然呈現 $C_1 + C_2$ 值越大，THD、 D_3 、 D_5 微揚趨勢。有一點要注意的是， $C_1 + C_2$ 值越小，THD、 D_3 、 D_5 反遭擴大。



測試模式 1 ($C_1=10, C_2=10$)

測試模式 2 ($C_1=10, C_2=100$)

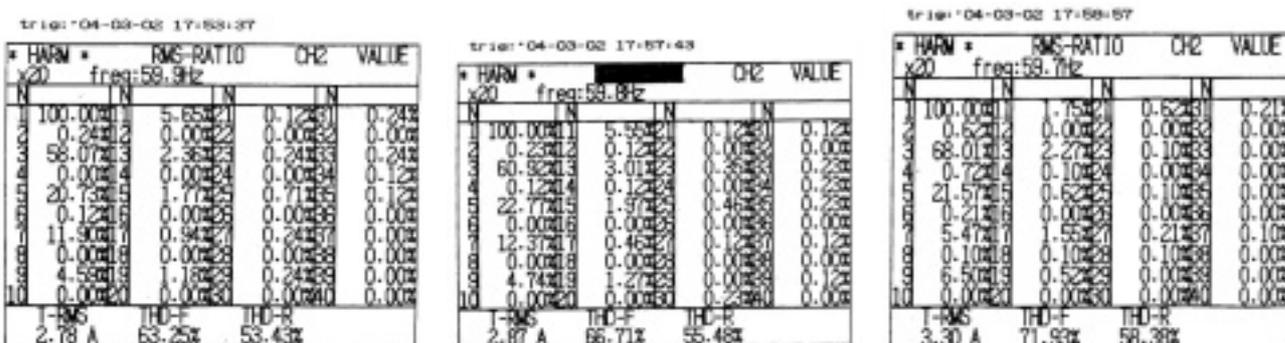
測試模式 3 ($C_1=10, C_2=1000$)



測試模式 4 ($C_1=100, C_2=10$)

測試模式 5 ($C_1=100, C_2=100$)

測試模式 6 ($C_1=100, C_2=1000$)



測試模式 7 ($C_1=1000, C_2=10$)

測試模式 8 ($C_1=1000, C_2=100$)

測試模式 9 ($C_1=1000, C_2=1000$)

表 2 $L=0.5mH$ 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 3 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 4 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 5 L=27.7mH 下 數據分析

五、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。筆者還是建議電力整流器製造商，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，不也是廠商優勢的籌碼，僅以此文提供電力整流器製造商，低諧波輸出概念。

六、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
CNS9078 C4351 "線性電源轉接器"