

電磁感應燈具的電磁干擾對策研究與設計

林昆平/標準局臺南分局技正

一、前言

市場近年出現一種磁能轉換燈具，標榜日光燈管無需燈絲構造、起動器、安定器，直接利用高頻磁場瞬間點燈，由於無燈絲結構不會有燈管黑化損壞更換問題，可解決高處更換燈管難題。磁能轉換燈具所使用的燈管就是國家標準 CNS 15535 所稱的「電磁感應燈管(Fluorescent induction lamps)」，最早於 1970 年美國實驗室證實可行性，但直到 1991 年才有產品問世，電磁感應燈具發明改變愛迪生以來採用鎢絲發光模式，燈具電源驅動器點燈磁場振盪頻率被設計 200 KHz 以上，比一般電子式安定器驅動日光燈具的 20 KHz 快上十倍，也有較無閃頻現象，其優點包括：(一)燈管無燈絲元件，光源壽命高於普通日光燈 (二)能量轉換效率高更節能 (三)功率因數比一般日光燈具高 (四)比水銀燈、鈉氣燈及金屬鹵化燈的啟閉時間更快。電磁感應燈具除了燈管被鑲上特殊磁環外，電源驅動器所產生電磁干擾(EMI)與對策施作值得研究，本文依 CNS 14115 燈具電磁干擾規範[1]執行一國外代理樣品，EMI 對策元件施作經驗過程也適合電源科技廠參考。

二、電磁感應燈具的結構與運作原理

磁能轉換燈造型有燈泡型、環型、U 型等，瓦數介於 20 W~300 W，網路搜尋不管是中國大陸或國內都有公司在製造及販售，其所用燈管有另外名稱為「無極燈」，這在 CNS 15535 內文中就有翻譯文字 [2]。圖 1 為市售電磁感應燈具類型與驅動原理；圖 2 以吸頂式環型 40 W 電磁感應燈具電路實體舉例說明，動作原理與交換式電源供應器或電子式安定器非常相似，若讀者熟悉此兩種電路結構，就可很快瞭解其電路設計，只是電磁感應燈具之振盪頻率被提高至 200 KHz 以上，而磁環所產生的感應磁場可直接使螢光燈管內的氣體分子游離釋放能量給螢光粉吸收發光，故無需燈絲構造，沒有燈管壽終黑化問題。電磁感應燈具的電源驅動器電路結構包括：0.交流電源輸入端 110 V/220 V、1.電源保護熔絲、2.電源突波保護吸收器、3.防雷擊之避雷器、4A.抑制傳導雜訊電流之差模濾波器兩組、4B.洩放輻射雜訊電流的 Y 電容兩組、5.整流倍壓電路、6.與 7.半導體高速開關 MOSFET、8.兩顆 IC 偏壓電路用電源變壓器、9.IC₁抑制產品諧波兼提升功因之積體電路、10. IC₂定頻率定電流輸出控制之積體電路、11.正負方波轉換高頻交流弦波電路、12.高頻振盪頻率弦波電流輸出配線纏繞至燈管磁環上。



a. 40 W(環管型)



b. 150 W(環管型)



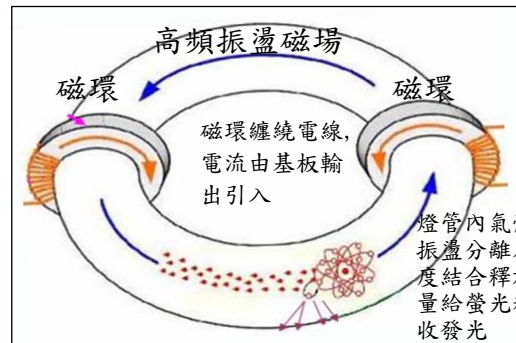
c. 150 W(燈泡型)



d. 300 W(環管型)



e. 高頻電流配線纏繞磁環



f. 驅動原理

圖 1 電磁感應燈具的類型與驅動原理

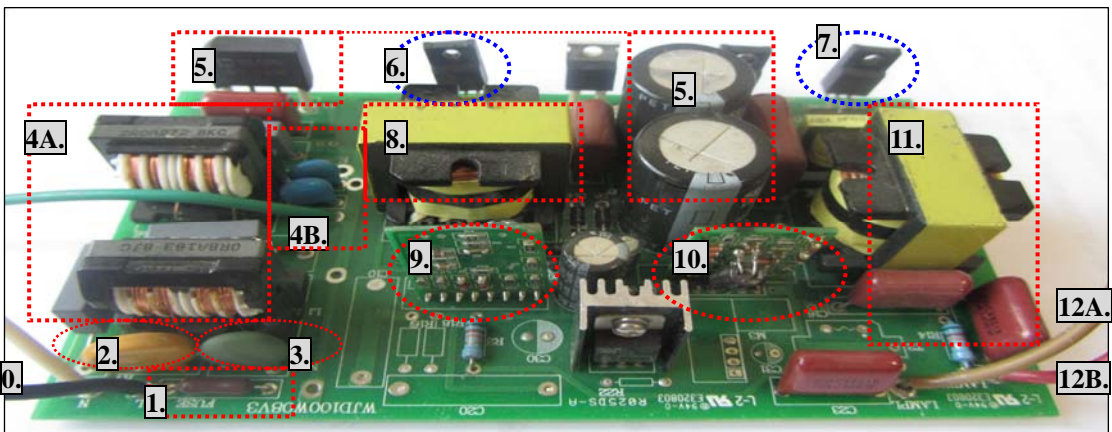


圖 2 40 W 電磁感應燈具之電源驅動器電路基板

三、CNS 14115 管制標準、量測設備及量測程序[1]

(1)管制標準

燈具電磁干擾管制標準規定於 CNS 14115，分為電壓傳導(表 1)及功率輻射(表 2)，管制頻段均為 9KHz~30MHz，其中傳導干擾於 9 KHz~150 KHz(含)管制準峰值 QP，於 150 KHz(不含)~30 MHz 則同時管制準峰值 QP 與平均值 AV；至於輻射干擾則不分區段僅管制準峰值 QP。

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

檢驗依據	限制值，dB(μA) ⁽¹⁾	
	頻率範圍	
CNS 14115 第 4.4 節	9kHz~70kHz	88
	70kHz~150kHz	88~58 ⁽²⁾
	150kHz~2.2MHz	58~26 ⁽²⁾
	2.2MHz~3.0MHz	58
	3.0MHz~30MHz	22 ⁽³⁾

表 1 燈具傳導性干擾管制值 QP 及 AV

表 2 燈具輻射性干擾管制值 QP(燈具限長 1.6 m)

(2)電壓傳導量測設備及測試程序

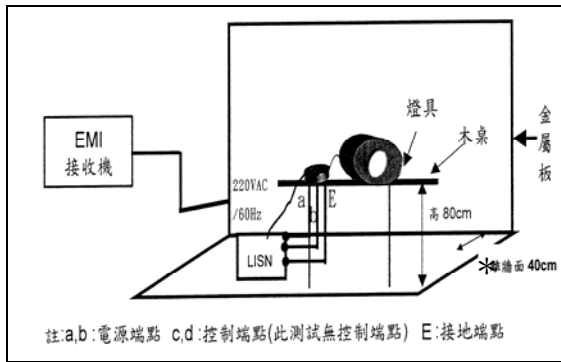
電壓傳導量測儀器採用電線阻抗模擬網路 LISN(可將電源雜訊隔離並自負載取樣雜訊能力)、電磁干擾雜訊譜分析儀，量測程序則如下：

1. 依電源線端點干擾電壓測試擺設(圖 3a)，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，燈具電源線如超過 80 cm，將多餘部份以 30 至 40 cm 之八字形網綁電源線中央。
3. 點燈後，待燈具點燈穩定，需持續至少 15 分鐘。
4. 使用接收機量測頻率範圍 9 KHz~30 MHz 電壓端點干擾電壓之準峰值 QP 和平均值 AV，解析頻寬 9 KHz~150 KHz 為 200 Hz，150 KHz~30 MHz 為 9 KHz。
5. 依 1~4 步驟將燈具電源線之 LN 相各量測一次。

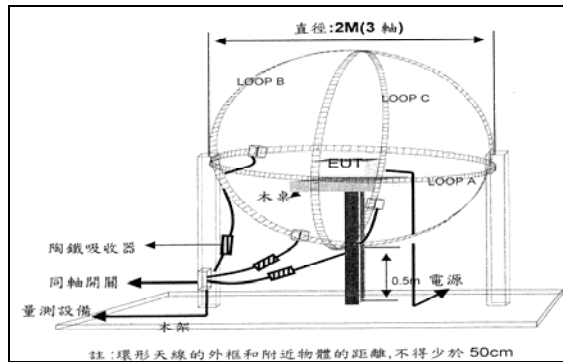
(3)輻射量測設備及測試程序

功率輻射需在隔離室進行，量測儀器採用電磁干擾雜訊譜分析儀、及三軸天線(TRIPLE LOOP ANTENNA)，量測程序則如下：

1. 依輻射性干擾測試擺設(圖 3b)，加以配置並測試接線。
2. 測試件放置非傳導性木桌上，測試件電源接至經過濾波後之電源。
3. 點燈後，待燈具點燈穩定，需持續至少 15 分鐘。
4. 使用接收機量測頻率範圍 9 KHz~30 MHz 輻射干擾準峰值 QP，解析頻寬 9 KHz~150 KHz 為 200 Hz，150 KHz~30 MHz 為 9KHz。
5. 依 1~4 步驟，將環型天線 X、Y、Z 軸各量測一次。



a. 傳導量測擺設



b. 輻射量測擺設

圖 3 燈具電壓傳導及輻射量測示意圖 (註:*指的是牆面離待測物最近的水平距離)

四、電磁感應燈具之電磁干擾特性分析

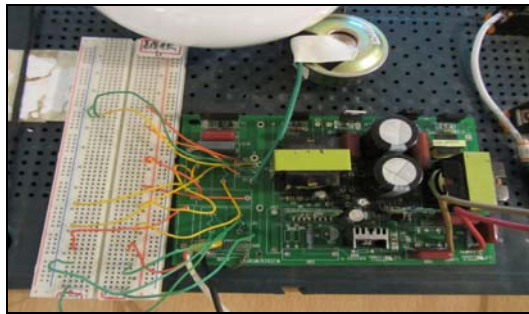
電磁感應燈具輸出電流很小，其電源驅動電路基板通常為規格品，可適用任何瓦數的燈管，本文採用圖 1a 40 W 環型無陰極部螢光燈管，其輸入電壓 120 V、輸入電流 0.345 A，輸出開路電壓 300 V、輸出短路電流 0.028 A。樣品之傳導電壓干擾初步掃圖以 L 相較嚴重，另對十四個商用有線傳輸信號頻率(9 KHz、50 KHz、100 KHz、160 KHz、240 KHz、550 KHz、1 MHz、1.4 MHz、2 MHz、3.5 MHz、6 MHz、10 MHz、22 MHz、30 MHz)需進行復測確認是否遭干擾，甚至掃圖出現的異常點也需復測確認。樣品輻射干擾初步掃圖以 LOOP A 較嚴重，但並無規定針對那些商用頻段需復測，原因可能電磁感應燈具工作頻率設計在 200 KHz 以上，而大部份商用發射頻段卻集中在 30 MHz 以上，但依 CNS 14115 規定掃圖之異常點仍需復測確認。這裏要特別強調：「EMI 掃圖曲線記錄錄是過程中最大干擾值(Max Hold)，而非 CNS 14115 限制值所言準峰值 QP 與平均值 AV，故曲線超過限制值並不代表不符規定，需利用公式轉換成 QP 值及 AV 值才能與限制值進行比較」。為了解電磁感應燈具原始電磁干擾特性，將圖 2 原設計方塊 4A 與方塊 4B 上的對策元件全部拔除再量測，傳導及輻射掃圖如圖 4ab，復測點與異常點量測如表 5，可發現：

(1)傳導電壓干擾特性

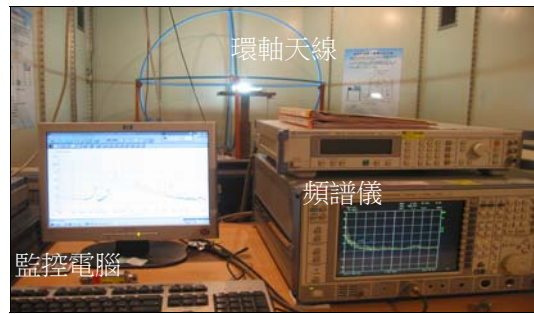
1. 傳導干擾嚴重頻帶出現在 50 KHz~6 MHz 之間如圖 4c。
2. 復測點 160 KHz (91.2 dB, 68.5 dB)、240 KHz(86 dB, 69.5 dB)、550 KHz(65.9 dB, 50 dB)等三點超出限制值(詳表 3a)。
3. 異常點 66.6 KHz(110.4 dB)、150 KHz(89.3 dB)等兩點不符限制值(詳表 3a)。
4. 經由掃圖、復測點、異常點量測，可確定電磁感應燈具具在 1MHz 頻段過後已完全符合 CNS 14115 對傳導及輻射規定。
5. 不符合頻段則分別落在 50 KHz~66.6 KHz 與 150 KHz~550 kHz，干擾嚴重且不連續，對策元件設計會有困難。

(2)功率輻射干擾特性

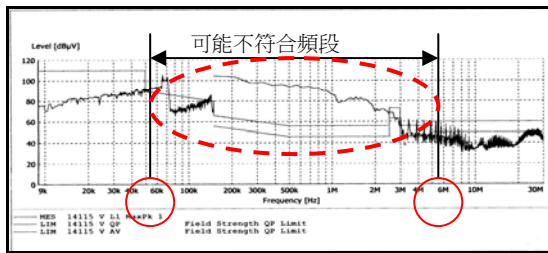
1. 輻射干擾嚴重頻率出現在 209.8 KHz 與 688.37 KHz 兩點(圖 4d)。
2. 經換算 QP 及 AV 值後，僅剩 688.37 KHz 為不符合(表 3b)。



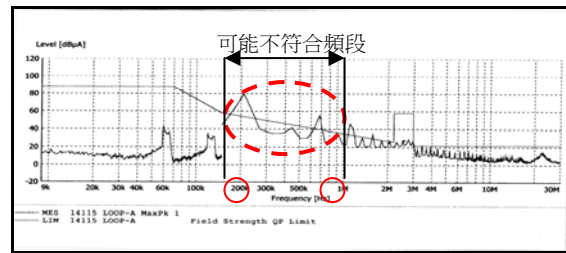
a. 傳導干擾測試情形



b. 輻射干擾測試情形



c. 電壓傳導干擾掃圖 dB(μ V)



d. 輻射干擾掃圖 dB(μ A)

圖 4 傳導及輻射量測情形及掃圖(拔除所有對策元件)

表 3a L 相傳導性電壓干擾復測 (單位 dB μ V)

復測點	50 KHz		66.6 KHz		71.2 KHz		100 KHz		143.2 KHz		150 KHz		160 KHz	
準峰值/平均值	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
拔除對策元件	88.5		110.4		75.4		71.3		62.8		89.3		91.2	68.5
傳導管制值：	90	—	87.5	—	86.8	—	83.7	—	80.4	—	66	—	65.5	55.5
復測點	240 KHz		550 KHz		1 MHz		1.4 MHz		2 MHz		3.5 MHz		6 MHz	
準峰值/平均值	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
拔除對策元件	86	69.5	65.9	50	53.4	41.7	50.1	37.7	51	35.5	37.8	25.5	37.3	26.9
傳導管制值：	62.1	52.1	56	46	56	46	56	46	56	46	56	46	60	50

表 3b Loop A 輻射性干擾復測 (單位 dB μ A)

復測點	209.8 KHz		688.4 KHz		1.107 MHz		1.586 MHz	
準峰值/平均值	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
拔除對策元件	44.6		49.1		22.8		21.3	
輻射管制值：	54	—	39.8	—	34.2	—	29.9	—

五、電磁感應燈具的電磁干擾抑制對策研究

(1)電壓傳導及輻射干擾產生原因

前述分析傳導干擾需分別抑制 50 KHz~66.6 KHz 與 150 KHz~550 kHz 兩頻段的干擾量；輻射則需解決 688.9 KHz 頻率點的干擾。傳導電壓干擾的產生是產品衍生差模與共模雜訊電流(諧波)流經產品電源線 LN 相產生雜訊電壓降造成，由於實驗室並無雜訊分離器，量測結果為共差模雜訊綜合。輻射功率干擾的產生則完全由共模雜訊電流引起，因共模雜訊電流也會循產品電源線，經由電源插座端，流向供電系統的接地點，因此也會產生接地共模電壓，回過來以線路當作天線進行放射。

(2)對策元件介紹

傳導與輻射干擾對策元件主要為 XY 電容、差模電感、共模線圈、濾波器、磁芯類等，圖 5 顯示筆者執行對策選用的元件規格，茲介紹原理。

1. X 電容

又稱金屬化薄膜電容，具無極性、絕緣阻抗高、頻率響應寬、介質損失小、高電流承受及長時工作穩定優點，其薄膜材質常見有聚乙酯絕緣膜(簡稱 MKT)與聚丙稀絕緣膜(簡稱 MEF)，在塑膠薄膜正背面各蒸上一層很薄金屬鋁膜，捲繞塞入耐燃黃色與棕色塑膠殼內。一般 MEF 比 MKT 小且價錢便宜一半，但頻率響應較差，而 MKT 大多有安全認證，MEF 則無[2]。X 電容通常跨接產品電源 LN 相間，其遇高頻呈低阻抗特性可將差模訊電流推回產品內部而不外洩至電源插座端，市售規格有 0.1 μF 、0.22 μF 、0.33 μF 、0.47 μF 、0.68 μF 、1.0 μF 、3.3 μF 、6.8 μF 等，其僅對差模雜訊電流有疏導作用，因此僅對傳導干擾有效。

2. Y 電容

Y 電容一般為陶磁電容，兩只 Y 電容一腳各接於 LN 相線路，另一腳再共同接地至產品金屬外殼或接地處，其提供共模雜訊電流洩放路徑以減少電源線 LN 相上共模雜訊量，市售規格常見有 1000 PF、1500 PF、2000 PF、2200 PF、3300 PF、4700 PF、6800 PF、10000 PF 等，由於共模雜訊會產生傳導與輻射干擾，因此 Y 電容對傳導與輻射干擾均有抑制效果。

3. 差模電感

為兩腳(2 PIN)電感元件，可單獨安裝於產品電源線 L 相或 N 相上，但通常 LN 相各安裝一顆，原理主要是利用遇高頻呈高電抗特性來防堵差模雜訊電流與共模訊雜訊電流的通過，差模電感大多屬大電流低電感值元件，市售規格有 100 μH 、200 μH 、330 μH 、830 μH 、1 mH、2 mH、3 mH 等，由於其對共差模雜訊均有效，因此對傳導與輻射干擾衰減都有效果。

4. 共模電感

為四腳(4 PIN)電感元件，由兩組繞法同向線圈組成，可同時安裝在產品電源線的 LN 相間。原理是利用共模雜訊電流通過線圈時，鐵芯電抗會變成兩倍阻擋其通過，但差模雜訊電流通過時電抗卻變零，圖 5 解釋其纏繞方式及原理，實驗採用規格為 10 mH、20 mH、30 mH、40 mH、175 mH、240 mH 等。由於共模雜訊會產生傳導與輻射干擾，因此

減少共模雜訊流往電源端的量，除降低電源線的傳導電壓干擾量，其流往供電系統地點產生共模接地電壓也變小，因此輻射干擾量也變小。

5. 濾波器

濾波器是嚴重傳導電壓干擾產品抑制的最後手段，原理利用電容與電感值匹配來設計共振頻率點 f_{dm} (式 1)，則具有自 f_{dm} 後轉折干擾曲線 45 度與衰減 40 dB 雜訊能力 [2]。電感部份可採用差模電感也可採用共模線圈，但以選用共模線圈較佳，因共模線圈本身就可降低傳導與輻射干擾，可說一箭雙鵰。

$$f_{dm} = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi\sqrt{L_d C_d}} \quad (\text{式 1})$$

6. 磁芯類

磁環、磁珠、磁扣等磁芯類是由錳鋅鐵氧磁體或鎳鋅鐵氧磁體構成，具有高導磁率、高飽和磁化量及高阻抗特性，其高阻抗大多落於 30 MHz 以上頻段，對於這種 9 KHz~30 MHz 頻段的燈具傳導與輻射干擾抑制，可能不會有太大效果。



圖 5 分別顯示對策元件實體、對應規格、共模電感纏繞方式與原理

(3) 電壓傳導干擾對策元件執行

將電子基板適當處鑽孔並焊錫連接線至麵包板上，圖 6 顯示 X 電容、差模電感、共模電感、共差模電感混合、濾波器、Y 電容及定案等插件情形。

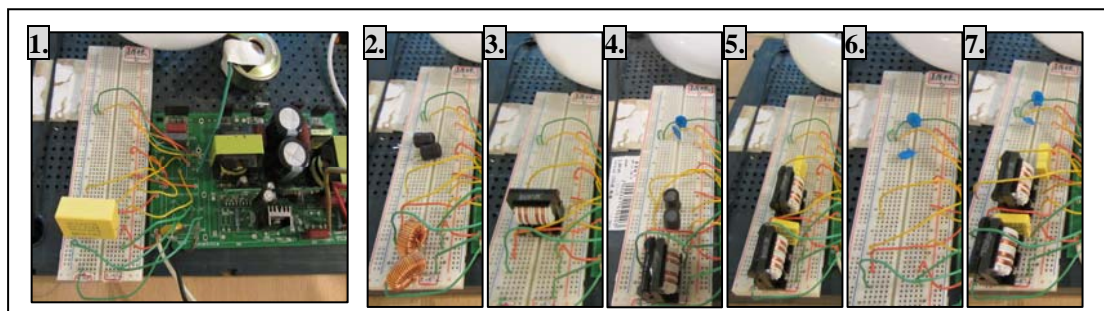
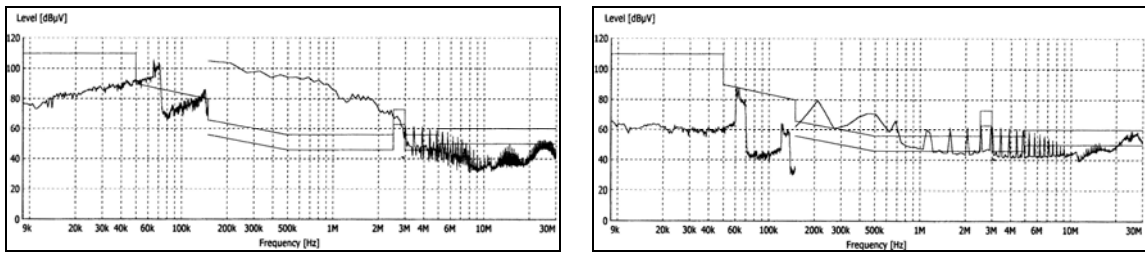


圖 6 TRY ON ERR 插件方式(1:X 電容、2:差模電感、3:共模電感、4:共差模混合電感、5:濾波器、6:Y 電容、7:定案)

1. X 電容設計

市售 X 電容規格投入頻譜掃圖(圖 7: 0.1 uF 與 6.8 uF)及復測值(表 4)，發現：1. X 電容加大，抑制效果越佳。

2. X 電容大到 6.8 μF 時，240 KHz~550 KHz 頻段仍無法通過限制值，AV 值有一段差距。
3. 綜合上述，單獨採用 X 電容進行抑制不可行。



a. X 電容 0.1 μF

b. X 電容 6.8 μF

圖 7 X 電容抑制下的傳導電壓干擾掃圖

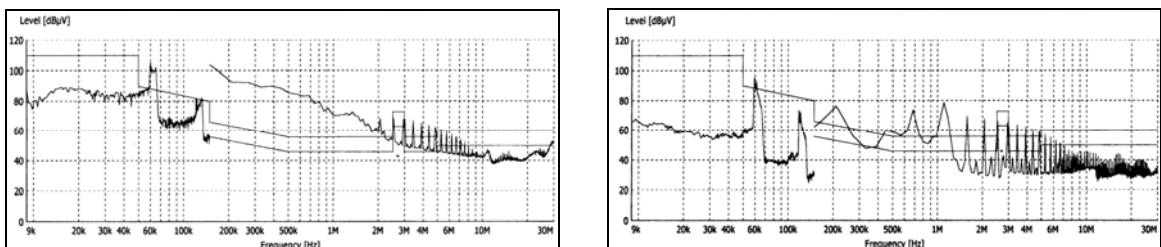
表 4 L 相傳導性電壓干擾復測 (單位 $\text{dB}\mu\text{V}$)

復測點	66.6 KHz		150 KHz		160 KHz		240 KHz		550 KHz	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
拔除對策元件	110.4		89.3		91.2	68.5	86	69.5	68	52.2
(1)X 電容 0.1 μF	118.2		102.5		88.4	71	82.9	67.9	72.1	56.9
(2)X 電容 0.33 μF	101.4		80.1		81.2	59.7	77.2	63.2	57.5	43.3
(3)X 電容 0.68 μF	95.1		75.6		76.8	55.2	72.6	63.2	40.9	30.8
(4)X 電容 1.0 μF	92.4		73.3		74.7	52.5	70.7	63.9	50.1	35.3
(5)X 電容 3.3 μF	83.7		63.5		64.9	42.3	63.3	62.5	54.5	37.9
(6)X 電容 6.8 μF	76.3		54.7		55.4	33.2	63.1	62.8	55.9	39.7
傳導管制值：	87.5	—	66	—	65.5	55.5	62.1	52.1	56	46

2. 差模電感設計

掃圖(圖 8:150 μH 與 3 mHx2 狀況)及復測值(表 5)，發現：

1. 電感值設計越大，效果越佳。
2. 當差模電感大到最大規格 3mH 時，只剩 240 KHz 頻率點沒通過，AV 值僅剩 6 dB 需衰減。
3. 綜合上述，單獨採用差模電感不可行。



a. 差模電感 150 μH (1 顆僅安裝於 L 相)

b. 差模電感 3 mH(2 顆各分別安裝 LN 相)

圖 8 差模電感抑制下的傳導電壓干擾掃圖

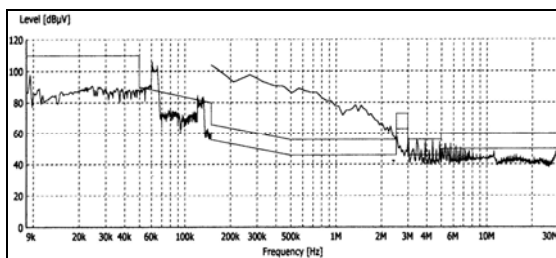
表 5 L 相傳導性電壓干擾復測 (單位 dB μ V)

復測點	66.6 KHz		150 KHz		160 KHz		240 KHz		550 KHz	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
拔除對策元件	110.4		89.3		91.2	68.5	86	69.5	68	52.2
(1) 差模電感 150uH	98		78.9		79.9	57	74.6	62.7	55.8	41.2
(2) 差模電感 330uH	92.8		75.4		76.5	54	70.9	61.6	55.4	41.8
(3a) 差模電感 1mHx1 顆置 L 相->測 L	85.6		65.6		66.7	44	71.4	71.3	37	23.6
(3b) 差模電感 1mHx1 顆置 L 相->測 N	82.4		65.8		67.4	44.8	68	65.6	45.2	32.4
(4a) 差模電感 1mHx2 顆->測 L	60.6		59.4		61.8	39.4	65.5	63.4	38.3	25.9
(4b) 差模電感 1mHx2 顆->測 N	60.1		59.4		61.9	39.3	63.2	58.1	37.3	23.7
(5a) 差模電感 3mHx2 顆->測 L	36.6		54.4		55.0	34.6	62.1	58.4	42.6	28.9
(5b) 差模電感 5mH(3mH+2mH)x2 顆	31.0		48.8		52.0	32.8	64.3	63.8	61.3	41.0
傳導管制值：	87.5	—	66	—	65.5	55.5	62.1	52.1	56	46

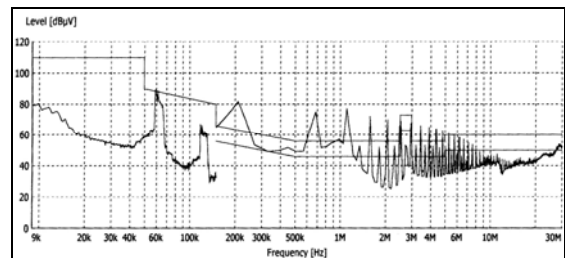
3. 共模電感設計

掃圖(圖 9：10 mHx1 與 240 mHx1 狀況)及復測(表 6)及，發現：

1. 在第 5 節(2)對策元件介紹中已說明共模電感對差模雜訊無效，只對共模雜訊有效。從頻譜圖及復測觀察也確實反應此現象。
2. 當共模電感大到 240 mH，240 KHz 頻率點仍沒通過。
3. 以 240 KHz 這一點作比較，表 5 差模電感 3 mH 時，共差模雜訊可被衰減(Δ QP, Δ AV)=(23.9 dB, 11.1 dB)，表 6 共模電感 240 mH 時，僅共模雜訊可被衰減(Δ QP, Δ AV)=(22.7 dB, 6.7 dB)，由於差模電感市售規格只到 3 mH，說明了更多差模雜訊干擾量沒被衰減，也就是「傳導干擾部份雖同時含有共差模雜訊電流，但含量仍以差模雜訊量佔大部份」。



(A) 共模電感 10 mHx1



(B) 共模電感 240 mHx1

圖 9 共模電感抑制掃圖

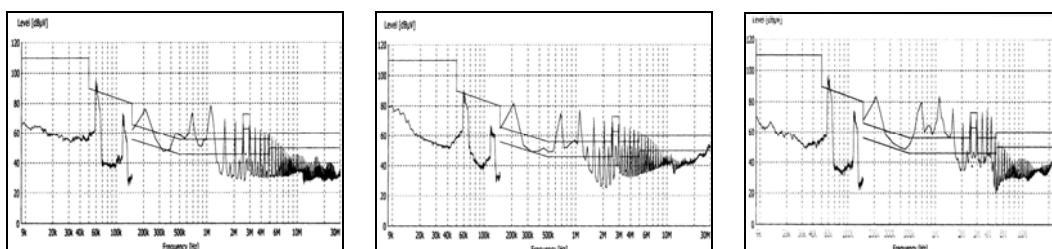
表 6 L 相傳導性電壓干擾復測 (單位 dB μ V)

復測點	66.6 KHz		150 KHz		160 KHz		240 KHz		550 KHz	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
拔除對策元件	110.4		89.3		91.2	68.5	86	69.5	68	52.2
(1)共模電感 10mHx1	102.6		84.7		79.9	59.3	74.5	64.1	72.1	56.9
(2)共模電感 20mHx1	97.1		77.2		77.7	56	74.5	65.8	57.5	43.3
(3)共模電感 30mHx1	92.8		69.5		70.7	48.9	72.4	64.9	40.9	30.8
(4)共模電感 40mHx1	89.1		68		69.9	47.2	71.1	64	50.1	35.3
(5)共模電感 175mHx1	41.8		59.3		61.2	37.9	60.7	59.8	54.5	37.9
(6)共模電感 240mHx1	40.1		59.8		60.3	37.8	63.3	62.8	55.9	39.7
(7)共模電感 240mHx2	51.4		66.2		67.8	45.4	62.9	56.9	37.6	21.7
傳導管制值：	87.5	—	66	—	65.5	55.5	62	52.1	56	46

4. 共差模電感混合設計

在第 5 節(3)電壓傳導干擾對策元件執行中的第 2~3 項電感對策元件施作中，可能已帶給讀者一個希望，若將差模電感 3 mHx2 混合共模電感 240 mHx1，那抑制成效是否會是表 5 及表 6 抑制成效的加乘？也就是 240 KHz 可被衰減(Δ QP, Δ AV)=(23.9 dB+22.7 dB, 11.1 dB+6.7 dB)=(46.6 dB, 17.8 dB)，造成最後結果為(QP, AV)=(86-46.6, 69.5-17.8)=(40 dB, 51.7 dB)< (62 dB, 52.1 dB)，掃圖(圖 10)及復測(表 7)說明並不成立。

- 240kHz 頻率點的抑制後干擾量為(QP, AV)=(64.32, 63.4)，仍無法通過管制值。
- 理由是雜訊電壓為向量具相角，加總結果是向量和而非純數值加總。



a. 差模電感 3 mHx2 b. 共模電感 240 mHx1 c. 共差模電感 a+b

圖 10 混合共差模電感抑制掃圖

表 7 L 相傳導性電壓干擾復測 (單位 dB μ V)

復測點	66.6 KHz		150 KHz		160 KHz		240 KHz		550 KHz	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
拔除所有對策元件	110.4		89.3		91.2	68.5	86	69.5	68	52.2
(1)差模電感 3mHx2	36.6		54.4		55	34.6	62.1	58.4	42.6	28.9
(2)共模電感 240mHx1	40.1		59.8		60.3	37.8	63.3	62.8	55.9	39.7
(3)差模 3mHx2+共模 240mHx1	35.0		50.8		52.0	31.5	64.3	63.4	46.2	32.3
傳導管制值：	87.5	—	66	—	65.5	55.5	62	52.1	56	46

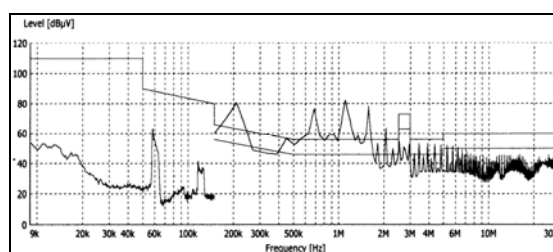
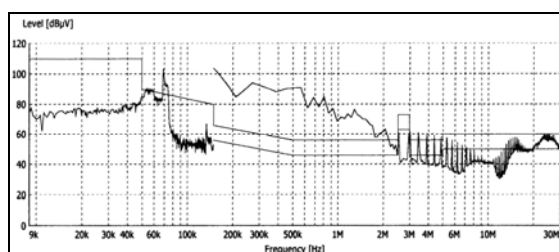
5. 濾波器設計

不符合頻段有 50 KHz~71.2 KHz 與 150 KHz~550 KHz 兩個區段，設計 50 KHz 與 150 KHz 作為轉折頻率的濾波器也許可行，但前述 X 電容、差模電感、共模電感、共差模電感混合等對策執行分析，240 KHz 頻率的干擾量始終無法衰減至合格，因此轉折頻率從 240 KHz 往下設計可能比較容易找到設計值，而且兩組濾波器設計也許需要。

(a) 差模電感與 X 電容組合的濾波器

將各種電容電感值代入式 1 計算出轉折頻率，再分別插件至麵包板上進行掃圖(圖 11:22 uHx2+0.01 uF 與 3 mHx2+6.8 uF 狀況)及復測(表 8)，發現：

1. 濾波器效果較顯著，即使小電感小電容組合(240 KHz)或大電感大電容組合(0.79 KHz)均可有效衰減。
2. 240 KHz 附近，第八組~第十四組濾波器設計之 QP 值全部過關，但 AV 值仍不符合且抑制效果有限。



a. 濾波器(22 uHx2+0.01 uF)

b. 濾波器(3 mHx2+6.8 uF)

圖 11 濾波器抑制掃圖(採用差模電感)

表 8 L 相傳導性電壓干擾復測 (單位 dB μ V)

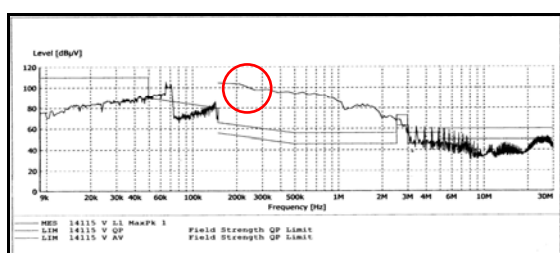
復測點	66.6 KHz		150 KHz		160 KHz		240 KHz		550 KHz	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
拔除對策元件	110.4	89.3	91.2	68.5	86.0	69.5	65.9	50.0		
(1) 22uHx2+0.01uF, fd=240KHz	78.7	60.5	62.2	39.2	68.6	66.4	39.1	23.6		
(2) 33uHx2+0.01uF, fd=195.9KHz	78.9	62.8	65.3	41.8	66.9	66.0	40.8	24.3		
(3) 5uHx2+0.068uF, fd=193.03KHz	76.4	58.4	58.7	36.6	65.7	65.4	39.8	24.3		
(4) 50uHx2+0.01uF, fd=159.2KHz	73.2	69.4	74.5	51.1	66.1	65.9	41.7	25.3		
(5) 70uHx2+0.01uF, fd=134.5KHz	78.8	73.9	70.3	46.3	65.9	65.7	41.0	24.7		
(6) 100uHx2+0.01uF, fd=112.6KHz	76.4	66.3	64.5	41.6	65.9	65.8	41.0	25.0		
(7) 200uHx2+0.01uF, fd=79.6KHz	77.9	60.4	58.6	37.1	66.0	65.8	40.5	24.2		
(8) 1mHx2+0.10uF, fd=11.3KHz	61.6	48.8	49.7	29.8	60.5	60.4	37.8	25.7		
(9) 3mHx2+0.10uF, fd=6.5KHz	37.6	46.6	46.6	26.5	60.9	60.5	44.2	30.2		
(10) 3mHx2+0.22uF, fd=4.38KHz	30.2	41.5	43.5	25.3	60.9	60.4	45.1	30.9		
(11) 3mHx2+0.33uF, fd=3.58KHz	71.4	43.3	44.6	24.1	60.4	59.9	46.1	31.7		
(12) 3mHx2+0.47uF, fd=3.0KHz	63.9	43.5	45.7	24.9	60.1	59.7	45.3	31		
(13) 3mHx2+1.0uF, fd=2.05KHz	17.5	43.7	46.2	26.7	59.9	59.5	45.6	30.9		
(14) 3mHx2+6.8uF, fd=0.79KHz	12.8	41.5	43.2	25.9	60.3	59.9	44.8	28.8		

傳導管制值：	87.5	—	66	—	65.5	55.5	62.1	52.1	56	46
--------	------	---	----	---	------	------	------	------	----	----

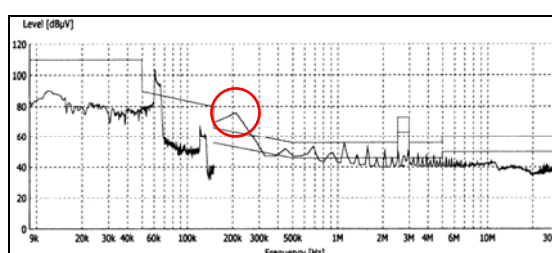
(b) 共模電感與 X 電容組合的濾波器

前述表 5 觀察：「差模電感衰減的干擾量主要是來自差模還是共模並不清楚」；前述表 6 觀察：「共模電感僅能防堵共模雜訊，無法防堵差模雜訊，故其衰減對象全歸屬共模雜訊，如此從數據就可證明電壓傳導干擾並非全由差模雜訊引起，共模雜訊也佔有一定比例」，因此濾波器的電感最好採用共模線圈而不採用差模電感。本文共模電感由 40 mH 起跳共設計九組是分析表 6 的量測結果，雖然設計的轉折頻率離 240 KHz 有一段距離。最後掃圖(圖 12:40 mH+0.1 uF 與 240 mH+0.1 uF)及復測(表 9)，可發現：

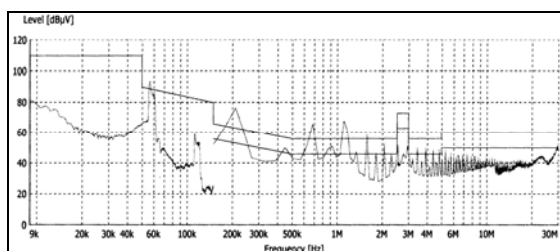
1. 抑制效果明顯比混合差模電感之濾波器來得佳，其原因已解釋過。
2. 240 KHz 附近，QP 值全部過關，而 AV 值雖仍不符合，但也已縮小成 6 dB 差距。
3. 考慮價錢及元件體積，選擇第一組濾波器(40 mH+0.10 uF)作為設計並加裝一套以再衰減改善後的不符合量，掃描結果已完全符合管制值。



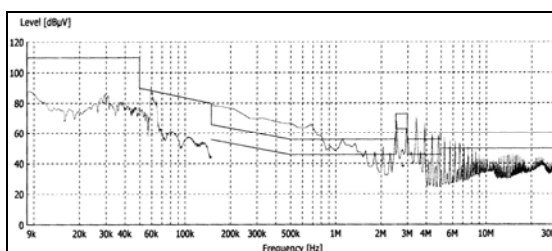
a. 拔除所有對策元件(改善前)



b. 投濾波器(40 mH+0.1 uF)x1 組



c. 投濾波器(240 mH+0.1 uF)x1 組



d. 投濾波器(40 mH+0.1 uF)x2 組

圖 12 各組濾波器抑制掃圖(採用共模電感)

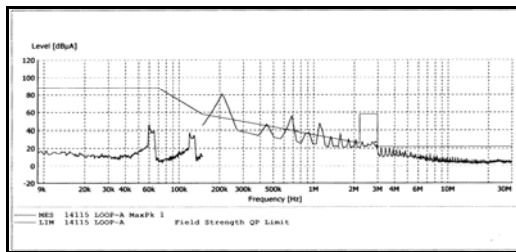
表 9 L 相傳導性電壓干擾復測 (單位 dB μ V)

復測點	66.6 KHz		150 KHz		160 KHz		240 KHz		550 KHz	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
準峰值/平均值										
拔除對策元件	110.4		89.3		91.2	68.5	86.0	69.5	68.0	52.2
(1)(40 mH+0.10 uF)x1, fd=1.78 KHz	67.1		56.2		56.5	35	58.9	58.4	35	22.6
(2)(40 mH+0.22 uF)x1, fd=1.20 KHz	65.6		48.3		48.7	29.4	58.8	58.9	36.2	22.9
(3)(40 mH+0.33 uF)x1, fd=0.98 KHz	68.7		45.9		46.1	28	58.7	58.5	35.9	22.9
(4)(40 mH+0.47 uF)x1(MKT), fd=0.82 KHz	65.2		45.7		45.4	25.5	58.6	58.5	41.4	25.6
(5)(40 mH+0.47 uF)x1(MEF), fd=0.82 KHz	63.2		44.3		45.9	26	58.3	58.1	41.1	25.8
(6)(40 mH+1.0 uF)x1, fd=0.56 KHz	63.8		43.3		45	23.3	58.6	58.5	41.1	24.2
(7)(40 mH+6.8 uF)x1, fd=0.22 KHz	48.6		44.4		45	23.3	58.4	58.3	38.5	22.2
(8)(175 mH+0.1 uF)x1, fd=0.85 KHz	51.4		47.6		46.5	24.9	59.1	59.0	40.8	24.0

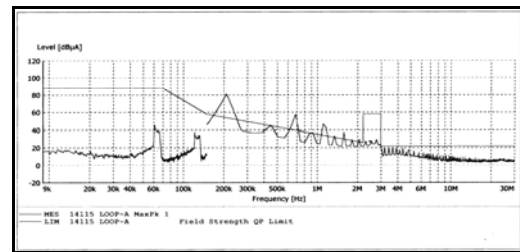
(9)(240 mH+0.1 uF)x1, fd=0.73 KHz	44.2	46.9	47.7	27.6	59.4	59.2	36.6	22.7
(10)(40 mH+0.1 uF)x2, fd=1.78 KHz	62.2	55.7	53.7	28.4	47.5	46.5	33.5	20.2
傳導管制值：	87.5	66	66	56	62.1	52.1	56	46

(c)輻射對策元件執行

在第 4 節(2)改善前功率輻射干擾特性分析中，688.37 KHz 頻率點的干擾值超出限制值約 9.3 dB，而此種由共模雜訊引起的輻射干擾問題可施予共模線圈、Y 電容、磁芯類等來解決，原理都在這些對策元件可以減少流往電源插座端供電系統接地處的共模雜訊電量，因而降低共模接地電壓的形成，但第 5 節(2)對策元件介紹中已說明磁芯類不適用燈具輻射抑制，而前述濾波器兩組設計已採用兩顆 40 mH 共模線圈，於 688.37 KHz 輻射量測 47.7 dB 仍無法滿足 39.8 dB 的管制，因此僅剩 Y 電容的投入測試，掃圖(圖 13:1000 pF 與 4700 pF)及復測(表 10)，可發現：Y 電容對電磁感應燈具輻射問題仍無太大改善空間。



Y=1000 PFx2



Y=4700 PFx2

圖 13 Y 電容投入抑制輻射掃圖 (前提:已安置(40 mH+0.1 uF)x2 濾波器)

表 10 Loop A 輻射干擾復測 (單位 dBμA)

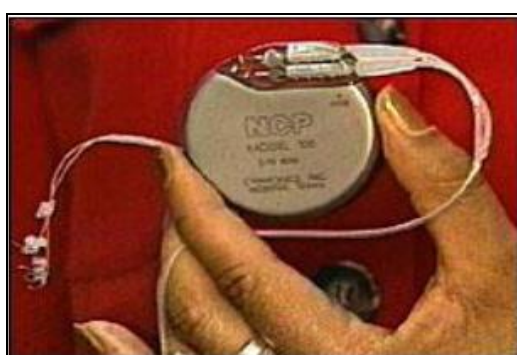
復測點	209.8 KHz	688.4 KHz	1.107 MHz	1.586 MHz
準峰值/平均值	QP	QP	QP	QP
(40 mH+0.1 uF)x2 前置下：	36.4	47.7	22.5	20.2
(1)add Y 電容 1000 pFx2	36.8	47.8	19.7	18.3
(2)add Y 電容 2200 pFx2	36.3	46.0	21.7	20.3
(3)add Y 電容 3300 pFx2	36.3	48.2	22.3	20.3
(4)add Y 電容 4700 pFx2	36.6	48.7	19.7	18.3
輻射管制值：	54	39.8	34.2	29.9

六、結論

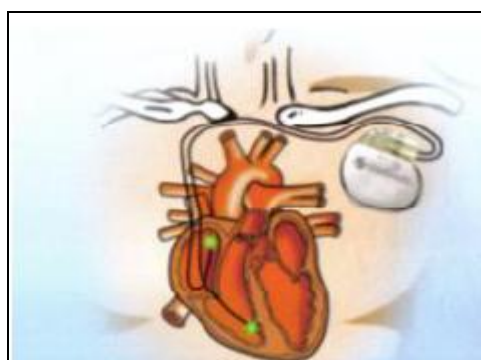
電磁感應燈具的電磁干擾特性顯示其電壓傳導頻段落落在分開的兩個頻段，經由 X 電容、差模電感、共模電感、混合共差模電感、濾波器設計等五階段的對策元件施作才找到正確解決策略：「混合共模電感與 X 電容的濾波器(40 mH+0.1 uF)且需投入兩組設計」，對策施作困難原因在電磁感應燈具的工作頻率被設計在 200 KHz 以上，既不屬低頻也不屬

高頻，導致一些可用對策元件特性抑制有限；另其輻射干擾嚴重頻段落在較低頻的 688.4 KHz，跟一般家電產品輻射區段 30 MHz~300 MHz 也很不一樣，這也導致應用在高頻段的磁珠、磁環、共模線圈幾乎沒有效果，雙 Y 電容接地雖可減少接地共模電壓形成，但安規限制了容量使其抑制效果有限。不管如何！本文對策研究已有效降低這種電磁感應燈具引發的傳導與輻射干擾問題，而 國內製造商生產同類產品，都可以通過標檢局認可實驗室所出示的合格測試報告，也足見國內廠商能力不輸國外製造商。最後，對這種新興產品，本文提出幾點政策性建議：

1. 無極燈具在頻率點 688.4 KHz 的功率輻射干擾，值得後市場管理再抽樣確認。
2. 更高頻率設計點的無極燈具(如 400 KHz 以上)，市場雖未見其蹤跡，但大陸確定有生產製造，其衍生的功率輻射問題是否對心律調整器病患有嚴重影響，值得進行後續研究，因心律調整器本身單價並不高(圖 14)，但研究成果卻可提供醫院與民眾參考。



a. 心律調整器(20000 元)



b. 運作位置

圖 14 心律調整器及其安裝位置

七、參考文獻

1. CNS 14115：2004，電氣照明與類似設備之射頻干擾限制值與量測方法，經濟部標準檢驗局。
2. CNS 15535:2012，感應式螢光燈安全性要求，經濟部標準局。
3. CNS 13783-1:2004，家電製品電磁相容性要求，經濟部標準局。
4. 林昆平，2006，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，184(4)，216-224。
5. 林昆平，2007，電磁干擾抑制對策元件 X 電容、差模電感研究，標準與檢驗雜誌，120(12)，36-48。
6. 林昆平，2007，電磁干擾抑制對策元件 XY 電容、共模電感、磁珠、磁環研究，電子檢測與品管季刊，72(10)，60-70。
7. 林昆平，2008，電磁干擾抑制對策元件 Y 電容及其安規，全國認證 TAF2008 研討會論文發表，板橋。
8. Lin, Kun-Ping., 1997, An Advanced Computer Code For Single-Tuned Harmonic Filter Design, IEEE/IAS Industry and Commercial Power System Technical Conference.

Philadelphia, PA, May12-15。

9. Lin, Kun-Ping., 1998, An Advanced Computer Code For Single-Tuned Harmonic Filter Design, IEEE Transation on Industry Application, 34, 640-648。
10. 國家標準、IEEE 標準、IEC 標準、ISO 標準購買，請電洽經濟部標準檢驗局資料中心，連絡電話:(02)23431984。
11. 電磁干擾相關技術研究相關資料，歡迎下載利用網址：
<http://www.bsmi.gov.tw/wSite/index.jsp> -> 台南分局-> 本分局簡介->業務簡介->第一課(電機電子資訊產品)->本課發表於各期刊雜誌文章。
12. 圖14a，2015/9/1檢索，頻果即時網，取自網址<http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/new/20130627/216946/>。
13. 圖14b，2015/9/1檢索，EET電子工程網，取自網址http://www.eettaiwan.com/ART_8800684502_675327_NT_2079920f.HTM。