

# 明新科技大學 校內專題研究計畫成果報告

## 交換式電源供應器之傳導性電磁干擾分析與防制 Conducted EMI prevention and analysis of switching power supply

計畫類別： 整合型計畫 個人計畫

計畫編號：MUST-97 電機-01

執行期間：97年 3月 1日至 97年 9月 30日

計畫主持人：盧裕溢

共同主持人

計畫參與人員：林俊佑（碩士班研究生）

陳時聖（碩士班研究生）

處理方式：除涉及專利或其他智慧財產權外得立即公開，  
唯必要時本校得展延發表時限。

可立即對外提供參考

(請打√) 一年後可對外提供參考

兩年後可對外提供參考

執行單位：電機系

中華民國 97年 10月 27日

# 明新科技大學 校內專題研究計畫成果報告

## 交換式電源供應器之傳導性電磁干擾分析與防制 Conducted EMI prevention and analysis of switching power supply

計畫類別：整合型計畫 個人計畫

計畫編號：MUST-97 電機-01

執行期間：97年 3月 1日至 97年 9月 30日

計畫主持人：盧裕溢

共同主持人

計畫參與人員：林俊佑（碩士班研究生）

陳時聖（碩士班研究生）

處理方式：除涉及專利或其他智慧財產權外得立即公開，  
唯必要時本校得展延發表時限。

可立即對外提供參考

(請打√) 一年後可對外提供參考

兩年後可對外提供參考

執行單位：電機系

中 華 民 國 97 年 10 月 27 日

## 計畫中文摘要

個人電腦常用之交換式電源供應器會產生傳導性電磁干擾，通常可以透過 EMI 濾波器的方式來降低此傳導性電磁干擾。本研究將透過不同市售 EMI 濾波器來觀察交換式電源供應器所產生之傳導性電磁干擾。由於市售 EMI 濾波器無法完全滿足法規 FCC Part 15; Class B Conducted 的規範，因此本研究將透過 EMI 濾波器設計的方式，製作濾波器以改善交換式電源供應器所產生的傳導性電磁雜訊。在研究過程中將簡化電路的設計並運用功率分離器分離出交換式電源供應器之電磁雜訊中的共模雜訊，並計算出共模雜訊的轉折頻率，依據所求得之轉折頻率設計出所需之 EMI 濾波器，以降低交換式電源供應器之傳導性電磁干擾，並達到符合 FCC Part 15; Class B Conducted 的規範。

關鍵詞：傳導性電磁干擾，交換式電源供應器，EMI 濾波器。

## 計畫英文摘要

The PC switching power supply will produce the conducted emissions and these emissions usually can be reduced by using EMI filters. This research observed the conducted emissions from switching power supply by means of various commercial EMI filters. Because the measured conducted emissions are unable to meet the limitations of FCC Part 15; Class B conducted by adopting commercial EMI filters, so we will design EMI filters to reduce the conducted emissions produced by switching power supply in this study. We consider the common mode noise of switching power supply in order to simplify the design of EMI filter and use the power splitter to separate the common mode noise of switching power supply. With suitable design of EMI filter, the conducted emissions of switching power supply will be reduced and accord with the limitations of FCC Part 15; Class B conducted.

Keywords : Conducted emission, switching power supply, EMI filter.

## 目錄

一、前言	P. 1
二、研究目的	P. 3
三、研究方法	P. 4
四、結果與討論	P. 13
五、結論	P. 25
六、參考文獻	P. 26
附錄	
(一) 計畫成果自評	P. 27
(二) CSTRWC2008 投稿全文	P. 29

## 一、前言

現今許多電機電子產品經過多年來的發展改良，都朝向省電、體積小、整合等功能邁進，然而在這些電子電機設備產品推陳出新的同時，電磁干擾(Electromagnetic Interference, EMI)的問題也逐漸浮現出來。許多電器設備或是相關產品，由於改良整合電子電路的面積，皆以低功率的方式驅動其設備產品，因此容易受到電磁雜訊或是外在雜訊的影響，使其功能無法正常運作，所以電磁干擾的影響是不可被忽略的。

許多電子電機之相關產品在研發的過程中，都要通過電磁相容性(Electromagnetic Compatibility EMC)的測試，在電磁相容性測試中，可分為電磁干擾(Electromagnetic Interference EMI)測試與電磁耐受性(Electromagnetic Susceptibility EMS)測試。在電磁干擾(EMI)測試中又可分為傳導性電磁干擾(Conducted Emission CE)測試與輻射性電磁干擾(Radiated Emission RE)測試。傳導性電磁干擾主要透過電源線或系統中其他信號線互相傳遞其電磁雜訊，所以傳導性電磁干擾測試主要目的就是要測量待測物(Equipment Under Test, EUT)經由電源線的傳導雜訊。輻射性電磁干擾測試主要測試待測物中本身所散發之輻射雜訊，此種雜訊不需透過電源線即可影響到其他周圍的電器產品。現今的電子電機相關產業，所生產的產品都要經過電磁相容之各項規範的測試才能進行銷售，由此可知電磁相容性測試已經越來越受到電機電子產業的重視，因此改善電磁雜訊的影響已是產品在研發過程中重要的一環，也是將來電機電子相關領域發展的重要課題。一般克制傳導性電磁雜訊的方法，會在待測設備之電源端加入一個EMI 電源濾波器以降低傳導性電磁干擾。傳導性電磁干擾測試可分為Class A 與Class B 兩種測試標準，其中Class A 測試標準適用於商業、工業或企業環境的測試標準，而對於一般家庭住宅的電器設備則屬於Class B 測試標準。本研究進行傳導性電磁干擾測試時，選用標準規範為美國標準規範FCC Part 15; Class B Conducted。個人電腦常用之交換式電源供應器會產生傳導性電磁干擾，本研究將利用市售之電源濾波器觀察其對交換式電源供應器之傳導性電磁干擾抑制能力，由於市售之電源濾波器無法完全將交換式電源供應器之傳導性電磁干擾抑制在FCC Part 15; Class B Conducted 標準規範，因此本研究將設計EMI 電源濾波器，以抑

制交換式電源供應器之傳導性電磁干擾並符合 FCC Part 15; Class B Conducted 標準規範。

國內外對於探討傳導性干擾多所著墨，但不同的電路設計對其測試結果影響很大。本計畫將依據現有設備，利用設計 EMI 濾波器之電路元件，來作 EMI 抑制的工作並探討電磁干擾防制問題，對於未來研發電器產品，將可縮短實用性產品問世的時程。

## 二、研究目的

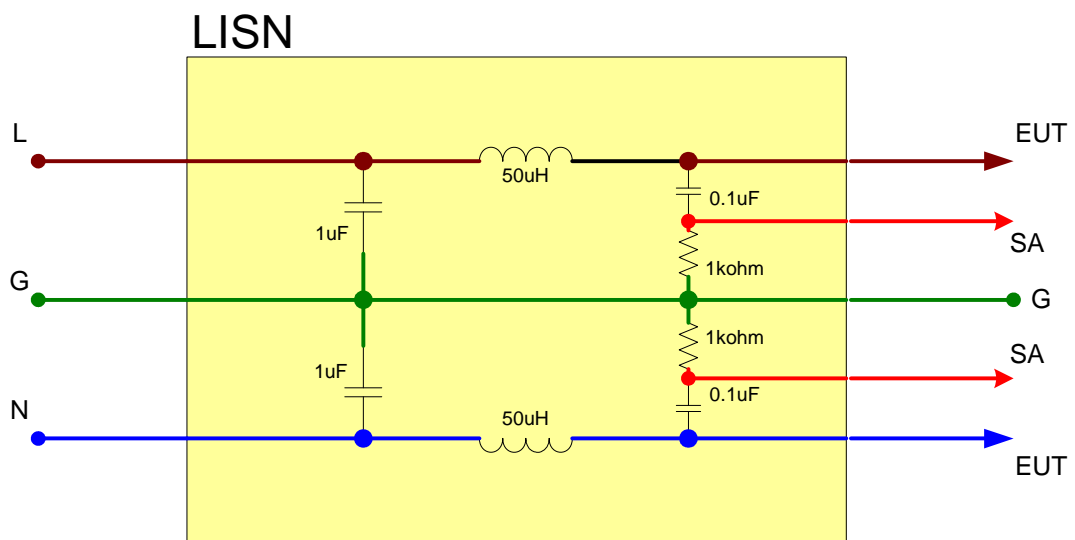
目前市面上抑制傳導性電磁干擾的方法，以使用濾波器最為常見，而在濾波器的設計上大都以透過嘗試錯誤和設計者的經驗為主。本研究主要以切換式電源供應器作為待測物來設計 EMI 濾波器，待測物在 FCC Part 15 Class B Conducted 法規規範測試下，最高超過法規 28dB，適當地透過設計 EMI 濾波器，能有效的改善傳導性電磁干擾。本研究利用功率分離器將共模雜訊和差模雜訊從電磁雜訊中分離，再使用 Excel 算出最小轉折頻率，依此轉折頻率之數據設計出 EMI 濾波器。使用者可根據成本及尺寸上的考量選擇不同之電容與電感來製作 EMI 濾波器。本研究利用轉折頻率設計出幾組 EMI 濾波器，並可有效的降低傳導性電磁干擾，且符合法規 FCC Part 15 Class B Conducted 之規範。



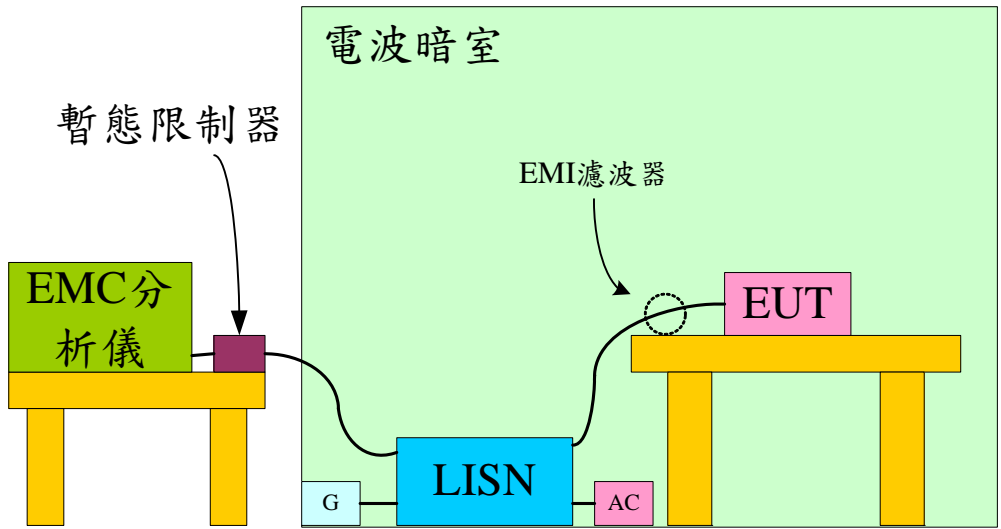
### 三、研究方法

本計劃目的是為了解交換式電源供應器所產生的電磁干擾並加以研究防治改善，因此探討交換式電路中電壓切換時所產生之雜訊干擾並針對此干擾源給予克服。

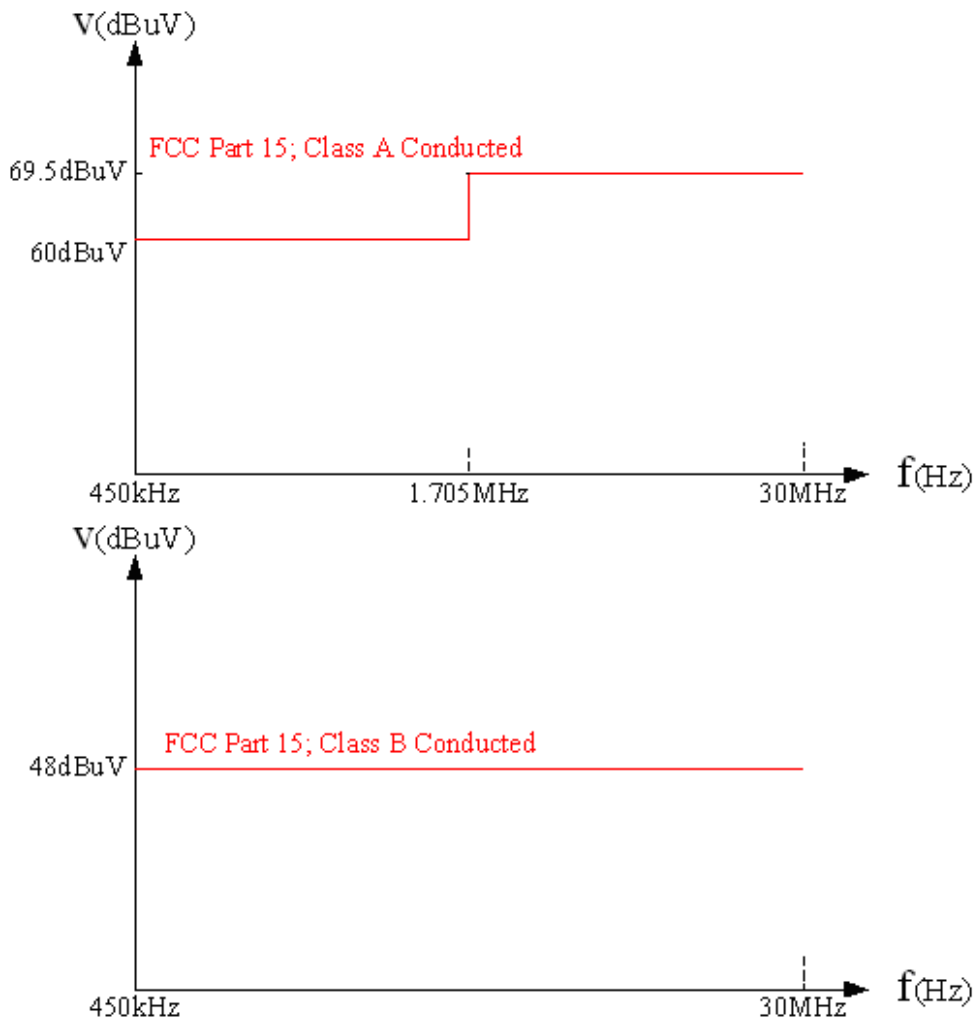
傳導性電磁干擾測試主要是針對較為低頻之電磁雜訊進行測量，在測試的過程中為了要保證供應電源的品質，必須在交流電源端配置電源阻抗穩定網路 (Line Impedance Stabilization Network, LISN)，其內部結構如圖一所示。LISN 將參雜在電源中的雜訊濾除掉，確保待測物(EUT)之測量結果不受影響，並提供一個穩定的 50 ohm 阻抗與 EMC 分析儀做為阻抗匹配。在測量的過程中也會加入暫態限制器，其功能是為了防止實驗中待測物或是人為的變動所產生的突波對 EMC 分析儀所造成的傷害，圖二為測試傳導性電磁干擾的架構圖。如圖二所示，一般在進行傳導性電磁干擾量測時，為了防堵電磁雜訊的洩露，通常會在待測物(EUT)與電源阻抗穩定網路(LISN)之間加入 EMI 電源濾波器以抑制電磁干擾的影響。本研究測試過程中加入一般市售之電源濾波器與自行製作的 EMI 電源濾波器進行量測傳導性電磁干擾。圖三為選用之美國標準測試規範 FCC Part 15。



圖一 電源穩定阻抗網路(LISN)內部結構

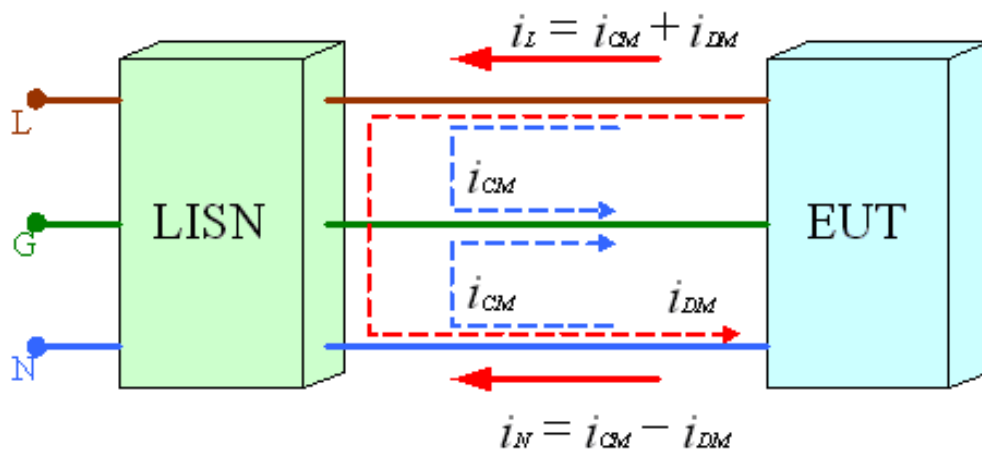


圖二 傳導性電磁干擾之測試架構



圖三 FCC Part 15 傳導性電磁干擾量測限制標準圖

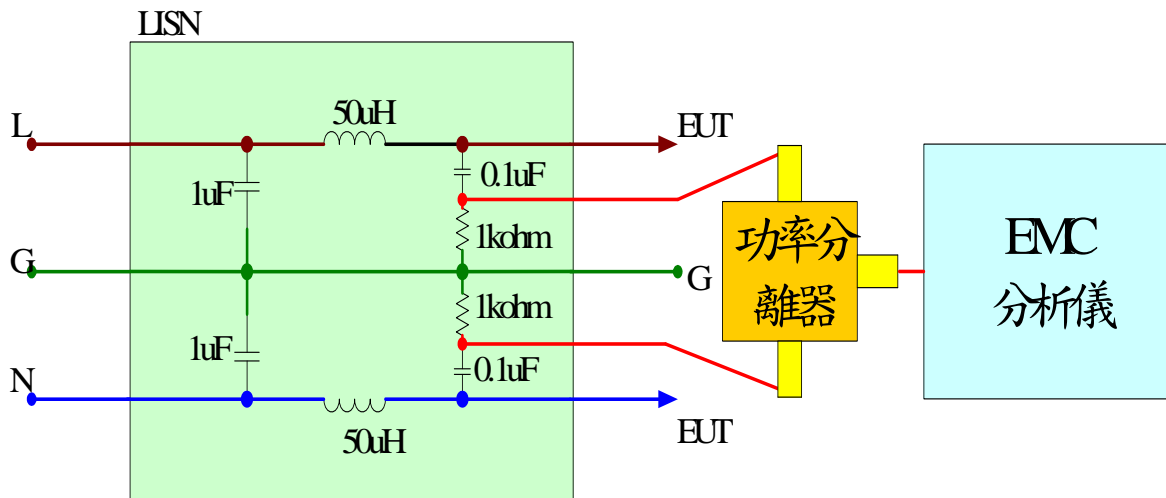
傳導性電磁干擾主要是透過電纜等導線傳送其高頻雜訊，然而傳導性電磁雜訊又可分為共模雜訊(common mode)與差模雜訊(different mode)，其中共模雜訊為 Line 與 Neutral 兩條電源線對地的雜訊，且它們的電流方向是相同的。差模雜訊則是 Line 與 Neutral 兩條電源線的雜訊其電流方向是相反的，圖四為共模雜訊電流與差模雜訊電流的關係圖。為簡化 EMI 濾波器的設計，在設計濾波器時針對共模雜訊來設計濾波器。利用 0 度功率分離器將待測設備交換式電源供應器之總雜訊中的共模雜訊分離出來，功率分離器之實體圖與測試接線圖分別如圖五與圖六所示。



圖四 共模雜訊電流與差模雜訊電流關係圖



圖五 功率分離器



圖六 功率分離器接線圖

EMI 電源濾波器為經常被應用於傳導性電磁干擾量測之抑制元件，它能夠針對設備雜訊有效的降低干擾影響。一般 EMI 電源濾波器之內部結構包含共模電感  $L_c$ 、差模電感  $L_d$ 、X 電容  $C_x$ 、Y 電容  $C_y$ ，其中共模電感是將兩組線圈以同方向及相同的匝數繞在同一個鐵心上，這種作法能夠將差模雜訊電流所產生的磁場互相抵消，而對共模雜訊電流所產生的磁場卻有相加的作用。共模電感對共模雜訊電流有電感的作用，並與 Y 電容搭配組成共模濾波器，而 Y 電容通常都使用高壓陶瓷電容範圍值約在 1000pF 到 4700pF 之間。差模電感則是各別繞在獨立的鐵心上，並分別配置在 Line 與 Neutral 兩條電源線上，且與 X 電容搭配組成差模濾波器。X 電容主要是跨接在兩條電源線上，故對於電容的絕緣性、阻抗值等都需特別注意，所以一般都以金屬皮薄膜電容代替。EMI 電源濾波器之電路架構如圖七所示，由於共模電感  $L_c$  繞在同一個鐵心上，因此  $L_d$  由漏電感貢獻，設計 EMI 電源濾波器時，忽略圖七之差模電感  $L_d$ 。在設計交換式電源供應器之 EMI 電源濾波器時，針對共模雜訊設計所需的濾波器，透過功率分離器可將共模雜訊從待測物的總雜訊分離出來，並將此雜訊描繪出雜訊衰減曲線，由曲線圖中便可觀察出共模雜訊衰減量，並計算濾波器之轉折頻率，圖八即為共模雜訊衰減量與轉折頻率  $f_r$  的關係圖。由圖八可知當共模衰減曲線與 40dB 的斜線交會於一點時，此時 40dB 的斜線和橫軸相交的頻率就是濾波器之

轉折頻率  $f_r$ 。在圖中 40dB 斜線之用意乃是因為本研究所設計的 EMI 電源濾波器之共模濾波器屬於二階濾波器，故以 40dB 的斜線推算出轉折頻率  $f_r$ 。本研究在設計 EMI 電源濾波器時，在原衰減曲線中加入 6dB 的衰減量，以避免因相位角度的問題，即使加入濾波器時仍然不能將雜訊有效的降低，其計算公式如下式：

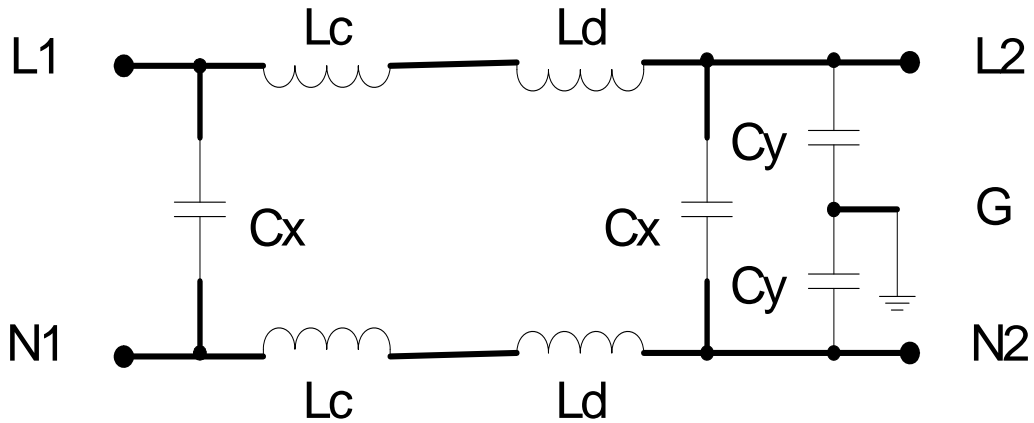
$$(V_{att,cm})_{dB} = (V_{act,cm})_{dB} - (V_{limits})_{dB} + 6dB \quad (1)$$

將原雜訊減去限制值後加入 6dB 可得到本研究之共模雜訊衰減量曲線的數值，依據此衰減量曲線求得轉折頻率，並透過(2)式計算出濾波器所需之電感電容值：

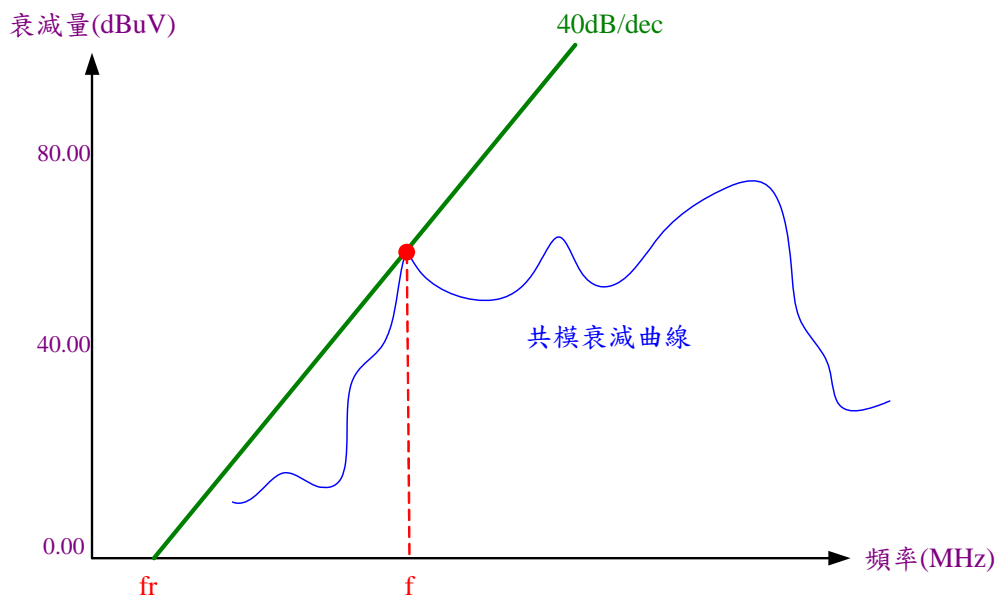
$$f_{r,cm} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{cm}C_{cm}}} \quad (2)$$

$$\text{其中 } L_{cm} = L_c + \frac{L_d}{2} \approx L_c, \quad C_{cm} = 2C_y$$

改變不同的  $C_y$  值，並透過(2)式可設計共模電感  $L_c$  值。

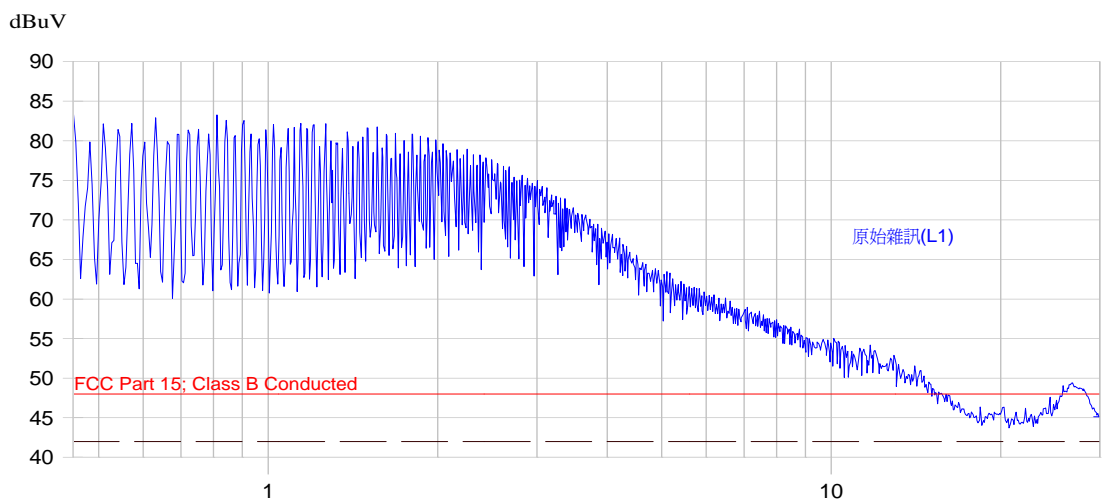


圖七 EMI 電源濾波器之電路架構



圖八 共模雜訊衰減量與轉折頻率  $f_r$  的關係圖

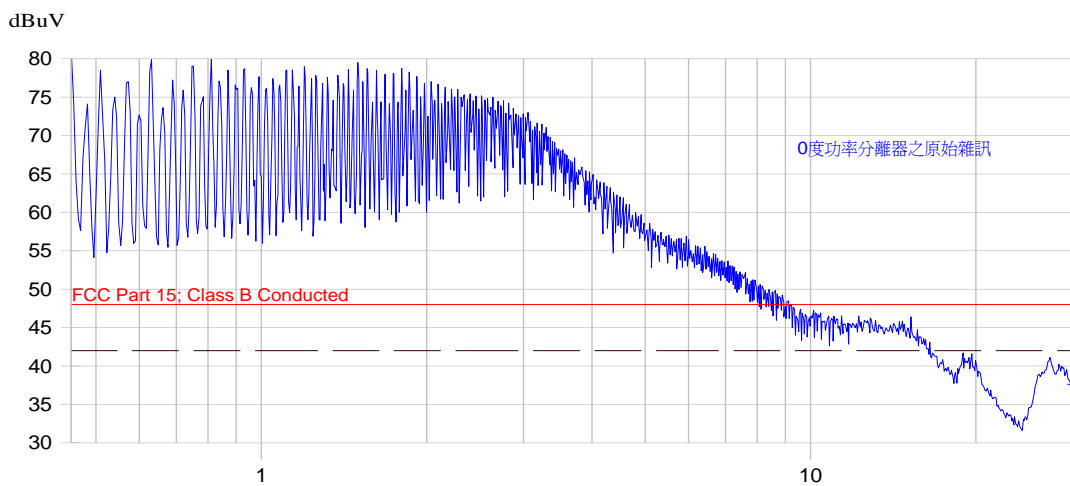
本研究將實際測量個人電腦常用之交換式電源供應器之傳導性電磁雜訊，圖九為測量交換式電源供應器傳導性電磁干擾之結果。圖十為市售電源濾波器之電路架構，濾波器的元件值如表一所示。圖十一為在交換式電源供應器的電源端加入不同市售電源濾波器後的抑制效果。由圖九的測量結果可知交換式電源供應器的傳導性電磁雜訊並不能符合法規的限制規範，由圖十一的測量結果得知透過一般市售電源濾波器雖然將雜訊衰減下來，但是尚未完全符合法規的要求。所以本研究將設計 EMI 電源濾波器以降低交換式電源供應器的傳導性電磁雜訊。經過功率分離器將共模雜訊分離出來後，再計算出共模的雜訊衰減量、轉折頻率，進而得到 EMI 電源濾波器的元件值。本研究以切換式電源供應器為待測物，設計 EMI 濾波器來降低傳導性電磁干擾，本研究設計之 EMI 濾波器，將能有效的降低交換式電源供應器之電磁雜訊，並達到符合 FCC Part 15; Class B Conducted 的規範。



2005/10/5 下午 06:58:16

(Start = 0.45, Stop = 30.00) MHz

(a) 交換式電源供應器的傳導性原始雜訊

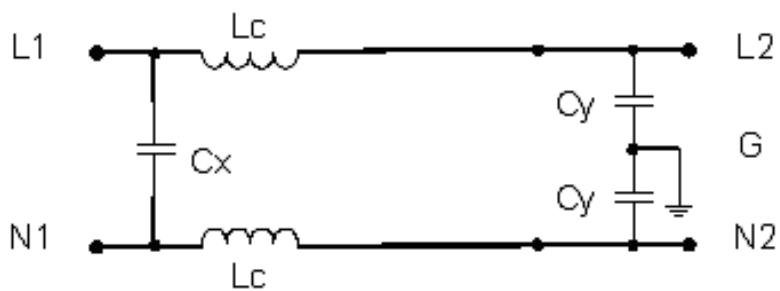


2006/1/6 上午 11:43:28

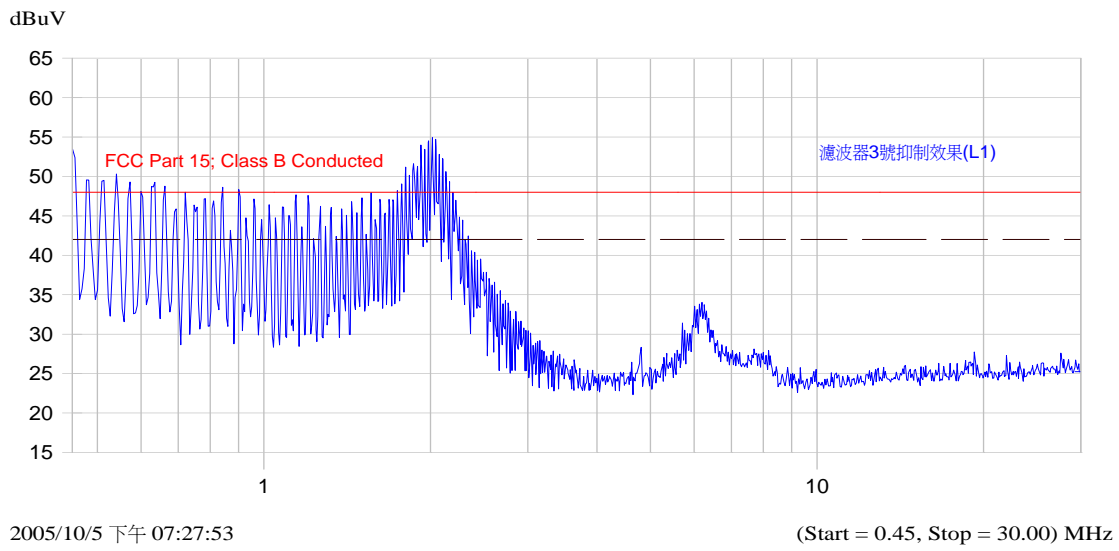
(Start = 0.45, Stop = 30.00) MHz

(b) 交換式電源供應器的傳導性共模雜訊

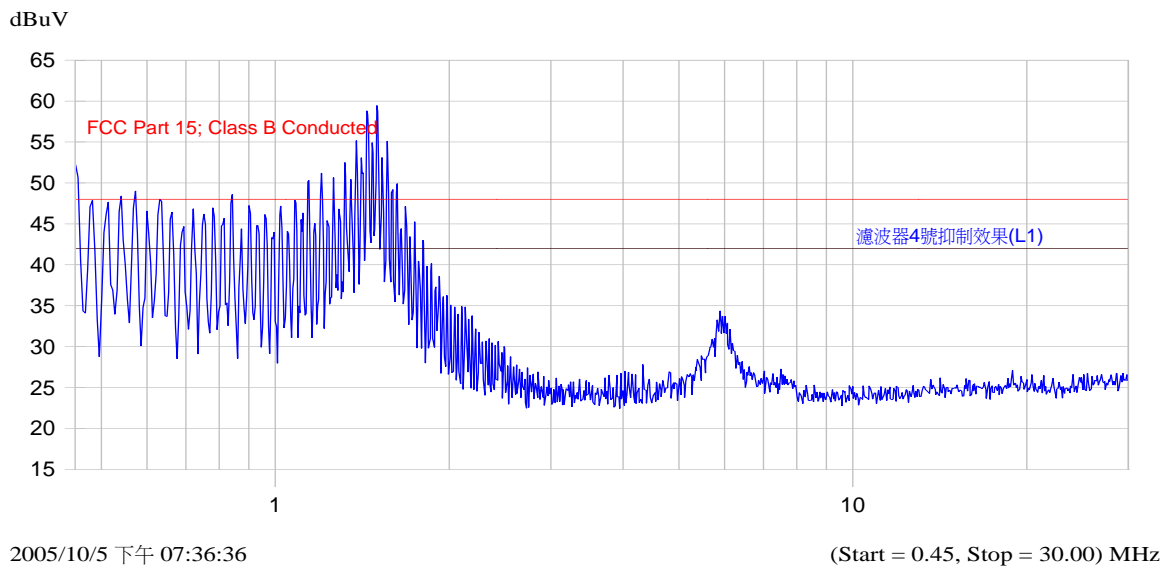
圖九 交換式電源供應器的傳導性電磁干擾量測結果



圖十 市售 EMI 電源濾波器之電路架構

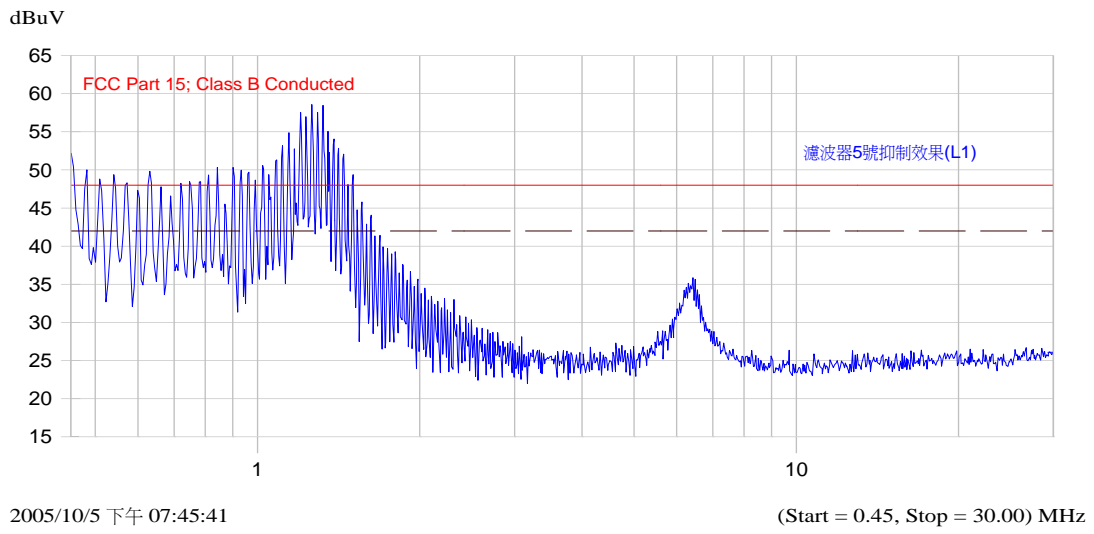


(a) C組市售濾波器抑制效果



(b) D組市售濾波器抑制效果





(c) E組市售濾波器抑制效果

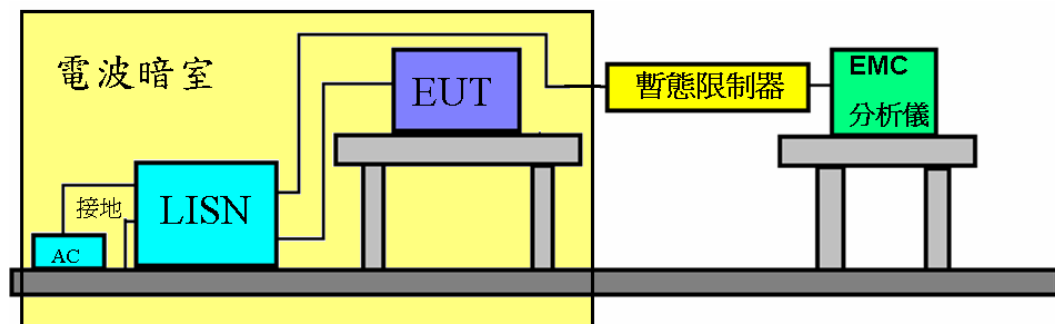
圖十一 市售濾波器抑制效果

表一 市售電源濾波器元件值

	$L_c$	$C_y$	$C_x$
C 組	0.8mH	2200pF	0.1uF
D 組	1.8mH	3300pF	0.1uF
E 組	4mH	2200pF	0.1uF

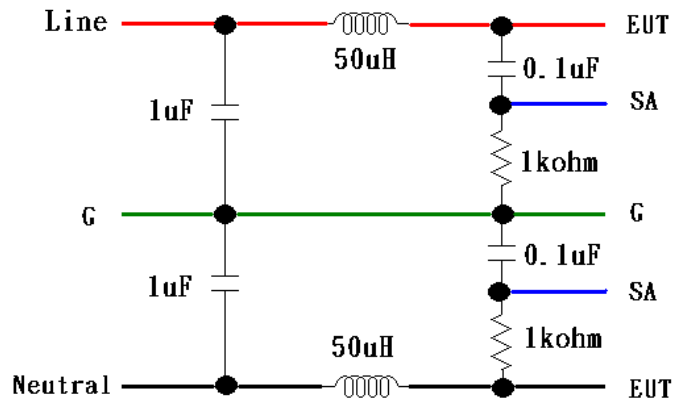
#### 四、結果與討論

傳導性的電磁干擾主要的測試範圍在 30MHz 以下，屬於頻段較低的電磁干擾。測量傳導性電磁干擾必須要用傳導性的測試架構測量，圖十二為測量傳導性電磁干擾時的測試架構圖。進行傳導性電磁干擾的實驗設備有電源阻抗穩定網路(Line Impedance Stabilization Network, LISN)、暫態限制器，EMC 頻譜分析儀等。其中暫態限制器置於電源阻抗穩定網路與 EMC 頻譜分析儀之中，在量測過程中透過暫態限制器可避免待測物在切換電源開關的瞬間所產生的突波對 EMC 頻譜分析儀造成傷害，其內部結構含有衰減器、高通濾波器與限制器。待測物為交換式電源供應器。



圖十二 傳導性電磁干擾之測試架構

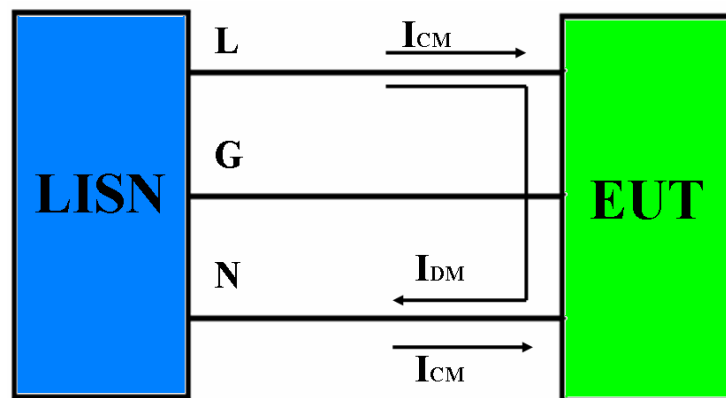
因傳導性電磁干擾是利用傳輸導線或電纜等路徑將雜訊傳遞並進而影響到其他正在使用中之電器設備，所以在量測傳導性電磁干擾時，必須將市電本身的雜訊過濾，以避免在量測傳導性電磁干擾時摻有市電雜訊造成待測物量測的誤差。因此必須在量測傳導性電磁干擾的架構中，裝置電源阻抗穩定網路，將市電雜訊隔離，使進入待測物(EUT)之電源為一乾淨的電源，並提供  $50\ \Omega$  的阻抗與 EMC 分析儀達到阻抗匹配的功效。圖十三為電源阻抗穩定網路的內部線路結構。



圖十三 電源阻抗穩定網路內部線路結構

一般典型的電源阻抗穩定網路的內部結構含有四個電容兩個電感以及兩個電阻，當進入電源阻抗穩定網路的電源訊號為低頻訊號時，電感如同短路狀態，電容如同開路狀態，所以透過 50uH 的電感與 1uF 的電容所組成的濾波結構，可將市電電源的高頻訊號過濾，使低頻訊號通過。如果進入電源阻抗穩定網路的電源訊號為高頻訊號時，電感呈現開路，電容呈現短路，如此狀態可將待測物所產生的雜訊經由呈現短路狀態的 0.1uF 電容傳至 EMC 頻譜分析儀。電源阻抗穩定抗網路不僅能夠過濾市電中的高頻訊號，也能防範待測物的雜訊流入市電中。

傳導性電磁干擾可分為共模雜訊(common mode)和差模雜訊(different mode)。在電子電路中將信號分離成共模訊號與差模訊號，其中共模訊號一般由於外界電磁場在電纜中感應出來，或由於電纜兩端的設備所接的地電位不同所致，而差模訊號主要是由於電纜中不同信號線之間的電容耦合和電感耦合所致。圖十四為共模雜訊與差模雜訊關係圖。



圖十四 共模雜訊與差模雜訊關係圖

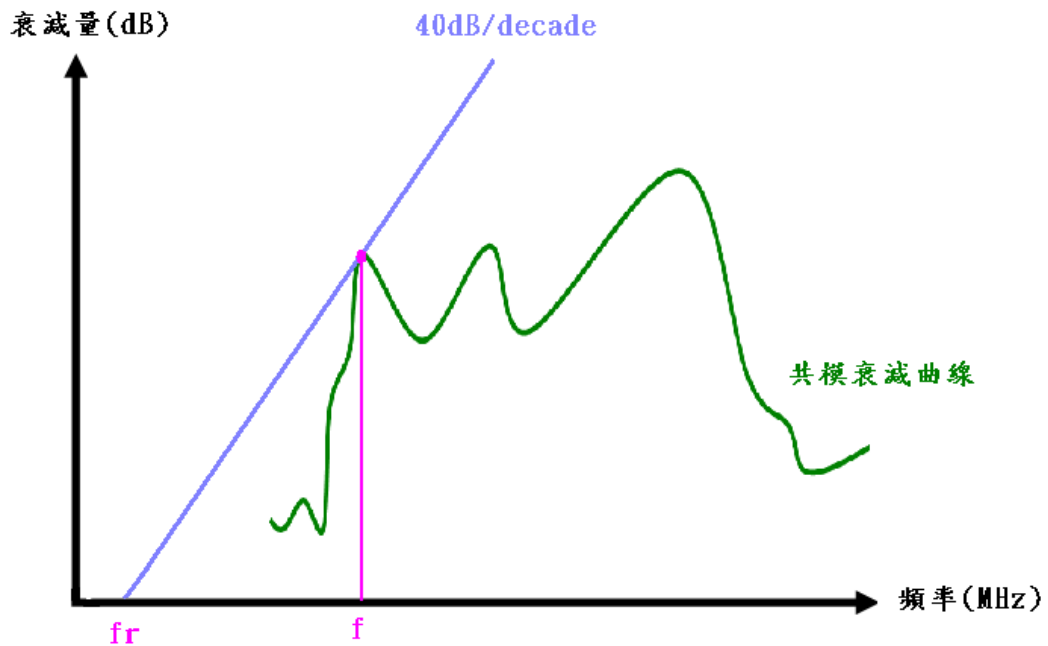
在設計濾波器時必須將共模雜訊與差模雜訊分離，再依照不同的雜訊分開設計。本研究分別使用 0 度(共模)功率分離器與 180 度(差模)功率分離器，將待測物的共模雜訊與差模雜訊分離再進行設計濾波器。

在設計 EMI 濾波器的首要步驟就是將訊號中的共模雜訊及差模雜訊分離，透過公式(3)(4)計算分離出來的衰減量，將原雜訊量扣除法規之限制值後再加 6dB，就能得到本研究設計 EMI 濾波器的雜訊衰減量，其中 6dB 為修正相位角度的修正係數。

$$(V_{\text{att-CM}})_{\text{dB}} = (V_{\text{CM}})_{\text{dB}} - (V_{\text{LIMIT}})_{\text{dB}} + 6\text{dB} \quad (3)$$

$$(V_{\text{att-DM}})_{\text{dB}} = (V_{\text{DM}})_{\text{dB}} - (V_{\text{LIMIT}})_{\text{dB}} + 6\text{dB} \quad (4)$$

計算出設計 EMI 濾波器之雜訊衰減量後，利用其雜訊衰減量求出轉折頻率  $f_r$ 。將之前所求出的共模衰減量以及差模衰減量各描繪出其衰減曲線。本研究所設計的濾波器為二階濾波器，以一條 40dB 的斜線與共模衰減曲線或差模衰減曲線相交，在相交的那一點所有共模與差模的衰減曲線皆在 40dB 斜線之下方，此時 40dB 斜線與頻率之橫軸相交那一點即為轉折頻率，圖十五為共模雜訊衰減曲線與轉折頻率關係圖。

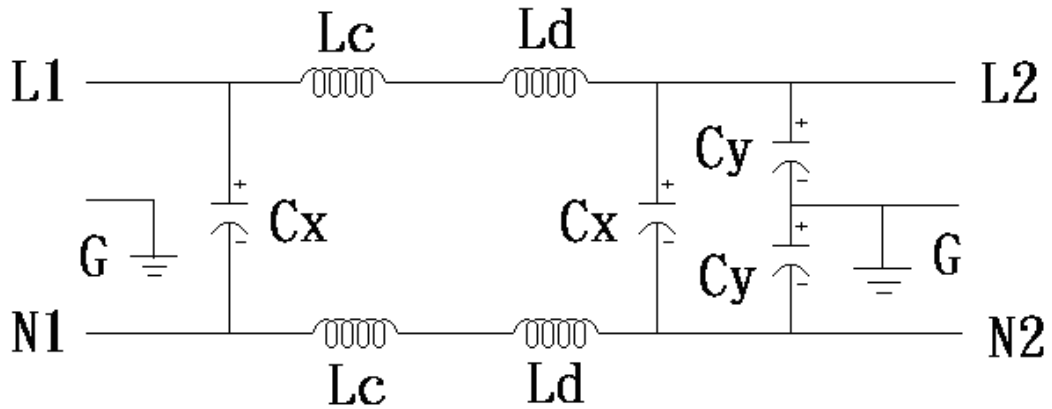


圖十五 共模雜訊衰減曲線與轉折頻率關係圖

典型的 EMI 濾波器內部結構包含有共模電感  $L_c$ 、差模電感  $L_d$ 、X 電容  $C_x$  與 Y 電容  $C_y$ 。圖十六為一般 EMI 濾波器之電路架構，再依照共模衰減量利用 Excel 求轉折頻率，並透過公式(5)計算濾波器中搭配的電容電感值。

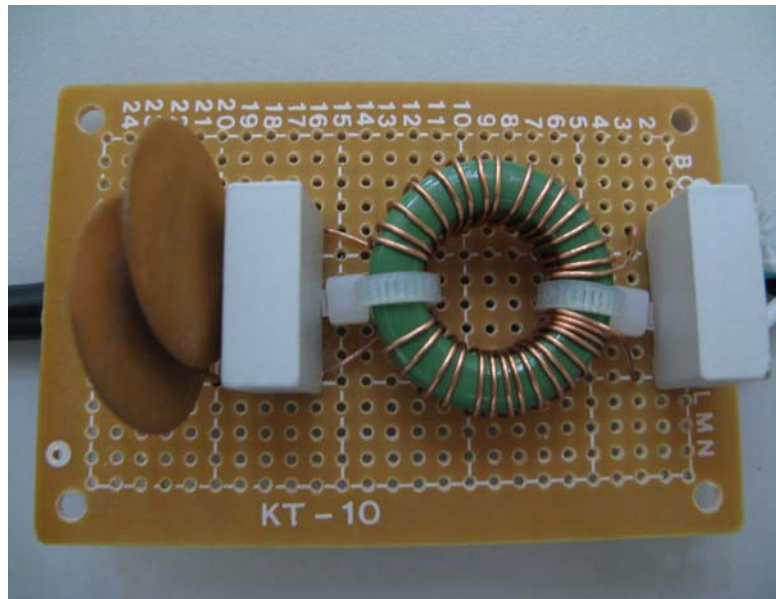
$$f_{r-CM} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{CM}C_{CM}}} \quad (5)$$

其中 
$$L_{CM} = L_C + \frac{L_d}{2} \approx L_C, C_{CM} = 2C_y$$



圖十六 EMI 濾波器之電路架構

運用以上敘述之方法設計出五組 EMI 電源濾波器，為了減少元件的數量，所以本研究利用共模電感本身之漏電感  $L_{leakage}$  取代差模電感，配合 0.1 $\mu$ F 的 X 電容，即構成本研究所設計的 EMI 濾波器。表二為 EMI 濾波器所搭配的電容電感值，圖十七為設計之 EMI 濾波器實體圖。

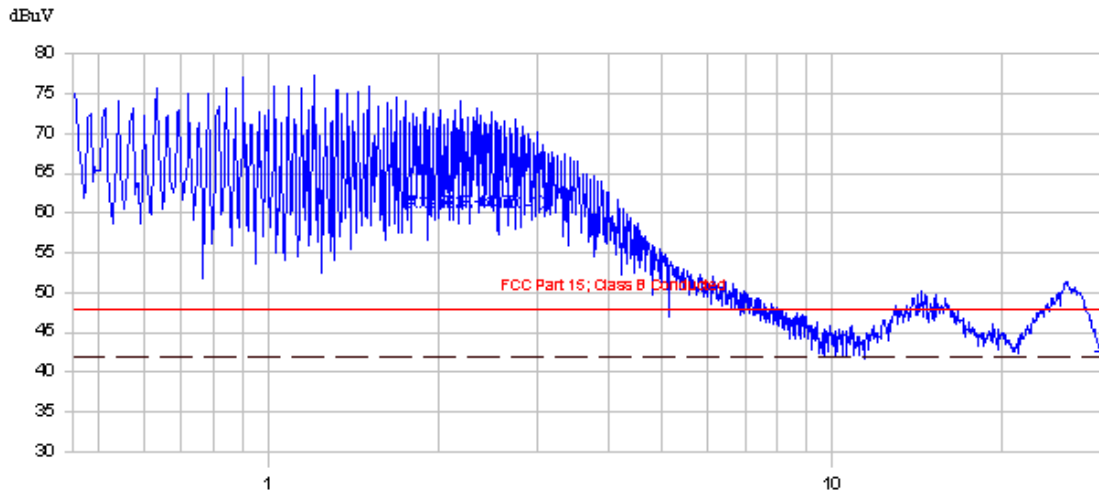


圖十七 本研究設計 EMI 濾波器實體圖

表二 本研究設計之 EMI 濾波器元件搭配值

	Lc	Cy	Cx
第一組	0.619mH	0.01 uF	0.1uF
第二組	0.2813 mH	0.022 uF	0.1 uF
第三組	0.1875 mH	0.033 uF	0.1 uF
第四組	0.1317 mH	0.047 uF	0.1 uF
第五組	0.0619 mH	0.1 uF	0.1 uF

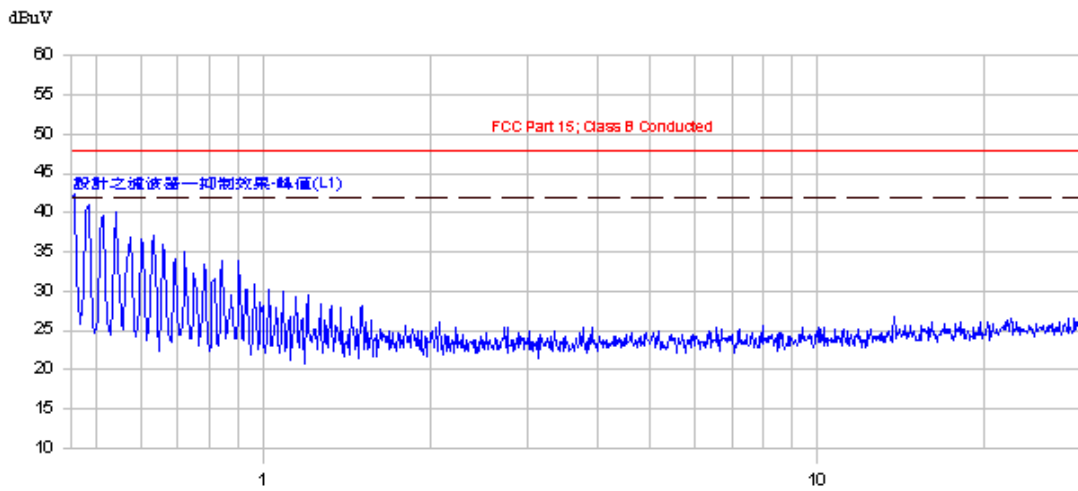
在待測物前加入設計之 EMI 濾波器並作傳導性電磁干擾測試，測量結果如圖十八所示，由此圖可發現適當地選擇電容電感值，即可以將傳導性電磁干擾降低到符合法規的規範。



2008/5/11 上午 02:34:18

(Start = 0.45, Stop = 30.00) MHz

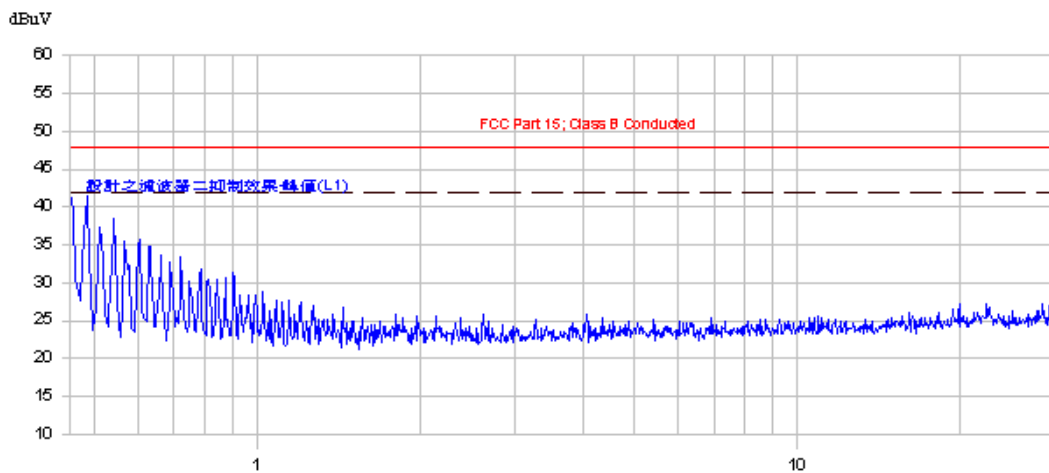
(a) 未加濾波器之交換式電源供應器 CE 測試



2008/5/11 上午 02:39:44

(Start = 0.45, Stop = 30.00) MHz

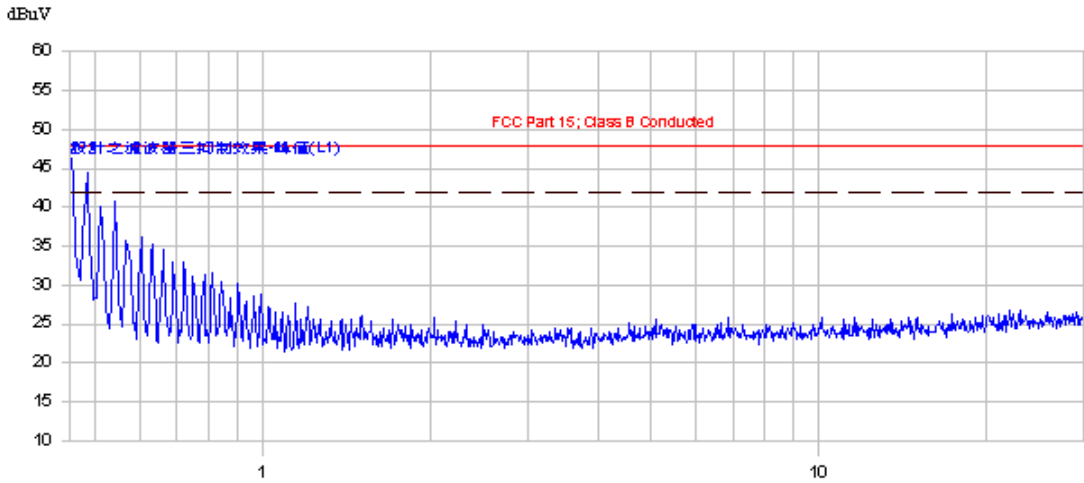
(b) 加入第一組濾波器之 CE 測試



2008/5/11 上午 02:45:10

(Start = 0.45, Stop = 30.00) MHz

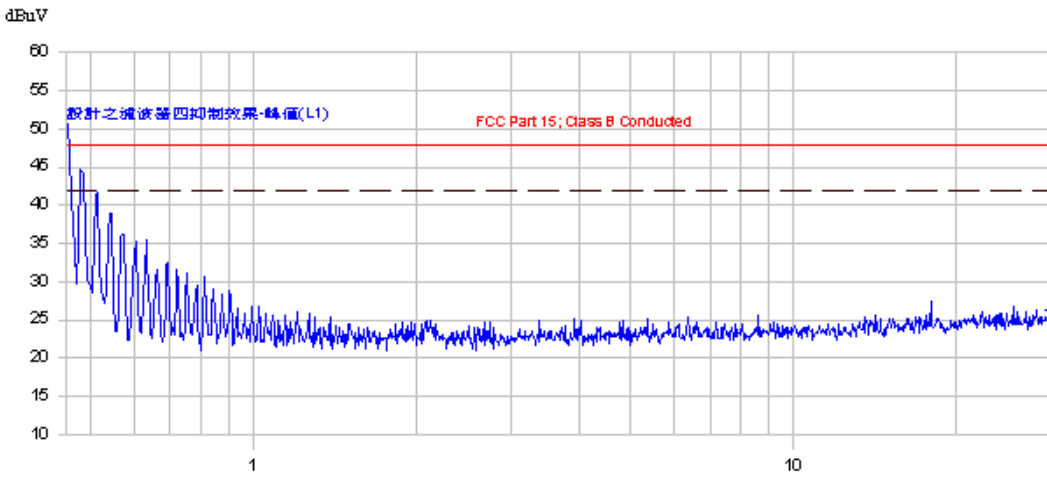
(c) 加入第二組濾波器之 CE 測試



2008/5/11 上午 02:50:10

(Start = 0.45, Stop = 30.00) MHz

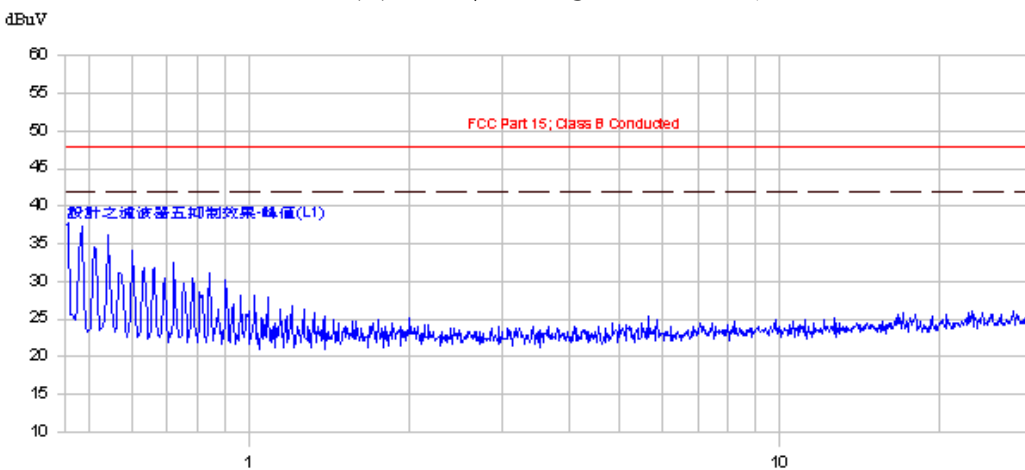
(d)加入第三組濾波器之 CE 測試



2008/5/11 上午 02:55:04

(Start = 0.45, Stop = 30.00) MHz

(e)加入第四組濾波器之 CE 測試



2008/5/11 上午 02:59:53

(Start = 0.45, Stop = 30.00) MHz

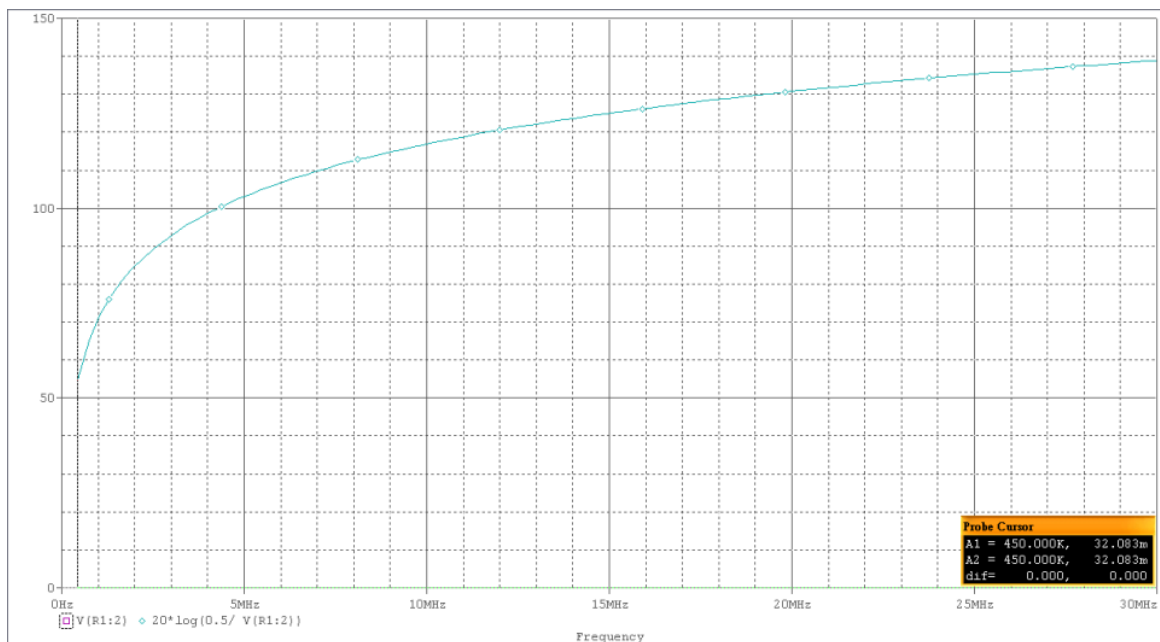
(f)加入第五組濾波器之 CE 測試

圖十八 交換式電源供應器之 CE 實測結果

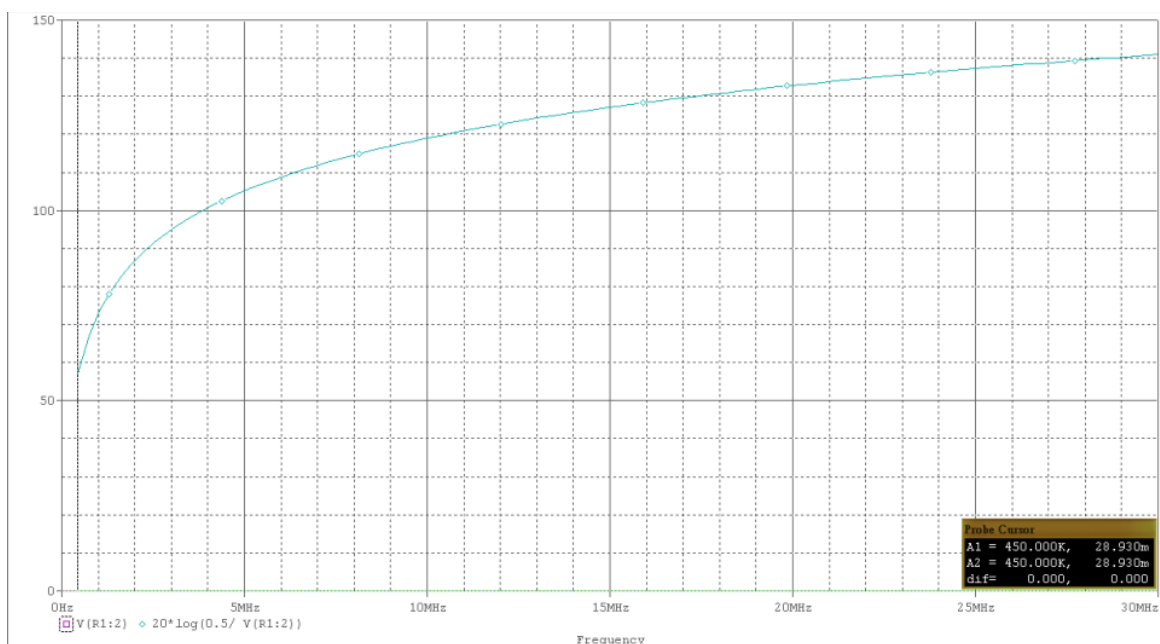
本研究可利用Pspice電路模擬軟體模擬計算EMI電源濾波器的插入損失，



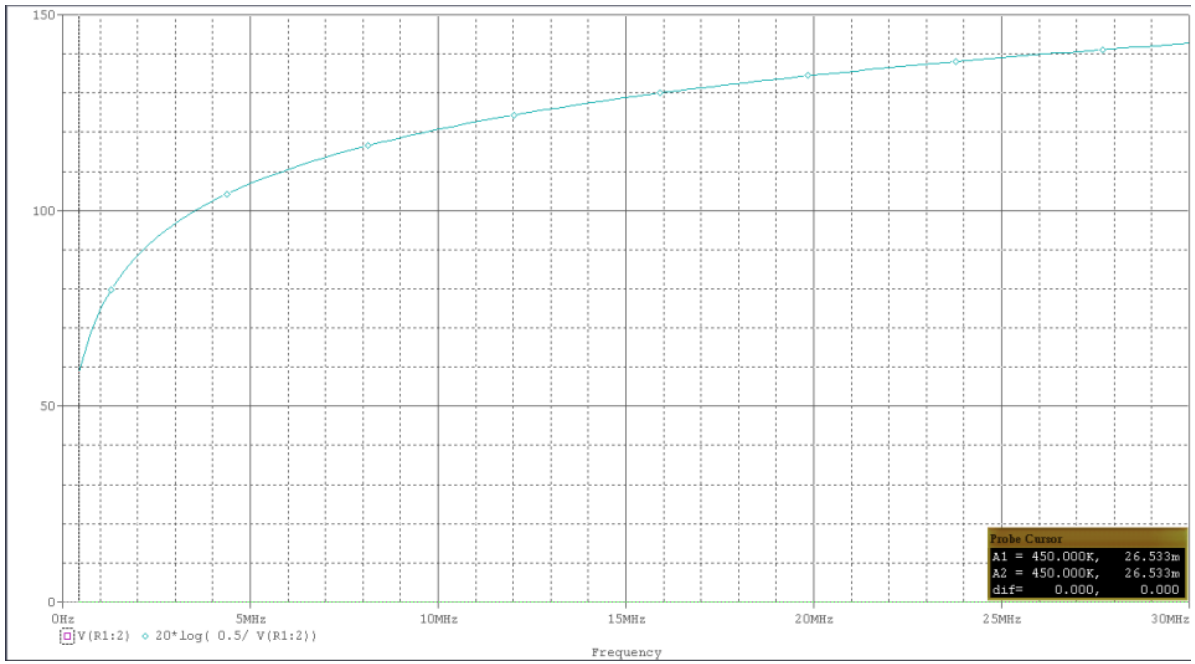
透過電路的模擬結果可先行預測出濾波器之衰減量的多寡。模擬結果如圖十九所示。透過五個電路模擬結果我們可觀察出當提升濾波器之共模電容元件值時，其濾波器之衰減效果越強。如模擬圖中圓圈的部份可發現到從第一組濾波器到第五組濾波器的dB值有逐漸上升的趨勢，所以我們可以預測出第五組濾波器之衰減能力更優於前四組濾波器。



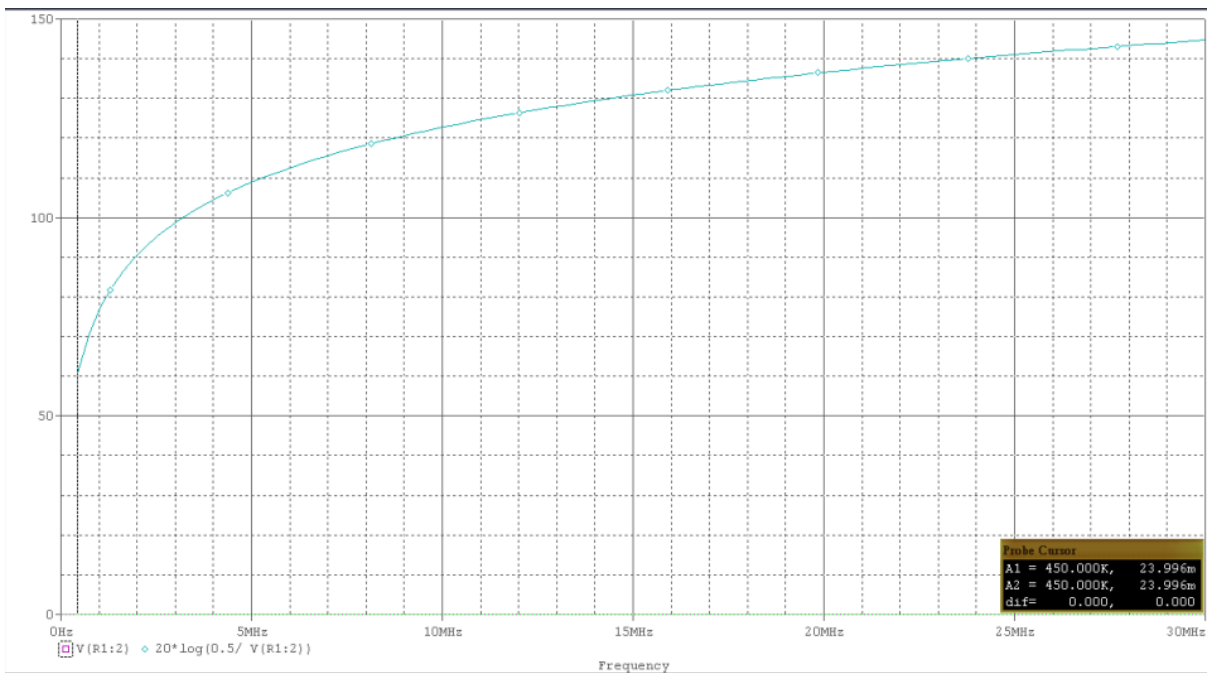
(a)第一組濾波器共模等效電路插入損失



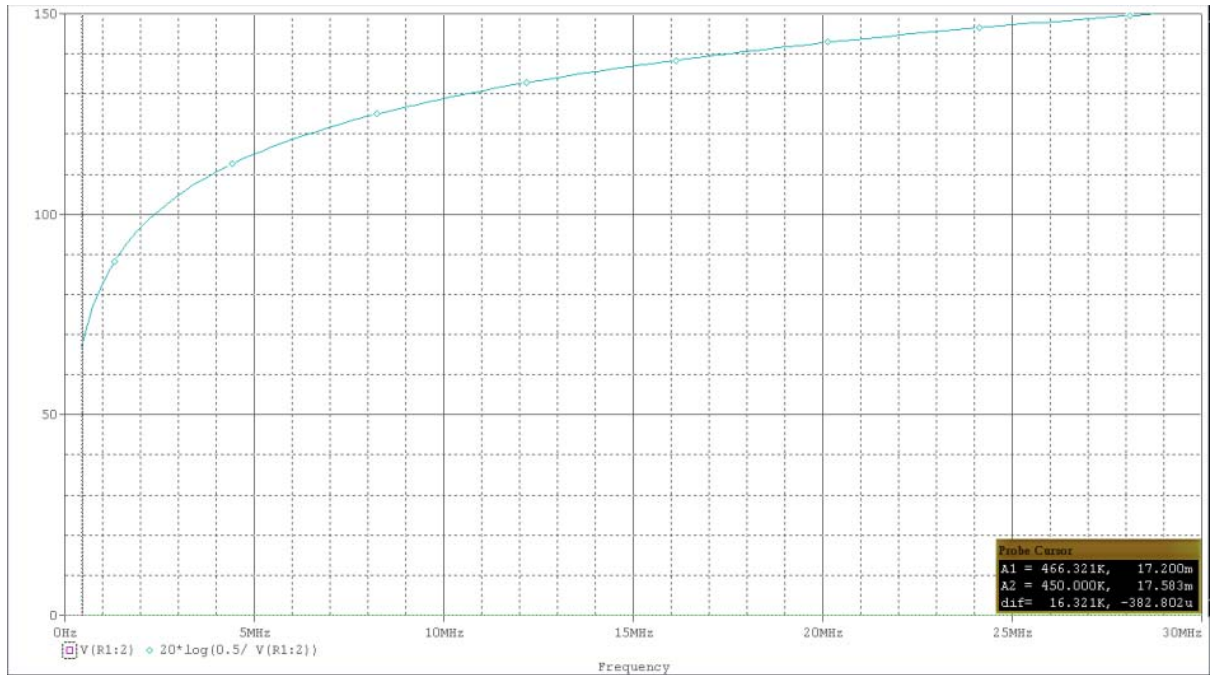
(b)第二組濾波器共模等效電路插入損失



(c) 第三組濾波器共模等效電路插入損失



(d) 第四組濾波器共模等效電路插入損失



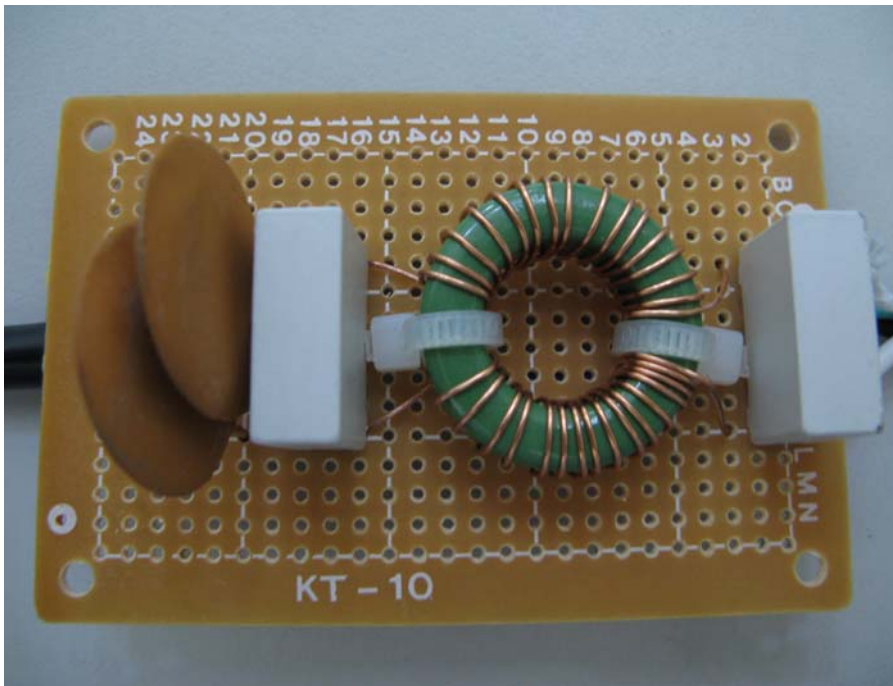
(e)第五組濾波器共模等效電路插入損失

圖十九 本研究設計五組EMI電源濾波器之共模雜訊衰減量模擬圖。

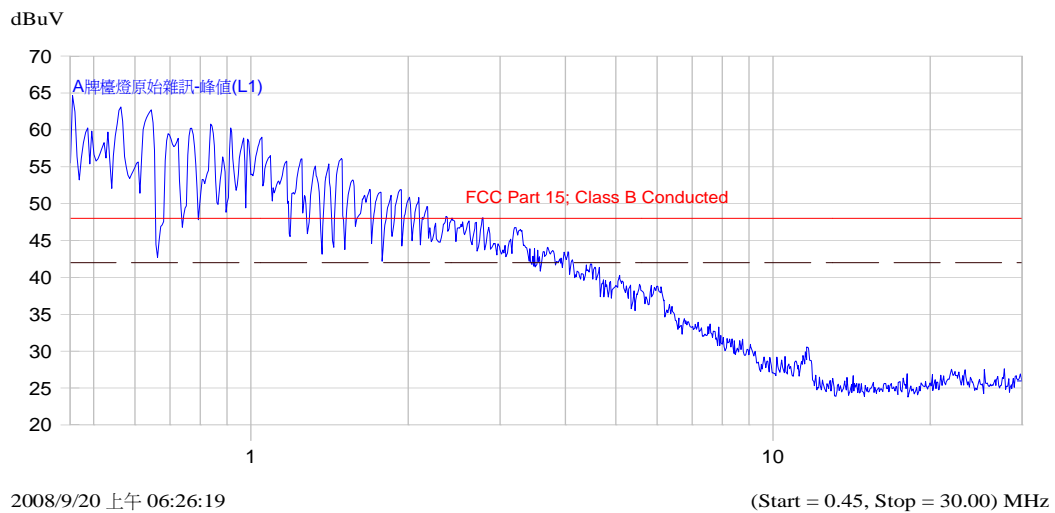
利用本研究的設計方法亦可用來改善檯燈之傳導性電磁干擾。以某牌檯燈為待測物，設計EMI濾波器，待測物在FCC Part 15 Class B Conducted美國法規規範測試下，最高超過法規17dB，適當地透過設計EMI濾波器，能有效的改善傳導性電磁干擾。本研究設計出三組EMI電源濾波器，為了減少元件的數量，所以本研究利用共模電感本身之漏電感取代差模電感，配合0.1uF的X電容，即構成本研究所設計的EMI濾波器。表三為EMI濾波器所搭配的電容電感值，圖二十為設計實體圖。在待測物前加入設計之EMI濾波器並作傳導性電磁干擾測試，測量結果如圖二十一所示，由此圖可發現適當地選擇電容電感值，即可以將傳導性電磁干擾降低到符合法規的規範。

表三 EMI 濾波器元件搭配值

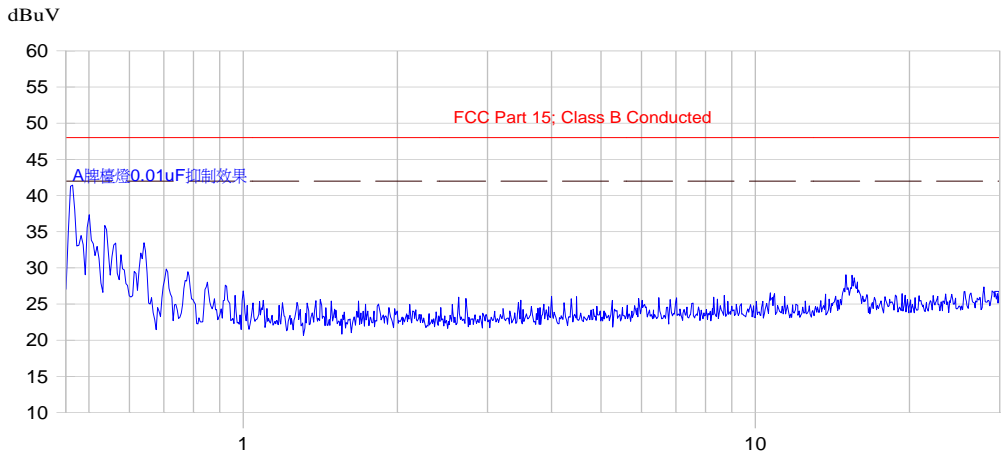
	Lc	Cy	Cx
第一組	0.05453 mH	0.01 uF	0.1uF
第二組	0.5453 mH	1000 pF	0.1 uF
第三組	2.4788 mH	220 pF	0.1 uF



圖二十 本研究設計之檯燈 EMI 濾波器實體圖



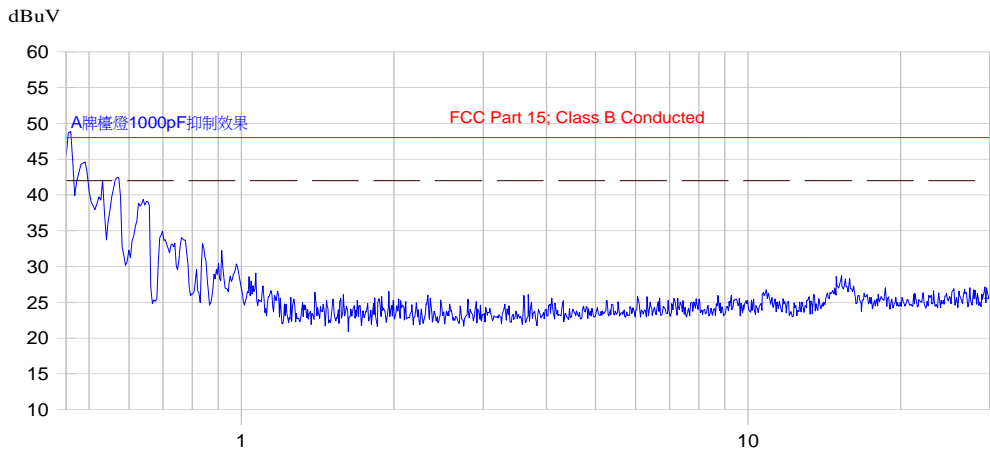
(a) 未加濾波器之檯燈 CE 測試



2008/10/5 上午 05:03:44

(Start = 0.45, Stop = 30.00) MHz

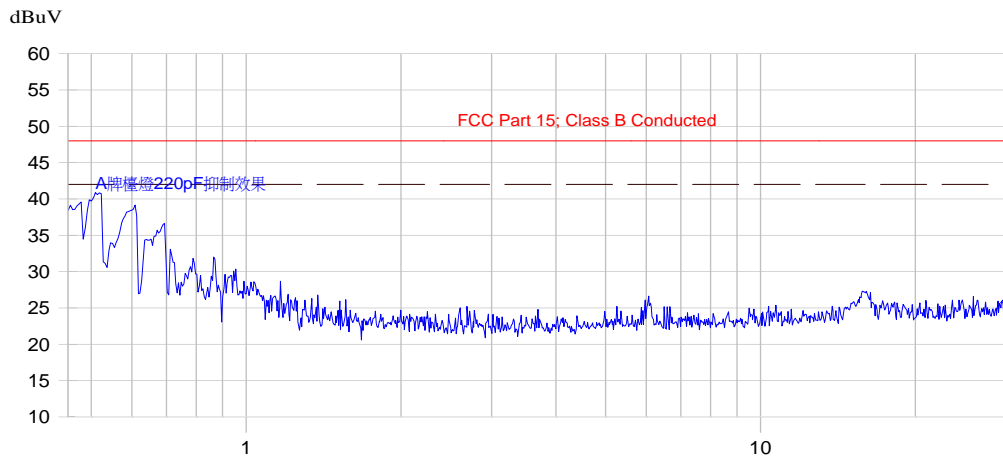
(b)加入第一組濾波器之 CE 測試



2008/10/5 上午 04:52:12

(Start = 0.45, Stop = 30.00) MHz

(c)加入第二組濾波器之 CE 測試



2008/10/5 上午 05:51:39

(Start = 0.45, Stop = 30.00) MHz

(d)加入第三組濾波器之 CE 測試

圖二十一 檯燈之 CE 實測結果

## 五、結論

透過一般市售電源濾波器雖然將雜訊衰減下來，但是並未完全符合法規的要求。利用本研究方法，適當地選擇電容與電感值，可製作出 EMI 濾波器並能有效的達到降低交換式電源供應器的傳導性電磁干擾，且符合法規 FCC Part 15 Class B Conducted 之標準。當交換式電源供應器的傳導性電磁干擾遠超過法規的限制，使用者可根據成本及尺寸上的考量選擇不同之電容與電感搭配來製作 EMI 濾波器。本研究方法亦可用來解決檯燈的傳導性電磁干擾，當檯燈的傳導性電磁干擾遠超過法規的限制，使用者可選擇適當之電容與電感搭配來製作 EMI 濾波器。本研究適當地選擇電容與電感值可製作出 EMI 濾波器並能有效的達到降低檯燈的傳導性電磁干擾，且符合法規 FCC Part 15 Class B Conducted 之標準。

## 六、參考文獻

1. 姚啟元, (2005), <<EMC電磁相容測試與對策技術>>, (全華).
2. Agilent Technologies, “E7400A EMC 分析儀先期認證測試指南”.
3. 47 CFR FCC Part15, (2003) “RADIO FREQUENCY DEVICES-Subpart B-Unintentional Radiators”.
4. Clayton R. Paul, (1992), “Introduction to Electromagnetic Compatibility,”John Wiley & Sons, Inc..
5. Handy Ali Munir, Mohd Zarar Mohd Jenu and Mohamad Faiz Liew Abdullah, (2002), “Analysis And Design Of EMI Filters To Mitigate Conducted Emissions,”Syudent Conference on Research and Development Proceedings, Shah Alam, Malaysia.
6. F.Y. Shih, D. Y. Chen, Y. P.Wu, and Y. T. Chen, (1996), “A Procedure for Designing EMI Filters for AC Line Applications,”IEEE Trans. Power Electronics, vol. 11, No. 1 Jan. , pp.170-181.
7. Fu-Yuan Shih; Chen, D.Y.; Yan-Pei Wu; Yie-Tone Chen, ( 1996),”\_A procedure for designing EMI filters for AC line applications”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, pp.170-181.
8. Hung-I Hsieh, Dan Chen, Song Qu, (2004), “A Filter Design Procedure Incorporating Mixed-Mode EMI Noise for Off-Line Switching Power Supplies,” Power Electronics and Motion Control Conference, Conference Proceedings. IPEMC 2004, pp.1527-1532.
9. Chihchiang Hua, Chinming Shen, and Gengshing Peng, (1996), “Design of an Input Filter to Suppress Conducted EMI of a Single Phase *UPS* Inverter,”IEEE.

附錄

(一)計畫成果自評

明新科技大學 97 年度 研究計畫執行成果自評表

計畫類別： <input type="checkbox"/> 任務導向計畫 <input type="checkbox"/> 整合型計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 個人計畫 所屬院(部)： <input checked="" type="checkbox"/> 工學院 <input type="checkbox"/> 管理學院 <input type="checkbox"/> 服務學院 <input type="checkbox"/> 通識教育部 執行系別：電機系 (中心) 計畫主持人：盧裕溢 職稱：副教授 計畫名稱：交換式電源供應器之傳導性電磁干擾分析與防制 計畫編號：MUST-97 電機-01 計畫執行時間：97年3月1日至 97年9月30日	
計畫執行成效	教學方面 1. 對於改進教學成果方面之具體成效： <u>計畫執行成果可作為 EMI 濾波器教學範例</u> 2. 對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效： <u>已指導一名研究生從事 EMI 濾波器設計並發表論文</u> 3. 其他方面之具體成效： <u>帶領學生於研討會發表論文，拓展視野，增廣見聞。</u>
	學術研究方面 1. 該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <u>計畫名稱：交換式電源供應器之傳導性電磁干擾分析與防制</u> 2. 該計畫是否有產生論文並發表 <input checked="" type="checkbox"/> 已發表 <input type="checkbox"/> 預定投稿/審查中 <input type="checkbox"/> 否 發表期刊(研討會)名稱： <u>CSTRWC2008</u> 發表期刊(研討會)日期： <u>97年8月28日</u> 3. 該計畫是否有衍生產學合作案、專利、技術移轉等，請說明： <u>安德生實業有限公司產學合作案，交換式電源供應器之傳導性電磁干擾分析與防制，計畫金額3萬元</u>
成果自評	計畫預期目標：設計、分析與改良 EMI 濾波器電路，交換式電源供應器 CE 電磁干擾量測，加入 EMI 濾波器之交換式電源供應器 CE 電磁干擾改善與防制。 計畫執行結果：已設計 EMI 濾波器電路，並改善交換式電源供應器及檯燈之 CE 電磁干擾且符合法規 FCC Part 15 Class B Conducted 之標準。 <p style="text-align: right;">預期目標達成率：100 % (若不敷使用請另加附頁繕寫)</p>



其它具體成效：

本計畫本年度共發表研討會 2 篇相關論文，並衍生安德生實業有限公司產學合作案，交換式電源供應器之傳導性電磁干擾分析與防制，計畫金額 3 萬元。

(若不敷使用請另加附頁繕寫)

## (二) CSTRWC2008 發表全文

2008 海峽兩岸三地無線電科技研討會，台北亞東技術學院

### 切換式電源供應器傳導性電磁干擾之分析與抑制

盧裕溢，陳時聖，葉中雄

明新科技大學電機研究所

#### 摘要

目前市面上抑制傳導性電磁干擾的方法，以使用濾波器最為常見，而在濾波器的設計上大都以透過嘗試錯誤和設計者的經驗為主。本研究主要以切換式電源供應器作為待測物來設計 EMI 濾波器，待測物在 FCC Part 15 Class B Conducted 法規規範測試下，最高超過法規 28dB，適當地透過設計 EMI 濾波器，能有效的改善傳導性電磁干擾。本研究利用功率分離器將共模雜訊和差模雜訊從電磁雜訊中分離，再使用 Excel 算出最小轉折頻率，依此轉折頻率之數據設計出 EMI 濾波器。使用者可根據成本及尺寸上的考量選擇不同之電容與電感來製作 EMI 濾波器。本研究利用轉折頻率設計出幾組 EMI 濾波器，並可有效的降低傳導性電磁干擾，且符合法規 FCC Part 15 Class B Conducted 之規範。

關鍵詞：傳導性電磁干擾、EMI 濾波器。

#### 壹、前言

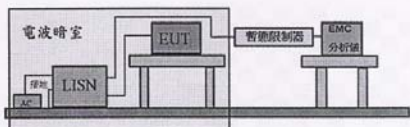
科技日新月異，多數電子電機相關科技產業皆以迅速的腳步發展，且朝向體積小、省電、功能整合、潔淨能源等方向邁進。在這些產品進步的同時，電磁干擾(Electromagnetic interference, EMI)問題開始浮現。現今電機電子相關產品，以低功率的方式驅動，但會造成產品容易受到內部或外在電磁雜訊的影響，使其輸出功能不正常，或是壽命因此減短。所以幾乎所有的電子電機產品在上市之前，都要通過電磁干擾的測試。電磁干擾分成傳導性的電磁干擾與輻射性的電磁干擾兩個部份，其中傳導性電磁干擾是透過導線或電纜等傳輸路徑傳遞干擾雜訊，因此如果在同一電

源網路中的某一電子電機產品含有傳導性電磁干擾，其他在此電源網路中的產品也會受到其影響。輻射性電磁干擾屬於頻率較高的電磁干擾，其方式是透過空氣將電磁干擾利用輻射的方式散佈出去，只要在其輻射範圍內的電子電機產品皆有可能會受其影響。

近年來各國逐漸重視電磁干擾的議題，許多國家紛紛訂定有關電磁相容測試之規定，目的是為了規範電子電機產品的電磁干擾，以避免影響或造成其他產品的損害。本研究以切換式電源供應器[1][2]為待測物，設計 EMI 濾波器來降低傳導性電磁干擾，並降低切換式電源供應器之電磁干擾，以符合法規 FCC Part 15 Class B Conducted 之規範。

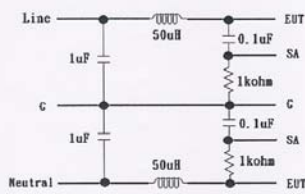
#### 貳、測試架構及原理

傳導性的電磁干擾主要的測試範圍在 30MHz 以下，屬於頻段較低的電磁干擾。測量傳導性電磁干擾必須要用傳導性的測試架構[3]測量，圖一為測量傳導性電磁干擾時的測試架構圖。進行傳導性電磁干擾的實驗設備有電源阻抗穩定網路(Line Impedance Stabilization Network, LISN)、暫態限制器，EMC 頻譜分析儀等。其中暫態限制器置於電源阻抗穩定網路與 EMC 頻譜分析儀之中，在量測過程中透過暫態限制器可避免待測物在切換電源開關的瞬間所產生的突波對 EMC 頻譜分析儀造成傷害，其內部結構含有衰減器、高通濾波器與限制器。



圖一 傳導性電磁干擾之測試架構

因傳導性電磁干擾是利用傳輸導線或電纜等路徑將雜訊傳遞並進而影響到其他正在使用中之電器設備，所以在量測傳導性電磁干擾時，必須將市電本身的雜訊過濾，以避免在量測傳導性電磁干擾時摻有市電雜訊造成待測物量測的誤差。因此必須在量測傳導性電磁干擾的架構中，裝置電源阻抗穩定網路，將市電雜訊隔離，使進入待測物(EUT)之電源為一乾淨的電源，並提供 50Ω 的阻抗與 EMC 分析儀達到阻抗匹配的功效。圖二為電源阻抗穩定網路的內部線路結構。

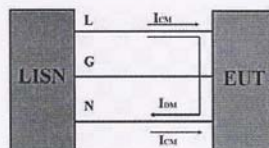


圖二 電源阻抗穩定網路內部線路結構

一般典型的電源阻抗穩定網路的內部結構含有四個電容兩個電感以及兩個電阻，當進入電源阻抗穩定網路的電源訊號為低頻訊號時，電感如同短路狀態，電容如同開路狀態，所以透過 50uH 的電感與 1uF 的電容所組成的濾波結構，可將市電電源的高頻訊號過濾，使低頻訊號通過。如果進入電源阻抗穩定網路的電源訊號為高頻訊號時，電感呈現開路，電容呈現短路，如此狀態可將待測物所產生的雜訊經由呈現短路狀態的 0.1uF 電容傳至 EMC 頻譜分析儀。電源阻抗穩定抗網路不僅能夠過濾市電中的高頻訊號，也能防範待測物的雜訊流入市電中。

傳導性電磁干擾可分為共模雜訊(common mode)和差模雜訊(different mode)[4]。在電子電路中將信號分

離成共模訊號與差模訊號，其中共模訊號一般由於外界電磁場在電纜中感應出來，或由於電纜兩端的設備所接的地電位不同所致，而差模訊號主要是由於電纜中不同信號線之間的電容耦合和電感耦合所致。



圖三 共模雜訊與差模雜訊關係圖

在設計濾波器時必須將共模雜訊與差模雜訊分離，再依照不同的雜訊分開設計。本文分別使用 0 度(共模)功率分離器與 180 度(差模)功率分離器，將待測物的共模雜訊與差模雜訊分離再進行設計濾波器。圖四為共模功率分離器的實體圖。



圖四 共模功率分離器實體圖

### 參、設計 EMI 濾波器

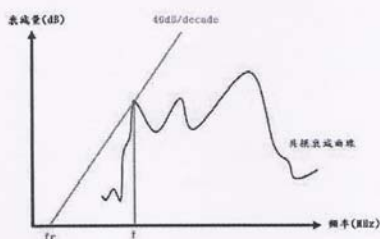
在設計 EMI 濾波器的首要步驟就是將訊號中的共模雜訊及差模雜訊分離，透過公式(1)(2) [5]計算分離出來的衰減量，將原雜訊量扣除法規之限制值後再加 6dB，就能得到本研究設計 EMI 濾波器的雜訊衰減量，其中 6dB 為修正相位角度的修正係數。

$$(V_{att-CM})_{dB} = (V_{CM})_{dB} - (V_{LIMIT})_{dB} + 6dB \quad (1)$$

$$(V_{att-DM})_{dB} = (V_{DM})_{dB} - (V_{LIMIT})_{dB} + 6dB \quad (2)$$

計算出設計 EMI 濾波器的雜訊衰減量後，利用其雜訊衰減量求出轉折頻率 fr。將之前所求出的共模衰減量以及差模衰減量各描繪出其衰減曲線。本研究所

設計的濾波器為二階濾波器[6]，以一條 40dB 的斜線與共模衰減曲線或差模衰減曲線相交，在相交的那一點所有共模與差模的衰減曲線皆在 40dB 斜線之下方，此時 40dB 斜線與頻率之橫軸相交那一點即為轉折頻率[7]，圖五為共模雜訊衰減曲線與轉折頻率關係圖。

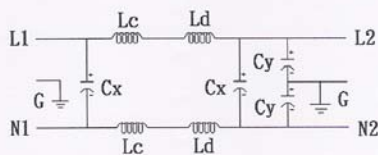


圖五 共模雜訊衰減曲線與轉折頻率關係圖

典型的 EMI 濾波器內部結構包含有共模電感  $L_c$ 、差模電感  $L_d$ 、X 電容  $C_x$  與 Y 電容  $C_y$ 。圖七為一般 EMI 濾波器之電路架構，再依照共模衰減量利用 Excel 求轉折頻率，並透過公式(3)[8]計算濾波器中搭配的電容電感值。

$$f_{r-CM} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{CM}C_{CM}}} \quad (3)$$

其中  $L_{CM} = L_c + \frac{L_d}{2} \approx L_c$ ,  $C_{CM} = 2C_y$

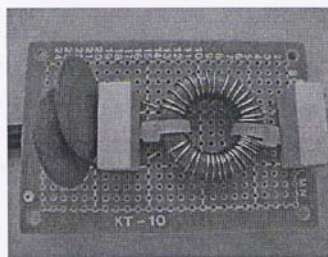


圖六 EMI 濾波器之電路架構

#### 肆、實作與量測

運用以上敘述之方法設計出五組 EMI 濾波器，為了減少元件的數量，所以本研究利用共模電感本身

之漏電感  $L_{leakage}$  取代差模電感，配合 0.1uF 的 X 電容，即構成本研究所設計的 EMI 濾波器。表一為 EMI 濾波器所搭配的電容電感值，圖七為設計實體圖。



圖七 本研究設計 EMI 濾波器實體圖

表一 EMI 濾波器元件搭配值

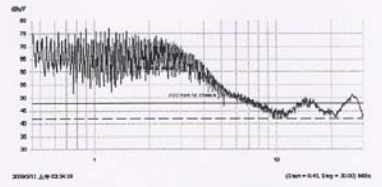
	$L_c$	$C_y$	$C_x$
第一組	0.619mH	0.01 uF	0.1uF
第二組	0.2813 mH	0.022 uF	0.1 uF
第三組	0.1875 mH	0.033 uF	0.1 uF
第四組	0.1317 mH	0.047 uF	0.1 uF
第五組	0.0619 mH	0.1 uF	0.1 uF

在待測物前加入設計之 EMI 濾波器並作傳導性電磁干擾測試，測量結果如圖八所示，由此圖可發現適當地選擇電容電感值，即可以將傳導性電磁干擾降低到符合法規的規範。

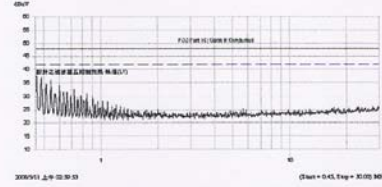
#### 伍、結論

當切換式電源供應器的傳導性電磁干擾遠超過法規的限制，使用者可根據成本及尺寸上的考量選擇不同之電容與電感搭配來製作 EMI 濾波器。本研究適當地選擇電容與電感值可製作出 EMI 濾波器並能有效的達到降低傳導性電磁干擾，且符合法規 FCC Part 15 Class B Conducted 之標準。



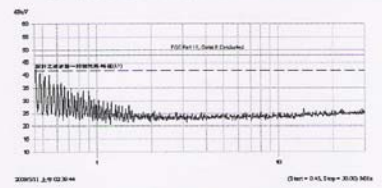


(a)未加濾波器之切換式電源供應器 CE 測試

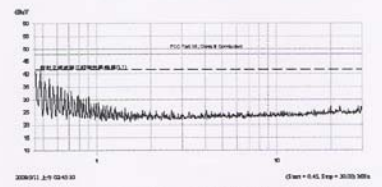


(f)加入第五組濾波器之 CE 測試

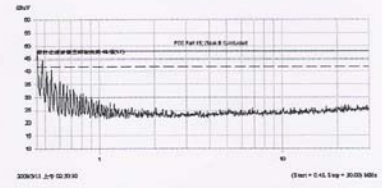
圖八 切換式電源供應器之 CE 實測結果



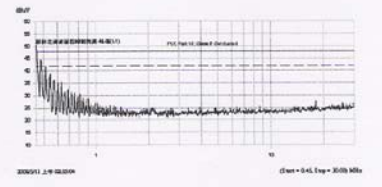
(b)加入第一組濾波器之 CE 測試



(c)加入第二組濾波器之 CE 測試



(d)加入第三組濾波器之 CE 測試



(e)加入第四組濾波器之 CE 測試

### 參考文獻

1. 梁適安,《交換式電源供應器之理論與實務設計》(全華, 2001)。
2. 梁適安,《高頻交換式電源供應器》(全華, 2003)。
3. 葉中雄、盧裕溢、蔡儒學,《電磁相容實習》(全華, 2007)。
4. Clayton R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility," John Wiley & Sons, Inc, 1992.
5. Hung-I Hsieh, Dan Chen, Song Qu, "A Filter Design Procedure Incorporating Mixed-Mode EMI Noise for Off-Line Switching Power Supplies, Power Electronics and Motion Control," Conference. Conference Proceedings. IPERC, pp.1527-1532, 2004.
6. 董天光,《電磁干擾防治與測量》(全華, 2005)。
7. Fu-Yuan Shih; Chen, D. Y.; Yan-Pei Wu; Yie-Ton Chen, "A procedure for designing EMI filters for AC line applications", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, pp.170-181, 1996.
8. Handy Ali Munir, Mohd Zarar Mohd Jenu and Mohamad Faiz Liew Abdullah, "Analysis And Design Of EMI Filters To Mitigate Conducted Emissions," Student Conference on Research and Development Proceedings, Shah Alam, Malaysia, 2002.