

電機電子產品諧波問題探討

林昆平/台南分局第一課 技正

一、前言

近來電機電子產品為迎合消費者青睞，已朝輕薄短小及使用方便發展，其最大特色便是大量引用固態半導體及閘流體控制元件，像應用於恒溫式冷氣機及變速馬達內部的變頻器、交直流電源變換的整流電路、開關控制電路及電池充電器，這些結構由於使用高速切換電力電子元件，使得原本供應電源之 60Hz 正弦波，衍生其它低頻雜訊(統稱諧波)，除了對電子設備產生電磁干擾外，諧波電流經由電源線入侵供電系統，往往造成不可預期的傷害，輕者不明原因跳電，重者燒毀供電設備，引起火災。因此，歐美各國非常重視，早對電機電子產品諧波加以限制。例如美國電機電子協會 IEEE-519 標準，對 240V 以下低壓設備諧波予以規範，再如歐規 IEC-100-3-2 及 IEC-100-3-4 標準，更是對電機產品諧波有明確限制，甚至日本也早在五年前，完成產品諧波含量之相關規定。反觀台灣，除了台電 81 年 9 月頒布大用戶設備諧波暫時管制條例外，電機電子產品諧波規範可說一片空白。因此在先進各國紛紛重視此問題及台灣加入 WTO 之際，諧波問題恐將繼電磁干擾後，成為第二波管制的對象，本局亦當未雨綢繆訂定相關作業程序，提升台灣電機電子產品競爭力。是故，本文擬由諧波產生原因談起，了解其弊害，其次淺談目前各國管制情形，最後以本局委託試驗之家電產品，進行諧波量測，以提供廠商對諧波基本認知。

二.諧波及其產生原因

諧波係指非正弦週期波中，具基本波 60hz 整數倍或非整數倍頻率的電壓或電流成份，一般以整數倍較多。如台電系統基本波頻率為 60hz，第五次諧波其頻率為基波頻率五倍，即 $5 \times 60 = 300 \text{ Hz}$ ，圖 1 所示，為基本波形被五次諧波電流畸變的情形。

圖 2 描述一正弦波電源電壓施加於線性負載阻抗，所得到輸出電流仍保持原有正弦波，但若跨接於非線性負載，則電流畸變為歪波，產生各種諧波成份。電機電子產品中，到底有那些是非線性負載呢？型式上，大致分為三類：

- (1) **鐵芯磁化機構：**主要由產品內部小型變壓器引起。變壓器激磁電流受到鐵心磁滯現象及磁通密度飽和的影響，導致二次側感應電壓畸變，例如開飲機、飲水供應機、熱水器及日光燈用安定器等。
- (2) **旋轉機構：**產品內部交直流機引起。由於轉子與定子槽之磁阻變化、主磁路飽和產生漏磁現象及部份繞組設計不良所致，例如果汁機、風扇及吸塵器等。
- (3) **非線性電子電路：**產品內部整流電路、交直流變換電路及變頻電路引起。

1. 整流電路 主要由稽納二極體及閘流體構成，提供電路基板所需，典型如觸控式電扇基板、日光燈用電子安定器及微波爐都有應用。
2. 交直流變換電路器 用於速率控制、調光裝置及電爐之溫度控制，像果汁機、吸塵器及可調式燈具。
3. 變頻電路 依指令改變頻率、調整速率，主要應用有恆溫式變頻冷氣機及省能變速馬達控制的家電。

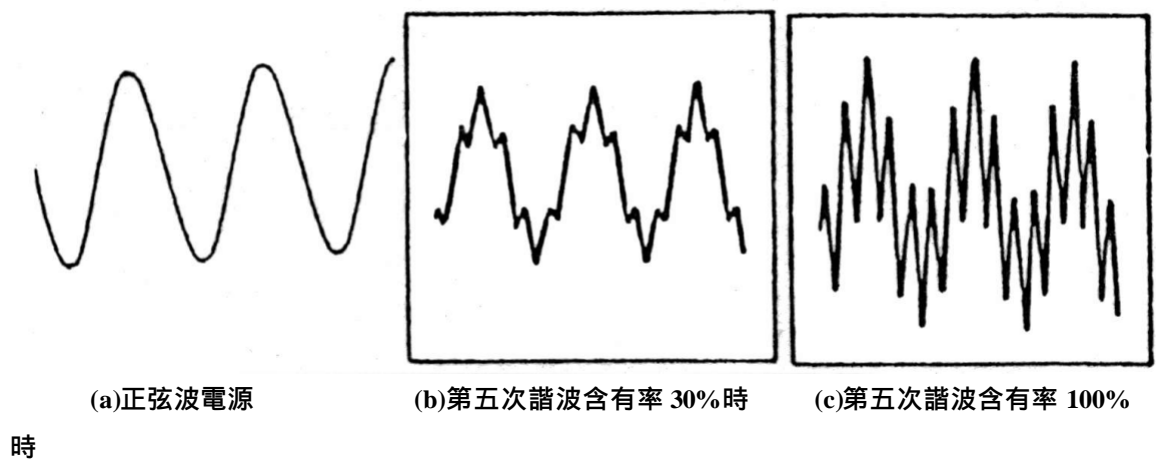


圖 1 正弦波電源被五次諧波畸變

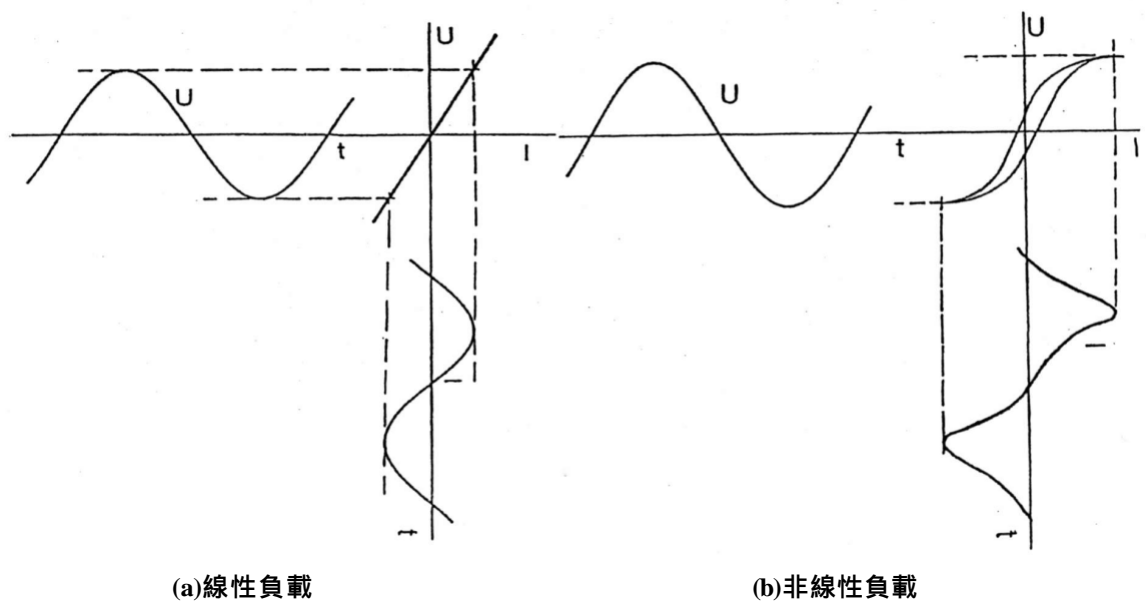


圖 2 線性負載與非線性負載

三. 諧波散害

諧波在台灣工業界早已衍生嚴重事故，包括半導體廠、晶圓廠、鋼鐵廠、造紙廠及化工廠，常因廠內使用大容量整流設備及變頻設備，造成不明原因跳電，盤體燒毀，電線發燙、生產線停頓，因此台電已於八十一年緊急頒布諧波管制條例，對大用戶諧波負載進行限制。至於家電產品諧波含量，雖相對小很多，但一經大量使用，仍將對大樓供電產生危害，主要有下列幾點：

1. 電費浪費 含諧波電流之家電產品，由於諧波消耗部份功率，功因特低。
2. 無熔絲斷路器(NFB)不明原因跳脫 諧波電流造成過載而跳脫，嚴重影響設備使用。
3. 電線發燙引起火災 電線額外乘載諧波電流而過熱，尤其配電系統中性線 (netural) 過熱燒斷，電壓浮動，燒毀其它使用器具。
4. 配電箱有異音 配電箱因諧波電流產生磁場，造成共鳴現象，有嘶嘶的吵雜音。
5. 變壓器發燙 變壓器未達額定已發燙，低頻諧波在線圈間引起共振，產生雜音，縮短壽命。
6. 發電機控制電路失靈 發電機過燙及控制電路受諧波雜訊干擾而失靈。
7. 通訊系統受干擾 電話線受配電系統中性線上，第三次諧波電流流通，而干擾。
8. 燈具燒毀 由於日光燈具裝有小型功因改善電容器，其低阻抗特性，常引來諧波電流而燒毀。
9. PLC 控制機具受諧波干擾而失靈。
10. 配電系統功因改善電容器過熱、燒毀、振動、異音。
11. 家電內部馬達結構 鐵損及銅損增加，造成溫升，產生振動力矩，增加電動機噪音，縮短壽命。
12. 電錶量測不準 由於電錶指針磁力線受諧波電流磁場干擾而有誤差。
13. 音響設備 內部電容器、電晶體及二極體易受諧波電流燒毀且有雜音。
14. 閘流器構成之控制設備因夾雜諧波電流而誤動作。

此外，根據日本電氣協同委員會調查，諧波甚至對電機電子產品造成嚴重傷害，表 1 所示。

電子設備	障礙現象	障礙原因	障礙影響	
音響影視設備等	因高諧波電壓與電流致使二極體、電晶體及電容器固障，性能劣化	過電流	壽命減短	
	發生雜音，影像不穩	感應		
放大器	某些零件發熱	過電流	壽命減短	
	產生雜音	感應		
裝有PC的家電用品	某些零件發熱	過電流	壽命減短	
	產生雜訊	感應		
電腦，包括CAD、FA、OA、FAX、PC、工作站、資料處理器、影像掃瞄器、文書處理器等用	某些零件發熱	過電流	壽命減短	
	誤動作，影響計算機演算	感應		
程序控制設備，包括SCR控制裝置、變頻器、變流器、換流器、程序控制偵測器等	因控制訊號相角變移引起誤控誤動作	電壓畸變感應		
負載集中監控設備	因控制訊號受擾亂而受訊器誤動作			
X光微分析器	畫面不清	感應及電壓畸變		
無線電受信機	某些零件發熱	過電流	壽命減短	
	產生雜音	感應		
魚群探知機	影像不清，雜訊	感應		
呼叫器	誤報	感應		
影印機	某些零件發熱	過電流	壽命減短	
印表機	誤動作	感應		
無線電遙控器	誤動作	感應		
低頻感應爐	不能運轉	?		
生產用控制設備，包括NC控制器、機器人控制器、位置控制器、Servo、換流器等	某些零件發熱	過電流	壽命減短	
	誤動作	感應及電壓畸變		
其他	漏電斷路器	誤動作	?	
	過電流電驛	誤不動作、標置誤差	過電流電壓畸變	燒損電流線圈
	螢光指示燈	電容器及電感器發熱	過電流	燒損
	水銀燈、氙氣燈	某些零件發熱	過電流	壽命減短
	控時開關	發熱	過電流	
	感應電動機	發熱，轉矩不穩，噪音	過電流	壽命減短
	變壓器	發熱，過載，噪音，震動	過電流	絕緣劣化，壽命減短，燒損

表 1 諧波對電機電子產品散害

四. 歐美日各國對諧波管制狀況

美國在十幾年前，以 IEEE-519 標準限制諧波負載對供電系統的衝擊，並於 2001 年修訂，將標準放寬至 220V 以下，即一般電器產品諧波管制，如表 2 所示。其中以 I_{sc}/I_L 比值，作為選擇諧波管制值的指標，例如 $I_{sc}/I_L=150$ ，則選取第四列作為標準，則 2~10 次諧波電流失真率需小於 12%；11~16 次諧波電流失真率需小於 5.5%；17~22 次諧波電流失真率需小於 5%；23~34 次諧波電流失真率需小於 2%；35 次以上諧波電流失真率需小於 1%；綜合諧波失真率需小於 15%，該產品才算合格。

註： I_h 個次諧波電流，單位安培

I_L 負載基波電流，單位安培

I_{sc} 負載電源供應端的短路電流，單位安培

I_h/I_L 諧波電流失真率

TDD or THD (total harmonic distortion) 綜合諧波失真率

$$= \frac{(I_h)^2}{I_L}$$

**Current Distortion Limits for General Distribution Systems
(120 V Through 69 000 V)**

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not Allowed.

*All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L .

Where
 I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

表 2 美國 IEEE-519 管制諧波標準

至於歐洲目前以 IEC 1000-3-2 及 IEC 1000-3-4 標準，對電機電子產品進行諧波管制，如表 3 及表 4 所示。其中 I_n 表產品產生的各次諧波電流含量， I_{1_act} 為實際額定運轉基波電流，管制對像主要侷限於奇次數諧波，這與家電產品甚少出現偶次數諧波有關。目前 IEC 1000-3-2 標準是管制額定電流小於 16A 的單相產品，IEC 1000-3-4 標準，則是限制額定電流介於 16A~75A 的單相或三相電機電子產品，兩標準對產品之綜合諧波電流失真率，一律管制在 20%內，才算合格。

日本對供電系統及電器產品諧波管制，採用諧波負載容量(kw)所含各次諧波電流(A)比率，作為管制標準，如表 5。其主要對像仍限制奇數次諧波。

IEC 1000-3-2 Limits for Class D Equipment

Harmonic order n	Maximum permissible harmonic current per watt mA/W	Maximum permissible harmonic current A
3	3.4	2.30
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.40
11	0.35	0.33
$13 \leq n \leq 39$ (odd har. only)	$\frac{385}{n}$	refer to Class A

表 3 歐洲 IEC 家電產品(<16A) 諧波管制標準

IEC 1000-3-4 admissible current for whole installation

Harmonic Number n	Admissible Harmonic Current I_n/I_{1_act} (%)	Harmonic Number n	Admissible Harmonic Current I_n/I_{1_act} (%)
3	19	21	≤ 0.6
5	9.5	23	0.9
7	6.5	25	0.8
9	3.8	27	≤ 0.6
11	3.1	29	0.7
13	2.0	31	0.7
15	0.7	≥ 33	≤ 0.6
17	1.2		
19	1.1	Even	$\leq 4/n$ or ≤ 0.6

表 4 歐洲 IEC 家電產品(16A~75A) 諧波管制標準

日本諧波標準中每 kW 容許流出諧波電流上限值(單位: mA/kW)

受電電壓(kV)	諧波級數							
	5	7	11	13	17	19	23	>23
6.6	3.5	2.5	1.6	1.3	1.0	0.9	0.76	0.7
22	1.8	1.3	0.82	0.69	0.53	0.47	0.39	0.36
33	1.2	0.86	0.55	0.46	0.35	0.32	0.26	0.24
66	0.59	0.42	0.27	0.23	0.17	0.16	0.13	0.12
77	0.5	0.36	0.23	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10
110	0.35	0.25	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.07
154	0.25	0.18	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05
220	0.17	0.12	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
275	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02

表 5 日本諧波管制標準

五. 家電產品諧波量測

諧波在數學上是利用傅利葉級數，將歪波內的諧波成份抽離出來，其有一系列的計算方式，不在本文探討之內；應用這些原理，工業界已成功研製出諧波量測儀，其價格從 10 萬元至 100 萬元都有。圖 3、圖 4 及圖 5 為筆者在本分局實驗室，使用諧波分析儀，對委託試驗產品，進行諧波成份測量的部份情形。結果如表 6 所示，可發現 風扇綜合諧波電流失真率 THD 為 25.6%，主要成份是 3 次及 5 次諧波；吸塵器 THD=37.19%，主要諧波為 5 次及 7 次，其含量各為 28.4%及 20.14%，捕蚊燈比較嚴重點，額定電流為 2.72A，量測結果 4.25A，過載 1.53A，主要由 3 次諧波產生；其它產品諧波含量，調查結果如下(僅提供綜合諧波電流失真率 THDi)：

1. 照明類：日光燈 (THDi 23%)，調光式檯燈 (THDi 61%)。
2. 電熱類：電熱水瓶 (THDi 16%)。
3. 動力類：冷氣機 (THDi 28%)，電冰箱 (THDi 9%)，除溼機 (THDi 18%)。
4. 視聽類：電視機 (THDi 118%)，錄放影機 (THDi 55%)。
5. 資訊類：印表機 (THDi 148%)，個人電腦 (THDi 110%)，繪圖機 (THDi 55%)。
6. 儀器類：電力計測儀 (THDi 138%)，示波器 (THDi 57%)。

六. 結論

由上述量測，電器產品中，以資訊類總諧波電流含量最高，視聽類次之，電熱類最低；諧波中以第三、第五諧及第七諧波含量最大，諧波電流愈高，功率因素愈差。家電產品除微波爐、冷氣機及吸塵器外，一般諧波電流不大，因此各別用戶之諧波電流不大，但如公寓用戶數過多時，其注入配電系統總含量不容忽視，應

予追蹤控制。辦公大樓電腦、日光燈、變頻冷氣及空調設備用很多，影響層面將很廣，用戶用電設備及配電設備，會有相當程度之損害，須設法防制。在歐美日國家最對電機電子設備諧波源，加以限制的同時，本局當應加緊腳步，進行相關作業之研擬。



圖 3 風扇諧波成份量測情形



圖 4 吸塵器諧波成份量測情形



圖 5 捕蚊燈諧波成份量測情形

HARMONICS(INSTANT) 桌扇 110V 45W					HARMONICS(INSTANT) 吸塵器 110V 800W				
trig time '02-03-14 15:05:40					trig time '02-03-14 15:25:23				
Fund. Freq. 59.9Hz					Fund. Freq. 60.0Hz				
	CH1		CH2			CH1		CH2	
	T-RMS	THD-F	T-RMS	THD-F		T-RMS	THD-F	T-RMS	THD-F
	110.02 V	1.54 %	0.4025 A	25.60 %		111.03 V	2.54 %	7.5700 A	37.19 %
N	RMS	RATIO	RMS	RATIO	N	RMS	RATIO	RMS	RATIO
1	110.00 V	100.00 %	0.3900 A	100.00 %	1	111.00 V	100.00 %	7.1000 A	100.00 %
2	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %	2	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %
3	0.39 V	0.35 %	0.0819 A	21.00 %	3	0.10 V	0.09 %	0.0802 A	1.13 %
4	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %	4	0.04 V	0.04 %	0.0327 A	0.46 %
5	1.43 V	1.30 %	0.0468 A	12.00 %	5	2.53 V	2.28 %	2.0164 A	28.40 %
6	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %	6	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %
7	0.80 V	0.73 %	0.0273 A	7.00 %	7	1.09 V	0.98 %	1.4299 A	20.14 %
8	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %	8	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %
9	0.11 V	0.10 %	0.0156 A	4.00 %	9	0.04 V	0.04 %	0.1377 A	1.94 %
10	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %	10	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %
11	0.13 V	0.12 %	0.0078 A	2.00 %	11	0.62 V	0.56 %	0.9138 A	12.87 %

HARMONICS(INSTANT) 微波爐 110V 1500W					HARMONICS(INSTANT) 捕蚊燈 110V 300W				
trig time '02-03-14 16:12:56					trig time '02-03-14 16:21:34				
Fund. Freq. 59.9Hz					Fund. Freq. 60.1Hz				
	CH1		CH2			CH1		CH2	
	T-RMS	THD-F	T-RMS	THD-F		T-RMS	THD-F	T-RMS	THD-F
	110.70 V	16.60 %	13.9400 A	40.92 %		108.50 V	9.25 %	4.2500 A	121.71 %
N	RMS	RATIO	RMS	RATIO	N	RMS	RATIO	RMS	RATIO
1	109.20 V	100.00 %	12.9000 A	100.00 %	1	108.00 V	100.00 %	2.7200 A	100.00 %
2	0.38 V	0.35 %	0.1548 A	1.20 %	2	0.02 V	0.02 %	0.0577 A	2.12 %
3	6.12 V	5.60 %	1.7415 A	13.50 %	3	9.72 V	9.00 %	3.2912 A	121.00 %
4	0.20 V	0.18 %	0.1329 A	1.03 %	4	0.05 V	0.05 %	0.0870 A	3.20 %
5	14.63 V	13.40 %	4.3034 A	33.36 %	5	1.65 V	1.53 %	0.3299 A	12.13 %
6	0.08 V	0.07 %	0.3096 A	2.40 %	6	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %
7	7.86 V	7.20 %	2.3581 A	18.28 %	7	1.61 V	1.49 %	0.0938 A	3.45 %
8	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %	8	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %
9	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %	9	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %
10	0.66 V	0.60 %	0.3096 A	2.40 %	10	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %
11	3.87 V	3.54 %	0.7224 A	5.60 %	11	0.00 V	0.00 %	0.0000 A	0.00 %

表 6 部份家電諧波含率量測

七、參考文獻

- 1.C.K. Duffey, and R.P. Stratford. "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems", IEEE Std 519-1992.
- 2.林昆平 著,"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.
- 3.林昆平 著,"An Advanced Computer Code For Single-Tuned Harmonic Filter Design", IEEE Industry & Commercial Power system Conference, pp.105-114, 1997.
- 4.林昆平 著,"從 12 吋晶圓製造廠談諧波抑制及評估技術", 第 71 期電機技師期刊, Oct 1998.
- 5.何信龍, 謝文考著,"具高速電梯之商業大樓的配電系統諧波改善", Aug 1997, 電機月刊.
- 6.ABB 公司, 張俊生著,"電力諧波與濾波器", 電機技師 41 期
- 7.胡中興 著,"各種照明燈具之諧波問題探討", 台電工程期刊, 第 539 期, 1993 年
- 8.日本電氣協同財團法人研究會 著,"日本電氣協同研究(諧波篇)", 第 46 卷, 2 號