

CNS 13783-1 家電產品電磁干擾濾波器之 特性與設計原理介紹

經濟部標準檢驗局 技正林昆平

一、前言

現今家電產品常引用直流馬達或交直流兩用之串激馬達，加上應用電子電路控制基板，大量使用非線性電子元件之二極體與高速切換開關如 MOSFET 等，這些都使得產品衍生大量雜訊電流，並透過電源插座端宣洩。「傳導電壓干擾」指的是雜訊電流通過插座電源端阻抗所產生雜訊電壓的擾動，此擾動使插在同饋線之其它運轉電子產品誤動作或損毀；「輻射功率干擾」指的是雜訊導地所建立的雜訊接地電壓，反過來以供電線路或產品電源線當作天線進行輻射。不管如何！輻射功率由共模雜訊引起，電壓傳導由共模雜訊也由差模雜訊引起，因此本文會詳談此兩種雜訊在濾波器電路中的流動途徑，對於構成濾波器的組件如何防堵與疏導雜訊電流的理解會有所助益，但濾波器整體主要功能還是在衰減電器產生嚴重頻段上的干擾量，濾波器的轉折頻率必需被設計在這些頻段範圍內。濾波器設計理論艱深難懂，但本文透過解釋共模與差模雜訊電流的定義，搭配其在濾波器電路內的流動途徑，使讀者可瞭解單獨組件對共模與差模雜訊的抑制效果，在本文讀者不僅可清楚市售 EMI 對策元件的功能，對濾波器轉折頻率的設計步驟也會介紹。

二、雜訊電流在濾波器的流動路徑

2.1 共差模雜訊的定義

「差模雜訊」定義為只在 LN 間形成回路的雜訊電流，因此它不會往導地點流通。「共模雜訊」定義為導地的雜訊電流，導地有兩個途徑，一為供電系統接地點，一為產品接地線，都在地點產生接地電壓(共模電壓)後，再以供電線路及產品電源線當作天線，進行電磁波放射。

2.2 濾波器內的共差模雜訊流動途徑與組件抑制特性[1][2]

根據 2.1 節定義，共差模雜訊電流在濾波器電路流動的途徑可描繪如圖 1，假設此產品的主要干擾源為直流馬達，其碳刷火花衍生一些雜訊電流，成份包含差模 I_{dm} 與共模 I_{cm} ，差模依定義僅於 LN 相間形成回流，故 I_{dm} 由馬達碳刷端出發經 LN 相線路再流回馬達碳刷另一端，在 LN 相線上互為反向；共模雜訊電流依定義僅流往接地點且有兩個途徑， I_{cm1} 流向供電系統中性點， I_{cm2} 流向產品自備接地線，他們在 LN 相間形成同向，因此雜訊成份流經濾波器構成組件變得清楚，也可依此判定個別組件在 EMI 抑制上的效果，到底是對傳導干擾抑制有效？還是功率輻射抑制有效？畢竟這對電磁干擾工程師執行個別元件對策是重要的，至於濾波器如何衰減嚴重干擾頻段的設計，則留在 2.3 節介紹。

(1) X 電容

高頻的差模雜訊電流 I_{dm} 會使 X 電容呈現低阻效應，進而疏導 I_{dm} 返回直流馬達產生處；反之，若不安裝 X 電容， I_{dm} 會直接倒入電源插座端，經供電系統中性點再回至直流馬達產生處，因此 X 電容可以防制差模雜訊電流外洩至電源插座端，其值

越大降低外洩量效果更佳，因其無法疏導共模雜訊電流，故僅對產品的傳導干擾有抑制效果，對功率輻射抑制無效。

(2) 差模電感

從字義看，此元件似乎僅能抑制差模雜訊電流，對共模雜訊電流抑制無效；若從圖 1 流動路徑看，其可以阻擋流經產品電源線 LN 相上的共差模雜訊電流量，故除使插座電源端的傳導電壓下降外，也使供電系統的接地電壓下降，故對傳導與輻射干擾的抑制都有效。道理就在差模電感對高頻共模雜訊電流 $I_{cm1-1'}$ ， $-2'$ 通過時仍會產生高電抗，共模雜訊電流被衰減成 $I_{cm1-1''}$ ， $-2''$ ，連帶使接地共模電壓 V_{cm1} 變小，功率輻射量因而降低。

(3) 共模電感

從字義看，此元件似乎僅能抑制共模雜訊電流，對差模雜訊電流抑制無效；從圖 2 共模線圈纏繞方式看，當共模雜訊電流通過時其電抗變兩倍，差模雜訊電流通過時其電抗卻變成零，這說明其可使供電系統的接地共模電壓變小，對差模雜訊在 LN 相線路引起的傳導電壓干擾無效。但也別忘了！LN 相的傳導電壓干擾是由共差模雜訊一起貢獻，只是共模雜訊引起傳導電壓干擾量相對差模雜訊低，對傳導電壓干擾的抑制成效較不明顯[2]，主要功能還是在功率輻射干擾的抑制。

(4) Y 電容

Y 電容通常兩只，每只一腳裝置在 LN 相，另一腳則共同接地再連接至產品金屬外殼或接地線處，其因位於共模雜訊電流導地途徑，其產生負阻抗剛好可削減接地阻抗，使接地共模電壓變小，而達成線路輻射干擾的變小；另其因提供模雜訊的分流(I_{cm2-1} 及 -2)，使本來全部經 LN 相流往供電系統接地點的共模雜訊電流變少了，相對也減少共模雜訊在 LN 相線路產生的電壓干擾。但因傳導電壓干擾大部份由差模雜訊貢獻，加上安規對於電機電子產品洩漏電流的限制，Y 電容值無法無限加大，因此其在傳導及輻射干擾的抑制上並不明顯，主要用途在強化接地短路的補充絕緣。

(5) 磁芯

磁環通常以產品電源線同向纏繞，LN 相上差模雜訊電流因互為反向，故在磁環上產生的磁通互相抵消使電抗變零，因此其對差模雜訊防制無效；當共模雜訊電流經過時，因同向而使磁通增強兩倍電抗變兩倍，可衰減通過的共模雜訊電流，使接地共模電壓 V_{cm1} 變小，功率輻射量降低。

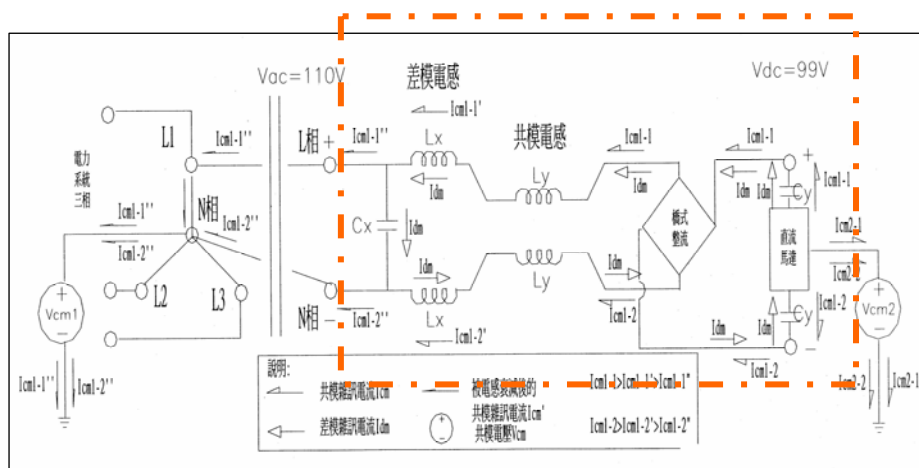


圖 1 共差模雜訊電流在濾波器內流動路徑分析(自創)

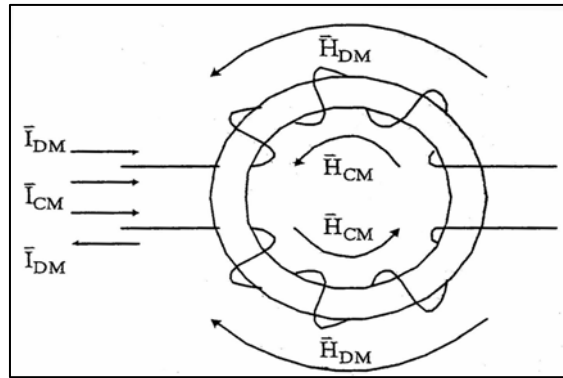


圖 2 共模電感的纏繞方式與原理

2.3 濾波器設計原理[3]

圖 1 虛線框架內電磁干擾濾波器的主要功能為抑制傳導電壓干擾，而不是用來抑制功率輻射的。但也有人將其結構分成差模濾波器與共模濾波器，乍聽之下！此濾波器的設計是可抑制傳導及輻射，其實那是誤解，很多人觀念就是：「差模雜訊對應傳導電壓干擾；共模雜訊對應功率輻射干擾」，但 2.2 節筆者已強調：「差模雜訊電流不會建立接地電壓故沒有衍生功率輻射問題；共模雜訊可衍生功率輻射也可產生少量的傳導電壓干擾」，只不過是濾波器的個別組件本身有額外的傳導及輻射抑制特性，故將元件中防堵差模雜訊較有效的歸類為差模濾波器，防堵共模雜訊較有效的歸類為共模濾波器，前者由(Lx, Cx)組成，後者由(Ly, Cy)組成，其實濾波器真正的功能還是在衰減產品產生嚴重頻率段的干擾量。濾波器本身以衰減傳導電壓干擾為主，但為了增強其對功率輻射的抑制，其共模線圈電感值通常取很大(MHz 以上)，原因就在此。當產品的功率輻射還是無法有效降低時，於產品電源線出口處額外纏繞磁芯類(磁環及磁扣)，或於電子機板高速切換開關接腳串掛磁珠，也都是常見的設計手段。抑制傳導電壓干擾濾波器設計步驟介紹如下 [3]：

【STEP1】量測並計算產品真正雜訊量

首先對電機電子產品產生的傳導性電壓干擾進行量測(圖 3)，每一頻率點所測得之電壓干擾，經雜訊分離器分離出共模雜訊電壓(Vcm)Db 與差模雜訊電壓(Vdm)dB，由於雜訊分離器內部電路結構設計，使量測值會比實際值高出 3dB，故量測實際值需再減掉 3dB，因此真正共差模雜訊電壓傳導干擾值為(式 1)及(式 2)。

$$(V_{cm_act})dB = (V_{cm})dB - 3dB \quad (1)$$

$$(V_{dm_act})dB = (V_{dm})dB - 3dB \quad (2)$$

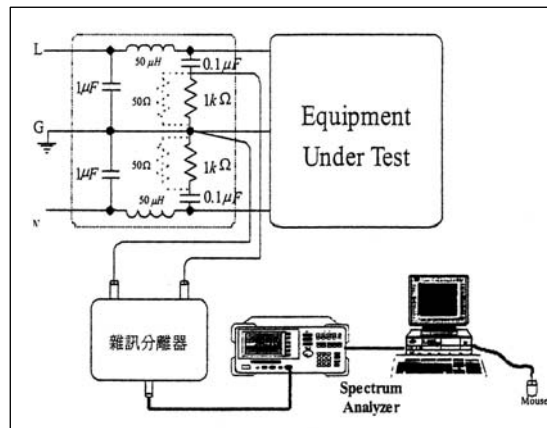


圖 3 傳導電壓干擾量測
(共模與差模雜訊引起的傳導電壓干擾)

【STEP2】 計算每一頻率點之共模與差模傳導電壓干擾之衰減量

衰減後，每個頻率點 干擾值都需符合表 1 家電類或表 2 燈具類之傳導電壓干擾限制值。

先定義下列名詞：

(Vcm_filter)dB：共模雜訊傳導性電壓干擾改善量

(Vdm_filter)dB：差模雜訊傳導性電壓干擾改善量

(Vlimit)dB：CNS 14115 傳導性電壓干擾限制值

由(式 3)及(式 4)求出 各頻率點 衰減量(Vcm_filter)dB 及(Vdm_filter)dB。

$$(Vcm_act)dB - (Vcm_filter)dB \leq (Vlimit)dB \quad (3)$$

(已知) (已知)

$$(Vdm_act)dB - (Vdm_filter)dB \leq (Vlimit)dB \quad (4)$$

(已知) (已知)

考慮共模與差模傳導電壓干擾量被濾波器衰減至限制值時，可能發生雜訊同相位(0 度)或反相位(180 度)，這會使得 L 相及 N 相端之各頻率點雜訊量干擾量上升 6dB(μV)，為了避開此現象，衰減量尚須考慮加上 6dB，故先將(式 1)及(式 2)代入(式 3)及(式 4)，再分別加上 6dB，即可改寫成(式 5)及(式 6)。

$$\begin{aligned} (Vcm_filter)dB &= (Vcm_act)dB - (Vlimit)dB \\ &= (Vcm)dB - (Vlimit)dB + 3dB \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} (Vdm_filter)dB &= (Vdm_act)dB - (Vlimit)dB \\ &= (Vdm)dB - (Vlimit)dB + 3dB \end{aligned} \quad (6)$$

裝置類別	頻率範圍 MHz	電源端點	
		準峰值(dB μV)	平均值(dB μV)
家用產品 和產生類 似干擾的 設備	0.15-0.5	66-56	59-46
		隨頻率的對數線性遞減	
	0.5-5	56	46
	5-30	60	50

表 1 家電類傳導電壓干擾限制值

檢驗依據	限制值 dB(μV) ⁽¹⁾		
	頻率範圍	準峰值	平均值
CNS 14115 第 4.3.1 節	9kHz~50kHz	110	-
	50kHz~150kHz	90~80 ⁽²⁾	-
	150kHz~0.5MHz	66~56 ⁽²⁾	56~46 ⁽²⁾
	0.5MHz~2.51MHz	56	46
	2.51MHz~3.0MHz	73	63
	3.0MHz~5MHz	56	46
	5MHz~30 MHz	60	50

表 2 燈具類傳導電壓干擾限制值

【STEP3】濾波器分組

(Lx、Cx)組成差模濾波器，(Ly、Cy)組成共模濾波器。

【STEP4】(Ly、Cy)及(Lx、Cx)最佳化設計值

(1)依 STEP2 所求得各頻率點與其對應的共模雜訊傳導電壓改善量(Vcm_filter)dB，在半對數圖上作曲線圖，其中 X 軸為各點頻率，Y 軸為衰減量(圖 4)。

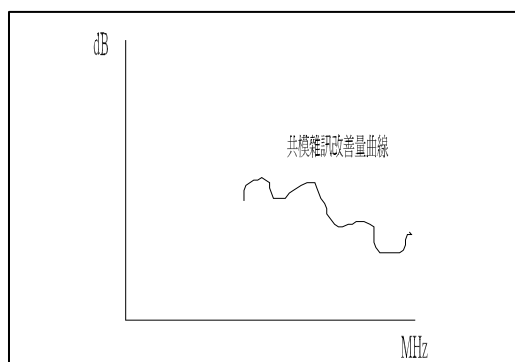


圖 4 差模雜訊傳導電壓干擾
改善量之半對數圖

(2)在半對數圖上作一 40 dB/dec 之斜線(圖 5)

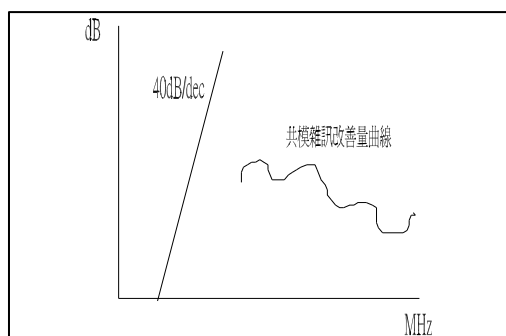


圖 5 40 dB/dec 之斜線

(3)將此斜線往右移動，直到切到共模雜訊傳導性電壓干擾衰減曲線，且曲線需完全位於此斜線下方，此時斜線會與橫軸相交於一點，此交叉點即為抑制共模雜訊傳導性電壓干擾之濾波器共振點設計值 f_{cm} (圖 6)

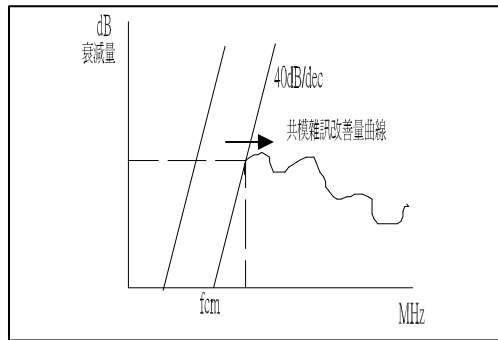


圖 6 共模雜訊傳導性電壓干擾
濾波器之共振點設計

(4)同理，重覆(1)~(3)步驟，改為差模雜訊傳導性電壓干擾衰減量描繪曲線圖，找到交叉點即為抑制差模雜訊傳導性電壓干擾之濾波器共振點設計值 f_{dm} 值。

(5)計算元件規格(Ly, Cy)及(Lx, Cx)

1. 先由市售元件規格選取 Cy(注意產品安規洩漏電流的限制，Cy 值有限制)，再代入(式 7)取得 Ly 值

$$Ly = \left(\frac{1}{2 \pi f_{cm}} \right)^2 \times \frac{1}{2 Cy} \quad (7)$$

2. 先由市售元件規格選取 Cx，再代入(式 8)取得 Lx 值

$$Lx = \left(\frac{1}{2 \pi f_{dm}} \right)^2 \times \frac{1}{2 Cx} \quad (8)$$

(6)依計算出的 Ly 值與 Lx 值，自市售電感元件規格品中挑選，

若無法取得，需洽對策元件製造商設計客製化之電感規格，或由現成電感規格品並串聯等效出設計值。

三、濾波器設計面臨的實務問題

前述濾波器設計雖有理論根據且可以軟體輔助進行最佳化設計，要作的僅是採購雜訊分離器與頻譜分析儀，但實務面可能碰到設計值找不到市售規格品的難題，這時可能需以多個電感串聯等效或改採客製化製作，但這兩者都會增加廠商成本，理論歸理論!廠商不可能因此投入更多 EMI 抑制費用，實務面還是先利用頻譜分析儀掃圖找出超出限制值的頻段及干擾量，再以市售規格電容值及電感值帶入(式 7)，以計算出濾波器各組適用的轉折頻率，最後選取落於嚴重頻段內的適當頻率點，觀察曲線自此點轉折 45 度後，

可以完全落在限制值線下的可能設計頻率點，最後進行各組投入後掃圖測試，直到找到一組可以符合規範且成本最低的組合規格。

四、結論

本文依共模雜訊與差模雜訊的定義，描述家電或燈具在家中插座電源端產生傳導電壓干擾及供電系統接地點或產品接地線產生功率輻射干擾的原因，介紹濾波器安裝在電器內部如何衰減電磁干擾量的原理，強調濾波器主要功能是用在抑制傳導電壓干擾，但其組成元件差模電感、共模電感、X 電容、Y 電容等兼具抑制電磁干擾的能力，尤其共模電感及 Y 電容對功率輻射干擾的抑制兼具效果。濾波器大部份可設計來抑制傳導電壓非常嚴重的產品，但其對功率輻射干擾的抑制卻是完全依賴元件共模線圈，單靠它不一定可以使輻射干擾符合規範，此時產品電源線出口處纏繞磁芯類可能必要。有關 2.2 節組成濾波器之元件對傳導電壓干擾與功率輻射抑制的特性，實驗驗證過程刊載於 103 年 3 月份第 224 期電子月刊—「X 電容、共差模電感、磁環等對高頻電磁干擾功率輻射抑制性能研究」，可上相關圖書館網站借閱。

五、參考文獻

1. 林昆平 著，” X 電容、共差模電感、磁環等對高頻電磁干擾功率輻射抑制性能研究”，電子月刊，第 224 期, Mar, 2014。
2. 冠磁公司，” XY 電容、磁芯、磁珠、磁環、磁扣等技術資料”，2010。
3. 羅有綱、羅天賜 著，” 電腦輔助電磁干擾雜訊量測與濾波器設計”，電力電子技術雙月刊，Jue, 2000。
4. CNS14115 標準，” 電氣照明與類似設備之射頻干擾限制值與量測方法”，98 年版。
5. CNS13783-1 標準，” 家電產品之射頻干擾限制值與量測方法”，93 年版。