

CNS13783-1 家電產品電磁干擾抑制對策研究

台南分局 課長蕭水來、技正林昆平、技士吳福正

前言

CNS13783-1 是國內管制家電產品高頻電磁干擾依據，管制頻帶介於 150kHz~300 MHz，標準開宗明義：「本標準適用於產品由電動機、切換式裝置、調節式裝置組成的相關電器產品」，字眼不難懂，卻有很大的含意。像是家電類馬達，常見有感應馬達、直流馬達、交直流串激馬達，在不加任何控制基板下，只有大到 1000W 的感應馬達(非變頻式窗型冷氣機及工業電扇)，不加任何對策元件，都會通過測試；直流馬達與串激馬達卻是小到 25W，都無法通過測試，為什麼？因為高頻電磁干擾只與產品衍生諧波量有關，而諧波被定義為大於基頻 60Hz 以上不同頻率的週期性弦波函數。馬達類由於鐵芯磁滯現象會產生諧波，但主要集中於 3 次諧波的低頻段，並未伸達高頻段；直流馬達與串激馬達卻是碳刷與換向片結構的火花，有高頻突波問題，突波數與換向片數相同且週期性出現，因此電磁干擾特別嚴重，不加對策元件，幾乎無法通過標準。

家電產品近來加入半導體控制基板，以方便消費者使用，半導體非線性特性會衍生一堆高低頻諧波，頻段伸及 10MHz 附近，例如電動類中串激馬達作弱速控制的二極體，直流馬達的前置橋式電路，再如電熱類中電暖器的半功輸出二極體，捕蚊燈的倍壓電路。由於電熱類的電熱管都是線性電阻構成，本身無任何諧波產生，因此整個家電產品以 (直流馬達+橋式整流電路) 與 (串激馬達+二極體作弱速控制) 兩種型態，為最嚴重干擾源。

X 電容、Y 電容、共差模電感、磁珠及磁環是高頻電磁干擾常見的抑制元件，但盲目使用，雖能符合標準，卻也造成額外功率消耗與成本上升，廠商競爭力下滑。本文試著分析這些元件抑制頻帶特性，探討其抑制效能，以提供認可實驗室及廠商可以遵循的法則，干擾源採用 300W 交直流兩用串激馬達，並負重 2 斤鐵片(1000cc 水)，以符合實際使用狀況，為了呈現最嚴重電磁干擾現象，我們將模擬基板加入二極體作弱速控制，傳導解決策略仍以具有降低 150KHz~10MHz 頻段雜訊的 X 電容為之，至於 10MHz~30MHz 及 30MHz~300MHz 較高頻段傳導及輻射干擾，則嘗試採用 Y 電容、共模電感、磁珠、磁環等元件來作對策。圖 1 顯示採用的對策元件，包括 X 電容 1 只(0.47uF)、Y 電容 2 只(4700 pF)、共模電感三種規格(0.7mH、4.5mH、8mH)、磁珠 2 只(5 Tesla)、磁環 1 只(T-39 型)，實地投入這些對策元件，研究其抑制成效。



圖 1 傳導及輻射抑制對策元件

一、傳導電磁干擾抑制

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, 模擬類似果汁機弱速運轉, 依 CNS13783-1 規定進行傳導及輻射掃圖及復測點數據量測, 接著投入 X 電容進行抑制, 將 0.47uF X 電容插在麵包板上, 並置於二極體交流側電源線 LN 相間如圖 2, 表 1~表 2 則為改善前後傳導及輻射掃圖, 表 3 為 X 電容抑制前後數據量測整理。從表 3 可發現 X 電容的抑制頻帶, 傳導部分在 150KHz~10MHz 已符合管制標準, 10MHz~ 30MHz 則略超過管制邊緣; 輻射部分在 30MHz~90MHz 已符合管制標準, 但降幅有限, 此等現象均符合 X 電容特性, 因此增加其它對策元件, 以補強 10MHz~30MHz 傳導頻段及 30MHz~90MHz 輻射頻段干擾, 是必要的。



圖 2(A) 傳導測試情形

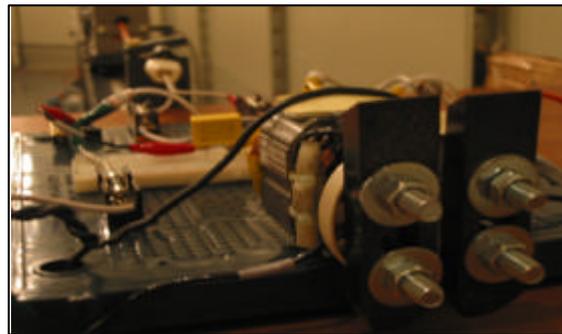


圖 2(B) 輻射測試情形

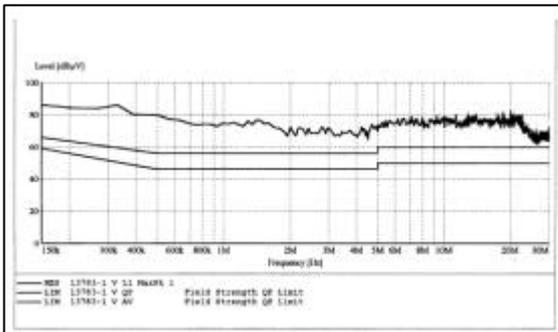


表 1(A) 傳導干擾(改善前)

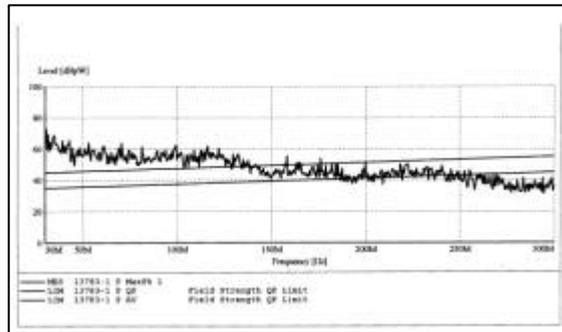


表 1(B) 輻射干擾(改善前)

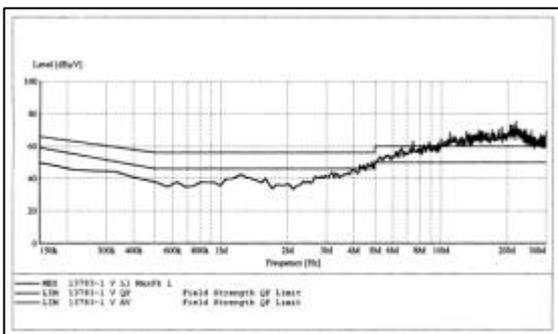


表 2(A) 傳導抑制結果(X=0.47UF)

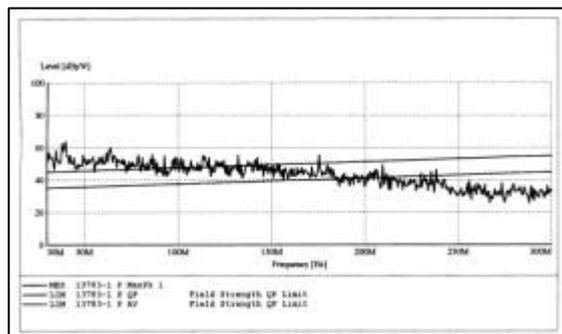


表 2(B) 輻射抑制結果(X=0.47UF)

表 3 0.47uF X 電容投入前後，傳導及輻射抑制結果

複測 頻率	二極體+馬達 +2 斤鐵片		加 X 電容 0.47uF		傳導電壓干擾 管制標準		複測 頻率	二極體+馬達 +2 斤鐵片		加 X 電容 0.47uF		輻射功率干擾 管制標準	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV		MHz/dB	QP	AV	QP	AV	QP
0.16	81.9	64.4	43.0	32.3	65.5	58.3	30	52.1	29.5	41.0	22.4	45.0	35.0
0.24	81.5	64.6	37.4	27.6	62.1	53.9	45	47.2	19.1	35.8	14.6	45.6	35.6
0.55	70.1	53.3	27.4	15.2	56.0	46.0	65	46.0	17.5	38.6	15.6	46.3	36.3
1	66.5	49.4	28.4	14.6	56.0	46.0	90	44.9	17.6	36.9	11.1	47.2	37.2
1.4	67.5	50.6	31.3	17.4	56.0	46.0	150	31.0	10.2	31.4	7.3	49.4	39.4
2	62.3	46.3	26.0	14.2	56.0	46.0	180	32.9	8.1	28.2	7.9	50.6	40.6
3.5	65.5	47.5	33.8	20.1	56.0	46.0	220	31.6	5.5	25.5	4.0	52.0	42.0
6	73.9	52.6	45.3	28.8	60.0	50.0	300	24.6	2.2	21.1	2.7	55.0	45.0
10	77.3	53.4	51.2	34.8	60.0	50.0							
22	74.6	51.6	59.2	40.6	60.0	50.0							
30	67.5	45.2	53.3	35.3	60.0	50.0							

二、10MHz~100MHz 之傳導及輻射抑制

2.1 Y 電容的應用

Y 電容一般為陶磁電容，對 10MHz 以後的高頻傳導及輻射，有不錯的抑制效果，其電容值越大，陷波越深，但頻段範圍仍有所限制。兩只 Y 電容需接於電源線間，再共同接地至馬達殼，一旦毀損，易造成接地短路事故，危及消費者安全，因此洩漏電流需加以限制，圖 3 描述此現象，以 II 類家電為例，CNS 3765 限制其洩漏電流不得大於 0.25 mA，因此式 1~式 2 可以解釋為何本文採用 4700pF 的理由，至於傳導及輻射抑制成效掃圖、複測點量測、曲線評比，分別歸納在表 8~表 12，以方便與其它對策元件成效作比較，有關 Y 電容安裝情形詳圖 4。

$$I_{leakage} = |j\omega C_y V_{in}| = 2\pi f C_y V_{in} \quad (1)$$

$$C_y \leq \frac{I_{leakage}}{2\pi f V_{in}} = \frac{0.25 \text{ mA}}{2\pi (60)(110 \text{ V})} = 6028 \text{ pF} \quad (2)$$

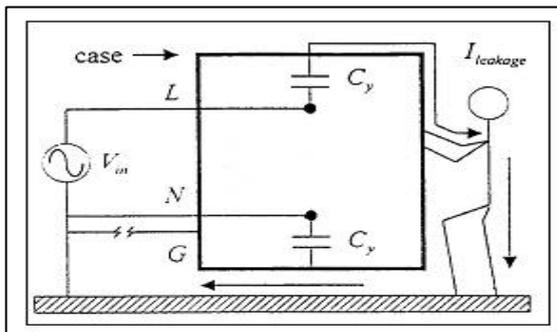


圖 3 Y 電容造成洩漏電流途徑

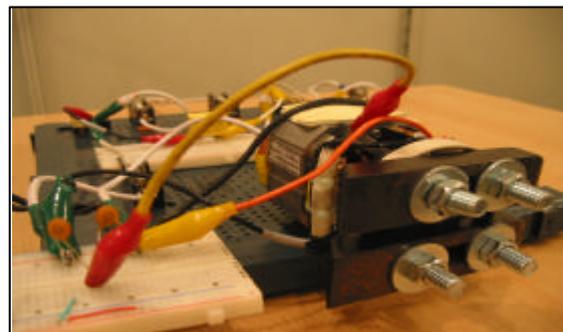


圖 4 Y 電容的安置測試情形

2.2 共模電感的應用

圖 5 顯示共模電感的繞法，由兩組繞法同向的線圈組成，當共模雜訊電流通過時，導入鐵芯的磁場會有加乘效果，故通過任一組線圈的磁通量，將增為兩倍，使每一繞組產生的電感值變成兩倍，大大增加阻隔較高頻雜訊能力，但共模電感鐵芯有磁飽合問題，因此其抑制效果也有頻帶限制，加太大不一定有用且成本也會上升，考量的還是其頻率阻抗特性，本實驗採用 0.7mH 4.5mH 8mH 之共模電感，進行 10MHz~100MHz 頻段的降低，由表 4 觀察，型號 ASC-1403 之 0.7mH 電感阻抗，在 10MHz 及 100MHz 分別為 1000 與 200，均較 4.5mH 及 8mH 來得高，會有較好的抑制效果。至於各電感投入後的抑制成效掃圖、複測點量測、曲線評比，同 Y 電容被歸納在表 8~表 12，圖 6 顯示安裝在馬達輸入端情形。

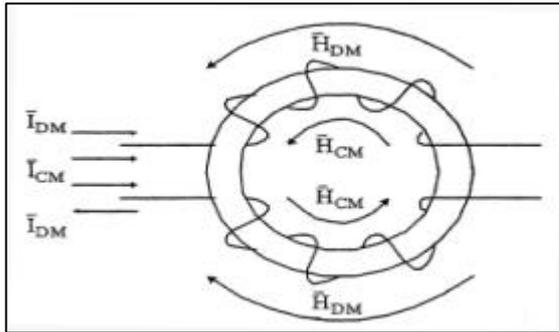


圖 5 共模電感纏繞方式

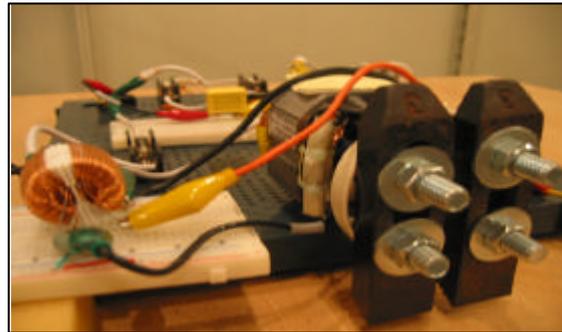


圖 6 共模電感的安置情形

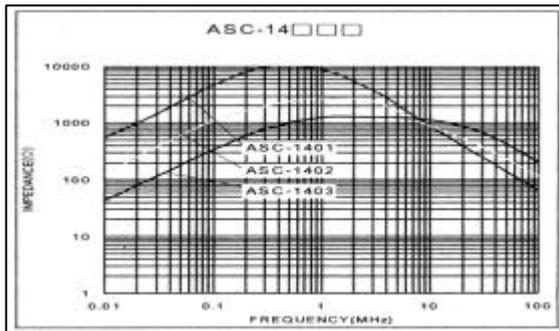


表 4(A) 0.7mH 阻抗頻率圖(ASC-1403)

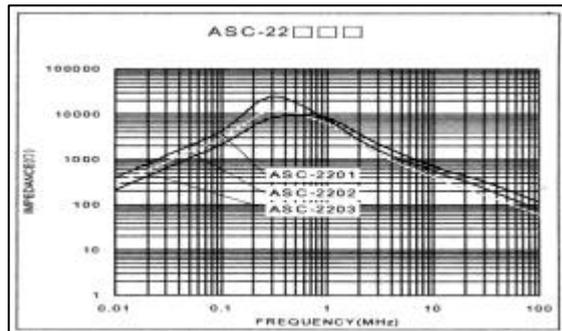


表 4(B) 4.5mH 阻抗頻率圖(ASC-2201)

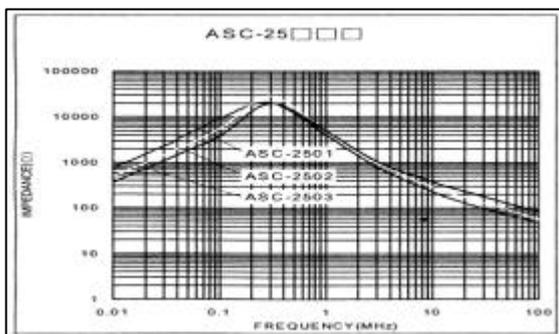


表 4(C) 8.mH 阻抗頻率圖(ASC-2501)

2.3 磁環的應用

磁環材料由錳鋅鐵氧磁體或鎳鋅鐵氧磁體構成，由於具有高導磁率，高飽和磁化量及高電阻率等優良的電磁特性，常用來作較高頻雜訊的抑制，圖 7 及圖 8 顯示磁環結構、特性及安裝於本實驗電源線情形。由於材質特性，磁環高阻抗特性幾乎集中在 100MHz 附近，並於特定頻寬，呈現與電線纏繞圈數平方成正比現象，實際應用，除考慮電線穿越及繞匝可行性外，廠商提供的阻抗頻率圖也很重要，以免達不到預期效果。表 5 為安星電子公司提供的部分阻抗頻率圖，試驗時以 T-39 型進行測試，其抑制成效之掃圖、複測點量測、曲線評比，也被歸納在，表 8~表 12，以方便比較。

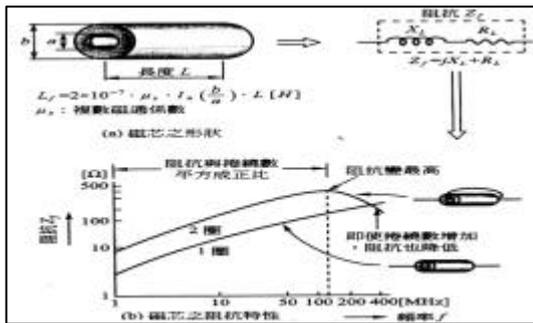


圖 7 磁環結構與特性

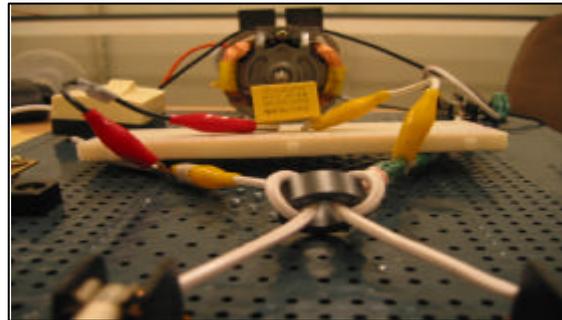


圖 8 磁環安裝於電源線情形

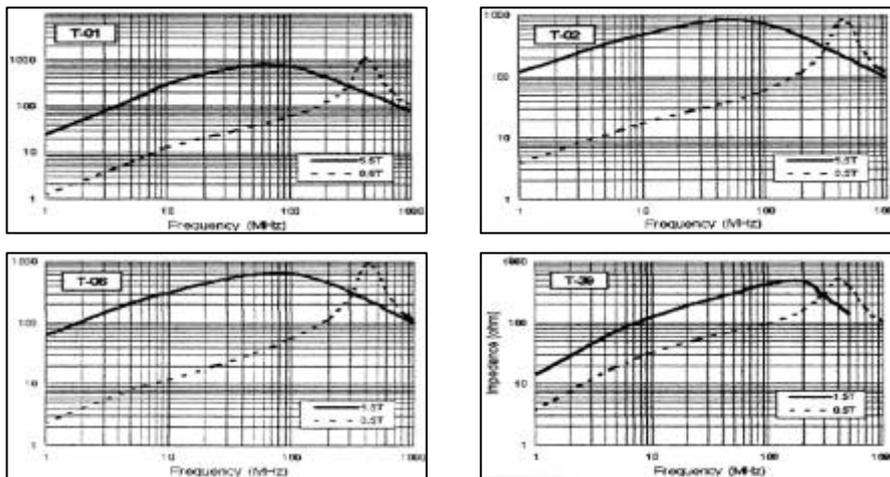


表 5 磁環的頻率阻抗特性圖

2.4、磁珠的應用

磁珠正確名稱為積層晶片磁珠(Multi-layer Chip Beads)，材料為鐵氧磁體系列，是以金屬線直接穿孔繞匝於磁體，孔洞空隙小，漏磁低，具抑制數拾 MHz 至 500MHz 較高頻雜訊能力，金屬線因較承受不了大電流，一般被用在電子控制基板上，為了解其特性，本實驗勉強安裝在馬達輸入端，由於負載電流大，只能選擇具 2A，型號 ZF-5 之較低阻抗磁珠進行試驗，其安裝、阻抗頻率、特性結構，分別描述在圖 9、表 6、表 7。抑制成效掃圖、複測點量測、曲線評比，同 Y 電容被歸納在，表 8~表 12。

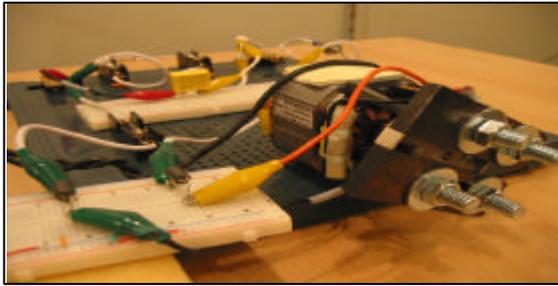


圖 9 磁珠安裝情形

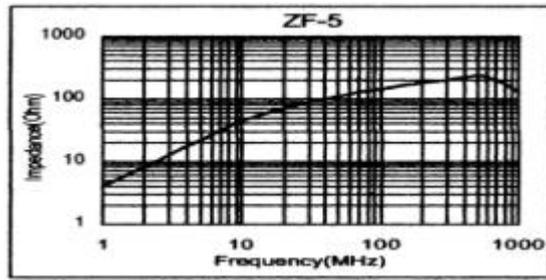


表 6 磁珠阻抗頻率圖(ZF-5)

ITEM		Typical Impedance (ohm)		
		25 MHz	100 MHz	
	L92-R6H-2.5T	712	593	A:6.0 C:0.8 D:10.0
	D4-R6H-2.5T	541	832	
	M4-R6H-2.5T	308	1032	
	L92-R6H-3T	975	634	
	D4-R6H-3T	667	804	
	M4-R6H-3T	402	993	

表 7 磁珠結構及特性

三、對策元件抑制成效評比

根據第一節至第二節所有對策元件描述，表 8~表 12 電磁干擾抑制成效，正可以用來觀測這些對策元件投入後的特性分析，以下仍然就傳導及輻射兩部分來探討。

3.1 傳導部分(表 8~表 10)

- 150KHz~10MHz 頻帶：X 電容投入後，準峰值及平均值均已滿足管制標準，符合 X 電容特性，當使用更大容量之交流串激馬達(例如 750 W)，則可選用更大的 X 電容，應會有相同特徵。
- 10MHz~30MHz 頻帶：參考表 10 曲線，可觀測出在第 9 個複測點之後(即 10MHz 以後)，遠低於 NO.2 曲線者，只有四條，分別是 NO.3 NO.4 NO.5 NO.6(即 Y 電容 共模電感 0.7mH 4.5mH、8mH)，在考慮成本及抑制效果，仍以 Y 電容在此頻段具有較佳效果。一個現象值得探討，為什麼有些準峰值與平均值會跳得比 NO.2 曲線高呢?不考慮量測誤差(筆者每一點均 TRIP60 秒，才決定量測數據)，事實上，Y 電容除了本身是電容外，金屬接腳是有電感效應的，共模電感除本身是電感外，纏繞線圈間則有寄生電容，因此這兩個元件本身均具諧振頻率點，當此頻率點往低頻偏移後，即造成靠近諧振點的雜訊電流被放大的現象，使抑制效果大打折扣。因此，Y 電容金屬接腳應儘量剪短再接入，共模電感的寄生電容，本來就除不掉，雖然有抑制效果，終究無法完全發揮，應用上成本也會上升。
- 使用高阻抗磁珠，電流會被限制，因此不適合應用在家電上，本例由於使用低阻抗磁珠，10MHz~30MHz 頻段幾乎沒什抑制效果。
- 依型號 T-39 磁環之阻抗頻率特性圖，同磁珠一樣在 10MHz~30MHz 頻帶，仍處於低阻抗階段，效果不彰。
- 觀測廠商所提供磁環與磁珠之阻抗頻率圖，高阻抗大部分在 100MHz 附近呈現，此兩種元件比較適用在 30MHz 過後的輻射頻段。

3.2 輻射部分(表 8 及表 11~表 12)

- 30MHz~90MHz 頻帶：參考表 12 曲線，可觀測出在第 4 個複測點之前(即 90MHz 以前)，輻射干擾準峰值接近管制值，抑制成效以曲線 NO.4 較佳，NO.8 居次(即共模電感 0.7mH 最佳，磁環居次)，X 電容雖仍有效果，但接近管制值，磁珠仍然沒效，等同 X 電容效果。
- 90MHz~300MHz 頻帶：以 NO.8 曲線表現最好，NO.4 居次，此與磁環阻抗在 100MHz 附近，呈現高阻抗特性相符，只是二極體混合交流串激馬達特性，在此頻帶輻射干擾已不太嚴重。
- 整體而言，二極體混合交流串激馬達，在輻射干擾平均值上均不高，離管制值也有一段距離，抑制應以輻射干擾準峰值作為考量。

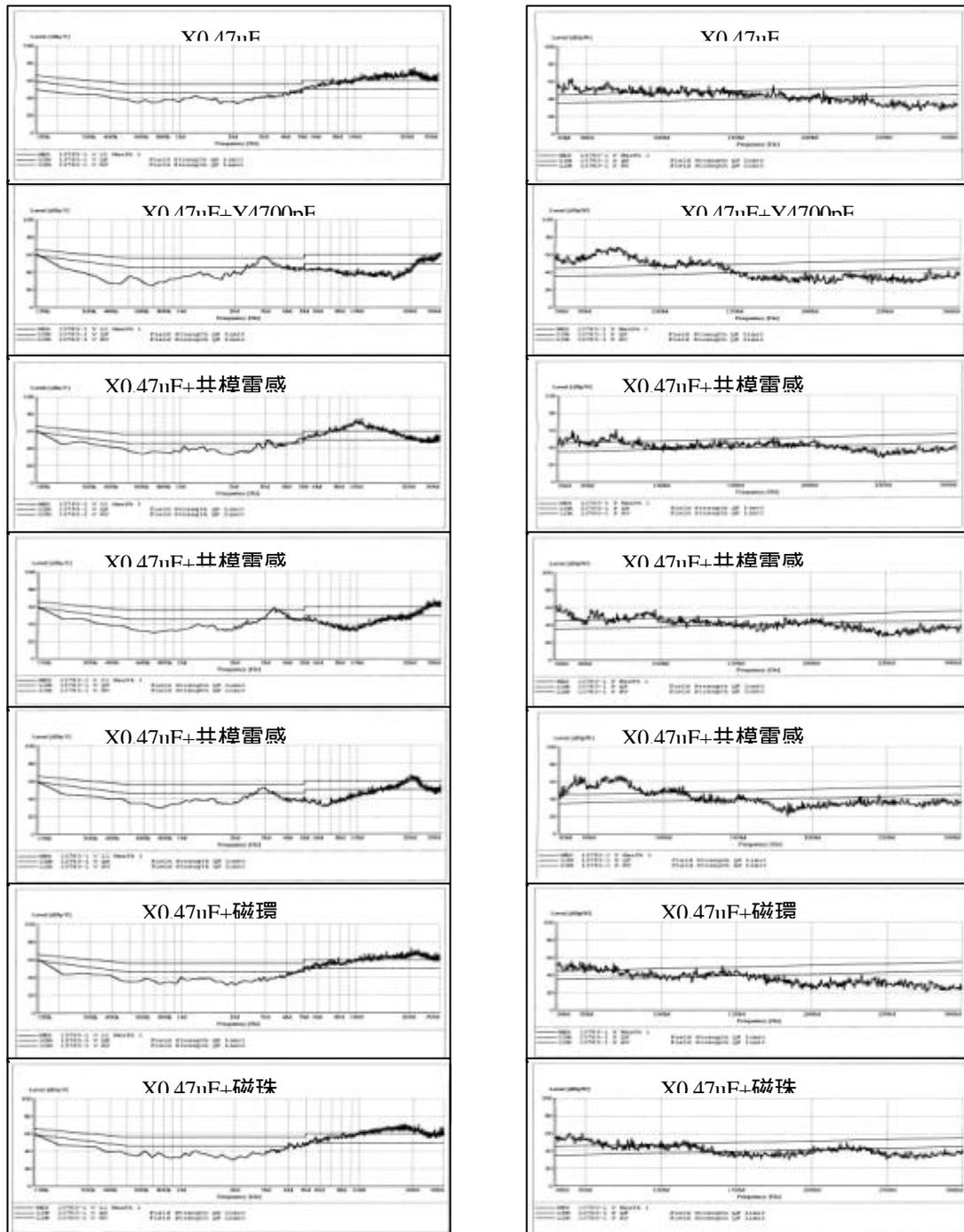


表 8 各種抑制策略之傳導抑制(左行)及輻射抑制(右行)：TRIP 120 次/每張

表 9 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	二極體+馬達 +2斤鐵片		X0.47uF		X0.47uF+ Y4700pF 2 只		X0.47uF+共模 電感 0.7mH		X0.47uF+共模 電感 4.5mH		X0.47uF+共模 電感 8.0mH		X0.47uF+磁珠 5Tesla 2 只		X0.47uF+磁環 T-39 1 只		CNS13783-1 傳導電壓干擾管 制標準	
		Hz/dB	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP
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
	曲線 編號	NO.1	NO.1	NO.2	NO.2	NO.3	NO.3	NO.4	NO.4	NO.5	NO.5	NO.6	NO.6	NO.7	NO.7	NO.8	NO.8	NO.9	NO.9

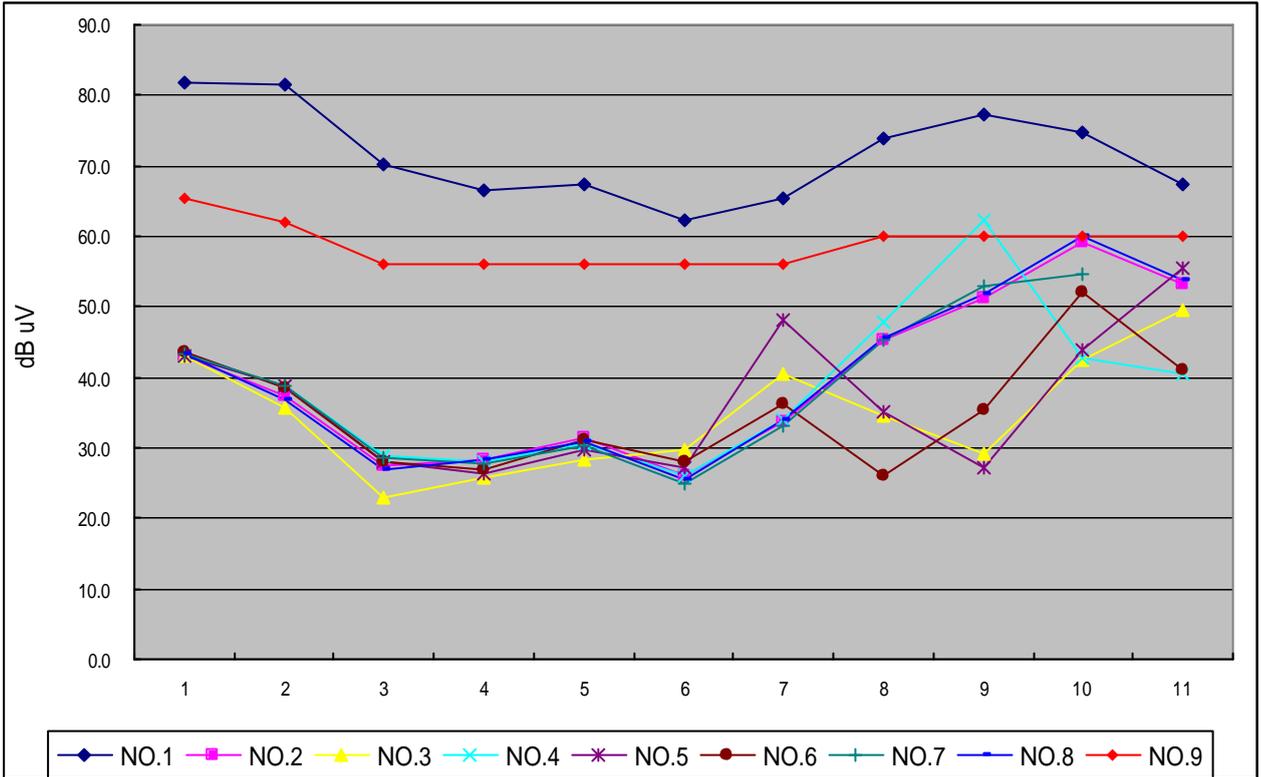


表 10(A) 各種抑制策略之傳導準峰值 Qp 曲線圖比較

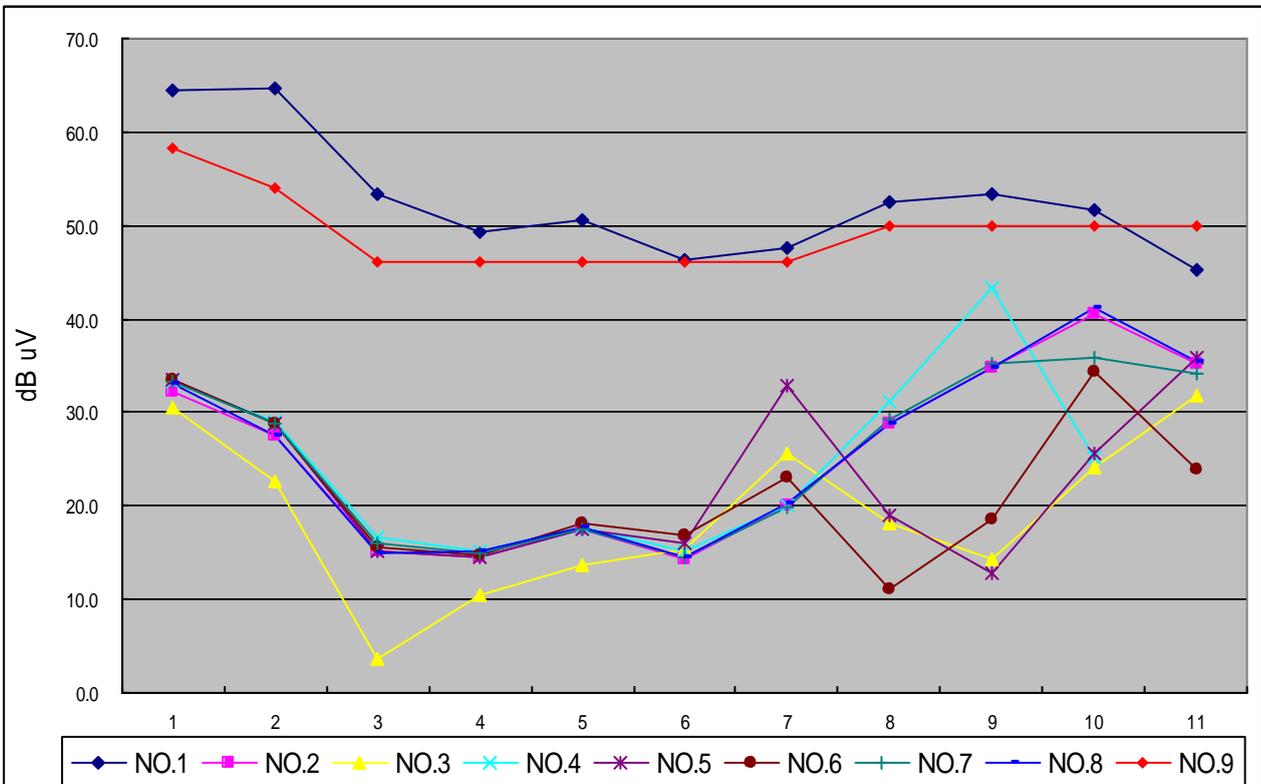


表 10(B) 各種抑制策略之傳導平均值 AV 曲線圖比較

表 11 各種對策元件投入後，對輻射功率干擾的抑制成效比較(依 CNS13783-1 規定複測 8 點)

複測點	複測頻率	二極體+馬達+2斤鐵片		X0.47uF		X0.47uF+Y4700pF 2只		X0.47uF+共模電感 0.7mH		X0.47uF+共模電感 4.5mH		X0.47uF+共模電感 8.0mH		X0.47uF+磁珠 5Tesla 2只		X0.47uF+磁環 T-39 1只		CNS13783-1 輻射功率干擾管制標準	
		QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
1	30	52.1	29.5	41.0	22.4	42.2	23.4	33.9	20.0	49.3	24.0	31.1	20.1	41.8	24.9	39.9	22.1	45.0	35.0
2	45	47.2	19.1	35.8	14.6	36.7	14.1	30.1	7.2	29.1	12.7	43.8	18.9	37.3	15.5	34.6	14.1	45.6	35.6
3	65	46.0	17.5	38.6	15.6	47.0	17.6	37.7	9.9	28.8	14.0	45.3	17.8	33.8	15.4	34.4	14.4	46.3	36.3
4	90	44.9	17.6	36.9	11.1	40.4	17.0	27.4	5.8	39.1	16.2	33.7	14.4	36.1	15.9	28.1	6.4	47.2	37.2
5	150	31.0	10.2	31.4	7.3	25.3	8.1	29.3	7.7	25.2	7.2	25.3	6.1	24.3	5.5	29.9	8.0	49.4	39.4
6	180	32.9	8.1	28.2	7.9	19.6	8.0	30.7	8.3	26.2	7.2	12.9	6.7	22.9	6.1	19.2	7.5	50.6	40.6
7	220	31.6	5.5	25.5	4.0	17.4	1.7	27.4	4.1	22.1	3.2	19.7	2.3	31.4	7.0	15.6	1.5	52.0	42.0
8	300	24.6	2.2	21.1	2.7	4.6	4.6	28.9	4.5	25.1	3.8	25.6	3.5	27.7	3.9	16.6	1.6	55.0	45.0
	曲線編號	NO.1	NO.1	NO.2	NO.2	NO.3	NO.3	NO.4	NO.4	NO.5	NO.5	NO.6	NO.6	NO.7	NO.7	NO.8	NO.8	NO.9	NO.9

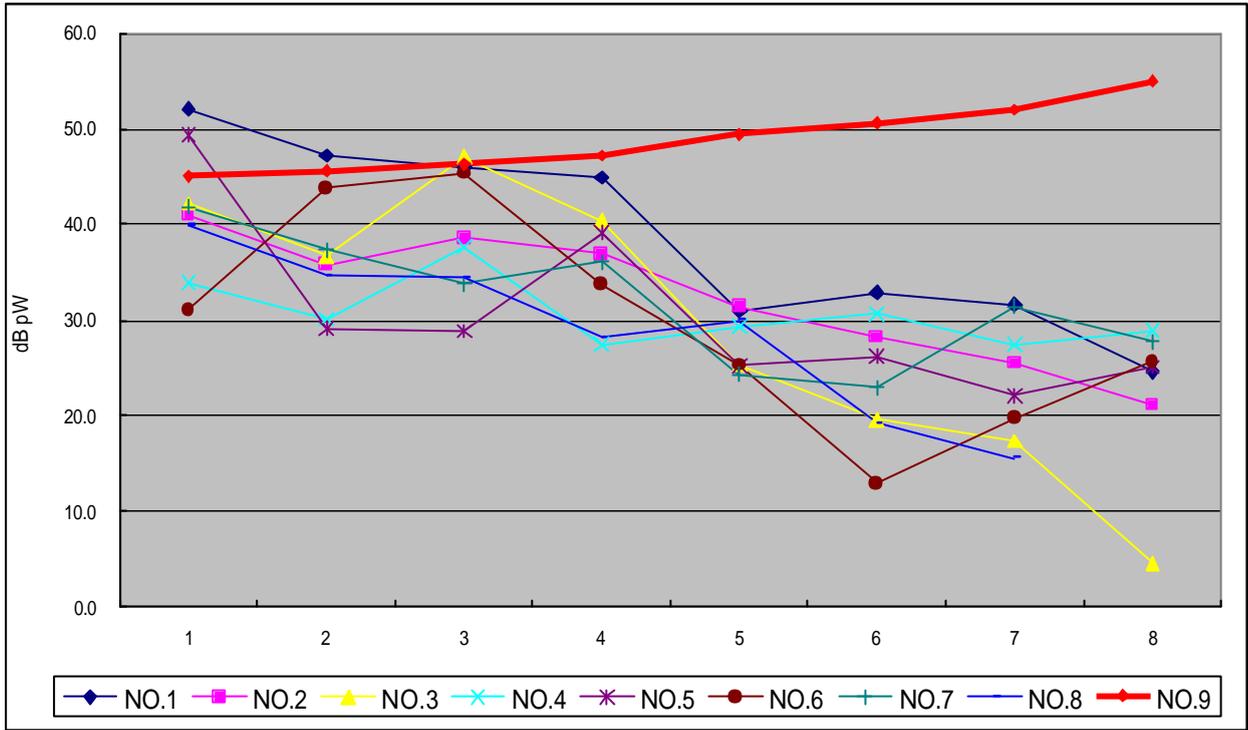


表 12(A) 各種抑制策略之輻射準峰值 Qp 曲線圖比較

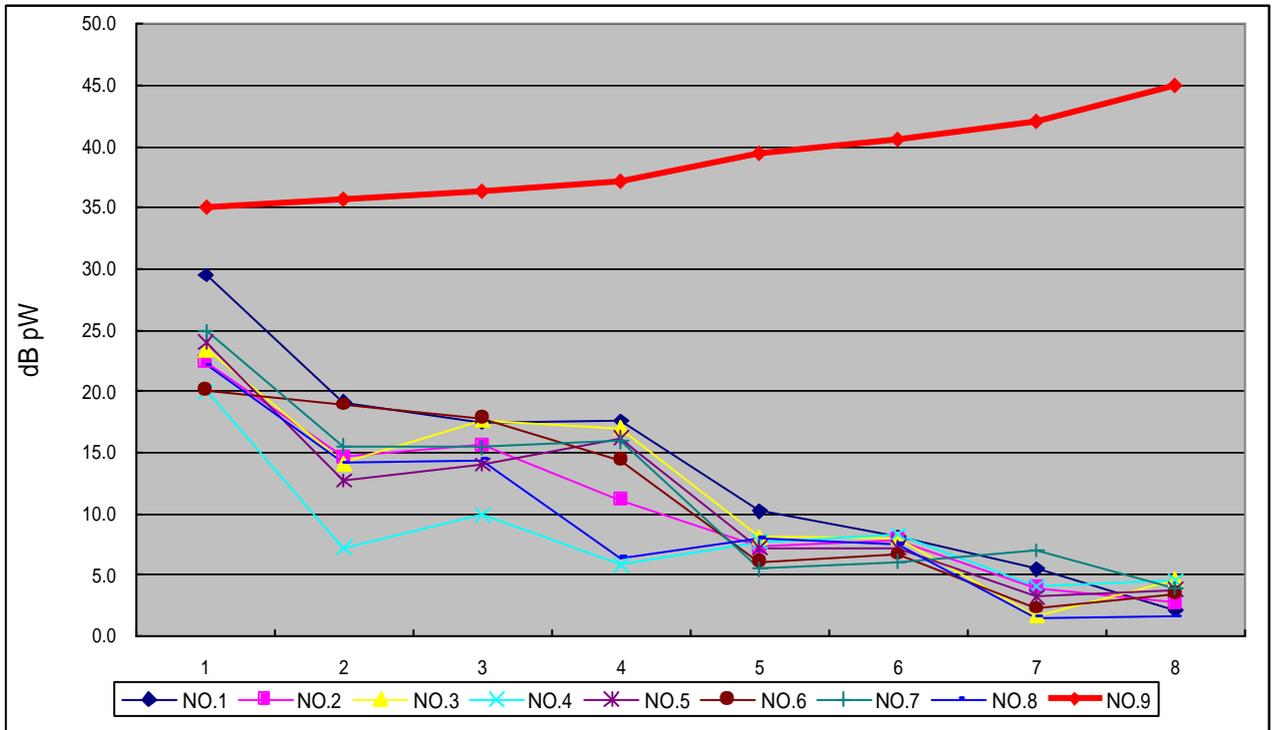


表 12(B) 各種抑制策略之輻射平均值 AV 曲線圖比較

四、結論

本文以家電產品運轉最嚴重的干擾源作為抑制對策對象，為模擬實際使用狀況，馬達負載加重 1000cc 的水，並操作在二極體控制弱速下，以期產生高頻電磁干擾最糟狀況，再研擬傳導及輻射抑制策略，並就市售常用對策元件，包括 X 電容、Y 電容、共模電感、磁環、磁珠等進行投入抑制成效解析與比較，實驗結果可提供電磁干擾工程師，實行對策程序的參考，總結如下：

4.1 150KHz~10MHz 傳導頻帶

X 電容仍是最佳選擇，如果負載額定功率過高，則可加大 X 電容值，一般仍以 0.47 μ F~1.0 μ F 為之。

4.2 10MHz~30MHz 傳導頻帶

X 電容在此頻帶，效果漸減，需作補強，補強元件以 Y 電容為首要考選，其金屬腳應儘量剪短，以避免元件產生諧振頻率，而兩顆 Y 電容共同接地至馬達殼導線，儘可能縮短，以避免增加接地電阻，產生共模電壓，變成一個新的電源線輻射源。當 Y 電容無法完全壓制此頻段雜訊時，混合共模電感使用，是一個可以採取的步驟，惟務必參考廠商提供的阻抗頻率圖，電感取很大，效果並不成正比關係。

4.3 30MHz~90MHz 輻射頻帶

此頻帶以共模電感較具效果，但仍要參考廠商提供的阻抗頻率圖為之；磁環則由於材質關係，最高阻抗游走於 100MHz 附近，對越高頻雜訊，其效果越佳；磁珠受限於負載電流，並不適用在家電產品大電流應用。

4.4 90MHz~300MHz 輻射頻帶

二極體混合 300W 交流串激馬達應用上，此頻段雖不嚴重，但更高瓦數的馬達，在此頻帶會不會有更嚴重輻射干擾？也許磁環或新型的超高頻鐵氧磁體，是建議的選擇。

參考文獻

- 1.鈴木茂夫 著, "雜訊對策", 全華書局.
- 2.林鈞緯 著, "濾除超高頻電磁干擾雜訊之濾波器".
- 3.陳首雄 著, "錳鋅鐵氧磁體之發展趨勢", 電力電子技術期刊, 2 月號, 2001.
- 4.冠磁公司, "X 電容、Y 電容、磁環技術資料".
- 5.無線電界雜誌社 著, "EMI 電磁波干擾之實務設計".
- 6.安星電子公司, "共模電感、磁環、磁珠技術資料".