

家電產品電磁干擾對策元件特性 研究與設計

技正林昆平

經濟部標準檢驗局 台南分局

摘要(Abstract)

現今家電產品應用不少控制機板，其因採用不少半導體高速開關組件衍生大量雜訊電流，流入電源插座端產生傳導性電壓干擾，並在產品電源線四周衍生輻射性功率干擾，使同一電源饋線其它運轉中電器與鄰近電機電子產品受到干擾而誤動作，因此才有CNS 13783-1家電產品電磁干擾限制的規範制訂。電磁干擾對策元件包含X電容、Y電容、差模電感、共模線圈、磁芯類、濾波器等，雖是解決電磁干擾利器，不過其特性是對傳導干擾有效，還是輻射干擾有效，卻顯為人知。電機電子產品電磁干擾抑制通常被聚焦濾波器設計，但其設計原理艱深難懂，讓入門者怯步；設計出的電容及電感值也不一定有規格品可供選用，客製化或組裝現有規格品等效的方法只會加重成本，廠商裹足不前；如果能先瞭解對策元件個別抑制特與效果，那不管是TRY ON ERR方式的個別對策元件投入設計，或已分析出產品嚴重頻段轉折頻率點，其實不依濾波器設計原理執行，產品的電磁干擾還是可以解決的。本研究從共模與差模雜訊定義，推論兩種雜訊電流在一具有標準電磁干擾濾波器安裝之產品內部與電源系統間的流動途徑，再製作可產生嚴重差模雜訊的串激式馬達干擾源電路及選用可產生更嚴重共模雜訊之直流馬達驅動按摩枕產品，分別進行對策元投入之傳導與輻射干擾抑制比較，除驗證推論正確性，也規納出對策元件抑制特性的可用性。

關鍵詞(KeyWords) 電磁干擾(Electromagnetic Interference, EMI)、傳導性電磁干擾(Conducted EMI)、輻射性電磁干擾(Radiated EMI)、差模雜訊電流(Differential-Mode Current)、共模雜訊電流(Common-Mode Current)

1. 簡介

「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」指的是雜訊電流導地產生雜訊導地電壓，反過來以供電線路或產品電源線作為天線輻射。不管如何!輻射功率干擾由共模雜訊引起，傳導電壓干擾由共模及差模雜訊共同引起，因此本文會詳談此兩種雜訊在產品內部、標準濾波器電路、供電系統中的流動途徑，對於組裝濾波器元件的個別抑制特性也會進行研究。關於濾波器轉折頻率最佳化設計不在本文探討範圍內，但了解各對策元件對差模雜訊與共模雜訊的防堵特性，卻有助利用TRY ON ERR方式組裝出濾波器，進而取代傳統電腦輔助與艱深原理設計，唯一要知道就是掃描量測產品產生電磁干擾嚴重的頻段，並決定衰減點的頻率值。

2. CNS 13783-1家電產品電磁干擾規範

2.1 傳導性電壓量測規範介紹

傳導量測在隔離室進行，擺設位置如圖1所示，量測儀器採用電線阻抗模擬網路LISN(具將電源雜訊隔離並自負載取樣雜訊能力)，及電磁干擾雜訊譜分析儀，量測程序則如下：

- (1)依電源線端點干擾電壓測試架構圖1，加以配置並測試接線。
- (2)測試件放置非傳導性木桌上，測試件電源接至LISN，電器電源線如超過80cm，將多餘部份以30至40cm之八字形網綁電源線中央。
- (3)電器通電源至穩定運轉。
- (4)使用接收機量測頻率範圍150KHz~30MHz電壓端點干擾電壓之準峰值QP和平均值AV，解析頻寬9KHz~150KHz為200Hz，150KHz~30MHz為9KHz。
- (5)依(1)~(4)步驟將電器電源線之LN相各量測一次。

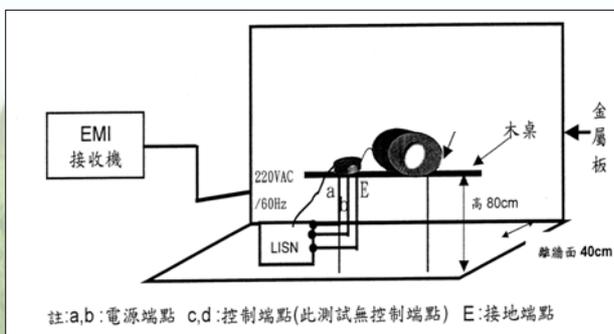


圖1傳導性電壓干擾量測擺設及限制值(150KHz~30MHz)

家用產品或產生類似干擾的設備或應用半導體調節控制		
率範圍	電源端點	
	準峰值 dB(μV)	平均值 dB(μV)
0.15-0.50	66-56(隨頻率對數值線性遞減)	59-46(隨頻率對數值線性遞減)
0.50-5	56	46
5-30	60	50

2.2 輻射性功率量測規範介紹

家電功率輻射量測需在隔離室進行，其測試頻率範圍與限制值如表1，測試情形如圖X1，量測儀器採用電磁干擾雜訊譜分析儀(EMI receiver)及吸收夾具(Absorbring clamp)，量測程序則如下：

- (1)將EUT置於地80cm之測試平台上，打開EUT電源開始進行量測。
 - (2)將量測頻率設定於50MHz，電源電壓由99V(0.9x110V)調整至121V(1.1x110V)，觀察干擾值隨電壓變化情形，記錄干擾值最大時之電壓，以此電壓輻射干擾功率之量測電壓。
 - (3)將電器產品電源打開，若產品強中弱模式者得選擇干擾最嚴重者為操作模式，掃瞄頻為30MHz~300MHz。
 - (4)對於頻率點30MHz、45MHz、65MHz、90MHz、150MHz、180MHz、220MHz、300MHz(頻率有±5MHz之容許範圍)，進行復測，吸收夾具於6米長平台上前後移動，將偵測到最大干擾值記錄下來。
 - (5)於45MHz、90MHz、220MHz重複執行第二次量測以確定其與第一次量測之強度值差異是否小於2Db，若其強度值小於2DB則保留第一次之測試結果，如果差異值大於2DB則重複步驟(2)~步驟(4)。
- 要強調的是：EMI掃圖曲線記錄的是過程中出現最大干擾值(Max Hold)，而非限制值所規定的準峰值QP及平均值AV，所以曲線雖然有異常點或超過復測點並不代表不符規定，需利用公式將最大值再個別換算成QP及AV值才能進行比對。另八個復測點屬商用頻段坐落點故需復測再確認。

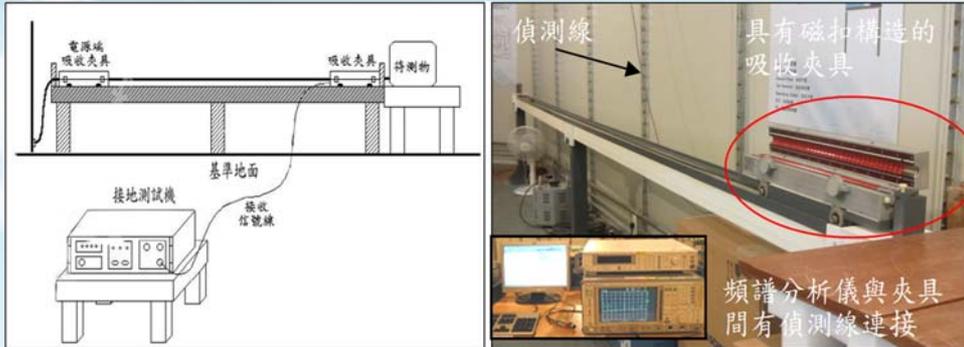


圖2 功率輻射量測擺設及實體

頻率範圍	家電產品	
(MHz)	準峰值 QP dB(pW)	平均值 AV dB(pW)
30-300	45-55	35-45
以上限制值隨頻率作線性遞增		

表1 CNS13783-1功率輻射管制值

3. 對策元件抑制特性研究

3.1 差模與共模雜訊定義

「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，只在線路內流動，故所經之處會形成雜訊電壓降，衍生傳導性電壓干擾。「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，都會在導地點產生接地電壓(即共模電壓)，再以供電線路及產品電源線當作天線，進行電磁波輻射。

3.2 共模及差模雜訊的流動途徑推論

根據3.1節定義，共差模雜訊電流的流動的途徑可描繪如圖3。假設此產品的主要干擾源為直流馬達且已裝設濾波器，由於直流馬達碳刷火花衍生雜訊電流，此成份包含差模雜訊電流 I_{dm} 與共模雜訊電流 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L相線路並通過X電容，由N相線路返回馬達碳刷另一端，在LN相線間恰形成反向；共模依定義僅流往接地點，因碳刷有兩只會各產生兩個途徑： I_{cm1-1} 經由L相線路流向供電系統中性點導地， I_{cm2-1} 藉由產品外殼接地線導地，而 I_{cm1-2} 經由N相線路流向供電系統中性點導地， I_{cm2-2} 藉由產品外殼接地線導地，共模雜訊分流在LN相間行走時恰形成同向。藉此濾波器組件的個別電磁干擾抑制特性變清楚了，是對抑制傳導干擾有效？還是抑制輻射干擾有效？也變簡單了！

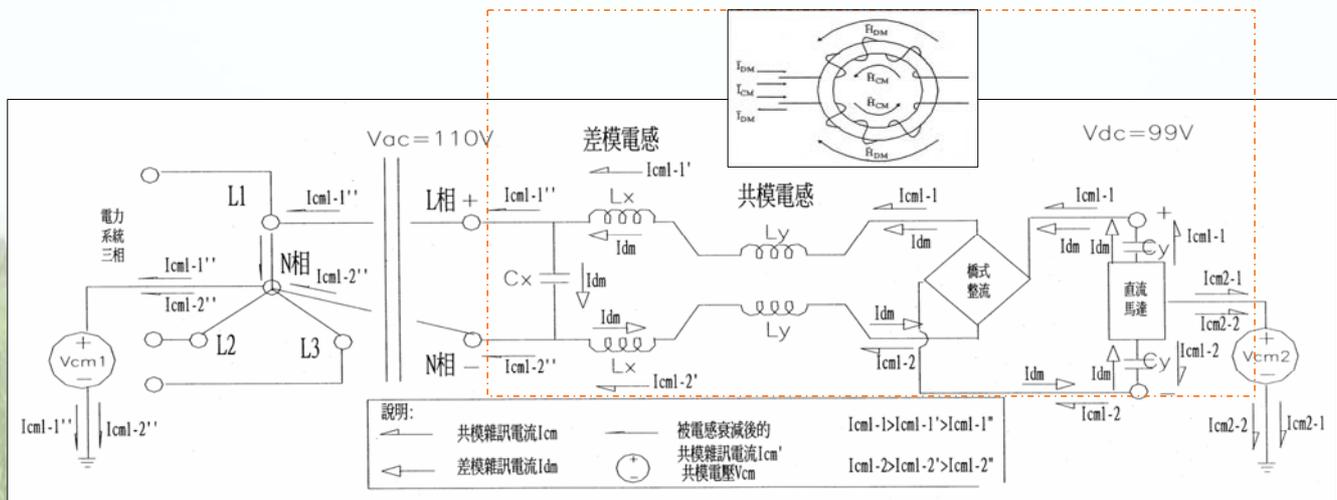


圖3 共差模雜訊電流在具有濾波器安裝產品上的流動途徑推論(框線為濾波器)

3.3 各對策元件抑制電磁干擾特性推論

電磁干擾對策元件常見有五類：X電容CX、差模電感LX、共模線圈LY、Y電容CY、磁抗類，濾波器則僅由CX、LX、LY、CY組成，從圖3觀測可以很輕易判斷其抑制特性。

3.3.1 X電容CX

X電容遇高頻差模雜訊電流 I_{dm} 呈低阻抗，會將 I_{dm} 推回直流馬達另一電刷端形成回路；此時若無安裝X電容， I_{dm} 回直接進入L相電源插座端，經供電系統L1及中性點，透過N相回至直流馬達另一電刷端，此時電源插座端就會產生雜訊電壓干擾。因此X電容只能防制差模雜訊電流，它只能抑制電源插座端的傳導性電壓干擾，對共模雜訊電流完全無效，自然對輻射功率干擾抑制無效。

3.3.2 差模電感LX

為2PIN元件，可安裝在L相或N相上，或同時兩相都安裝，從差模兩字看，此元件似乎僅能抑制差模雜訊電流，沒辦法抑制共模雜訊電流，因此對功率輻射問題應該起不了作用。事實圖3顯示差模雜訊電流 I_{dm} 與共模雜訊電流 $I_{cm1-1}, -2$ 都有通過它，加上電感遇高頻雜訊電流通過形成高電抗，結果就是阻礙 I_{dm} 、 $I_{cm1-1}, -2$ 的通過，導致差模雜訊電流與共模雜訊電流衰減，共模雜訊電流更被衰減成 I_{cm1-1}'' 、 $-2''$ ，使得接地共模電壓 V_{cm1} 變小，功率輻射量降低，具有同時抑制傳導電壓干擾與輻射功率干擾的特性。

3.3.3 共模線圈LY

為4PIN元件，由兩組互為反向線圈共同纏繞錳鋅磁體形成，共模線圈對共模雜訊電流抑制有效，對差模雜訊電流無效，這是因為差模雜訊經過共模線圈時，磁通互相抵消使電抗變零，但共模雜訊電流經過時，卻因磁通增強兩倍使電抗變兩倍(圖3小圖)。當共模雜訊電流 $I_{cm1-1}, -2$ 通過時，共模雜訊電流被衰減成 I_{cm1-1}' 、 $-2'$ ，最終使導地的共模電壓 V_{cm1} 變小，功率輻射量降低。

3.3.4 Y電容CY

Y電容通常一腳跨線路L相或N相，另一腳錫焊在馬達金屬殼，馬達金屬殼再以接地線與產品金屬外殼共同接地以洩放共模雜訊電流 $I_{cm2-1}, -2$ 。從圖3觀察，它可以分攤流往L與N相的共模雜訊電流量，既然可以降低LN相流動的共模雜訊電流量，這代表其可減少傳導電壓干擾，加上其使接地阻抗變小(V_{cm2} 及 V_{cm2} 變小)。

3.3.5 磁芯類

磁芯類如磁環、磁扣及磁珠等都是以產品電源線同向纏繞，LN相上差模雜訊電流因互為反向，故在磁抗類上產生的磁通互相抵消使電抗變成零，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，電抗變為兩倍，可衰減通過的共模雜訊電流，故可降低接地共模電壓 V_{cm1} ，功率輻射干擾量因而降低，對輻射有效，對傳導無效。

3.3.6 電磁干擾濾波器

圖3虛框內CX、LX、LY、CY的組合就是電磁干擾濾波器標準電路，其設計原理不是本文要探討的，濾波器的轉折頻率設計公式如式1，可用來抑制嚴重的傳導性電壓干擾，本身並無輻射功率干擾抑制的特性，輻射功率干擾抑制是藉助上述個別組件抑制特性來完成，因此當投入電磁干擾濾波器後仍無法將產品的輻射干擾抑制下來時，於產品電源線纏繞磁芯類元件或者於干擾源附近設置磁珠，都是最後手段。

$$f_{dm} = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi\sqrt{L_{x+y}C_x}} \quad (1)$$

綜合上述，推論傳導電壓干擾抑制適用對策元件無效者為共模線圈及磁芯類；輻射功率干擾抑制適用對策元件無效者僅X電容。

4.各對策元件對傳導性電壓干擾抑制特性驗證

4.1 傳導性電壓干擾源製作與電壓干擾量測

將300W交流串激馬達掛上兩斤鐵塊(相當果汁機裝滿1000c.c的水)，接著將市電110V透過二極體作半波整流，模擬果汁機實際運轉，依CNS13783-1規定復測點進行傳導電壓干擾量測如圖4及表2。

4.2各對策元件對傳導性電壓干擾抑制量測及驗證

分別投入共模線圈及磁芯類證明其無效，其它對策元件僅投入X電容及Y電容作參考，量測結果如圖4及表2。



圖4 傳導性電壓干擾量測及投入對策元件選用規格

5.各對策元件對輻射性功率干擾抑制特性驗證

5.1 輻射性干擾源選用與輻射性功率干擾量測

為增強輻射性干擾量，改選干擾源為110V 30W直流馬達驅動之電動按摩枕，量測時先清除原EMI對策元件設計，以量測原始輻射功率值如圖5及表3。



圖5 電動按摩枕本體、內部干擾源、拔除對策元件後作功率輻射

5.2 各對策元件對干擾源輻射抑制量測及驗證

投入X電容證明其無效，其它對策元件投入差模電感、共模電感、磁環作參考，量測結果如圖6及表3。



圖6 對策元件插件(1:拔除原先對策 2:X電容 3:差模電感 4:共模電感 5:磁環)

6. 結論

本文先依共模雜訊與差模雜訊的定義推論其在產品內部的流動途徑，再以電容遇高頻雜訊呈低阻抗導通，電感、線圈、磁芯類等遇高頻雜訊呈高電抗衰減雜訊特性，推論各對策元件在面對這兩種雜訊通過的阻擋程度，藉以推論其抑制傳導與輻射成效，再以實驗驗證推論的正當性，可釐清長久以來電磁干擾工程師選擇對策元件執行EMI抑制的混亂觀念，尤其共模及差模雜訊流向、傳導性電壓干擾、輻射性功率干擾等物理含意都作了解釋，是筆者延續十幾年來從事低頻諧波(Harmonic)至高頻諧波干擾抑制工作經驗分享，實驗過程雖沒採用雜訊分離器先將綜合雜訊分離為共模雜訊及差模雜訊，再分別進行投入對策元件成效量測，但無損最後結果，畢竟有些對策元件對差模雜訊就是無效，有些對策元件對共模雜訊就是無效，從這兩種雜訊的綜合干擾量衰減還是可判定對策元件抑制特性。另拉至麵包板的金屬線過長，加上導線及元件金屬腳有電感效應，及元件纏繞線圈間存在寄生電容，使量測結果會有誤差問題，不管如何，各對策元件投入均在相同狀況進行，傳導與輻射抑制復測量測數據僅提供參考。對於無雜訊分離器及不想採用濾波器設計原理或電腦輔助者，提供另一種解決電機電子產品電磁干擾的抑制方式，畢竟濾波器設計需投入設備經費與軟體設施，最後還是會面臨設計值找不到規格品的窘境，何況電磁干擾濾波器主要用途是用來作傳導電壓干擾抑制，若最後無法完全抑制輻射性功率干擾，還是得變更組件種類的選擇如差模電感全部改成共模線圈，或是加串磁芯類回歸到各對策元件的抑制特性上。

表2 各種對策元件投入後，對傳導電壓干擾的抑制成效比較(依CNS13783-1規定複測11點)

複測點	複測頻率 MHz/ dB	二極體+馬達2斤鐵片		X電容 0.47uF		Y4700pF x 2 (含0.47uF)		共模電感 0.7mH (含0.47uF)		共模電感 4.5mH (含0.47uF)		共模電感 8.0mH (含X0.47uF)		磁珠 5Teslax2(含X0.47uF)		磁環T-39 x1 (含0.47uF)		CNS13783-1 傳導電壓干 擾管制值	
		QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
1	0.16	81.9	64.4	43.0	32.3	42.9	30.6	43.0	33.2	43.1	33.5	43.5	33.6	43.4	33.2	43.4	33.1	65.5	58.3
2	0.24	81.5	64.6	37.4	27.6	35.8	22.6	38.9	29.0	38.7	28.8	38.6	28.8	38.9	28.8	36.8	27.5	62.1	53.9
3	0.55	70.1	53.3	27.4	15.2	22.8	3.7	29.0	16.6	28.0	15.1	27.9	15.5	28.7	16.1	26.9	15.0	56.0	46.0
4	1	66.5	49.4	28.4	14.6	25.7	10.4	28.0	15.2	26.4	14.6	26.9	14.7	27.7	14.9	28.2	15.1	56.0	46.0
5	1.4	67.5	50.6	31.3	17.4	28.3	13.6	30.6	17.8	29.6	17.6	31.1	18.2	30.3	17.4	30.9	17.8	56.0	46.0
6	2	62.3	46.3	26.0	14.2	29.7	15.3	26.0	15.2	27.3	16.0	27.9	16.9	24.8	14.6	25.6	14.5	56.0	46.0
7	3.5	65.5	47.5	33.8	20.1	40.6	25.6	33.9	20.0	48.2	32.9	36.1	23.1	33.0	19.8	33.9	20.2	56.0	46.0
8	6	73.9	52.6	45.3	28.8	34.5	18.2	47.7	31.2	35.2	19.1	26.1	11.2	45.4	29.2	45.6	28.8	60.0	50.0
9	10	77.3	53.4	51.2	34.8	29.2	14.4	62.3	43.3	27.1	12.7	35.3	18.5	52.9	35.3	51.8	34.7	60.0	50.0
10	22	74.6	51.6	59.2	40.6	42.5	24.1	42.7	25.1	44.0	25.7	52.0	34.3	54.5	35.8	59.9	41.1	60.0	50.0
11	30	67.5	45.2	53.3	35.3	49.5	31.9	40.5	23.9	55.6	35.9	40.9	23.8	53.1	34.2	53.7	35.5	60.0	50.0

表3 各對策元件規格投入後對輻射干擾抑制抑制成效比較(依CNS13783-1規定複測8點)

復測點/單位：dB(pW)	30MHZ		45MHZ		65MHZ		90MHz		150MHz		180MHz		220MHz		300MHz	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
(0)拔除所有對策元件	50.1	18.1	50.7	17.4	59.3	23.4	67.9	30.0	55.9	18.3	54.1	17.4	51.7	16.3	48.3	13.2
(1)僅投X電容0.1uF	48.2	18.5	49.7	17.5	59.2	23.5	66.9	32.0	55.1	21.5	54.0	19.9	49.3	16.9	48.6	14.1
(2)僅投X電容0.47uF	51.2	19.2	49.1	17.6	58.8	23.8	67.0	31.8	55.4	19.0	53.8	19.3	50.3	17.5	51.4	17.9
(3)僅投X電容1.0uF	49.7	17.7	51.3	17.9	60.7	23.6	66.3	31.4	55.9	20.8	55.0	20.1	49.4	16.8	49.5	17.8
(4)僅投X電容3.3uF	51.3	17.8	50.3	17.4	60.8	23.4	66.1	30.1	55.8	18.2	54.5	18.1	49.0	15.7	54.6	20.3
(5)僅投差模電感1mHx2	46.2	16.7	47.9	17.4	55.2	21.5	63.5	30.5	49.6	16.0	54.1	17.3	50.4	15.3	54.5	19.0
(6)僅投差模電感2mHx2	45.6	17.5	47.4	15.9	54.9	20.7	60.0	26.8	52.6	15.7	51.3	16.3	46.6	12.7	54.5	18.5
(7)僅投差模電感5mHx2	44.6	14.9	43.4	11.8	49.1	13.7	56.9	21.2	48.6	16.8	46.4	16.4	49.1	16.7	47.7	14.5
(8)僅投共模電感1.5mH	45.3	16.1	46.6	15.9	50.8	19.0	59.7	26.3	49.4	14.9	53.5	17.2	52.0	15.3	42.9	7.6
(9)僅投共模電感20mH	45.8	16.4	47.9	16.3	53.9	19.5	61.4	25.4	50.2	14.3	51.5	15.7	50.9	14.3	39.1	6.3
(10)僅投共模電感40mH	44.7	16.1	46.5	15.9	54.9	20.6	58.7	24.9	54.6	17.6	53.1	15.6	51.0	15.6	46.7	9.6
(11)僅投磁環(RH22x28x14)	45.8	17.0	46.2	15.1	52.5	19.6	56.4	24.0	53.4	17.3	55.2	19.5	52.2	15.7	36.3	4.6
(12)僅投磁環(RH17x28x9)	49.7	19.1	45.7	16.1	50.8	18.6	55.7	22.8	50.4	16.1	51.9	17.2	47.5	12.4	44.9	9.2
(13)僅投磁環(RH16x17x9)	48.6	18.6	46.6	16.5	51.0	18.9	53.3	21.3	48.9	13.7	50.6	16.5	46.7	11.9	45.9	11.3
輻射管制值：	45.0	35.0	45.6	35.6	46.3	36.3	47.2	37.2	49.4	39.4	50.6	40.6	52.0	42.0	55.0	45.0

文獻參考(Reference)

1. 林昆平著, "電磁干擾濾波器接地對國家標準CNS 3765及CNS 13783-1影響", 電機月刊, 第184期。
2. 林昆平著, "電磁干擾抑制對策元件XY電容、共模電感、磁珠、磁環研究", 檢驗雜誌, 第121期。
3. 林昆平著, "電磁干擾抑制對策元件X電容及差模電感研究", 檢驗雜誌, 第120期。
4. 林昆平著, "電磁干擾抑制對策元件Y電容及其安規", 全國認證基金會TAF, 2008論文, 板橋。
5. 林昆平著, "電磁干擾濾波器設計原理與抑制特性研究", 檢驗雜誌, 第198期。
6. 林昆平著, "X電容與差模電感應用於家電產品中作傳導性電磁干擾抑制特性研究", 全國認證基金會TAF, 2008論文, 板橋。
7. 林昆平著, "Y電容的安規洩漏電流限制及EMI抑制特性探討", 全國認證基金會TAF, 2008論文, 板橋。
8. 林昆平著, "捕蚊燈的高低頻諧波電磁干擾特性研究", 檢驗雜誌, 第194期。
9. 林昆平著, "市售省電燈泡EMI問題分析", 檢驗雜誌, 第173期。
10. 林昆平著, "檯燈用交流電子式安定器之功因、諧波及能源損耗研究", 檢驗雜誌, 第132期。
11. 林昆平著, "國家標準功因一詞重新定義之重要性論述", 台灣經濟研究院全國電力徵文比賽社會組第一名作品, 102年。
12. 林昆平著, "低頻電磁干擾1 電機電子產品諧波電流對CNS-1179電容器衝擊", 檢驗雜誌, 第55期。
13. 林昆平著, "低頻電磁干擾2 電機電子產品共振問題探討", 檢驗雜誌, 第57期。
14. 林昆平著, "低頻電磁干擾3 家用照明燈具雜訊電流之量測與調查", 能源季刊, 36卷, 第4期。
15. 林昆平著, "低頻電磁干擾4 電力整流器低諧波輸出控制", 機電現場, 第23期。
16. 林昆平著, "低頻電磁干擾5 雷擊突波之電磁干擾防治對策", 機電現場, 第19期。
17. 林昆平著, "低頻電磁干擾6 電力電纜電磁場輻射防治對策", 機電現場, 第18期。
18. 林昆平著, "電力系統諧波干擾1 工業配電諧波問題之改善", 台電月刊, 第567期。
19. 林昆平著, "電力系統諧波干擾2 談台電諧波管制政策之我見", 台電月刊, 第608期。
20. 林昆平著, "電力系統諧波干擾3 以相移操作技術解決電力整流器諧波問題", 台電月刊, 第580期。
21. 林昆平著, "電力系統諧波干擾4 從12吋晶元製造廠談諧波抑制及評估技術", 電機技師期刊, 第71期。
22. 林昆平著, "電力系統諧波干擾5 低壓配電系統串接6%電抗功因改善電容器規格品之研製", 台電工程月刊, 第623期。
23. 林昆平著, "電力系統諧波干擾6 低壓供電系統抑制諧波兼功因改善濾波器設計程序之建立", 台電月刊, 第624期。
24. 林昆平著, "電力系統諧波干擾7 一個串6%電抗器功因改善電容器組引起的諧波案例探討", 電機技師期刊, 第79期。
25. 林昆平著, "電力系統諧波干擾8 偏移系統諧振點以降低諧波失真技術探討", 電機技師期刊, 第92期。
26. CNS 13783-1國家標準, "家電產品電磁相容", 93年版。
27. CNS 14934-2國家標準, "家電產品電磁相容第二部諧波管制", 103年版。
28. Lin, Kun-Ping, "An Advanced Computer Code For Single-Tuned Harmonic Filter Design", IEEE Transation on Industry Application, Vol. 34, No. 4, July/Aug, 1998, PP. 640-648.