

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

高層商業大樓之諧波量測、分析與對策研究

Measurements, analysis and strategies of harmonics in commercial tall building

計畫編號：NSC 89-2218-E-032-022

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：蕭瑛東 淡江大學電機系

計畫參與人員：張世鈺 淡江大學電機系

計畫參與人員：王進力 淡江大學電機系

一、中文摘要

近年來由於非線性負載（如電力電子相關設備）大量地使用，使諧波源快速增加。常發生諧波障害—如電容器之燒毀、通信干擾、保護設備誤動作和設備過熱等問題，對電力品質造成極大的影響。加上電梯控制和燈光照明控制等也漸多採用閘流體之控制方式，另外如電腦和重要儀器設備裝置不斷電系統（UPS），也不斷地增加其數量及容量，因此商業用戶產生之諧波並不可忽視。特別是商業大樓有高層化之趨勢，其產生之諧波對饋線上其他用戶之影響有必要進行深入而有系統的研究。本研究提出一套商用符合效能效率及經濟性的消除諧波方法，可以解決用戶的諧波問題，達到改善電力品質的目的。

關鍵詞：諧波，電力品質，電力諧波濾波器

Abstract

Due to the rapid in creasing of nonlinear load power electronics in power systems, the number and rate of harmonics are also increased. The damage of harmonics, e.g. degradation of communications, damage of capacitors, error active of protective devices and over heat of equipment, affects the electrical environment. Recently, the thyristor

controller is employed to control the elevator and light in tall buildings. Also, the number and rate of UPS is increasing utilized as the power supply for the computers and importance devices. Therefor, the pollution of harmonics has to be mush concerned about their effects, especially for the tall buildings.

Keywords: Harmonics, Power Quality, Harmonics Filter

二、緣由與目的

隨者生活品質的提昇，用電設備的精密化，對電力品質的要求也隨之日趨嚴格。近來有關電力品質問題一直是電力公司和用戶都相當關切的焦點之一。根據國際電子與電機工程學會（IEEE）的配電系統電力品質工作小組對電力品質所下的定義，係指電力系統擾動的相對缺失程度，造成這種缺失程度的電力系統擾動如諧波、電壓閃爍和不平衡等對用電設備會造成危害性的影響。其中諧波問題，因為如電子電力等非線性負載的大量使用，日益增多。諧波會對電力系統產生干擾，例如改善功因的電容器燒毀或爆炸，使用鐵心等之電力設備產生過熱，通訊設備的受干擾，保護電譯的誤動作，和精密儀器的受干擾等等問題，皆起因於諧波的障害。

台灣的經濟發展快速，工商業均隨者快速成長。在

工業方面如大型鋼鐵廠的建立，電弧爐和軋鋼設備的數量與容量均同時增大。而在商業方面，辦公或商業大樓不但一棟棟地興建而且有向上高層化的趨勢，其間所引進大容量高速電梯的控制多採用電力電子元件如閘流體的相位控制方式，照明智慧化的控制等多採用電子電力元件來實現。另外電腦及儀控等重要設備的電力供應採用不斷電系統(UPS)，數目與容量正不斷地增加、增大中。他們所產生的電力品質污染問題於是不能忽視之。為維持電力品質穩定的供應，避免高層商業大樓的諧波干擾，勢必針對這些大用戶的諧波情況詳加調查與分析，並提出兼具效能與成本的消除諧波方法，以防止諧波反饋至系統，使電力品質的惡化，而造成不必要的電力損失，設備損害和通訊干擾等問題。

三、研究結果與討論

本研就將濾波器設計問題，模式化為最佳化問題，以濾波器的投資成本為目標函數，考慮調諧點漂移、系統阻抗變化、功因改善、串並共振及諧波失真等運轉上之要求條件為限制條件。茲分別說明如下：

1. 目標函數

濾波器的成本主要有兩項，分別是基本頻率下的額定容量成本，和所要消除的該次諧波之成本因素。對電感器而言主要是電感器基頻容量的成本和諧波電流耐流量之成本，因此濾波器的成本目標函數可以表示為：

$$F = K_C Q_C + K_L Q_L \quad (1)$$

其中 K_C 及 K_L 為單位電容容量及電感容量之成本，而 Q_C 及 Q_L 為電容容量和電感容量。

首先考慮電容容量，其中包括了基本波容量 Q_{C1} 及諧波容量 Q_{Ch} 。基本波容量 Q_{C1} 可以表示為：

$$Q_{C1} = \frac{V_{C1}^2}{\frac{1}{\omega_1 C}} = V_{C1}^2 \omega_1 C \quad (2)$$

其中 V_{C1} 為濾波電容器基頻電壓， ω_1 為基本波頻率(60HZ)， C 為電容值。假設濾波器的調諧點為 h ，則電容器 h 次諧波容量可以表示為：

$$Q_{Ch} = I_{fh}^2 \cdot \frac{1}{h\omega_1 C} \quad (3)$$

其中 I_{fh} 表流經濾波器的電流， $\frac{1}{h\omega_1 C}$ 表示在 h 次諧波下的濾波器阻抗。最後利用重疊原理，由(2)及(3)式可得到濾波器的電容容量 Q_C 為：

$$\begin{aligned} Q_C &= Q_{C1} + Q_{Ch} \\ &= V_{C1}^2 \omega_1 C + \frac{I_{fh}^2}{h\omega_1 C} \\ &= Q_{C1} + \frac{V_{C1}^2 I_{fh}^2}{hQ_{C1}} \end{aligned} \quad (4)$$

再來我們考慮電感容量。對調諧點為 h 之濾波器，其基頻電容容量 Q_{C1} 與基頻電感容量 Q_{L1} 有下面之關係：

$$Q_{L1} = \frac{Q_{C1}}{h^2} \quad (5)$$

可以將電感的 h 次諧波容量的部份表示為：

$$Q_{Lh} = I_{fh}^2 \cdot h\omega_1 L \quad (6)$$

因為 h 為濾波器的調諧點，即 $h\omega_1 L = \frac{1}{h\omega_1 C}$ ，所以

$$\begin{aligned} Q_{Lh} &= I_{fh}^2 \cdot \frac{1}{h\omega_1 C} \\ &= \frac{V_{C1}^2 I_{fh}^2}{hQ_{C1}} \end{aligned} \quad (7)$$

由(5)式及(7)式，濾波器的電感容量 Q_L 可表示為為：

$$\begin{aligned} Q_L &= Q_{L1} + Q_{Lh} \\ &= \frac{Q_{C1}}{h^2} + \frac{V_{C1}^2 I_{fh}^2}{hQ_{C1}} \end{aligned} \quad (8)$$

將(4)及(8)兩式代入目標函數式(1)中，可得到濾波器的成本函數的表示式：

$$F(C, L) = K_C(Q_{C1} + \frac{V_{C1}^2 I_{fh}^2}{h Q_{C1}}) + K_L(\frac{Q_{C1}}{h^2} + \frac{V_{C1}^2 I_{fh}^2}{h Q_{C1}})$$

$$= Q_{C1}(K_C + \frac{K_L}{h^2}) + \frac{V_{C1}^2 I_{fh}^2}{h Q_{C1}}(K_C + K_L) \quad (9)$$

2. 限制條件

濾波器在設計的過程中，除了目標函數之外，還有幾項限制條件必須考慮。本文考慮下列六點限制條件：

2.1 功因改善

濾波器的功能除了濾除諧波，還可以同時兼具功因改善的作用，為兼具功因補償的效用，可使濾波器對基頻呈電容性。若系統原功因為 pf_1 ，欲提高功因至 pf_2 ，則改善功因所需的濾波器容量為

$$Q_{com} = P \times (\tan(\cos^{-1} pf_1) - \tan(\cos^{-1} pf_2)) \quad (10)$$

2.2 調諧點變動範圍因素

單調式濾波器調諧點可表示為

$$h = \frac{1}{2\pi f \sqrt{LC}} \quad (11)$$

其中電源頻率 f 、電容值 C 和電感值 L ，因環境溫度和製造誤差等因素，其實際值會在一誤差範圍中變動[1]，使調諧點亦隨之變動。設計濾波器時必須將這些變化因素一併考慮，以確保其濾波效果。說明如下：

- 系統電源頻率可能變動範圍為

$$-1\% < \frac{\Delta f}{f} < +1\% \quad (12)$$

- 電容值依溫度變化約有 $\pm 2\%$ 的誤差，另外還需考慮製造誤差為 $-2\% \sim +4\%$ ，故電容器的誤差約為

$$-4\% < \frac{\Delta C}{C} < +6\% \quad (13)$$

- 電感器值的製造誤差一般約為

$$-3\% < \frac{\Delta L}{L} < +3\% \quad (14)$$

綜合這些變化情況，實際調諧點 n_h 之可能變動範圍可表示為

$$\frac{h}{1.01 \times \sqrt{1.03 \times 1.06}} \leq n_h \leq \frac{h}{0.99 \times \sqrt{0.97 \times 0.96}} \quad (15)$$

經化簡，可得

$$0.95h \leq n_h \leq 1.05h \quad (16)$$

即調諧點有 $\pm 5\%$ 的可能漂移範圍。

2.3 避免串並聯共振

裝設濾波器之後，可能會發生與其他用戶或用戶本身之電容器產生串並聯共振，造成嚴重之災害。故必須考慮此一因素。濾波器阻抗的條件式可改寫為：

$$h \beta_1 X_{L1} - \frac{\alpha_2}{h} X_{C1} > 0 \quad (17)$$

2.4 避免低次諧波放大效應及考慮系統阻抗變動因素

濾波器對高於其調諧點以上之各次諧波有降低之效果，但對低於其調諧點之各次諧波將會有放大的效果。若其放大效果，使得低次諧波超過管制標準，則必須加裝低次濾波器。也就是滿足下式條件則不需再加裝濾波器，否則就需要再加裝濾波器。

$$\frac{X_{fn}^h}{h X_{Smin} + X_{fn}^h} I_h \leq \bar{I}_{hs} \quad (18)$$

其中 X_{fn}^h 表示 n 次（階）濾波器在 h 次諧波下之阻抗； X_{Smin} 為系統電源阻抗之最小值。

2.5 各次諧波及總諧波失真限制

安裝濾波器後，各次諧波電壓及電流值應能符合管制標準，即

$$I_{hs} < \bar{I}_{hs} \quad , \quad h = 2, 3, 4, \dots \quad (19)$$

$$V_{hs} < \bar{V}_{hs} \quad , \quad h = 2, 3, 4, \dots \quad (20)$$

其中 \bar{I}_{hs} 和 \bar{V}_{hs} 表 h 次的諧波電流和諧波電壓在管制點之失真限制，總諧波失真亦需符合管制標準

$$THD \leq \overline{THD_I} \quad (21)$$

$$THD \leq \overline{THD_V} \quad (22)$$

其中 $\overline{THD_I}$ ， $\overline{THD_V}$ 表總諧波電流及電壓的失真上限值。

2.6 規格限制條件

電容器和電感器在工業上均有規格品，如額定電壓及額定容量等之規格。使用的額定電壓規格必須大於實際電壓；使用的額定容量必須足以使濾波器產生所需的功因補償，並滿足製造上的規格容量。表示如下：

• 電容器額定電壓限制

$$V_{CR} \geq \frac{X_{C1}}{X_{C1} - X_{L1}} V_S = \frac{V_S}{1-r} \quad (23)$$

其中 V_{CR} 表電容器額定電壓， V_S 表安裝之實際電壓，

$\gamma = \frac{X_{L1}}{X_{C1}}$ 為調諧比。

• 電容器額定容量限制

$$Q_{CR} \geq (1-r) \left(\frac{V_{CR}}{V_S} \right)^2 Q_f \quad (24)$$

其中 Q_{CR} 表電容器額定容量， Q_f 為濾波器所需之容量值。

• 電感器額定電壓限制

$$V_{LR} \geq \frac{X_{L1}}{X_{C1} - X_{L1}} V_S = \frac{r}{1-r} V_S \quad (25)$$

其中 V_{LR} 表電感器額定電壓。

• 電感器額定電流限制

$$I_{LR} \geq \frac{Q_{CR}}{\sqrt{3} V_{CR}} \quad (26)$$

其中 I_{LR} 為電感器之額定電流。

3. 測試模擬與結果

某大樓之 69KV 變電站，系統阻抗及相關參數如圖 1 所示，從責任分界點（諧波管制點）所測量之諧波電流及台電管制標準如表 1 所示。目標為設計單調式諧波濾波器，於運轉及環境等限制條件之下，降低管制點之各次諧波及總諧波於台電管制標準之內，希望同時可提高功率因數至 0.95 以上，而所需之成本為最低。各次各次諧波電流及總諧波電流皆能符合管制標準。

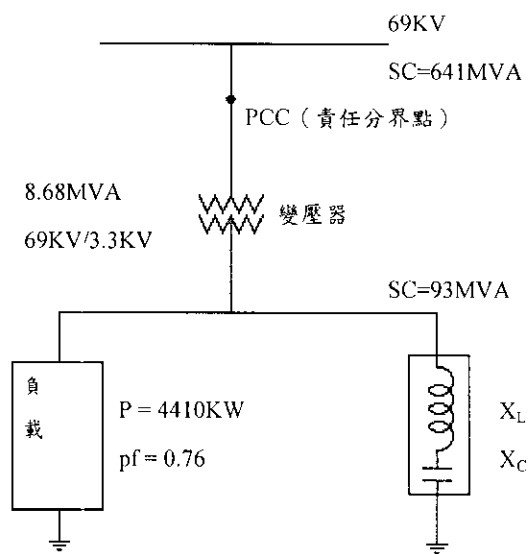


圖 1. 某大樓變電站配電系統

表 1. 改善前後之各次諧波電流及管制值

諧波次數	改善前		台電諧波	
	管制標準 (A)		管制標準 (A)	
5	173 *		121.7	
7	44		121.7	
11	52		55.8	
13	23		55.8	
17	29		45.6	
19	19		45.6	
23	19		20.3	
25	12		20.3	
29	9		20.3	
31	4.8		20.3	
35	2.9		10.14	
37	2		10.14	
41	1.3		10.14	
43	1.3		10.14	
47	1.8		10.14	
49	1.4		10.14	
THD	192.17 *		152.14	

*表示超過管制標準

四、計畫成果自評

本研究提出一個兩階段最佳化方法，用以設計電力諧波濾波器，於第一階段，可得到濾波器的次(階)數，

於第二階段可得到各次濾波器的電感器和電容器的最佳值。這個方法的特性在於流程簡單易於實現，可應用於各種配電系統（如變電所或工廠）。我們已根據這個方法實現成一套裝軟體，並經幾個實際系統的測試模擬，證實此一方法可用以設計低成本高效能的濾波器。

五、參考文獻

- [1] 江榮城, 顏世雄, 劉志放, 吳啟瑞和王俊傑, “並聯電容量對工業饋線諧波潮流之影響”。中華民國第十四屆電力工程研討會, pp. 344-350, 中壢, 1993。
- [2] 胡忠興, 吳啟瑞, 顏世雄, 陳雲武, 吳博安, 邱清泉和黃金選, “配電系統之諧波對配電主變壓器運轉的影響”, 中華民國第十七屆電力工程研討會, pp1-5, 新竹, 1996 年。
- [3] G. Manchur and C.Cc Erven, “Development of a Model for Predicting Flicker form Electric Arc Furnaces”, IEEE Trans, on power Delivery, Vol. 7, No. 1, Jan. 1992, pp. 416-426.
- [4] C.K. Duffey, and R. P. Stratfort, “Update of Harmonic standard IEEE-519: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 25, No. 3, pp.1025-1034, 1989.
- [5] J. Arrillaga, D. A. Bradley and P.S. Bodger “Power System Harmonic,” John Wiley & Sons Ltd. 1989.
- [6] E. Peter, “Harmonic Measurements in Industrial Power System,” IEEE 1994 Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, pp.105-115.
- [7] 韋志承、李親民、王延年、江世鑫、江榮成、廖清榮、張文耀和郭宗益, “諧波電壓對感應電動機溫昇與使用壽命之影響”, 第十八屆電力工程研討會, 民國八十六年, 十一月八、九日, 台北。
- [8] 吳啟瑞、顏世雄和李尚毅, “為排除並聯共振問題的諧波濾波器設計”, 第十八屆電力工程研討會, 民國八十六年, 十一月八、九日, 台北。
- [9] 陳朝順、顏義和、何信龍, “諧波污染之配電系統的虛功補償設計”, 中華民國第十四屆電力工程研討會論文集, pp. 364-370。
- [10] 陳朝順、顏義和、陳思欽, “電力系統中之濾波器設計”, 中華民國第十四屆電力工程研討會論文集, pp. 155-160。
- [11] 洪穎怡、陳奕廷和許毓仁, “電力諧波潮流之探討”, 第十六屆電力工程研討會, 民國八十四年, 十一月二十四、二十五日, 高雄, pp. 8-12。
- [12] 何金滿和陳榮修, “諧波對輸配級電纜之影響分析”, 第十六屆電力工程研討會, 民國八十四年, 十一月二十四、二十五日, 高雄, pp. 8-12。
- [13] IEEE. Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converters, IEEE Standard 519-1981.
- [14] 何金滿, 陳榮修, “諧波對輸配電級電纜之影響分析” 中華民國第十六屆電力工程研討會, pp. 55-60, 高雄, 1995。
- [16] 黃世杰、黃慶達和謝承道, “諧波走勢觀測器之雛形探討”, 第十六屆電力工程研討會, 民國八十四年, 十一月二十四、二十五日, 高雄, pp. 8-12。
- [17] 黃慶達、林清一、蘇偉府、呂順利和陳金鈴, “混和式濾波器用於配電系統之控制策略”, 第十六屆電力工程研討會, 民國八十四年, 十一月二十四、二十五日, 高雄, pp. 8-12。