

# CNS13783-1 家電產品傳導性電磁干擾對策元件特性研究

## Research on Conducted EMI Suppressed with Capacitor X and Differential-Mode Inductance for Household Appliance with CNS13783-1

技正林昆平<sup>1</sup> 課長蕭水來<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>經濟部標準檢驗局 台南分局

### Abstract

Household appliances are powered by control board or DC power source, which utilizes plural semiconductor components that cause nonlinear harmonic current ranging from 120Hz to 10MHz. The harmonic current may leak out to induce a harmonic voltage on the distribution ckt while flowing via the power cord resistor. The harmonic voltage then leaks to other appliances on the same distribution circuit, which causes missing function of the electronic components in these appliances. The national standard CNS13783-1 sets a standard for this “Conducted EMI”. The harmonic current in the semiconductor components are mainly concentrated on the lower or medium band frequency. The differential-mode harmonic current on the L or N line of power cord can be feedback to the appliances by the characteristic of low-resistance capacitor X, so as to prevent from leaking to the external distribution ckt. If the capacitor X does not effectively work, an alternative way is using a setup capacitor X with differential-mode inductance to form a differential-mode filter. These two ways has great difference on the suppression effectiveness and frequency band range. This study provides ways to suppress conducted EMI for the EMI engineers.

### 摘要

家電產品中很多採用控制基板或直流電源供電，會採用不少半導體零組件，由其非線性特性，會衍生一堆雜訊電流，頻段從 120Hz 延伸到 10MHz 附近。當雜訊電流往外流竄，並經過電源線阻抗，便會在配電線路建立一雜訊電壓，使得同一配電回路上之其它運轉電器，因雜訊電壓加入，產生一倒灌流入產品內部電路之雜訊電流，造成電子零組件誤動作，此即國家標準 CNS13783-1 傳導性電磁干擾真正內涵。此種半導體衍生的雜訊電流，一般集中於中低頻段，屬流動於電源線 LN 相間回路的差模雜訊電流，可利用 X 電容低阻抗特性，提供返回電器內部，而不致外洩到外部配電線路上的途徑。若 X 電容無法有效壓制時，改採 X 電容混合差模電感的方式，以形成一差模濾波器的作法，是另一可行的抑制策略，基本上，兩者在抑制成效及頻帶範圍有很大差異性，本研究結果將可提供電磁干擾工程師實行傳導性電磁干擾抑制對策的參考。

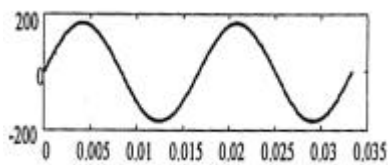
**關鍵詞(Key Words)：**傳導性電磁干擾(Conducted Electromagnetic Interference)、家電產品(Household Appliance)、X 電容(Metallized Polyester Film Capacitor)、差模電感(Differential-Mode Inductance)

### 一、前言

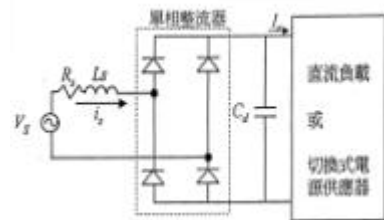
家電產品中有很多是由二極體進行控制的，例如果汁機或電暖器作弱速控制的功率二極體、吹風機及手持按摩器具的整流電路、刨冰機的控制基板及具倍壓電路的捕蚊燈，此類產品的電磁干擾對策元件，通常為黃色塑膠殼包裹之 X 電容，有時候也可發現差模電感，其分際值得探討。本研究首先解析全波整流電路產生的雜訊成份，再製作一含直流馬達全波整流電路之模擬基板，實地量測其傳導性電磁干擾，最後投入市售 X 電容規格與差模濾波器，來分析其抑制成效。

## 二、全波整流電路的雜訊成份分析 [1]

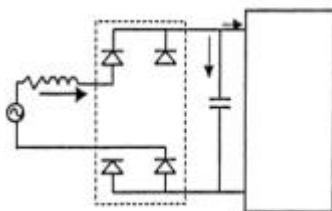
圖 1 顯示一全波整流電路運作，並假設負載為純電阻，當  $V_s$  正半週時，二極體  $D_1$  與  $D_4$  導通，交流側電流變化率可表示為式 1；當  $V_s$  負半週時，二極體  $D_2$  與  $D_3$  導通，交流側電流變化率可以表示為式 2，兩邊積分即可獲得交流側電流波形圖 2(A)，此波形頗似一週期性對稱奇函數方波，以傅利葉級數展開得式 3，可發現各雜訊成份為 120Hz、180Hz、240Hz，且大小隨頻率增大而漸減如式 4，當然二極體並非理想元件，還是會產生偶數次或非整數次雜訊。因一般直流馬達驅動產品很少超過 10A，電源線採用 1.6mm PVC 線已足夠，以 CNS13783-1 對傳導性電壓干擾的雜訊限制，第 50 萬次雜訊(即第 30MHz 雜訊)代入式 4，可估計其含量為  $I=10A/(30000000/60)=20\mu A$ ，又 1.6mm 導線阻抗依 CNS679 規定為  $R=10.32$ ，因此該頻率雜訊電流通過電線阻抗所產生電壓降為  $V=IR=206\mu V=20\log(206)=46.2\text{db}\mu V$ ，恰符合 CNS13783-1 管制平均限制值  $AV=50\text{db}$ ；若為第 10MHz 雜訊電流(第 166666 次雜訊)，其含量估算為  $I=10A/(10000000/60)=60\mu A$ ，在電源線產生雜訊電壓干擾為  $V=IR=619\mu V=20\log(619)=55.8\text{db}\mu V$ ，已超過 CNS13783-1 管制標準 50db，由於式 4 顯示頻率越高，對應雜訊電流越小，因此雜訊嚴重頻帶將分佈於 10MHz 以下的中低頻帶，並向低頻帶靠攏，這使得對於這種全波整流電路所引發的傳導性雜訊干擾頻帶，有脈絡可尋。



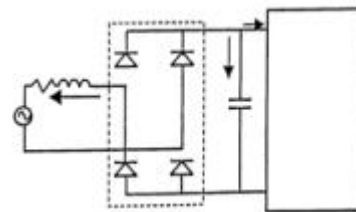
Vs 電源正弦波形



單相全波整流電路

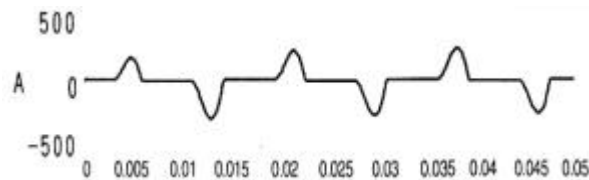


(A) 1,4 號二極體導

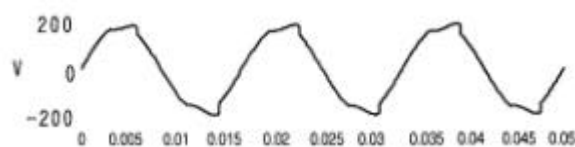


(B) 2,3 號二極體導通

圖 1 全波整流電路原理



(A) 交流測電流波形



(B) 交流測電壓波形被干擾畸變

圖 2 全波整流電路交流測電壓電流波形

$$\frac{d i_s}{d t} = \frac{1}{L_s} (V_s - V_d) \quad (1)$$

$$\frac{d i_s}{d t} = \frac{1}{L_s} (-V_s - V_d) \quad (2)$$

$$i_s(t) = I_1 \cos wt + I_3 \cos 3wt + I_5 \cos 5wt + \dots$$

$$= \sum_{n=1,3,5,7}^{n=n} I_n \cos nwt \quad (3)$$

雜訊電流大小可表示為

$$I_n = \frac{I_1}{n} \quad (4)$$

### 三、具直流馬達全波整流電路模擬基板製作

圖 3 顯示具全波整流電路直流馬達模擬基板製作，主要由 40A 二極體、單投開關及廠商所提供 25W 直流馬達組成，圖 4 顯示其電源線傳導性電壓干擾量測結果，干擾曲線均漂在標準值上方，傳導性雜訊非常嚴重。

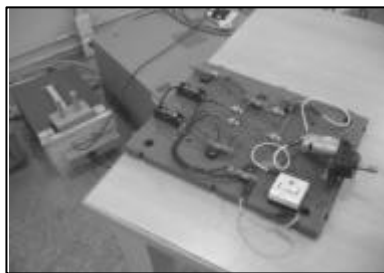


圖 3 橋式電路傳導雜訊測試

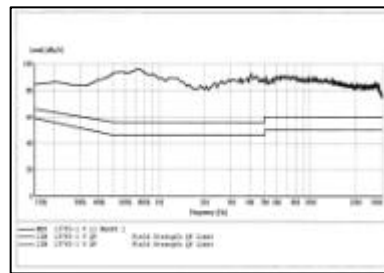


圖 4 傳導性雜訊電壓掃圖

### 四、X 電容的電磁干擾抑制特性[2][4]

#### 4.1 材質結構

X 電容基本上為一薄膜電容，具有無極性、絕緣阻抗高、頻率響應寬廣、介質損失小、高電流承受及長時工作穩定的優點；其薄膜材質則有聚乙酯絕緣膜(polyester film)、聚丙烯絕緣膜(polypropylene film)、聚苯乙稀絕緣膜及聚碳酸酯絕緣膜等塑膠薄膜。塑膠薄膜正背面鍍上一層金屬箔，再捲成圓筒結構並塞入一加強阻燃型盒子，以環氧樹脂灌封，形成所謂的「塑膠電容」。問題是兩層充當正負電極的金屬箔，其厚度不容忽視，沒捲幾圈，體積就很大，大大限制塑膠電容的容量，為了改善此缺點，塑膠薄膜正背面改採蒸上一層很薄的金屬鋁膜，捲繞時即可增加圈數且體積大為縮減，稱為金屬化薄膜電容，其依絕緣薄膜材料當然也有金屬化聚乙酯電容(Metallized polyester film, 簡稱 MKT)，金屬化聚丙烯電容(Metallized polypropylene film, 簡稱 MPF)。

pylene film, 簡稱 MKP), 其中又以 MKP 對頻率響應最敏感。由於 X 電容裝於導線間, 容易因導線遭受雷擊而受突波衝擊, 電容內部區域一旦絕緣薄膜介質遭擊穿, 很容易造成包覆絕緣膜正背面之金屬箔短路, 而導致線間短路, 危及家電產品使用的安全, 此時若改採金屬化薄膜電容, 由於短路弧光會將擊穿薄膜區域之金屬膜蒸發掉, 使得該區域能繼續保持絕緣, 而利用其它健全區域繼續工作, 即所謂自我復原作用 (SELF HEALING ACTION), 圖 5 所示具 0.47  $\mu$ F 的 MKT 塑膠電容。

#### 4.2 等效電路及特性曲線

一般電路分析, 我們通常將電容視為理想元件, 其阻抗會隨著頻率上升而降低, 頻率越高阻抗越低, 吸收效果也越好, 但這特質只適用低頻帶, 並不適用中高頻帶, 理由是電容本身結構衍生的寄生電容及電感效應, 都需考慮進來, 因為 X 電容兩支金屬接腳會產生雜散電感  $L_{lead}$ , 兩腳間還有雜散電容  $C_{lead}$ , 內部兩層金屬蒸膜有電阻  $R_{plate}$ , 而絕緣介質膜有電阻  $R_{diel}$ , 兩金蒸膜間則有電容值  $C$ , 因此其高頻等效電路可描述於圖 6, 因  $C_{lead}$  遠小於  $C$ ,  $R_{diel}$  又非常大, 阻抗與頻率關係便可以式 5 表示, 描繪頻率阻抗波德圖於圖 7, 圖 8 則為廠商所提供某材質 X 電容 0.01  $\mu$ F、0.1  $\mu$ F、0.33  $\mu$ F、1  $\mu$ F、4.7  $\mu$ F 之阻抗頻率特性資料, 每條 V 型曲線均有一個共振頻率點  $f_0$ , 如式 6, 當低於  $f_0$  的雜訊通過此電容時, 阻抗呈電容性加以吸收; 當等於  $f_0$  的雜訊通過時, 形成純電阻予以分流; 當大於  $f_0$  的雜訊通過時, 阻抗變成感抗性, 不但不吸收, 反加以抵擋, X 電容因而失去效果, 所以 X 電容有一定的抑制頻帶, 不可能對所有雜訊都有效。以 0.1  $\mu$ F X 電容為例, 由圖 8 曲線觀測, 會有下列幾項特點:

1. 對於 5MHz 以上的高頻雜訊, 雖有抑制效果, 但會逐漸趨於飽和。  
因此頻帶雜訊將使電容阻抗呈電抗性並隨頻率越高, 電抗性越大, 效果逐漸喪失
2. 對於 100KHz~5MHz 中高頻雜訊抑制, 雜訊頻率越低, 電容阻抗越大, 旁通效果也會趨於飽和。  
因此頻帶雜訊雖使電容阻抗呈電容性, 但因頻率越低, 容抗值越大, 吸收雜訊電流也降低
3. 當電容值取越大, 其電容阻抗越低, 旁通雜訊越佳, 但適用頻帶也相對變窄, 主要由於曲線往左移動。(X 電容 0.01  $\mu$ F~4.7  $\mu$ F 為例)
4. X 電容值取太大, 將壓縮電容旁通雜訊的頻帶適用性。(X 電容 4.7  $\mu$ F 為例)  
因只有頻帶介於 100KHz~580KHz 的雜訊使電容呈電容性, 其它頻段雜訊已使 X 電容呈電抗性
5. X 電容兩根腳越長, 將壓縮電容旁通雜訊的頻帶。  
因雜散電感  $L_{lead}$  變大,  $f_0$  會往左邊低頻移動, 使電容疏通雜訊頻帶被壓縮, 因此 X 電容焊到基板時, 金屬腳應盡量剪短。

$$Z(j\omega) = j\omega L_{lead} + R_s - j \frac{1}{\omega C} = R_s - j \left( \frac{1}{\omega C} - \omega L_{lead} \right) \quad (5)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{lead} C}} \quad (6)$$



圖 5 X 電容內部結構

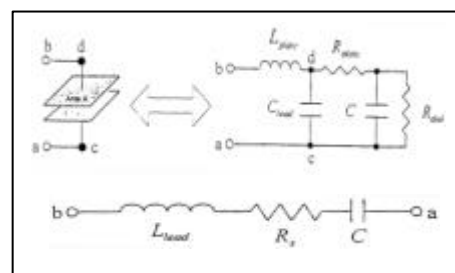


圖 6 X 電容高頻等效電路

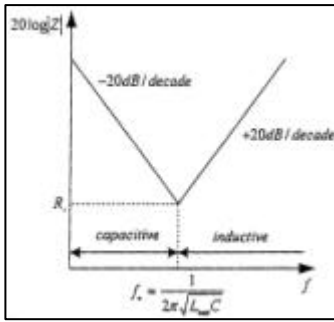


圖 7 頻率與阻抗響應關係

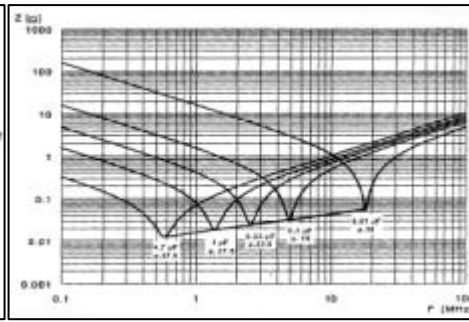


圖 8 阻抗頻率技術資料

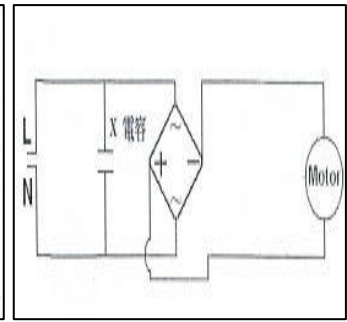


圖 9 X 電容測試電路

#### 4.3 實際雜訊抑制特性解析

現在以麵包板插件方式，將 X 電容連至模擬基板電源線 LN 線上如圖 9，置放各種市售規格並測試其抑制成效。依 CNS13783-1 規定傳導性電壓干擾管制復測八點，進行雜訊準峰值 QP 與平均值 AV 數據擷取，結果如表 1 所示，與 3.2 節理論分析對應，顯示幾項特點：

1. 於 150KHz ~ 10MHz 的中頻雜訊，使用大於 0.015  $\mu\text{F}$  以上電容規格均可有效抑制，惟最好取大於 0.1  $\mu\text{F}$  以上規格電容，符合 CNS13783-1 規定標準值裕度較大。
2. 於 150KHz ~ 10MHz 的中頻雜訊，當 X 電容由 0.01  $\mu\text{F}$  漸增至 3.3  $\mu\text{F}$ ，其抑制頻帶效果呈階梯狀區域縮短，越近低頻帶，電容值越大者，抑制效果越佳。
3. 於 10MHz 以上高頻雜訊，抑制效果逐漸遲緩，任何 X 電容規格均已無法抑制至符合 CNS13783-1 規定標準。
4. X 電容超過 0.015  $\mu\text{F}$  時，對於 10MHz 以上雜訊，抑制效果逐漸趨於飽和，電容值加再大，效果一樣，不但浪費而且出現反效果。
5. X 電容超過 0.047  $\mu\text{F}$  時，對於 3MHz 以上雜訊，抑制效果逐漸趨於飽和，電容值加再大，效果一樣，不但浪費而且出現反效果。
6. X 電容超過 0.47  $\mu\text{F}$  時，對於 1MHz 以上雜訊，抑制效果逐漸趨於飽和，電容值加再大，效果一樣，不但浪費而且出現反效果。
7. X 電容超過 0.68  $\mu\text{F}$  時，對 600KHz 以上雜訊，抑制效果逐漸趨於飽和，電容值加再大，效果一樣，不但浪費而且出現反效果。
8. X 電容超過 3.3  $\mu\text{F}$  時，對 150KHz ~ 500KHz 雜訊抑制，逐漸趨於飽和，電容值加再大，效果一樣，不但浪費而且出現反效果。
9. 於 10MHz 以後高頻雜訊，無論使用何種規格 X 電容，其抑制效果均相同且趨於飽和，因此對於 CNS13783-1 管制功率輻射頻帶 30MHz ~ 300MHz，可確定 X 電容效果已無，何況輻射干擾大部份為共模雜訊造成，此類型雜訊大多尋找接地點流動，亦不可能流經跨於 LN 相的 X 電容。

表 1 市售 X 電容投入後抑制效果評比

X 電容 (μ F)	150KHZ		300KHZ		400KHZ		500KHZ		600KHZ		1MHZ		3MHZ		5MHZ		10MHZ		20MHZ	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
CNS13783-1	66	59	60.2	51.5	57.8	48.4	56	46	56	46	56	46	56	46	56	46	60	50	60	50
無設置時	73.6	50.2	73.2	50.6	79.4	56.2	84.5	60.5	84.2	60.1	81.2	57.2	77.3	54.1	79.2	56	78.3	54.5	71.3	49.8
0.010(5 元)	73.0	51.9	68.4	47.4	71.3	49.9	73.9	51.9	72.9	51.3	65.3	42.6	50.0	29.1	41.4	22.9	57.9	37.4	60.8	41.1
0.015(3 元)	71.2	50.5	64.0	42.6	67.1	45.2	66.8	46.9	68.4	46.6	59.4	38.0	43.1	23.1	40.7	21.8	61.5	39.9	62.0	41.8
0.018(4 元)	70.7	50.3	63.2	41.5	65.8	44.4	67.8	46.2	68.0	45.7	58.2	36.9	40.5	21.7	41.1	22.6	61.4	39.9	61.6	41.7
0.033(5 元)	68.0	47.6	58.2	38.2	61.2	40.4	64.6	42.7	63.7	41.8	54.6	33.3	35.6	18.2	43.2	23.8	61.1	39.8	60.7	41.5
0.047(2.5 元)	63.2	42.3	53.2	33.6	56.7	35.6	58.8	37.4	57.9	36.5	48.3	27.6	35.1	17.5	46.0	25.7	62.1	40.8	62.0	41.6
0.082(6 元)	64.0	42.1	51.6	32.2	52.6	32.5	56.2	34.4	55.2	33.4	43.8	24.3	38.0	19.6	46.2	26.9	60.6	40.7	61.5	42.2
0.10(5 元)	54.4	35.4	47.5	28.6	49.1	29.2	52.2	31.3	51.3	30.3	40.8	20.9	38.9	20.5	47.1	27.6	62.1	41.3	61.8	42.4
0.15(6 元)	55.5	33.1	43.0	27.8	46.1	26.3	49.4	27.9	48.0	27.0	36.7	18.0	38.6	20.4	45.8	26.4	60.1	39.3	61.2	41.5
0.22(6 元)	46.4	27.6	39.2	21.6	42.6	22.8	44.8	23.9	44.4	23.2	32.2	14.2	39.9	21.6	47.5	27.8	61.6	41.2	62.0	42.1
0.33(9 元)	42.4	24.8	35.5	18.2	38.4	19.4	40.6	20.6	38.9	19.3	31.5	12.4	40.2	21.4	47.3	27.3	61.3	40.3	61.7	41.1
0.47(9 元)	39.8	22.2	33.3	16.9	35.3	17.4	36.8	18.4	35.2	17.0	33.2	15.5	40.5	22.6	47.6	28.5	61.5	41.9	62.4	42.7
0.68(20 元)	40.2	21.5	33.8	16.6	32.7	15.3	33.4	15.9	33.7	15.0	33.5	15.6	41.3	23.2	48.1	29.0	62.4	42.0	62.6	43.1
1.0(12 元)	36.8	19.1	36.8	17.0	33.9	14.9	33.9	15.1	34.6	15.1	34.2	15.5	41.5	21.8	47.6	27.6	60.8	40.5	62.1	41.8
3.3(25 元)	28.7	11.9	31.1	13.6	29.7	13.0	32.4	14.8	33.5	16.4	35.4	16.7	41.2	22.9	48.2	28.4	61.3	41.5	62.4	42.6
4.7(25 元)	30.5	12.9	32.6	14.0	31.1	13.6	33.9	15.4	35.6	16.7	36.0	17.1	41.7	22.9	47.7	28.5	61.9	41.7	62.2	42.4
6.8(25 元)	32.2	16.8	37.1	19.3	34.5	17.0	37.1	18.4	38.5	19.2	37.1	18.9	43.2	23.8	49.5	29.6	63.3	42.5	63.0	42.3

## 五、混合差模電感電磁干擾抑制特性 [3][4]

### 5.1 混合差模電感特性

當 X 電容無法吸納過多的中低頻雜訊，就得採用混合差模電感來抑制，其抑制原理與 X 電容有很大的差別，X 電容是把電器要向 L 相傳導出去的差模雜訊吸納下來，再經由 N 相推回電器內部而形成回流，使雜訊無法離開電器內部而傳導出去。混合差模電感，則是利用 X 電容兩端串上電感(圖 10)，以形成一轉折頻率(式 7)且具衰減 40dB 能力的差模濾波器(圖 11)，因此慎選電感值攸關轉折頻率及抑制成效。另外，因差模雜電流一般較大，容易造成電感鐵芯飽和，差模電感宜採用導磁率更低的鐵芯材質，電感值一般為 uH 數百 uH，常見有 15uH、22uH、33uH、47uH、50uH、55uH、70uH、100uH、120uH、150uH、200uH、330uH、560uH、830uH，故 X 電容與差模濾波器的動作原理，事實上是有很大差別。

$$f_{dm} = \frac{1}{2 \sqrt{2} p \sqrt{L_d C_d}} \quad (7)$$



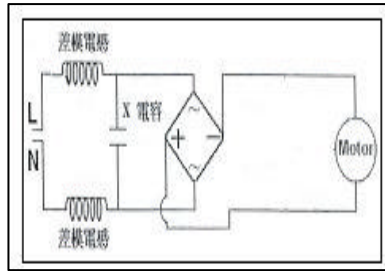


圖 10 差模濾波器電路

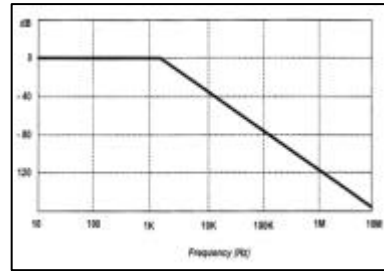


圖 11 具衰減雜訊 40dB 能力

## 5.2 差模濾波器的設計

電磁干擾濾波器設計理論艱深難懂，設計出來的電感及電容值，也面臨找不到市售規格品的窘境，若採訂制品，費用偏高，廠商可能裹足不前，會影響 EMC 政策的推動，因此，差模濾波器的設計，實務上，應該採用市售規格品作為依據，再以 TRY ON ERR，用麵包板插件方式，進行濾波器元件投入測試(圖 12)，從中找出一組抑制效果不差且成本又便宜的組合，底下為筆者以具全波整流電路直流馬達產生的差模雜訊為例(圖 13)，提出設計步驟，依舊可將此類雜訊源抑制至標準值內。

1. 150KHz ~ 30MHz 的傳導性干擾抑制，應捨棄共模濾波器，改採差模濾波器設計，並裝置在交流側。
2. 電感值建議從最便宜的 15uH 開始。
3. 轉折點應取在 150KHz 以下，才能圓滑的將干擾曲線轉折；如選在 300KHz，則 150KHz ~ 300KHz 將成為盲點。
4. 為與 15uH 電感搭配且轉折頻率接近 150KHz，電容規格強烈建議採用 0.047uf (轉折頻率：134KHz)、0.056uf (123KHz)、0.068uf (112KHz)、0.082uf (102KHz)、0.1uf (92KHz)、0.15uf (75KHz)、0.22uf (62KHz)等七組，並採取逐一投入測試，再依量測到的傳導性電磁干擾抑制成效平均 AV 值(至少抑制至標準一半以上)及總成本最低下，決定使用那一套組合作為最後設計(參考表 2 及圖 14)。
5. 當負載變大時，差模雜訊電流量會升高，這時候可選擇承受電流較高，但電感值相同的電感，作為設計。

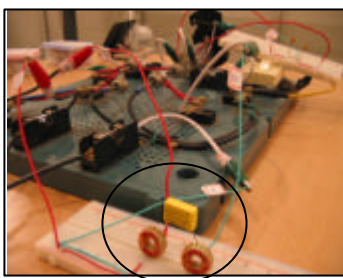


圖 12 以麵包板進行差模濾波器投入測試

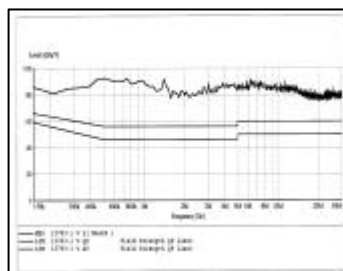


圖 13 具全波整流電路直流馬達產生傳導性雜訊

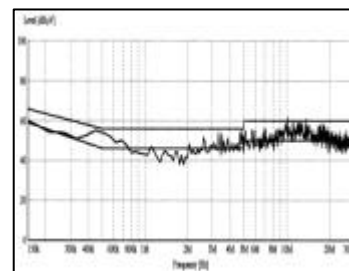


圖 14 以表 2 第 3 組濾波器投入後抑制情形

表 2 各組差模濾波器投入後的抑制成效比較

差模濾波器設計 / 掃瞄頻率點 ?			150KHz		300KHz		400KHz		500KHz	
電感 (uH)	電容 (uF)	轉折點	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
無	無	無	73.6	50.2	73.2	50.6	79.4	56.2	84.5	60.5
(1)15(8元)	0.22(6元)	<b>62KHz</b>	45.3	25.2	37.7	18.6	39.8	19.4	40.7	20.5
(2)15(8元)	0.15(6元)	<b>75KHz</b>	49.8	28.6	41.8	22.9	43.2	23.8	43.9	24.1
(3)15(8元)	0.1(5元)	<b>92KHz</b>	52.9	32.5	46.8	25.3	47.5	26.3	48.7	27.3
(4)15(8元)	0.082(6元)	<b>102KHz</b>	54.3	33.5	47.3	26.6	48.8	27.6	49.1	27.8
(5)15(8元)	0.068(5元)	<b>112KHz</b>	56.9	35.6	48.6	27.8	50.5	29	52.2	29.6
(6)15(8元)	0.056(2.5元)	<b>123KHz</b>	59.4	37.8	50.1	28.9	52.5	30.8	55.2	32.2
(7)15(8元)	0.047(2.5元)	<b>134KHz</b>	62.3	39	51	31	53.2	31.4	55.9	32.6
CNS13783-1 傳導性干擾管制值 :			<b>66dB</b>	<b>59dB</b>	<b>60.2dB</b>	<b>51.5dB</b>	<b>57.8dB</b>	<b>48.4dB</b>	<b>56dB</b>	<b>46dB</b>

600KHz		1MHz		3MHz		5MHz		10MHz		20MHz	
QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
84.2	60.1	81.2	57.2	77.3	54.1	79.2	56	78.3	54.5	71.3	49.8
39.1	19.1	32.2	13.9	34.4	17.5	37.8	20.3	45.8	29.3	48.5	28.7
42.1	22.5	33.8	15.6	34.2	17.6	38.6	20.9	45.9	28.7	47.9	28.3
46.7	25.4	35.4	17.1	33.4	16.9	38.3	20.4	44.7	27.3	48	27.7
47.5	26.3	36.5	17.7	34.1	16.8	38.9	20.2	45.2	21.6	48.2	26.8
50.1	27.6	38.1	18.8	34.4	16.7	38.5	20.5	44.5	26.8	47.9	27.2
52.1	24.5	40.5	19.6	32.7	15.6	37.6	19.2	43.3	25.4	47.2	25.7
53.8	30.5	41.6	20.8	32.6	14.8	36.9	17.6	41.2	23.3	46.7	24.3
<b>56dB</b>	<b>46dB</b>	<b>56dB</b>	<b>46dB</b>	<b>56dB</b>	<b>46dB</b>	<b>56dB</b>	<b>46dB</b>	<b>60dB</b>	<b>50dB</b>	<b>60dB</b>	<b>50dB</b>

## 五、結論

二極體應用在家電產品中，通常有全波整流、半波整流、倍壓電路三種，例如使用直流馬達的按摩棒、刨冰機、電剪髮器、電動手工具類；再如應用於交直流兩用之串激式馬達弱速控制上的果汁機、吹風機、榨汁機、電暖器等；倍壓電路則常見於捕蚊燈的電擊網上，具有提高十倍電壓的能力。二極體雖然在改變電壓特性上好用，卻也會在交流側衍生嚴重的中低頻雜訊，尤以低頻段較為嚴重，七八年前還國內電力界最熱門的話題，當雜訊延升至 150KHz~30MHz 頻段，即進入 CNS13783-1 傳導性電壓干擾的國家標準管制範圍，雖然目前僅針對小家電及冷氣機產品進行列管，但國際電工協會 IEC 標準仍在演進當中，此頻段的電磁干擾也可能擴及到工廠負載的管制，國內從事電力品質及電磁干擾工程師，當應未雨綢繆充實這方面的技術，以迎接未來挑戰。本文提到 X 電容及差模濾波器設計，均是有效克制 150KHz~30MHz 頻段雜訊電流的利器，當 X 電容無法疏解過多的雜訊時，就應改採差模濾波器，僅以此文提供電磁干擾工程師實行對策之用。



## 六、參考文獻

1. 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, 1998.
2. 冠磁公司 , " X 電容技術資料 " .
3. 安星電子公司 , " 差模電感技術資料 " .
4. 無線電界雜誌社 著, "EMI 電磁波干擾之實務設計 " .