

二極體諧波特性的研究

Research on Harmonic of Diode

經濟部標準檢驗局台南分局 技正林昆平

1、前言

十幾年前剛接觸諧波時，文獻開頭都會講上一句話「半導體為非線性元件，所以會產生諧波」，至於為什麼？其實也不是很清楚，直到在檢驗局工作，接觸到配電系統末端最小負載—「家電產品」，才豁然開朗。半導體基本元件是二極體，以此單元發展出去，尚有半導體高速開關如MOSFET、電晶體、閘流體及IC積體電路等，這些高速開關動不動就有MHz~GHz的切換速率，產生的諧波頻率幾乎都落在高頻，而二極體PN JUNCTION本質，是會產生高低頻諧波的，從傅利葉級數觀點看，一個被諧波污染的正弦波(歪波)，以級數展開後，頻率會從60Hz一直延升到高頻，只是波幅隨頻率升高而降低，但電機技師似乎只重視低頻部份(60Hz~3000Hz)，理由不外低頻諧波電流通過配電系統電纜或變壓器，會引起熱損，有過載危險，例如大型直流負載用電力整流器及控制馬達變速用之變頻器，都是配電系統諧波源代表作。那麼高頻呢？高頻諧波波幅微弱，頻率高，研究它，幾乎都要先換算成dB值，有人會說，既然高頻諧波電流微不足道，又何必探討呢？其實各位也別忘了！電子控制基板上的積體電路或電子零組件，其運作電流也幾乎是 μ A級，怎會不受影響？高頻諧波不但有低頻諧波的傳導性，更有空間耦合干擾的輻射性，因此國內電機電子產品高頻諧波干擾是有管制的，像CNS13783-1、CNS14115、CNS13439、CNS13438及CNS13803，就分別管制家電產品、燈具、電子音響、資訊設備、醫療設備及工業設備的高頻諧波，倒是低頻諧波竟然沒管制，全世界也僅歐盟制訂標準加以列管。事實上，低頻諧波會引發產品能源損耗(IEC61000-3-2)及低頻磁場輻射干擾問題(EN50366)，低頻磁場輻射致癌，雖無定論，卻也是民眾關心的話題。本文研究二極體的高低頻諧波特性的研究，其結果也代表每種半導體本質的諧波特性的研究，結果供各界參考。

2、二極體衍生高低頻諧波原因

二極體產生諧波過程，主要由其ON/OFF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過，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1二極體ON/OFF時，交流測電流波形的變化，可以解釋這種現象[1]，柔性恢復在關閉時，震盪較小且為衰減性振盪，其產生諧波不致向外部釋出，但硬性恢復在關閉時，諧波頻率偏高，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。為了實際監測其波形變化，筆者實際製作一半波整流電路，以一顆二極體串聯電阻負載箱，並在交流側量測其電流波形如圖 2 及圖 3 所示，結果與理論相符，顯示原為週期性脈波的弦波函數，已被二極體 ON/OFF 現象所擾動。本實驗所以採用電阻箱當負載，是因為電阻為線性元件，沒有諧波問題，可確保實驗過程衍生的諧波擾動均來自二極體。

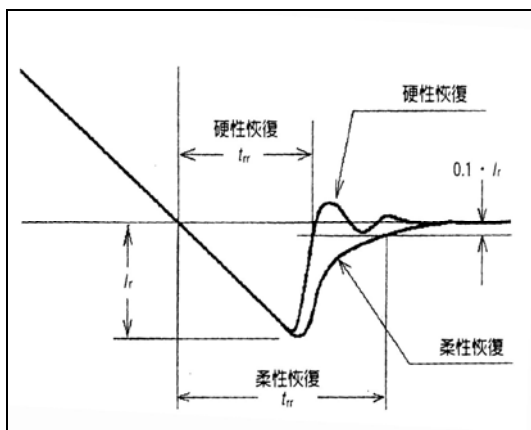


圖 1 二極體 ON/OFF 的交流側暫態



圖 2 二極體交流側電流量測

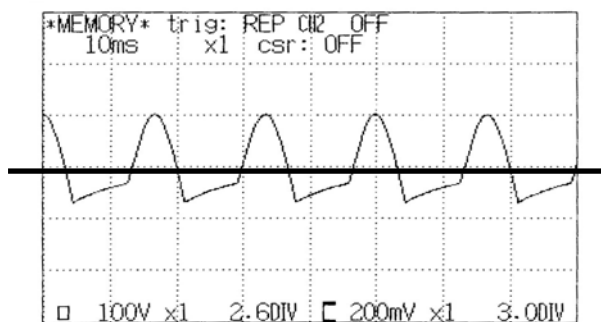


圖 3(A)交流側電流波形監測

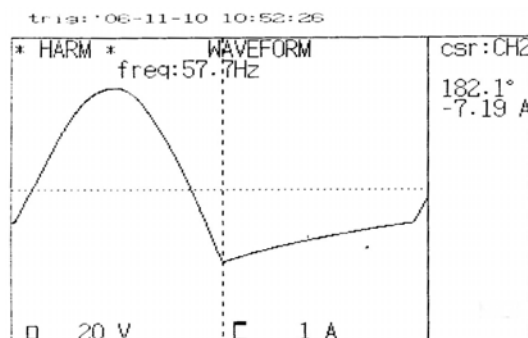


圖 3(B)單一週期電流波形截取

3、低頻諧波引發的能源損耗問題

經濟部能源局正在推行家電產品「能源標章」政策，並對消費者實施補助。產品能源效率提升，除有賴儀控技術精進(如變頻冷氣)，替代材料與結構研發(如省電燈泡)，減少機械損外，如何降低低頻諧波也是關鍵技術之一。低頻諧波由於電流波幅大，流竄於產品內部配線上，會以熱型態發散於空氣中，使原本輸入產品的電功率，部份被支付在產品衍生的諧波效應上，造成產品功因下降。本研究將負載箱輸出分別設定在 250W(內阻 46.8Ω)、500W(內阻 20.5Ω)、1000W(內阻 9.3Ω)，並以半波整流電路輸出側供應電源，再採用 HIOKI 8806 多功能電力量測儀，實際監測 120Hz~3000Hz 低頻段諧波電流、諧波耗功、產品功因，實驗步驟如下：

- (1) 使用自耦變壓器調整電源電壓為 110V。
- (2) 將負載箱連結至半波整流電路輸出側，調整負載箱內阻，更動二極體的負荷量。
- (3) 將 HIOKI 電壓偵測夾 CH1，夾住自耦變壓器引出的電源線，電流鉤表 CH2，勾住電源線 LN 相其中一相。
- (4) 起動負載箱，進行諧波電流、諧波耗功、產品功因輸出特性量測。
- (5) 二極體 250W、500W、1000W 負荷下之量測結果如表 1，特性比較如表 2，發現有下列事實：

- (a) 二極體造成負載箱，功因由 1 降至 0.85 附近。
- (b) 二極體衍生的各次諧波電流大小，隨負載增大而上升，以 2 次諧波為例，其功率損失由 0.5W 上升至 6.25W，成長 12.5 倍，但由於 60Hz 的基頻電流也加重，諧波含率幾乎沒變化，綜合諧波失真率始終在 45% 附近。

表 1 二極體在不同負荷下，衍生的低頻諧波干擾輸出特性

(1) 負載箱 250W+半波整流電源

* HARM *		RMS		CH2		VALUE		
x20		freq:59.5Hz						
N	N	N	N	N	N			
1	1.138	A11	0.000	A21	0.000	A31	0.001	A
2	0.512	A12	0.012	A22	0.003	A32	0.001	A
3	0.006	A13	0.000	A23	0.000	A33	0.001	A
4	0.092	A14	0.008	A24	0.002	A34	0.001	A
5	0.006	A15	0.000	A25	0.008	A35	0.000	A
6	0.051	A16	0.005	A26	0.001	A36	0.002	A
7	0.009	A17	0.001	A27	0.000	A37	0.000	A
8	0.024	A18	0.005	A28	0.002	A38	0.001	A
9	0.001	A19	0.000	A29	0.000	A39	0.000	A
10	0.012	A20	0.004	A30	0.002	A40	0.001	A
T-RMS		THD-F		THD-R				
1.253 A		46.02%		41.81%				

* HARM *		POWER		VALUE				
x20		freq:59.5Hz						
N	N	N	N	N				
1	+118.0	W11	+0.000	W21	+0.000	W31	+0.000	W
2	-500.0m	W12	+0.000	W22	+0.000	W32	+0.000	W
3	+0.000	W13	+0.000	W23	+0.000	W33	+0.000	W
4	+0.000	W14	+0.000	W24	+0.000	W34	+0.000	W
5	+0.000	W15	+0.000	W25	+0.000	W35	+0.000	W
6	+0.000	W16	+0.000	W26	+0.000	W36	+0.000	W
7	+0.000	W17	+0.000	W27	+0.000	W37	+0.000	W
8	+0.000	W18	+0.000	W28	+0.000	W38	+0.000	W
9	+0.000	W19	+0.000	W29	+0.000	W39	+0.000	W
10	+0.000	W20	+0.000	W30	+0.000	W40	+0.000	W
WATT		VA		VAR		PF		
+117.5 W		+136.7 VA		+73.76 var		0.847		

(2) 負載箱 500W+半波整流電源

* HARM *		RMS		CH2		VALUE		
x20		freq:59.0Hz						
N	N	N	N	N	N			
1	2.39	A11	0.01	A21	0.00	A31	0.00	A
2	1.06	A12	0.02	A22	0.00	A32	0.00	A
3	0.04	A13	0.01	A23	0.00	A33	0.00	A
4	0.18	A14	0.01	A24	0.00	A34	0.00	A
5	0.00	A15	0.01	A25	0.00	A35	0.00	A
6	0.08	A16	0.01	A26	0.00	A36	0.00	A
7	0.02	A17	0.00	A27	0.00	A37	0.00	A
8	0.04	A18	0.01	A28	0.00	A38	0.00	A
9	0.00	A19	0.00	A29	0.00	A39	0.00	A
10	0.02	A20	0.00	A30	0.00	A40	0.00	A
T-RMS		THD-F		THD-R				
2.63 A		45.28%		41.25%				

* HARM *		POWER		VALUE				
x20		freq:59.0Hz						
N	N	N	N	N				
1	-245.6	W11	+0.000	W21	+0.000	W31	+0.000	W
2	+2.031	W12	+0.000	W22	+0.000	W32	+0.000	W
3	+0.000	W13	+0.000	W23	+0.000	W33	+0.000	W
4	+0.000	W14	+0.000	W24	+0.000	W34	+0.000	W
5	+0.000	W15	+0.000	W25	+0.000	W35	+0.000	W
6	+0.000	W16	+0.000	W26	+0.000	W36	+0.000	W
7	+0.000	W17	+0.000	W27	+0.000	W37	+0.000	W
8	+0.000	W18	+0.000	W28	+0.000	W38	+0.000	W
9	+0.000	W19	+0.000	W29	+0.000	W39	+0.000	W
10	+0.000	W20	+0.000	W30	+0.000	W40	+0.000	W
WATT		VA		VAR		PF		
-243.6 W		+279.4 VA		+136.9 var		-0.872		

(3) 負載箱 1000W+半波整流電源

* HARM *		RMS		CH2		VALUE		
x20		freq:57.7Hz						
N	N	N	N	N	N			
1	5.18	A11	0.05	A21	0.03	A31	0.02	A
2	2.33	A12	0.05	A22	0.04	A32	0.02	A
3	0.18	A13	0.04	A23	0.02	A33	0.01	A
4	0.37	A14	0.04	A24	0.03	A34	0.02	A
5	0.10	A15	0.04	A25	0.02	A35	0.01	A
6	0.16	A16	0.04	A26	0.03	A36	0.02	A
7	0.10	A17	0.03	A27	0.02	A37	0.01	A
8	0.07	A18	0.04	A28	0.02	A38	0.02	A
9	0.05	A19	0.03	A29	0.01	A39	0.01	A
10	0.06	A20	0.04	A30	0.02	A40	0.02	A
T-RMS		THD-F		THD-R				
5.70 A		46.07%		41.84%				

* HARM *		POWER		VALUE				
x20		freq:57.7Hz						
N	N	N	N	N				
1	+523.8	W11	+0.000	W21	+0.000	W31	+0.000	W
2	-6.250	W12	+0.000	W22	+0.000	W32	+0.000	W
3	+0.000	W13	+0.000	W23	+0.000	W33	+0.000	W
4	+312.5m	W14	+0.000	W24	+0.000	W34	+0.000	W
5	+0.000	W15	+0.000	W25	+0.000	W35	+0.000	W
6	+0.000	W16	+0.000	W26	+0.000	W36	+0.000	W
7	+0.000	W17	+0.000	W27	+0.000	W37	+0.000	W
8	+0.000	W18	+0.000	W28	+0.000	W38	+0.000	W
9	+0.000	W19	+0.000	W29	+0.000	W39	+0.000	W
10	+0.000	W20	+0.000	W30	+0.000	W40	+0.000	W
WATT		VA		VAR		PF		
+517.8 W		+589.1 VA		+280.9 var		0.879		

表 2 二極體在不同負荷下，之輸出特性比較

線性負載	功率 VA	瓦特 W	2 次諧波 消耗功率	功因 PF	綜合諧波電流 失真 THDi
1. 250W	138.7VA	117.5W	0.5W	0.847	46.02%
2. 500W	279.4VA	243.6W	2.031W	0.872	45.28%
3. 1000W	589.1VA	517.8W	6.25W	0.879	46.07%

4、高頻諧波引發的電磁干擾問題[3]

將前述整套設備移至高頻 EMI 隔離室，進行 150KHz 以上高頻諧波電壓傳導及功率輻射量測，實驗步驟如下：

- (1)將連接電源模擬阻抗 LISN 的自耦變壓器，電壓調整為 110V。
- (2)將半波整流電路交流側電線與 LISN 插座連結，進行傳導性高頻電磁干擾量測如圖 4。
- (3)將半波整流電路交流測電線，置於功率輻射量測系統上的滑車，量測高頻輻射電磁干擾如圖 5。
- (4)起動負載箱，進行高頻傳導及輻射電磁干擾量測。
- (5)負載箱分別調至 250W、500W、1000W，並由半波整流電路輸出側供應電源，分別量測如表 3。另參考高頻電磁干擾曲線走勢圖，再依 CNS13783-1 所規定，於傳導頻帶 150KHz~30MHz 之 11 個頻率復測點及輻射頻帶 30MHz~300MHz 之 8 個頻率復測點，進行量測並整理成表 4 及表 5，以方便比較高頻電磁干擾特性，結果發現下列事實：

- (a)二極體衍生的高頻電壓傳導性干擾，在 150KHz~2MHz 附近呈上揚趨勢，雖然平均值 AV 還是符合 CNS13783-1 管制標準，但在 150KHz~550KHz 頻段的準峰值 QP 已超出標準，且負載輸出越大，結果越嚴重，使平均值 AV 有逼近管制值之態。
- (b)二極體衍生的高頻電壓傳導性干擾，其干擾曲線會構成一漂亮半拋物線型狀，並在 3MHz 以前緩和下來。
- (c)二極體衍生的高頻功率輻射干擾，均符合 CNS13783-1 管制標準，顯見二極體衍生的高頻諧波，並未伸及 30MHz~300MHz 輻射頻段。



圖 4 二極體高頻傳導電磁干擾量測



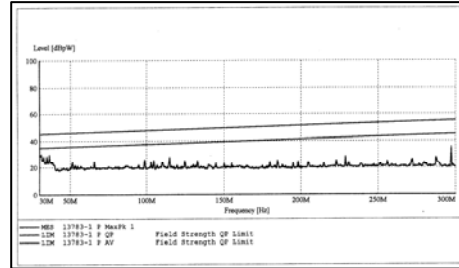
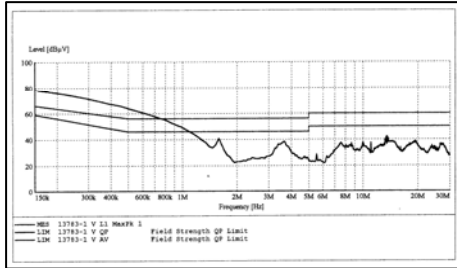
圖 5 二極體高頻輻射電磁干擾量測

表 3 二極體在不同負荷下，衍生的高頻諧波電磁干擾特性

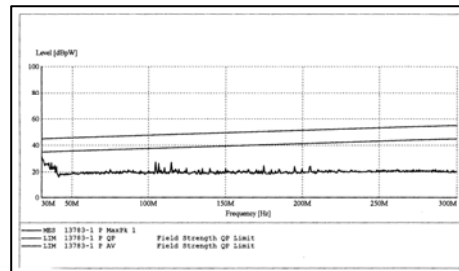
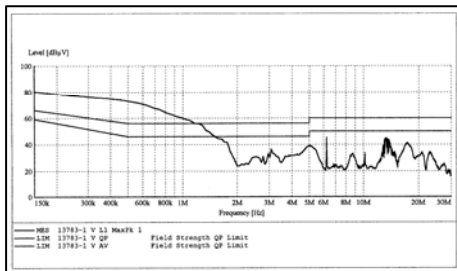
(左列：傳導性掃圖 X 軸 150KHz-30MHz，Y 軸單位 μV dB)

(右列：輻射性掃圖 X 軸 30MHz-300MHz，Y 軸單位 pW dB)

(1) 負載箱 250W+半波整流電源



(2) 負載箱 500W+半波整流電源



(3) 負載箱 1000W+半波整流電源

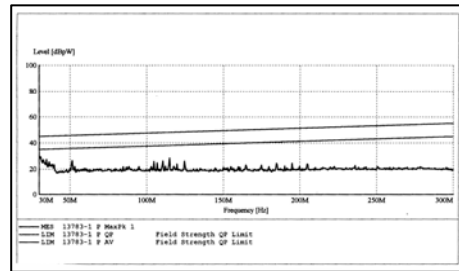
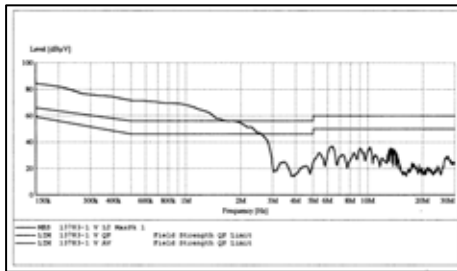


表 4 二極體不同負荷下，衍生的高頻傳導性電壓干擾特性比較

複測頻率 MHz / dB(μV)	250W 負荷		500W 負荷		1000W 負荷		CNS13783-1	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
0.16	69.9	34.6	74.8	39.1	79.8	44.1	65.5	58.3
0.24	65.6	30.9	70.3	34.9	74.4	38.9	62.1	53.9
0.55	54.3	20.0	56.9	22.1	54.8	20.8	56.0	46.0
1	41.1	10.6	39.5	9.9	27.0	5.8	56.0	46.0
1.4	29.6	20.1	23.7	7.0	9.1	4.1	56.0	46.0
2	9.6	4.3	8.6	4.0	11.4	8.3	56.0	46.0
3.5	28.7	23.7	9.1	2.2	21.8	19.6	56.0	46.0
6	13.0	5.8	10.6	7.4	11.9	5.3	60.0	50.0
10	37.0	29.7	5.8	-0.3	17.3	10.8	60.0	50.0
22	15.6	9.4	13.7	7.1	4.8	-0.5	60.0	50.0
30	20.8	14.3	4.4	-1.3	14.5	5.9	60.0	50.0

表 5 二極體不同負荷下，衍生的高頻功率輻射干擾特性比較

複測頻率	250W 負荷		500W 負荷		1000W 負荷		CNS13783-1	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
30	25.1	20.6	28.9	22.7	27.0	20.7	45.0	35.0
45	7.6	1.0	8.4	1.8	7.2	0.4	45.6	35.6
65	10.3	3.0	10.0	2.9	8.7	2.1	46.3	36.3
90	12.6	6.5	10.0	3.5	13.0	6.9	47.2	37.2
150	12.7	6.4	12.0	5.4	11.0	4.6	49.4	39.4
180	13.7	9.2	11.3	5.4	11.2	5.2	50.6	40.6
220	7.7	1.1	7.9	2.2	7.2	0.6	52.0	42.0
300	7.7	1.8	7.3	1.2	7.3	0.8	55.0	45.0

5、結論

二極體因週期性 ON/OFF 動作，使產品衍生諧波，頻段介於 120Hz~3000Hz 的低頻諧波電流，除造成產品能源損耗外，其衍生低頻磁場輻射致癌說，也是消費者關心的話題，而產品內部功因改善電容器與插座電源端阻抗，形成共振點頻率，一般推論落在低頻段，這也使得某個頻率的低頻諧波，因過於接近共振點，而遭放大的可能[2][3]，若再加上產品保護協調設計不良，電器火災是有可能的，再者大樓過多二極體控制家電產品的使用，也會污染台電供電品質。

二極體衍生諧波由低頻段延伸至高頻段 150KHz 以上時，即進入國家高頻電磁干擾管制範圍，如 CNS13783-1 家電、CNS14115 燈具、CNS13438 資訊、CNS13439 廣播、CNS13803 工科醫，但本研究顯示，二極體產生的高頻諧波頻段，僅止 30MHz 以下的傳導性電磁干擾，至於各標準所規定 30MHz~1000MHz 的輻射性干擾，應為半導體切換開關功能所引起，而非二極體引起。

二極體除應用在家電控制基板，也常出現在家電半功輸出控制弱速上，理由不外價錢較可調電阻或分壓電路設計來得便宜，只差在會產生傳導性電磁干擾，但這個問題，一顆便宜的 X 電容就可解決[3]，整體還是便宜很多，所以深受廠商採用，其實這種設計方式是不被准許的，只是大家都在用，自然成為常規，因為 IEC555-2 已明文規定：『伴隨少或等於 40 個半週波之供應電壓的交換式操作(即整流電路)，不應該被用來作發熱元件或發熱器具的控制，特別是二極體就不應該用來提供一半功率給發熱元件』。

二極體若應用在家電電熱類作半功輸出時，可確定會產生一漂亮的半拋物線傳導性干擾曲線，終止於 30MHz 以下，對於 30MHz 以上頻段，則無輻射干擾問題。

6、問題集

Q1. 功因下降為什麼與能源效率有關?各種不同頻率諧波，為什麼會有不同的功因?諧波系統下的功因如何定義?

答：1. 功因是一個產品能源損耗的指標，代表輸入 100VA，本應有 100W 的輸出，但由於產品內部結構如線圈及鐵芯元件的儲能效應，或引用半導體元件所衍生諧波問題，容易造成產品內部線路損失及沒用之功率累積，使得輸入電力需求，需大於 100VA，即額外損失。

2. 60Hz 基頻下電壓電流關係，因線路阻抗(R+jwL)存在，而有相角產生，當產品內部衍生各種不同頻率諧波時，由於其頻率 w 均不同，流經線路阻抗(R+jwL)，便會產生各自相角。

3. 從綜合功因觀點來看，諧波確實會造成產品功因再度下降，功因不能只是 60Hz 狀況下的問題，諧波系統下的功因重新定義如式 1，可明顯發現：「產品諧波含量確實使產品功因降的更低」，表 6 即 27W 電子式檯燈輸入側電氣特性監測結果，由於其引用電子式安定器，衍生不少諧波電流，燈具插座端確實可，量測到不同頻率諧波，有各自相角及各自功因。

$$PF \doteq PF1 \times \frac{1}{\sqrt{1+THD_i^2}} \quad (\text{式 1})$$

註：PF1=COS θ_1 ，即 60Hz 基頻的功因

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{N=2}^N I_N^2}}{I_1}, \quad I_N: \text{各次諧波電流}$$

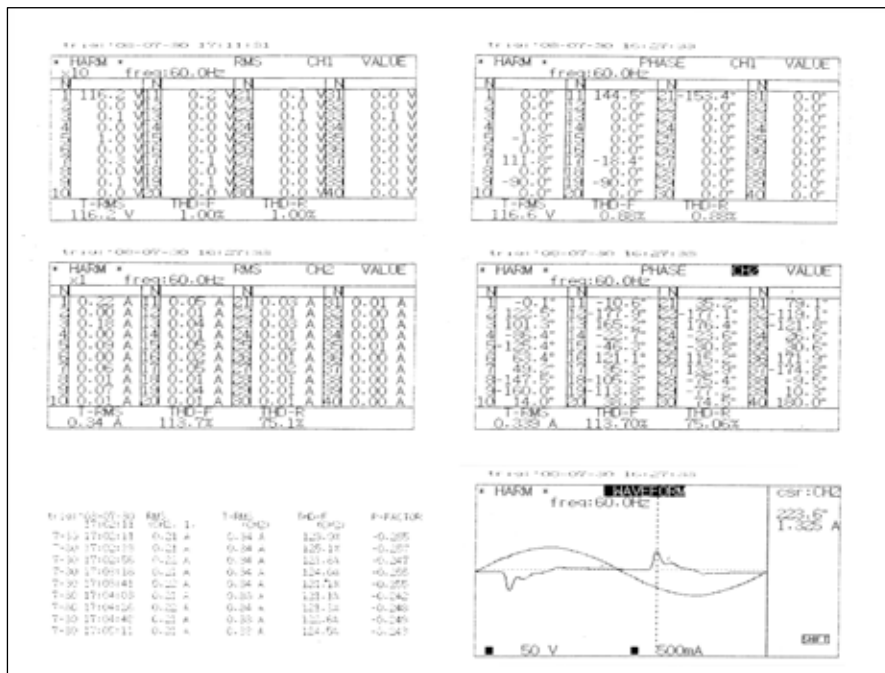


表 6 27W 電子式桌上型檯燈產生各次諧波電壓電流相角量測

Q2. 省電燈泡真能省電？

- 答:1. 省電燈泡真能省電？這話題應 FOCUS 在比的對象上,如果跟同瓦數的螢光燈管燈具比較,那根本就是一模一樣的東西,只差省電燈泡本名叫「安定器內藏式燈泡」,它是有安定器的,就作在燈泡下頭;而螢光燈管卻需插入含有安定器的燈具上,因此,拿(省電燈泡)跟(螢光燈管+燈具)比,並不厚道,因為省電燈泡本來就是螢光燈管的一種,只是形狀被作成球狀,並與安定器製作在一起,更何況螢光燈管形狀(直管、環管、T5 細管),攸關發光效率。所以本題重點是在燈泡,比,應該跟鎢絲燈泡的輸入電力、功因及價錢作比較,才有意義。
2. 例輸出 50W 電力之鎢絲燈泡,可產生 100 流明,若改以輸出 10W 安定器內藏式螢光燈泡,照樣可產生 100 流明,所以輸出電力減為 1/5,照明數卻相同。
3. 但兩者實際輸入的電力呢?輸出 50W 的鎢絲燈泡,其輸入電力 50VA(因功因 PF 接近 1);省電燈泡由於電子式安定器存在,市售三大廠牌功因實測結果在 0.3 附近(表 7),以 B 牌為例,省電燈泡輸出 10.5W 時,其電力需求為 35VA($10.5W \div 0.306$),因此欲發出同樣流明數,鎢絲燈泡需花費 50VA 電力,日光燈卻僅需用 35VA,如此看來,所謂省電燈泡(安定器式內藏式燈泡),也並無想像中那樣,可節省 4/5 的電力。
4. 若欲讓省電燈泡較鎢絲燈泡節省 4/5 電力,其電子式安定器事實上,需再加上功因校正電路,除將諧波含率降低外,增加功因改善電容量(-var),以減少安定器過多之功率(+var),並功因提升至 1。此種功因校正電路,目前均已製成單顆 IC,但安置它,連帶使省電燈泡價格飆升,那麼考慮鎢絲燈泡與省電燈泡的價錢、壽命、輸入電力等經濟效益,省電燈泡超省電省錢?值得再評估。

表 7 27VA 電子式省電燈泡評比

27VA 電子式省電燈泡	A 牌	B 牌	C 牌	評 比
電源諧波背景電壓失真	1.00%	1.00%	1.00%	相同
A. 實功 P(平均)	10.5W	10.5W	9.5W	差距不大
B. 功因 PF(平均)	0.365	0.306	0.255	三家功因均極低,標準雖沒管制,但規定量測值需在標示值的 95%以上,此三家標示上明載功因 56%以上,量測與標示,明顯不符
C. 耗能 Q(平均)	27var	33var	36var	$Q=(P/PF) \times \sin(\cos^{-1}PF)$
D. 3 次諧波(平均)	0.13A	0.175A	0.18A	A 牌略低,另兩廠牌差距不大
E. 5 次諧波(平均)	0.09A	0.13A	0.13A	A 牌略低,另兩廠牌差距不大
F. 7 次諧波(平均)	0.06A	0.08A	0.08A	A 牌略低,另兩廠牌差距不大
G. 9 次諧波(平均)	0.04A	0.05A	0.06A	差距不大
H. 11 次諧波(平均)	0.03A	0.04A	0.05A	差距不大

I. 綜合諧波失真(平均)	132.50%	139%	144%	C牌>B牌>A牌,且三家廠牌均不合120%以下標準
J. 60Hz 額定電流	0.152A	0.186A	0.21A	C牌>B牌>A牌
K. 含諧波之綜合電流(平均)	0.235A	0.305A	0.335A	
L. 諧波總干擾量	0.083A	0.119A	0.125A	A牌略低,另兩廠牌差距不大

Q3. 二極體若應用在居家電熱類家電產品作半功率輸出，於高頻下會產生一漂亮半拋物線傳導性電壓干擾曲線，是否每種二極體類型都會？

答:應用於家電類作半功輸出之二極體，通常為『大功率二極體』，有些為負荷大電流，還會使用 2 顆，甚至 3 顆來進行分流並分擔負荷，此類二極體就是這種特性，家電商不可能使用稽納二極體或飛輪二極體(逆向二極體)來作半功輸出的，因這些二極體本來就不會用在半功輸出功能上，大部份用在基板控制導通，只能承受微弱電流。因此本文所談二極體，指的是大功率二極體，並不是所有型態二極體均適用，例如鹵素燈電暖器弱功輸出下的傳導性電壓干擾，就會呈現這樣半拋物線曲線。另基板上的各種微型二極體產生的諧波電流，雖微弱，量多仍然可觀，加上其它半導體振盪高速開關，應用電子基板於家電產品控制上，產生高低頻電磁干擾是必然的。

7、參考資料

1. 鄭振東 編譯, " 交換式電源手冊 " , P9-11~12, 2001.
2. 林昆平 著, " 電機電子產品共振問題探討 " , 第 57 期, 檢驗雜誌.
3. 曾國憲 著, " 現行電錶之功率因數探討 " , 第 114 期, 檢驗雜誌.