

# 檯燈用交流電子式安定器之功因、諧波及能源損耗研究

## An Reserch On the Power Factor, Harmonic and Energy Consumption Caused by Electronic Ballasts

技正 林昆平，課長蕭水來

經濟部標準檢驗局 台南分局

### 摘要

電子式安定器應用在各類螢光燈管燈具上極廣，並以國家標準 CNS13755 規範其安全性，由於其整流電路及高頻振盪電路特性，使燈具功因一向偏低並為高諧波產品，必需藉助功因改善兼諧波抑制積體電路 IC，才能有效提升功因，降低諧波。問題是電子式安定器的功因，如何受諧波影響？產品功因低，為什麼會造成能源耗損？本文以市售電子式檯燈為例，針對三大廠，解析其諧波、功因及能源耗損關係，研究也有助瞭解目前電機電子產品在這方面的影響程度。

### Abstract

Electronic Ballasts regulated by CNS13755 are extensively used in different types of Fluorescence lamps. As known, it is the product with the harmonic and relatively low power factor. These two problems are mainly caused by its rectified Ckt and high frequency oscillating Ckt. Therefore, an integrated chip is widely adopted to ameliorate the power factor, improve reactive compensation and limit harmonic simultaneously. However, two following problems are raised in this solution. What is the relation between power factor and harmonic current? What is the relation between power factor and energy consumption? In this paper, we will find the relations of harmonic, power factor, and energy consumption and compare these relations among the biggest three fluorescent table lamp models in the Taiwan market. We expect our evaluation can then be used to induce the relations of harmonic, power factor, and energy consumption among all correlated electric and electronic product fields.

**關鍵詞**(Key Words)：功因(Power Factor)、諧波電流(Harmonic Current)、電子式安定器(Electronic Ballasts)、高頻振盪電路(High Frequency Oscillating Ckt)、能源耗損(Energy Consumption)

## 一、前言

交流電子式安定器大量使用於市售檯燈及辦公室燈具內部，除此之外，只要與螢光燈管相關的燈具，也大多使用電子式安定器，除電路會隨燈具用途不同，作部份更動外，基本輸出入特性，大同小異。目前交流電子式安定器安規標準是 CNS13755，雖僅有七個章節，但無法通過標準，大部份集中在第 4.8 節的輸入電流諧波失真及第 4.10 節功率因素，依 CNS13755 規定：「交流電子式安定器功因(PF)需符合 0.95↑，綜合諧波電流失真 THD (Total Harmonic

Distortion)需滿足 33%↓，各次諧波需滿足 4.8 節表 5」，但經濟部標準檢驗局以標檢 90 三字第 300788 號令，對檯燈專用交流電子安定器放寬為：「PF 需達 0.5 ↑，THD120%↓，各次諧波仍需滿足 4.8 節表 5 規定」。但筆者多年工廠取樣檢驗結果發現，檯燈功因通常平均只有 0.3，衍生各次諧波電流偏大，綜合諧波電流失真 THD=120%↑，這樣燈具功因諧波特性和特性，將造成配電線路的能源耗損，尤其燈具為大宗民生用品，在國家節能政策下，顯然不符能源局期望。

## 二、電子式檯燈動作原理[2][3][4]

圖 1~圖 3 顯示一 27W 檯燈之交流電子式安定器電路實體、電路圖及高頻諧振電壓的製造。整個動作原理大致分成四個方塊，方塊 1 為電路保護設施(包含電源熔絲 FUSE、電源突波吸收器 NTC、避雷器 TNR)及高頻電磁干擾抑制對策元件(差模濾波器 L1A+L1B+C11)。方塊 2 為全波整流倍壓電路(兩顆二極體 D1、D2 及兩只濾波電容 C1、C2)，可將交流輸入電源電壓轉成 2 倍直流電壓。方塊 3 為高頻振盪電路(兩顆 MOFET 高速開關 Q1 及 Q2、自激式鐵芯飽和電感 L2A 及 L2B、切換控制電路 D6, D7, C7, C3)，可對前級 2 倍直流電壓進行切割，切割頻率被控制在 20KHz~40KHz 間，每半週期進行極性互換，以產生高頻正負方波。方塊 4 為 LC 交流弦波轉換電路(L3, C6, C8)，可將高頻正負方波電壓再轉換成足以激發螢光燈管的高頻交流弦波電壓。

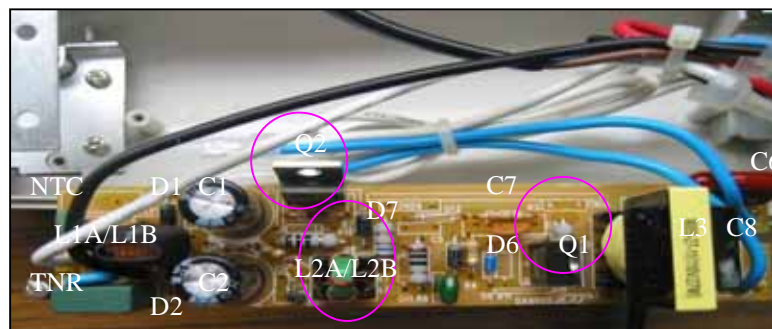


圖 1. 以全波整流倍壓電路作為輸入級的安定器實體結構

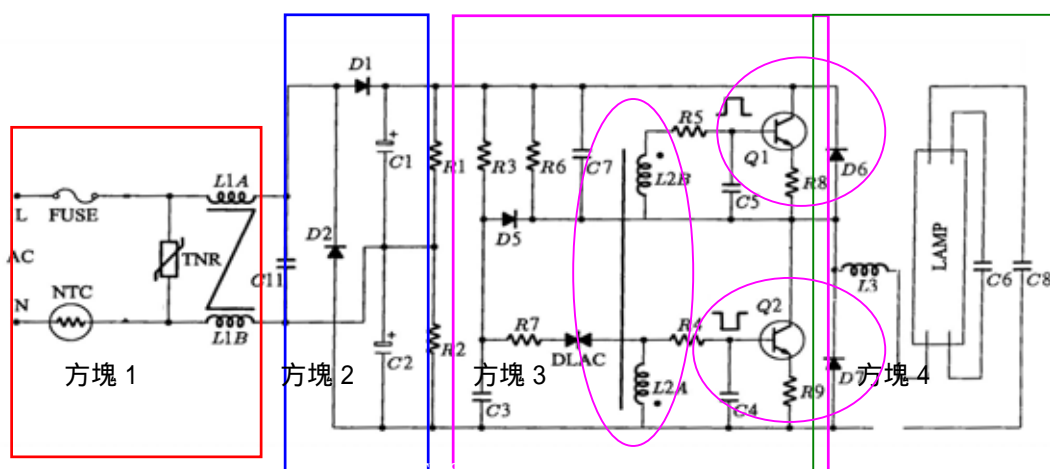


圖 2. 電子式檯燈安定器電路圖

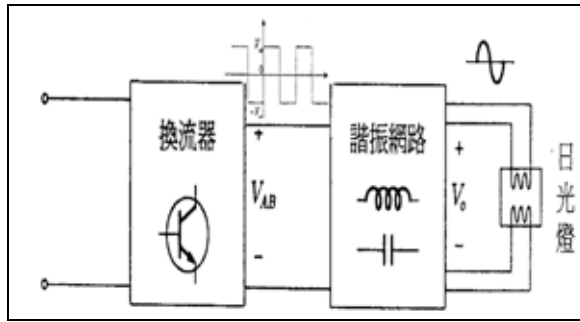


圖 3 高頻交流諧振電路的運作(方塊 3 及方塊 4)

### 三、國內外對燈具諧波及功因管制規定[5]

燈具諧波及功因產生主要來自安定器，討論其諧波及功因，就等同討論安定器衍生的諧波及功因一樣，歐美日國家目前以 IEC555-2 表1規範，對燈具諧波進行管制，我國則依燈具用途，另分類規定如下：

#### (1) 日光燈用交流電子式安定器(CNS13755)

於民國88年起，依CNS13755進行諧波及功因列管，「各次諧波失真同表1，綜合諧波失真THD小於33%，功因0.95以上」，目前已修正為95年版，另依電機工程國家標準技術委員會第10次及11次會議中，張大光先生提出：「對於電子式安定器，額定功率25W↑，功因修正為PF=0.95↑；額定功率25W↓(含)，功因修正為PF=0.5↑」，目前尚無結論。

#### (2) 省電燈泡(即內藏式交流安定器螢光燈管)(CNS14125)

於民國90年3月1日起，依CNS14125進行低頻諧波及功因列管，「各次諧波失真無限制，綜合諧波失真THD不大於120%，功因無管制」，目前已修正為96年版，另依電機工程國家標準技術委員會第10次及11次會議中，張大光先生提出：「該燈泡消耗功率25W↑，功因修正為PF=0.85↑；消耗功率25W↓(含)，功因修正為PF=0.5↑」，目前也尚無定論。

#### (3) 桌上型螢光檯燈(CNS14335)

則於民國90年起，依標檢90 三字第300788 號令進行低頻諧波及功因列管，「各次諧波則無限制，綜合諧波失真小於120%，功因0.5以上」，目前版本為88年版。

表1 IEC555-2電子式安定器各次諧波電流含率管制

諧波次數(n)	容許諧波最大值
2	2%
3	功因 * 30%
5	10%
7	7%
9	5%
$11 \leq n \leq 39$	3%
THD	33%

### 四、諧波及功因的關係[1]

## (1) 諧波定義及產生原因

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(基頻)，第五次諧波其頻率為基波頻率五倍，即  $5 \times 60 = 300 \text{ Hz}$ ，圖 4 所示，為基頻波形被五次諧波電流畸變。圖 5 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。
  - 整流電路 主要由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。
  - 交直流變換電路 用於速率控制、調光裝置及電爐之溫度控制，像按摩棒、吸塵器及可調光式燈具。
  - 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用變速馬達控制等家電。

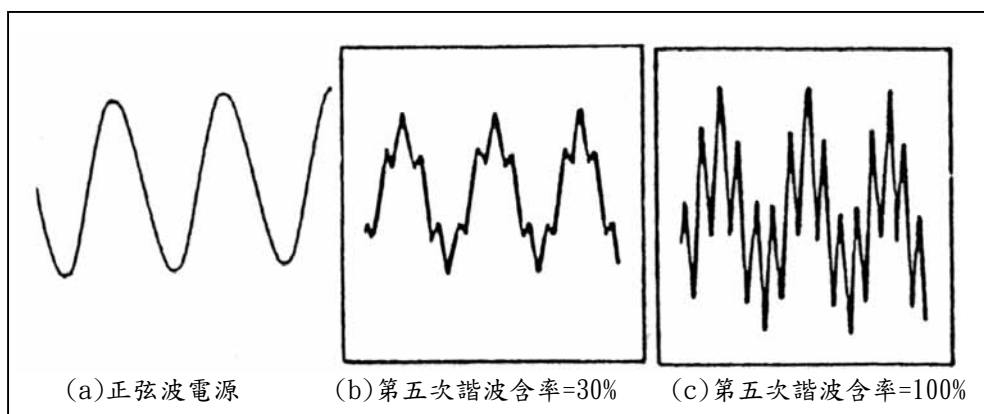


圖 4 正弦波電源被五次諧波畸變

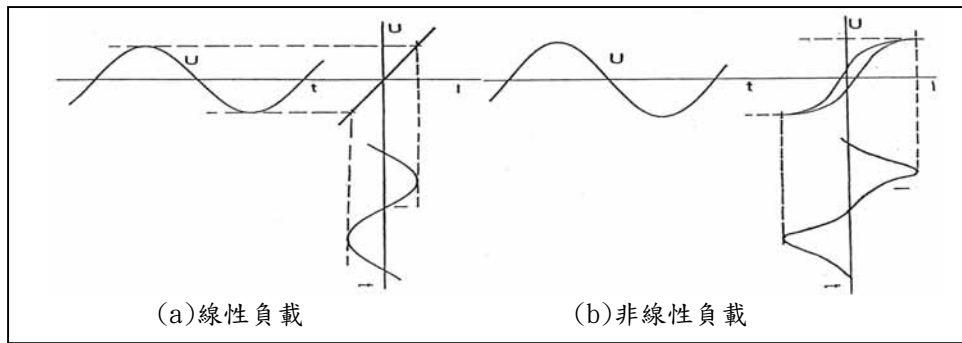


圖 5 線性負載與非線性負載

而諧波含量指標，分成各次諧波電流含率(式 1)及綜合諧波電流含率(式 2)

各次諧波電流失真率

$$D_h = I_h / I_L \quad (\text{式 1})$$

綜合諧波電流失真率

$$THD = \sqrt{\sum (I_h)^2} / I_L \quad (\text{式 2})$$

註:  $I_h$  各次諧波電流，單位安培

$I_L$  負載基頻電流，單位安培

$h=2, 3, 4 \dots n$

## (2) 功因

### 1. 基頻功因(60Hz)

產品功因產生，是因內部線圈結構及鐵芯電抗效應所造成，使得輸入電力總伏安(VA)，需支付部份能量在這些電抗元件的儲能效應上，例如馬達及變壓器線圈阻抗，功因大多在 0.8 附近，而線圈本身電阻會造成熱損。反過來，使用電熱絲構成的電熱類家電產品如烤麵包機，功因大多在 0.99 附近，電力輸入幾乎全部轉換成熱能，因為電熱絲並未捲成線圈，亦未含住鐵芯結構，沒有儲能現象。那麼電子式安定器呢?其用途是用來製造高頻振盪電壓，機制在提供螢光燈管所需的高頻能量，它既非電磁轉換，亦非電熱交換，但功因卻是非常低，解釋如 2。

### 2. 諧波功因(60Hz 以上)

正如前述諧波定義及產生原因，交流電子式安定器採用二極體(非線性特性)及高速半導體開關(ON/OFF 現象)，會產生不同頻率  $w$  諧波電流(電流源)，向台電插座端流竄，因各種諧波頻率  $w$  值不同，產品內部阻抗  $R+jwL$

值，隨著不同頻率諧波電流的經過，產生各自不同功因，最後彙整成產品的綜合功因。

### 3. 綜合功因

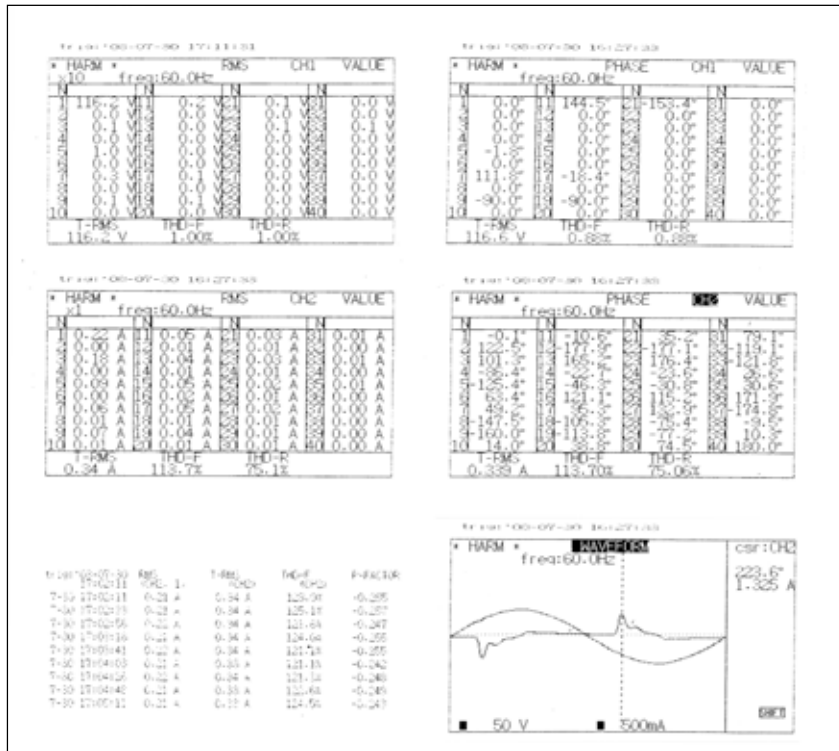
從 1. 及 2. 討論來看，現今電機電子產品採用太多半導體零組件控制基板，產品功因不能還是只聚焦在 60Hz 狀況，必需考慮其它頻率諧波所產生的功因問題；至於目前電機電子產品相關國家標準中所規定的功因，是指綜合功因，抑是 60Hz 基頻功因，實有待標準檢驗局釐清。表 2 為典型市售 27W 電子式桌上型檯燈，在電源側，確實可量測到各次諧波電流存在，有各自相角，各自功因。式 3 為諧波系統下的功因重新定義，可發現  $PF < PF1$ ，意思是由產品本身製造出來的諧波電流源，會使產品總功因降更低，若能抑制產品諧波含量 ( $THD_i \rightarrow 0$ )，總功因就會回至基頻狀態下的功因。

$$PF \doteq PF1 \times \frac{1}{\sqrt{1+THD_i^2}} \quad (\text{式 3})$$

註：PF1=COS  $\theta_1$ ，即 60Hz 基頻的功因；PF 綜合功因

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

表 2 檯燈產生各次諧波電壓、電流及其相角量測，末列兩圖為 3 分鐘長時監測(基頻電流、綜合電流、THD、PF)及畸變波形



## 五、功因低與能源耗損有什關係

第四節我們了解產品諧波含量過多，會造成產品功因偏低，而產品功因偏低，會造成產品電源線組乃至台電配電線路的線路損耗，這才是最後的重點。電路學都會講「配電系統功因低，會造成台電外部電力輸送線的功率損耗，所以要求用戶改善功因」，配電系統功因為何為降低？主因大樓及工廠用戶，使用過多電抗性負載、電子控制基板負載、家電產品負載。就電抗性負載而言，其通常使負載電流落後電壓相角，這種帶落後相角之額定電流通過外部配線乃至產品電源線組，即製造線路虛功，造成能源損耗；就電子控制基板之負載而言，除前述線路虛功損耗外，其衍生的額外諧波電流，外竄至外部線路，還會造成線路上的熱損。因此「功因是能源損耗指標之一」，指的就是「功因低所造成的線路損失」。

為了改善線路上落後相角的電流，可裝設電容器來修正相角，其裝設位置有很大關係，若裝設在台電入戶端(用戶高壓配電盤)，可有效減少台電外部電力輸送線至用戶端間的線路損失，但卻沒辦法降低入戶端至用戶末端負載間的室內配電線路損失；若今天裝設在家電產品內部，那麼整條由產品往外至台電電力輸送線的線路損失，就可被根除。因此家電及資訊類產品安規標準，向來有制訂功因限制章節，道理就在此。

## 六、市售檯燈電子式安定器諧波及功因評比

### (1) 多功能電力諧波分析儀

工欲善其事必先利其器，本文採用日製HIOKI 8806 多功能電力諧波分析儀，進行功因及諧波量測，圖6~圖7顯示其外觀及量測情形。



圖6 電力諧波分析儀



圖7 量測諧波情形

### (2) 三大廠牌之諧波及功因量測

購買市售三大廠牌電子式檯燈作為評比，為保護其商譽，以A牌、B牌、C牌作為代號，分別在3分鐘內，每20秒掃瞄量測，數據包含：基頻電流、3次諧波電流、5次諧波電流、7次諧波電流、綜合電流、綜合諧波失真及功因各一次，最後取平均值，並統計如表3所示，可發現幾項特點：

## 1. 諧波電流評比

三家廠牌之桌上型電子式檯燈，均以奇數次諧波出現為主，其三次及五次諧波電流均偏大，三次諧波電流幾乎等同基頻額定電流，五次諧波電流也幾乎達基頻額定電流的一半。以 A 牌而言，基頻額定電流為 0.21A，三次及五次諧波分別為 0.18A 及 0.09A，因諧波電流的加入，造成綜和電流由基頻額定電流 0.21A 上升至 0.34A，綜合諧波失真率平均達 THD=122%。

## 2. 功因及能源損耗評比

各次諧波電流產生電流相角，諧波電流向插座電源端流竄時，又造成諧波壓降及電壓相角，依此可計算出各次諧耗功情形(本文未列出)，三家廠牌功因長期監測下，綜合功因平均在 0.3 附近。

## 3. 與「標檢 90 三字第 300788 號令」及「IEC555-2 標準」規定之功因與諧波限制值，作比較

### ■ 諧波

綜合諧波電流失真 THD 經 3 分鐘的監測，A 牌平約 122 %，B 牌平均 137 %，C 牌平均約 113 %，A 牌及 B 牌高過『標檢 90 三字第 300788 號令』120 %規定，另三家廠牌之各次諧波電流失真，均超出 IEC555-2 表 1 規定限制值甚多。

### ■ 功因

功因 PF 經 3 分鐘監測，A 牌平均約 0.25，B 牌平均約 0.31，C 牌平均約 0.30，均低於『標檢 90 三字第 300788 號令』對功因 0.5 以上的要求。

表 3 三大廠牌諧波及功因量測評比

廠牌	基頻電流 (A)	3 次諧波電流(A)	5 次諧波電流(A)	7 次諧波電流(A)	綜合電流 (A)	綜合諧波電流失真率 THDi	功因 PF
A	0.21A	0.18A ∠101.3°	0.09A ∠84.6°	0.06A ∠62.4°	0.34A	122%	0.25
B	0.18A	0.19A ∠98.1°	0.12A ∠136.1°	0.06A ∠129.8°	0.31A	137%	0.31
C	0.24A	0.21A ∠97.5°	0.11A ∠128.6°	0.06A ∠129.2°	0.36A	113%	0.3



## 七、結論

本文針對桌上型電子式檯燈所衍生低頻諧波及功因進行量測，結果顯示：國內廠商在檯燈電子式安定器低諧波及省電能設計上仍有盲點，雖為驗證登錄產品，產品仍呈現不符合本局「標檢 90 三字第 300788 號令」對功因 0.5 以上規定，三家廠牌功因均在 0.3 附近，可確定其安定器並未設計功因校正及諧波抑制 IC 電路，導致產品功因偏低及諧波過高現象。產品插頭端量測結果：檯燈本體標示 27W，輸入總電力卻高達 40VA，單就產品 1.5m 長的電源線組，已發生部份線路耗損現象，何況諧波電流外竄至配電線路，還有熱損問題存在。因此好的電機電子產品，實應降低諧波含率及提升功因技術能力，才能符合未來發展。

## 參考文獻

1. Lin, Kun-Ping, "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.
2. 張英彬 著, 1998, " 電子安定器之實作技術" , 全華書局.
3. 吳福財 著, 2002, " 電子安定器綜論" , 全華書局.
4. 吳福財 著, 2004, " 自激式並聯諧振電子安定器專論" , 全華書局.
5. CNS 13755, " 交流電子式安定器國家標準" .