

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

配電系統之虛功補償器設計(3/3)

Static Var Compensators for Distribution Systems

計畫編號：NSC 90-2213-E-002-131

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：許源浴 教授 國立台灣大學電機工程學研究所

計畫參與人員：陳昭宏 陳本盛 莊政宏 蔡金助 翁永財 林憲傑

國立台灣大學電機工程學研究所

一、中文摘要

現今的三相四線配電系統中，除了虛功和諧波的問題外，由不平衡電源電壓和負載所產生的零序電流也是相當常見的。本年度計畫延續前二年的補償器架構，提出一新型並聯式主動濾波器設計法則，使得虛功、諧波和零序電流同時得以補償，促使電源側永遠只提供三相平衡正弦電流，而且基本波功率因數都能維持在壹，再經由電腦模擬及實驗室實作不平衡之並聯補償系統，以驗證所提新法則之正確性。

關鍵詞：主動式電力濾波器，諧波，虛功補償器，零序電流

Abstract:

Besides problems of reactive power and harmonics, zero-sequence current produced by unbalanced source voltages and loads is commonly observed in modern three-phase four-wire distribution systems. The compensator architecture developed in the first and second phases of the project is extended and a new approach is presented for the design of a shunt active filter to provide compensation of reactive current, harmonic current and zero-sequence current simultaneously. As a result, the source needs to supply only balanced positive-sequence fundamental source current at unity power factor. Moreover, The effectiveness of the proposed control algorithm is demonstrated by

computer simulation and experimental results from a shunt active filter for a three-phase four-wire distribution system with unbalanced loads.

Keyword : Active Power Filter, Harmonics, Static VAR Compensators, Reactive Power

二、計畫緣由與目的

隨著科技文明的進步，電力系統亦需同步成長以應付負載的持續增加，而且用戶對於供電品質之要求也日漸提升。事實上，台灣電力公司也非常重視此一情形，而目前配電系統面臨之問題主要有三項：(1)電業用地與線路路權取得日益困難；(2)配電系統三相不平衡相當嚴重；(3)諧波污染影響用電品質，其中(2)(3)兩項都會降低配電設備使用效率。因此如何平衡配電饋線與消除諧波電流，以便充分利用現有之配電設備是目前重要課題之一。

此外，由於台灣配電系統多為三相四線式，因此會有零序電流(zero-sequence current)存在，零序電流除增加三相及中性導線之損失外，還會造成接地故障電壓偵測上的困難及在附近金屬導線上感應電壓[4]。為尋求解決之道，採用主動式電力濾波器是很好的方法，由於能同時綜合考慮傳統的被動式濾波器與無效電力補償器的功能，使之兼具有諧波消除與功因改善之功能，不僅重量輕、體積小、響應快、諧波污染低，且不會產生大量的湧入電流。本年度

計劃延續前二年對主動式電力濾波器之研究成果加以進一步延伸，以對日趨嚴重的不平衡及諧波的問題，提出新的改善策略。

三、補償器理論及實作

(一) 基本架構及工作原理

整體基本架構圖如圖1：

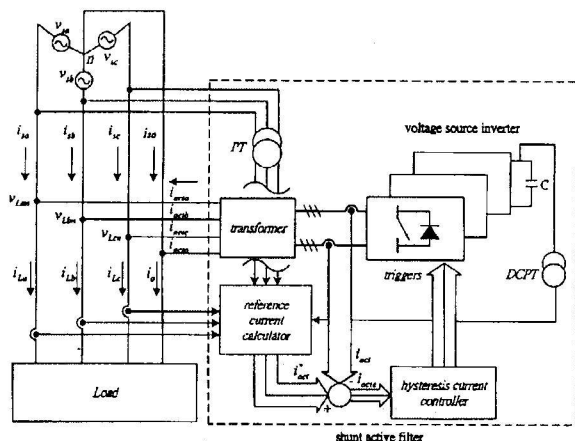


圖1: 基本架構圖

工作原理：

在本計劃中所考慮的系統只有三相系統，事實上，本瞬時功率控制法則亦可在 m 相的系統中達到很好的控制效果。傳送到負載的瞬時功率可以這兩個向量的內積 (inner product) 表示：

$$p(t) = v(t)^T i(t)$$

其中上標 "T" 表示矩陣轉換 (matrix transposition)，範數 $\|\bullet\|$ 表示向量 $v(t)$ 或者 $i(t)$ 在一週期之均方根值，即

$$\|v(t)\| = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^T v(t) dt}$$

$$\text{和 } \|i(t)\| = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^T i(t) dt}$$

由電源側傳送到負載側的平均功率 $\bar{p}$ 可

$$\text{定義為： } \bar{p} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

假設電壓和電流為任意波形，且他們具有某共同的週期，因此電流可以獨立地分解出兩個向量，一個分量和電壓的波形同相，另一個分量是和電壓的波形相互垂直，和電壓波形同形狀的分量即電壓同相的電流分量，可表示為

$$i(t) = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt}{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^T v(t) dt} \cdot v(t) = \frac{\bar{p}}{\|v(t)\|^2} \cdot v(t)$$

依據上式，如圖2所示，我們發展出一個新的並聯式主動濾波器控制法則，可以應用在三相四線不平衡配電系統，電源側是非正弦三相電源，負載側是不平衡負載。因為我們希望使用直流電容器來代替直流電壓源，主動濾波器的三相平均功率必須等於零。要滿足此基本要求，主動濾波器的三相參考電流命令可定義如下：[1]

$$i_{act}^* = i_L(t) - \frac{\frac{1}{T} \int_0^T v_s(t)^T i_L(t) dt}{\|v_{s+1}(t)\|^2} \cdot v_{s+1}(t)$$

$$i_s(t) = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T v_s(t)^T i_L(t) dt}{\|v_{s+1}(t)\|^2} \cdot v_{s+1}(t)$$

圖2

(二) 實體實現

本計劃實驗平台以三相反流器為主體架構，配合個人電腦快速運算與控制能力，以及一些周邊之類比數位電子電路，再加上霍耳原件 (PT、CT) 及資料擷取卡，實體製作一以個人電腦為主體的主動式電力濾波器。

四、補償器之模擬及實驗結果

模擬部分：使用 Matlab/Simulink/Power

System Blockset模擬軟體作模擬，系統a相為非線性負載如圖3.0所示，b和c相同為線性RL負載($R=15.4\Omega$ ， $L=11.5\text{mH}$)，而三相電源電壓值則為相電壓120伏，模擬結果則如圖3.1-3.6所示：



圖3.0 a相不平衡諧波負載

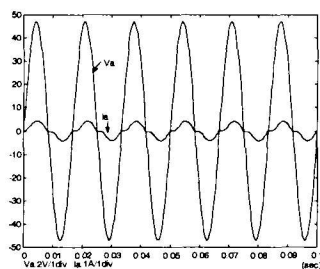


圖3.1 補償前之a相電壓 e_a 及電源電流波形 isa

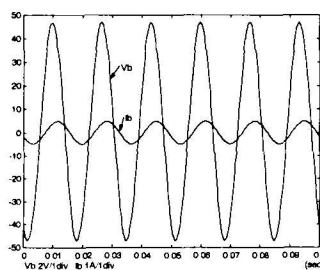


圖3.2 補償前之b相電壓 e_b 及電源電流波形 isb

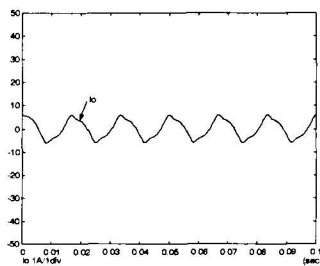


圖3.3 補償前之0相電源電流波形 iso

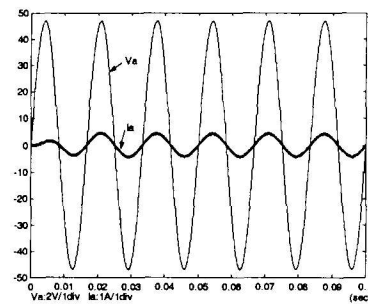


圖3.4 補償後之a相電壓 e_a 及電源電流波形 isa

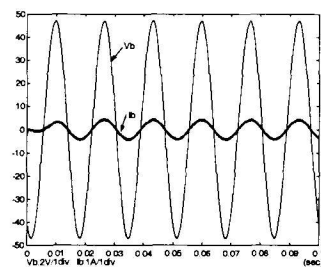


圖 3.5 補償後之 b 相電壓 e_b 及電源電流波形 isb

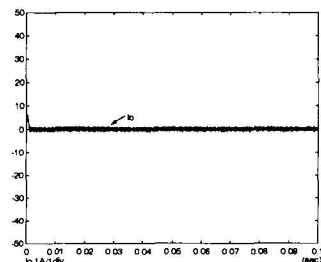


圖 3.6 補償後之 0 相電源電流波形 iso

實驗部分：

Case 1: 實驗負載為不平衡線性負載(圖4.0)，實驗結果則如圖4.1-4.6所示：

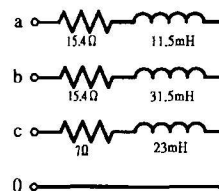


圖4.0 case1負載電路圖

Case2:實驗負載a相為非線性負載如圖3.0所示，b相為線性RL負載($R=15.4\ \Omega$ ， $L=11.5\text{mH}$)，而c相為斷路(open circuit)，實驗結果則如圖5.0-5.9所示：

Case1：

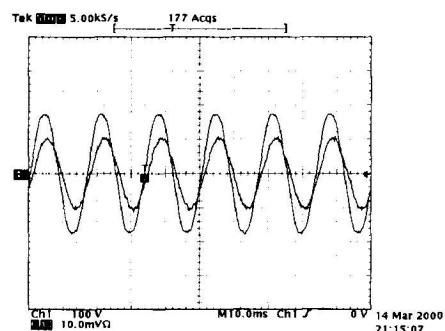


圖4.1 Case1中補償前a相電壓(50v/div)與電源電流(5A/div)

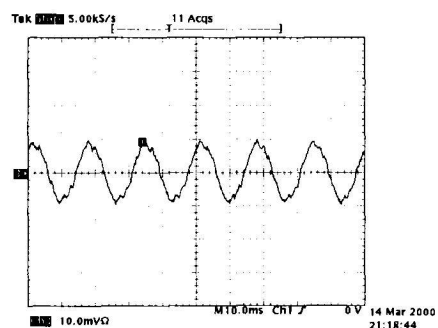


圖4.2 Case1中補償前0相電源電流(5A/div)

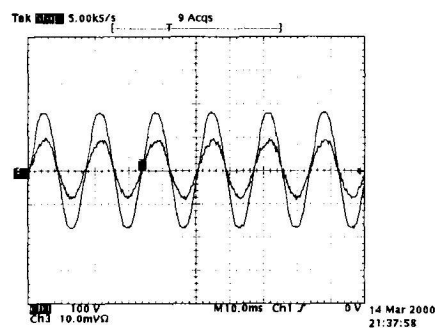


圖4.3 Case1中補償後a相電壓(50v/div)與電源電流(5A/div)

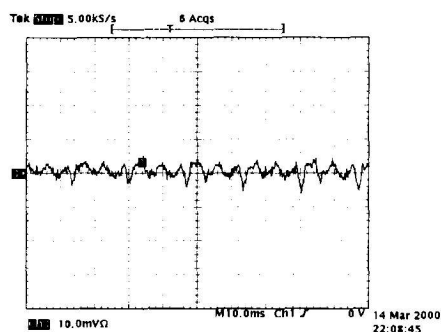


圖4.4 Case1中補償後0相電源電流(5A/div)

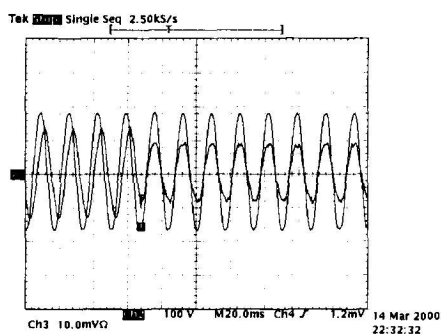


圖4.5 Case1中a相電壓(50v/div)與電源電流(5A/div)暫態波形圖

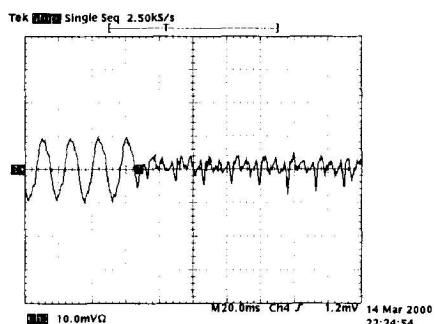


圖4.6 Case1中0相電源電流暫態波形圖(5A/div)

Case2：

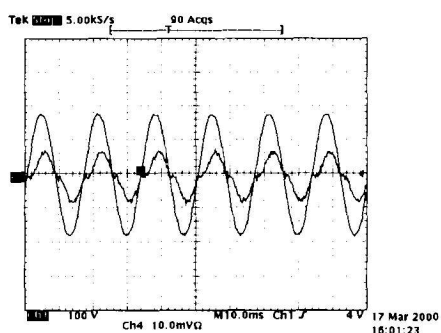


圖5.0 Case2中補償前a相電壓(50v/div)與電源電流(5A/div)

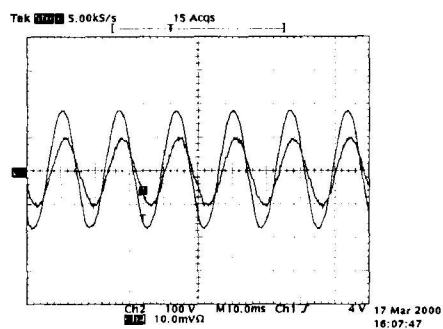


圖5.1 Case2中補償前b相電壓(50v/div)與電源電流(5A/div)

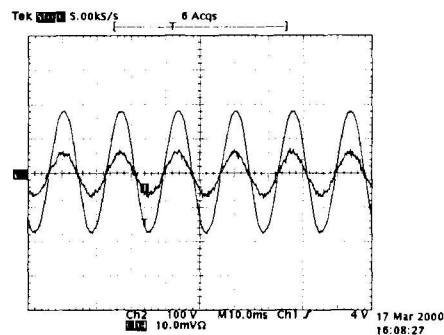


圖5.5 Case2中補償後b相電壓(50v/div)與電源電流(5A/div)

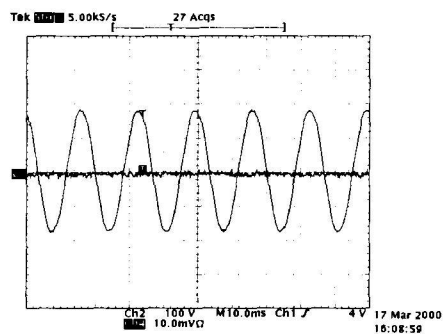


圖5.2 Case2中補償前c相電壓(50v/div)與電源電流(5A/div)

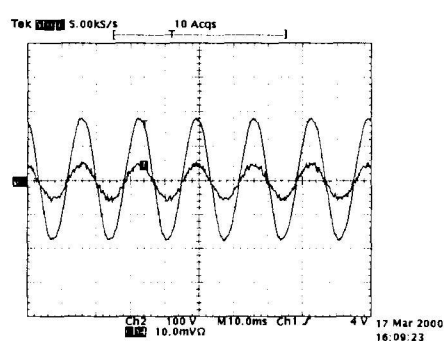


圖5.6 Case2中補償後c相電壓(50v/div)與電源電流(5A/div)

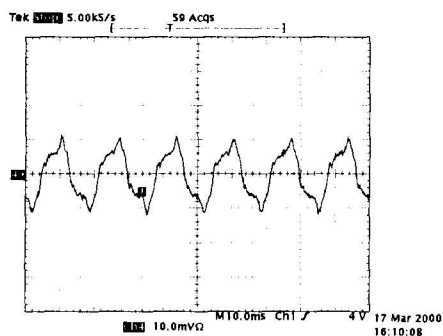


圖5.3 Case2中補償前0相電源電流(5A/div)

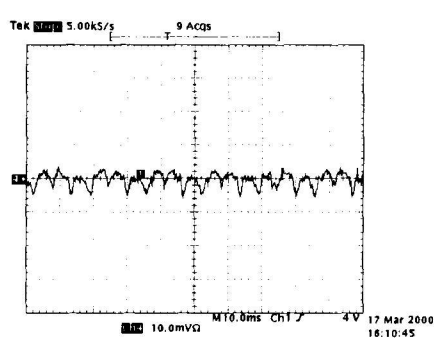


圖5.7 Case2中補償後0相電源電流(5A/div)

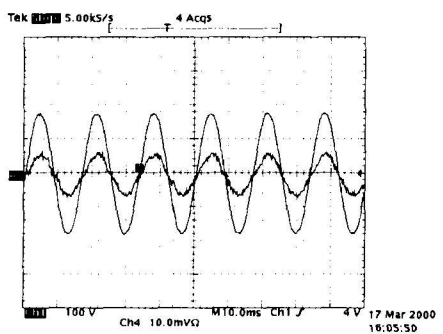


圖5.4 Case2中補償後a相電壓(50v/div)與電源電流(5A/div)

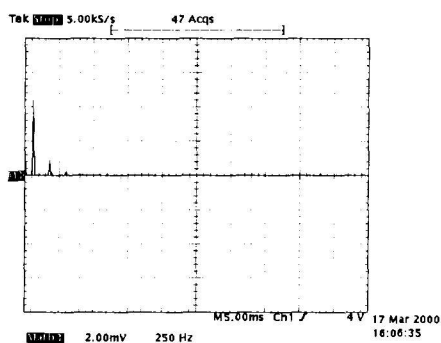


圖5.8 Case2中補償前a相電源電流頻譜圖

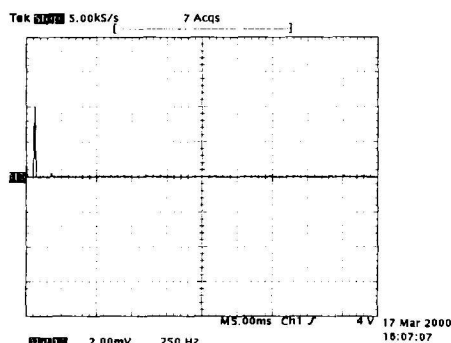


圖5.9 Case2中補償後a相電源電流頻譜圖

五、討論

經由模擬結果(圖3.1、圖3.4)和實驗結果(圖5.0、圖5.4、圖5.8、圖5.9)，可見經補償後之電源電流，確可達到消除諧波之效果；而由模擬結果(圖3.3、圖3.6)和實驗結果(圖4.2、圖4.4、圖5.3、圖5.7)，可見中心相電源電流被有效減少；而且由實驗case2結果(圖5.4、圖5.5和圖5.6)，可觀察主動式電力濾波器具有平衡負載的效果；而在補償器的暫態響應上，由圖4.5和圖4.6的結果可得知補償器的快速響應特性。由以上可知本計劃所提出之補償器和前述所提理論可有效消除諧波電流、提供虛功電流、消除中心線電流和平衡負載。

六、計劃結果自評

本計劃針對不平衡配電系統設計靜態電容器之補償控制器，除了完成靜態電容器對不平衡系統補償效果之模擬外，對於預期工作項目中的「架設三相不平衡系統及相關控制電路」、「控制法則之程式撰寫」、「基本量測」、「進行三相不平衡系統中靜態電容器之虛功電壓補償實驗」、「進行三相不平衡系統中靜態電容器之諧波補償實驗」以及「修改控制法則與程式，使補償最佳化」等項目均順利完成，達成本計畫原先所擬定之進度和目標。

七、參考資料

- [1] 陳正哲，“串聯式與並聯式三相四線主動電力濾波器之設計，”台灣大學電機研究所博士論文，中華民國八十九年六月。
- [2] 陳本盛，“三相四線式主動電力濾波器，”台灣大學電機研究所碩士論文，中華民國八十九年六月。
- [3] 陳澤民，“串聯型主動式電力濾波器，”台灣大學電機研究所碩士論文，中華民國九十年六月。
- [4] P. M. Anderson, Analysis of Faulted Power Systems, New York: IEEE Press, 1995.
- [5] L. S. Czarnecki, “Reactive and Unbalanced Currents Compensation in Three-Phase Asymmetrical Circuits Under Nonsinusoidal Conditions,” IEEE Trans. on Instr. Meas., Vol. 38, No. 3, June 1989, pp.754-759.
- [6] M. Z. EADEK, “Balancing of Unbalanced Loads Using Static VAR Compensators,” Electric Power System Research, Vol. 12, 1987, pp. 137-148.
- [7] H. Akagi, “Trend in active power line conditioners,” IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 9, No. 3, 1994, pp. 263-268.
- [8] L. S. Czarnecki, “Orthogonal Decomposition of the Currents in a 3-Phase Nonlinear Asymmetrical Circuit with a Nonsinusoidal Voltage Source,” IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 37, No. 1, March 1988, pp. 30-34.
- [9] M. Aredes, J. Häfner, and K. Heumann, “Three-Phase Four-Wire Shunt Active Filter Control Strategies,” IEEE Trans. Power Elec., Vol. 12, No. 2, March 1997, pp.311-318.
- [10] T. Furuhashi, S. Okuma, and Y. Uchikawa, “A Study on the Theory of Instantaneous Reactive Power,” IEEE Trans. Ind. Elec., Vol. 37, No. 1, Feb. 1990, pp.86-90.