

捕蚊燈的高低頻諧波電磁干擾特性研究

林昆平／台南分局技正

洪飛良／台南分局技正

一、前言

捕蚊燈主要由兩個電路結構組成，一個是燈管電路，另一個是電擊網電路。燈管電路的感抗式安定器及電擊網電路的隔離變壓器，由於鐵芯磁滯現象衍生諧波，主要侷限於奇數次低頻諧波；電擊網電路則是由 12 顆二極體與 RC 零組件組成，當二極體切換 RC 電路時，會出現電氣暫態現象，並在電源正弦波驅動下，週期性出現，其雜訊成份主要為低頻及高頻諧波^{[1][2][5]}。低頻諧波泛指 60Hz~3000Hz 頻段諧波，易造成線路損失及產品功因下降問題，歐盟早於 2000 年對輸歐電機電子產品，以 IEC 61000-3-2 電磁相容-限制值第 2 部：諧波電流發射(設備每相輸入電流在 16A 以下)之限制值與 IEC 61000-3-4 電磁相容-限制值第 4 部：額定電流大於 16A 之設備於低電壓電源系統中諧波電流發射之限制值來管制產品諧波含量，國內則於 2005 年公布對應標準，分別為 CNS 14934-2 與 CNS 14934-4，目前採自願性方式實施，另低頻諧波在空間建立的磁場輻射，則以國家標準 CNS 14978 家用和類似用途之電器產品電磁場評估與量測方法，目前亦採自願性方式實施。高頻諧波泛指 150kHz~300MHz 頻段諧波，易透過產品電源線向外部饋線傳導，導致同饋線其它電器運轉遭受擾動；另此頻段波幅微弱，頻率卻很高，極易以產品電源線作為天線，對周遭環境進行電磁場放射，非常容易耦合至其它電器產品電子控制機板上，造成誤動作，國內目前是以 CNS 13783-1 家電製品、電動工具和類似裝置電磁相容第 1 部實施列管。本文針對捕蚊燈衍生高低頻諧波進行解析，量測過程有助國家未來推動電機電子產品 CNS 14934-2、CNS 14934-4 及 CNS 14978 等規範內容的理解，同時本文也研究捕蚊燈高頻 EMI 對策。

二、捕蚊燈電路結構

圖 1 顯示市售 20 W 捕蚊燈通用電路結構，電源串聯一 10 W 燈管電路，再

經一隔離變壓器與電擊網電路(亦稱倍壓電路)連接。電擊網電路可以產生約 3000 V 高電壓，主要借助隔離變壓器將電壓提升至 600 V，再利用二極體控制電流對電容充電，並以兩個對稱但極性相反的倍壓電路並聯，以形成更大的電壓。電路電容是採用交流電容，而非直流濾波電容，因此二極體導通時，電容輸出響應為直流脈波峰值電壓，圖 2 顯示電擊網高壓電路實體，其中 C_4 與 C_3 各提供 ± 1500 V 給電極網放電， $C_2(C_1)$ 則負責對 $C_4(C_3)$ 持續充電。

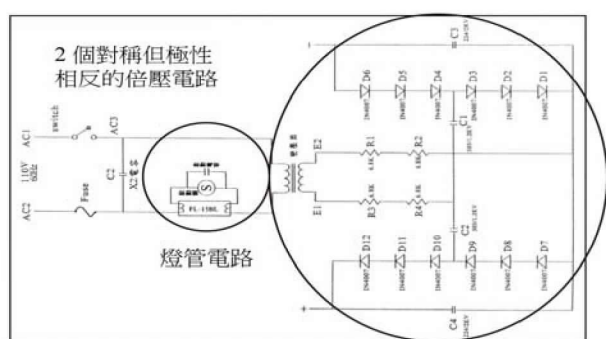


圖 1 市售捕蚊燈通用電路

(零組件規格： $C_1=C_2=503K/2KV, C_3=C_4=204K/2KV, R_1=R_2=R_3=R_4=2K\Omega$)

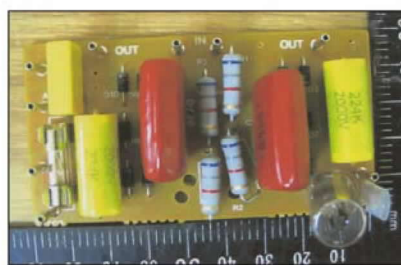


圖 2 高壓電擊網電路控制機板實體

三、鐵芯、二極體、RC 電路之諧波特性和

(一)鐵芯磁化機構

前述燈管電路採用傳統式安定器(亦稱漏磁變壓器)；電擊網電路則以隔離變壓器隔離高壓，兩變壓器均屬鐵芯磁化機構，其激磁電流受到鐵心磁滯現象及磁通密度飽和影響使二次側感應電壓發生畸變，圖 3 說明正弦電源電壓通過線性電阻會產生一正弦電流，但通過鐵芯磁化機構則卻被畸變成歪波，依傅利葉級數分析，任何畸變歪波都可分解成除基頻弦波外的其他頻率弦波，稱之為低頻諧波。

(二)二極體

二極體產生高低頻諧波過程主要由其 ON/OFF 效應引起，當二極體順向導通再施予反向電壓，會發生短暫關閉延遲現象，此短暫時間稱為恢復時間(Recovery Time)，因其在執行關閉動作前仍有電流通流，此時關閉二極體會產生突波電

流，造成交流電源側的電性擾動；另二極體突波電流回穩過程，又分柔性與硬性兩種，硬性恢復產生諧波較多，柔性恢復產生諧波較少。圖 4 二極體 ON/OFF 所產生交流側電流波形變化可以解釋此種現象^[3]，柔性恢復在關閉時，振盪較小頻率偏低，其產生諧波不致向外部釋出；但硬性恢復在關閉時，振盪較大頻率偏高，易與接線部衍生之電感及寄生電容產生振盪效應，此時諧波非常容易向電源端傳導。

(三)RC 充放電電路

電極網 RC 電路在被二極體切換時會衍生高低頻諧波，從圖 1 隔離變壓器二次側看出去，不管是電源對 $C_2(C_1)$ 的充電或電源及 $C_2(C_1)$ 對 $C_4(C_3)$ 的充電，只要二極體被導通，RC 電路均會產生振盪暫態現象，且伴隨正弦電源驅動呈週期性出現(圖 5)。

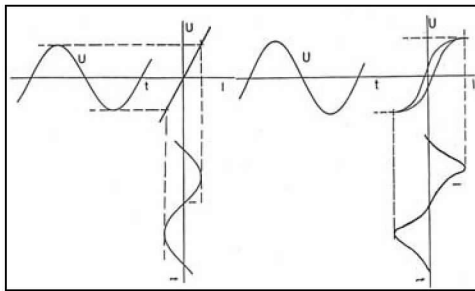


圖 3 鐵芯磁化機構的諧波特徵

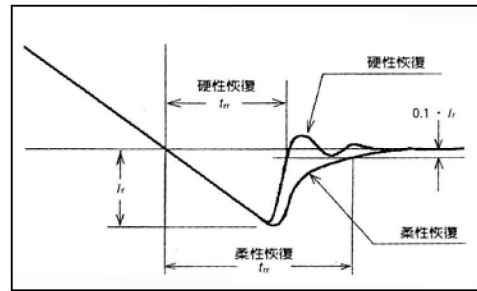


圖 4 二極體 ON/OFF 暫態現象

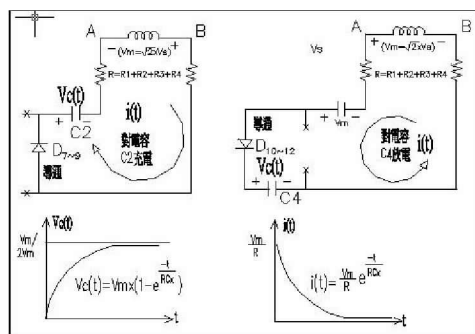


圖 5 RC 電路充電之暫態特性

表 1 CNS14934-2 家電低頻諧波管制值

諧波次 n	最大容許諧波電流(A)
奇數次諧波	
3	2.3A
5	1.14A
7	0.77A
9	0.40A
11	0.23A
13	0.21A
$15 \leq n \leq 39$	0.15A, 15A/n
偶數次諧波	
2	1.08A
4	0.43A
6	0.3A
$8 \leq n \leq 40$	0.23A, 8A/n

四、低頻諧波量測

低頻諧波的量測需藉助諧波分析儀，本文採用日製 HIOKI 8806 電力諧波分析儀進行量測，量測點位於 110 V 電源交流側，量測考慮整體輸出與僅燈管輸出等兩種情形，藉以分析諧波成份及來源，量測結果顯示：

- 1.當 20 W 捕蚊燈整體運作時，其基頻額定電流 0.218 A，產生的低頻諧波電流主要為 2,3, 4,5,6 次諧波，並以 3 次諧波最大，導致綜合諧波均方根平均電流增加至 0.225A。(量測情形如圖 6A；量測數據如表 2A)
- 2.當 20 W 捕蚊燈操作在僅燈管電路輸出時，意謂將隔離變壓器二次側輸出剪掉，迫使電擊網電路無法供電，此時因二極體與 RC 電路暫態效應消失，低頻諧波成份主要集中在 3,5,7 等奇數次諧波，間接證實鐵芯磁化機構僅會衍生奇數次諧波。(量測情形如圖 6B；量測數據如表 2B)

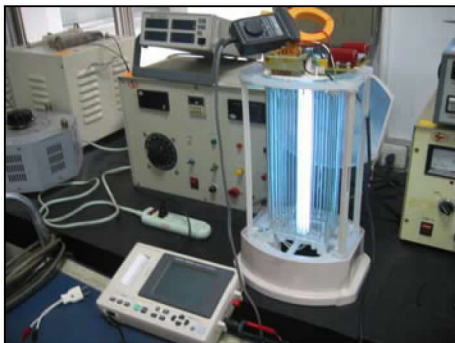


圖 6A (狀況一)捕蚊燈整體輸出量測
表 2A (狀況一)捕蚊燈整體低頻諧波

HARM #	freq:65.0Hz	RMS	CH2	VALUE
1	0.218 A	0.001	0.001	0.001
2	0.020	0.001	0.000	0.001
3	0.052	0.000	0.000	0.001
4	0.012	0.001	0.000	0.000
5	0.006	0.001	0.000	0.000
6	0.002	0.001	0.000	0.000
7	0.001	0.001	0.000	0.000
8	0.001	0.001	0.000	0.000
9	0.001	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000
T-RMS		THD-F	THD-R	
0.225 A		26.24%	25.37%	



圖 6B (狀況二)僅燈管輸出下量測
表 2B (狀況二)僅燈管輸出低頻諧波

HARM #	freq:60.0Hz	RMS	CH2	VALUE
1	0.195 A	0.001	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.031	0.000	0.000	0.001
4	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.002	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.001	0.002	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000
T-RMS		THD-F	THD-R	
0.197 A		15.86%	15.69%	

- 3.將前述第 1 項(狀況一)及第 2 項(狀況二)之操作狀況作比較，可推論捕蚊燈高壓電路，除產生奇數次低頻諧波外，還會產生 2,4,6 偶數次低頻諧波。

4.與表 1 之 CNS 14934 家電類低頻諧波管制值相比，目前市售捕蚊燈各次諧波含量已合乎規範要求。

五、高頻諧波量測與抑制

現在將捕蚊燈移入 EMI 隔離室，並依 CNS 13783-1 要求進行圖 7 電壓傳導及功率輻射電磁干擾量測，為了解其高頻諧波特性和，基板上對策元件是被拔除的，掃圖結果如圖 8。電源線火線 L 相及中性線 N 相掃圖結果以 N 相較為嚴重，故僅針對 N 相探討即可，並對曲線突出點予以複測整理成表 3，結果：

1.傳導電壓干擾

於 300 kHz~1 MHz 頻段附近，有超過或接近限制值的現象，需要執行對策。

2.功率輻射干擾

於 30 MHz~300 MHz 頻段，不加對策元件早已滿足管制值並低很多，換句話說捕蚊燈並無功率輻射干擾問題。

3.高頻電磁干擾來源

主要來自高壓電擊網電路的暫態效應，此暫態包括二極體開關特性與 RC 電路暫態，但與 10W 燈管電路無關，從圖 8(c)僅燈管電路運作掃圖結果，可發現 10W 燈管電路所衍生的高頻電磁干擾效應幾乎等同背景值，也就是不會產生。

4.高頻電磁干擾抑制對策

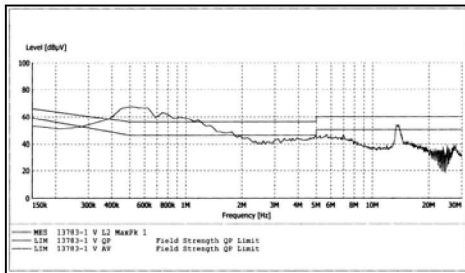
圖 8 (d)~(f)顯示捕蚊燈只要在電 110 V 電源處安裝一顆 0.1 uf 的 X 電容，即可將 300kHz ~1 MHz 電壓傳導干擾抑制降低，電容值無限加大抑制效果有限^[4]。



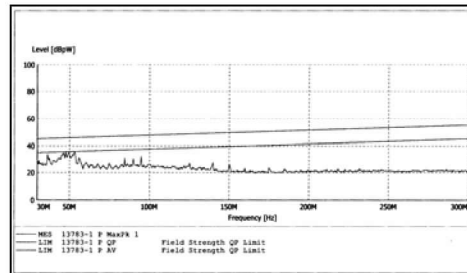
圖 7A 高頻傳導電壓干擾量測



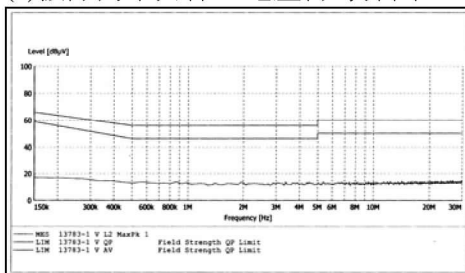
圖 7B 高頻功率輻射干擾量測



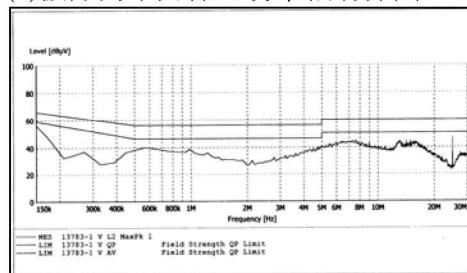
(a) 拔除對策元件，電壓傳導掃圖



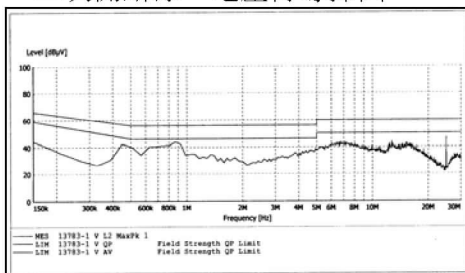
(b) 拔除對策元件，功率輻射掃圖



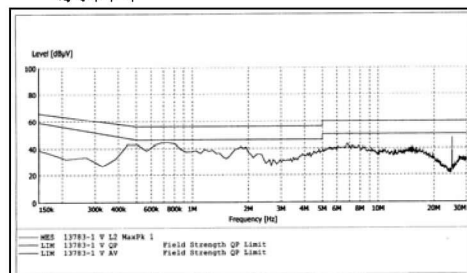
(c) 拔除對策元件，自隔離變壓器二次側斷線，電壓傳導掃圖



(d) 針對(a)，加對策 X=0.1 uF 電壓傳導掃圖



(e) 針對(a)，加對策 X=0.22 uF 電壓傳導掃圖



(f) 針對(a)，加對策 X=1.0 uF 電壓傳導掃圖

表 3 複測傳導電壓干擾突出點 代表接近管制值 代表超過管制值

復測頻率	269 KHz		329 KHz		389 KHz		449 KHz		508 KHz		550 KHz		628 KHz	
量測準峰值 QP/ 平均值 AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
(1) 拔除所有對策 元件(L相復測)	57.3	30.4	64.5	35.5	66.8	38.7	62.4	35.2	58.8	32.5	57.7	31.5	56.2	30.3
(2) 拔除所有對策 元件(N相復測)	57.4	30.5	67.2	37.5	67.6	38.6	61.8	34.6	59.2	32.3	58.1	31.9	57.0	30.3
傳導管制值：	61.2	52.7	59.5	50.5	58.1	48.7	56.9	47.1	56	46	56	46	56	46

復測頻率	748 KHz		867 KHz		1 MHz		2.1 MHz		3.3 MHz		5.3 MHz		6.6 MHz	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
(1) 拔除所有對策元件(L相復測)	55.6	28.4	51.3	24.6	49.2	22.6	43.3	17.3	39.7	12.0	29.2	7.9	23.8	5.8
(2) 拔除所有對策元件(N相復測)	54.9	28.1	51.9	25.0	49.7	23.0	44.3	18.2	41.7	13.7	28.0	7.4	24.1	6.2
傳導管制值：	56	46	56	46	56	46	56	46	56	46	60	50	60	50

六、結論

市售 20 W 捕蚊燈電路結構主要以 10 W 傳統安定器燈用回路並聯電擊高壓電路為主流，捕蚊燈的高頻電磁干擾侷限於電壓傳導干擾，嚴重頻段介於 300 kHz~1 MHz 之間，在 110 V 電源處安裝一只 X 電容 0.1 μ F，幾乎均可滿足 CNS 13783-1 管制規範，電容值裝太大抑制效果有限且成本會上升。至於電磁干擾產生原因來自電擊網的高壓電路，主要由二極體開關與 RC 振盪電路的暫態效應衍生，實驗顯示與燈管電路無關。另捕蚊燈低頻諧波主要由燈具回路的傳統安定器、高壓電路隔離變壓器、高壓電路二極體、RC 電路充放電暫態效應等所衍生，市售捕蚊燈低頻諧波電流含量目前是合乎 CNS 14934-2 管制規範的，主要成份為 2,3,4,5,6 次諧波並以 3 次諧波最大。

七、參考文獻

1. CNS 13783-1:2004，家電製品電磁相容性要求，經濟部標準檢驗局。
2. 林昆平，1995，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(5)，23-31。
3. 林昆平，2007，電磁干擾抑制對策元件 X 電容、差模電感研究，檢驗雜誌，120(12)，40-49。
4. 林昆平，2008，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，121(1)，31-38。

5. 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。
6. 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.
7. Lin,Kun-Ping., 1998, An Advanced Computer Code For Single-Tuned Harmonic Filter Design, IEEE Transation on Industry Application, 34, 640-648.
8. 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。
9. 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。