



國立臺灣科技大學

電機工程系

博士學位論文

學 號：D8707001

負載特性對功率因數計算值的影響

Effects of Loading Characteristics
on Power Factor Calculation

研 究 生：黃鎮平

指導教授：吳啟瑞 博士

中華民國 九十五年 六月 二 日

博士學位論文指導教授推薦書

本校 電機工程 系(所) _____ 學程 黃鎮平 君

所提之論文 負載特性對功率因數計算值的影響

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授

吳勝強

95年5月1日

博士學位考試委員會審定書

本校 電機工程 系(所) _____ 學程 黃鎮平 君

所提論文 負載特性對功率因數計算值的影響

經本委員會審定通過，特此證明。

學位考試委員會

委

員：

<u>吳啟瑞</u>	<u>辜志偉</u>
<u>張文恭</u>	<u>劉志文</u>
<u>陳南鳴</u>	<u>黃世杰</u>
<u>林恩代</u>	<u>許源浚</u>

召集人：

詹晉南

學程主任：

系主任(所長)：

許新添

中華民國 95 年 6 月 2 日

摘要

本論文比較與分析六種可行的功率因數定義，並探討負載特性對功率因數值的影響。使用同一筆負載資料計算出六種功率因數值的差異，可反映不良電力品質負載的特性。六種功率因數定義中，三種取自 IEEE 標準 1459-2000，另三種僅考慮基本波成分。本文首先以模擬方法探討諧波污染、負載不平衡與負載變動等負載特性對功率因數值的影響，進而以各一家鐵路、捷運、鋼鐵、電機、化工、商業及機關代表性用戶的負載實測資料加以比較。另針對電氣化軌道負載使用的三相變二相 V-V 接線、Scott 接線及 Le Blanc 接線變壓器，探討此類負載特性對三相電源側功率因數值的影響。最後還探討適於長期監測負載特性的資料壓縮技術，利用小波轉換配合三種編碼方式進行資料壓縮，並比較資料重建後於電力量及功率因數計算的正確性，結果顯示正規化嵌入式零樹小波編碼有較佳的壓縮效果。由本文的研究結果，建議電業採用較能反映負載特性的功率因數定義式及合理的賞罰標準，希望能正向促使用戶注意與改善其電力品質問題。

ABSTRACT

This dissertation presents the comparison and analysis of six feasible power factor definitions, and examines the effect of load characteristics on power factor values. The load characteristics of the inferior power quality can be reflected from the differences of six power factor values calculated from a set of load data. Among the six power factor definitions, three employ the IEEE Standard 1459-2000, and the rests base only on fundamental components. Firstly, the impacts of load characteristics to the power factor values are simulated based on the effects of harmonic distortion, load unbalance, and load fluctuation. Then, the field measurement results of representing users from the selected fields, such as railway, MRT, electric arc furnace, electrical and electronic plant, chemical plant, commercial building, and government office are compared. In addition, the effects of load characteristics on three-phase source side power factor values are also illustrated for V-V, Scott, and Le Blanc connected transformers. At last, for the searching of more sensible data compression techniques for the long-term monitoring of the load characteristics, the wavelet transform in conjunction with three coding methods for data compression process is adopted. It is also to compare the accuracy of calculating power quantity and power factor by using the reconstructed data. The comparison result reveals that the normalized embedded zero-tree wavelet coding has better performances on data compression. It is suggested that the utility should adopt a proper power factor definition and a rational rule to truly reflect the load characteristics of customers. Furthermore, it is hoped to encourage users to pay more attention to improve the problems of power quality.

目 錄

	頁次
中文摘要.....	i
英文摘要.....	i i
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
符號說明.....	vi
圖表索引.....	ix
第一章 緒論	
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 相關研究.....	2
1.3 本論文之貢獻.....	4
1.4 章節概要.....	5
第二章 電力量與功率因數之定義	
2.1 單相系統功率因數.....	7
2.2 三相系統功率因數.....	9
2.3 平均功率因數.....	12
2.4 評估諧波污染及負載不平衡的功率.....	14
第三章 不良電力品質負載對功率因數的影響	
3.1 模擬方法.....	16
3.2 諧波及不平衡對功率因數之影響.....	17
3.3 虛功率變動對功率因數的影響.....	20
3.4 結語.....	22
第四章 大用電戶功率因數量測與統計	
4.1 量測儀器及計算流程.....	23
4.2 量測步驟.....	24
4.3 測量結果.....	26
4.3.1 鐵路用戶.....	26
4.3.2 捷運用戶.....	34
4.3.3 鋼鐵用戶.....	38

	頁次
4.3.4 電機用戶.....	42
4.3.5 化工用戶.....	46
4.3.6 商業用戶.....	53
4.3.7 機關用戶.....	57
4.4 結語.....	61
第五章 特殊接線變壓器的功率因數探討	
5.1 前言.....	62
5.2 特殊接線變壓器的電路分析.....	62
5.2.1 V-V 接線.....	62
5.2.2 Scott 接線.....	63
5.2.3 Le Blanc 接線.....	64
5.3 模擬方法.....	66
5.4 實測結果與分析.....	72
5.5 結語.....	75
第六章 適於長期監測負載特性的資料壓縮技術	
6.1 前言.....	76
6.2 小波轉換與資料壓縮.....	77
6.3 編碼.....	83
6.3.1 門檻值編碼.....	84
6.3.2 向量量化編碼.....	85
6.3.3 正規化嵌入式零樹小波編碼.....	89
6.4 給定的電壓變動及諧波電流波形壓縮測試結果.....	92
6.5 現場實測負載資料壓縮結果.....	97
6.6 結語.....	113
第七章 結論與未來研究方向	
7.1 結論.....	114
7.2 未來研究方向.....	116
參考文獻.....	117
作者簡介.....	124

符號說明

電力定義符號

α_h	基本波及各次諧波電壓相位角, $h=1,2,\dots$
β_h	基本波及各次諧波電流相位角, $h=1,2,\dots$
D_B	失真功率
f_{sys}	基本波頻率
h	諧波階次
I_0	電流直流值
I_e	有效電流
I_{e1}	基本波有效電流
I_h	基本波及各次諧波電流有效值, $h=1,2,\dots$
N_1	變壓器一次側匝數
N_2	變壓器二次側匝數
PF	功率因數
PF_1	基本波功率因數
PF_{1M1}	第一種修正型基本波功率因數
PF_{1M2}	第二種修正型基本波功率因數
PF_A	算術功率因數
PF_e	有效功率因數
PF_V	向量功率因數
P	實功率
P_1	基本波實功率
P_1^+	基本波正序實功率
Q_B	虛功率
Q_1	基本波虛功率
Q_1^+	基本波正序虛功率
S	視在功率
S_1	基本波視在功率
S_1^+	基本波正序視在功率
S_A	算術視在功率
S_{e1}	基本波有效視在功率
S_e	有效視在功率
S_V	向量視在功率

S_{1M1}	第一種修正型基本波視在功率
S_{1M2}	第二種修正型基本波視在功率
S_{1U}	基本波不平衡視在功率
\bar{S}_{1U}	正規化基本波不平衡視在功率
S_{eN}	非基本波有效視在功率
\bar{S}_{eN}	正規化非基本波有效視在功率
$T(Q_1)$	某期間 T 內的正值基本波虛功率責任週期
THDi	總諧波電流失真
THDv	總諧波電壓失真
UD	不相等度
UD3	三相不平衡度
V_0	電壓直流值
V_e	有效電壓
V_{e1}	基本波有效電壓
V_h	基本波及各次諧波電壓有效值, $h=1,2,\dots$
V_{rms}	電壓的基本波均方根值
ΔV_{fn}	調幅頻率的電壓變動成分
ΔV	電壓變動大小



小波壓縮符號

$\psi(\bullet)$	母小波
$\psi_{a,b}(t)$	基底函數在 a 分度及 b 位移下的子小波
η_s	門檻值
$C_0[n]$	壓縮前的原始資料
$\bar{C}_0[n]$	壓縮後的資料
$\hat{C}_0[n]$	解壓縮還原的資料
CWT	連續小波轉換
$C_s[n]$	第 s 層次分解並降低取樣後的低頻數列
CR	壓縮比
$D_s[n]$	第 s 層次分解並降低取樣後的高頻數列
DWT	離散小波轉換
$d(X, Y_j)$	兩個向量的歐基里德(Euclidean)距離的平方

EZW	嵌入式零樹小波編碼
$G[n]$	低頻濾波器數列
$H[n]$	高頻濾波器數列
ICWT	連續小波反轉換
IDWT	離散小波反轉換
LBG	Linde-Buzo-Gray 演算法
NEZW	正規化嵌入式零樹小波編碼
NMSE	正規化均方根誤差
TH	門檻值編碼
u	門檻係數
VQ	向量量化編碼
X	訊號向量
Y_j	碼向量
$\downarrow 2$	降低取樣
$\uparrow 2$	提高取樣



圖表索引

	頁次
圖 3-1 模擬方塊圖.....	16
圖 3-2 諧波對六種功率因數值影響的曲線.....	19
圖 3-3 UD3 值對六種功率因數值影響的曲線.....	20
圖 3-4 正值基本波虛功率責任週期 $T(Q_1)$ 定義示意圖.....	20
圖 3-5 各平均功率因數值相對於 $T(Q_1)$ 變化曲線.....	21
圖 4-1 ADX3000 功率因數計算流程圖.....	24
圖 4-2 鐵路用戶變電站之系統單線圖.....	27
圖 4-3 鐵路用戶某工作日的紅線電力量 P 、 P_1 及 Q_1 量測結果.....	28
圖 4-4 鐵路用戶某工作日的紅線電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果.....	29
圖 4-5 鐵路用戶某工作日的白線電力量 R 、 P_1 及 Q_1 量測結果.....	30
圖 4-6 鐵路用戶某工作日的白線電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果.....	31
圖 4-7 捷運用戶之系統單線圖.....	34
圖 4-8 捷運用戶某工作日的電力量 R 、 P_1 及 Q_1 量測結果.....	35
圖 4-9 捷運用戶某工作日的電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果.....	36
圖 4-10 鋼鐵用戶變電站之單線圖.....	38
圖 4-11 鋼鐵用戶某工作日的電力量 R 、 P_1 及 Q_1 量測結果.....	39
圖 4-12 鋼鐵用戶某工作日的電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果.....	40
圖 4-13 電機用戶之系統單線圖.....	42
圖 4-14 電機用戶某工作日的電力量 R 、 P_1 及 Q_1 量測結果.....	43
圖 4-15 電機用戶某工作日的電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果.....	44
圖 4-16 化工用戶之系統單線圖.....	46
圖 4-17 化工用戶某工作日的紅線電力量 R 、 P_1 及 Q_1 量測結果.....	47
圖 4-18 化工用戶某工作日的紅線電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果.....	48
圖 4-19 化工用戶某工作日的白線電力量 R 、 P_1 及 Q_1 量測結果.....	49
圖 4-20 化工用戶某工作日的白線電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果.....	50
圖 4-21 商業用戶之系統單線圖.....	53
圖 4-22 商業用戶某工作日的電力量 R 、 P_1 及 Q_1 量測結果.....	54
圖 4-23 商業用戶某工作日的電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果.....	55
圖 4-24 機關用戶之系統單線圖.....	57
圖 4-25 機關用戶某工作日的電力量 R 、 P_1 及 Q_1 量測結果.....	58
圖 4-26 機關用戶某工作日的電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果.....	59

	頁次
圖 5-1 V-V 接線變壓器接線圖.....	63
圖 5-2 Scott 接線變壓器接線圖.....	64
圖 5-3 Le Blanc 接線變壓器架構圖.....	65
圖 5-4 模擬方塊圖.....	66
圖 5-5 諧波對 4 種功率因數值影響的曲線.....	71
圖 5-6 UD 值對 4 種功率因數值影響的曲線.....	72
圖 5-7 台灣鐵路樹林變電所電力系統單線圖.....	73
圖 5-8 變壓器二次側某 1 分鐘基本波實功率與虛功率的量測結果.....	73
圖 5-9 變壓器一次側某 1 分鐘之 PF_e 、 PF_A 、 PF_V 及 $ PF_1 $ 的計算結果.....	74
圖 6-1 資料壓縮概念示意圖.....	76
圖 6-2 小波轉換的分頻編碼概念圖.....	80
圖 6-3 小波轉換與資料壓縮的架構.....	81
圖 6-4 一層次分析的小波轉換數學符號圖示法.....	81
圖 6-5 使用小波 3 層次分析法(MRA3)經門檻值編碼(TH) 壓縮與重建的流程方塊圖.....	85
圖 6-6 使用小波 3 層次分析法(MRA3)經向量量化編碼(VQ) 壓縮與重建的流程方塊圖.....	87
圖 6-7 使用小波 3 層次分析法(MRA3)經 NEZW 壓縮與重建的流程方塊圖.....	91
圖 6-8 一組取樣訊號經 3 層次 MRA 分解後的高頻係數之例.....	92
圖 6-9 以圖 6-8 的取樣訊號為例, 其經 NEZW 編碼的示意圖.....	92
圖 6-10 某直流電弧爐(DC EAF)煉鋼廠的電力系統單線圖.....	98
圖 6-11 直流電弧爐煉鋼溶解期的 60 週期電壓波形原始取樣資料.....	100
圖 6-12 直流電弧爐煉鋼溶解期的 60 週期電流波形原始取樣資料.....	100
圖 6-13 直流電弧爐原始電壓波形與 3 種編碼壓縮後之 ΔV 誤差情形....	101
圖 6-14 直流電弧爐原始電壓波形與 3 種編碼壓縮後之 THD _v 誤差情形.	101
圖 6-15 直流電弧爐原始電流波形與 3 種編碼壓縮後 THD _i 誤差情形....	102
圖 6-16 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 P_1 誤差情形...	102
圖 6-17 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 Q_1 誤差情形..	103
圖 6-18 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_1 誤差情形...	103
圖 6-19 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_e 誤差情形...	104
圖 6-20 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_{eN} 誤差情形..	104
圖 6-21 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後 S_{1U} 誤差情形.....	105

圖 6-22	某鐵路電氣化軌道負載的變電站的電力系統單線圖.....	106
圖 6-23	鐵路變電站的 60 週期電壓波形原始取樣資料.....	108
圖 6-24	鐵路變電站的 60 週期電流波形原始取樣資料.....	108
圖 6-25	鐵路變電站原始電壓波形與 3 種編碼壓縮後之 ΔV 誤差情形....	109
圖 6-26	鐵路變電站原始電壓波形與 3 種編碼壓縮後之 THD _v 誤差情形.	109
圖 6-27	鐵路變電站原始電流波形與 3 種編碼壓縮後之 THD _i 誤差情形..	110
圖 6-28	鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 P_1 誤差情形...110	
圖 6-29	鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 Q_1 誤差情形...111	
圖 6-30	鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_1 誤差情形...111	
圖 6-31	鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_e 誤差情形...112	
圖 6-32	鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_{eN} 誤差情形..112	
圖 6-33	鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_{IU} 誤差情形..113	
表 3-1	4 種三相負載狀況.....	18
表 3-2	計算三相電源側所得六種功率因數值.....	18
表 4-1	量測用戶基本資料.....	26
表 4-2	鐵路用戶的紅線各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表...32	
表 4-3	鐵路用戶的白線各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表...33	
表 4-4	捷運用戶各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表.....	37
表 4-5	鋼鐵用戶各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表.....	41
表 4-6	電機用戶各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表.....	45
表 4-7	化工用戶紅線各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表.....	51
表 4-8	化工用戶白線各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表.....	52
表 4-9	商業用戶各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表.....	56
表 4-10	機關用戶各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表.....	60
表 5-1	5 種二次側(二相端)的負載狀況.....	68
表 5-2	計算變壓器一次側(三相端)所得 4 種功率因數值.....	69
表 6-1	VQ 編碼之各層次碼簿大小.....	93
表 6-2	給定的電壓變動波形測試結果.....	94
表 6-3	給定的諧波電流波形測試結果.....	96
表 6-4	電弧爐 15 分鐘電壓及電流波形取樣資料壓縮重建的結果.....	99
表 6-5	電弧爐資料壓縮前後計算各種電力量之間的誤差統計結果.....	99
表 6-6	鐵路變電站 15 分鐘電壓及電流波形取樣資料壓縮重建的結果...107	
表 6-7	鐵路變電站資料壓縮前後計算各種電力量之間的誤差統計結果.107	

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

隨著科技的進步與資訊化社會的發展，使得人們的生活型態高度地電氣化，由於電力電子技術的進步及大量地運用、資訊設備的普及、電氣化的大眾交通運輸與各種生產製程，造成諧波、不平衡及負載變動等電力品質問題日趨嚴重，使得今日的電力系統複雜程度已非傳統的正弦且平衡的狀態所能表達。關於純粹正弦且平衡系統的電力量及功率因數定義已非常明確，亦為電力系統分析的理想假設條件；雖然諧波及不平衡對電力量的影響持續地被探討，但直到 2000 年 IEEE 標準 1459-2000[1]提出對於非正弦及不平衡系統的相關電力量及功率因數定義試用標準，始有明確的規範可供參考。由於傳統採用的三相機電轉盤式電錶因頻率響應特性，通常只能測量到基本波成分的實功率及虛功率，面對存在諧波、不平衡及變動的負載時，是否能確切反映負載特性值得探討。在長時間監測負載特性時，通常耗費相當大的記憶體空間儲存資料；又或若需即時的傳輸資訊以便遠端監控等應用時，則有限的傳輸頻寬亦造成了檔案大小的限制，所以有效的資料壓縮技術益加重要，然而資料壓縮重建後對保持電力品質指標參數與計算電力量的正確性值得關注。

本文針對同一筆負載資料，比較六種功率因數計算值，其中三個功率因數定義取自 IEEE 標準 1459-2000，亦即有效、算術與向量功率因數；另外三個定義僅考慮基本波成分，亦即基本波、第一種及第二種修正型基本波功率因數；由探討負載特性對六種功率因數計算值的影響，進而可藉其差異性反映不良電力品質負載特性。為能在長時間監測負載特性資料時，透過適合的資料壓縮技術節省記憶體空間，或得以即時地傳輸資訊以便遠

端監控等應用，本論文利用小波轉換配合三種編碼方式壓縮負載資料，並討論重建後資料在電力量及功率因數計算值的正確性，藉以找到適合的資料壓縮技術可供量測儀器發展之用。若電業採用較能反映負載特性的功率因數定義式配合合理的賞罰標準，將能正向促使用戶注意與改善其電力品質問題。

1.2 相關研究

對於會破壞電力品質的污染源對電力量的影響，一直有許多文獻加以探討，早在 1990 年 Emanuel[2]已討論非正弦情況下電力量的物理意義，並於 1993 年以視在功率與功率因數的定義，依相序觀點詳細探討不平衡多相電路的電力量計算[3]。同時期，Filipski[4]於 1991 年討論多相系統中，受擾動波形的電力量與功率因數的情況，又於 1994 年討論在 IEEE 標準辭典中電力量定義的缺失[5,6]，指出其中有關多相系統功率因數的定義不夠明確，並舉例說明相關定義的缺失及建議必要的修改或刪除。而 Czarnecki[7,8]則利用簡單的電阻電路探討視在功率定義在不平衡電路中的電力量計算結果。IEEE 非正弦情況工作群組(Working Group on Nonsinusoidal Situations)於 1996 年針對北美地區 122 個電力公司進行調查研究[9]，結果顯示許多電力公司工程人員，對不平衡電壓及諧波電流存在於系統並影響相關計器量測值的電力品質問題已有所認知，並認為需針對不同電力品質問題加以計費。於 1998 年 Emanuel[10]介紹在非線性不平衡系統中視在功率的量測可使用另一定義來評估由不平衡、線路損失、電流失真所造成影響，此定義由 Buchholz 於 1922 年所提出，並由 Goodhue 於 1933 年加以解釋說明。Emanuel[11]再次於 1999 年說明算術視在功率與向量視在功率缺少一重要的物理特性，此特性為線路損失必須為視在功率平方值的線性函數，而倡議以 Buchholz-Goodhue 視在功率為合適的視在功

率定義，亦即有效視在功率。雖然諧波及不平衡對電力量的影響持續地被探討，但直到 2000 年 IEEE 標準 1459-2000[1]提出對於非正弦及不平衡系統的相關電力量及功率因數定義試用標準，始有明確的規範可供參考。

合適的電力量定義為量測的基礎，也才能據以設計出適用的各式電錶計器，Filipski[12]曾於 1992 年比較四種不同原理的虛功率計器在諧波條件下的讀值，並以可程式化的數位電錶所量測之虛功率值為參考並比較其誤差。IEEE 非正弦情況工作群組(Working Group on Nonsinusoidal Situations)於 1996 年[13]提出有效且可實際評估三相系統中不平衡及諧波失真程度的功率成份。在國內吳啟瑞與傅祖勳[14]使用不同電力定義及統計方法分析比較直流與交流電弧爐的負載特性，包括非基本波視在功率、非有效功率、不平衡基本波視在功率及功率因數等，用以顯示及評估諧波及不平衡的程度，藉以得到一種較佳的電力量表示方式來表現電弧爐負載的特性；進而探討負載特性造成功率因數計算值的差異與電費計價的影響[15,16]。

軌道電氣化是各國經濟發展過程中重要的交通建設，由於需要龐大的單相電源，因而常利用三相變二相變壓器以減低三相不平衡，其接線法常見有 V-V 接線、Scott 接線及 Le Blanc 接線等[17-21]，目前對其三相不平衡與諧波電力品質問題多有探討[22-24]，保護電驛的方法亦有研究[25,26]，有鑑於國內電氣化軌道大眾運輸系統持續建設的趨勢，吳啟瑞已初步探討軌道負載對功率因數計算值的影響[27]。

為能長時間監測負載特性資料，透過適合的資料壓縮技術，將可節省記憶體空間或得以即時地傳輸資訊以便遠端監控等應用。小波理論自被提出後，在近十年來已廣泛地應用於各領域上，如振波處理、聲音與影像處理等[28]。由於 Mallat[29]巧妙地將多層次分析(Multiresolution Analysis, MRA)的想法引入於小波分析中，建構了小波轉換的方法，使能方便地把信號加以分解與重建。1992 年 Daubechie 等[30]提出以小波轉換為基礎的

影像壓縮技術，是為小波影像壓縮應用的先驅。直至 2000 年，小波壓縮被選為影像壓縮標準 JPEG2000 的指定壓縮技術[31,32]，更奠定了小波轉換在影像壓縮上的地位，小波壓縮技術更加蓬勃發展，甚至應用於醫學上如心電圖的壓縮[33]。由於小波轉換具備了時頻域分析的縮張能力，近幾年也被應用於電力暫態擾動現象的偵測與定址，能有效偵測出擾動發生的時間，也可以分辨信號的變化如諧波與電壓閃爍等[34-38]。Santoso 等[39]比較了傅立葉轉換與小波轉換對諧波及擾動波形偵測的能力，Gaouda 等[40]以小波轉換及多層次分析技術繪製標準差曲線，作為電力品質偵測與鑑別的一項參考圖表。黃世杰等[41-43]廣泛地應用多種小波轉換有效偵測與分辨出電力擾動的發生時點。Santoso[44]及 Littler[45]則將其應用於電力品質擾動資料的壓縮上，傅祖勳[46]則以門檻值編碼、向量量化編碼及參考波形法對增強電力品質資料儲存能力與保持電力量計算正確性進行比較。黃世杰等[47]亦有效地應用算術編碼提升電力品質資料壓縮儲存能力。近年來不斷有新的影像壓縮技巧發展[48-50]，小波壓縮為影像壓縮的後起之秀，其較有名的編碼技術包括了嵌入式零樹小波編碼(Embedded Zerotree Wavelet, EZW)[51-53]與架構樹集合分割編碼(Set Partitioning in Hierarchical Trees, SPIHT)[54] 等，若能有效地應用於電力品質資料壓縮，其發展性還相當的大。

1.3 本論文之貢獻

1. 本文提及的六種功率因數計算值將隨著諧波污染、負載不平衡與負載變動等負載特性而有所差異，因此可藉其差異顯示負載特性；電業若輔以較能反映負載特性的功率因數定義式及合理的賞罰標準，將能正向促使用戶注意與改善其電力品質問題。
2. 充分實測台電高壓以上用戶七大業別的結果發現，其中 69kV(含)以上

特高壓供電之非常大型用戶主要以鐵路及鋼鐵業用戶有嚴重的諧波和不平衡的電力品質問題；而使用了大量資訊設備以及單相負載的用戶如商業或機關業別，其諧波和不平衡的電力品質問題頗為嚴重。

3. 首次以各種功率因數計算值的差異比較探討 V-V 接線、Scott 接線及 Le Blanc 接線三種三相變二相特殊接線變壓器的負載特性，其顯示 V-V 接線變壓器結構上原本就有的不平衡性質，而 Scott 接線及 Le Blanc 接線變壓器兩者的負載平衡特性相似。
4. 正規化嵌入式零樹小波編碼(NEZW)主要改進了已在小波影像壓縮應用方面有很大效果的嵌入式零樹小波編碼(EZW)的啟始步驟，是本文所創見適用於電力系統交流電壓及電流資料壓縮的改良方法，可作為長期紀錄監測負載特性的應用。

1.4 章節概要



本論文共分為七章，各章節內容概述如下：

第一章：緒論，描述論文的研究動機與目的、相關研究及本論文之貢獻。

第二章：電力量與功率因數之定義，詳細介紹各種電力量與功率因數定義。

第三章：不良電力品質負載對功率因數的影響，藉由模擬分析諧波污染、負載不平衡與負載變動等不良電力品質負載特性對功率因數計算值的影響，評估出合適的電力量與功率因數定義以表現負載特性。

第四章：大用電戶功率因數量測與統計，由實測鐵路、捷運、鋼鐵、電機、化工、商業與機關等七種業別共 34 家用戶負載資料的統計分析中，選定各業別代表性的一家用戶量測資料說明負載特性對功率因數值的影響。

第五章：特殊接線變壓器的功率因數探討，電氣化軌道負載常見的三相變二相變壓器接線法有 V-V 接線、Scott 接線及 Le Blanc 接線等，本章探討這些特殊接線變壓器負載特性對三相電源側功率因數值的影響。

第六章：適於長期監測負載特性的資料壓縮技術，為能長期監測負載特性，如何有效地壓縮或減少量測記錄負載特性資料所需的記憶體空間是相當重要的，本章利用小波轉換配合三種編碼方式壓縮負載資料，並討論重建後資料在電力量計算的正確性。

第七章：結論與未來研究方向，總結本論文並提出未來可繼續研究的方向。



第二章 電力量與功率因數之定義

雖然純粹正弦且平衡系統的電力量定義向來非常明確，而諧波及不平衡對電力量的影響亦持續地被探討，但直到 2000 年 IEEE 再度提出於非正弦及不平衡系統的相關電力量試用標準 IEEE 標準 1459-2000，始有明確的規範可供參考。本章介紹六種功率因數定義，其中三個功率因數定義取自 IEEE 標準 1459-2000 [1]，亦即有效、算術與向量功率因數；另外三個定義僅考慮基本波成分，亦即基本波、第一種及第二種修正型基本波功率因數；以便探討負載諧波、不平衡及變動對各視在功率及功率因數計算值的影響。

2.1 單相系統功率因數

在無諧波污染的正弦單相系統中，電壓及電流的瞬時值為

$$v(t) = \sqrt{2}V \sin(\omega t + \alpha) \quad (2-1)$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \beta) \quad (2-2)$$

視在功率的定義為電壓有效值乘以電流有效值，即

$$S = VI \quad (2-3)$$

實功率(平均功率)的定義為

$$P = VI \cos \theta \quad (2-4)$$

其中 $\theta = \alpha - \beta$ 為電壓及電流的相角差

虛功率的定義為

$$Q = VI \sin \theta \quad (2-5)$$

功率因數的定義為

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) \quad (2-6)$$

在非正弦的系統，考慮諧波的影響，假設電壓及電流的瞬時值為

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2} \sum_{h=1}^{\infty} V_h \sin(h\omega t + \alpha_h) \quad (2-7)$$

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2} \sum_{h=1}^{\infty} I_h \sin(h\omega t + \beta_h) \quad (2-8)$$

其中 V_0, I_0 分別為電壓及電流直流值

V_h ：基本波及各次諧波電壓有效值， $h=1,2,\dots$

α_h ：基本波及各次諧波電壓相位角， $h=1,2,\dots$

I_h ：基本波及各次諧波電流有效值， $h=1,2,\dots$

β_h ：基本波及各次諧波電流相位角， $h=1,2,\dots$

則電壓及電流的有效值為

$$V = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} V_h^2} \quad (2-9)$$

$$I = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} I_h^2} \quad (2-10)$$



視在功率及實、虛功率的定義分別為

$$S = VI \quad (2-11)$$

$$P = \sum_{h=0}^{\infty} V_h I_h \cos(\alpha_h - \beta_h) \quad (2-12)$$

$$Q_B = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \sin(\alpha_h - \beta_h) \quad (2-13)$$

功率因數的定義為

$$PF = \frac{P}{S} \neq \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_B^2}} \quad (2-14)$$

即非正弦系統中 $S \neq \sqrt{P^2 + Q_B^2}$ ，故可以再定義一個失真功率(distortion power)為

$$D_B = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_B^2} \quad (2-15)$$

在(2-14)式及(2-15)式的下標 B 表示此定義由 Budeanu 在 1927 年所提出

2.2 三相系統功率因數

前述正弦及非正弦條件下的差異在三相系統中亦然，故在 IEEE 標準 1459-2000 對含有諧波及不平衡的三相電路分別定義有算術視在功率 (arithmetic apparent power) S_A 、向量視在功率(vector apparent power) S_V 及有效視在功率(effective apparent power) S_e ，以及對應之功率因數定義分別為算術功率因數(arithmetic power factor) PF_A 、向量功率因數(vector power factor) PF_V 及有效功率因數(effective power factor) PF_e ，分述如下：

(1) 算術視在功率及功率因數

算術視在功率

$$S_A = S_R + S_S + S_T = V_R I_R + V_S I_S + V_T I_T \quad (2-16)$$

其中 S_R 、 S_S 、 S_T 分別為各相的視在功率。

算術功率因數

$$PF_A = \frac{P}{S_A}, \quad P = P_R + P_S + P_T \quad (2-17)$$

(2) 向量視在功率及功率因數

向量視在功率

$$S_V = \sqrt{P^2 + Q_B^2 + D_B^2} \quad (2-18)$$

$$= \sqrt{(P_R + P_S + P_T)^2 + (Q_{BR} + Q_{BS} + Q_{BT})^2 + (D_{BR} + D_{BS} + D_{BT})^2}$$

其中 P_R 、 P_S 、 P_T 分別為各相的實功率。

Q_{BR} 、 Q_{BS} 、 Q_{BT} 分別為各相的虛功率。

D_{BR} 、 D_{BS} 、 D_{BT} 分別為各相的失真功率。

向量功率因數

$$PF_V = \frac{P}{S_V}, \quad P = P_R + P_S + P_T \quad (2-19)$$

算術視在功率及向量視在功率原在 IEEE 標準辭典[6]中已有提及，由於(2-18)式中，虛功率部分可能因各相負載超前或落後特性之不同而抵消計算值，所以通常 $S_A \geq S_V$ ，亦即 $PF_A \leq PF_V$ 。

(3) 有效視在功率及功率因數

有效視在功率定義的概念，早在西元 1922 年已由 Buchholz 提出，並持續有所修正與討論[10]，在 IEEE 標準 1459-2000 中最後修正如下：

(a) 3 ϕ 3w 系統

有效電流(effective current)

$$I_e = \sqrt{\frac{I_R^2 + I_S^2 + I_T^2}{3}} \quad (2-20)$$

有效電壓(effective voltage)

$$V_e = \sqrt{\frac{V_{RS}^2 + V_{ST}^2 + V_{TR}^2}{9}} \quad (2-21)$$

(b) 3 ϕ 4w 系統

有效電流

$$I_e = \sqrt{\frac{I_R^2 + I_S^2 + I_T^2 + I_N^2}{3}} \quad (2-22)$$

有效電壓

$$V_e = \sqrt{\frac{1}{18} \left[3(V_R^2 + V_S^2 + V_T^2) + (V_{RS}^2 + V_{ST}^2 + V_{TR}^2) \right]} \quad (2-23)$$

因此，有效視在功率

$$S_e = 3V_e I_e \quad (2-24)$$

有效功率因數

$$PF_e = \frac{P}{S_e}, P = P_R + P_S + P_T \quad (2-25)$$

根據 Emanuel[11]對功率因數物理意義的解釋為：視在功率是當負載電壓及饋線功率損失為常數時，該饋線所能傳輸的最大實功率，而線路損失功率 P 可近似為視在功率平方 S^2 的線性函數，即

$$\Delta P \cong k + mS^2 \quad \text{其中 } k, m \text{ 為常數} \quad (2-26)$$

此近似線性性質在所有的電力系統中均應成立，所以此式可用來檢測視在功率的定義是否合適。Emanuel 已分析顯示在諧波、不平衡及負載變動中，僅 S_e 能確實反映出線路損失及負載之特性符合(2-26)式，同時將其表現在 PF_e 的定義上，而 S_A 及 S_V 均缺少此性質，因此於三相系統中 S_e 及 PF_e 確實為較合適之電力量與功率因數定義。

功率因數的量測如果是利用傳統的三相機電轉盤式電表，因頻率響應特性，通常只能測量到基本波成分的實功率及虛功率，忽略了諧波所產生之影響，故以量測的觀點本文再說明三種基本波視在功率及功率因數定義如下。

(4) 基本波視在功率及功率因數

基本波視在功率

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} \quad (2-27)$$

其中 $P_1 = P_{R1} + P_{S1} + P_{T1}$ ， $Q_1 = Q_{R1} + Q_{S1} + Q_{T1}$

基本波功率因數

$$PF_1 = \cos \theta_1 = \frac{P_1}{S_1} = \cos(\tan^{-1} \frac{Q_1}{P_1}) \quad (2-28)$$

(5) 第一種修正型基本波視在功率及功率因數

第一種修正型基本波視在功率

$$S_{IM1} = \sqrt{P_1^2 + Q_{IM1}^2} \quad (2-29)$$

$$\text{其中 } Q_{IM1} = \begin{cases} Q_1, & Q_1 \geq 0 \\ 0, & Q_1 < 0 \end{cases}$$

$$P_1 = P_{R1} + P_{S1} + P_{T1}, Q_1 = Q_{R1} + Q_{S1} + Q_{T1}$$

第一種修正型基本波功率因數

$$PF_{IM1} = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q_{IM1}}{P_1} \right) \quad (2-30)$$

台電目前的功率因數計算方式，如果以機電轉盤式電表量測而得，僅考慮基本波的實功率及虛功率的正值部分，並未計入虛功率的負值部分(虛功率過補償)，其計算即為(2-29)式與(2-30)式的定義。

(6) 第二種修正型基本波視在功率及功率因數

第二種修正型基本波視在功率

$$S_{IM2} = \sqrt{P_1^2 + Q_{IM2}^2} \quad (2-31)$$

$$\text{其中 } Q_{IM2} = |Q_1|$$

$$P_1 = P_{R1} + P_{S1} + P_{T1}, Q_1 = Q_{R1} + Q_{S1} + Q_{T1}$$

第二種修正型基本波功率因數

$$PF_{IM2} = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q_{IM2}}{P_1} \right) \quad (2-32)$$

2.3 平均功率因數

目前電力公司對用戶功率因數量測的方式大多是基於平均的觀念，以台灣電力公司為例，目前係以用戶一個月的耗時(kWh)及千乏時(kvarh)積分值來計算當月之平均功率因數值，故由前述六種功率因數定義可得其相對應的平均功率因數如下。

(1) 算術平均功率因數

$$PF_A = \frac{\int_T P(t)dt}{\int_T S_A(t)dt} \quad (2-33)$$

(2) 向量平均功率因數

$$PF_V = \frac{\int_T P(t)dt}{\int_T S_V(t)dt} \quad (2-34)$$

(3) 有效平均功率因數

$$PF_e = \frac{\int_T P(t)dt}{\int_T S_e(t)dt} \quad (2-35)$$

(4) 基本波平均功率因數

$$PF_1 = \cos\left(\tan^{-1} \frac{\int_T Q_1(t)dt}{\int_T P_1(t)dt}\right) \quad (2-36)$$

(5) 第一種修正型基本波平均功率因數

$$PF_{1M1} = \cos\left(\tan^{-1} \frac{\int_T Q_{1M1}(t)dt}{\int_T P_1(t)dt}\right) \quad (2-37)$$

(6) 第二種修正型基本波平均功率因數

$$PF_{1M2} = \cos\left(\tan^{-1} \frac{\int_T Q_{1M2}(t)dt}{\int_T P_1(t)dt}\right) \quad (2-38)$$

台灣電力公司目前以一個月來計算當月之平均功率因數值之方式即如(2-37)式所示。由於三相機電轉盤式千乏時(kvarh)電表只需稍加修改即可量測正值及負值或絕對值虛功率積分值,因此一併探討(2-36)式及(2-38)式所示之平均功率因數。

2.4 評估諧波污染及負載不平衡的功率

為反應諧波以及負載不平衡的影響，在 IEEE 標準 1459-2000 中另定義了衡量諧波及不平衡污染的指標如下。由前述有效視在功率及功率因數的定義中，可推導 3 ϕ 3w 系統基本波有效電壓及有效電流為

$$V_{e1} = \sqrt{\frac{V_{RS1}^2 + V_{ST1}^2 + V_{TR1}^2}{9}} \quad (2-39)$$

$$I_{e1} = \sqrt{\frac{I_{R1}^2 + I_{S1}^2 + I_{T1}^2}{3}} \quad (2-40)$$

而 3 ϕ 4w 系統基本波有效電壓及有效電流分別為

$$V_{e1} = \sqrt{\frac{1}{18} [3(V_{R1}^2 + V_{S1}^2 + V_{T1}^2) + (V_{RS1}^2 + V_{ST1}^2 + V_{TR1}^2)]} \quad (2-41)$$

$$I_{e1} = \sqrt{\frac{I_{R1}^2 + I_{S1}^2 + I_{T1}^2 + I_{N1}^2}{3}} \quad (2-42)$$

基本波有效視在功率(fundamental effective apparent power) S_{e1} 定義為

$$S_{e1} = 3V_{e1}I_{e1} \quad (2-43)$$

有效視在功率包含基本波與下式定義的諧波成份

$$S_{eN} = \sqrt{S_e^2 - S_{e1}^2} \quad (2-44)$$

S_{eN} 稱為非基本波有效視在功率 (nonfundamental effective apparent power)，其與基本波有效視在功率的比值可作為評量諧波污染的指標稱為正規化非基本波有效視在功率 (normalized nonfundamental effective apparent power) 定義為

$$\bar{S}_{eN} = \frac{S_{eN}}{S_{e1}} \quad (2-45)$$

在衡量負載不平衡程度時則僅利用基本波成份，基本波正序視在功率 (fundamental positive-sequence apparent power) 定義為

$$S_1^+ = 3V_1^+I_1^+ = \sqrt{(P_1^+)^2 + (Q_1^+)^2} \quad (2-46)$$

$$\text{其中 } V_1^+ = \frac{1}{3}(V_{R1} + aV_{S1} + a^2V_{T1})$$

$$I_1^+ = \frac{1}{3}(I_{R1} + aI_{S1} + a^2I_{T1}) \quad , \quad a = 1 \angle 120^\circ$$

基本波不平衡視在功率(fundamental unbalanced apparent power) S_{1U} 定義為

$$S_{1U} = \sqrt{S_{e1}^2 - (S_1^+)^2} \quad (2-47)$$

因此利用功率來評估負載不平衡的指標稱為正規化基本波不平衡視在功率(normalized fundamental unbalanced apparent power)定義為

$$\bar{S}_{1U} = \frac{S_{1U}}{S_1^+} \quad (2-48)$$

其次，另定義三相不平衡度(3ϕ unbalanced degree, UD3)的指標如下，其值將介於 0% (三相平衡負載時)到 200% (僅某相有負載時)之間：

$$UD3 = \frac{|S_{R1} - S_{S1}| + |S_{S1} - S_{T1}| + |S_{T1} - S_{R1}|}{S_{R1} + S_{S1} + S_{T1}} \times 100\% \quad (2-49)$$

其中各相基本波視在功率分別為

$$S_{R1} = \sqrt{P_{R1}^2 + Q_{R1}^2} \quad (2-50)$$

$$S_{S1} = \sqrt{P_{S1}^2 + Q_{S1}^2} \quad (2-51)$$

$$S_{T1} = \sqrt{P_{T1}^2 + Q_{T1}^2} \quad (2-52)$$

第三章 不良電力品質負載對功率因數的影響

為探討不良電力品質負載對功率因數的影響，本章考慮諧波、不平衡及虛功率變動等負載特性，利用軟體模擬計算，分析對六種功率因數值的影響，藉以找出合適的功率因數定義以反映負載特性。

3.1 模擬方法

利用軟體 Simulink 及 Sim Power Systems 所提供的模組(block)建構模擬方塊圖，架構如圖 3-1，並輔以 Matlab 計算分析[55,56]，模擬程序說明如下：

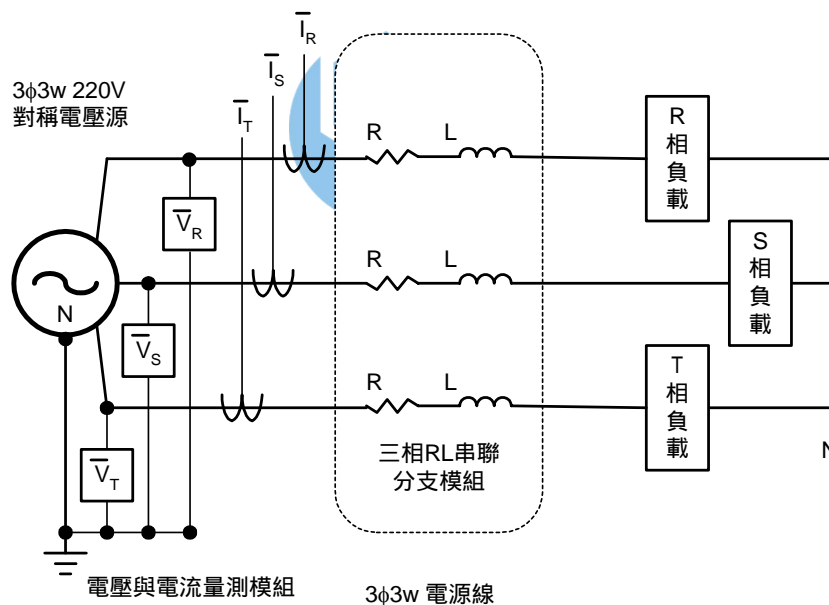


圖 3-1 模擬方塊圖

1. 模擬電源是 3φ3w 220V 對稱電壓源模組(symmetrical three-phase voltage source block)，模擬系統短路容量 $SC = 500MVA$ ，而 $X / R = 25$ 。
2. 電源線則利用三相 RL 串聯分支模組(3φ series RL branch block)，模擬線

路規格為 60mm^2 ，安全電流量 115A ，長度 20m ，每相的阻抗參數為 $R=0.0066\Omega$ ($0.33\ \Omega / \text{km}$)及 $L=4.838\mu\text{H}$ ($0.2419\ \text{mH} / \text{km}$)。

3. 負載側三相負載分別以並聯 RLC 負載模組(parallel RLC load block) 及諧波電流源模組(harmonic current source block)構成。
4. 電壓與電流量測模組(measurement block)可分別擷取三相電源側的相電壓及線電流瞬時值。模擬負載初值為三相平衡且無諧波擾動，每相基本波負載均為 10kW 與 6kvar 落後性，亦即 $\text{PF}_1=0.857$ 。
5. 利用快速傅立葉轉換(FFT)求取電壓與電流的基本波與各次諧波成分。
6. 計算電壓與電流的有效值(RMS)，進而求取各種電力量及功率因數。

3.2 諧波及不平衡對功率因數之影響

依據負載側基本波電力量三相平衡與否以及有無諧波的考慮，分析 4 種負載狀況如表 3-1 所示，於電源側計算所得六種功率因數結果列於表 3-2，可觀察到一些結果如下：

1. 因 Case 1 為三相負載平衡且無諧波的情況，故電源側六種功率因數值均相同。
2. Case 2 為考慮三相負載平衡，但有諧波的情況，因為 PF_1 、 PF_{1M1} 及 PF_{1M2} 僅考慮基本波成分，而忽略諧波成分，因此其結果與 Case 1 均相同；至於 PF_e 、 PF_A 及 PF_V 值相等，但較 Case 1 為小。
3. Case 3 說明了三相不平衡負載的影響，從分析結果發現 $\text{PF}_e < \text{PF}_A < \text{PF}_V = \text{PF}_1 = \text{PF}_{1M1} = \text{PF}_{1M2}$ ，顯然可見 PF_V 無法反映不平衡負載的影響。
4. Case 4 則同時考慮諧波擾動與不平衡負載的影響，其結果就如同 Case 2 及 Case 3 的共同影響，結果顯示 $\text{PF}_e < \text{PF}_A < \text{PF}_V < \text{PF}_1 = \text{PF}_{1M1} = \text{PF}_{1M2}$ 。

表 3-1 4 種三相負載狀況

三相負載狀況		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
基本波 實功率	P_{R1} (kW)	10	10	10	10
	P_{S1} (kW)	10	10	15.7	15.7
	P_{T1} (kW)	10	10	4.3	4.3
基本波 虛功率	Q_{R1} (kvar)	6	6	6	6
	Q_{S1} (kvar)	6	6	9.3	9.3
	Q_{T1} (kvar)	6	6	2.7	2.7
諧波 電流	I_5 (%)	0	30	0	30
	I_7 (%)	0	30	0	30
三相負載說明		三相平衡 落後性 無諧波	三相平衡 落後性 有諧波	三相不平衡 落後性 無諧波	三相不平衡 落後性 有諧波

表 3-2 計算三相電源側所得六種功率因數值

功率因數定義	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
PF_e	0.857	0.832	0.772	0.741
PF_A	0.857	0.832	0.847	0.794
PF_V	0.857	0.832	0.848	0.808
PF_1	0.857	0.857	0.848	0.848
PF_{IM1}	0.857	0.857	0.848	0.848
PF_{IM2}	0.857	0.857	0.848	0.848

為能進一步瞭解諧波及不平衡負載對功率因數的影響，再以兩個模擬範例加以說明。首先，模擬諧波的影響，初始條件仍如表 3-1 的 Case 1 為三相平衡且無諧波的負載，亦即其基本波電力量分別為 $P_{R1} = P_{S1} = P_{T1} = 10\text{kW}$ 及 $Q_{R1} = Q_{S1} = Q_{T1} = 6\text{ kvar}$ 落後性，再包含 0~60% 的 5 次與 7 次諧波電流，圖 3-2 表示諧波對六種功率因數值影響的曲線，

說明如下：

1. $PF_1 = PF_{1M1} = PF_{1M2}$ 為固定值而與諧波量無關。
2. $PF_e = PF_A = PF_V$ ，但諧波量愈高，其值愈低。
3. 表 3-2 所計算的 Case 1 及 Case 2 為此曲線的兩個特例。

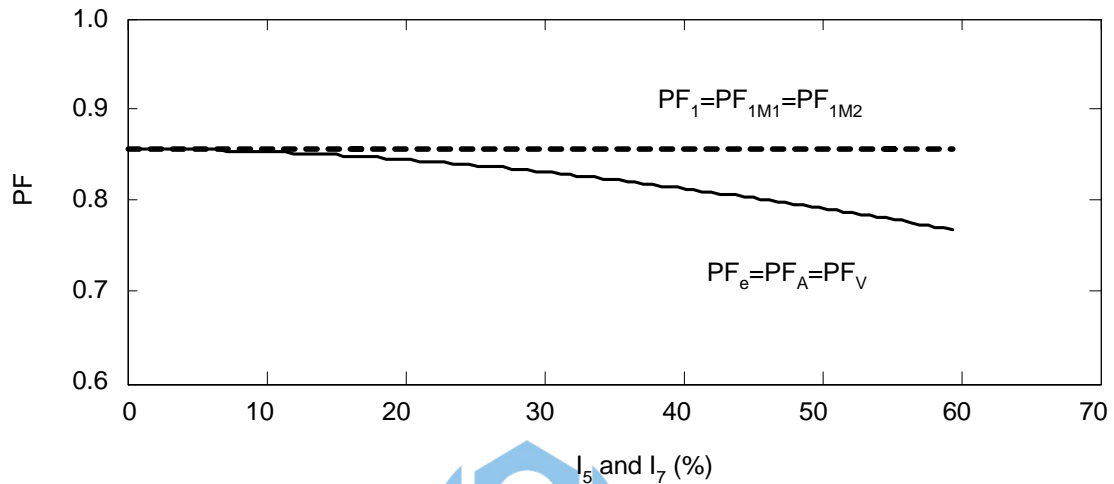


圖 3-2 諧波對六種功率因數值影響的曲線

其次，為了評估三相不平衡負載的影響，模擬初值假設如表 3-1 的 Case 1 為三相平衡負載，亦即 $P_{R1} = P_{S1} = P_{T1} = 10 \text{ kW}$ 及 $Q_{R1} = Q_{S1} = Q_{T1} = 6 \text{ kvar}$ 落後性，此時 $UD3 = 0\%$ ；在保持三相總負載量及各相基本波功率因數不變的情況下，若 R 相負載固定不變，而將 T 相負載逐漸地移至 S 相， $UD3$ 亦將漸增達 133%，圖 3-3 表示 $UD3$ 值對六種功率因數值影響的曲線，說明如下：

1. $PF_V = PF_1 = PF_{1M1} = PF_{1M2}$ 且固定，不受 $UD3$ 影響。
2. 不平衡負載使得 $PF_e < PF_A < PF_V$ ，其差異隨 $UD3$ 愈高而加大。
3. 表 3-2 所計算的 Case 1 及 Case 3 為此曲線的兩個特例。

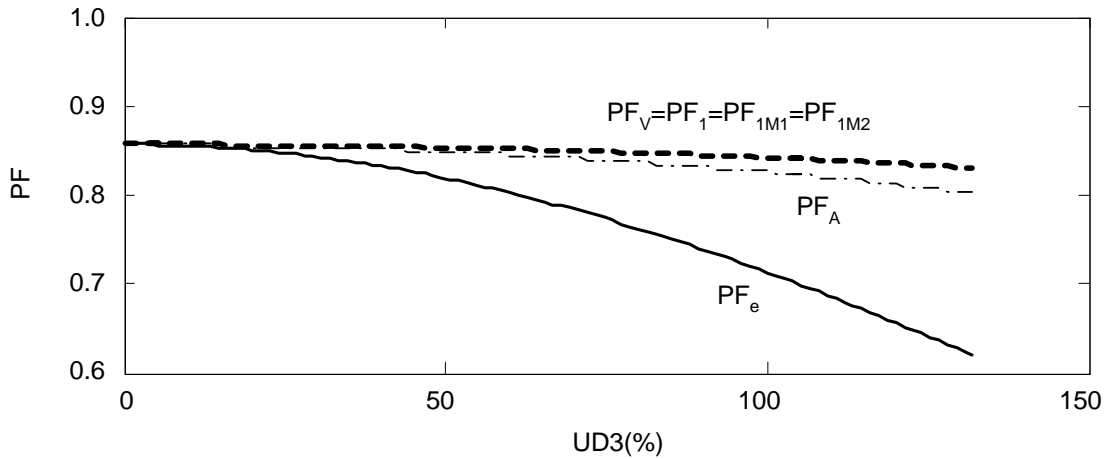


圖 3-3 UD3 值對六種功率因數值影響的曲線

3.3 虛功率變動對功率因數的影響

若某負載之基本波虛功率在某一期間內會正負變動，則可定義某期間 T 內的正值基本波虛功率責任週期(duty cycle)為

$$T(Q_1) = \frac{\int_0^T Q_{1M1}(t)dt}{\int_0^T Q_{1M2}(t)dt} \times 100\% \quad (3-1)$$

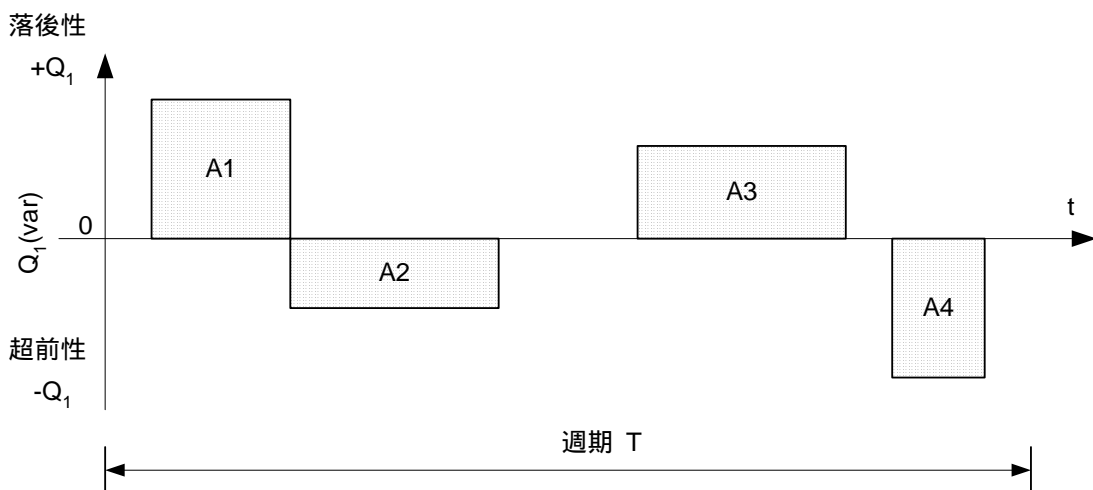


圖 3-4 正值基本波虛功率責任週期 $T(Q_1)$ 定義示意圖

由上式可知，若某期間 T 內負載基本波虛功率均為正值(落後性)，則 $T(Q_1)=100\%$ ，隨著負值基本波虛功率(超前性)出現在該期間內的比率增加， $T(Q_1)$ 將逐漸降低；當 $T(Q_1)=0\%$ 時，則表示負載在 T 期間內的基本波虛功率均為負值(超前性)。圖 3-4 為 $T(Q_1)$ 定義的示意圖，由圖中可知

$$T(Q_1) = \frac{A1 + A3}{A1 + A2 + A3 + A4} \times 100\% \quad (3-2)$$

在 $3\phi 3w$ 正弦平衡系統中，假設圖 3-1 中負載所消耗三相實功率固定為 12kW，某期間 T 內三相虛功率的變動則由 -16kvar 至 16kvar，可得各平均功率因數對 $T(Q_1)$ 的變化曲線，如圖 3-5 所示，說明如下：

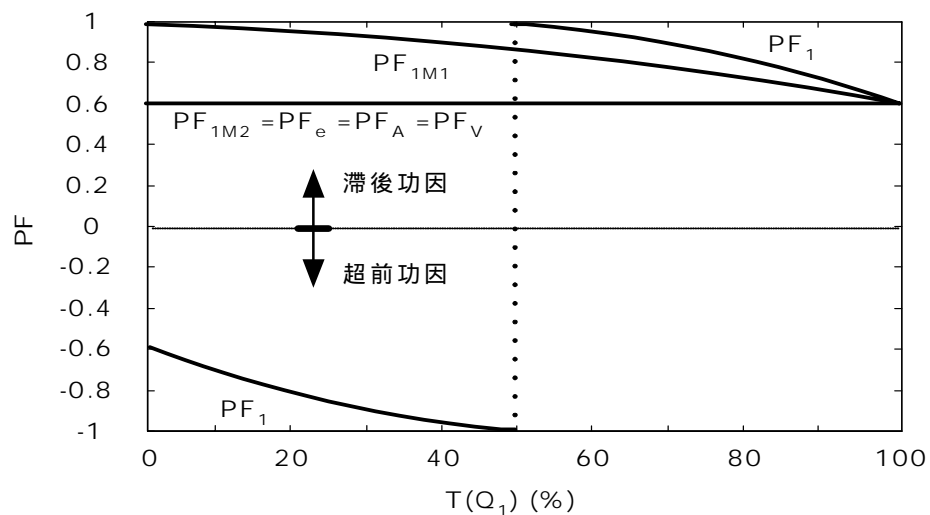


圖 3-5 各平均功率因數值相對於 $T(Q_1)$ 變化曲線

1. 當 $T(Q_1)$ 由 0 至 100%變化期間 PF_{1M2} 、 PF_e 、 PF_A 及 PF_V 均保持有最低功率因數值 0.6，即不受負載基本波虛功率為正或負的影響。
2. PF_1 在 $T(Q_1)>50\%$ 及 $T(Q_1)<50\%$ 時，其絕對值 $|PF_1|$ 將隨正值或負值虛功率的增加而降低，但在 T 期間內若負值虛功率與正值虛功率積分值相同時，即 $T(Q_1)=50\%$ ，將因正負值虛功率相互抵消使得功率因數為 1，

其實這是虛功率變動最劇烈的情況，而 PF_1 無法確切反應出負載特性。

3. PF_{1M1} 僅考慮正值虛功率(落後性)，於 $T(Q_1)$ 增加時其功率因數值下降，但當 $T(Q_1) < 50\%$ 時，其功率因數值提高的假像，如同用戶改善功率因數的進相電容器於輕載未切離，造成虛功率過補償，此時負值虛功率(超前性)佔了量測期間 T 相當大的比例，此負值虛功率將增加傳輸線損失。

3.4 結語

由本章分析可知僅 PF_e 能確實反映出諧波、不平衡及虛功率變動等不良電力品質的負載特性，其為三相系統中較合適之功率因數定義；若僅考慮基本波電力量，則 PF_{1M2} 能反映虛功率的變動，是為較合適之功率因數定義。本章對於不良電力品質負載特性影響六種功率因數值的結論如下：

1. 有諧波時： $PF_e = PF_A = PF_V < |PF_1| = PF_{1M1} = PF_{1M2}$ ，諧波越大 PF_V 與 $|PF_1|$ 之間的差異愈大。
2. 有不平衡時： $PF_e < PF_A < PF_V = |PF_1| = PF_{1M1} = PF_{1M2}$ ，不平衡愈大時， PF_e 、 PF_A 與 PF_V 之間的差異也愈大。
3. 有虛功率變動時：總是 $PF_e = PF_A = PF_V = PF_{1M2}$ ；而當 Q_1 大多落後時， $PF_{1M2} \leq PF_{1M1} \leq |PF_1|$ ；若 Q_1 大多超前時， $PF_{1M2} \leq |PF_1| < PF_{1M1} \cong 1$ ，其差異隨 Q_1 超前愈多而加大。

第四章 大用電戶功率因數量測與統計

為能了解實際的負載特性對六種功率因數值的影響，本章針對台電系統中高壓及特高壓以上的用戶充分地進行量測與統計，為能完整地呈現實際的負載特性，各受測戶的資料記錄均達一星期以上，比較同一筆負載資料的六種功率因數值之差異，以驗證模擬分析的結果。

4.1 量測儀器及計算流程

本文使用的測量儀器先由台灣科技大學電力品質實驗室研究團隊完成計算方法與流程設計，再由歐華公司修改其 ADX3000 電力品質分析儀，該儀器最多有 4 個資料擷取/觸發卡，每張卡上各有 8 個 A/D 和 8 個 D/A，並配備 2 個 8MB 的資料暫存器，主控卡為 486DX2-50。其特色為分工式多重處理器架構，配備 10 個數位信號處理器(DSP)及兩個微處理器提供超強算術能力[57]，其功率因數測量操作介面設計有下列參數選項：

- (1) 記錄站名
- (2) 測量記錄起訖時間
- (3) 接線方式：3 ϕ 3W 或 3 ϕ 4W
- (4) 取樣率：點/秒(Hz)
- (5) 計算間隔時間(秒)：60、30、15、10、5、1

ADX3000 測量計算流程如圖 4-1 所示，在本文的量測中，取樣頻率均設為 3840Hz，即 64 點/週(60Hz 系統)，將受測用戶 MOF 端之三相瞬時電壓及電流共六通道測量資料，依計算間隔時間設定，將各相電壓及電流量測數據以離散傅利葉轉換(DFT)求得各諧波電壓及電流的大小及相位，再計算各種視在功率、實功率及虛功率等電力量，最後求得對應的各種功率

因數及其平均值，而每個地點的測量記錄時間皆為連續數天。

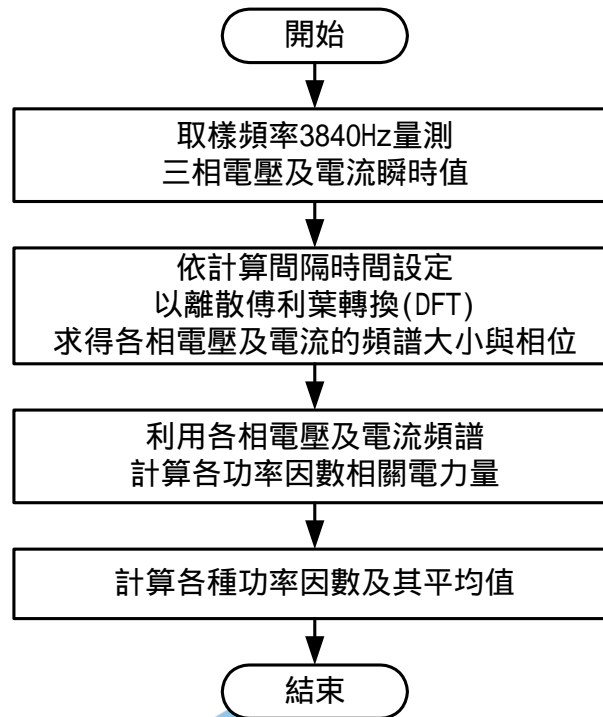


圖 4-1 ADX3000 功率因數計算流程圖

4.2 量測步驟

量測點盡量於用戶端，並協調台電公司當地營業區處開啟 MOF 之電表箱以便使用箱內之 PT、CT 訊號，若有所不便，才接線於用戶受電端內適當位置之 PT、CT 訊號，為安全考量，應準備熔絲開關連接於 PT 接點，以做最完善的保護。整個量測工作可以分成量測前、量測中及量測後三部分，其細節工作分述如下：

A. 量測前

1. 首先確定量測區域且和該區營業處及供電區營運處聯絡，共同選定適當的量測用戶，並請業務區處通知用戶，聯絡擬定測量時間。
2. 跟負責某次量測工作指導教授與研究生聯絡約定時間和地點。

3. 出發前檢查三組 ADX3000 是否都裝箱，並將全部電流勾表和電壓訊號線都帶出去，而硬碟的舊資料須清除完畢，帶齊工具箱、棉手套，自黏標籤、延長線、備份的電源線和 RS-232 線纜等。
4. 申請出差、車輛及宿夜需求，應及早規劃妥當。

B. 量測中

1. 根據所要量測的點，找出 PT 與 CT 測量端，應參考系統單線圖及契約容量，且詢問台電公司及用戶確認 PT 與 CT 的接線方式及其比值，才能正確的連接測量線與設定。
2. 將 ADX3000 主機、隔離放大器與螢幕正確連接，注意主機與隔離放大器間 RS-232 線所互相對應的位置與放大器上測量通道編號。
3. 打開主機和螢幕電源，進入系統作檢測並設定各項參數值，透過暫態模式將電流勾表歸零。
4. 從螢幕顯示的暫態瞬時值，確定所測得的電壓、電流、有效電力、無效電力及功率因數值是否與實際值相符，例如與用戶電氣儀表板上的顯示值作對照，確定無誤後，開始進行功率因數量測記錄，並將此次量測的相關參數設定及背景資料完整地記錄下來。
5. 整理測量連接線路，並適當地防護與警示，避免人為碰觸的危險，務必明顯留下緊急連絡資料。

C. 量測後

1. 聯絡台電公司和用戶相關負責人，通知將去撤離儀器的時間。
2. 暫停儀器測量並檢視所記錄資料正常否，若無誤則開始小心拆線。
3. 將儀器妥善裝箱後，清點帶回或移至下一處測量點，並登錄備份所有測量的原始資料檔。
4. 整理分析測量記錄資料。

4.3 測量結果

利用六種平均功率因數定義，配合量測數據計算分析，本文實測完成苗栗、新竹、桃園及台北地區七種業別共 34 家用戶負載的量測分析，為方便說明，本文僅於各業別中選定一家較具代表性的量測資料說明如下，七種業別分別為鐵路、捷運、鋼鐵、電機、化工、商業與機關用戶，各用戶的基本資料如表 4-1 所示。

表 4-1 量測用戶基本資料

用戶業別	供電等級 (kV)	經常契約容量(kW)	離峰契約容量(kW)	備用容量 (kW)
鐵路	69	7400	--	--
捷運	161	10400	--	10400
鋼鐵	161	92000	3000	--
電機	69	6800	--	--
化工	69	36000	--	36000
商業	11.4	1240	--	--
機關	11.4	725	--	--

4.3.1 鐵路用戶

此鐵路用戶為位於台電苗栗一次變電所 69 kV 專線(紅白兩線)供電的鐵路負載，有紅白兩專線通往此鐵路用戶變電站，圖 4-2 為此用戶變電站之系統單線圖，其裝置有 3 台 10MVA Le Blanc 變壓器，其中 1 台為備用，將 3 ϕ 3W 69kV 電源轉變成 2 相 27.5kV，供給鐵路電氣化所需的單相電源，

且於 2 相側裝置有諧波濾波器。本次在位於苗栗一次變電所內之 MOF 測量，時間於 94 年 11 月 3 日(星期四)11:14 至 11 月 10 日(星期四)10:11，圖 4-3 及圖 4-4 為量測期間某工作日的紅線電力量 P 、 P_1 、 Q_1 、 S_e 、 S_A 及 S_V 結果，圖 4-5 及圖 4-6 為量測期間某工作日的白線電力量 P 、 P_1 、 Q_1 、 S_e 、 S_A 及 S_V 結果，表 4-2 及表 4-3 分別為用戶的紅白兩線各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表，由六種平均功率因數的差異可觀察到此鐵路用戶是一個諧波大及不平衡的負載，且基本波虛功率均為負值，亦即虛功率均為超前性。其 $PF_{1M1} = 1$ 為最高，以台電現行規定 $PF_{1M1} = 0.8$ 之標準，將給予此用戶獎賞減價；而其有效平均功率因數值 $PF_e = 0.393$ 來看，實應罰款加價；若納入虛功率過補償的考量，即 $PF_{1M2} = 0.452$ ，其值將接近較能確實反映出負載特性的 PF_e ；此用戶虛功率過度補償的現象，肇因於諧波濾波器長時間投入所致。

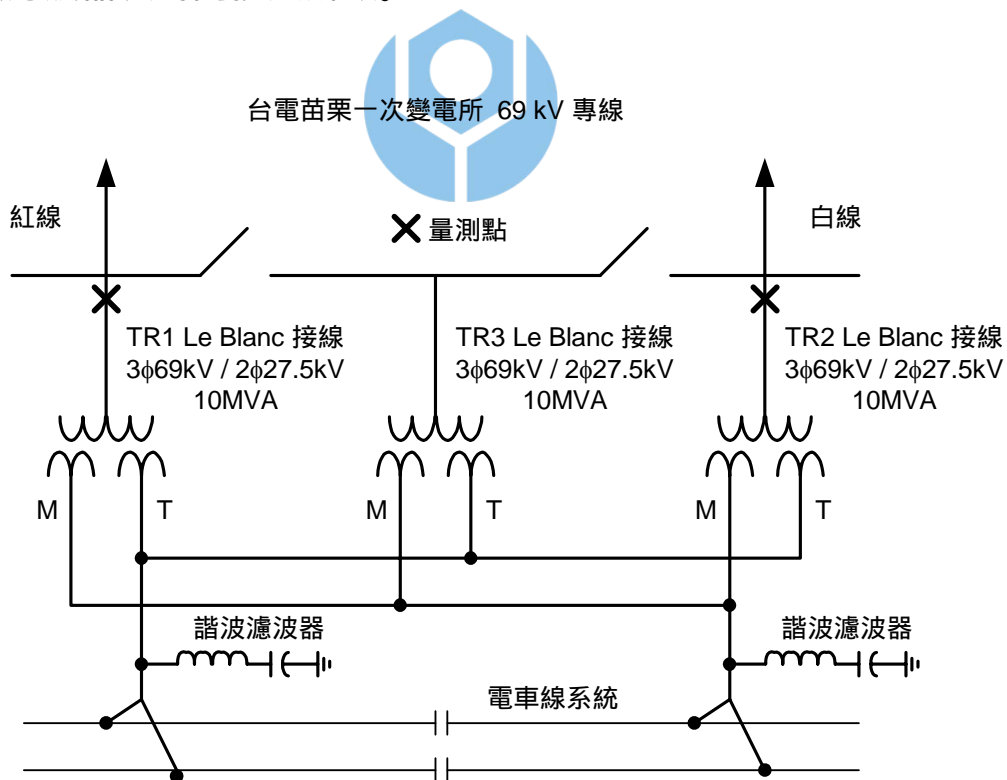


圖 4-2 鐵路用戶變電站之系統單線圖

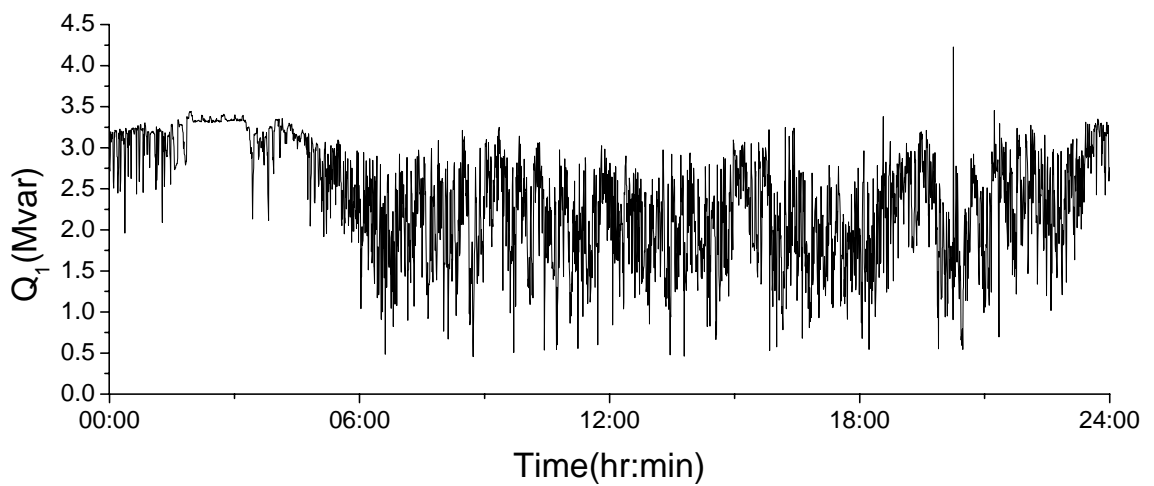
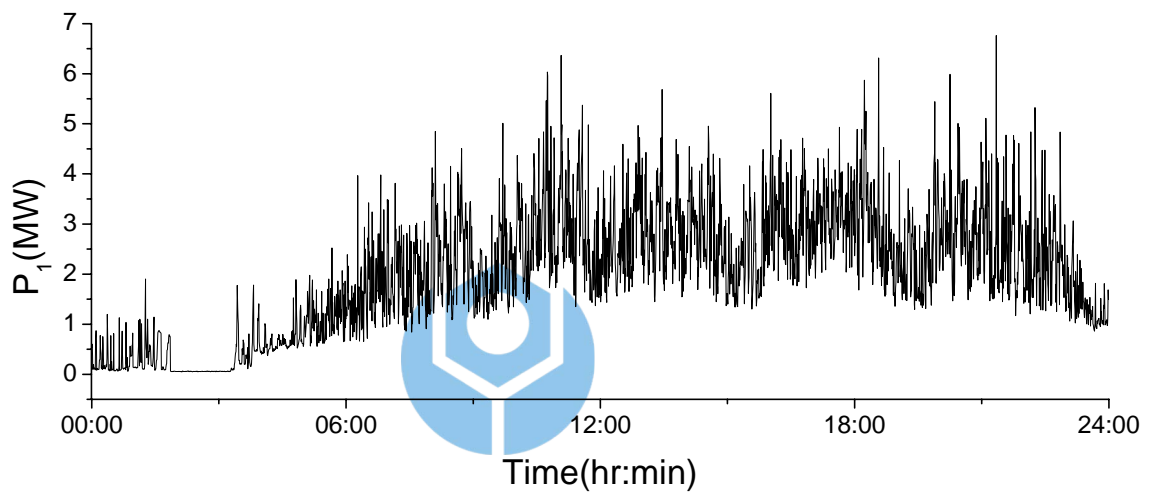
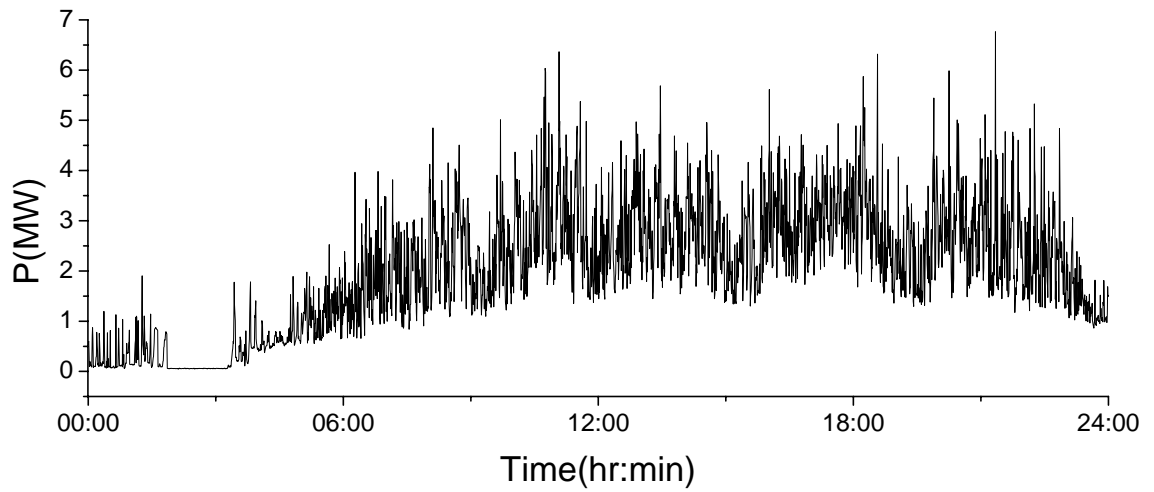


圖 4-3 鐵路用戶某工作日的紅線電力量 P 、 P_1 及 Q_1 量測結果

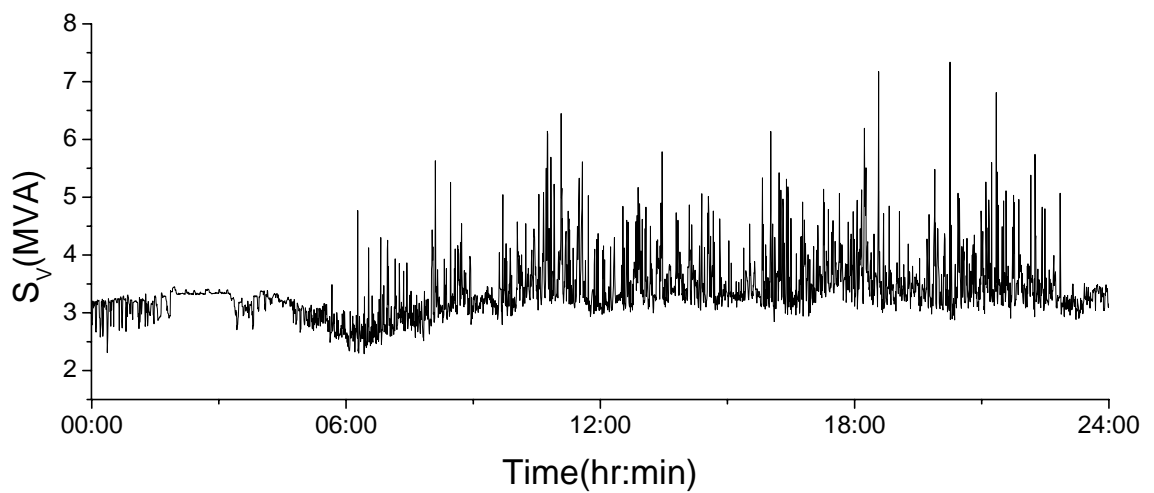
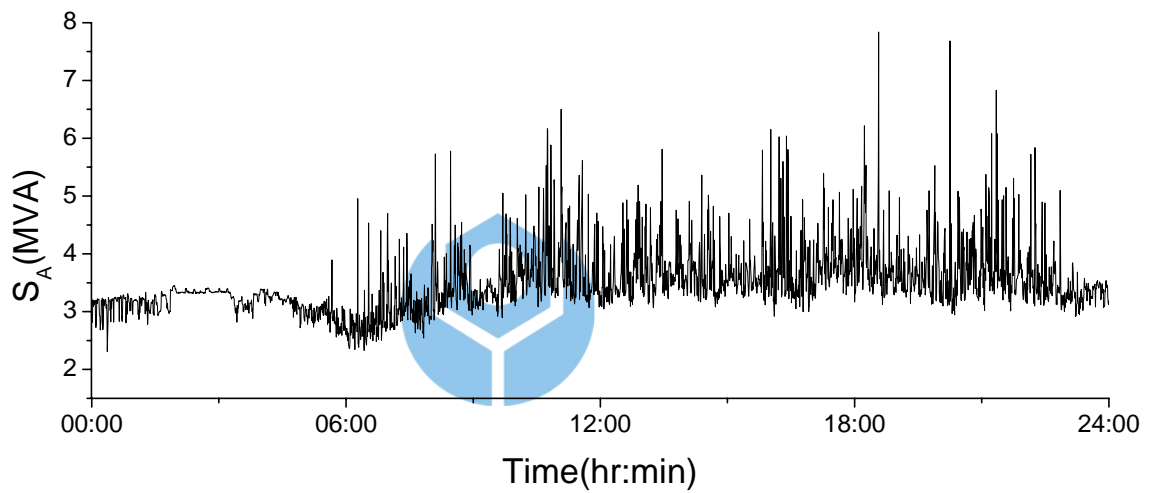
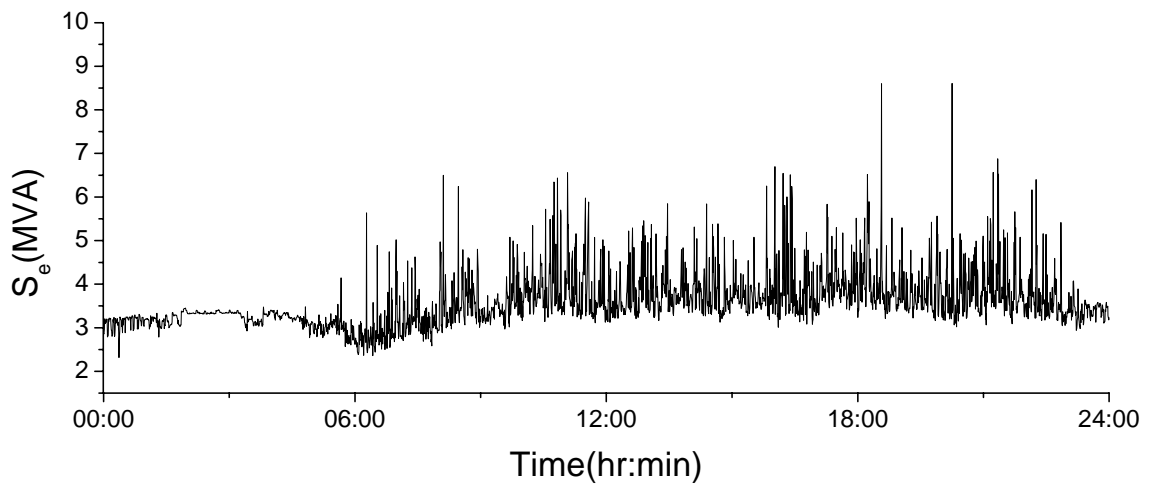


圖 4-4 鐵路用戶某工作日的紅線電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果

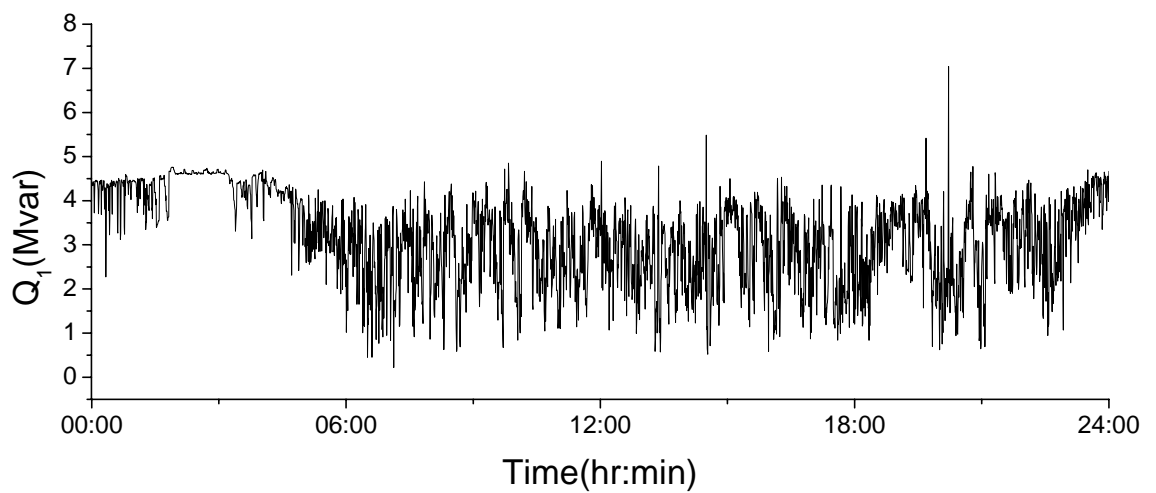
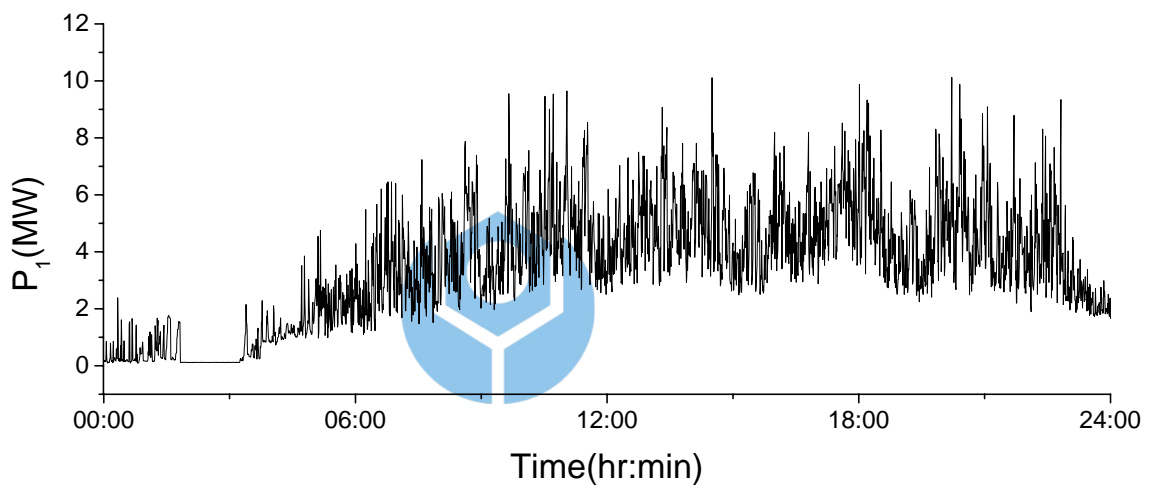
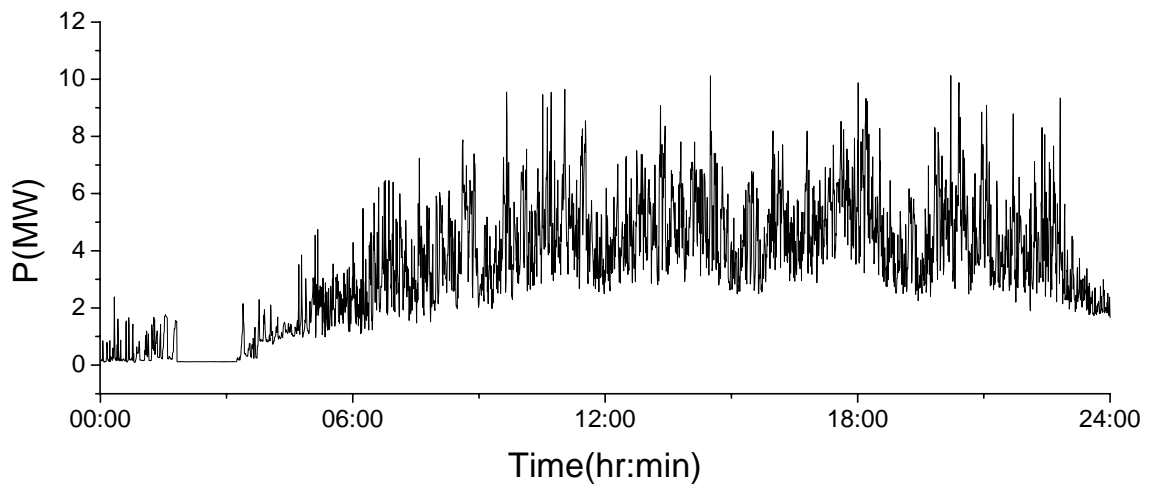


圖 4-5 鐵路用戶某工作日的白線電力量 P 、 P_1 及 Q_1 量測結果

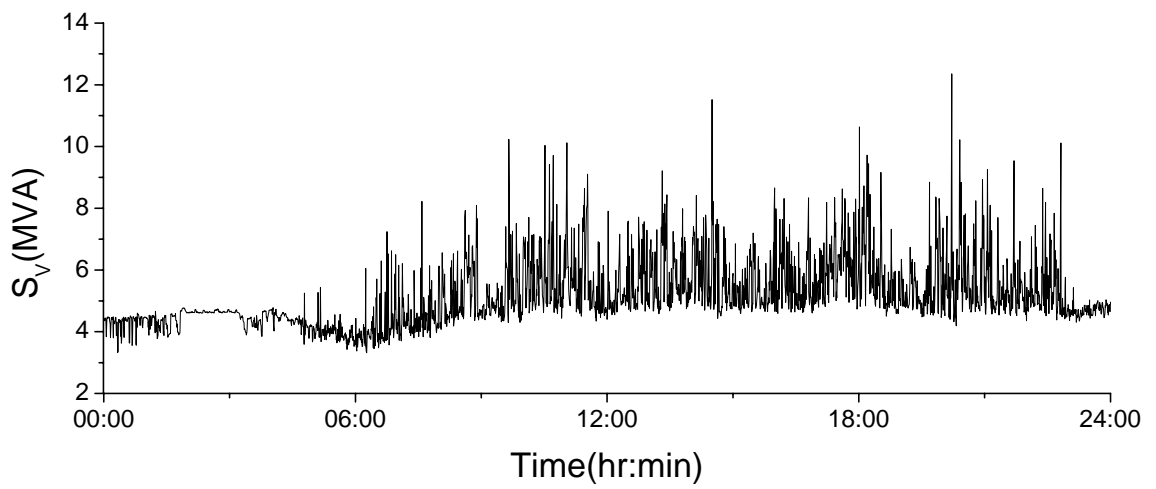
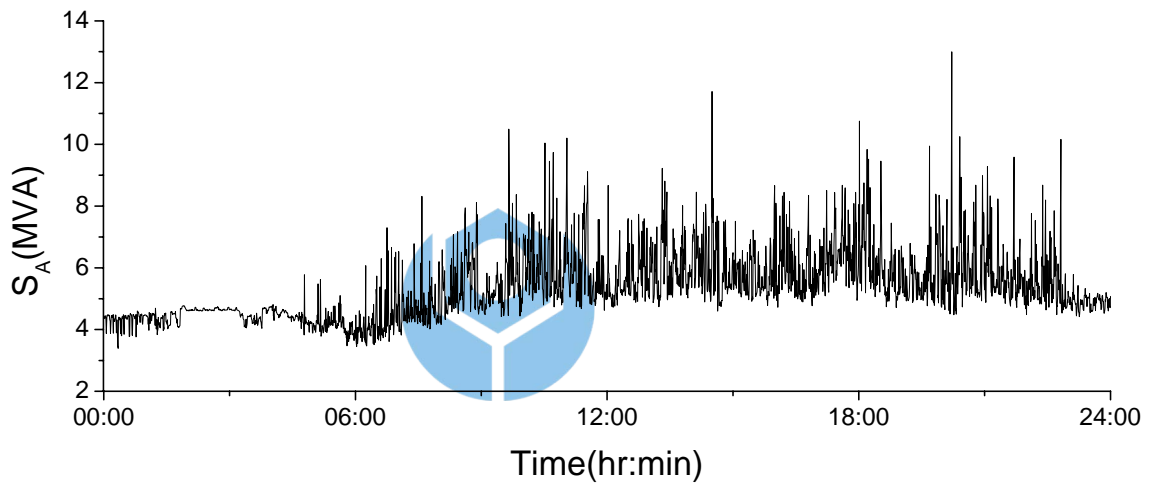
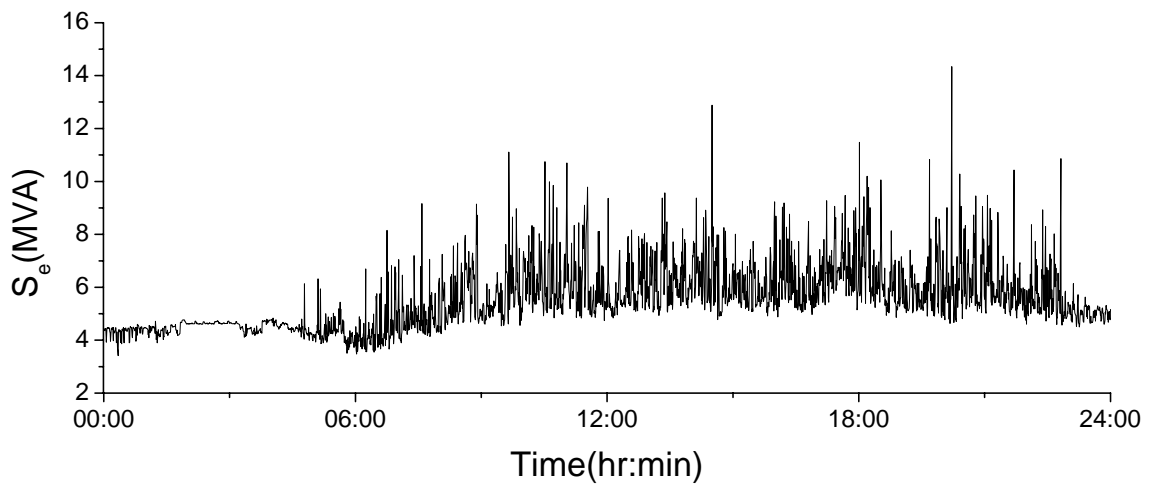


圖 4-6 鐵路用戶某工作日的白線電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果

表 4-2 鐵路用戶的紅線各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表

鐵路用戶的紅線									
時間： 94-11-03 11:14:00 起 至 94-11-10 10:11:00 止									
日期 積分值	11/3	11/4	11/5	11/6	11/7	11/8	11/9	11/10	量測期間 總積分值 或平均值
	星期四	星期五	星期六	星期日	星期一	星期二	星期三	星期四	
P (MWh)	16.597	24.456	24.125	29.723	48.162	33.445	25.453	6.115	208.076
P ₁ (MWh)	16.590	24.445	24.113	29.711	48.151	33.436	25.443	6.113	208.002
Q (Mvarh)	-29.090	-60.009	-60.650	-58.462	-56.811	-59.546	-58.618	-27.685	-410.871
Q ₁ (Mvarh)	-29.069	-59.977	-60.614	-58.424	-56.783	-59.518	-58.590	-27.677	-410.652
Q _{IM1} (Mvarh)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Q _{IM2} (Mvarh)	29.069	59.977	60.614	58.424	56.783	59.518	58.590	27.677	410.652
S ₁ (MVAh)	35.838	69.396	69.708	70.606	80.727	73.356	68.666	29.515	497.812
S _{IM1} (MVAh)	35.838	69.396	69.708	70.606	80.727	73.356	68.666	29.515	497.812
S _{IM2} (MVAh)	35.838	69.396	69.708	70.606	80.727	73.356	68.666	29.515	497.812
S _e (MVAh)	38.662	73.712	73.968	75.355	85.867	78.467	72.962	30.564	529.557
S _A (MVAh)	37.260	71.594	71.903	73.069	83.519	76.038	70.846	30.067	514.296
S _V (MVAh)	36.021	69.658	69.990	70.904	80.951	73.592	68.917	29.577	499.610
S _{e1} (MVAh)	38.489	73.464	73.701	75.074	85.653	78.244	72.723	30.505	527.853
S _{eN} (MVAh)	3.581	5.855	6.047	6.251	5.965	5.679	5.680	1.838	40.896
\bar{S}_{eN} (%)	9.304	7.970	8.205	8.326	6.964	7.258	7.810	6.025	7.748
S ₁ ⁺ (MVAh)	35.159	68.390	68.851	69.474	79.670	72.438	67.697	29.336	491.015
S _{IU} (MVAh)	12.422	19.535	19.141	21.865	26.952	23.977	19.458	5.430	148.780
\bar{S}_{IU} (%)	35.332	28.564	27.801	31.472	33.830	33.101	28.743	18.510	30.300
PF _e	0.429	0.332	0.326	0.394	0.561	0.426	0.349	0.200	0.393
PF _A	0.445	0.342	0.336	0.407	0.577	0.440	0.359	0.203	0.405
PF _V	0.461	0.351	0.345	0.419	0.595	0.454	0.369	0.207	0.416
PF ₁	-0.496	-0.377	-0.370	-0.453	-0.647	-0.490	-0.398	-0.216	-0.452
PF _{IM1}	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
PF _{IM2}	0.496	0.377	0.370	0.453	0.647	0.490	0.398	0.216	0.452

備註：由於量測儀器裝拆緣故，本表頭尾兩日之值並非完整 24 小時數據。

表 4-3 鐵路用戶的白線各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表

鐵路用戶的白線									
時間： 94-11-03 11:11:00 起 至 94-11-10 10:05:00 止									
日期 積分值	11/3	11/4	11/5	11/6	11/7	11/8	11/9	11/10	量測期間 總積分值 或平均值
	星期四	星期五	星期六	星期日	星期一	星期二	星期三	星期四	
P (MWh)	24.817	38.198	37.186	43.710	83.183	48.184	38.937	10.240	324.455
P ₁ (MWh)	24.807	38.180	37.168	43.693	83.165	48.169	38.922	10.236	324.340
Q (Mvarh)	-40.150	-81.830	-82.647	-79.898	-76.572	-81.224	-79.936	-37.435	-559.692
Q ₁ (Mvarh)	-40.117	-81.781	-82.591	-79.841	-76.528	-81.181	-79.895	-37.422	-559.356
Q _{1M1} (Mvarh)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Q _{1M2} (Mvarh)	40.117	81.781	82.591	79.841	76.528	81.181	79.895	37.422	559.356
S ₁ (MVAh)	51.070	97.858	97.778	98.917	123.162	101.625	96.244	40.940	707.594
S _{1M1} (MVAh)	51.070	97.858	97.778	98.917	123.162	101.625	96.244	40.940	707.594
S _{1M2} (MVAh)	51.070	97.858	97.778	98.917	123.162	101.625	96.244	40.940	707.594
S _e (MVAh)	55.389	104.894	104.361	106.174	132.562	109.246	102.918	42.828	758.372
S _A (MVAh)	53.150	101.219	100.987	102.427	128.217	105.469	99.398	41.902	732.769
S _V (MVAh)	51.364	98.281	98.233	99.388	123.517	102.009	96.639	41.045	710.476
S _{e1} (MVAh)	55.114	104.496	103.933	105.732	132.224	108.882	102.544	42.728	755.653
S _{eN} (MVAh)	5.409	8.864	9.131	9.370	9.291	8.581	8.505	2.841	61.992
\bar{S}_{eN} (%)	9.814	8.482	8.785	8.862	7.027	7.881	8.294	6.650	8.204
S ₁ ⁺ (MVAh)	49.618	95.483	95.572	96.145	120.600	99.852	93.832	40.394	691.496
S _{1U} (MVAh)	18.982	31.164	29.470	32.935	47.602	34.978	30.328	8.932	234.391
\bar{S}_{1U} (%)	38.257	32.639	30.835	34.256	39.471	35.030	32.322	22.113	33.896
PF _e	0.448	0.364	0.356	0.412	0.628	0.441	0.378	0.239	0.428
PF _A	0.467	0.377	0.368	0.427	0.649	0.457	0.392	0.244	0.443
PF _V	0.483	0.389	0.379	0.440	0.673	0.472	0.403	0.249	0.457
PF ₁	-0.526	-0.423	-0.410	-0.480	-0.736	-0.510	-0.438	-0.264	-0.502
PF _{1M1}	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
PF _{1M2}	0.526	0.423	0.410	0.480	0.736	0.510	0.438	0.264	0.502

備註：由於量測儀器裝拆緣故，本表頭尾兩日之值並非完整 24 小時數據。

4.3.2 捷運用戶

此用戶是由台電 161 kV 專線供電，主要負載是捷運列車所需的軌道負載及車站負載用電，圖 4-7 為此用戶之系統單線圖，本次量測位於用戶 MOF1 端，量測時間為 94 年 10 月 20 日(星期四) 11:12 至 10 月 27 日(星期四)10:07。圖 4-8 及圖 4-9 為量測期間某工作日的電力量 P 、 P_1 、 Q_1 、 S_e 、 S_A 及 S_V 結果，表 4-4 為用戶的各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表。量測結果顯示此用戶負載平衡但略有諧波，其諧波應是使用很多整流器以供應捷運列車所需的直流電系統所致，而基本波平均功率因數值均相當高約有 0.986，此用戶對台電來說是一個不錯的用戶。

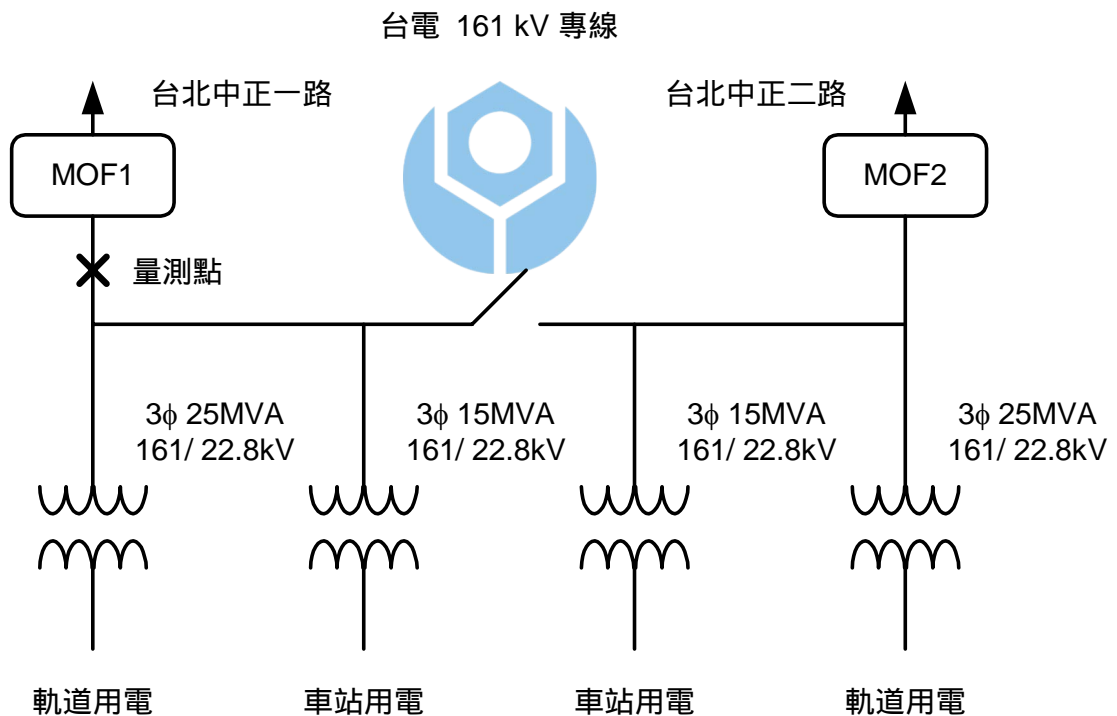


圖 4-7 捷運用戶之系統單線圖

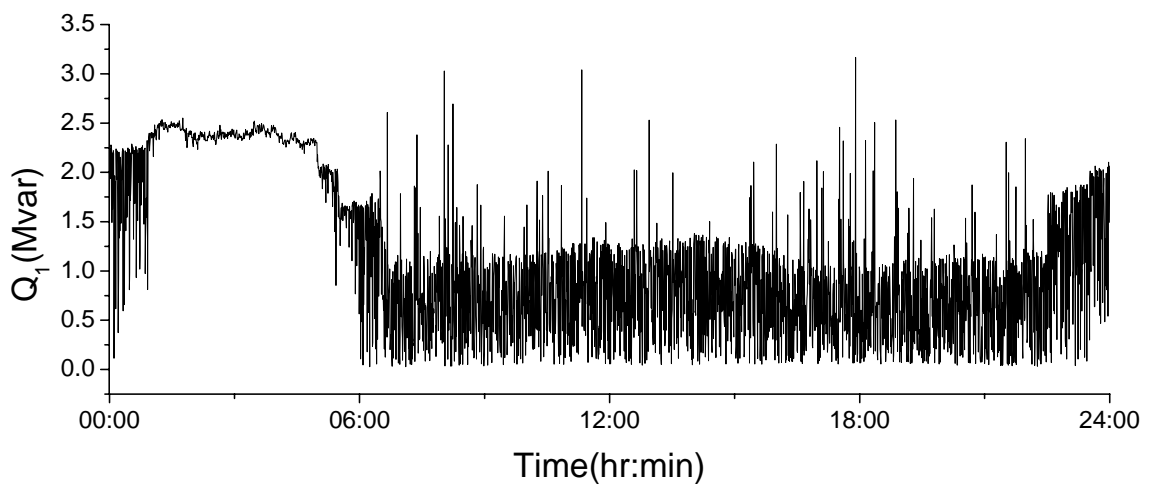
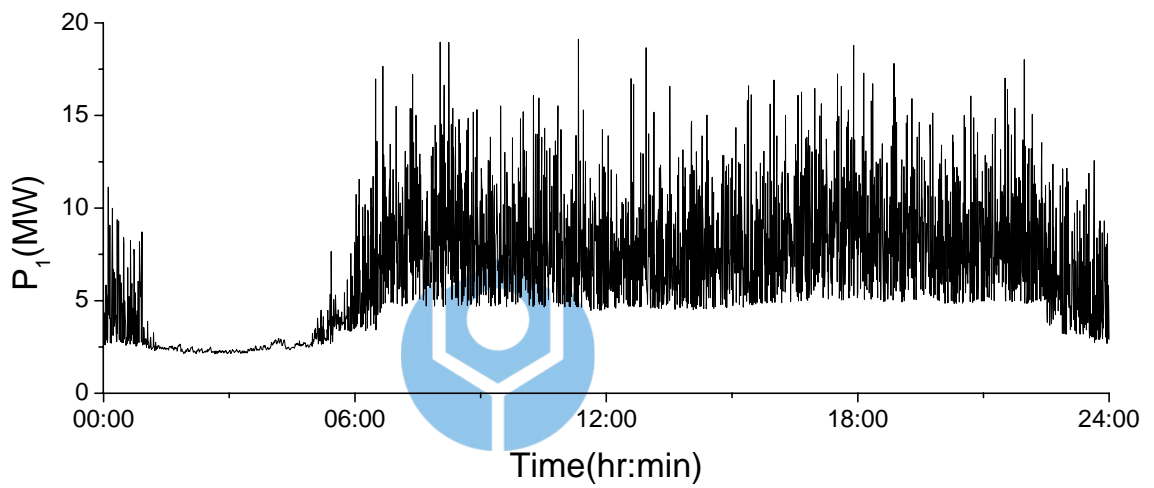
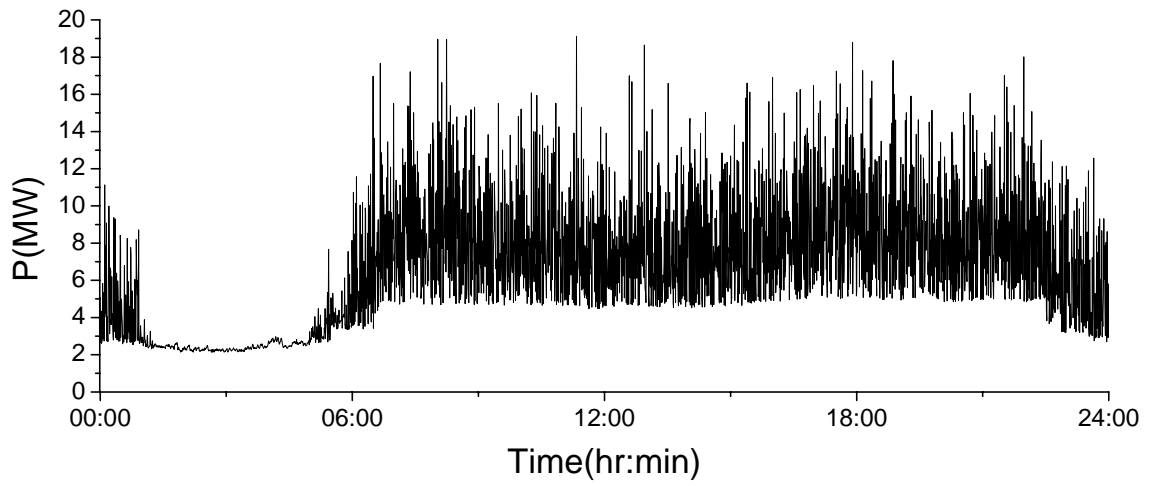


圖 4-8 捷運用戶某工作日的電力量 P 、 P_1 及 Q_1 量測結果

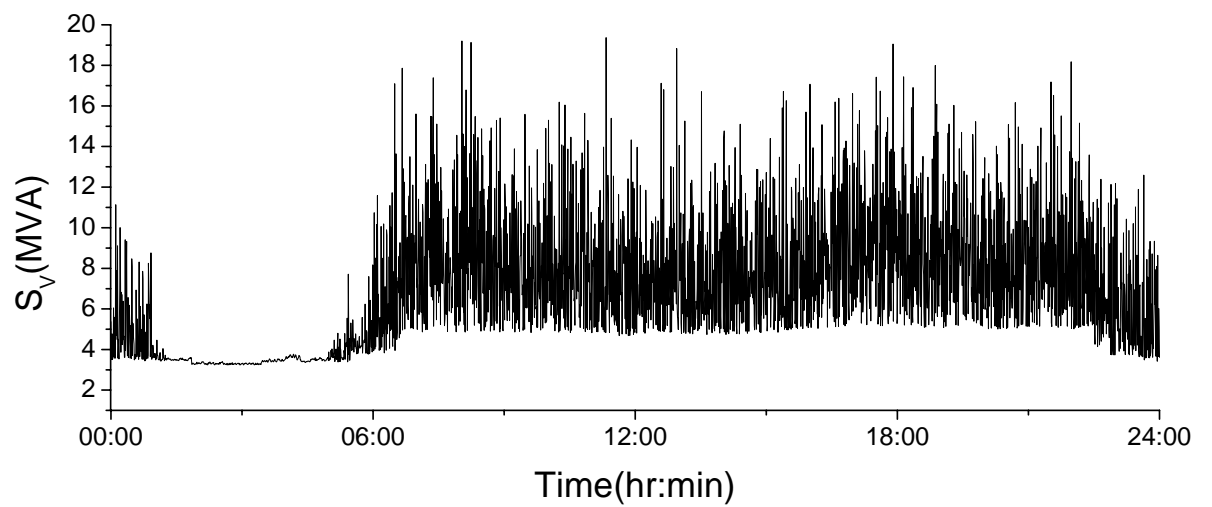
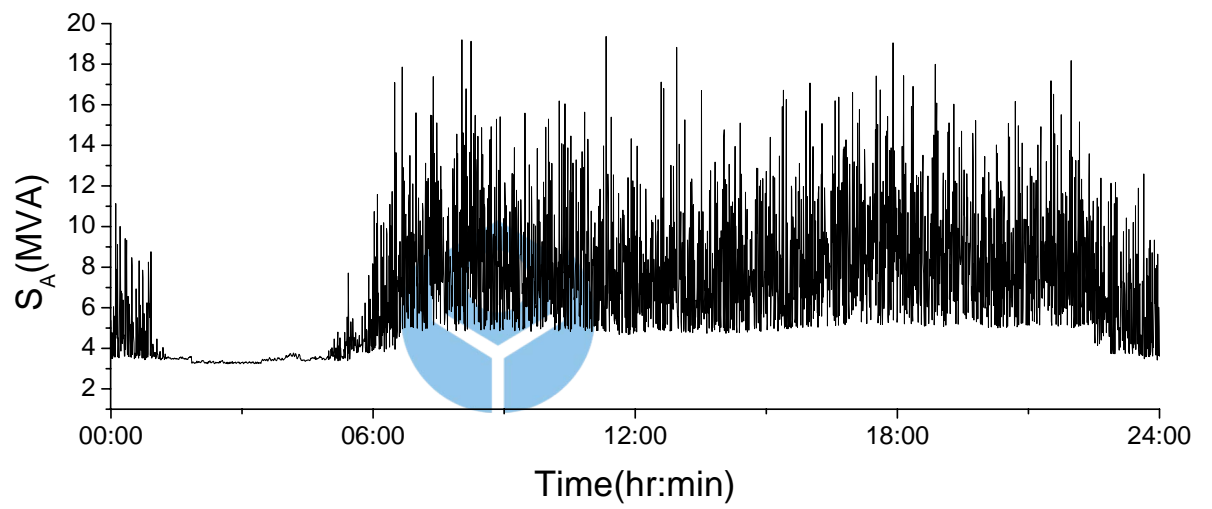
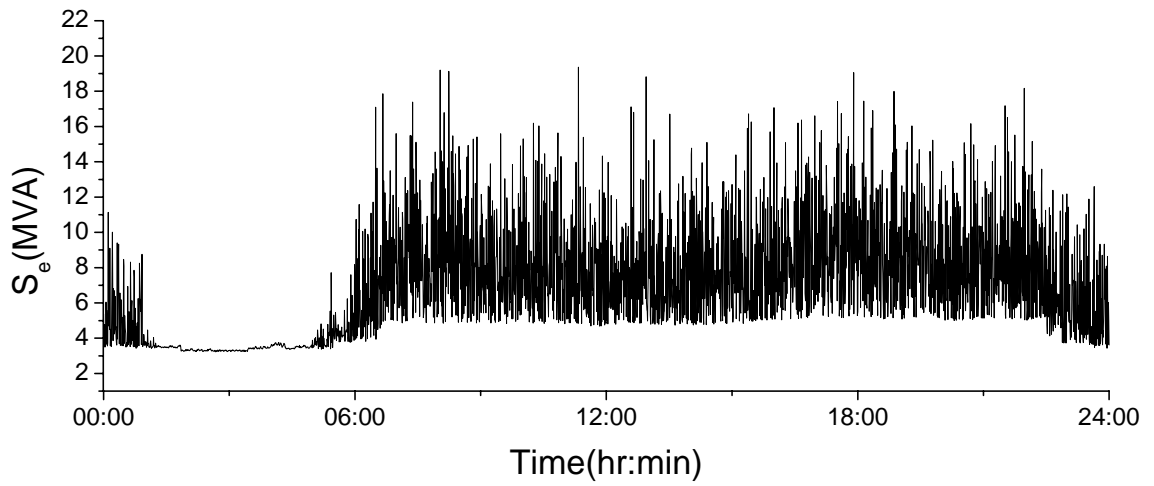


圖 4-9 捷運用戶某工作日的電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果

表 4-4 捷運用戶各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表

捷運用戶									
時間： 94-10-20 11:12:00 起 至 94-10-27 10:07:30 止									
日期 積分值	10/20	10/21	10/22	10/23	10/24	10/25	10/26	10/27	量測期間 總積分值 或平均值
	星期四	星期五	星期六	星期日	星期一	星期二	星期三	星期四	
P (MWh)	105.598	162.222	6.018	145.840	157.464	162.224	160.436	54.230	954.032
P ₁ (MWh)	105.570	162.178	6.014	145.801	157.421	162.181	160.395	54.218	953.778
Q (Mvarh)	9.825	27.467	3.888	23.840	29.417	27.204	25.607	16.442	163.690
Q ₁ (Mvarh)	9.779	27.394	3.882	23.762	29.343	27.135	25.538	16.420	163.253
Q _{1M1} (Mvarh)	9.779	27.394	3.882	23.762	29.343	27.135	25.538	16.420	163.253
Q _{1M2} (Mvarh)	9.779	27.394	3.882	23.762	29.343	27.135	25.538	16.420	163.253
S ₁ (MVAh)	106.416	168.287	7.432	150.758	164.074	168.614	166.228	59.489	991.298
S _{1M1} (MVAh)	106.416	168.287	7.432	150.758	164.074	168.614	166.228	59.489	991.298
S _{1M2} (MVAh)	106.416	168.287	7.432	150.758	164.074	168.614	166.228	59.489	991.298
S _e (MVAh)	106.614	168.701	7.547	151.155	164.499	169.003	166.677	59.674	993.870
S _A (MVAh)	106.611	168.696	7.543	151.150	164.493	168.998	166.664	59.670	993.825
S _V (MVAh)	106.607	168.690	7.538	151.143	164.486	168.992	166.639	59.665	993.760
S _{e1} (MVAh)	106.422	168.297	7.442	150.769	164.086	168.624	166.268	59.497	991.405
S _{eN} (MVAh)	5.915	10.598	0.993	9.748	10.558	10.209	10.130	4.048	62.199
\bar{S}_{eN} (%)	5.558	6.297	13.348	6.466	6.435	6.055	6.093	6.804	6.274
S ₁ ⁺ (MVAh)	106.411	168.280	7.432	150.753	164.068	168.607	166.195	59.487	991.233
S _{1U} (MVAh)	1.472	2.253	0.165	1.608	2.296	2.197	2.290	0.949	13.230
\bar{S}_{1U} (%)	1.384	1.339	2.224	1.067	1.400	1.303	1.378	1.596	1.335
PF _e	0.990	0.962	0.797	0.965	0.957	0.960	0.963	0.909	0.960
PF _A	0.990	0.962	0.798	0.965	0.957	0.960	0.963	0.909	0.960
PF _V	0.991	0.962	0.798	0.965	0.957	0.960	0.963	0.909	0.960
PF ₁	0.996	0.986	0.840	0.987	0.983	0.986	0.988	0.957	0.986
PF _{1M1}	0.996	0.986	0.840	0.987	0.983	0.986	0.988	0.957	0.986
PF _{1M2}	0.996	0.986	0.840	0.987	0.983	0.986	0.988	0.957	0.986

備註 1：由於量測儀器裝拆緣故，本表頭尾兩日之值並非完整 24 小時數據。

備註 2：10/22 星期六，負載暫轉由另一線 MOF2 供電。

4.3.3 鋼鐵用戶

此用戶為位於台電苗栗一次變電所 161 kV 專線供電，此專線通往鋼鐵用戶變電站，圖 4-10 為此用戶變電站之系統單線圖，用戶主要設備為 100 噸的直流電弧爐(DC EAF)，並裝置有諧波濾波器。本次在位於苗栗一次變電所內之專線出口端測量，時間於 94 年 11 月 10 日(星期四)10:41 至 11 月 17 日(星期五)09:18。圖 4-11 及圖 4-12 為量測期間某工作日的電力量 P 、 P_1 、 Q_1 、 S_e 、 S_A 及 S_V 結果，表 4-5 為用戶的各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表。經由這次的量測結果顯示其負載平衡但諧波稍大，而基本波平均功率因數值約 0.911，依台電所建議改善 PF_{IM1} 可達 0.95 而論，仍有改善的空間。

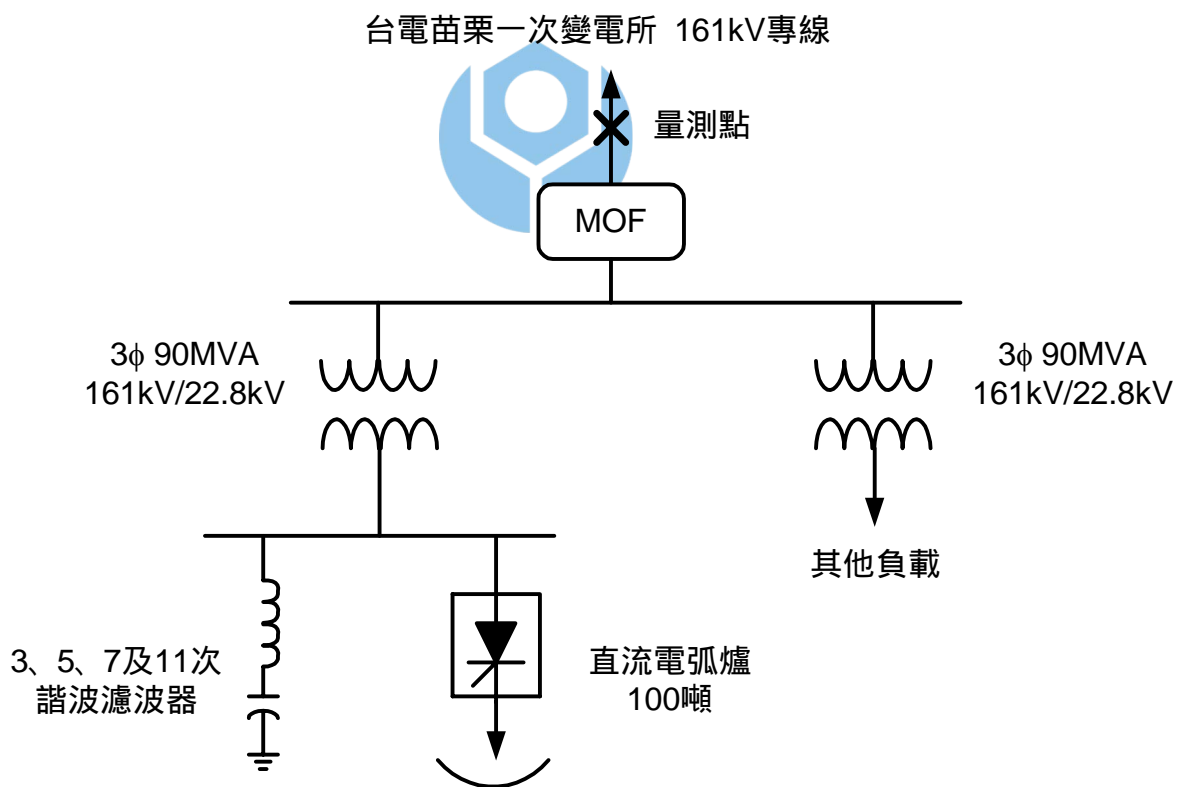


圖 4-10 鋼鐵用戶變電站之單線圖

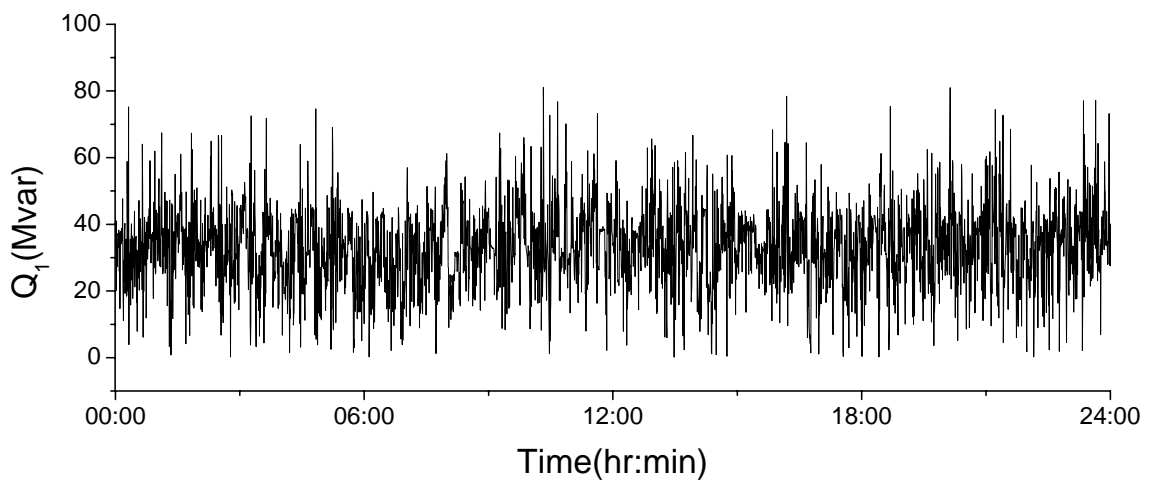
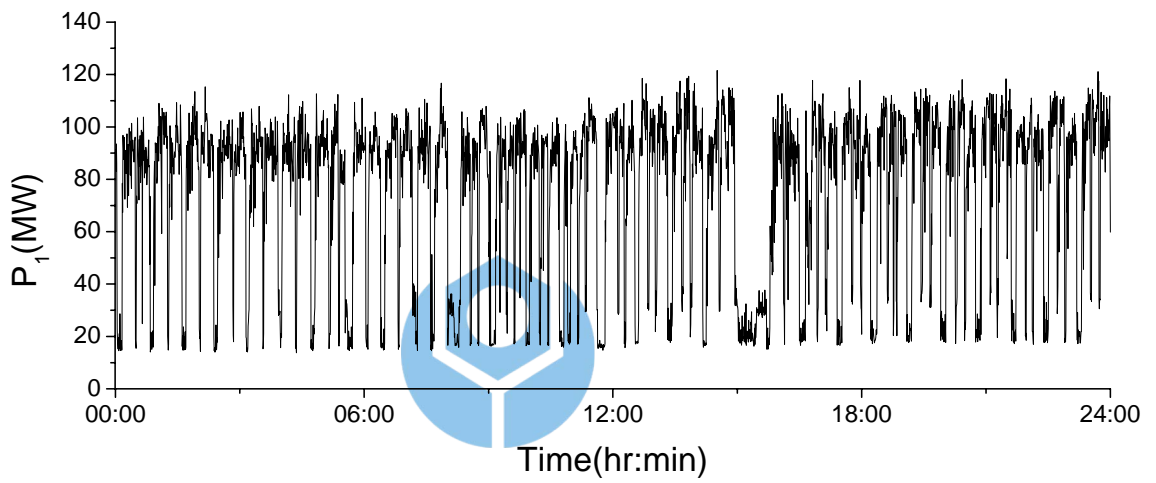
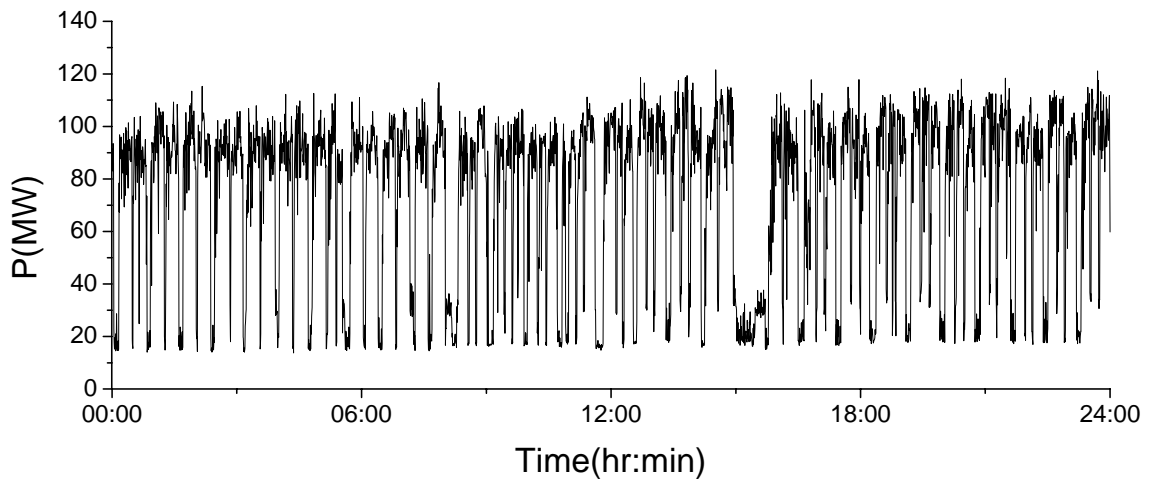


圖 4-11 鋼鐵用戶某工作日的電力量 P 、 P_1 及 Q_1 量測結果

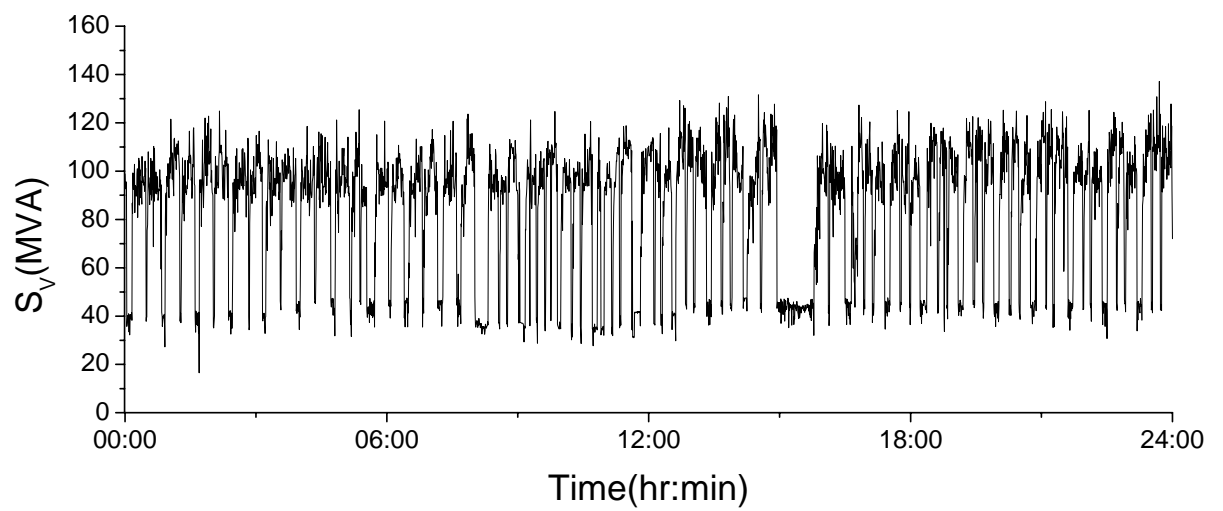
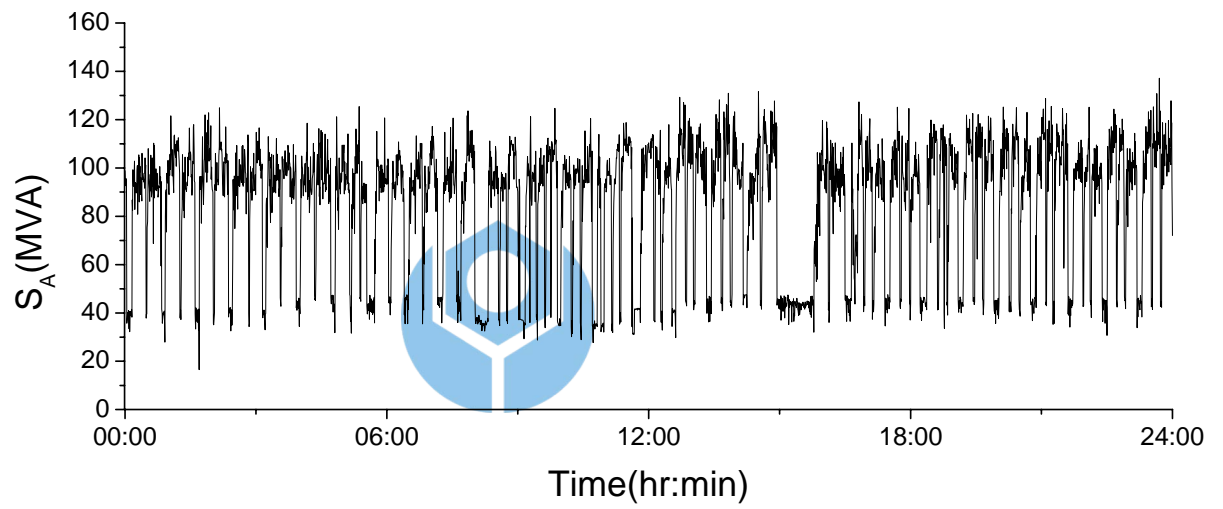
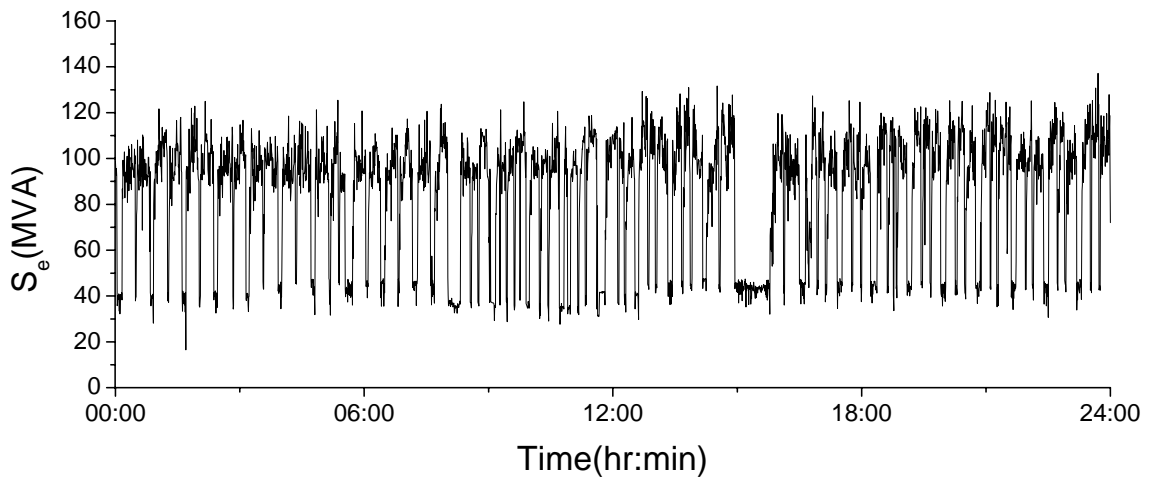


圖 4-12 鋼鐵用戶某工作日的電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果

表 4-5 鋼鐵用戶各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表

鋼鐵用戶									
時間： 94-11-10 10:41:00 起 至 94-11-17 09:18:30 止									
日期 積分值	11/10	11/11	11/12	11/13	11/14	11/15	11/16	11/17 日	量測期間 總積分值 或平均值
	星期四	星期五	星期六	星期日	星期一	星期二	星期三	星期四	
P (MWh)	964.066	1831.965	1836.675	1650.092	1802.284	1736.554	1350.403	722.774	11894.813
P ₁ (MWh)	964.022	1831.882	1836.566	1649.979	1802.193	1736.451	1350.308	722.736	11894.137
Q (Mvarh)	483.625	780.650	803.443	815.643	794.780	802.896	592.215	303.722	5376.974
Q ₁ (Mvarh)	483.538	780.490	803.236	815.440	794.603	802.704	592.067	303.656	5375.734
Q _{1M1} (Mvarh)	483.538	780.490	803.236	815.440	794.603	802.704	592.067	303.656	5375.734
Q _{1M2} (Mvarh)	483.538	780.490	803.236	815.440	794.603	802.704	592.067	303.656	5375.734
S ₁ (MVAh)	1101.888	2052.716	2061.076	1919.709	2034.062	1979.165	1526.066	802.857	13477.539
S _{1M1} (MVAh)	1101.888	2052.716	2061.076	1919.709	2034.062	1979.165	1526.066	802.857	13477.539
S _{1M2} (MVAh)	1101.888	2052.716	2061.076	1919.709	2034.062	1979.165	1526.066	802.857	13477.539
S _e (MVAh)	1102.692	2054.146	2062.558	1920.946	2035.352	1980.610	1527.269	803.453	13487.026
S _A (MVAh)	1102.566	2053.866	2062.279	1920.741	2035.157	1980.330	1526.939	803.348	13485.226
S _V (MVAh)	1102.435	2053.585	2062.003	1920.553	2034.951	1980.048	1526.637	803.235	13483.447
S _{e1} (MVAh)	1102.140	2053.275	2061.624	1920.096	2034.455	1979.722	1526.691	803.074	13481.077
S _{eN} (MVAh)	23.077	41.609	44.731	42.638	41.744	42.817	33.442	16.686	286.744
\bar{S}_{eN} (%)	2.094	2.026	2.170	2.221	2.052	2.163	2.190	2.078	2.127
S ₁ ⁺ (MVAh)	1101.877	2052.654	2061.061	1919.678	2034.022	1979.108	1526.008	802.841	13477.249
S _{1U} (MVAh)	15.143	30.455	30.248	25.656	28.450	31.783	28.326	12.799	202.860
\bar{S}_{1U} (%)	1.374	1.484	1.468	1.336	1.399	1.606	1.856	1.594	1.505
PF _e	0.874	0.892	0.890	0.859	0.885	0.877	0.884	0.900	0.882
PF _A	0.874	0.892	0.891	0.859	0.886	0.877	0.884	0.900	0.882
PF _V	0.874	0.892	0.891	0.859	0.886	0.877	0.885	0.900	0.882
PF ₁	0.894	0.920	0.916	0.896	0.915	0.908	0.916	0.922	0.911
PF _{1M1}	0.894	0.920	0.916	0.896	0.915	0.908	0.916	0.922	0.911
PF _{1M2}	0.894	0.920	0.916	0.896	0.915	0.908	0.916	0.922	0.911

備註：由於量測儀器裝拆緣故，本表頭尾兩日之值並非完整 24 小時數據。

4.3.4 電機用戶

此用戶位於桃園縣，由台電 69 kV 專線供電，圖 4-13 為此用戶之系統單線圖，用戶主要生產家電用品。本次量測位於用戶 MOF 端，量測時間於 94 年 9 月 7 日(星期三)14：37 至 9 月 14 日(星期三)10：30。圖 4-14 及圖 4-15 為量測期間某工作日的電力量 P 、 P_1 、 Q_1 、 S_e 、 S_A 及 S_V 結果，表 4-6 為用戶的各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表。由量測結果發現此用戶六種平均功率因數值都很接近，是一個諧波小且平衡的負載，而基本波平均功率因數值約為 0.95，符合台電的建議值，對台電來說算是一家不錯的用戶。

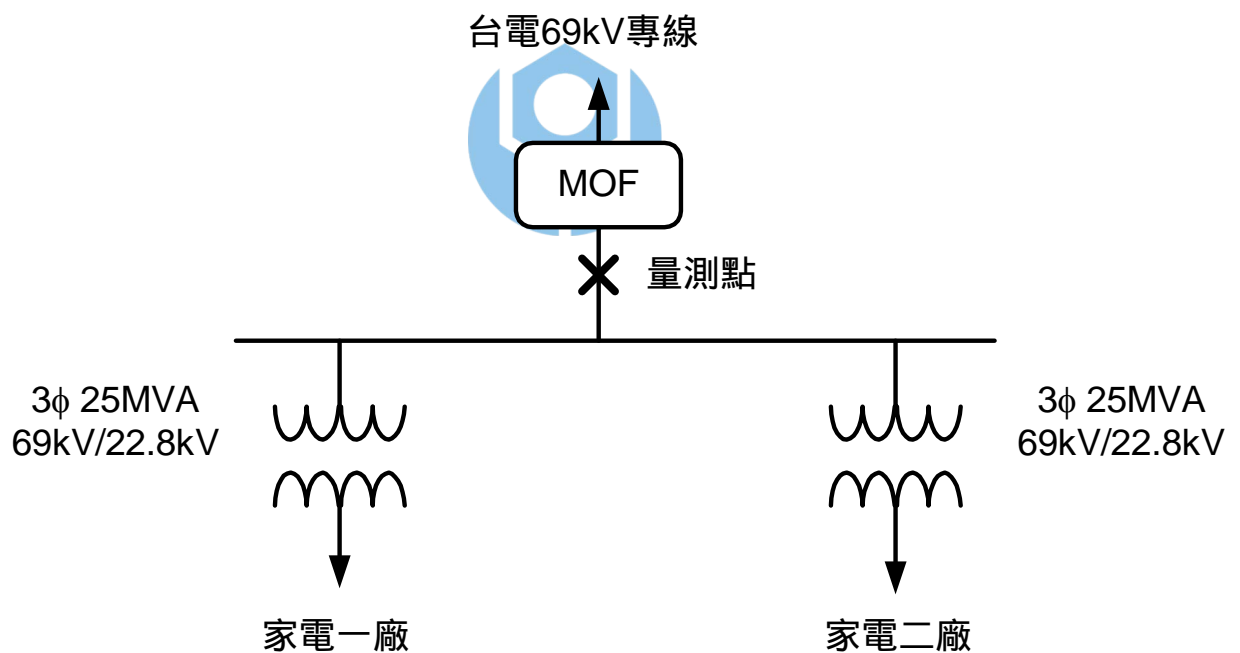


圖 4-13 電機用戶之系統單線圖

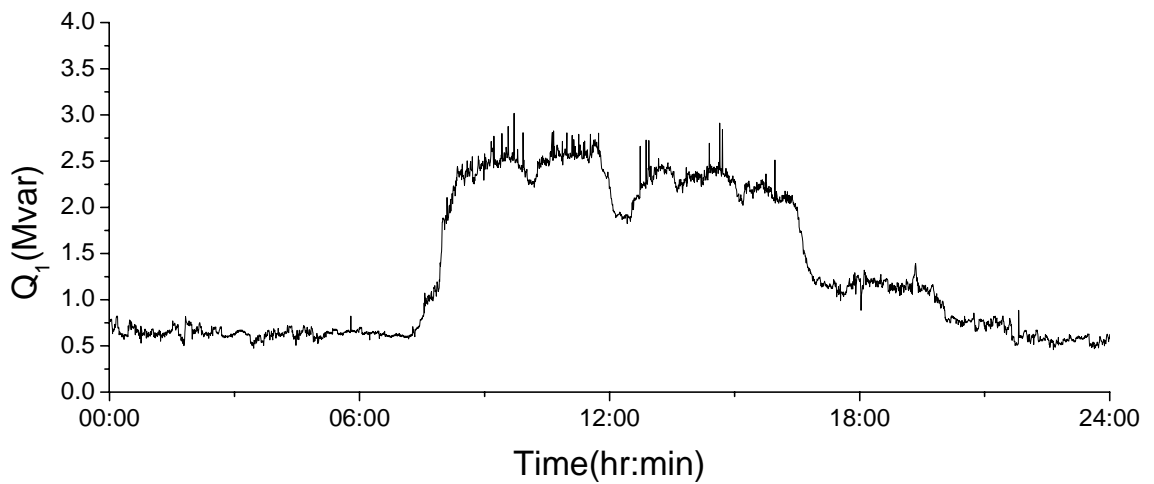
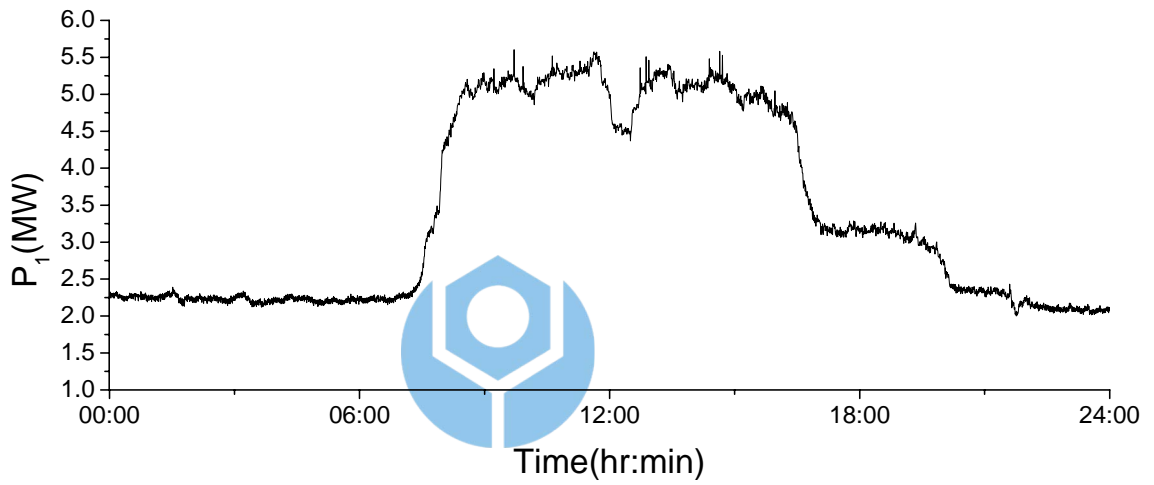
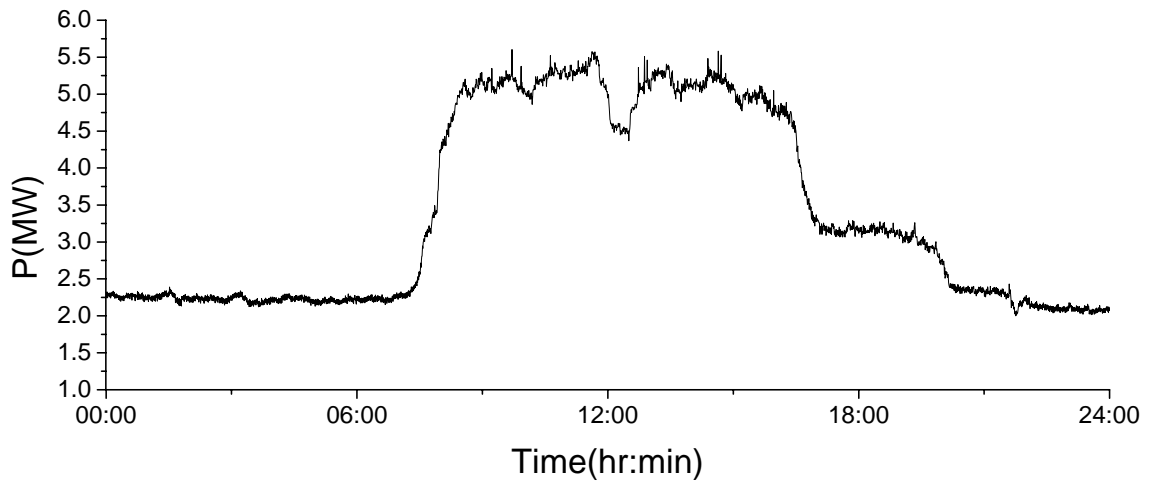


圖 4-14 電機用戶某工作日的電力量 P 、 P_1 及 Q_1 量測結果

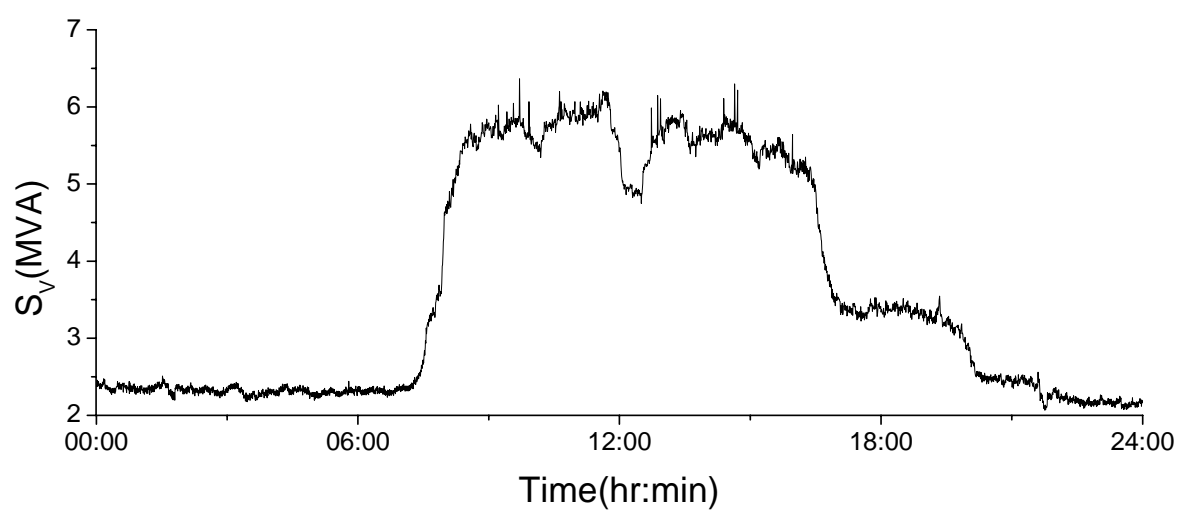
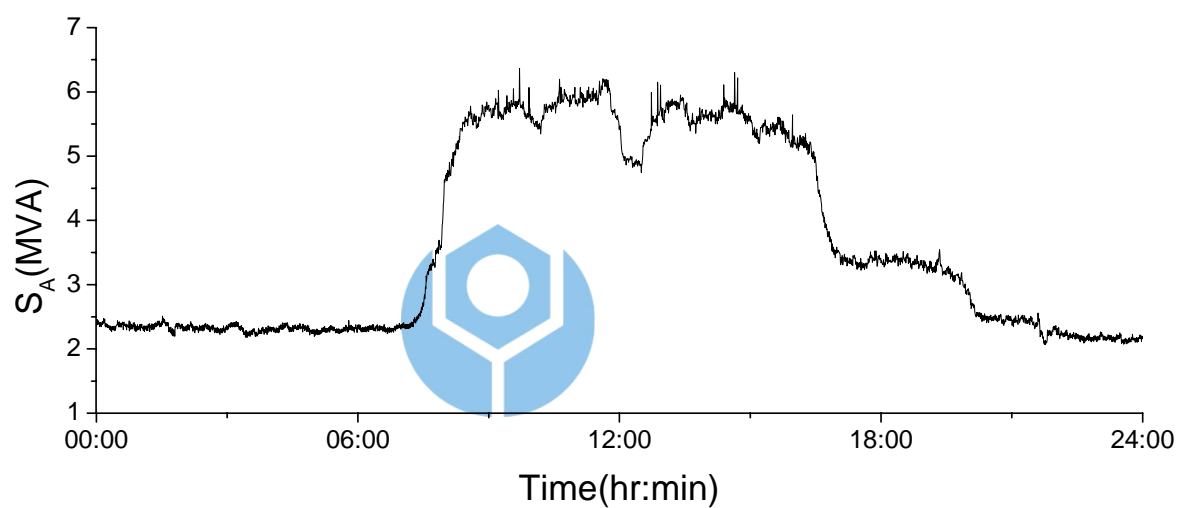
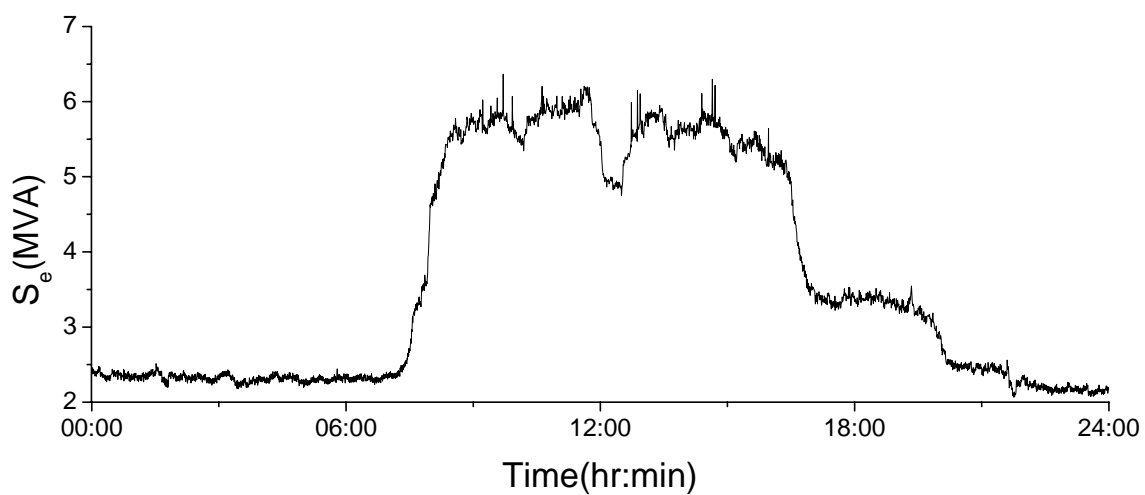


圖 4-15 電機用戶某工作日的電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果

表 4-6 電機用戶各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表

電機用戶									
時間： 94-09-07 14:37:00 起 至 94-09-14 10:30:00 止									
日期 積分值	9/7	9/8	9/9	9/10	9/11	9/12	9/13	9/14	量測期間 總積分值 或平均值
	星期三	星期四	星期五	星期六	星期日	星期一	星期二	星期三	
P (MWh)	31.189	80.934	81.372	52.759	44.017	82.216	84.976	30.257	487.720
P ₁ (MWh)	31.183	80.919	81.354	52.742	44.000	82.198	84.960	30.251	487.607
Q (Mvarh)	12.210	31.319	31.949	14.161	7.429	26.006	25.851	7.555	156.480
Q ₁ (Mvarh)	12.204	31.302	31.931	14.145	7.413	25.988	25.834	7.548	156.365
Q _{IM1} (Mvarh)	12.204	31.302	31.931	14.145	7.413	25.988	25.834	7.548	156.365
Q _{IM2} (Mvarh)	12.204	31.302	31.931	14.145	7.413	25.988	25.834	7.548	156.365
S ₁ (MVAh)	33.540	86.959	87.613	54.737	44.629	86.584	89.349	31.498	514.909
S _{IM1} (MVAh)	33.540	86.959	87.613	54.737	44.629	86.584	89.349	31.498	514.909
S _{IM2} (MVAh)	33.540	86.959	87.613	54.737	44.629	86.584	89.349	31.498	514.909
S _e (MVAh)	33.556	87.006	87.666	54.797	44.698	86.643	89.401	31.520	515.287
S _A (MVAh)	33.555	87.001	87.660	54.789	44.688	86.638	89.395	31.517	515.243
S _V (MVAh)	33.553	86.995	87.654	54.781	44.678	86.629	89.387	31.513	515.190
S _{e1} (MVAh)	33.543	86.968	87.625	54.750	44.646	86.595	89.361	31.504	514.992
S _{eN} (MVAh)	0.948	2.473	2.594	2.161	2.073	2.619	2.552	0.981	16.401
\bar{S}_{eN} (%)	2.826	2.844	2.960	3.947	4.644	3.024	2.856	3.113	3.185
S ₁ ⁺ (MVAh)	33.538	86.955	87.608	54.734	44.626	86.581	89.343	31.495	514.880
S _{IU} (MVAh)	0.524	1.455	1.651	1.232	1.308	1.441	1.674	0.711	9.996
\bar{S}_{IU} (%)	1.562	1.673	1.885	2.252	2.931	1.664	1.873	2.257	1.941
PF _e	0.929	0.930	0.928	0.963	0.985	0.949	0.951	0.960	0.947
PF _A	0.929	0.930	0.928	0.963	0.985	0.949	0.951	0.960	0.947
PF _V	0.930	0.930	0.928	0.963	0.985	0.949	0.951	0.960	0.947
PF ₁	0.931	0.933	0.931	0.966	0.986	0.953	0.957	0.970	0.952
PF _{IM1}	0.931	0.933	0.931	0.966	0.986	0.953	0.957	0.970	0.952
PF _{IM2}	0.931	0.933	0.931	0.966	0.986	0.953	0.957	0.970	0.952

備註：由於量測儀器裝拆緣故，本表頭尾兩日之值並非完整 24 小時數據。

4.3.5 化工用戶

此用戶位於苗栗縣，由台電 69 kV 專線(紅白兩線)供電，圖 4-16 為此用戶之系統單線圖，用戶主要生產銅箔。本次量測位於紅白兩供電專線用戶端，量測時間於 94 年 11 月 17 日(星期四)12:02 至 11 月 24 日(星期四)09:53。圖 4-17 及圖 4-18 為量測期間某工作日的紅線電力量 P 、 P_1 、 Q_1 、 S_e 、 S_A 及 S_V 結果，圖 4-19 及圖 4-20 為量測期間某工作日的白線電力量 P 、 P_1 、 Q_1 、 S_e 、 S_A 及 S_V 結果，表 4-7 和表 4-8 分別為用戶紅白兩線的各项電力量積分值及六種平均功率因數統計表。由量測結果發現此用戶六種平均功率因數值都很接近，是一個諧波小且平衡的負載，對台電來說，算是一家不錯的負載用戶；而基本波平均功率因數值約為 0.922，依台電所建議改善 PF_{1MI} 可達 0.95 而論，仍有改善的空間。

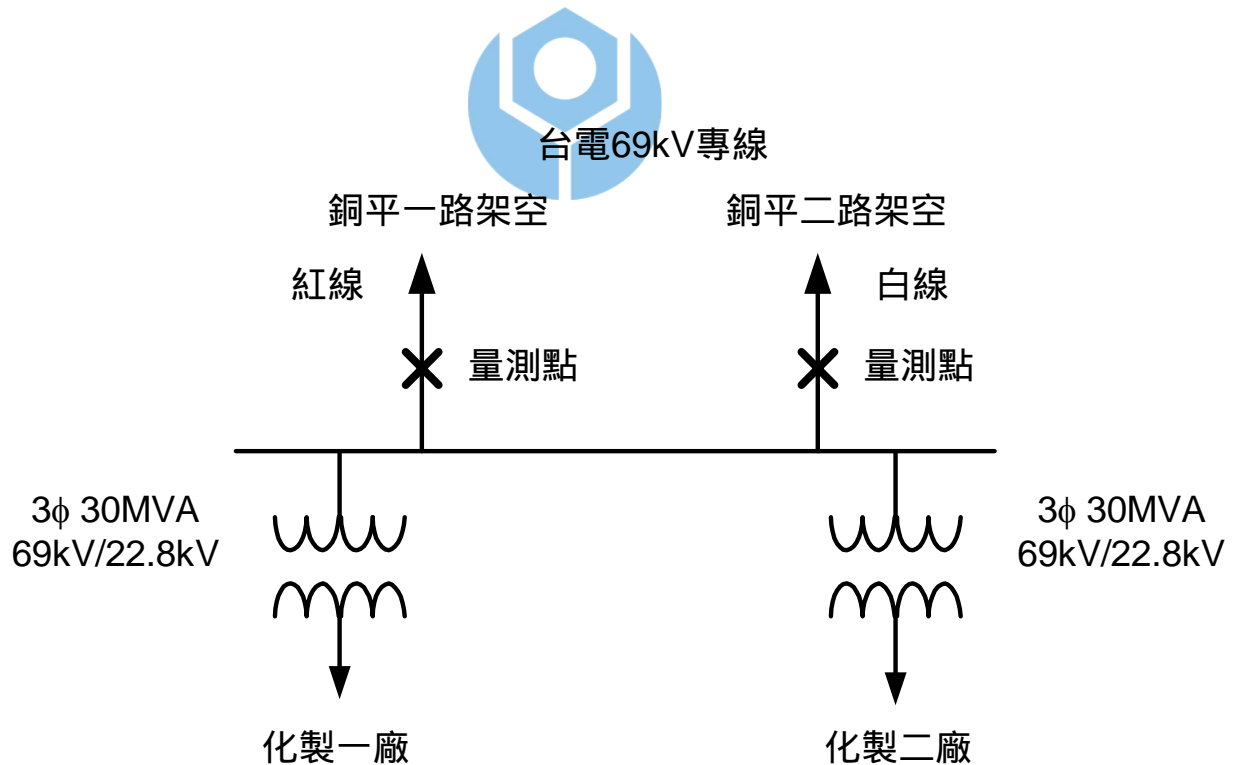


圖 4-16 化工用戶之系統單線圖

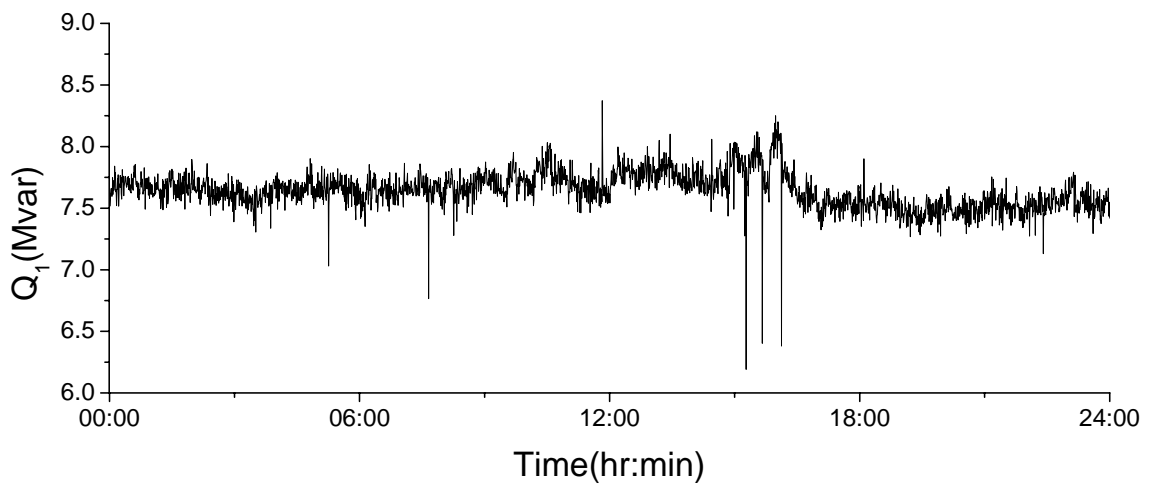
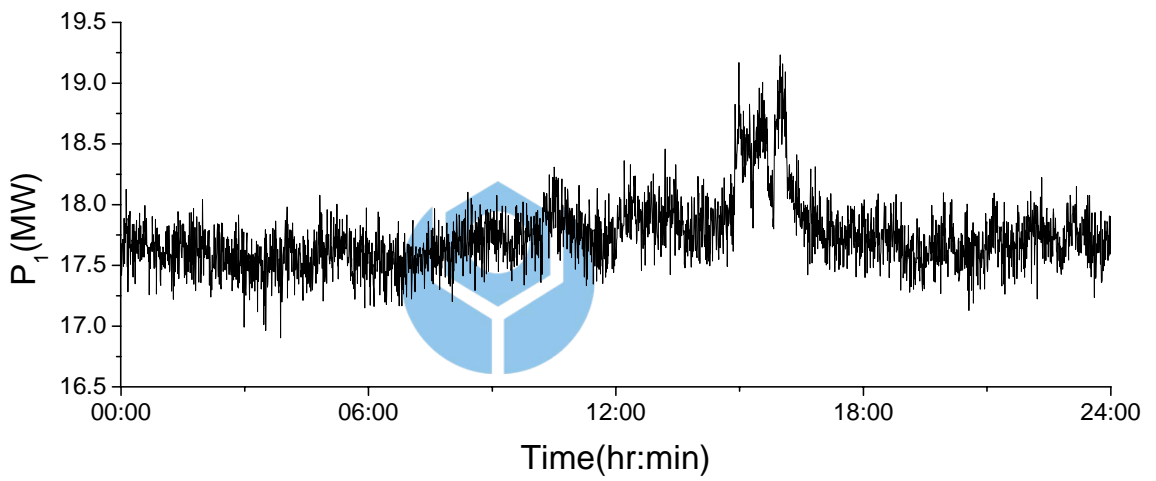
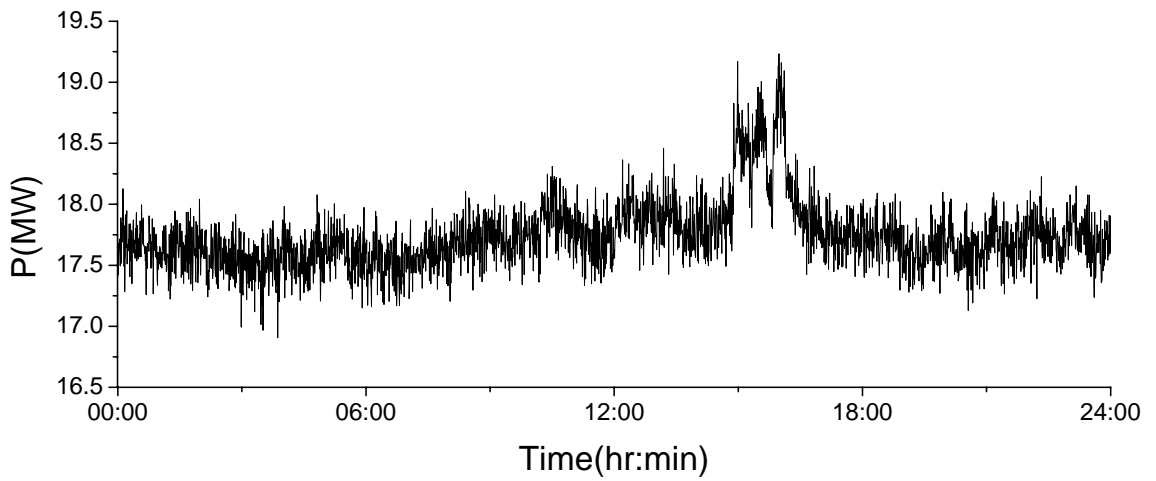


圖 4-17 化工用戶某工作日的紅線電力量 P 、 P_1 及 Q_1 量測結果

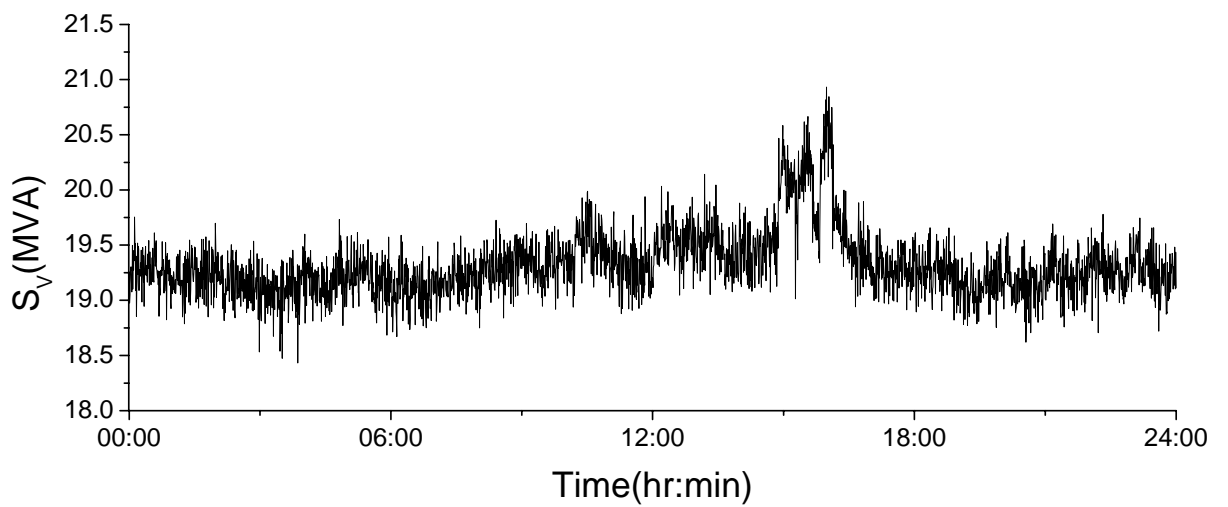
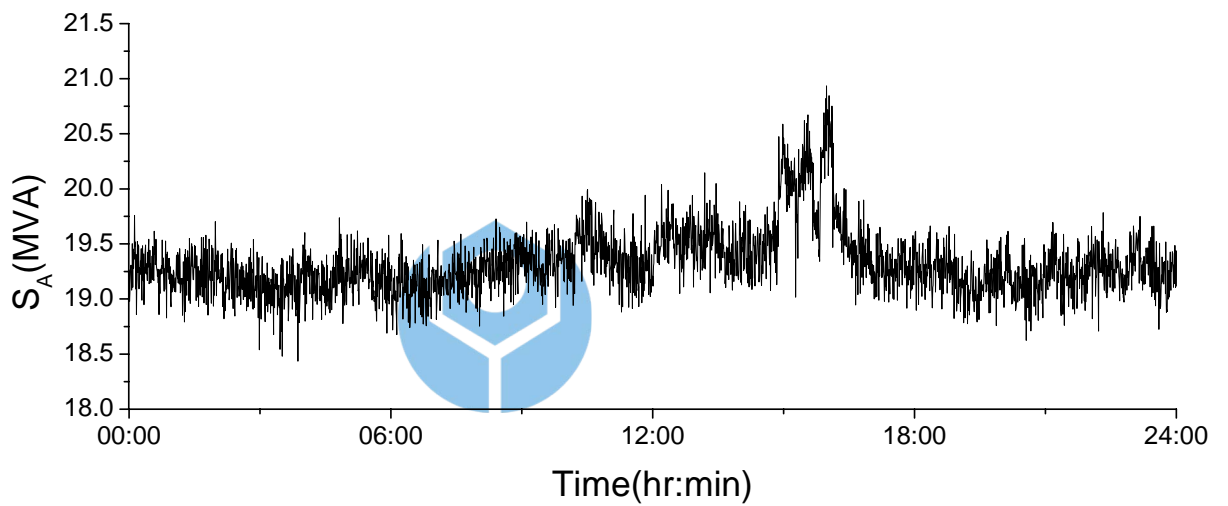
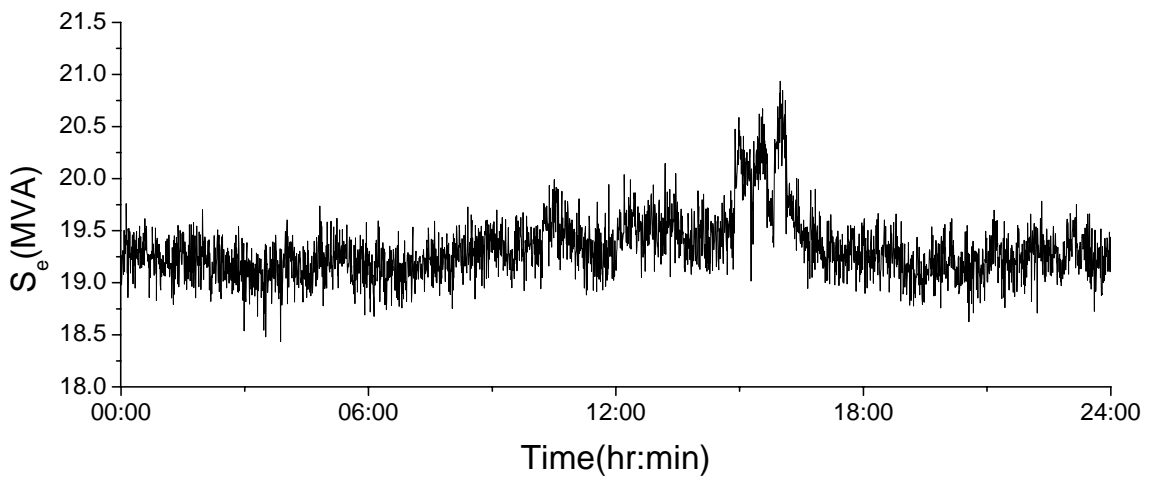


圖 4-18 化工用戶某工作日的紅線電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果

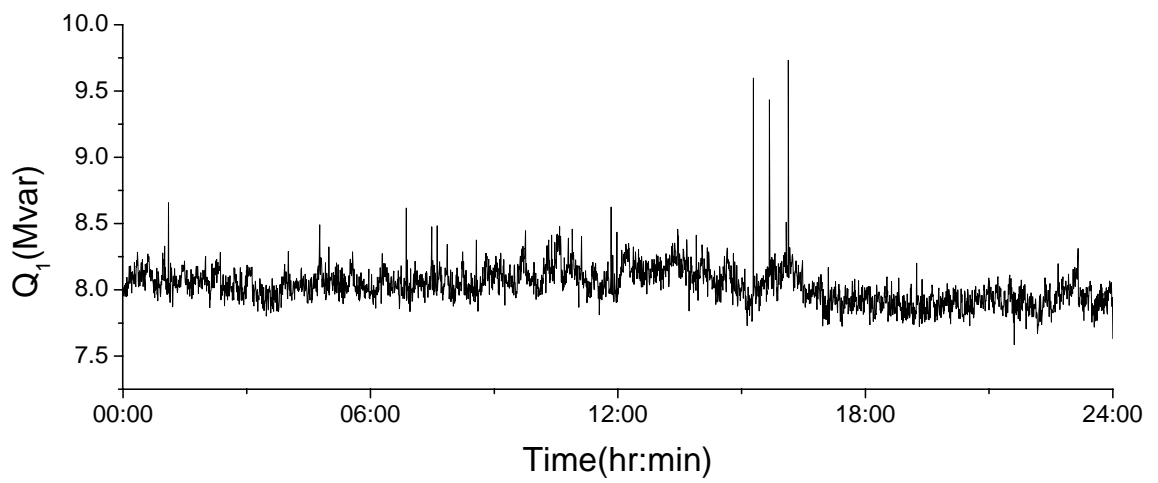
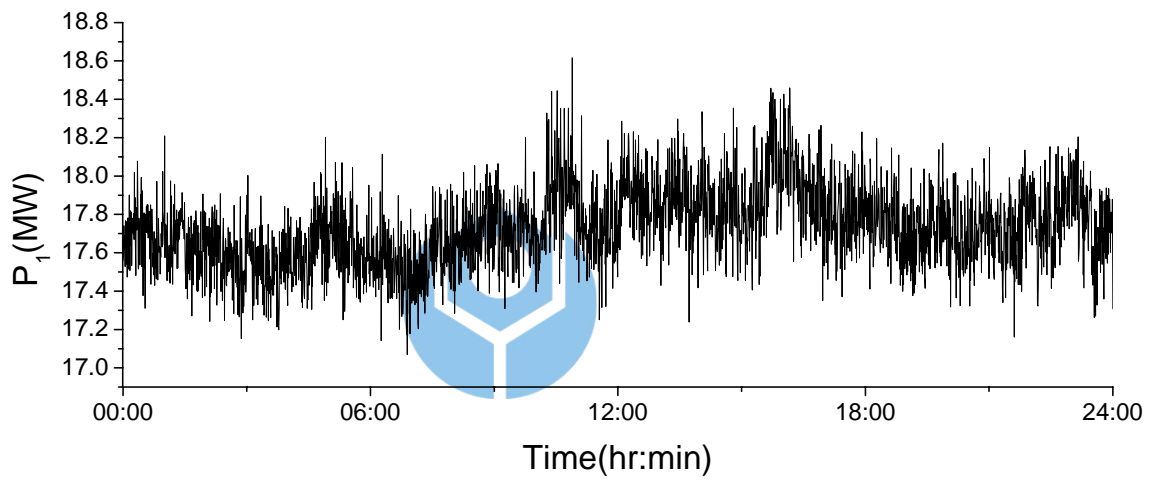
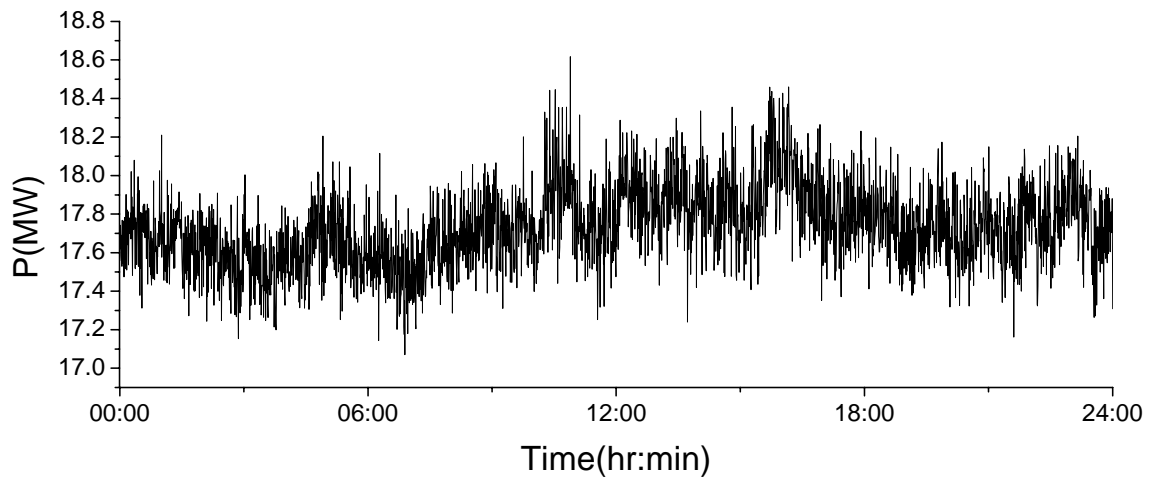


圖 4-19 化工用戶某工作日的白線電力量 P 、 P_1 及 Q_1 量測結果

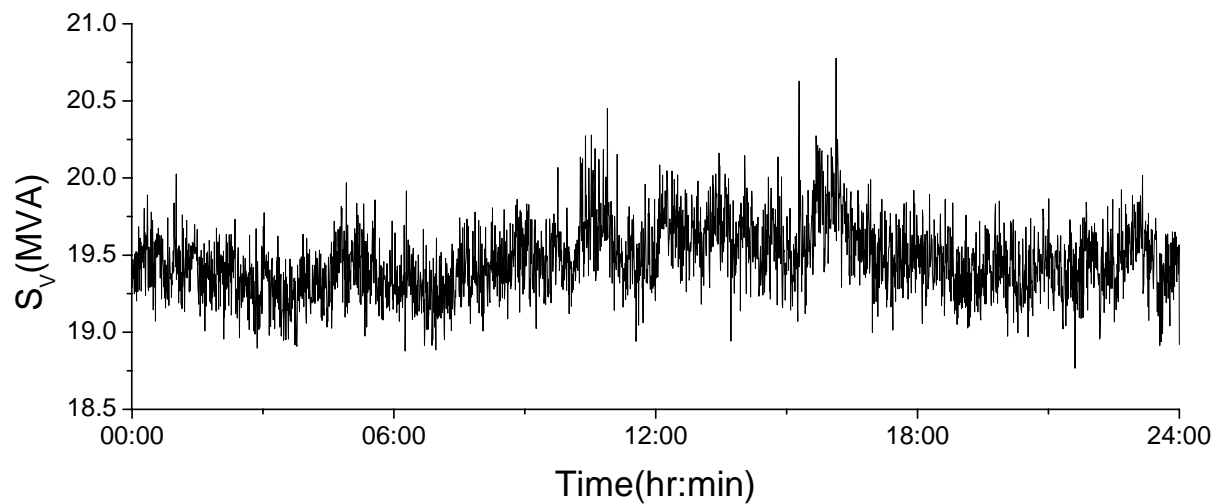
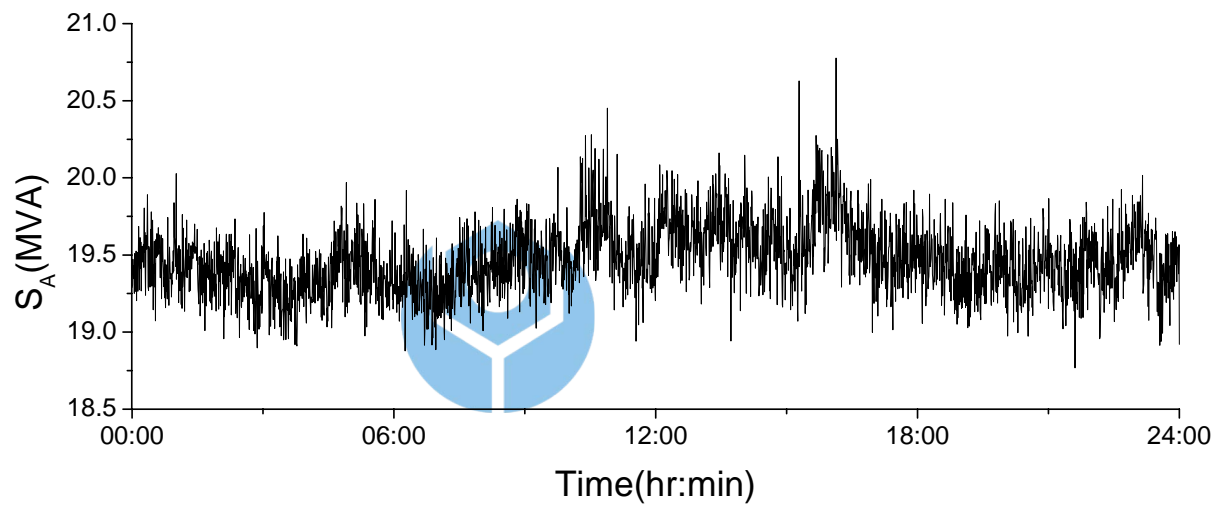
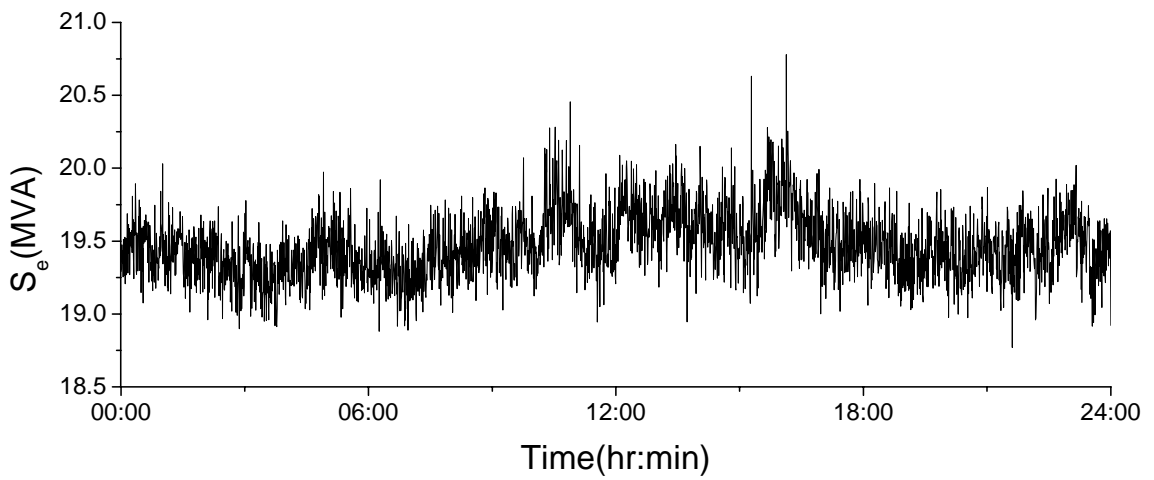


圖 4-20 化工用戶某工作日的白線電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果

表 4-7 化工用戶紅線各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表

化工用戶紅線									
時間： 94-11-17 12:02:00 起 至 94-11-24 09:53:00 止									
日期 積分值	11/17	11/18	11/19	11/20	11/21	11/22	11/23	11/24	量測期間 總積分值 或平均值
	星期四	星期五	星期六	星期日	星期一	星期二	星期三	星期四	
P (MWh)	210.852	425.772	426.316	424.838	425.194	441.003	439.949	175.064	2968.988
P ₁ (MWh)	210.830	425.734	426.275	424.791	425.155	440.971	439.914	175.052	2968.722
Q (Mvarh)	91.698	183.525	180.365	179.695	169.084	154.601	155.539	61.367	1175.874
Q ₁ (Mvarh)	91.666	183.466	180.303	179.616	169.018	154.538	155.471	61.346	1175.424
Q _{1M1} (Mvarh)	91.666	183.466	180.303	179.616	169.018	154.538	155.471	61.346	1175.424
Q _{1M2} (Mvarh)	91.666	183.466	180.303	179.616	169.018	154.538	155.471	61.346	1175.424
S ₁ (MVAh)	229.896	463.589	462.840	461.205	457.769	467.273	466.581	185.491	3194.644
S _{1M1} (MVAh)	229.896	463.589	462.840	461.205	457.769	467.273	466.581	185.491	3194.644
S _{1M2} (MVAh)	229.896	463.589	462.840	461.205	457.769	467.273	466.581	185.491	3194.644
S _e (MVAh)	230.005	463.806	463.051	461.439	457.999	467.533	466.843	185.592	3196.268
S _A (MVAh)	230.003	463.800	463.046	461.433	457.991	467.516	466.827	185.585	3196.201
S _V (MVAh)	229.953	463.695	462.950	461.336	457.882	467.382	466.698	185.532	3195.428
S _{e1} (MVAh)	229.948	463.700	462.941	461.309	457.886	467.424	466.725	185.551	3195.484
S _{eN} (MVAh)	5.096	9.885	10.054	10.916	10.179	10.087	10.424	3.891	70.532
\bar{S}_{eN} (%)	2.216	2.132	2.172	2.366	2.223	2.158	2.233	2.097	2.207
S ₁ ⁺ (MVAh)	229.896	463.595	462.835	461.202	457.771	467.294	466.602	185.498	3194.693
S _{IU} (MVAh)	4.859	9.794	9.844	9.845	10.159	10.973	10.672	4.420	70.566
\bar{S}_{IU} (%)	2.114	2.113	2.127	2.135	2.219	2.348	2.287	2.383	2.209
PF _e	0.917	0.918	0.921	0.921	0.928	0.943	0.942	0.943	0.929
PF _A	0.917	0.918	0.921	0.921	0.928	0.943	0.942	0.943	0.929
PF _V	0.917	0.918	0.921	0.921	0.929	0.944	0.943	0.944	0.929
PF ₁	0.917	0.918	0.921	0.921	0.929	0.944	0.943	0.944	0.930
PF _{1M1}	0.917	0.918	0.921	0.921	0.929	0.944	0.943	0.944	0.930
PF _{1M2}	0.917	0.918	0.921	0.921	0.929	0.944	0.943	0.944	0.930

備註：由於量測儀器裝拆緣故，本表頭尾兩日之值並非完整 24 小時數據。

表 4-8 化工用戶白線各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表

化工用戶白線									
時間： 94-11-17 12:02:00 起 至 94-11-24 09:53:00 止									
日期 積分值	11/17	11/18	11/19	11/20	11/21	11/22	11/23	11/24	量測期間 總積分值 或平均值
	星期四	星期五	星期六	星期日	星期一	星期二	星期三	星期四	
P (MWh)	211.216	425.597	427.391	425.846	426.024	431.537	440.796	182.995	2971.402
P ₁ (MWh)	211.201	425.571	427.363	425.812	425.994	431.512	440.772	182.986	2971.211
Q (Mvarh)	96.459	192.760	189.920	189.417	178.809	159.715	163.197	66.990	1237.267
Q ₁ (Mvarh)	96.436	192.718	189.874	189.359	178.756	159.670	163.146	66.973	1236.932
Q _{IM1} (Mvarh)	96.436	192.718	189.874	189.359	178.756	159.670	163.146	66.973	1236.932
Q _{IM2} (Mvarh)	96.436	192.718	189.874	189.359	178.756	159.670	163.146	66.973	1236.932
S ₁ (MVAh)	232.177	467.180	467.647	466.020	462.226	460.110	470.000	194.858	3220.218
S _{IM1} (MVAh)	232.177	467.180	467.647	466.020	462.226	460.110	470.000	194.858	3220.218
S _{IM2} (MVAh)	232.177	467.180	467.647	466.020	462.226	460.110	470.000	194.858	3220.218
S _e (MVAh)	232.261	467.344	467.805	466.195	462.398	460.284	470.175	194.921	3221.383
S _A (MVAh)	232.231	467.280	467.750	466.140	462.332	460.207	470.101	194.893	3220.934
S _V (MVAh)	232.223	467.266	467.737	466.125	462.322	460.200	470.095	194.891	3220.859
S _{e1} (MVAh)	232.215	467.258	467.715	466.089	462.301	460.194	470.080	194.888	3220.740
S _{eN} (MVAh)	4.619	8.928	9.136	9.882	9.397	9.085	9.434	3.570	64.051
\bar{S}_{eN} (%)	1.989	1.911	1.953	2.120	2.033	1.974	2.007	1.832	1.989
S ₁ ⁺ (MVAh)	232.177	467.179	467.646	466.018	462.228	460.122	470.013	194.862	3220.245
S _{IU} (MVAh)	4.180	8.513	7.961	8.061	8.156	8.066	7.851	3.155	55.943
\bar{S}_{IU} (%)	1.800	1.822	1.702	1.730	1.765	1.753	1.670	1.619	1.737
PF _e	0.909	0.911	0.914	0.913	0.921	0.938	0.938	0.939	0.922
PF _A	0.910	0.911	0.914	0.914	0.921	0.938	0.938	0.939	0.923
PF _V	0.910	0.911	0.914	0.914	0.921	0.938	0.938	0.939	0.923
PF ₁	0.910	0.911	0.914	0.914	0.922	0.938	0.938	0.939	0.923
PF _{IM1}	0.910	0.911	0.914	0.914	0.922	0.938	0.938	0.939	0.923
PF _{IM2}	0.910	0.911	0.914	0.914	0.922	0.938	0.938	0.939	0.923

備註：由於量測儀器裝拆緣故，本表頭尾兩日之值並非完整 24 小時數據。

4.3.6 商業用戶

此用戶為位於桃園市的商業大樓，由台電 11.4kV 高壓饋線供電，圖 4-21 為此用戶之系統單線圖，本次量測位於用戶 MOF 端，量測時間於 94 年 8 月 31 日(星期三) 12:15 至 9 月 7 日(星期三)09:33。圖 4-22 及圖 4-23 為量測期間某工作日的電力量 P 、 P_1 、 Q_1 、 S_e 、 S_A 及 S_V 結果，表 4-9 為用戶的各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表。由量測結果顯示此用戶是一個諧波稍大且略有不平衡的負載，應是使用較多的資訊設備所致，其工作日時的基本波平均功率因數值約達台電建議 PF_{1MI} 改善值 0.95；而非工作日(星期日)時的功率因數進相控制可能被切離，致使該期間的平均功率因數值偏低。

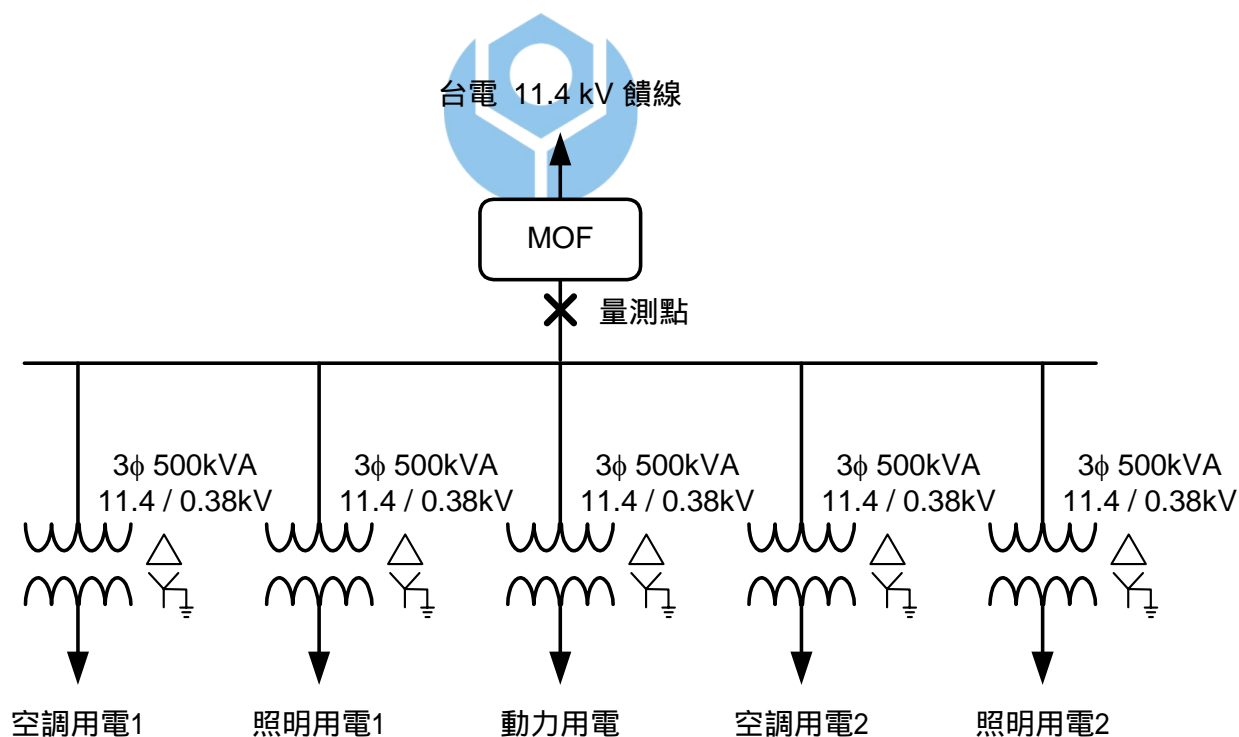


圖 4-21 商業用戶之系統單線圖

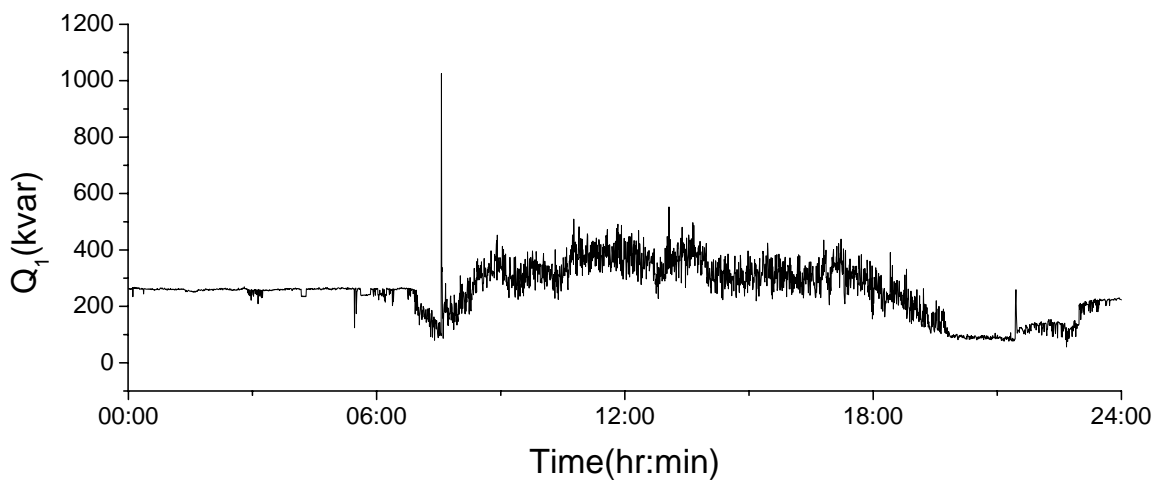
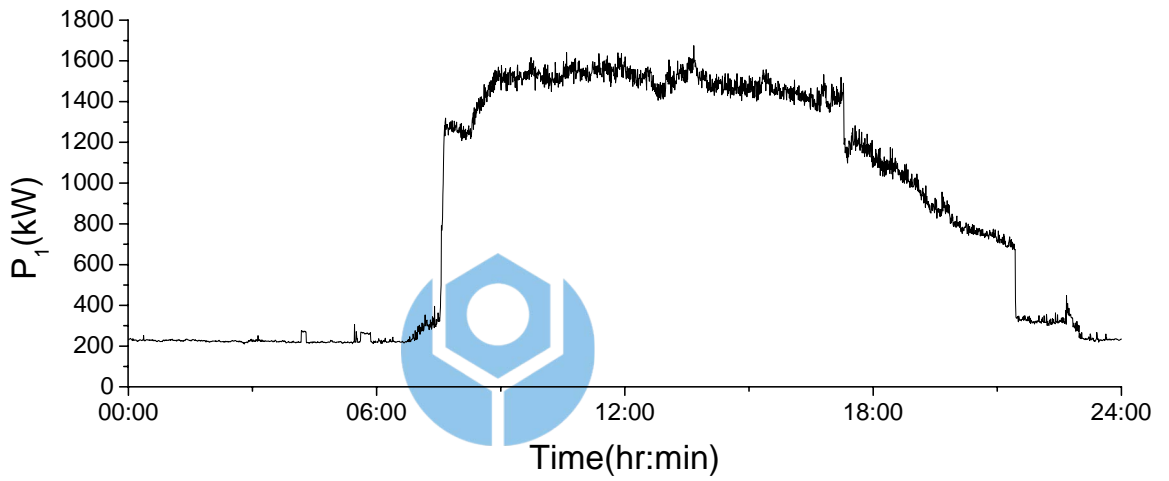
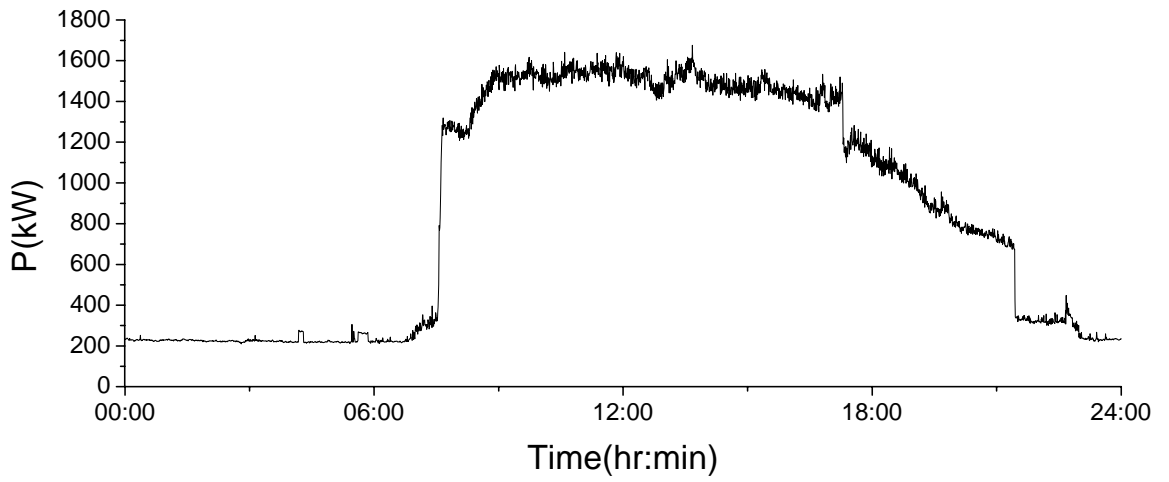


圖 4-22 商業用戶某工作日的電力量 P 、 P_1 及 Q_1 量測結果

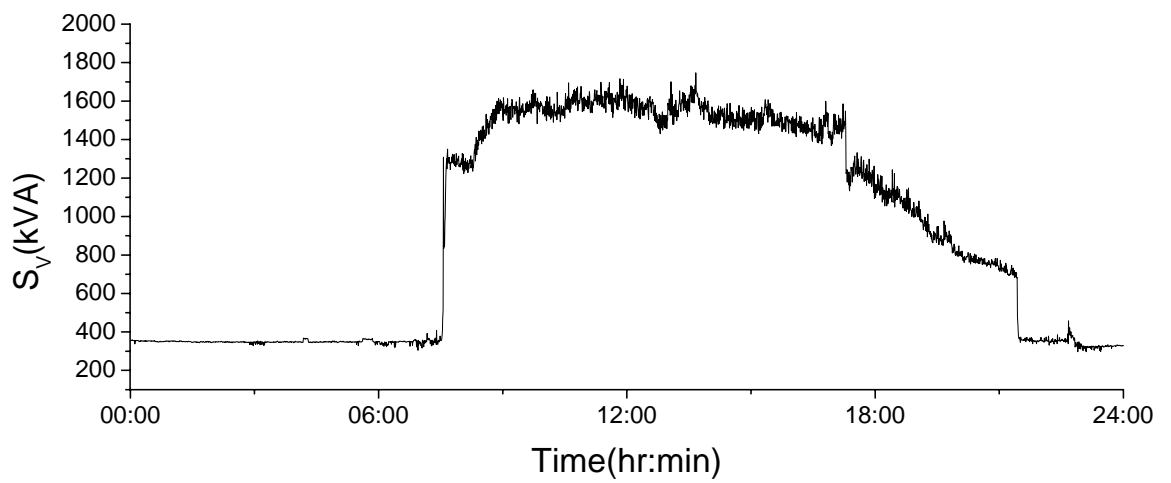
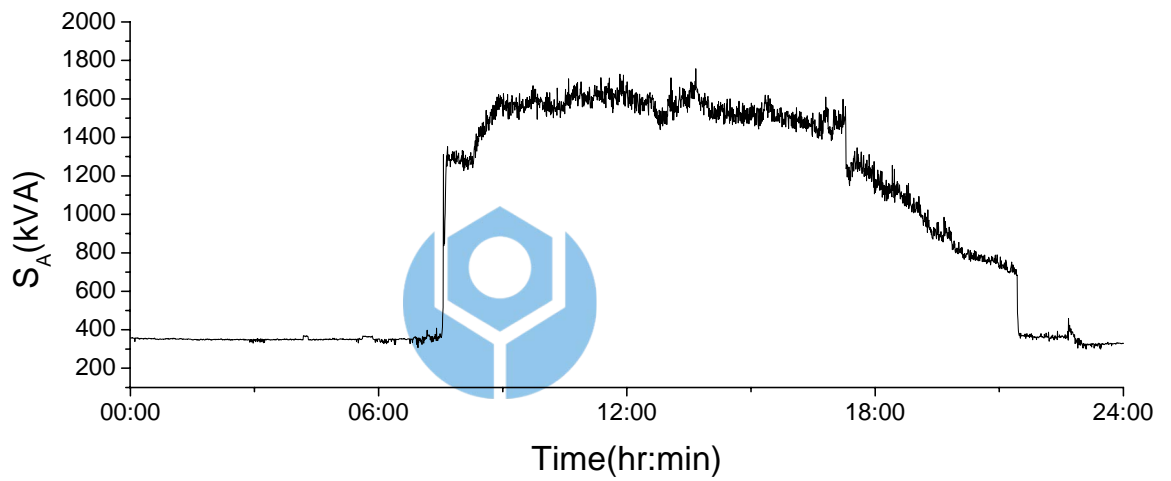
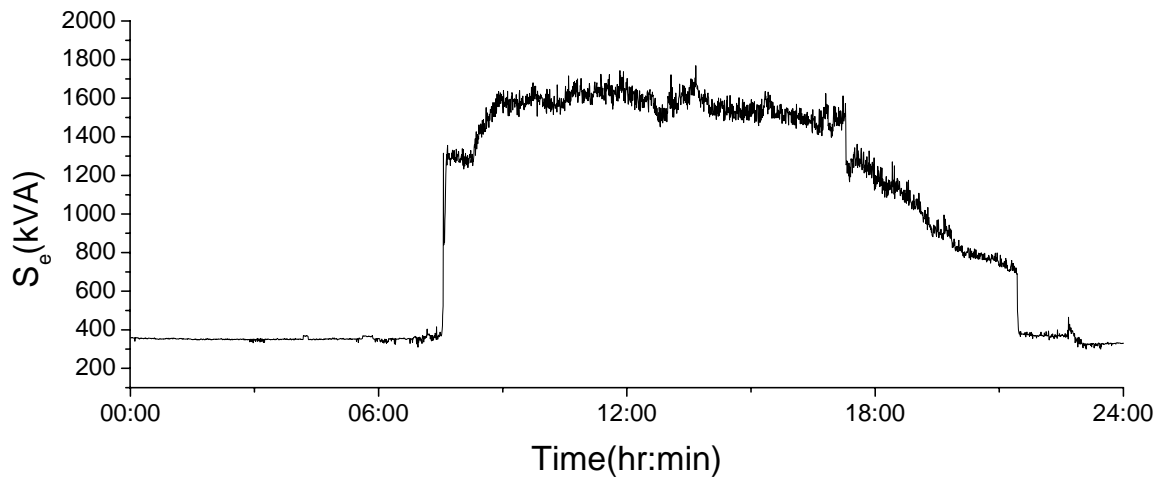


圖 4-23 商業用戶某工作日的電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果

表 4-9 商業用戶各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表

商業用戶									
時間: 94-08-31 12:15:00 起 至 94-09-07 09:33:00 止									
日期 積分值	8/31	9/1	9/2	9/3	9/4	9/5	9/6	9/7	量測期間 總積分值 或平均值
	星期三	星期四	星期五	星期六	星期日	星期一	星期二	星期三	
P (kWh)	8724.270	6958.754	19761.108	11710.586	9451.028	20720.809	19580.092	4299.416	101206.063
P ₁ (kWh)	8721.082	6954.149	19754.959	11707.404	9446.424	20714.515	19573.619	4297.457	101169.609
Q (kvarh)	2419.589	4016.751	5696.765	3772.016	4867.114	6214.767	5787.603	2198.322	34972.927
Q ₁ (kvarh)	2410.866	4004.495	5679.410	3763.377	4855.271	6196.353	5769.583	2193.190	34872.545
Q _{IM1} (kvarh)	2410.866	4004.495	5679.410	3763.377	4855.271	6196.353	5769.583	2193.190	34872.545
Q _{IM2} (kvarh)	2410.866	4004.495	5679.410	3763.377	4855.271	6196.353	5769.583	2193.190	34872.545
S ₁ (kVAh)	9120.090	8191.457	20971.372	12846.037	10891.064	22105.008	20816.476	5076.257	110017.761
S _{IM1} (kVAh)	9120.090	8191.457	20971.372	12846.037	10891.064	22105.008	20816.476	5076.257	110017.761
S _{IM2} (kVAh)	9120.090	8191.457	20971.372	12846.037	10891.064	22105.008	20816.476	5076.257	110017.761
S _e (kVAh)	9402.344	8539.237	21446.076	13067.696	11088.722	22596.728	21299.774	5188.300	112628.877
S _A (kVAh)	9287.303	8434.363	21256.308	12976.133	11036.918	22395.774	21115.812	5155.868	111658.479
S _V (kVAh)	9183.600	8309.241	21085.615	12918.531	10985.843	22222.216	20933.975	5120.869	110759.890
S _{e1} (kVAh)	9338.312	8423.579	21328.720	12994.869	10994.467	22476.863	21179.779	5143.722	111880.311
S _{eN} (kVAh)	1011.483	1394.468	2101.903	1278.315	1350.043	2150.817	2108.254	618.997	12014.280
\bar{S}_{eN} (%)	10.832	16.554	9.855	9.837	12.279	9.569	9.954	12.034	10.739
S ₁ ⁺ (kVAh)	9089.249	8174.914	20935.808	12806.841	10885.038	22083.968	20798.201	5072.496	109846.515
S _{IU} (kVAh)	2073.945	1975.966	3969.907	2169.033	1438.787	4110.476	3913.839	836.436	20488.389
\bar{S}_{IU} (%)	22.818	24.171	18.962	16.937	13.218	18.613	18.818	16.490	18.652
PF _e	0.928	0.815	0.921	0.896	0.852	0.917	0.919	0.829	0.899
PF _A	0.939	0.825	0.930	0.902	0.856	0.925	0.927	0.834	0.906
PF _V	0.950	0.837	0.937	0.906	0.860	0.932	0.935	0.840	0.914
PF ₁	0.964	0.867	0.961	0.952	0.889	0.958	0.959	0.891	0.945
PF _{IM1}	0.964	0.867	0.961	0.952	0.889	0.958	0.959	0.891	0.945
PF _{IM2}	0.964	0.867	0.961	0.952	0.889	0.958	0.959	0.891	0.945

備註 1：由於量測儀器裝拆緣故，本表頭尾兩日之值並非完整 24 小時數據。

備註 2：9/1 星期四颱風天全台停止上班上課。

4.3.7 機關用戶

此用戶為位於苗栗地區的某公家機關，由台電 11.4kV 饋線供電，圖 4-24 為此用戶之系統單線圖，本次量測位於用戶 MOF 端，量測時間於 94 年 11 月 10 日(星期三) 14:10 至 11 月 17 日(星期三)10:12。圖 4-25 及圖 4-26 為量測期間某工作日的電力量 P 、 P_L 、 Q_L 、 S_e 、 S_A 及 S_V 結果，表 4-10 為用戶的各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表。由量測結果顯示此用戶是一個諧波稍大且略有不平衡的負載，應是資訊設備較多所致，依台電所建議改善 PF_{IMI} 可達 0.95 而論，其工作日時的功率因數進相控制仍有改善空間；而非工作日時的功率因數進相控制可能被切離，致使該期間的平均功率因數值偏低。

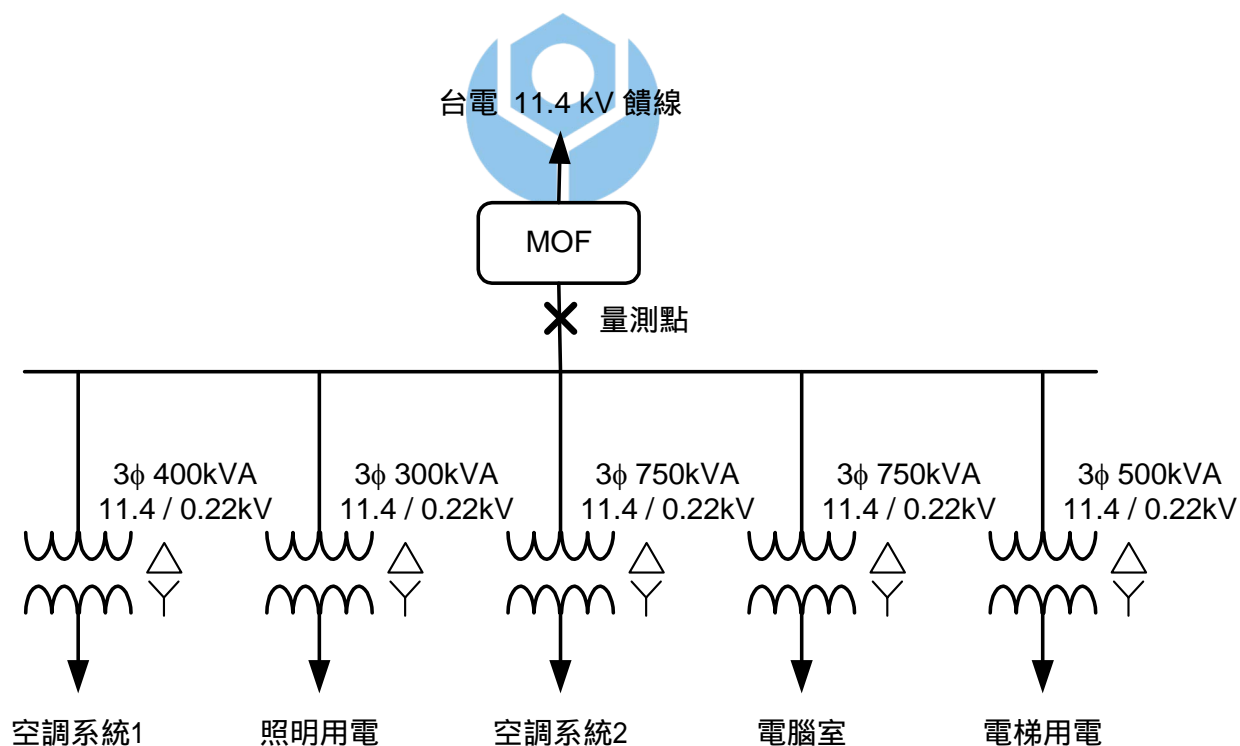


圖 4-24 機關用戶之系統單線圖

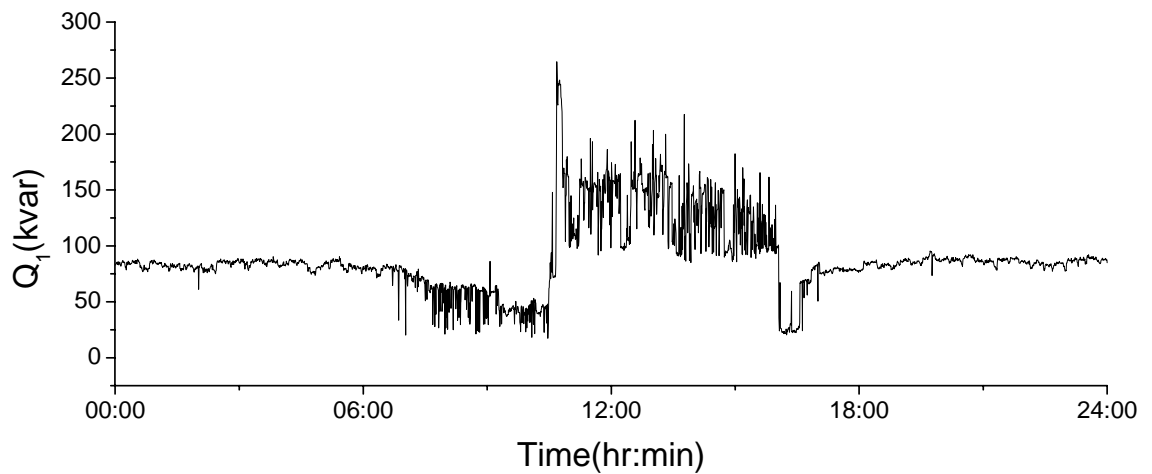
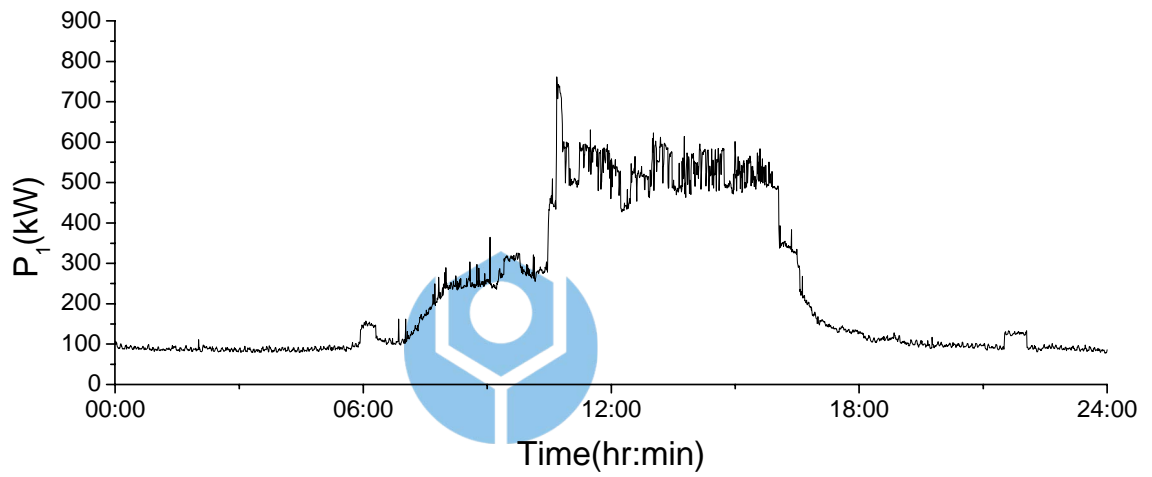
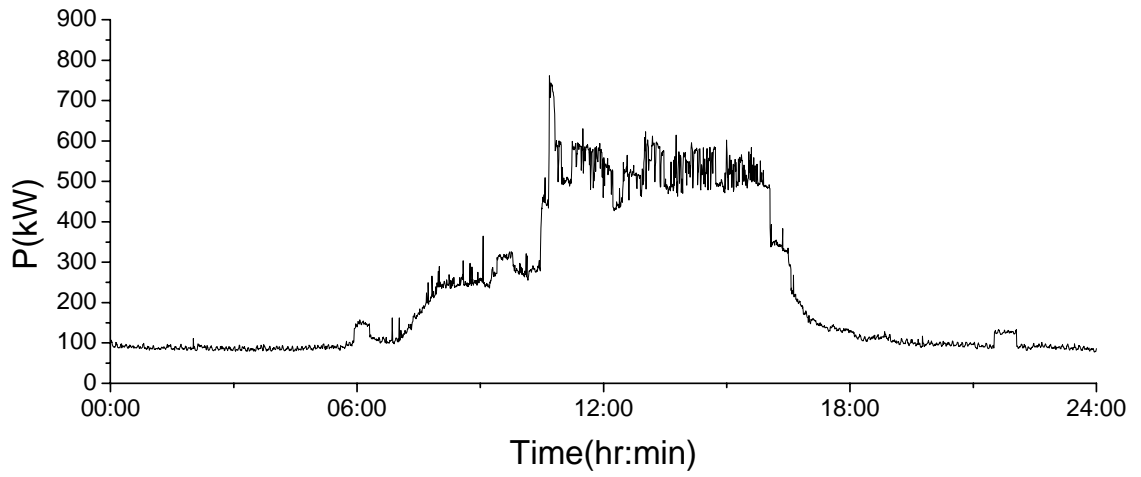


圖 4-25 機關用戶某工作日的電力量 P 、 P_1 及 Q_1 量測結果

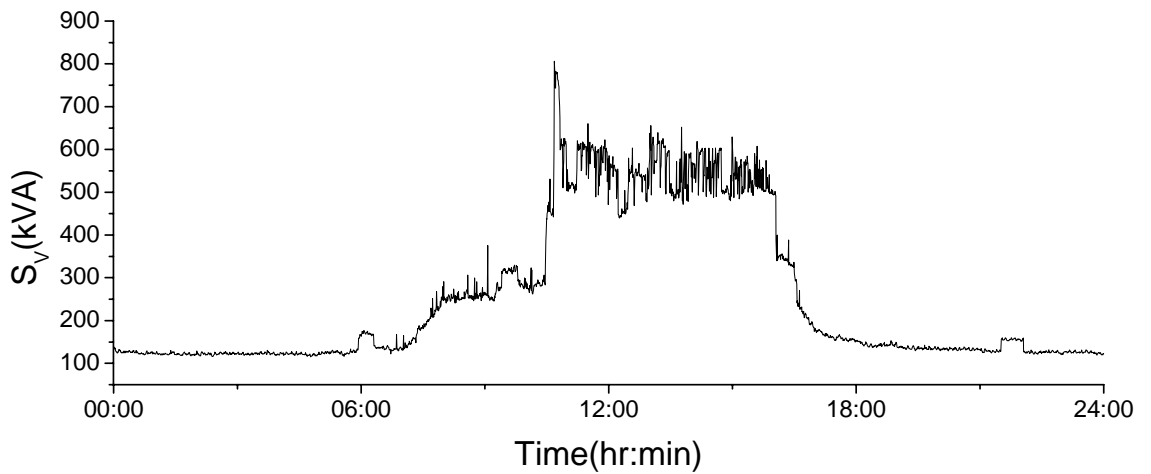
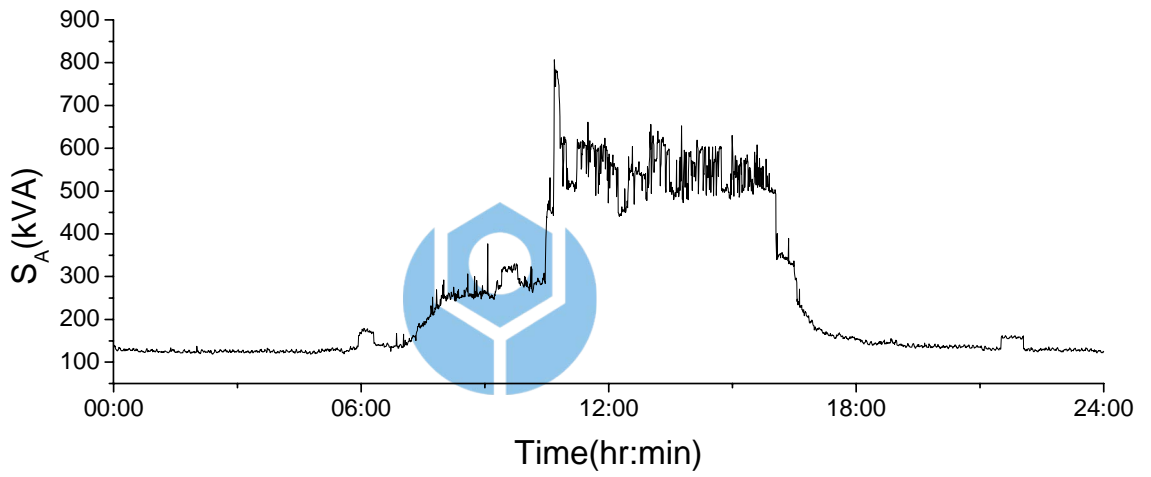
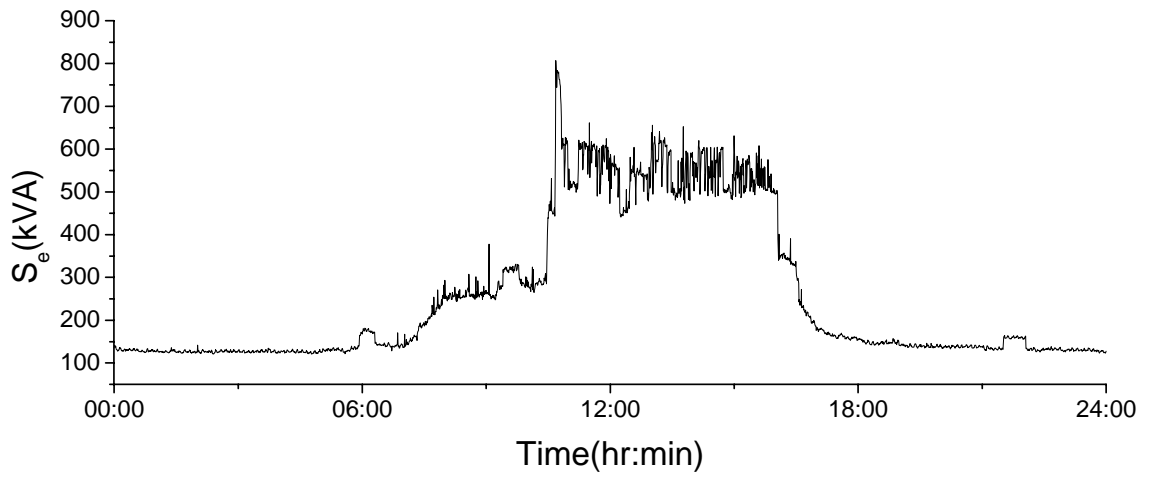


圖 4-26 機關用戶某工作日的電力量 S_e 、 S_A 及 S_V 量測結果

表 4-10 機關用戶各項電力量積分值及六種平均功率因數統計表

機關用戶									
時間：94-11-10 14:10:00 起 至 94-11-17 10:12:00 止									
日期 積分值	11/10	11/11	11/12	11/13	11/14	11/15 日	11/16	11/17	量測期間 總積分值 或平均值
	星期四	星期五	星期六	星期日	星期一	星期二	星期三	星期四	
P (kWh)	2248.992	5455.095	2084.794	2024.805	3947.976	3550.916	3458.724	1290.999	24062.301
P ₁ (kWh)	2248.242	5453.317	2083.086	2022.735	3945.949	3548.740	3456.541	1290.211	24048.821
Q (kvarh)	851.623	2140.464	2100.835	2130.654	1698.200	1776.067	1774.922	756.666	13229.431
Q ₁ (kvarh)	849.810	2137.279	2097.337	2126.919	1694.724	1772.680	1771.412	755.676	13205.837
Q _{1M1} (kvarh)	849.810	2137.279	2097.337	2126.919	1694.724	1772.680	1771.412	755.676	13205.837
Q _{1M2} (kvarh)	849.810	2137.279	2097.337	2126.919	1694.724	1772.680	1771.412	755.676	13205.837
S ₁ (kVAh)	2441.883	6012.475	2965.463	2949.364	4421.705	4053.354	3962.514	1540.641	28347.399
S _{1M1} (kVAh)	2441.883	6012.475	2965.463	2949.364	4421.705	4053.354	3962.514	1540.641	28347.399
S _{1M2} (kVAh)	2441.883	6012.475	2965.463	2949.364	4421.705	4053.354	3962.514	1540.641	28347.399
S _e (kVAh)	2496.869	6135.535	3112.992	3116.093	4548.402	4204.676	4112.697	1606.500	29333.764
S _A (kVAh)	2480.646	6098.446	3071.613	3066.957	4509.251	4160.082	4069.250	1586.430	29042.675
S _V (kVAh)	2460.533	6052.609	3023.318	3009.423	4463.056	4104.910	4015.692	1561.589	28691.130
S _{e1} (kVAh)	2478.514	6095.833	3055.831	3057.153	4507.101	4153.688	4060.100	1585.958	28994.178
S _{eN} (kVAh)	253.788	584.581	592.120	601.798	589.728	633.437	639.192	246.877	4141.521
\bar{S}_{eN} (%)	10.240	9.590	19.377	19.685	13.084	15.250	15.743	15.566	14.284
S _{1⁺} (kVAh)	2442.339	6013.421	2965.603	2949.859	4423.314	4055.074	3964.246	1541.347	28355.203
S _{IU} (kVAh)	348.302	832.278	730.272	799.225	818.530	842.558	829.754	354.921	5555.840
\bar{S}_{IU} (%)	14.261	13.840	24.625	27.094	18.505	20.778	20.931	23.027	19.594
PF _e	0.901	0.889	0.670	0.650	0.868	0.845	0.841	0.804	0.820
PF _A	0.907	0.895	0.679	0.660	0.876	0.854	0.850	0.814	0.829
PF _V	0.914	0.901	0.690	0.673	0.885	0.865	0.861	0.827	0.839
PF ₁	0.935	0.931	0.705	0.689	0.919	0.895	0.890	0.863	0.877
PF _{1M1}	0.935	0.931	0.705	0.689	0.919	0.895	0.890	0.863	0.877
PF _{1M2}	0.935	0.931	0.705	0.689	0.919	0.895	0.890	0.863	0.877

備註：由於量測儀器裝拆緣故，本表頭尾兩日之值並非完整 24 小時數據。

4.4 結語

由量測結果發現，台電 69kV(含)以上特高壓供電之非常大型用戶，主要以鐵路及鋼鐵業用戶有嚴重的諧波和不平衡問題，而捷運、電機及化工業用戶幾乎無諧波和不平衡問題，可能由於此類大型用戶較有財力能注重其電力品質改善，其對台電公司輸電線路的電力品質影響不大；而在商業及機關用戶方面，多為 11.4kV 或 22.8kV 高壓供電，可能由於使用了非常多的資訊設備以及單相負載，其諧波和不平衡的問題頗為嚴重。

依據民國 94 年 01 月 19 日最新版「電業法」第 69 條規定：「電業對於功率因數低於百分之八十之用戶，得酌加電價，並得由用戶負擔裝置功率因數表，其電價標準，應於營業規則內定之。」台電現行營業規則規定為「用戶每月用電之平均功率因數不及百分之八十時，每低百分之一，該月份電費應增加千分之三；超過百分之八十時，每超過百分之一，該月份電費應減少千分之一點五。」這些規定均未界定功率因數計算式及超前或落後性。目前台電是以第一種修正型基本波平均功率因數(PF_{1M1})計費，這其實相當不合理，以鐵路用戶的紅線饋線為例，其為諧波大及不平衡負載，但 $PF_{1M1} = 1$ 為最高，以台電現行規定 $PF_{1M1} = 0.8$ 之標準，將給予此用戶獎賞減價；而其有效平均功率因數值 $PF_e = 0.393$ 來看，實應罰款加價；若台電僅比現況多納入虛功率過補償的考量，即 $PF_{1M2} = 0.452$ ，其值將接近較能確實反映出負載特性的 PF_e ，是為較簡單可行且合理的標準改變，應能正向促使用戶注意與改善其電力品質問題。

第五章 特殊接線變壓器的功率因數探討

5.1 前言

軌道電氣化是各國經濟發展過程中重要的交通建設，此系統通常需要龐大的單相(single-phase)電源，但是會造成三相不平衡的電力品質問題，因而有一些特殊接線變壓器(specially connected transformer)被應用以降低此問題，常見的三相變二相變壓器接線法有 V-V 接線、Scott 接線及 Le Blanc 接線等，有鑑於國內電氣化軌道大眾運輸系統持續建設的趨勢，本章將探討其對三相電力系統功率因數的影響，此研究尚未見於相關文獻，是首見於本文的探討。

5.2 特殊接線變壓器的電路分析

為了方便表示及說明，本節分別以 $k_1 = \frac{N_1}{N_2}$ 及 $k_2 = \frac{N_2}{N_1}$ 表示變壓器一次側匝數(N_1)及二次側匝數(N_2)間的匝比(turn ratio)關係。

5.2.1 V-V 接線

這種簡單的接線方式為早期建置的軌道電氣化系統所採用，例如法國 TGV 系統、英國國鐵 ECML 及芬蘭國鐵等，即採用 V-V 接線變壓器自三相電力系統取得所需的龐大單相電源[17]，其接線如圖 5-1 所示，利用 2 具相同的單相變壓器組成，其一次側接至三相電源系統，而二次側可供應 2 組單相負載，由圖 5-1 可得到此變壓器一、二次側的電壓及電流相量(phasor)關係如下：

$$\bar{V}_{ab} = \bar{V}_a - \bar{V}_b = k_1 \bar{V}_T \quad (5-1)$$

$$\bar{V}_{bc} = \bar{V}_b - \bar{V}_c = -k_1 \bar{V}_M \quad (5-2)$$

$$\bar{V}_{ca} = \bar{V}_c - \bar{V}_a = k_1 (\bar{V}_M - \bar{V}_T) \quad (5-3)$$

$$\bar{I}_a = k_2 \bar{I}_T \quad (5-4)$$

$$\bar{I}_b = -(\bar{I}_a + \bar{I}_c) = -k_2 (\bar{I}_T + \bar{I}_M) \quad (5-5)$$

$$\bar{I}_c = k_2 \bar{I}_M \quad (5-6)$$

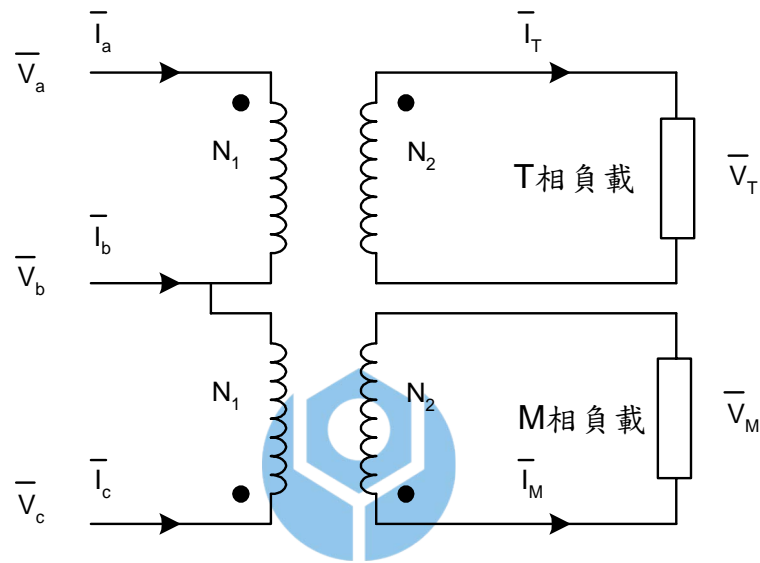


圖 5-1 V-V 接線變壓器接線圖

5.2.2 Scott 接線

此接線法是由 C. F. Scott 先生於 1894 年所創見，並於 1896 年首次應用於美國尼加拉瓜瀑布(Niagara Falls)的水力電廠，將二相發電機輸出轉換成三相電力[18-20]，而軌道電氣化系統的應用則如日本的 Tokaido 新幹線及正在試俾中的台灣高速鐵路[17]，其接線如圖 5-2 所示，利用 2 具不同匝比的單相變壓器以特殊接線方式組成，將三相電源轉變成二相，其二次側被稱為 M 相(main)者，於其一次側有中間抽頭；而二次側被稱為 T 相(teaser)者，僅是 1 具單相變壓器，由圖 5-2 可得到此變壓器一、二次側的電壓及電流相量(phasor)關係如下：

$$\bar{V}_{ab} = \bar{V}_a - \bar{V}_b = \frac{k_1}{2}(\sqrt{3} \bar{V}_T - \bar{V}_M) \quad (5-7)$$

$$\bar{V}_{bc} = \bar{V}_b - \bar{V}_c = k_1 \bar{V}_M \quad (5-8)$$

$$\bar{V}_{ca} = \bar{V}_c - \bar{V}_a = -\frac{k_1}{2}(\sqrt{3} \bar{V}_T + \bar{V}_M) \quad (5-9)$$

$$\bar{I}_a = \frac{2}{\sqrt{3}} k_2 \bar{I}_T \quad (5-10)$$

$$\bar{I}_b = k_2 \left(\bar{I}_M - \frac{1}{\sqrt{3}} \bar{I}_T \right) \quad (5-11)$$

$$\bar{I}_c = -k_2 \left(\bar{I}_M + \frac{1}{\sqrt{3}} \bar{I}_T \right) \quad (5-12)$$

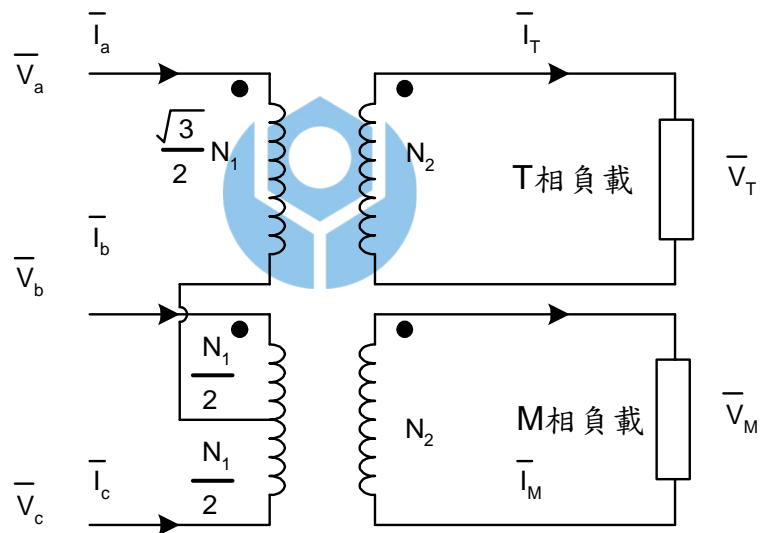


圖 5-2 Scott 接線變壓器接線圖

5.2.3 Le Blanc 接線

此接線法早於 19 世紀末即已被應用，但不及 Scott 接線法般知名[21]，目前運行的台灣鐵路電氣化系統即採用此接線法[17]，如圖 5-3 所示，其一次側的接線方式就如同一般的三相變壓器，通常採用 Δ 接法以抑制負載造成的 3 次諧波，而二次側由 5 個特定匝比的繞組(winding)分成 M 相及 T

相，由圖 5-3 可得到變壓器一、二次側的電壓及電流相量(phasor)關係如下：

$$\bar{V}_{ab} = \bar{V}_a - \bar{V}_b = -k_1 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \bar{V}_T + \frac{3}{4} \bar{V}_M \right) \quad (5-13)$$

$$\bar{V}_{bc} = \bar{V}_b - \bar{V}_c = \frac{3}{4} k_1 \bar{V}_M \quad (5-14)$$

$$\bar{V}_{ca} = \bar{V}_c - \bar{V}_a = k_1 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \bar{V}_T - \frac{3}{4} \bar{V}_M \right) \quad (5-15)$$

$$\bar{I}_a = -\frac{2}{\sqrt{3}} k_2 \bar{I}_T \quad (5-16)$$

$$\bar{I}_b = k_2 \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \bar{I}_T + \bar{I}_M \right) \quad (5-17)$$

$$\bar{I}_c = k_2 \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \bar{I}_T - \bar{I}_M \right) \quad (5-18)$$

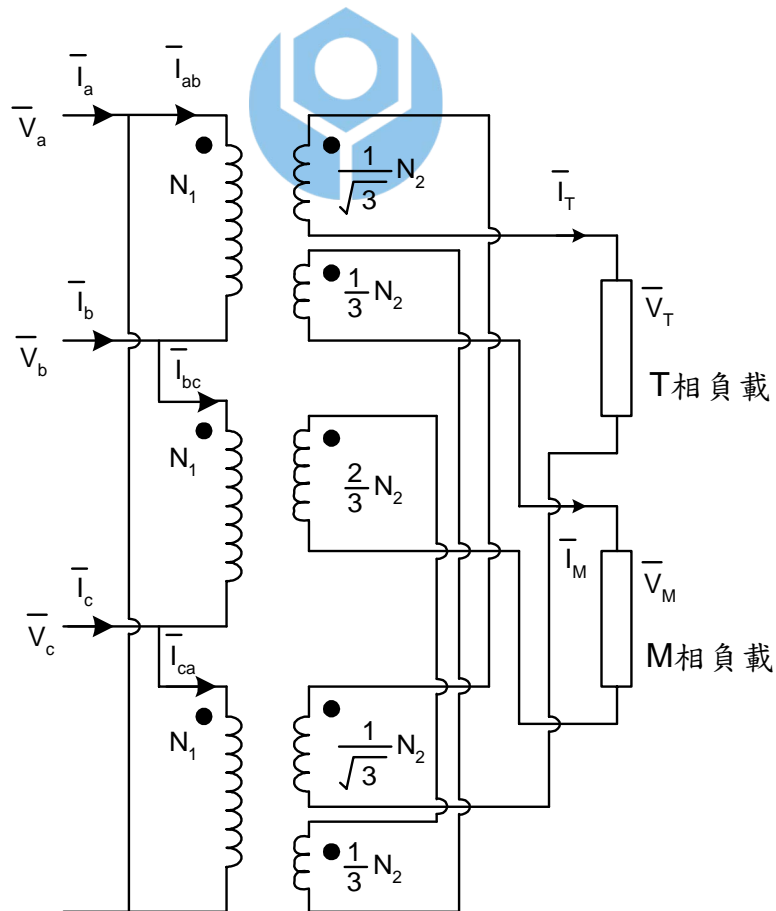


圖 5-3 Le Blanc 接線變壓器架構圖

5.3 模擬方法

為了分析二次側二相負載不相等及諧波對一次側三相系統功率因數的影響，利用軟體 Simulink 及 Sim Power Systems 所提供的模組(block)建構模擬方塊圖，架構如圖 5-4，並輔以 Matlab 計算分析[55,56]，模擬程序說明如下：

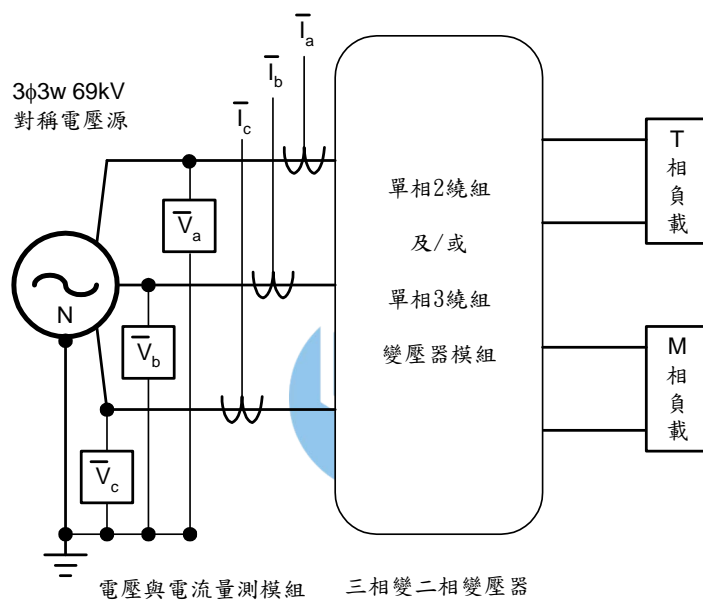


圖 5-4 模擬方塊圖

1. 模擬電源是 3φ3w 69kV 對稱電壓源模組(symmetrical three-phase voltage source block)。
2. 三相變二相變壓器則分別利用單相 2 繞組變壓器模組(single-phase two-winding transformer block)與單相 3 繞組變壓器模組(single-phase three-winding transformer block)建構，分述如下：
 - (1) V-V 接線：利用 2 個匝比為 $N_1:N_2$ 的單相 2 繞組變壓器模組構成。

(2) Scott 接線：利用 1 個匝比為 $\frac{\sqrt{3}}{2} N_1 : N_2$ 的單相 2 繞組變壓器模組

及 1 個匝比 $\frac{N_1}{2} : \frac{N_1}{2} : N_2$ 的單相 3 繞組變壓器模組構成。

(3) Le Blanc 接線：利用 1 個匝比為 $N_1 : \frac{2}{3} N_2$ 的單相 2 繞組變壓器模

組及 2 個匝比均為 $N_1 : \frac{N_2}{\sqrt{3}} : \frac{N_2}{3}$ 的單相 3 繞組變壓器模組構成。

3. 二次側二相負載分別以並聯 RLC 負載模組(parallel RLC load block) 及諧波電流源模組(harmonic current source block)構成。
4. 電壓與電流量測模組(measurement block)可分別擷取三相側的相電壓及線電流瞬時值。
5. 利用快速傅立葉轉換(FFT)求取電壓與電流的基本波與各次諧波成分。
6. 計算電壓與電流的有效值(RMS)，進而求取各種電力量及功率因數。

模擬時的若干參數設定如下：

1. 系統短路容量 $SC = 2736\text{MVA}$ ，而 $X/R = 25$ 。
2. 每具三相變二相變壓器容量為 15MVA ，電壓比為 $N_1 : N_2 = 69 : 27.5$ 。
3. 構成模擬變壓器的每個單相 2 繞組或 3 繞組變壓器模組的串聯阻抗均為 $0.01 + j0.1 \text{ pu}$ ，並依匝比適當分配之。
4. 忽略磁化電抗。

依據特殊接線變壓器二次側(二相端)基本波電力量的性質及有無諧波的考慮，分析 5 種負載狀況如表 5-1 所示，於變壓器一次側(三相端)計算所得 4 種功率因數結果列於表 5-2，可觀察到一些結果如下：

1. 因 Case 1 所示為二相負載相等且無諧波的情況，則 Scott 及 Le Blanc 接線一次側是三相平衡的，所求得 4 種功率因數值各自均相同；但是

V-V 接線的結果有差異為 $PF_e < PF_A < PF_V = PF_1$ ，此驗證了 V-V 接線在結構上原本就有的不平衡性質，同時呼應了先前研究文獻所述，V-V 接線具有最糟的不平衡特性[22]。

2. Case 2 為考慮二相負載相等，但有諧波的情況，因為 PF_1 僅考慮基本波成分，而忽略諧波成分，因此 PF_1 的結果與 Case 1 相同；至於 PF_e 、 PF_A 及 PF_V 均較 Case 1 為小，其乃因諧波的影響。對於 Scott 及 Le Blanc 接線，其於諧波擾動下的 PF_e 、 PF_A 及 PF_V 結果相近，亦即 $PF_e \approx PF_A \approx PF_V$ ，而 V-V 接線時，此 3 種功率因數值仍有差異，就如同 Case 1 般 $PF_e < PF_A < PF_V$ ，其乃因 V-V 接線在結構上原本就有的不平衡性質。

表 5-1 5 種二次側(二相端)的負載狀況

二相負載狀況		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
基本波 實功率	P_{M_1} (MW)	4	4	2	4	2
	P_{T_1} (MW)	4	4	6	4	6
基本波 虛功率	Q_{M_1} (Mvar)	2.4	2.4	1.2	-2.4	-1.2
	Q_{T_1} (Mvar)	2.4	2.4	3.6	2.4	-3.6
諧波 電流	I_3 (%)	0	25	0	0	25
	I_5 (%)	0	25	0	0	25
二相負載說明		負載相等 落後性 無諧波	負載相等 落後性 有諧波	負載不等 落後性 無諧波	分別為落後性 與超前性兩負 載大小相等 無諧波	負載不等 超前性 有諧波

備註：基本波虛功率正值表示落後性，負值表示超前性。

表 5-2 計算變壓器一次側(三相端)所得 4 種功率因數值

變壓器 接線方式	功率因數 定義	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5 *
V-V	PF_e	0.743	0.698	0.687	0.704	0.721
	PF_A	0.771	0.726	0.749	0.746	0.782
	PF_V	0.830	0.776	0.824	0.999	0.860
	PF_I	0.830	0.830	0.824	0.999	-0.896
Scott	PF_e	0.835	0.792	0.749	0.865	0.758
	PF_A	0.835	0.793	0.798	0.922	0.803
	PF_V	0.835	0.799	0.835	0.999	0.842
	PF_I	0.835	0.835	0.835	0.999	-0.884
Le Blanc	PF_e	0.836	0.792	0.747	0.860	0.762
	PF_A	0.836	0.793	0.796	0.919	0.809
	PF_V	0.836	0.799	0.831	0.999	0.847
	PF_I	0.836	0.836	0.831	0.999	-0.888

* Case 5 的負值 PF_I 表示虛功率過補償。

- Case 3 說明了二相不相等負載(unequal loading)的影響，從 Scott 及 Le Blanc 接線的分析結果發現 $PF_e < PF_A < PF_V = PF_I$ ，顯然可見 PF_V 無法反應不相等負載的影響。雖然 V-V 接線亦有類似的結果，但因 V-V 接線在結構上原本就有的不平衡性質，更加大了 PF_e 、 PF_A 及 PF_V 三值之間的差異。
- Case 4 考慮不相等負載極端的特例，亦即二相負載大小相同，但虛功率性質卻完全相反，M 相為超前(leading)，T 相為落後(lagging)，三種接線結果均顯示 $PF_V = PF_I \approx 1$ ，此亦可由 S_V 計算式中，超前與落後虛

功率的相消效應可看出，實際上，此例為負載極不相等的情況，僅有 PF_e 能真實地反應此負載特性。

5. Case 5 則同時考慮諧波與不相等的超前負載的影響，結果就如 Case 2、Case 3 及 Case 4 的共同影響，而 PF_1 的負值結果表示虛功率過補償的現象。
6. 綜合前述觀察發現 Scott 及 Le Blanc 接線於各種負載情況下的結果均相近，表示其電氣特性相似。

為能進一步瞭解諧波及不相等負載對功率因數的影響，再以兩個模擬範例加以說明。首先，模擬諧波的影響，假設有相等的二相負載，其基本波電力量分別為 $P_{M-1} = P_{T-1} = 4 \text{ MW}$ 及 $Q_{M-1} = Q_{T-1} = 2.4 \text{ Mvar}$ 落後性，再包含 0~30% 的 3 次與 5 次諧波電流，圖 5-5 表示諧波對 4 種功率因數值影響的曲線，說明如下：



1. PF_1 值與諧波無關。
2. 諧波量愈高，則 PF_e 、 PF_A 及 PF_V 的值愈低。
3. 表 5-2 所計算的 Case 1 及 Case 2 為此曲線的兩個特例。

其次，為了評估不相等負載的影響，在此定義不相等度(unequal degree，簡稱 UD)的指標如下：

$$UD = \frac{|S_{M-1} - S_{T-1}|}{S_{M-1} + S_{T-1}} \times 100\% \quad (5-19)$$

$$\text{其中 } S_{M-1} = \sqrt{P_{M-1}^2 + Q_{M-1}^2} \quad (5-20)$$

$$S_{T-1} = \sqrt{P_{T-1}^2 + Q_{T-1}^2} \quad (5-21)$$

模擬初值假設有相等的二相負載，亦即 $P_{M-1} = P_{T-1} = 6 \text{ MW}$ 及

$Q_{M-1} = Q_{T-1} = 3.6 \text{ Mvar}$ 落後性，此時 $UD = 0\%$ ；在保持二相總負載量及各相基本波功率因數不變的情況下，將 T 相負載逐漸地移至 M 相，UD 亦將漸增達 100%，圖 5-6 表示 UD 值對 4 種功率因數值影響的曲線，說明如下：

1. $PF_V = PF_1$ 固定且不受 UD 值影響。
2. 不相等負載使得 $PF_e < PF_A < PF_V$ 。
3. PF_e 、 PF_A 及 PF_V 三值之間的差異量與 UD 值成正比。

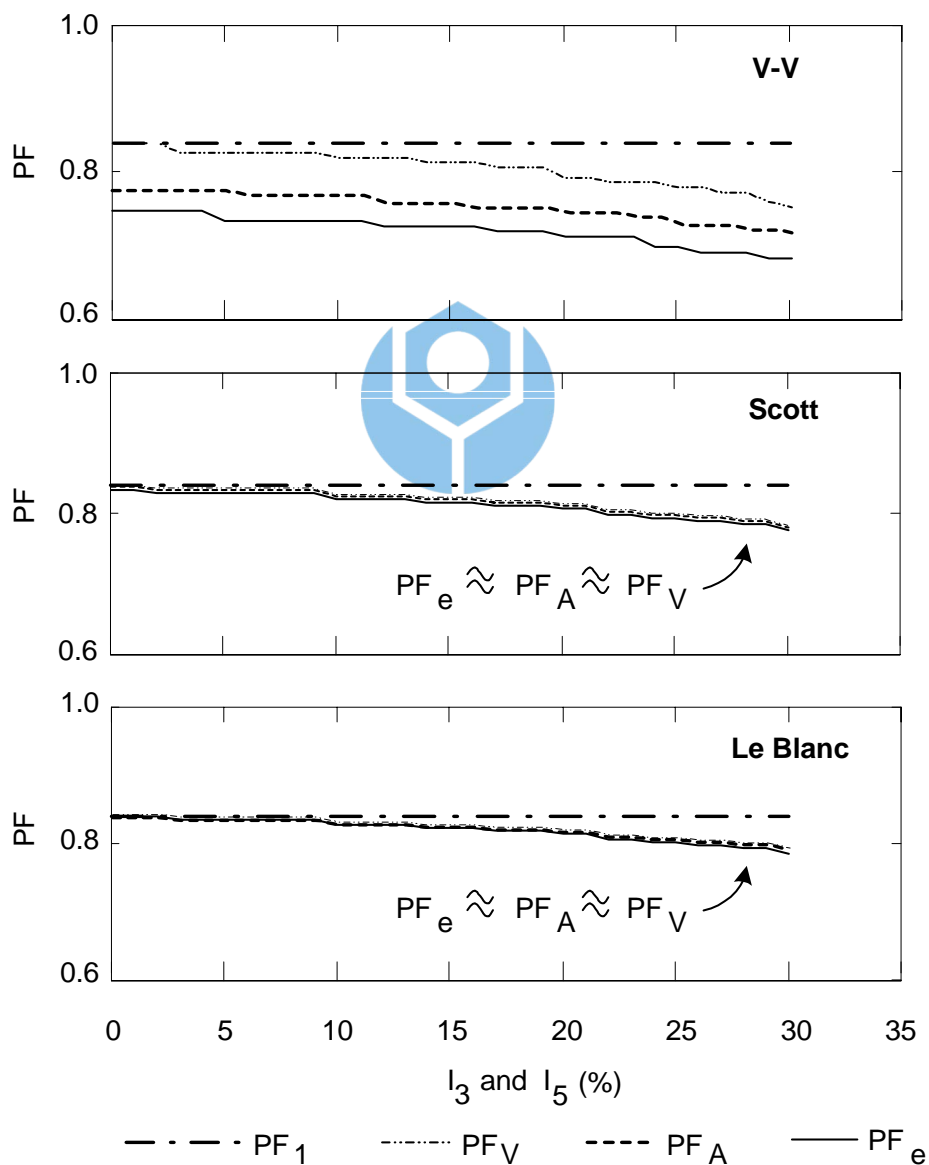


圖 5-5 諧波對 4 種功率因數值影響的曲線

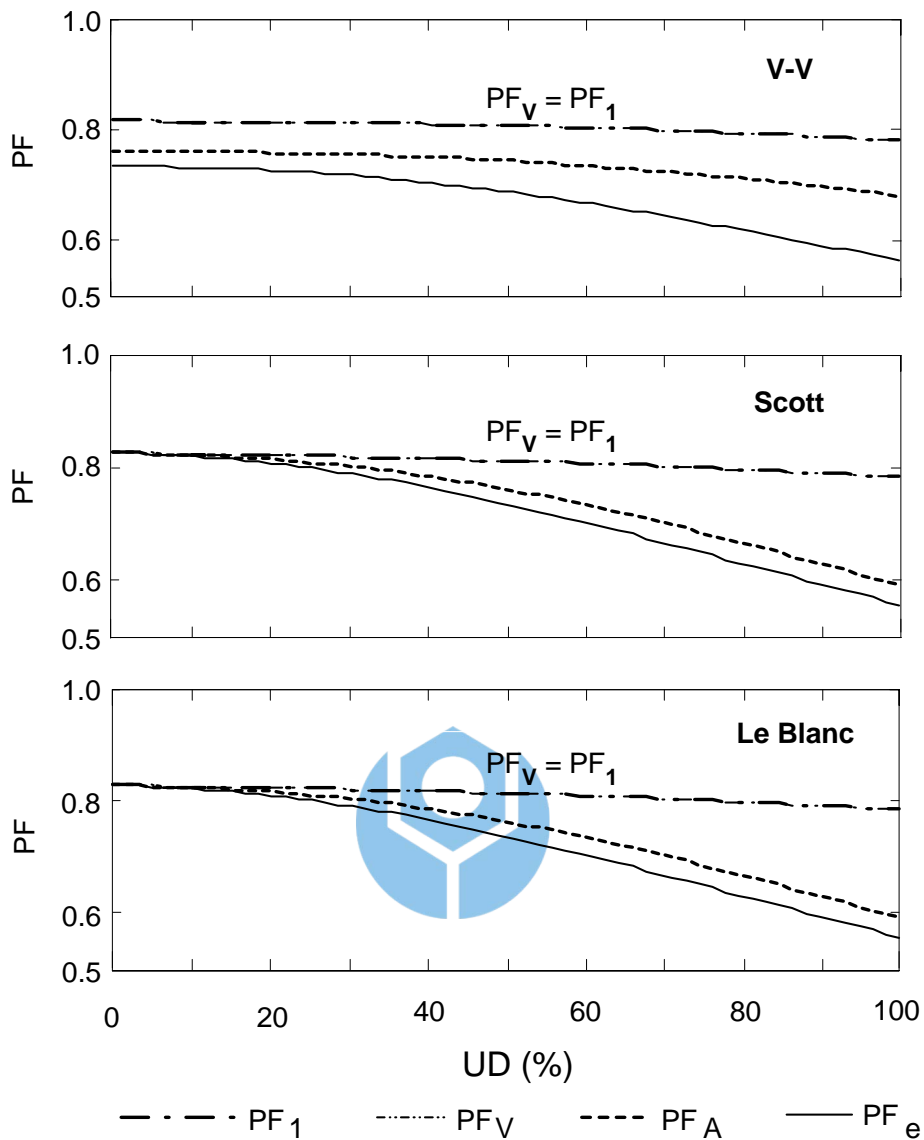


圖 5-6 UD 值對 4 種功率因數值影響的曲線

5.4 實測結果與分析

台灣目前主要有 2 個鐵路電氣化系統，其一為採用 Scott 接線變壓器的台灣高速鐵路系統，因其仍在建構中，尚無法進行實測；其二為運行中的台灣鐵路系統，係採用 Le Blanc 接線變壓器。本節將以其中的樹林變電所實測結果分析之，其電力系統單線圖如圖 5-7 所示。

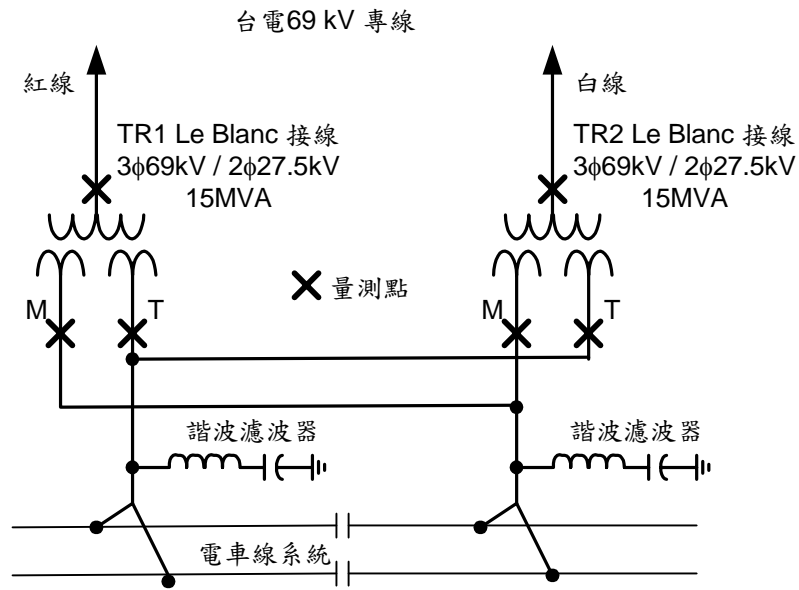


圖 5-7 台灣鐵路樹林變電所電力系統單線圖

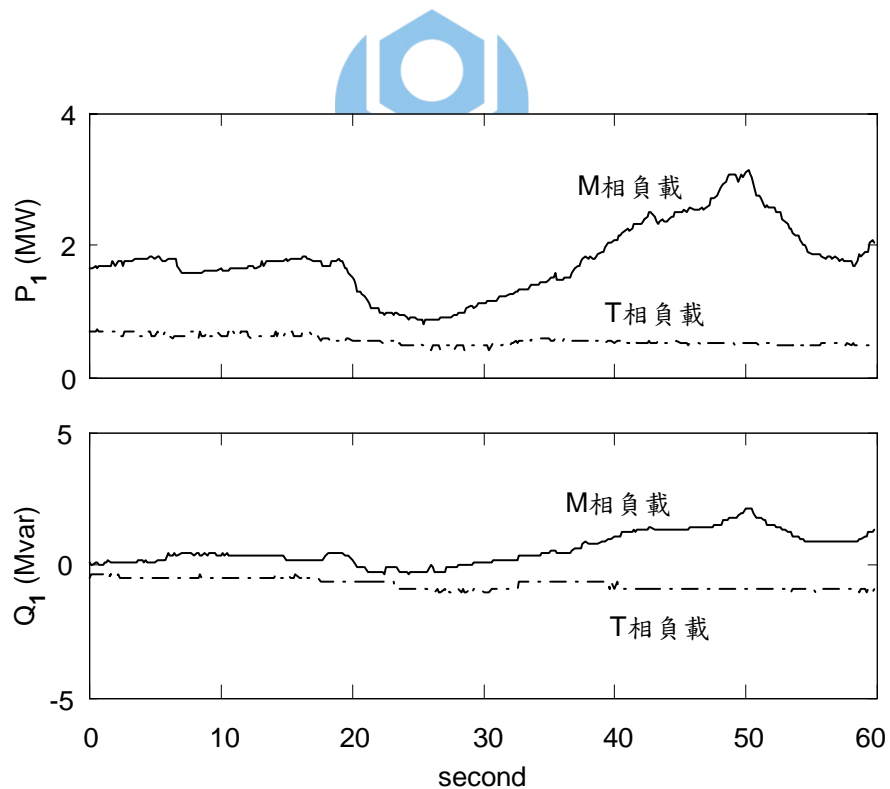


圖 5-8 變壓器二次側某 1 分鐘基本波實功率與虛功率的量測結果

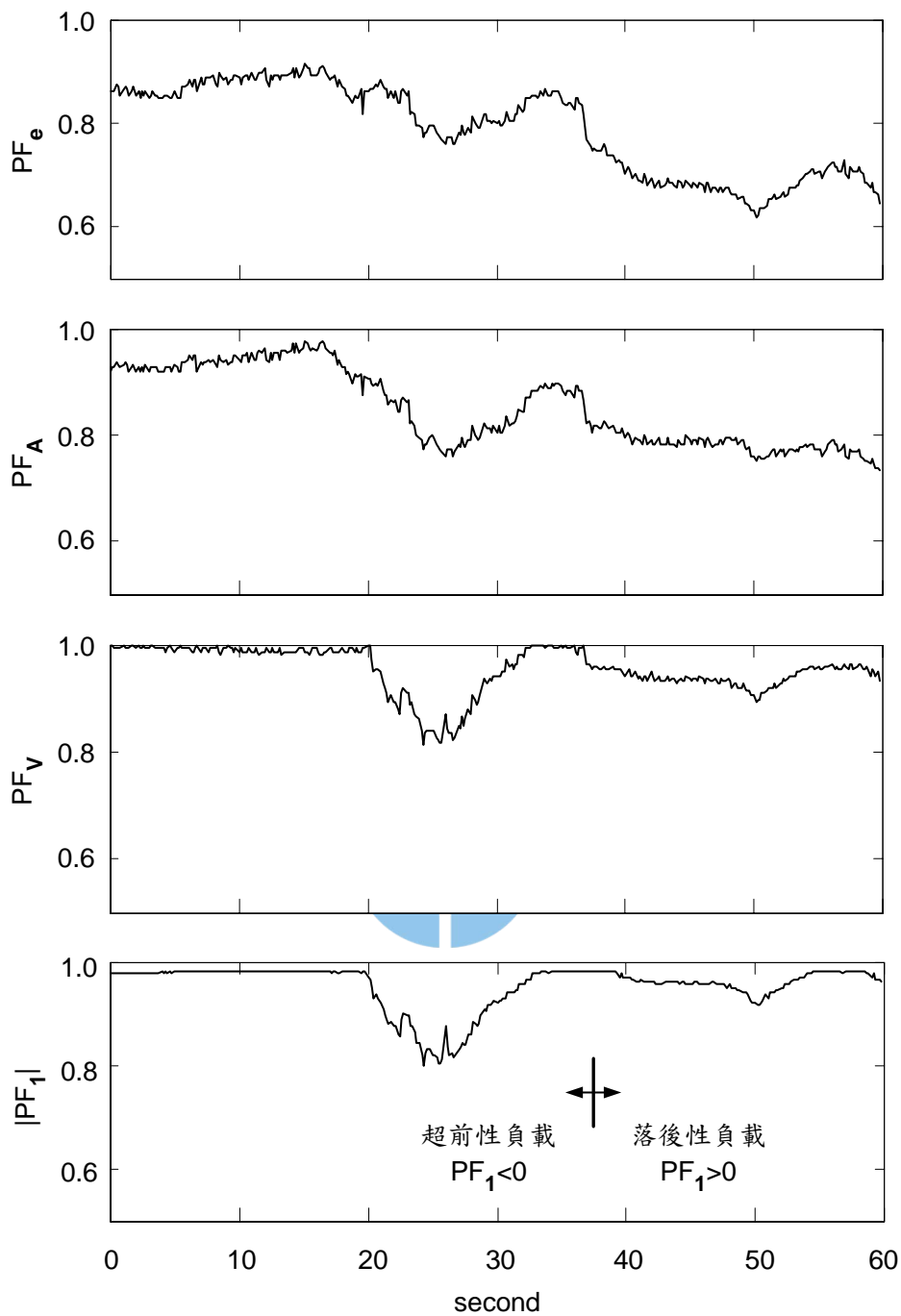


圖 5-9 變壓器一次側某 1 分鐘之 PF_e 、 PF_A 、 PF_V 及 $|PF_1|$ 的計算結果

電源取自台電 69kV 紅與白專線兩條，變電所內有 2 具 3 ϕ 69kV / 2 ϕ 27.5kV 15MVA 相同容量的 Le Blanc 接線變壓器並行運轉。量測點分別為 2 具變壓器的兩側，量測取樣頻率為 1920Hz，亦即 32 點/週(60Hz 系統)，

各相電壓及電流值均同時記錄達 60 分鐘。圖 5-8 表示變壓器二次側某 1 分鐘基本波實功率與虛功率的量測結果，期間 T 相幾乎無載，但虛功率過補償，而 M 相實功率在第 50 秒時上升達 3MW，然後下降；二相總虛功率於第 37 秒之前為超前，之後為落後；圖 5-9 顯示該 1 分鐘的 PF_e 、 PF_A 、 PF_V 及 $|PF_1|$ 的計算結果，因為變壓器二次側有諧波濾波器，所以諧波量不大，因此 $PF_V \approx |PF_1|$ ，注意於虛功率超前時， PF_1 為負值。此外，由於不相等負載的影響，所以 $PF_e < PF_A < PF_V$ ，且在第 50 秒時，負載不相等的情況達最大 $UD = 58.2\%$ ，此時 PF_e 低至 0.62，其較能真實地反應負載特性。

5.5 結語

本章以 4 種功率因數定義，探討比較 V-V 接線、Scott 接線及 Le Blanc 接線等 3 種三相變二相變壓器的負載特性，並以台灣鐵路局樹林變電所實測結果驗證，獲致下列結論：

1. 模擬與實測結果均顯示 PF_e 較能真實地反應負載特性。
2. V-V 接線變壓器結構上原本就有的不平衡性質，無法將二相相等負載轉換為三相平衡負載，亦無法降低二相不相等負載造成三相不平衡問題。
3. Scott 接線及 Le Blanc 接線變壓器於各種負載情況下的結果均相近，表示兩者有相似的負載平衡特性。

第六章 適於長期監測負載特性的資料壓縮技術

6.1 前言

為能完整地監測負載特性，通常必須記錄負載的瞬時電壓及電流波形資料，由先前量測經驗發現，因受記憶體空間限制，每次最多只能量測記錄三相瞬時電壓及電流資料連續 2 天而已；若要長期監測負載特性，則所需的儲存媒體量將甚為可觀；又若需即時的傳輸資訊以便遠端監控等應用，則有限的傳輸頻寬限制將是一大難題；因此，透過資料壓縮(data compression)的技術來減少資訊儲存的空間，或者減少資訊傳遞的時間顯得日益重要。資料壓縮是要減少表示信號所需的資料量，通常資料之間存在著共通性或重覆性的累贅(redundancy)資料，因此，資料壓縮的基本概念就是去除累贅性資料。由於壓縮過程等於是對資料重新編碼(encoding)，所以在解壓縮的過程也必須經過解碼(decoding)；如果訊號中某些特點在原訊號函數定義的領域較不易呈現，則能藉助適當的轉換法將其轉換到另一個較容易顯示訊號特色的領域，因此可先行轉換再進行壓縮，當然解壓縮後亦須反轉換才能還原訊號，圖 6-1 為其概念示意圖。

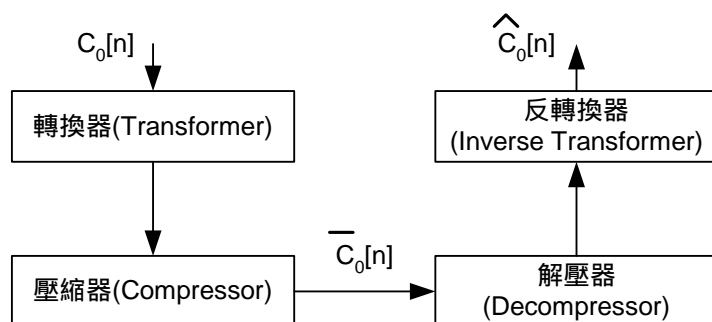


圖 6-1 資料壓縮概念示意圖

圖 6-1 中包含兩個子系統，一為轉換器(transformer)與壓縮器

(compressor)，或稱編碼器(encoder)，另一為反轉換器(inverse transformer)與解壓器(decompressor)，或稱解碼器(decoder)；圖中 $C_0[n]$ 代表壓縮前的原始資料， $\overline{C_0}[n]$ 代表壓縮後的資料，而 $\hat{C_0}[n]$ 則代表解壓縮還原的結果。

6.2 小波轉換與資料壓縮

因為資料壓縮使用的技巧不同而有許多壓縮方式，若依資料壓縮技術分類，可分為無損耗資料壓縮法(lossless data compression)與有損耗資料壓縮法(lossy data compression)兩類[28]。無損耗資料壓縮法的基本原理是「降低累贅」(redundancy reduction)，因為所降低的只是累贅的部份，所有的資訊其實都還保留，解碼後的訊號與原訊號相同，所以又稱為「無雜訊編碼」，如 Huffman 編碼、算術編碼(arithmetic coding)、Shannon-Fano 編碼、同色長編碼(run length encoding, RLE)等。至於有損耗資料壓縮法不僅試圖將累贅去掉，同時也將一些影響比較小的資料去除，通常可得到很可觀的資料壓縮率，但有些資訊已永久失去了，所以有損耗壓縮是指帶有失真的壓縮，常見方法有門檻值編碼(threshold coding)、方塊截短編碼(Block Truncation Coding, BTC)、預測編碼(prediction coding)、轉換編碼(transform coding)、向量量化編碼(vector quantization coding)、分頻編碼(subband coding)、階級式編碼法(hierarchical coding)等[28,58,59]。而為了得到較高的壓縮效率，近年來不斷有新的編碼技巧發展，如小波編碼(wavelet coding)即為影像壓縮的後起之秀，並在語音處理與電腦視覺等研究領域中，亦應用的相當成功，應用小波轉換(wavelet transform)而較有名的編碼包括了嵌入式零樹小波編碼(Embedded Zerotree Wavelet, EZW) [51-53]、架構樹集合分割編碼 (Set Partitioning in Hierarchical Trees, SPIHT)等[54]。本章即以小波轉換為基礎，探討門檻值編碼、向量量化編碼及正規化嵌入式零樹小波編碼(Normalized Embedded Zerotree Wavelet, NEZW)共 3 種不同的壓縮編

碼(coding)技巧，設計適於長期監測負載特性的資料壓縮技術，經實測結果顯示本文所創見的 NEZW 編碼非常適用。

以小波轉換(wavelet transform)為基礎，配合發展不同的壓縮編碼理論，可達資料壓縮之目的。而小波轉換是源自於小波分析(wavelet analysis)的結果，有關小波分析方法的提出可以追溯到 1910 年 Haar 提出的小波正規化正交基底函數。之後在 1984 年的時候，法國地球物理學家 J. Morlet 在分析地震波的局部性質的時候，發現傳統的傅立葉轉換(Fourier transform)，難以達到他的要求，因此將小波的概念引進其信號分析中，對信號進行分解。隨後物理學家 A. Grossman 為小波分析的形成開啟了先河，其對 Morlet 這種對於信號由一個確定函數的分度 a (scale or dilation) 與位移 b (translation) 展開的可行性進行研究，其表示如下[58]：

$$\psi_{a,b}(t) = \psi((t-b)/a) / \sqrt{a}, \quad (b \in \mathbb{R}, a > 0) \quad (6-1)$$

其中 $\psi(\bullet)$ 稱之為母小波(mother wavelet)，而基底函數 $\psi_{a,b}(t)$ 便是在 a 分度及 b 位移下的小波，有時也稱之為子小波(baby wavelet)。較大的 a 值表示小波是由母小波做擴張得到的結果，其將成為一個寬而低頻的基底；相反的，較小的 a 值表示小波是由母小波做壓縮形成一個窄而高頻的基底。但是，不管如何分度或位移，小波的 norm 值始終不會改變，而且與母小波相同，即 $\|\psi_{a,b}(t)\|^2 = \|\psi(\bullet)\|^2$ 。因此，某訊號 $x(t)$ 的連續小波轉換(Continuous Wavelet Transform, CWT)定義為：

$$\text{CWT}(a,b) = \langle x(t), \psi_{a,b}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_{a,b}(t) dt \quad (6-2)$$

其反轉換(Inverse Continuous Wavelet Transform, ICWT)定義為：

$$x(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \text{CWT}(a,b) \psi_{a,b}(t) \frac{dad b}{a^2} \quad (6-3)$$

其中 C_ψ 為正規化常數

當 CWT 的係數(a,b)是連續時，就會有高度的資訊累贅性，所以沒有必要對所有可能的(a,b)值去計算 CWT(a,b)，反而可以用一組離散式集合的基底函數，只對係數的離散格點作計算，就能完全描述離散訊號 $x[k]$ 。首先將小波的分度和位移參數離散化，若取樣週期 T ，令 $a = a_0^m$ ， $b = na_0^m b_0$ ， $t=kT$ ，其中 $k, m, n \in Z$ ，則在這些離散的格點上，一個離散小波轉換 (Discrete Wavelet Transform, DWT) 定義為[58]：

$$DWT(m,n) = \langle x[k], \psi_{m,n}[k] \rangle = \sum_k x[k] \psi^* [(k - na_0^m b_0) / a_0^m] \quad (6-4)$$

其反轉換 (Inverse Discrete Wavelet Transform, IDWT) 定義為：

$$x[k] = \left(\sum_m \sum_n DWT(m,n) \psi^* [(k - na_0^m b_0) / a_0^m] \right) / C_\psi \quad (6-5)$$

由於 Mallat[29] 巧妙地將多層次分析 (Multiresolution Analysis, MRA) 的想法引入了小波分析中，建構了小波轉換的方法，方便地把信號加以分解與重建。1992 年 Daubechie 等[30] 提出以小波轉換為基礎的影像壓縮技術，是為小波影像壓縮應用的先驅。直至 2000 年，小波轉換被國際標準組織 (International Organization for Standardization, ISO) 和國際電話電報諮詢委員會 (International Telegraph and Telephone Consultative Committee, CCITT) 選為影像壓縮標準 JPEG2000 的指定轉換壓縮技術[31,32]，更奠定了小波轉換在影像壓縮上的地位，小波轉換與資料壓縮技術更加蓬勃發展，甚至應用於醫學上如心電圖的壓縮[33]。若能有某種基底在做高頻分析時具有較窄的時間支撐，以得到較好的時間解析度，則能獲得訊號中瞬時態現象的信息；而對於一些變化緩慢的低頻信號，作低頻分析時又能具有足夠的時間支撐，以獲得較好的頻率解析度；而小波轉換恰可以勝任，因為小波轉換的基底具有彈性的時間與頻率調整特性，能自動在高頻時變窄，而在低頻時變寬，是達成時頻分析極有效的工具，其特色是同時在時域和頻域上具有良好的區域分析特質，此為一般訊號處理工具如傅立

葉轉換所沒有的，所以小波轉換已廣泛應用於電腦視覺、影像或語音信號的分析上[58-60]。

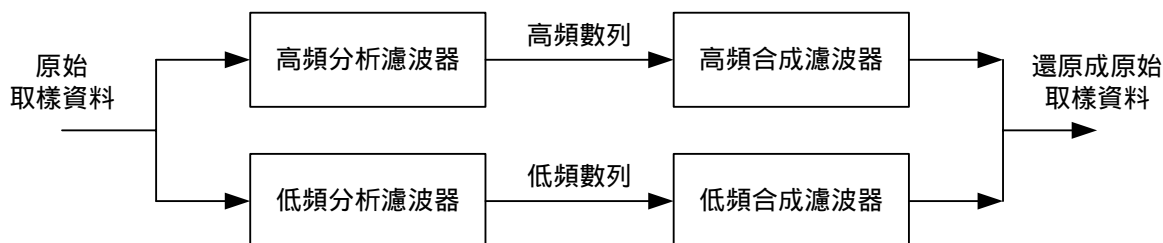


圖 6-2 小波轉換的分頻編碼概念圖

小波理論雖然繁雜，不過在應用上，小波轉換卻與分頻編碼(subband coding)有著極大的相似性，因此實作起來並不複雜。圖 6-2 是小波轉換的分頻編碼概念圖，其顯示整個小波轉換的架構分成兩個部分，一個是小波分解(wavelet analysis)，另一個是小波合成(wavelet synthesis)。圖 6-2 的左半邊是小波分解的部分，小波分解首先要有一個原始取樣資料，其為一個無窮數列。以影像壓縮為例，數列裡的每個元素的值，可以是影像中每個圖點的灰階值；若為電壓或電流波形，則為瞬時取樣值的數列。原始電壓或電流波形的瞬時取樣值將可視為具有一致性的資料以及具有高度變化性的資料兩者組合而成，那麼將原始取樣資料經過低頻分析濾波的步驟之後，所產生的低頻數列，則將保留原始取樣資料的一致性的資料，比如說基本波成分就是原始資料中具有一致性的部分。而原始取樣資料經過高頻分析濾波的步驟之後，所產生的高頻數列，則將保留原始取樣資料的高度變化性的資料，比如說基本波成分以外的調幅頻率電壓變動成分或各次諧波電流成分的部分，都是原始取樣資料中具有高度變化性的資料。因此小波分解的步驟其實就是將原始資料中的一致性資料與高度變化性資料分解成兩筆獨立的資料。圖 6-2 的右半邊，是小波合成的部分，將低頻數列

經過低頻合成濾波之後的數列，與高頻數列經過高頻合成濾波之後的數列，相加起來，就可以還原成原始的取樣資料。

通常在實際的電壓或電流波形中一致性的資料佔大多數，而高度變化性的資料則佔少數，以量化的觀點來看，我們將原始的取樣資料，經過小波分解得到低頻數列與高頻數列，高頻數列裡大部分的值都將非常接近 0，因此高頻數列具有相當大的壓縮空間。我們將圖 6-2 的小波分解與小波合成之間，加上了適用的編碼與解碼的壓縮步驟，便構成了如圖 6-3 的小波轉換與資料壓縮架構。

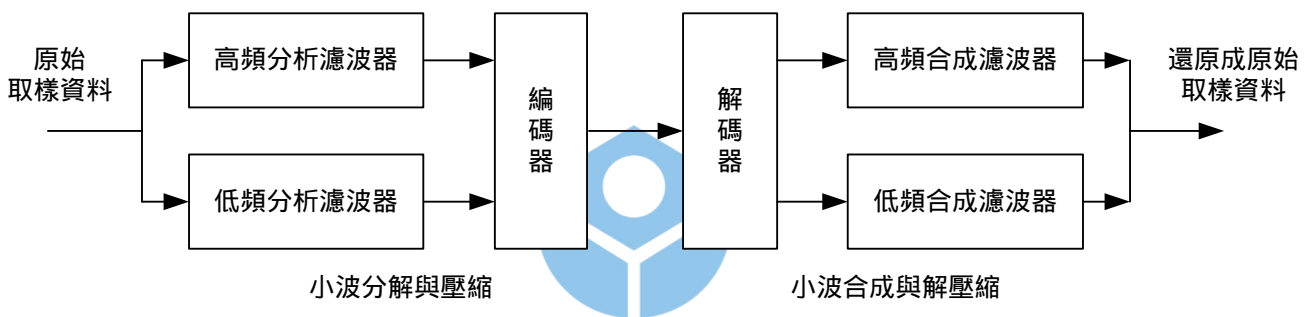


圖 6-3 小波轉換與資料壓縮的架構

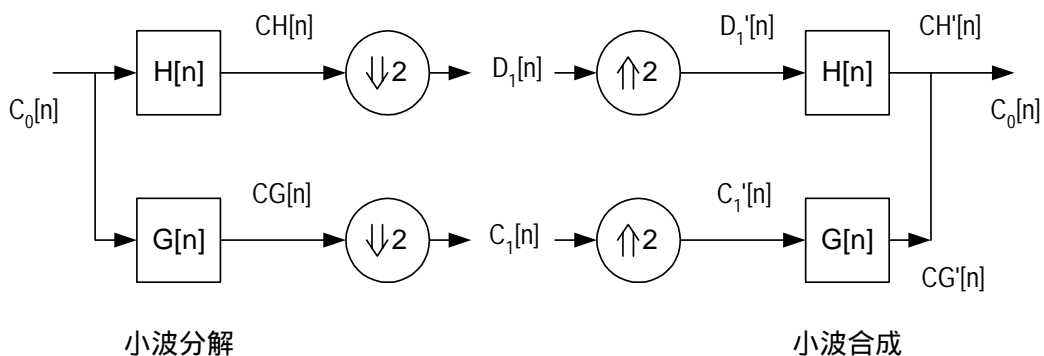


圖 6-4 一層次分析的小波轉換數學符號圖示法

有了小波轉換的概念之後，接著詳細介紹濾波器的運作方法，圖 6-4 是一層次分析的小波轉換數學符號圖示法，圖中以 $C_0[n]$ 表示原始取樣資料， $G[n]$ 及 $H[n]$ 分別代表低頻及高頻濾波器數列，圓型符號內標註 $\downarrow 2$ 者表示降低取樣(down-sampling)，而圓型符號內標註 $\uparrow 2$ 者表示提高取樣(up-sampling)； $C_1[n]$ 及 $D_1[n]$ 分別表示降低取樣後的低頻數列與高頻數列。

決定好所要使用的濾波器係數之後，即可根據進行小波分解的運算，將原始取樣資料與低頻分析濾波器數列作旋積分運算，會得到低頻數列如 (6-4) 式所示；而原始取樣資料與高頻分析濾波器數列作旋積分運算，會得到高頻數列如 (6-5) 式所示；式中運算符號“*”代表著旋積分的運算。

$$CG[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_0[k] \cdot G[n-k] = C_0 * G \quad (6-6)$$

$$CH[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_0[k] \cdot H[n-k] = C_0 * H \quad (6-7)$$

要將低頻數列與高頻數列重建還原成原始取樣資料，並不需要保留低頻數列與高頻數列上所有的數值，小波轉換只要保留低頻數列與高頻數列裡面一半的資料就可以達到還原的目的，當然這一半的取法指的是保留數列中的奇數項或偶數項。因此並不需要把低頻數列與高頻數列裡面所有的數值進行壓縮，只需要將原本數列中保留的奇數項或偶數項進行壓縮即可，這樣的一個動作稱為降低取樣。壓縮過的資料進行解壓縮之後，其取樣數只有原來的一半，不能進行小波合成濾波的動作，因此我們要將被降低取樣的數列提高取樣，被保留下來的資料就擺在奇數項或是偶數項，沒有被保留的偶數項或是奇數項由於資料遺失，所以沒有被保留的項都設定為 0。圖 6-4 中，高頻數列 $CH[n]$ 經過降低取樣後的結果為 $D_1[n]$ ，再經提高取樣的步驟後的結果為 $D_1'[n]$ ，而低頻數列 $CG[n]$ 經過降低取樣後的結果為 $C_1[n]$ ，再經提高取樣的步驟後的結果為 $C_1'[n]$ ，以偶數項取樣為例，降

低取樣後再經提高取樣的數列前後關係如下式：

$$\begin{cases} D_1'[2n] = CH[2n] \\ D_1'[2n + 1] = 0 \\ C_1'[2n] = CG[2n] \\ C_1'[2n + 1] = 0 \end{cases} \quad (6-8)$$

小波合成的步驟與小波分解的步驟相似，(6-7)式及(6-8)式分別是低頻與高頻合成濾波所進行的旋積分運算式。

$$CG'[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_1'[k] \cdot G[n - k] = C_1' * G \quad (6-9)$$

$$CH'[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} D_1'[k] \cdot H[n - k] = D_1' * H \quad (6-10)$$

最後把合成濾波後的 $CG'[n]$ 和 $CH'[n]$ 這兩個數列相加的結果，就可以還原成原來的取樣資料如(6-9)式，這樣便完成了小波轉換的整個過程。

$$C_0[n] = CG'[n] + CH'[n] \quad (6-11)$$

6.3 編碼(Coding)

由於小波轉換可用於資料分解與重建，利用此特性於資料壓縮上，可在資料分解中進行編碼，而壓縮過程就如同對資料重新編碼，以求減少表示訊號所需的資料。由於編碼的技巧種類繁多，本文將討論門檻值編碼(Threshold coding, TH)、向量量化編碼(Vector Quantization, VQ)及本文所創見的正規化嵌入式零樹小波編碼(Normalized Embedded Zerotree Wavelet, NEZW)，比較其應用於電力品質擾動的資料壓縮效果。為了表示資料壓縮的效果，在不考慮檔案格式及配置的影響下，定義壓縮比CR(Compression Ratio)如下：

$$CR = \text{原始資料檔案大小} / \text{壓縮的資料檔案大小} \quad (6-12)$$

另外除了壓縮比外，尚須注重訊號的還原性，為評估壓縮重建後的訊號品質，定義正規化均方根誤差 NMSE(Normalized Mean-Square Error)如下：

$$\text{NMSE} = \frac{\|C_0[n] - \hat{C}_0[n]\|^2}{\|C_0[n]\|^2} \quad (6-13)$$

NMSE值愈低代表重建訊號與原始訊號間的誤差愈小；反之，NMSE值愈高代表誤差愈大。

6.3.1 門檻值編碼(Threshold Coding, TH)

門檻值分析是一種簡單的編碼方式，在[44-46]中作者曾使用多層次分析之小波轉換方法來降低資料的儲存量，文中提到有相當不錯的壓縮效果。門檻值編碼概念是對欲做壓縮處理的資料先設定一門檻值，就如同一比較器的效果，當輸入信號的大小高於門檻值時，輸出信號維持原信號大小，如果輸入信號的大小低於門檻值時，則設為零。然後非零的資料可用兩個位元組(byte)表示，第一個位元組代表該資料的位置，第二個位元組則表示資料的大小。所以在此概念下，先將原始取樣資料進行多層次分析之小波轉換，然後保留低頻數列，而將高頻數列經門檻比較器篩選後，使低於門檻值的數列設為零，再將新的高頻數列繼續利用此方式編碼，僅需記錄非零的數列資料便可，所以可有效降低記憶體容量。圖6-5所示為使用小波3層次分析法(MRA3)經門檻值編碼(TH)壓縮與重建的流程方塊圖，待壓縮原始取樣訊號 $C_0[n]$ 經小波分解為 $C_1[n]$ 與 $D_1[n]$ ，其中高頻數列 $D_1[n]$ 須經過一門檻值(Threshold)編碼處理，若低於門檻值，則輸出數列 $\hat{D}_1[n]$ 為零，反之則直接輸出其原始值。通常第 s 層次分析的門檻值 η_s 可定義如下：

$$\eta_s = u \times \max\{|D_s[n]|\} \quad (6-14)$$

其中 u 為門檻係數，且 $0 < u < 1$ 。

例如設定 $u=0.5$ 時，則門檻值 η_s 為數列 $D_s[n]$ 之最大絕對值的 50%。經門檻值 η_s 編碼後，輸出數列以下列方式決定：

$$\hat{D}_s[n] = \begin{cases} D_s[n] & , |D_s[n]| \geq \eta_s \\ 0 & , |D_s[n]| < \eta_s \end{cases} \quad (6-15)$$

使用此簡單的門檻值分析之後，各層次高頻數列 $D_s[n]$ 絕對值小於 η_s 的部份，將之視為雜訊而將其濾除，實際需要儲存的資料是 $D_s[n]$ 中非零值的部份及其位址，另外還有各層次低頻數列 $C_s[n]$ 。雖然使用此方法來壓縮資料將會造成部份資訊的遺失，但如果其重建還原後的波形與原波形相差不多，此方法是一個既簡單又有效的壓縮方法。

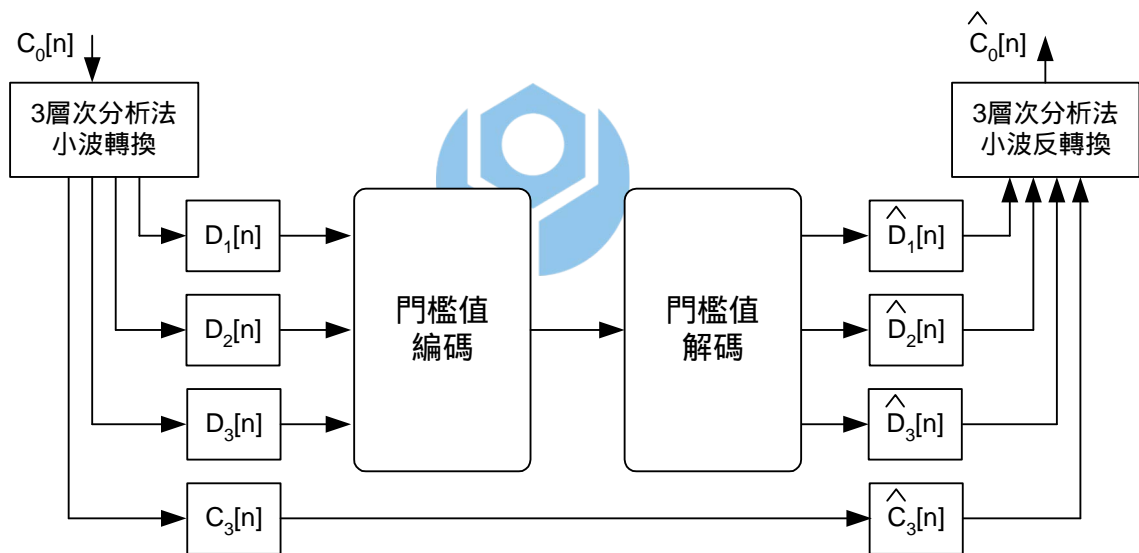


圖 6-5 使用小波 3 層次分析法(MRA3)經門檻值編碼(TH)壓縮與重建的流程方塊圖

6.3.2 向量量化編碼(Vector Quantization, VQ)

利用向量量化編碼時，須先將原始訊號取樣資料切割成適當區塊大小，並視每一區塊為一個向量[44,46]，一個向量所包含的元素個數定義為

它的維度，例如 $n \times m$ 的向量其維度為 $n \times m$ 。以影像處理例，它可以是影像中一個 $n \times m$ 的矩陣；而在電力訊號的應用中，每個訊號向量 X 與一組代表性樣本 $Y_j, j=1, 2, \dots, M$ ，稱為碼向量(codevectors or codewords)者進行比對。這些碼向量的維度也是 $L= n \times m$ ，而且共同組成所謂的碼簿(codebook)。最接近原向量 X 的碼向量會被選出來，亦即，從編碼簿中選出 Y_k ，使得對所有的碼向量 $Y_j, j=1, 2, \dots, M$ ，滿足 $d(X, Y_k) \leq d(X, Y_j)$ ，而其中 $d(X, Y_j)$ 表示原向量 X 與碼向量 Y_j 的誤差。最常被用來估算誤差值的方法是使用兩個向量的歐基里德(Euclidean)距離的平方，如下式所示

$$d(X, Y_j) = \|X - Y_j\|^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - y_{ji})^2 \quad (6-16)$$

其中 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^t$

$Y_j = (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jn})^t$

在找到和 X 最接近的碼向量 Y_k 後，即 $d(X, Y_k)$ 最小時， Y_k 的指標 k 便以 $\log_2 M$ 個位元表示並予以送出。在解碼端也有一份同樣的編碼簿，因此在收到指標 k 後，馬上可以從編碼簿中找出 Y_k ，並且用 Y_k 代替了 X 。和編碼端相比，解碼端的工作簡單多了，只是個從編碼簿中找出第 k 個碼向量的動作而已。圖6-6所示為使用小波3層次分析法(MRA3)經向量量化編碼(VQ)壓縮與重建的流程方塊圖。

於各層次分析的碼簿，是指對不同階層的小波係數，分別給向量維度或碼簿大小；使用不同的維度或碼簿大小將會有不同的量化效果，亦將會有不同的壓縮效果及還原誤差。一般最常用的碼簿設計方法是使用LBG(Linde-Buzo-Gray)演算法[46,61]。由小波分頻理論可知，越低頻的係數包含的能量越大，對重建資料上較為重要；相對的，越高頻的係數所包含的能量越小，在重建時較不重要。因此若在較低頻帶配置較多的碼向量，以得到較低的失真，而在較高頻帶則配置較少的碼向量，以達到較高

的壓縮率，如此可兼顧壓縮率與資料重建的品質，例如高頻係數設定碼簿大小可選擇2、4或8，低頻係數設定碼簿大小則可選擇8、16、32或64。

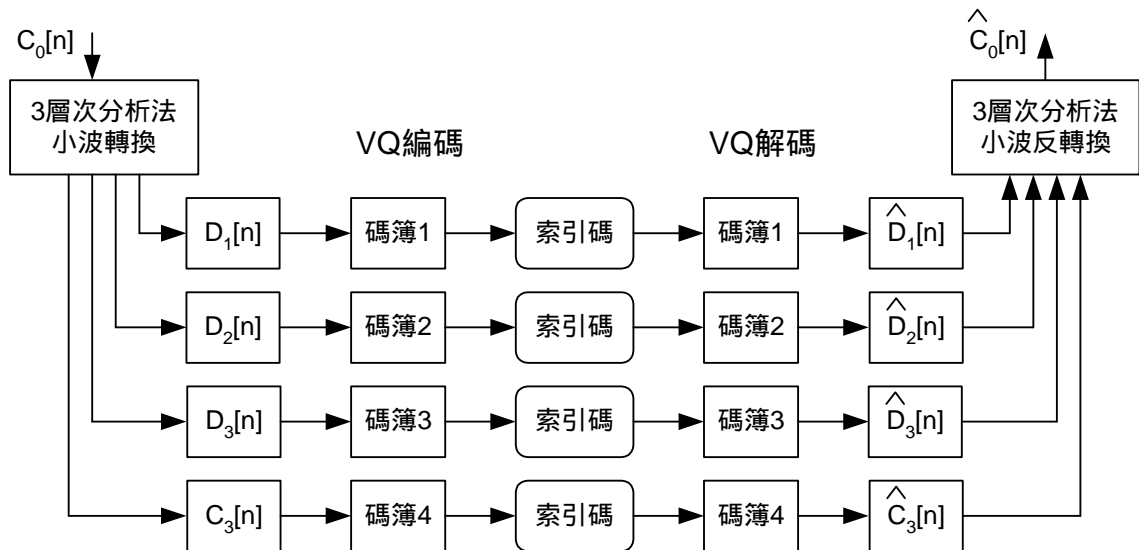


圖 6-6 使用小波 3 層次分析法(MRA3)經向量量化編碼(VQ)壓縮與重建的流程方塊圖

一般編碼簿的產生方式是從我們所想要壓縮的原始訊號取樣資料區塊中選出幾個具有代表性區塊做為訓練集(training set)，然後以此訓練集訓練出編碼簿，這種方法的好處是我們並不需知道關於這些訊號的統計資料或者相關資訊。事實上，要編碼某一特定的訊號，最佳化編碼簿的產生應該就是要使用此特定訊號本身做為訓練集，這種編碼簿我們稱之為區域編碼簿(local code book)。使用區域編碼簿通常都可以有相當好的壓縮效能，這是因為該訊號所持有的特徵都會被自己的區域編碼簿充分地考慮進去，因此都可找到具有代表性的碼向量。但不幸的是，區域編碼簿有兩個缺點，其一是每編碼一組信號就得產生它所獨用的編碼簿，這是相當費時的工作，也會使得不可能達成即時處理；其次，區域編碼簿也必須送出給

解碼端，這個額外的資料傳送會降低造成壓縮效能的。要解決區域編碼簿所帶來的這些問題，我們可以使用多組具有代表性的訊號做為訓練集，並產生通用編碼簿(global codebook)。如果要編碼的訊號相似性較高，那麼通用編碼簿將可產生很好的效果。相對的，如果要編碼的信號有很大的不同，通用編碼簿的效能可能就會遠遜於區域編碼簿，尤其是所選用的訓練集又很小的時候更明顯。在這種情況下，我們應該儘可能選用大量而且很多種類的信號來做為訓練集，如此所得到的編碼簿才能確保各種信號都有一定水準的效能。有許多VQ編碼簿的取得方法，如應用於類神經網路中的自組織映射(self-organization mapping)及模擬退火(simulated annealing)等方法，本文以常被採用的LBG演算法產生碼簿，其演算步驟如下[46,61]：

(1) 初始化設定，先定出碼簿的大小 M ，失真臨界值 ε ，初始碼簿

$Y_{(0)} = \{Y_{0,i}; 1 \leq i \leq M\}$ 以及訓練序列 $T = \{X_n; n = 1, 2, 3, \dots, N\}$ ，其中 $N \gg M$ 。先設疊代計數 $m=0$ ，初始失真 $D_{(0)} = \infty$ 。

(2) 在 m 次疊代，碼簿 $Y_{(m)} = \{Y_{m,i}; 1 \leq i \leq M\}$ ，找出訓練序列 T 的最小誤差分割，也就是說對某一 X_n ，若 $d(X_n, Y_{m,i}) \leq d(X_n, Y_{m,j})$ ， $\forall j \neq i$ ，則 $X_n \in C_i$ 。其中 $C_i, 1 \leq i \leq M$ 為由 N 個向量所分類而成的 M 個決策區域。

(3) 計算平均失真

$$D_{(m)} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \min_{1 \leq i \leq M} d(X_n, Y_{m,i}) \quad (6-17)$$

若 $\frac{D_{(m-1)} - D_{(m)}}{D_{(m-1)}} \leq \varepsilon$ ，則將碼簿 $Y_{(m)}$ 輸出，並退出疊代的過程，否則繼續疊代的過程。

(4) 計算每一決策區之重心並取代先前之碼簿當做下一次訓練的參考碼簿， $m=m+1$ 回到步驟(2)，即 $Y_{(m+1)} = \{Y_{m+1,i}; 1 \leq i \leq M\}$ 。

(5) 假設屬於 C_i 的向量有 L_i 個，則新估測的 $Y_{m+k,i}$ 是使得

$$\frac{1}{L_i} \sum_{X_n \in C_i} d(X_n, Y_{m+k,i}) \quad (6-18)$$

為最小的值, 若 $d(X_n, Y_{m+k,i}) = (X_n - Y_{m+k,i})^T (X_n - Y_{m+k,i})$, 則 $Y_{m+k,i}$ 為 L_i 個向量的算術平均值。

6.3.3 正規化嵌入式零樹小波編碼(NZW)

嵌入式零樹小波編碼(Embedded Zerotree Wavelet, EZW)已被證實在影像壓縮應用方面效果很好的方法[51-53], 小波轉換與資料壓縮亦被選為影像壓縮標準 JPEG2000 的指定壓縮技術[31,32]。EZW 編碼的啟始步驟須先在經小波分解後所得到的高頻係數樹狀結構中搜尋最大值 D_{max} , 據以決定啟始門檻值 2^k 進行編碼, 其中門檻係數 $k = \log_2 D_{max}$; 然後逐次遞減 k 值, 亦即逐漸降低門檻值以進行編碼直到可接受的壓縮比及精確度為止。本文所提出的正規化嵌入式零樹小波編碼(Normalized Embedded Zerotree Wavelet, NZW)是適於應用在電力系統交流電壓及電流波形壓縮的改良方法, 主要改進了 EZW 編碼的啟始步驟, 亦即省略 EZW 編碼搜尋最大值及計算啟始門檻係數 k 值的步驟; 對於正規化的交流電壓及電流訊號標么值, 由於經小波分解後所得到的高頻數列值均小於 2, 故均可取門檻係數 $k=0$, 即以 $\frac{1}{2^k} = \frac{1}{2^0} = 1$ 作為啟始門檻值進行編碼, 然後逐次遞減門檻係數 k 值, 即逐漸降低門檻值(亦即 $\frac{1}{2^0}$ 、 $\frac{1}{2^1}$ 、 $\frac{1}{2^2}$ 、...)以進行編碼直到可接受的壓縮比及精確度為止。其演算法說明如下:

首先, 應先設定每次壓縮處理的原始取樣訊號長度, 例如 16、32 或 64 取樣點等, 稱為取樣訊號區塊化(blocking), 使能依區塊大小即時(real time)進行壓縮; 此外, 有兩種清單(list)定義, 其一為 RL 清單(refinement list), 內容包含以當時門檻值界定原始高頻係數為重要(significant), 而需

保留並傳送至解碼端的高頻係數；另一為 SL 清單(search list)，內容包含以當時門檻值界定原始高頻係數為尚不重要(non-significant) 的高頻係數；若以最低門檻值取至 $\frac{1}{2^4}$ 為例($k=4$)，則 NEZW 編碼及解碼的步驟如下：

A. NEZW 編碼(encoding)演算法

1. 初始化設定，即設定 $k=0$ 及清空 RL 內容。
2. 將列名於 RL 中的所有高頻係數 $D_s[n]$ ，輸出其最重要的位元(bit)。
3. 將未列名於 RL 中的所有高頻係數 $D_s[n]$ 均列名於 SL 中，且依其母先子後的母子關係順序排列，並進行下列處置：
 - (1) 若 $D_s[n] \geq 2^{-k}$ ，則輸出 POS(表示正值)至符號集 S 中，並將 $D_s[n]$ 列名於 RL 中。
 - (2) 若 $D_s[n] \leq -2^{-k}$ ，則輸出 NEG(表示負值)至符號集 S 中，並將 $D_s[n]$ 列名於 RL 中。
 - (3) 若 $2^{-k} > D_s[n] > -2^{-k}$ ，表示 $D_s[n]$ 沒有子代(descendant)是重要的(significant)，則輸出 ROOT(表示根值)至符號集 S 中，並將其所有子代自 SL 中移除。
 - (4) 其它則輸出 ZERO(表示零值)至符號集 S 中。
4. 若 $k \leq 4$ ，則令 $k=k+1$ ，回到步驟 2 繼續處理；否則演算完成。

B. NEZW 解碼(decoding)演算法

1. 初始化，即設定 $k=0$ 及清空 RL 內容，且令解碼的高頻係數 $\hat{D}_s[n]$ 均為零。
2. 將列名於 RL 中所有解碼的高頻係數 $\hat{D}_s[n]$ ，輸入其最重要位元(bit)，

3. 將未列名於 RL 中的所有高頻係數 $\hat{D}_s[n]$ 均列名於 SL 中，且依其母先子後的母子關係順序排列，再輸入 1 個符號集 S 並進行下列處置：
 - (1) 若 S=POS(表示正值)，則設定 $\hat{D}_s[n] = 2^{-k}$ ，並將其列名於 RL 中。
 - (2) 若 S=NEG(表示負值)，則設定 $\hat{D}_s[n] = -2^{-k}$ ，並將其列名於 RL 中。
 - (3) 若 S=ROOT(表示根值)，則將其所有子代自 SL 中移除。
 - (4) 其它若 S=ZERO(表示零值)，則不為處理。
4. 若 $k \leq 4$ ，則令 $k=k+1$ ，回到步驟 2 繼續處理；否則演算完成。

圖 6-7 為使用小波 3 層次分析法(MRA3)經正規化嵌入式零樹小波編碼(NEZW)壓縮與重建的流程方塊圖，圖 6-8 為一組取樣訊號經 3 層次 MRA 分解後的高頻數列之例，可見各層次的係數呈現倒金字塔狀的數狀排列；若 NEZW 編碼的最低門檻值取至 $\frac{1}{2^4}$ ，以圖 6-8 的取樣訊號為例，其經 NEZW 編碼的示意圖如圖 6-9 所示。

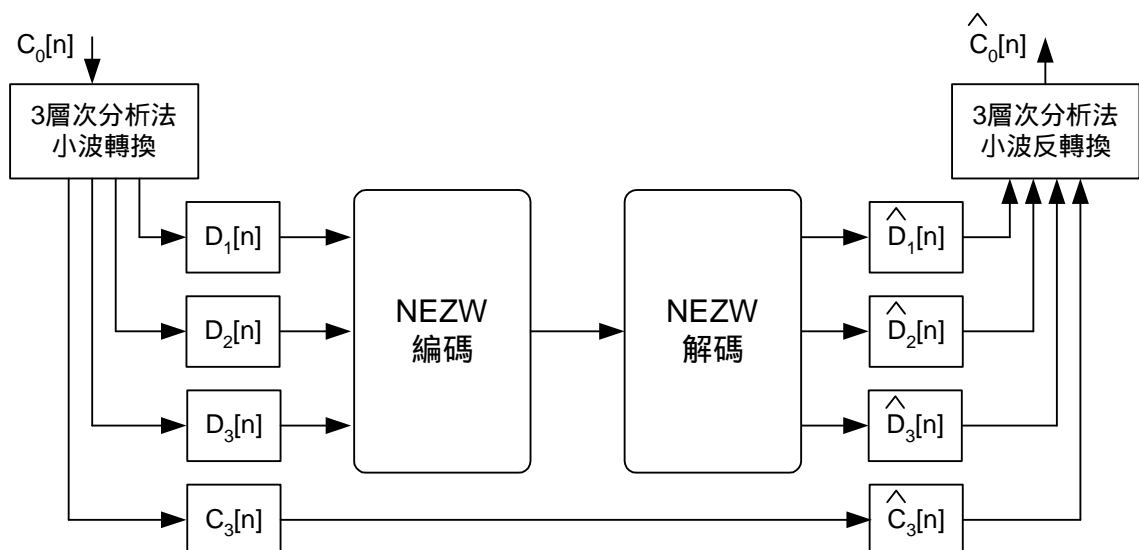


圖6-7 使用小波3層次分析法(MRA3)經NEZW
壓縮與重建的流程方塊圖

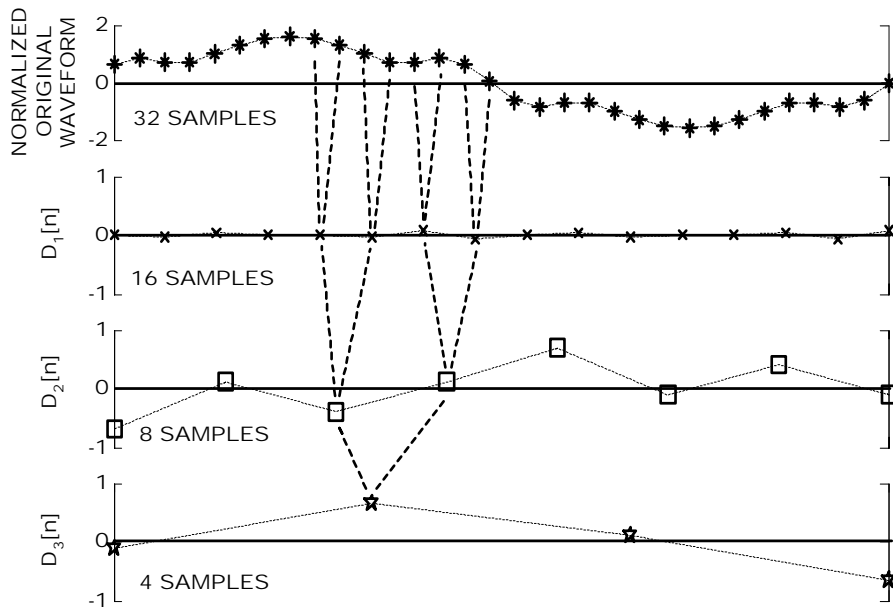


圖6-8 一組取樣訊號經3層次MRA分解後的高頻係數之例

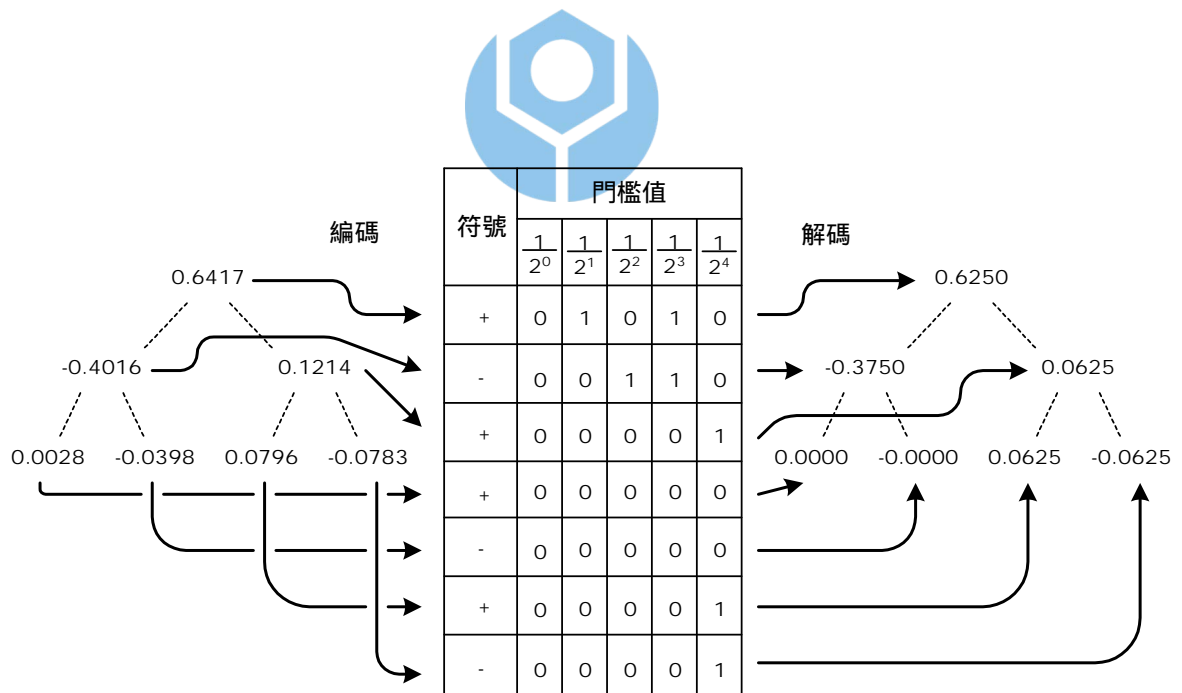


圖6-9 以圖6-8的取樣訊號為例經NEZW編碼的示意圖

6.4 給定的電壓變動及諧波電流波形壓縮測試結果

本節將針對給定的電壓變動及諧波電流波形以門檻值編碼(TH)、向量化編碼(VQ)及正規化嵌入式零樹小波編碼(NEZW)進行資料壓縮測試比較其適用性。給定的原始訊號取樣率為每週期 64 點,均經 MRA 小波轉換,基本上有非常多的小波母函數,本文分析選用 Biorthogonal-3.3,在文獻[46]顯示其非常適用於電力訊號;而 3 種資料壓縮編碼技巧的條件及表示如下:

1. $MRA_x_NEZW2^{-y}$ 表示經 x 層次 MRA 分析,且利用 NEZW 編碼,其門檻係數最低降至 y ,亦即門檻值 $\frac{1}{2^y}$ 。
2. MRA_x_TH 表示經 x 層次 MRA 分析,且利用 TH 編碼,其門檻係數固定為 $u=0.5$ 。
3. MRA_x_VQ 表示經 x 層次 MRA 分析,且利用 VQ 編碼,其碼簿設計採用 LBG 訓練,各層次碼簿大小如表 6-1。

表 6-1 VQ 編碼之各層次碼簿大小

層次 s	D_s	C_s
$s=1$	2	64
$s=2$	4	32
$s=3$	8	16
$s=4$	4	8
$s=5$	2	8

A. 電壓變動(voltage fluctuations)

瞬時的電壓變動波形可如下式描述：

$$v(t) = \sqrt{2}V_{rms} \left[1 + \frac{1}{2} \sum_n \Delta V_{f_n} \sin(2\pi f_n t + \phi_n) \right] \sin(2\pi f_{sys} t) \quad (6-19)$$

其中 f_{sys} 為基本波頻率

V_{rms} 為電壓的基本波均方根值

ΔV_{fn} 為調幅頻率的電壓變動成分

通常對於電壓變動的管制量僅需考慮 $f_n = 0.1\text{Hz} \sim 30\text{Hz}$ 的範圍即可，而電壓變動大小的定義如下式：

$$\Delta V = \sqrt{\sum_n (\Delta V_{fn})^2} \quad (6-20)$$

表 6-2 為給定的電壓變動波形測試結果，表中第 1 列為給定電壓的調幅頻率之電壓變動成分，表中第 2 列起為給定電壓經 3 種編碼壓縮重建的結果，由表 6-2 結果可觀察到下列現象：

表 6-2 給定的電壓變動波形測試結果

	V_{rms}	調幅頻率的電壓變動成分					ΔV (%)	CR	NMSE
		ΔV_{01}	ΔV_{05}	ΔV_{10}	ΔV_{15}	ΔV_{30}			
給定值	1	0.031	0.052	0.080	0.047	0.003	11.08		
MRA3_NEZW2-6	1	0.031	0.052	0.080	0.047	0.003	11.08	6.12	1.51E-06
MRA3_NEZW2-5	1	0.031	0.052	0.080	0.047	0.003	11.08	6.92	5.57E-06
MRA3_NEZW2-4	1	0.031	0.052	0.080	0.047	0.003	11.08	7.89	1.37E-05
MRA3_NEZW2-3	1	0.031	0.051	0.079	0.046	0.029	11.06	7.95	1.40E-05
MRA4_NEZW2-6	1	0.031	0.052	0.080	0.047	0.003	11.08	8.01	1.44E-05
MRA4_NEZW2-5	1	0.031	0.052	0.080	0.047	0.003	11.07	10.69	2.99E-05
MRA4_NEZW2-4	1	0.031	0.051	0.079	0.047	0.003	11.05	11.54	5.10E-05
MRA4_NEZW2-3	1	0.031	0.051	0.079	0.046	0.029	10.99	12.80	1.91E-04
MRA2_TH	1	0.031	0.052	0.080	0.047	0.003	11.08	3.75	4.95E-05
MRA3_TH	1	0.031	0.052	0.080	0.047	0.003	11.08	6.87	7.12E-05
MRA4_TH	1	0.030	0.050	0.077	0.045	0.003	10.66	11.90	2.11E-03
MRA5_TH	1	0.028	0.048	0.073	0.042	0.003	10.10	18.60	1.14E-01
MRA2_VQ	1	0.027	0.052	0.077	0.046	0.004	10.72	3.54	3.00E-04
MRA3_VQ	1	0.016	0.041	0.061	0.031	0.007	8.17	4.23	2.10E-03
MRA4_VQ	1	0.019	0.028	0.044	0.020	0.010	5.98	4.70	3.55E-03
MRA5_VQ	1	0.010	0.023	0.036	0.021	0.006	4.90	4.87	1.24E-02

1. 3 種編碼壓縮結果的 CR 及 NMSE 值均隨著 MRA 層次增加而變大。
2. NEZW 編碼在相同的 MRA 分析層次時，其 CR 及 NMSE 值均隨著門檻值降低而變小。
3. 對於電壓變動波形壓縮結果，若以 3 層次 MRA 分析(MRA3)比較，其壓縮效果以 NEZW 編碼最佳，其次為 TH 編碼，而最差為 VQ 編碼。

B. 諧波電流(harmonic currents)

受諧波擾動的瞬時電流波形可如下式描述：

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2}I_1 \sin(\omega_1 t + \theta_1) + \sum_{h=2}^{\infty} \sqrt{2}I_h \sin(h\omega_1 t + \theta_h) \quad (6-21)$$

其中 I_0 為電流直流成分

I_1 為電流的基本波均方根值

$\omega_1 = 2\pi f_1 = 2\pi f_{\text{sys}}$ 為基本波的角頻率

h 為諧波階次

因此，總諧波電流失真 THDi 的定義如下式：

$$\text{THDi} = \frac{[\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2]^{\frac{1}{2}}}{I_1} \quad (6-22)$$

因此，總諧波電壓失真 THDv 的定義如下式：

$$\text{THDv} = \frac{[\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2]^{\frac{1}{2}}}{V_1} \quad (6-23)$$

針對給定的諧波電流波形以 3 種編碼壓縮測試結果如表 6-3，表中第 1 列為給定諧波電流的各次諧波電流成分，表中第 2 列起為給定諧波電流

經 3 種編碼壓縮重建的結果，由表 6-3 結果可觀察到下列現象：

1. 3 種編碼壓縮結果的 CR 及 NMSE 值均隨著 MRA 層次增加而變大。
2. NEZW 編碼在相同的 MRA 分析層次時，其 CR 及 NMSE 值均隨著門檻值降低而變小。
3. 對於諧波電流波形壓縮結果，若以 3 層次 MRA 分析(MRA3)比較，其壓縮效果以 NEZW 編碼最佳，其次為 VQ 編碼，而最差為 TH 編碼。

綜觀前述，TH 編碼適於電壓變動波形壓縮，VQ 編碼適於諧波電流波形壓縮，而 NEZW 編碼壓縮則均適用且效果佳。

表 6-3 給定的諧波電流波形測試結果

	基本波成分	諧波電流成分				THDi (%)	CR	NMSE
		5th	7th	11th	13th			
給定值	1	0.1	0.05	0.03	0.02	11.75		
MRA3_NEZW2-6	1	0.100	0.049	0.029	0.019	11.54	3.65	1.19E-04
MRA3_NEZW2-5	1	0.100	0.049	0.028	0.018	11.49	3.76	1.47E-04
MRA3_NEZW2-4	1	0.099	0.048	0.027	0.017	11.46	4.26	1.85E-04
MRA3_NEZW2-3	1	0.079	0.039	0.005	0.006	9.08	6.10	2.18E-03
MRA4_NEZW2-6	1	0.100	0.048	0.025	0.015	11.41	3.84	2.09E-04
MRA4_NEZW2-5	1	0.100	0.045	0.024	0.013	11.39	4.16	2.44E-04
MRA4_NEZW2-4	1	0.095	0.043	0.022	0.011	10.76	4.57	4.29E-04
MRA4_NEZW2-3	1	0.079	0.039	0.005	0.006	8.95	7.11	2.24E-03
MRA2_TH	1	0.105	0.041	0.021	0.011	11.52	3.11	6.40E-04
MRA3_TH	1	0.096	0.040	0.021	0.011	10.76	3.14	1.04E-03
MRA4_TH	1	0.097	0.040	0.021	0.011	10.67	3.14	1.04E-03
MRA5_TH	1	0.094	0.041	0.021	0.011	10.53	3.40	1.25E-01
MRA2_VQ	1	0.104	0.052	0.026	0.017	12.04	3.46	2.07E-04
MRA3_VQ	1	0.105	0.050	0.026	0.017	12.04	4.08	1.97E-04
MRA4_VQ	1	0.106	0.051	0.027	0.018	12.12	4.49	4.33E-04
MRA5_VQ	1	0.109	0.055	0.029	0.019	12.65	4.63	9.22E-03

6.5 現場實測負載資料壓縮結果

本節以某直流電弧爐(DC EAF)煉鋼廠及某鐵路電氣化軌道負載的變電站進行現場實測，記錄其 3 ϕ 3W 電壓及電流波形達 15 分鐘，取樣率為每週期 64 點，所以每個測量通道均有 3,456,000 筆原始取樣資料，共有 6 個測量通道，資料量甚為龐大約達 345MB。根據前節對於給定的電壓變動及諧波電流波形壓縮測試結果顯示 3 層次 MRA 分析(MRA3)的 CR 與 NMSE 值足可接受，本節亦沿用之，即以 MRA3 配合 3 種編碼壓縮，分別為門檻值最低降至 $\frac{1}{2^4}$ 的 NEZW 編碼、門檻係數固定為 $u=0.5$ 的 TH 編碼及 LBG 訓練碼簿的 VQ 編碼，各層次碼簿大小如表 6-1，以比較其電壓變動、諧波電流及電力量的資料壓縮重建情形，有關各種電力量的定義已於第二章說明，為能顯示變動性負載的特性，應盡量保持幾種電力量如 P_1 、 Q_1 、 S_1 、 S_e 、 S_{eN} 及 S_{IU} 經資料壓縮後不至於過度失真。

A. 某直流電弧爐(DC EAF)煉鋼廠

實測某直流電弧爐(DC EAF)煉鋼廠的電力系統單線圖如圖 6-10 所示，量測點位於其 100MVA 直流電弧爐(DC EAF)變壓器一次側，量測期間為煉鋼熔解期的 15 分鐘，圖 6-11 及圖 6-12 僅顯示期間 60 週期的電壓及電流波形原始取樣資料，每個測量通道取樣率均為每秒 3840 點，可看出波形明顯地畸變，全部共 15 分鐘的電壓及電流波形取樣資料經壓縮重建後的結果列於表 6-4，圖 6-13 與圖 6-14 的第 1 個波形分別顯示 15 分鐘(共 900 秒)期間的原始電壓波形之 ΔV 與 THD_V ，而圖 6-15 的第 1 個波形則顯示原始電流波形之 THD_i ；此外，經 3 種編碼壓縮後的電壓及電流結果與原始取樣資料的誤差情形亦示於圖 6-13 至圖 6-15 中，結果顯示不論電

壓或電流波形，均以 NEZW 編碼有較佳的資料壓縮效果，而 TH 編碼僅較適於電壓變動波形壓縮，另 VQ 編碼僅較適於諧波電流波形壓縮。

至於各種電力量 P_1 、 Q_1 、 S_1 、 S_e 、 S_{eN} 及 S_{1U} 於 15 分鐘(共 900 秒)期間的原始取樣資料計算結果分別顯示於圖 6-16 至圖 6-21 的第 1 個波形，各圖亦顯示了經 3 種編碼壓縮後的各種電力量計算結果與原始取樣資料計算各種電力量之間的誤差情形；壓縮前後的電力量與功率因數統計比較結果則列於表 6-5 中，結果顯示以 NEZW 編碼有較佳的資料壓縮效果，尤其幾乎可完整保存基本波電力量 P_1 、 Q_1 、 S_1 與功率因數值，其壓縮前後的絕對誤差百分比低於 0.1%，而 TH 編碼的資料壓縮效果次之，VQ 編碼的資料壓縮效果為最差。

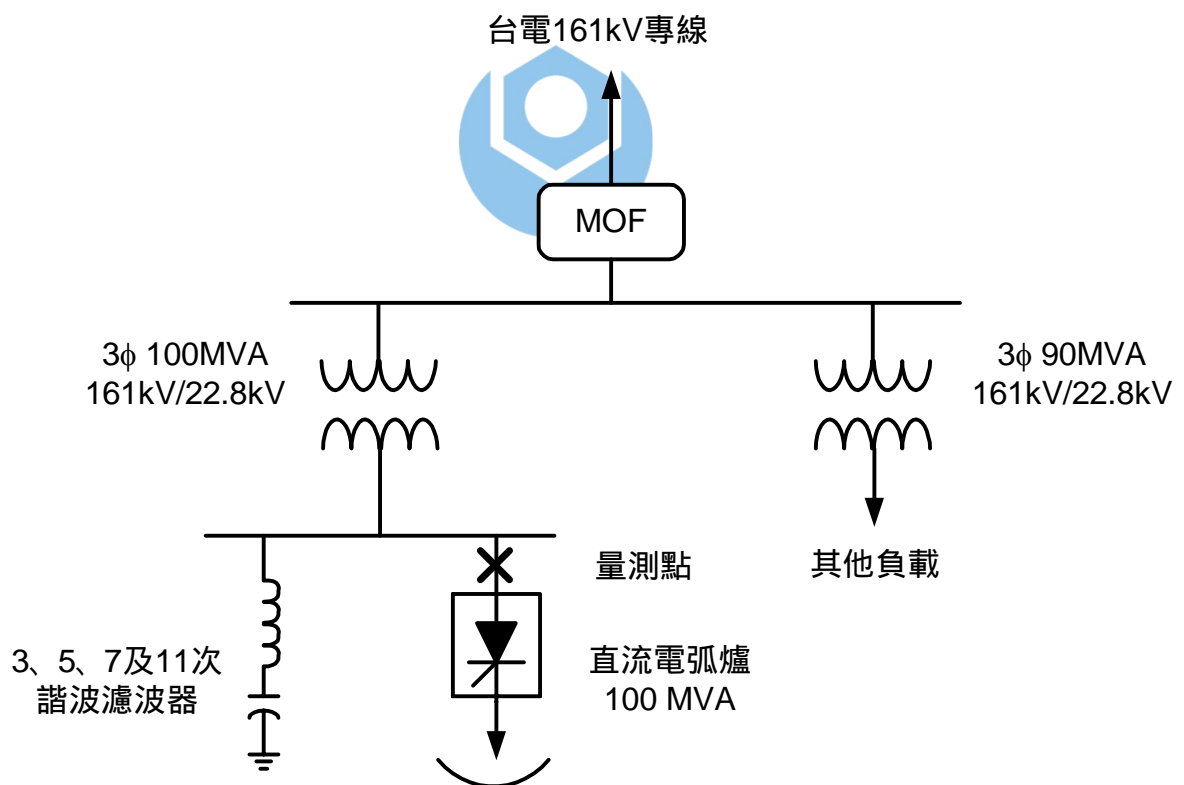


圖 6-10 某直流電弧爐(DC EAF)煉鋼廠的電力系統單線圖

表 6-4 直流電弧爐 15 分鐘電壓及電流波形取樣資料經壓縮重建後的結果

資料壓縮編碼方法		NEZW2-4	TH	VQ	
電壓 波形	V_R	CR	7	6.95	4.27
		NMSE	4.50E-04	5.10E-04	6.56E-03
	V_S	CR	7.47	7.05	4.27
		NMSE	4.36E-04	4.95E-04	8.69E-03
	V_T	CR	7.44	7.07	4.27
		NMSE	4.44E-04	5.07E-04	1.04E-02
電流 波形	i_R	CR	6.52	3.42	4.27
		NMSE	1.57E-03	8.04E-03	6.02E-03
	i_S	CR	6.56	4.10	4.27
		NMSE	1.57E-03	7.02E-03	4.66E-03
	i_T	CR	6.55	3.86	4.27
		NMSE	1.61E-03	9.01E-03	6.03E-03
CR 平均值		6.92	5.41	4.27	
NMSE 平均值		3.14E-3	6.00E-03	1.01E-3	

表 6-5 直流電弧爐資料壓縮前後計算各種電力量之間的誤差統計結果

積分值	實際值	NEZW2-4		TH		VQ	
		計算值	絕對誤差/ %	計算值	絕對誤差/ %	計算值	絕對誤差/ %
$\sum P \Delta t$ (kWh)	13938	13926	12 / 0.085	13923	15 / 0.108	13873	65 / 0.465
$\sum P_1 \Delta t$ (kWh)	13927	13915	12 / 0.084	13912	15 / 0.106	13868	58 / 0.417
$\sum Q_1 \Delta t$ (kvarh)	10939	10930	9 / 0.086	10926	13 / 0.115	10921	18 / 0.166
$\sum S_1 \Delta t$ (kVAh)	18273	18258	15 / 0.084	18254	19 / 0.106	18196	77 / 0.420
$\sum S_e \Delta t$ (kVAh)	18354	18323	31 / 0.171	18315	39 / 0.210	18214	140 / 0.762
$\sum S_{eN} \Delta t$ (kVAh)	1443	1215	228 / 15.789	1155	288 / 19.963	802	641 / 44.419
$\sum S_{IU} \Delta t$ (kVAh)	271	269	2 / 0.574	269	2 / 0.682	1237	966 / 355.905
PF ₁	0.786	0.786	6E-6 / 0.7E-3	0.786	3E-5 / 3.4E-3	0.785	8E-4 / 96E-3
PF _e	0.759	0.758	7E-4 / 0.087	0.760	8E-4 / 0.103	0.761	2.3E-3 / 0.3

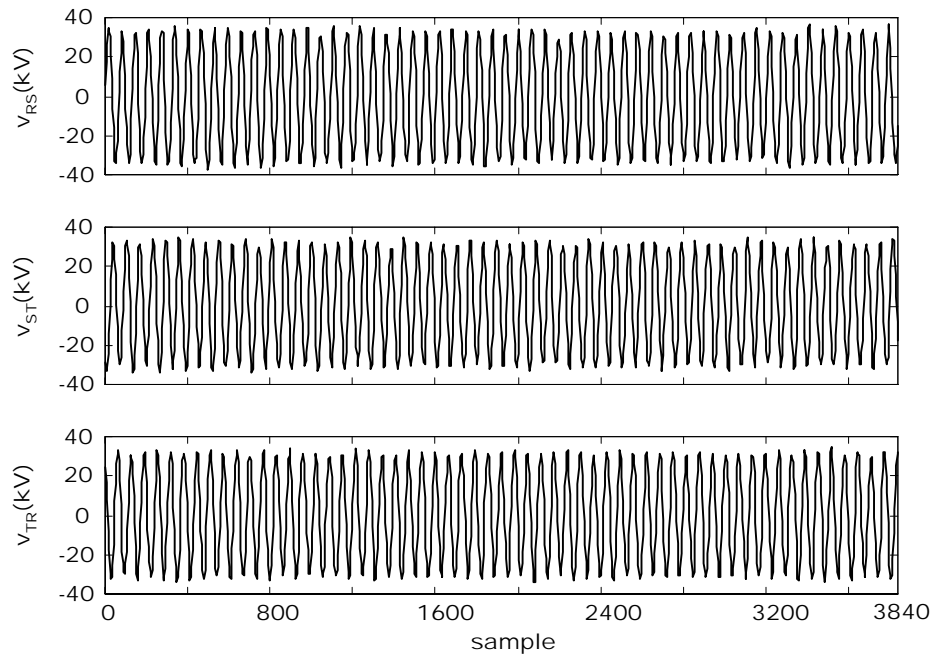


圖 6-11 直流電弧爐煉鋼熔解期的 60 週期電壓波形原始取樣資料

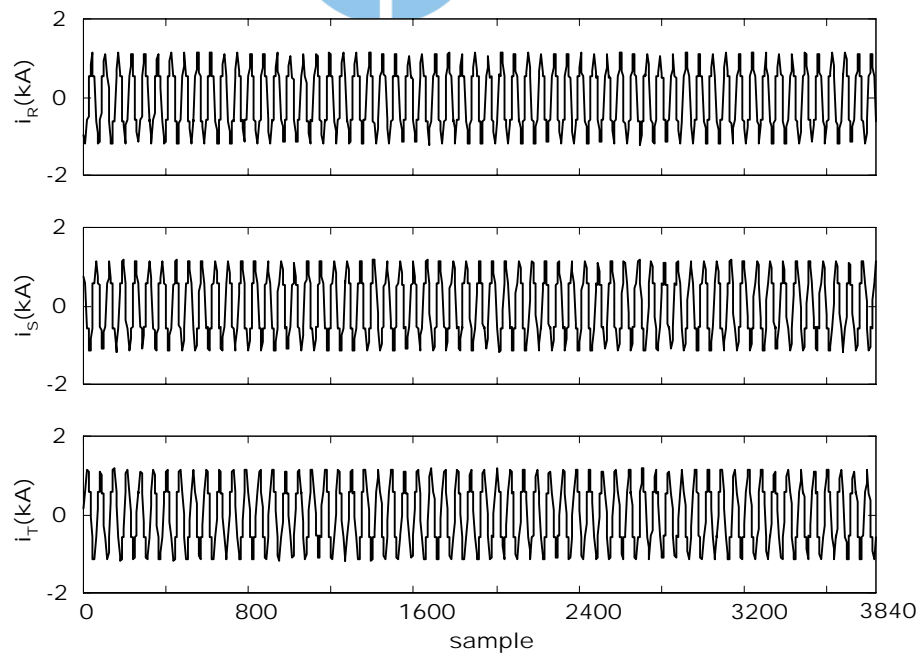


圖 6-12 直流電弧爐煉鋼熔解期的 60 週期電流波形原始取樣資料

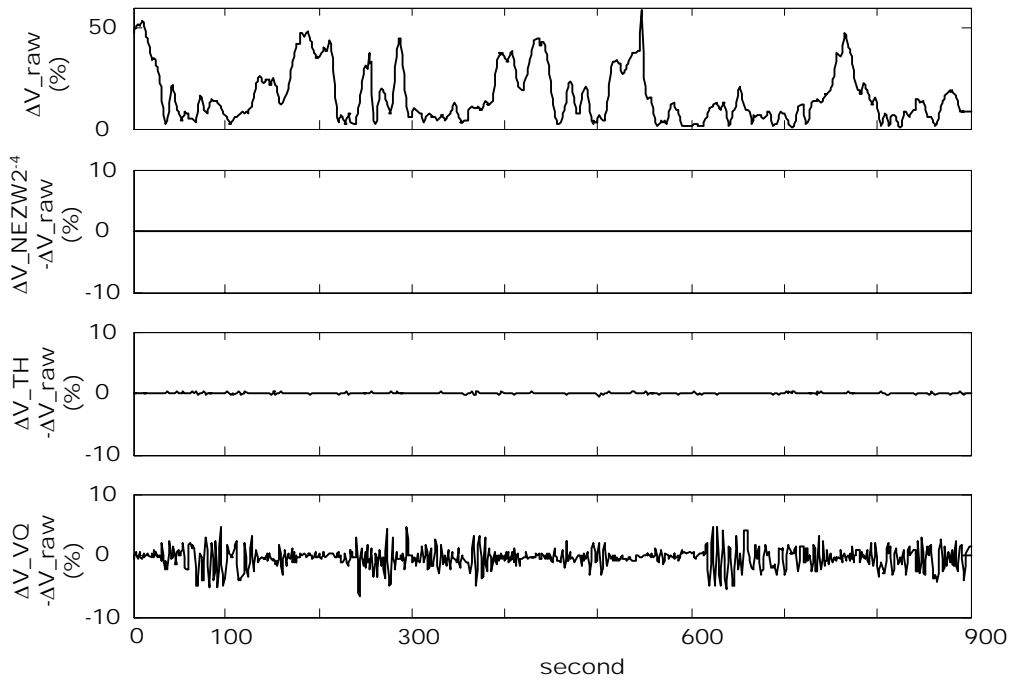


圖 6-13 直流電弧爐原始電壓波形與 3 種編碼壓縮後之 ΔV 誤差情形

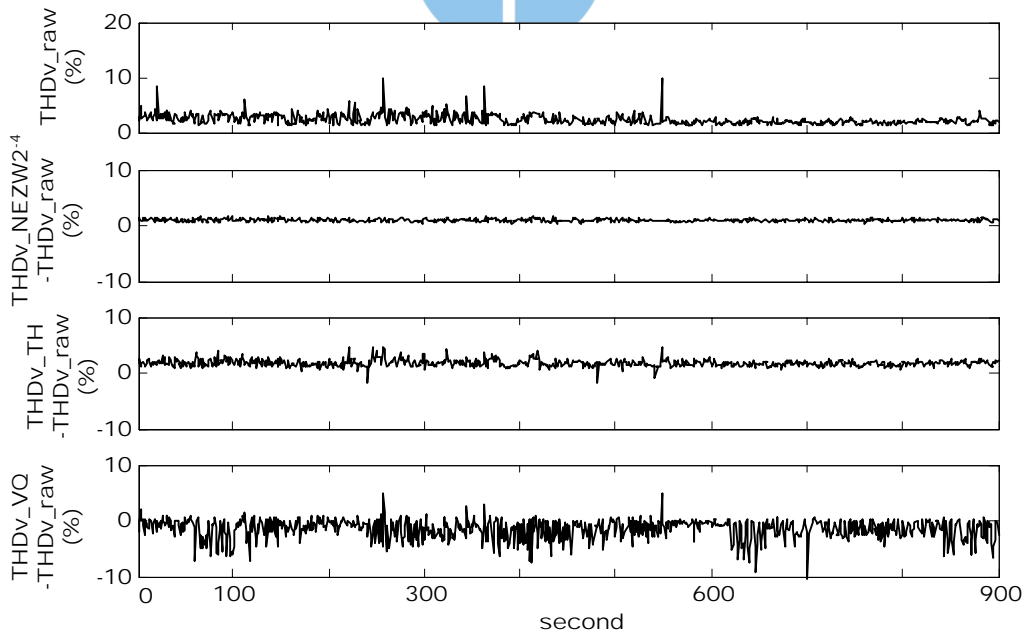


圖 6-14 直流電弧爐原始電壓波形與 3 種編碼壓縮後之 THDv 誤差情形

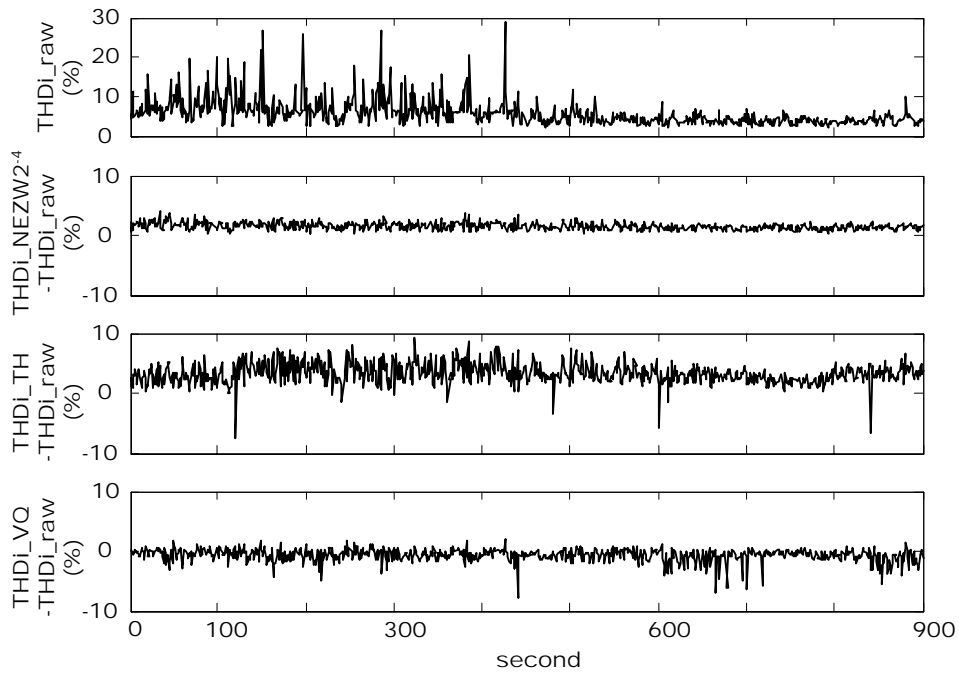


圖 6-15 直流電弧爐原始電流波形與 3 種編碼壓縮後之 THDi 誤差情形

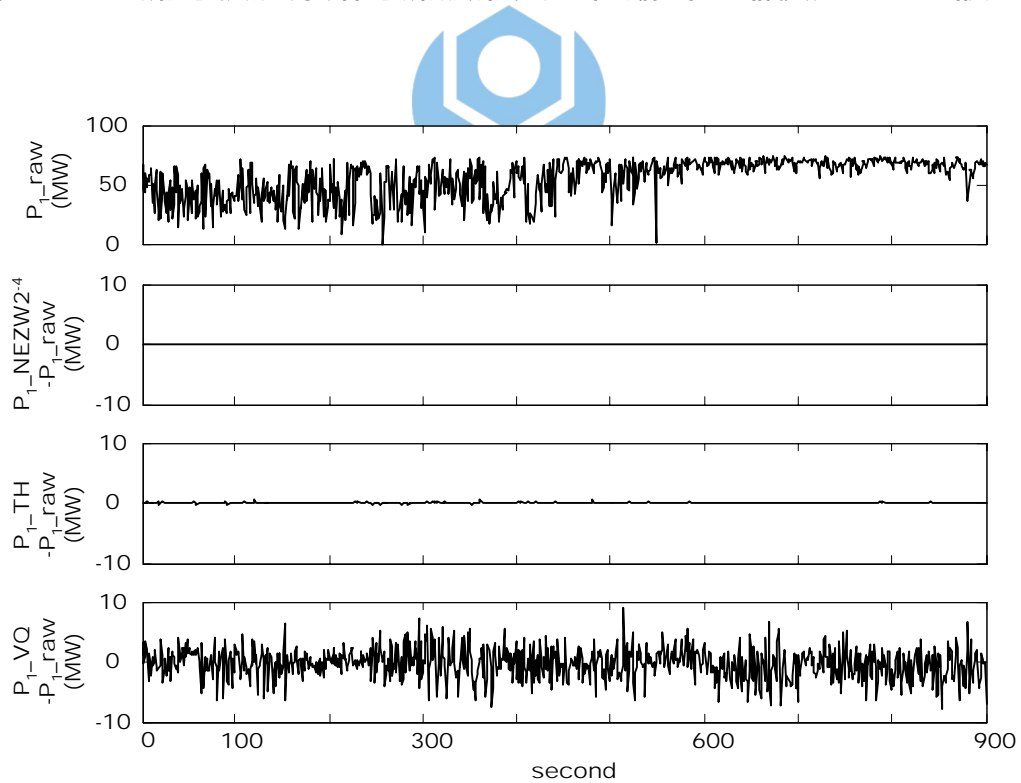


圖 6-16 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 P_1 誤差情形

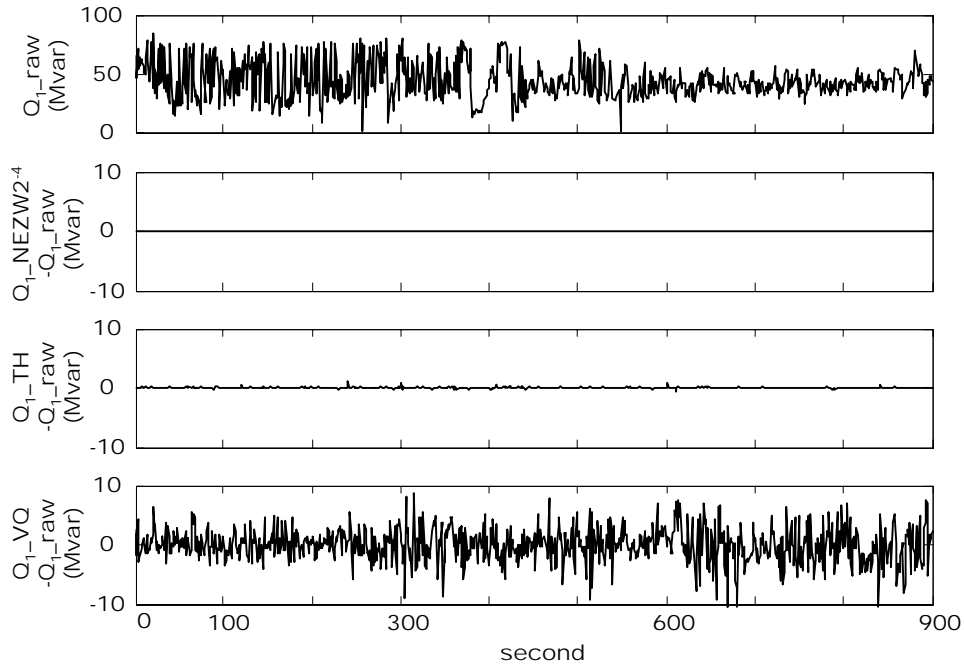


圖 6-17 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 Q_1 誤差情形

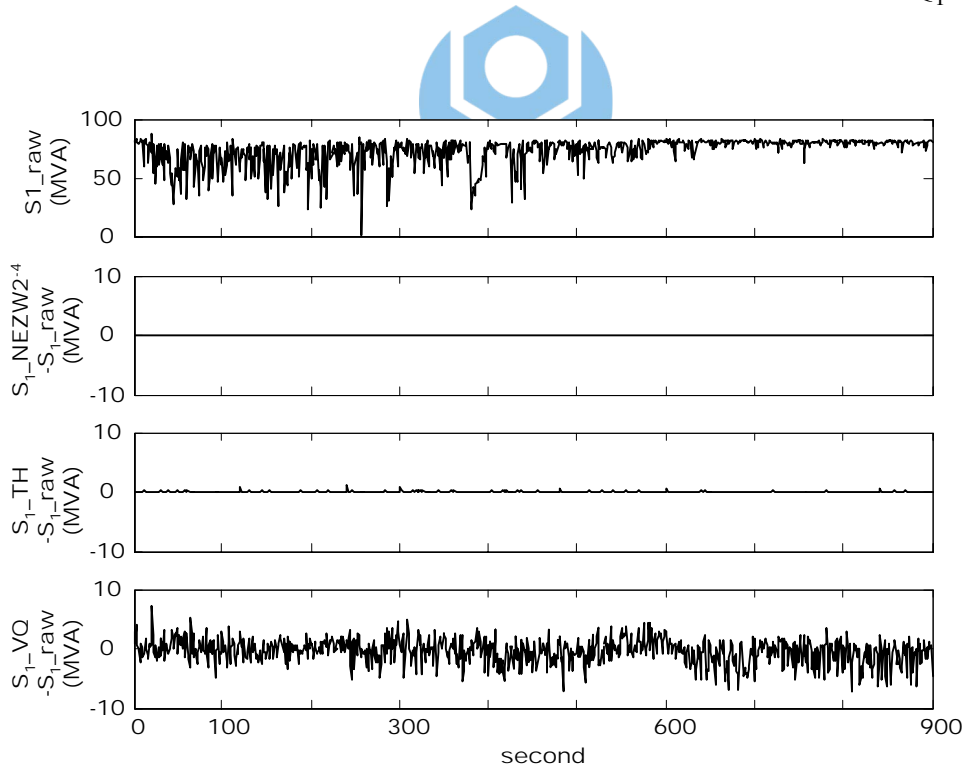


圖 6-18 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_1 誤差情形

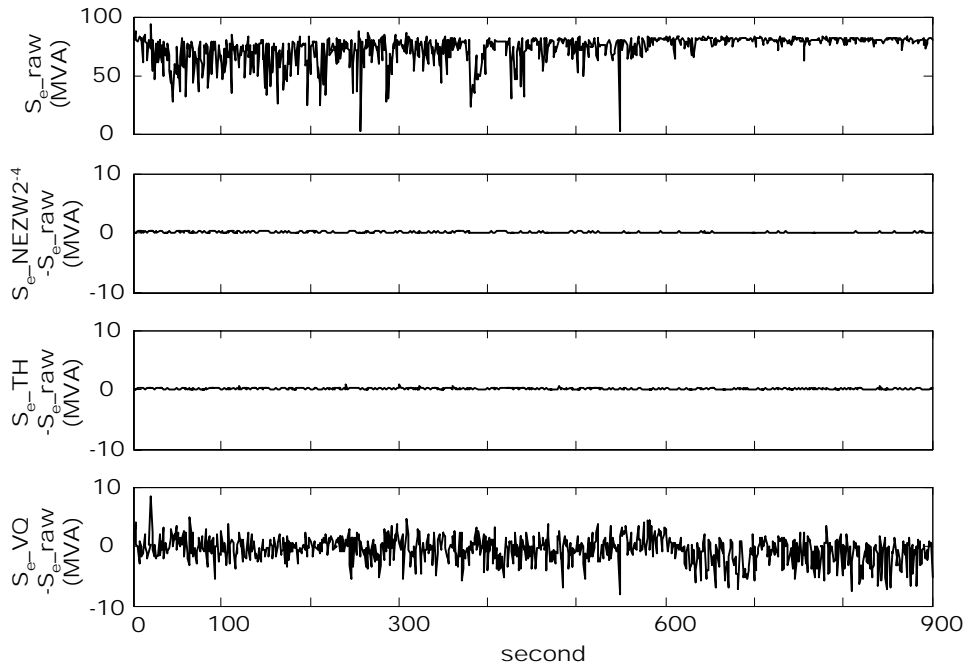


圖 6-19 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_e 誤差情形

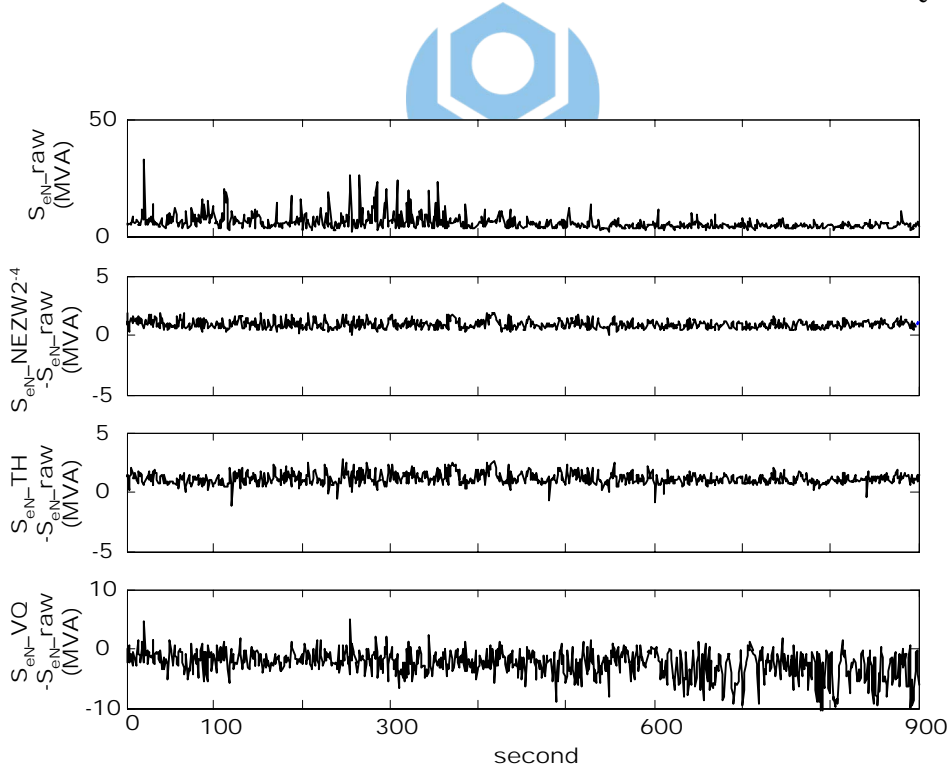


圖 6-20 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_{eN} 誤差情形

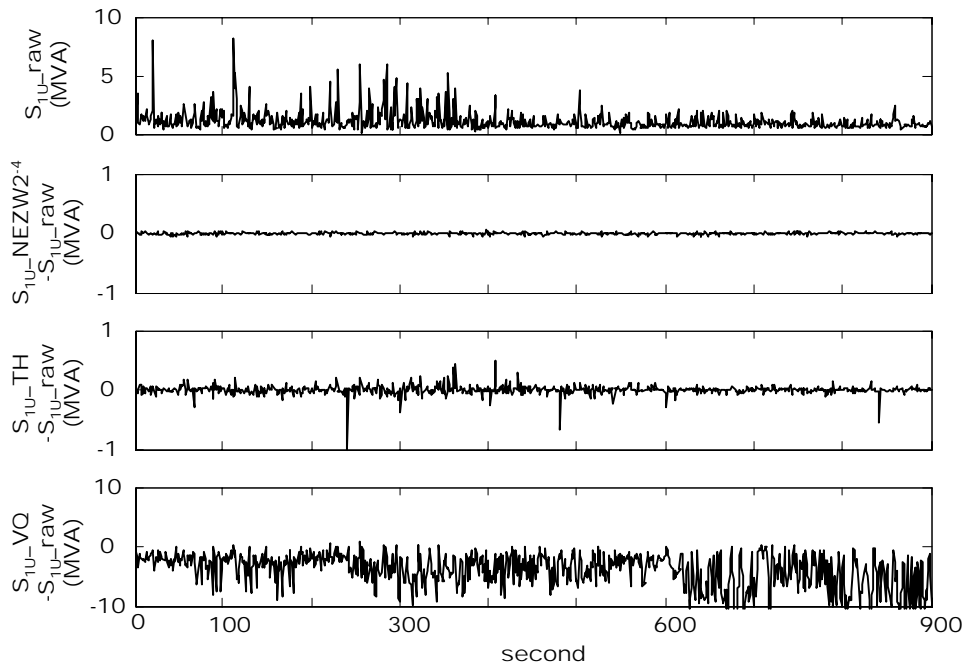


圖 6-21 直流電弧爐原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_{1U} 誤差情形

B. 某鐵路電氣化軌道負載的變電站

實測某鐵路電氣化軌道負載的變電站的電力系統單線圖如圖 6-22 所示，量測點位於其供電饋線 69kV 紅線端，圖 6-23 及圖 6-24 僅顯示 15 分鐘量測期間的 60 週期電壓及電流波形原始取樣資料，每個測量通道取樣率均為每秒 3840 點，可看出波形明顯地畸變，全部共 15 分鐘的電壓及電流波形資料經壓縮重建後的結果列於表 6-6，圖 6-25 與圖 6-26 的第 1 個波形分別顯示 15 分鐘(共 900 秒)期間的原始電壓波形之 ΔV 與 THD_V ，而圖 6-27 的第 1 個波形則顯示原始電流波形之 THD_I ；此外，經 3 種編碼壓縮後的電壓及電流結果與原始取樣資料的誤差情形亦示於圖 6-25 至圖 6-27 中，結果顯示與前述的直流電弧爐(DC EAF)煉鋼廠類似，不論電壓或電流波形，同樣均以 NEZW 編碼有較佳的資料壓縮效果，而 TH 編碼僅較適於電壓變動波形壓縮，另 VQ 編碼僅較適於諧波電流波形壓縮。

至於各種電力量 P_1 、 Q_1 、 S_1 、 S_e 、 S_{eN} 及 S_{IU} 於 15 分鐘(共 900 秒)期間的原始取樣資料計算結果分別顯示於圖 6-28 至圖 6-33 的第 1 個波形，各圖亦顯示了經 3 種編碼壓縮後的各種電力量計算結果與原始取樣資料計算各種電力量之間的誤差情形；壓縮前後的電力量與功率因數統計比較結果則列於表 6-7 中；結果顯示對於各種電力量的壓縮重建，同樣與前述的直流電弧爐(DC EAF)煉鋼廠類似，結果顯示以 NEZW 編碼有較佳的資料壓縮效果，尤其幾乎可完整保存基本波電力量 P_1 、 Q_1 、 S_1 與功率因數值，其壓縮前後的絕對誤差百分比低於 0.05%，而 TH 編碼的資料壓縮效果次之，VQ 編碼則為最差。

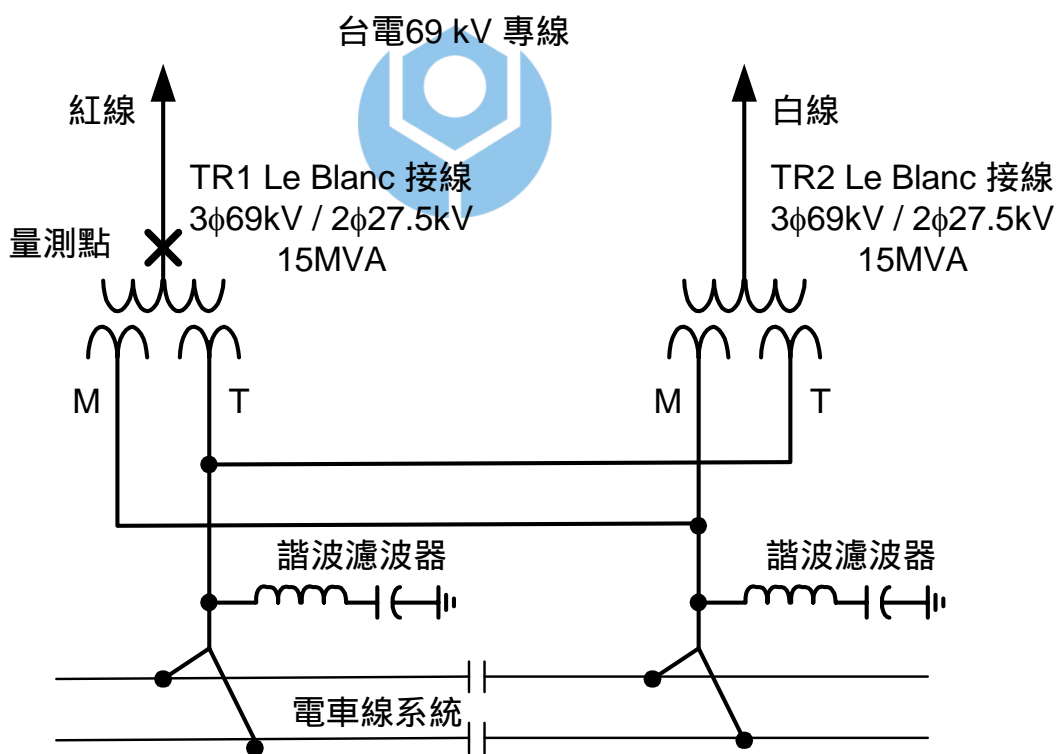


圖 6-22 某鐵路電氣化軌道負載的變電站的電力系統單線圖

表 6-6 鐵路變電站 15 分鐘電壓及電流波形取樣資料經壓縮重建後的結果

資料壓縮編碼方法		NEZW2-4	TH	VQ	
電壓 波形	V_R	CR	7.29	5.67	4.27
		NMSE	5.00E-05	1.10E-04	1.48E-02
	V_S	CR	7.41	6.64	4.27
		NMSE	4.50E-05	1.05E-04	6.68E-03
	V_T	CR	7.35	6.57	4.27
		NMSE	4.10E-05	1.00E-04	2.42E-02
電流 波形	i_R	CR	5.97	3.77	4.27
		NMSE	1.14E-03	2.09E-03	1.71E-03
	i_S	CR	5.82	4.02	4.27
		NMSE	3.63E-03	6.83E-03	4.59E-03
	i_T	CR	5.31	3.65	4.27
		NMSE	3.73E-03	9.92E-03	8.45E-03
CR 平均值		6.53	5.05	4.27	
NMSE 平均值		1.44E-03	3.19E-03	1.01E-02	

表 6-7 鐵路變電站資料壓縮前後計算各種電力量之間的誤差統計結果

積分值	實際值	NEZW2-4		TH		VQ	
		計算值	絕對誤差/ %	計算值	絕對誤差/ %	計算值	絕對誤差/ %
$\sum P \Delta t$ (kWh)	460.33	460.30	0.03 / 0.007	459.41	0.92 / 0.201	395.15	65.18 / 14.159
$\sum P_1 \Delta t$ (kWh)	449.18	449.15	0.03 / 0.006	448.55	0.63 / 0.141	388.96	60.22 / 13.406
$\sum Q_1 \Delta t$ (kvarh)	-707.42	-707.09	0.33 / 0.046	-706.76	0.66 / 0.094	-622.57	84.85 / 11.995
$\sum S_1 \Delta t$ (kVAh)	841.20	840.90	0.30 / 0.036	840.30	0.90 / 0.107	737.95	103.25 / 12.274
$\sum S_e \Delta t$ (kVAh)	897.24	894.77	2.47 / 0.275	892.19	5.05 / 0.563	795.39	101.85 / 11.352
$\sum S_{eN} \Delta t$ (kVAh)	304.23	297.10	7.13 / 2.342	290.86	13.37 / 4.395	285.83	18.40 / 6.049
$\sum S_{IU} \Delta t$ (kVAh)	389.90	389.24	0.66 / 0.170	389.10	0.80 / 0.205	320.83	69.07 / 17.715
PF ₁	-0.536	-0.536	1.5E-4 / 0.03	-0.536	1.8E-4 / 0.03	-0.530	6.2E-3 / 1.15
PF _e	0.513	0.514	1.4E-3 / 0.27	0.515	1.9E-3 / 0.36	0.497	16.2E-3 / 3.17

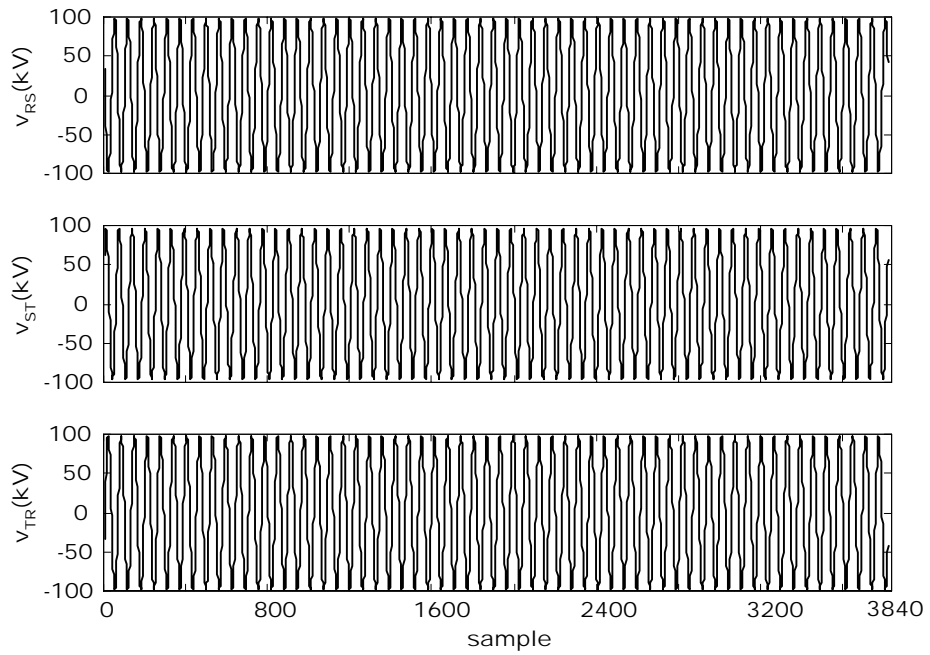


圖 6-23 鐵路變電站的 60 週期電壓波形原始取樣資料

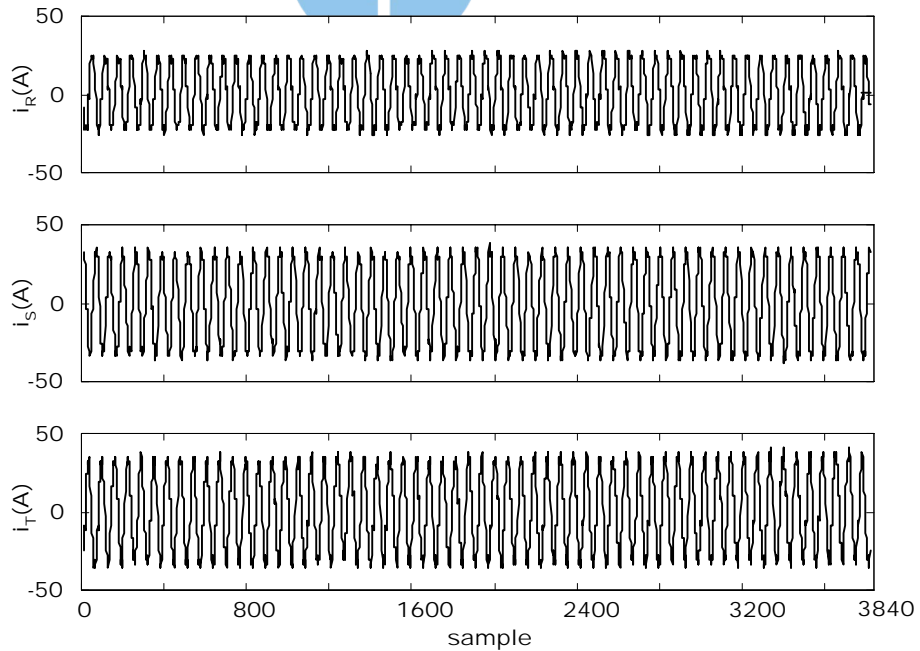


圖 6-24 鐵路變電站的 60 週期電流波形原始取樣資料

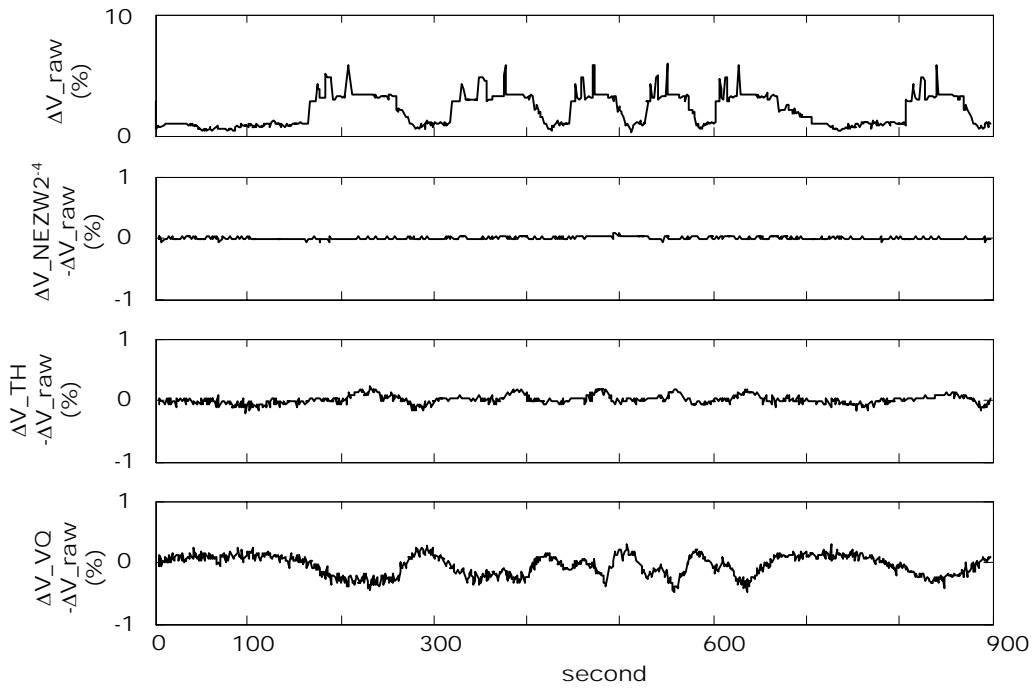


圖 6-25 鐵路變電站原始電壓波形與 3 種編碼壓縮後之 ΔV 誤差情形

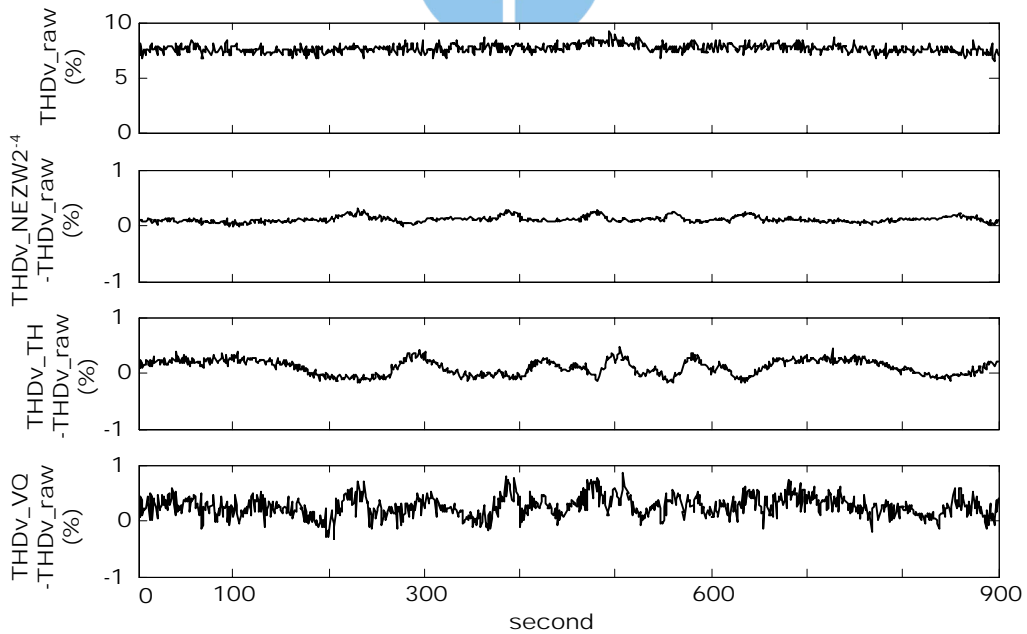


圖 6-26 鐵路變電站原始電壓波形與 3 種編碼壓縮後之 THD_v 誤差情形

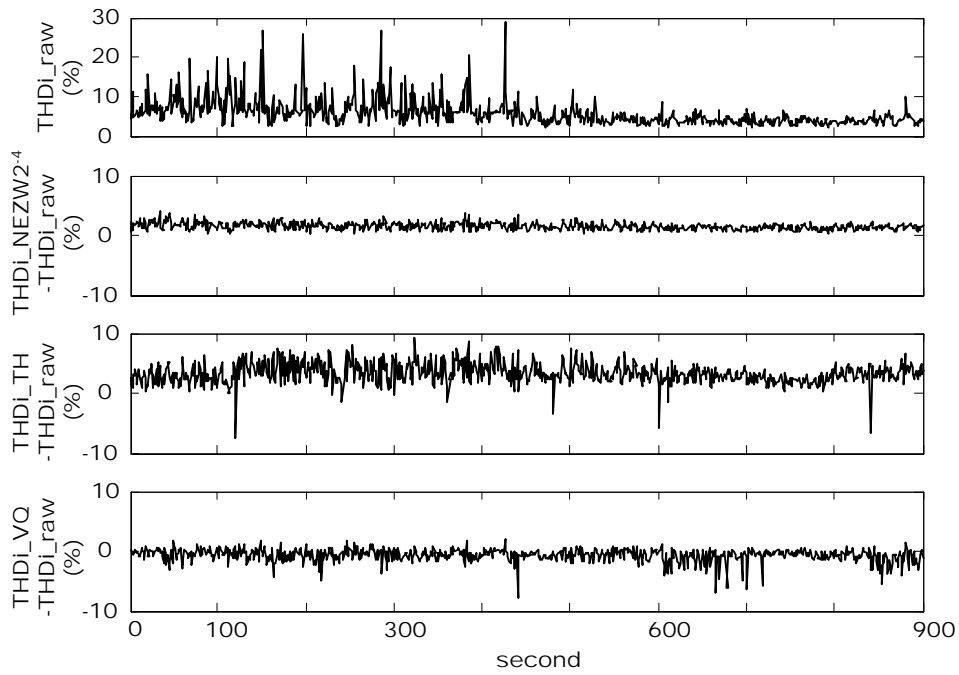


圖 6-27 鐵路變電站原始電流波形與 3 種編碼壓縮後之 THDi 誤差情形

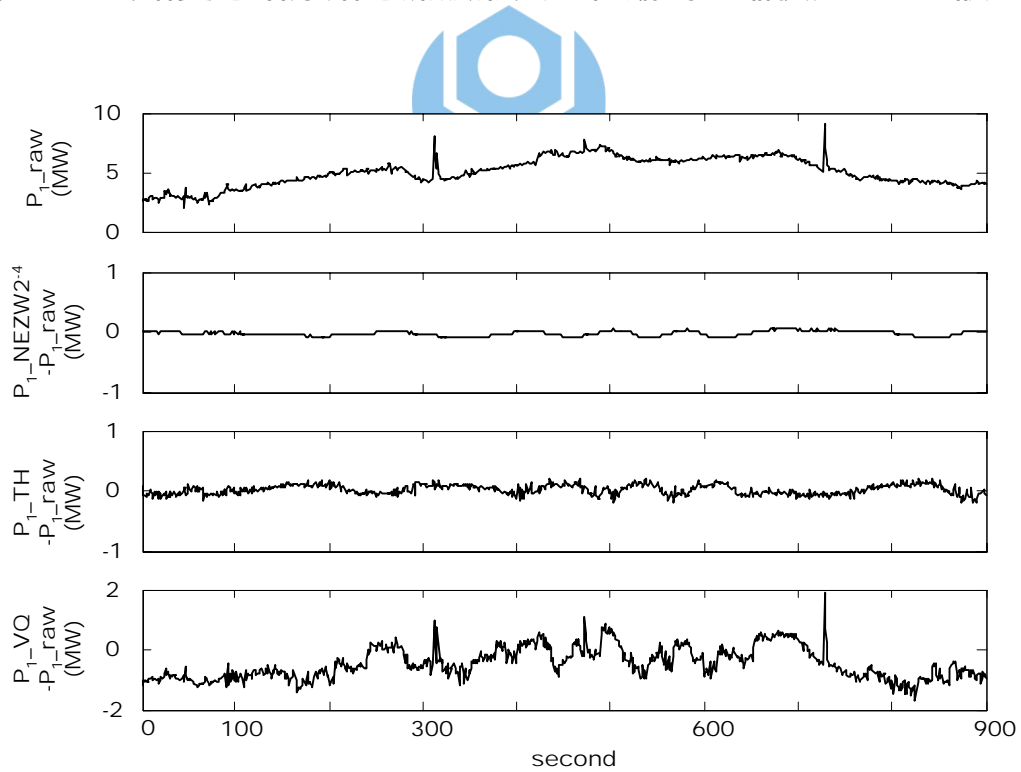


圖 6-28 鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 P_1 誤差情形

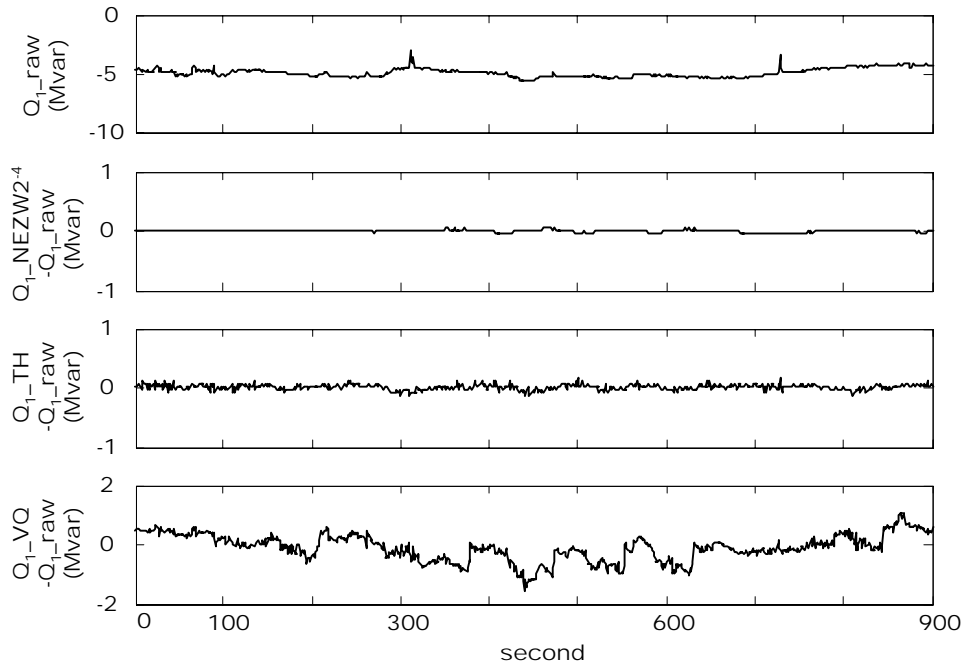


圖 6-29 鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 Q_1 誤差情形

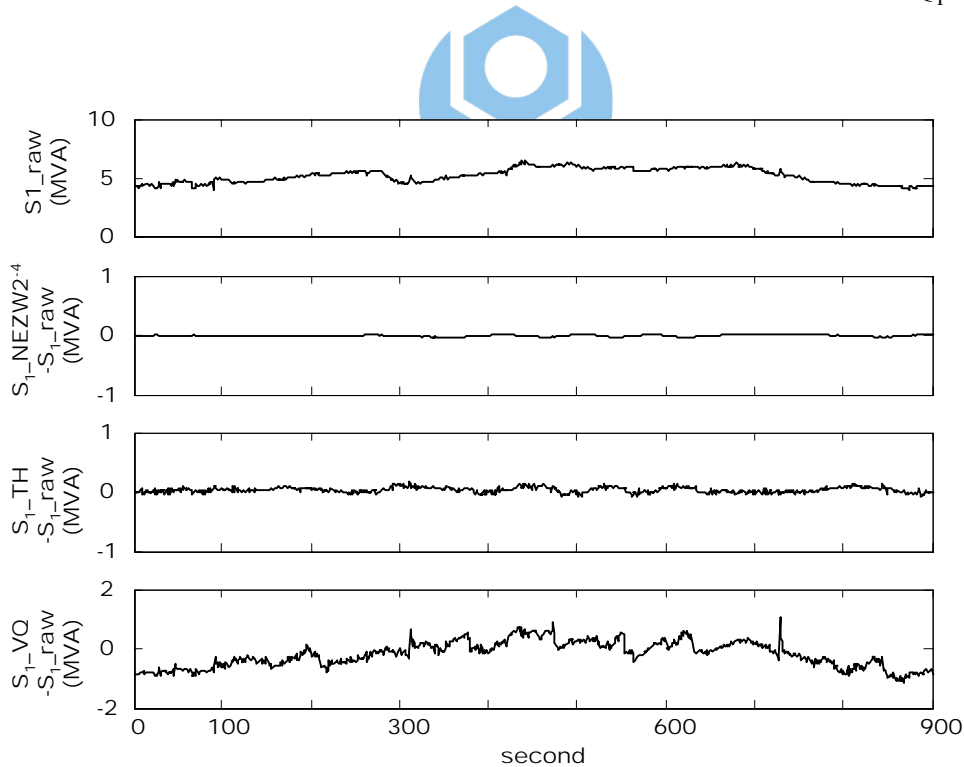


圖 6-30 鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_1 誤差情形

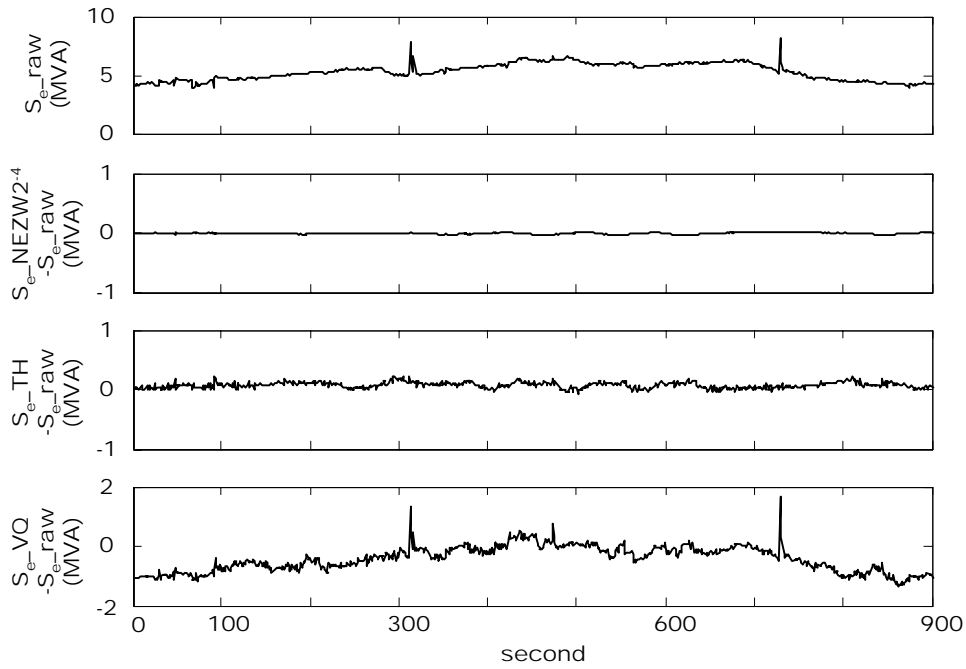


圖 6-31 鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_e 誤差情形

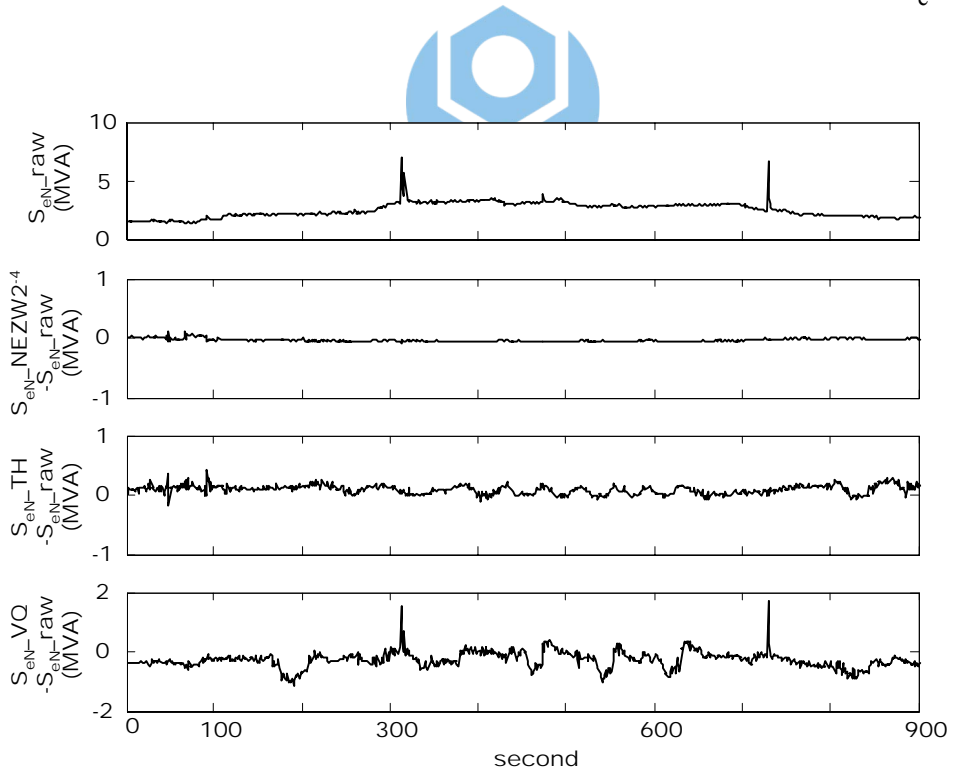


圖 6-32 鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_{eN} 誤差情形

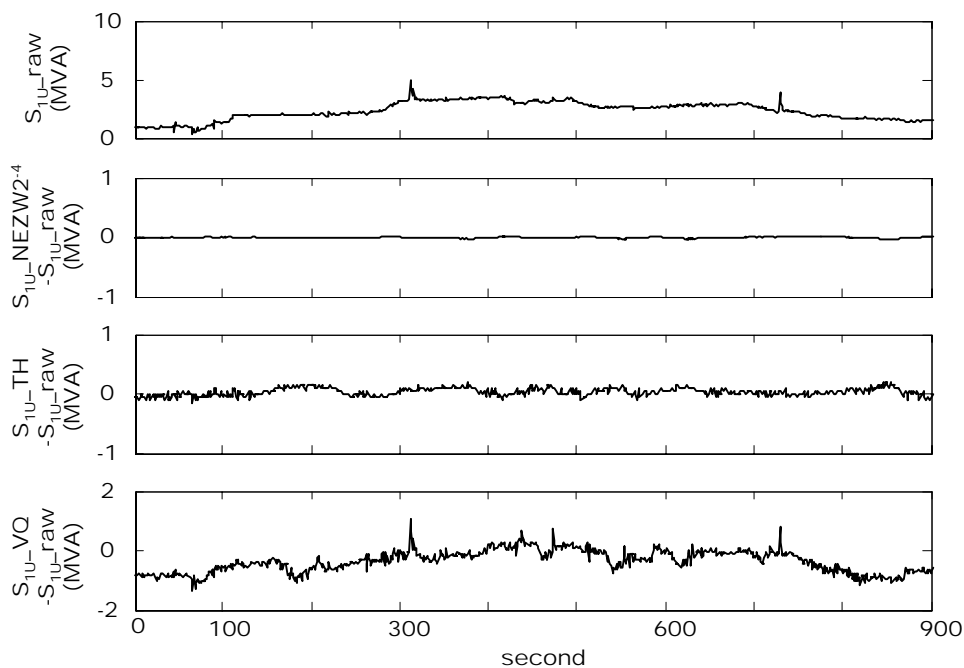


圖 6-33 鐵路變電站原始取樣資料經 3 種編碼壓縮前後之 S_{1U} 誤差情形

6.6 結語



小波轉換是目前影像壓縮的重要方法，並已廣泛應用於電腦視覺或語音信號的分析上，本章探討其於電力資料壓縮的適用性，以小波轉換將資料分解與重建，而在資料分解後進行 3 種壓縮編碼比較，先以給定的電壓及電流模擬分析，再以實測某直流電弧爐煉鋼廠及某鐵路電氣化軌道負載的資料測試，結果顯示以正規化嵌入式零樹小波編碼(NEZW)有較佳的資料壓縮效果；而門檻值編碼(TH)的資料壓縮效果次之，僅較適於電壓變動波形壓縮；至於向量量化編碼(VQ)的效果最差，僅較適於諧波電流波形壓縮。此外，正規化嵌入式零樹小波編碼(NEZW)主要改進了已在小波影像壓縮應用方面有很大效果的嵌入式零樹小波編碼(EZW)的啟始步驟，是本文所創見適於應用在電力資料壓縮的改良方法。

第七章 結論與未來研究方向

7.1 結論

由於電力電子技術的進步、資訊設備的普及、大眾交通運輸及各種生產製程的電氣化，使得電力品質問題日趨嚴重，現今電力負載特性之複雜已非傳統僅考量純粹正弦波且三相平衡的基本波方式所能表達，本文藉由模擬分析與實測結果顯見負載特性對六種功率因數計算值差異的影響，藉由此差異性可反映不良電力品質的負載特性。綜合本論文研究結果，得到下列幾點結論：

1. 本文量測分析六種功率因數計算值將受諧波、負載不平衡與負載變動等負載特性而有差異，於三相三線系統時，其受影響的差異趨勢如下：
 - (1)負載有諧波時：諧波愈大，向量功率因數與基本波功率因數絕對值的差異愈大。
 - (2)負載不平衡時：不平衡愈大，有效功率因數、算術功率因數及向量功率因數之間的差異愈大。
 - (3)虛功率變動時：基本波虛功率大多落後時，三種基本波功率因數值差異不大；基本波虛功率大多超前時，第一種修正型基本波功率因數值大於第二種修正型基本波功率因數值，其差異隨基本波虛功率超前愈多而愈大。
2. 有效視在功率較能確實反映三相系統諧波、不平衡及負載變動等特性，同時將其表現在有效功率因數值上。台電目前對用戶功率因數的量測類似於第一種修正型基本波平均功率因數值，這其實相當不合理，以鐵路用戶的紅線饋線為例，其為諧波大及不平衡負載，但第一種修正型基本波平均功率因數值等於 1，以台電公司現行規定 0.8 之標

準，將給予此用戶獎賞減價；而其有效平均功率因數值為 0.393 來看，實應罰款加價；若台電僅比現況多納入虛功率過補償的考量，即為第二種修正型基本波平均功率因數值 0.452，將接近較能確實反映出負載特性的有效功率因數值，是較簡單可行且合理的標準改變，可作為台電公司改善的短期目標，亦將能正向促使用戶注意與改善其電力品質問題。

3. 由本文量測台電公司高壓以上用戶七大業別結果發現，其中 69kV(含) 以上特高壓供電之非常大型用戶，主要以鐵路及鋼鐵業用戶有嚴重的諧波和不平衡問題，而捷運、電機及化工業用戶幾乎無諧波和不平衡問題，可能由於此類大型用戶多數較有財力能注重其電力品質改善，其對台電公司輸電線路的電力品質影響不大；而在商業及學校用戶方面，多為 11.4kV 或 22.8kV 高壓供電，可能由於使用了非常多的資訊設備以及單相負載，其諧波和不平衡的問題頗為嚴重。
4. 本文以功率因數定義探討比較三種三相變二相特殊接線變壓器的負載特性，即 V-V 接線、Scott 接線及 Le Blanc 接線；並以實測結果驗證，獲致下列結論：
 - (1) 模擬與實測結果均顯示有效視在功率較能真實地反應負載特性。
 - (2) V-V 接線變壓器結構上原本就有的不平衡性質，無法將二相相等負載轉換為三相平衡負載，更無法降低二相不相等負載造成的三相不平衡問題。
 - (3) Scott 接線及 Le Blanc 接線變壓器於各種負載情況下的結果均相近，表示兩者有相似的負載平衡特性。
5. 為能長期監測負載特性，本文以目前廣泛應用於影像壓縮的小波壓縮技術，比較正規化嵌入式零樹小波編碼、門檻值編碼與向量量化編碼三種編碼壓縮技術於電力資料壓縮的適用性，結果顯示本文提出的正

規化嵌入式零樹小波編碼有較佳的資料壓縮效果；門檻值編碼的資料壓縮效果次之，但可適於壓縮電壓變動波形；而向量量化編碼的效果最差，但可適於壓縮諧波擾動的電流波形。

7.2 未來研究方向

1. 各種功率因數定義式之差異與諧波污染、負載不平衡與負載變動等負載特性的量化對應關係可再仔細研究。
2. 為能由功率因數觀點促使用戶注意與改善其電力品質問題，將如何合理修改電業法及台電現行功率因數規定與其進程相關配套措施應再仔細研究。
3. 資料壓縮的技術非常多，值得持續研究是否有其他的轉換法或編碼技術可對電力資料有更好的資料壓縮效果。
4. 是否有其他電力定義可用以補償或改善不良電力品質的負載特性，值得繼續研究探索。



參考文獻

- [1] *IEEE Trial-Use Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions*, IEEE Std 1459-2000, New York, (2000).
- [2] A. E. Emanuel, "Powers in nonsinusoidal situations - A review of definitions and physical meaning," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 5, No. 3, pp. 1377-1389, (1990).
- [3] A. E. Emanuel, "On the definition of power factor and apparent power in unbalanced polyphase circuits with sinusoidal voltage and currents," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 8, No. 3, pp. 841-852 (1993).
- [4] P. S. Filipski, "Polyphase apparent power and power factor under distorted waveform conditions," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 6, No. 3, pp. 1161-1165, (1991).
- [5] P. S. Filipski, Y. Baghzouz, and M. D. Cox, "Discussion of power definitions contained in the IEEE dictionary," *IEEE Trans on Power Delivery*, Vol. 9, No. 3, pp. 1237-1244, (1994).
- [6] *IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms*, ANSI/IEEE Std 100-1988, (Fourth Edition), The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY, (1998).
- [7] L. S. Czarnecki, "Misinterpretations of some power properties of electric circuits," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 9, No. 4, pp. 1760-1769, (1994).
- [8] L. S. Czarnecki, "Power related phenomena in three-phase unbalanced systems," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 10, No. 3, pp. 1168-1176, (1995).
- [9] IEEE Working Group on Nonsinusoidal Situations, "A survey of North

- American electric utility concerns regarding nonsinusoidal waveforms,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 11, No. 1, pp. 73-78, (1996).
- [10] A. E. Emanuel, “The Buchholz-Goodhue apparent power definition: the practical approach for nonsinusoidal and unbalance systems,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 13, No. 2, pp. 344-350, (1998).
- [11] A. E. Emanuel, “Apparent power definitions for three-phase systems,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 14, No. 3, pp. 767-772, (1999).
- [12] P. S. Filipski, and P. W. Labaj, “Evaluation of reactive power meters in the presence of high harmonic distortion,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 7, No. 4, pp. 1793-1799, (1992).
- [13] IEEE Working Group on Nonsinusoidal Situations: Effects on Meter performance and Definitions of Power, “Practical definitions for powers in systems with nonsinusoidal waveforms and unbalanced loads: a discussion,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 11, No. 1, pp. 79-101, (1996).
- [14] T. H. Fu and C. J. Wu, “Load characteristics analysis of ac and dc arc furnaces using various power definitions and statistic method,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 17, No. 4, pp. 1099-1105, (2002).
- [15] C. J. Wu, C. P. Huang, T. H. Fu, T. C. Zhao, and H. S Kuo, “Power factor definitions and effect on revenue of electric arc furnace load,” *International Conference on Power System Technology, IEEE PowerCon 2002*, KunMing, China, Vol.1, pp.93-97, (2002)
- [16] 吳啟瑞、黃鎮平、林俊男、傅祖勳、彭士開、顏榮良、韓明紘、張洋三,「功率因數定義對電費差異之影響」, 94 年節約能源論文發表會, 第 194~212 頁, 民國 94 年 6 月 8 日
- [17] B. K. Chen and B. S. Guo, “Three phase models of specially connected transformers,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 11, No. 1, pp.323-330, (1996).

- [18] D. V. Richardson, *Rotating Electric Machinery and Transformer Technology*, Reston Publishing Co. Inc., Virginia, pp.418-423, (1978).
- [19] I. L. Kosow, *Electric Machinery and Transformer*, Prentice-Hall, New York, pp.559-562, (1991).
- [20] J. C. Brittain, "Charles F. Scott: A pioneer in electrical power engineering," *IEEE Industry Applications Magazine*, Nov./Dec., pp.6-8, (2002).
- [21] A. C. Franklin and D. P. Franklin, *The J&P Transformer Book*, 11th Ed., London, U.K.:Butterworths, pp.166-195, (1983).
- [22] T. H. Chen and H. Y. Kuo, "Network modeling of traction substation transformers for studying unbalance effects," *IEE Proc. Generation. Transmission. Distribution*, Vol. 142, No. 2, pp.103-108, (1995).
- [23] H. Y. Kuo and T. H. Chen, "Rigorous evaluation of the voltage unbalance due to high-speed railway demands," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 47, No. 4, pp.1385-1389, (1998).
- [24] S. R. Huang and B. N. Chen "Harmonic study of le-blanc transformer for taiwan railway electrification system," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 14, No. 3, pp.767-772, (1999).
- [25] K. C. Lu and N. M. Chen, "The phasor combination differential protection for Le-Blanc transformers," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 12, No. 4, pp.1434-1438, (1997).
- [26] J. M. Ho and T. L. Tsou, "The effect analysis and simulation test of harmonics on differential protection of Scott transformers," *IEEE Porto Power Tech. Conf.*, Porto, Portugal, Sep. 10-13, (2001).
- [27] 吳啟瑞、黃鎮平、林俊男、顏榮良、張洋三、韓明紘,「軌道負載功率因數定義探討與比較」, 93 年節約能源論文發表會, 第 188~206 頁, 民國 93 年 5 月 19 日
- [28] 戴顯權,「資料壓縮」, 紳藍出版社, 第 13-2~13-70 頁, 民國 90 年

- [29] S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation, " *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 11, No. 7, pp. 674-693, (1989).
- [30] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform, " *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 1, No. 2, (1992).
- [31] C. Christopoulos, A. N. Skodras, and T. Ebrahimi, "The JPEG2000 still image coding system: An overview," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 46, No. 4, pp. 1103-1127, (2000).
- [32] B. E. Usevitch, "A tutorial on modern lossy wavelet image compression: foundations of JPEG2000", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp.22-35, Sep., (2001).
- [33] B. A. Rajoub, "An efficient coding algorithm for the compression of ECG signals using the wavelet transform," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, Vol. 49, No. 4, pp. 355-362, (2002).
- [34] A. Al-Rawi and M. Devaney, "Wavelets and power system transient analysis," *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC/98*, St. Paul, Minnesota, Vol 2, pp.1331-1334, 18-21 May, (1998).
- [35] A. W. Galli and O. M. Nielsen, "Wavelet analysis for power system transients" *IEEE Computer Applications in Power*, Vol. 12, No. 1, pp.16, 18, 20, 22, 24-25, (1999).
- [36] C. H. Lee, Y. J. Wang, and W. L. Huang, "A literature survey of wavelets in power engineering applications," *Proceeding of the National Science Council*, Vol. 24, No. 4, pp.249-258, (2000).
- [37] E. Y. Hamid and Z. I. Kawasaki, "Wavelet packet transform for rms values and power measurements," *IEEE Power Engineering Review*, Vol. 21, No. 9, pp.49-51, Sep., (2001).

- [38] O. Poisson, P. Rioual, and M. Meunier, "New signal processing tools applied to power-quality analysis," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 14, No. 2, pp.561-566, (1999).
- [39] S. Santoso, W. M. Grady, E. J. Powers, J. Lamoree, and S. C. Bhatt, "Characterization of distribution power quality events with Fourier and wavelet transforms," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 15, no. 1, pp. 247-254, (2000).
- [40] A. M. Gaouda, M. M. A. Salama, M. R. Sultan, and A. Y. Chikhani, "Power-quality detection and classification using wavelet-multiresolution signal decomposition," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 14, No. 4, pp. 1469-1476, (1999).
- [41] S. J. Huang and C. T. Hsieh, "Application of continuous wavelet transform for study of voltage flicker-generated signals," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 36, No. 3, pp. 925-932, (2000).
- [42] S. J. Huang and C. T. Hsieh, "Coiflet wavelet transform applied to inspect power system disturbance-generated signals," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 38, No. 1, pp. 204-210, (2002).
- [43] C. W. Lu and S. J. Huang; "An application of B-Spline wavelet transform for notch detection enhancement," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 19, No. 3, pp.1419-1425, (2004).
- [44] S. Santoso, E. J. Powers, and W. M. Grady, "Power-quality disturbance data compression using wavelet transform methods, " *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 12, No.3, pp.1250-1257, (1997).
- [45] T. B. Littler and D. J. Morrow, "Wavelets for the analysis compression of power system disturbances," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 14, No. 2, pp. 358-364, (1999).
- [46] 傅祖勳, 「電力品質資料分析與壓縮」, 國立台灣科技大學電機工程系, 博士論文, 民國 91 年 7 月

- [47] S. J. Huang and M. J. Jou, "Application of arithmetic coding for electric power disturbance data compression with wavelet packet enhancement," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 19, No. 3, pp.1334-1341, (2004).
- [48] F. Gao, X. K. Li, and W. G. Wee, "A new wavelet based deblocking algorithm for compressed images," *The 36th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, Vol. 2, pp.1745-1748, 3-6 Nov. (2002).
- [49] G. Voulgaris and J. Jiang, "Quadtree Based Image Indexing in Wavelets Compressed Domain," *The 20th Eurographics UK Conference*, pp.89-93, 11-13 June, (2002).
- [50] W. Wen, Z. Y. Xiao, and S. L. Peng, "Bayesian postprocessing algorithm for DWT-based compressed image," *2004 International Conference on Image Processing, ICIP '04.*, Vol. 3, pp.1811-1814, 24-27 Oct. (2004).
- [51] T. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 41, No.12, pp.3445-3462, (1993).
- [52] S. A. Martucci, I. Sodagar, T. Chiang, and Ya-Qin Zhang, "A zerotree wavelet video coder," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 7, No. 1, pp.109-118, (1997).
- [53] V. N. Ramaswamy, K. R. Namuduri, and N. Ranganathan, "Context-based lossless image coding using EZW framework," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11, No. 4, pp.554-559, (2001).
- [54] A. Said and W. A. Pearlman, "A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees," *IEEE Trans. on Circuit Systems for Video Technology*, Vol. 6, No. 3, pp.243-250, (1996).
- [55] 歐崇明, 「MATLAB 使用入門」, 高立圖書, 民國 87 年 5 月
- [56] 鄭錦聰、莊鎮嘉, 「MATLAB 進階(含 Simulink)」, 全華圖書, 民國 86 年 3 月
- [57] 歐華科技, 「ADX3000 電力品質分析儀使用手冊」, 民國 90 年

- [58] 單維章,「凌波初步」,全華圖書,民國 89 年 3 月
- [59] K. Sayood, *Introduction to Data Compression*, 2nd Ed., Academic Press, (2000)
- [60] The Math Works Inc., *Wavelet Toolbox User's Guide with MATLAB*, (1996)
- [61] Y. Linde, A. Buzo, and R. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Trans. on Communications*, Vol. 28, Issue 1, pp.84-95, (1980)



作者簡介

姓名：黃鎮平 (Cheng-Ping Huang)

出生日期：民國 56 年 7 月 19 日

籍貫：浙江省定海縣

出生地：台灣省花蓮縣

學歷：

國立台灣科技大學 電機工程研究所 博士班 (87 年 9 月~95 年 6 月)

國立台灣工業技術學院 電機工程研究所 碩士 (80 年 9 月~82 年 6 月)

國立台灣工業技術學院 電機工程技術系 學士 (78 年 9 月~80 年 6 月)

經歷：大漢技術學院 講師 (82 年 8 月~迄今)

資歷：專門職業技術人員高考及格 電機工程科 (82 年)

論文發表：

一、期刊論文：

1. Cheng-Ping Huang, Chi-Jui Wu, Yung-Sung Chuang, Shih-Kai Peng, Jung-Liang Yen, and Ming-Hong Han, "Loading characteristics analysis of specially connected transformers using various power factor definitions," this paper has been approved for publication in the *IEEE Trans. on Power Delivery* 1 Oct. (2005).
2. Chi-Jui Wu, Cheng-Ping Huang, Tsu-Hsun Fu, Tzu-Chih Zhao, and Hung-Shian Kuo, "Power factor investigation of electric arc furnace loads: comparison of IEEE Standard 1459-2000 and other definitions," *International Journal of Electrical Engineering*, Vol.11, No.3, pp.193-203 (2004)
3. 吳啟瑞、黃鎮平、林俊男、顏榮良、韓明紘、張洋三，「功率因數定義造成電費差異之研究」，台電工程月刊，第 647 期，第 51~62 頁，民國 94 年 11 月

4. 吳啟瑞、顏世雄、黃鎮平、莊永松、郭宗益、王珠麗，「數位勵磁式同步發電機動態性能測試評估」，台電工程月刊，第 642 期，第 51~62 頁，民國 91 年 2 月

二、會議論文：

1. 吳啟瑞、黃鎮平、林俊男、傅祖勳、彭士開、顏榮良、韓明紘、張洋三，「功率因數定義對電費差異之影響」，94 年節約能源論文發表會，第 194~212 頁，民國 94 年 6 月 8 日
2. 吳啟瑞、黃鎮平、林俊男、顏榮良、張洋三、韓明紘，「軌道負載功率因數定義探討與比較」，93 年節約能源論文發表會，第 188~206 頁，民國 93 年 5 月 19 日
3. 吳啟瑞、趙子志、郭鴻憲、黃鎮平、林俊男、顏榮良、張洋三、韓明紘，「視在功率定義與功率因數計算值之探討」，92 年節約能源論文發表會，第 189~207 頁，民國 92 年 5 月 21 日
4. 吳啟瑞、黃鎮平、涂傑雄、傅祖勳、顏榮良、韓明紘、張洋三，「負載特性對功率因數之影響」，中華民國第 26 屆電力工程研討會，第 2072~2076 頁，民國 94 年 12 月 9-10 日
5. 吳啟瑞、黃鎮平、林俊男、蔡易錚、陳韋達、顏榮良、韓明紘、張洋三，「特殊用戶功率因數測量分析」，中華民國第 25 屆電力工程研討會，第 458~463 頁，民國 93 年 11 月 19-20 日
6. 吳啟瑞、顏世雄、黃鎮平、莊永松、郭宗益、王珠麗，「電壓閃爍對數位勵磁式發電機動態特性之影響」，中華民國第 22 屆電力工程研討會，第 1121~1125 頁，民國 90 年 11 月 22-23 日
7. Cheng-Ping Huang, Chi-Jui Wu, member, and Yung-Sung Chuang, "Test results of three excitation systems for generators suffering continuous voltage flicker disturbance," *International Conference on Power System Technology, IEEE PowerCon2004*, Singapore, Vol.1, pp.300-305 (2004)

8. Chi-Jui Wu, Cheng-Ping Huang, Tsu-Hsun Fu, Tzu-Chih Zhao, and Hung-Shian Kuo, "Power factor definitions and effect on revenue of electric arc furnace load," *International Conference on Power System Technology, IEEE PowerCon2002*, KunMing, China, Vol.1, pp.93-97 (2002)
9. Chi-Jui Wu, Tsu-Hsun Fu, and Cheng-Ping Huang, "Data compression technique in recording electric arc furnace voltage and current waveforms for tracking power-quality," *2003 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition in Dallas, Texas, USA*, Vol.1, pp.383-388 (2003)
10. Chi-Jui Wu, Cheng-Ping Huang, Tsu-Hsun Fu, Tzu-Chih Zhao, and Hung-Shian Kuo, "Investigation of DC electric arc furnace average power factor calculation using IEEE Standard 1459," *2003 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition in Dallas, Texas, USA*, Vol.2, pp.611-615 (2003)
11. Chi-Jui Wu and Yung-Sung Chuang, and Cheng-Ping Huang, "Design of decentralized output feedback power system stabilizers using hybrid differential evolution," *IEEE/PES General Meeting*, 10-14 June (2005)

三、參與計劃

1. 「特殊用戶功率因數調查分析」，台灣電力股份有限公司研究計畫 TPC-546-93-4834-06，民國 93 年 10 月 1 日至 95 年 3 月 31 日。
2. 「功率因數各種定義造成電費差異之研究」，台灣電力股份有限公司研究計畫 TPC-546-4833-10，民國 92 年 6 月 6 日至 93 年 6 月 5 日。
3. 「電壓閃爍對通霄電廠數位勵磁式發電機動態特性之影響」，台灣電力股份有限公司研究計畫 TPC-531-89-2103-03，民國 89 年 4 月 1 日至 90 年 9 月 30 日。

國立臺灣科技大學博碩士論文授權書

(本授權書裝釘於紙本論文內)

本授權書所授權之論文為黃鎮平〔D8707001〕在國立臺灣科技大學電機工程系 94 學年度第 2 學期取得博士學位之論文。

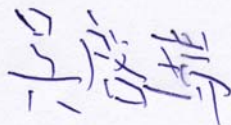
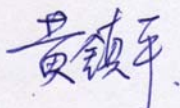
論文題目： 負載特性對功率因數計算值的影響
指導教授： 吳啓瑞

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文〔含摘要〕，非專屬、無償授權本校圖書館及國家圖書館，不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟或其他數位化方式將上列論文重製典藏，並提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索書目、館內閱覽、或複印。

授權人 黃鎮平 吳啓瑞

簽章

(請親筆正楷簽名)



備註：

1. 授權人不因本授權而喪失上述著作之著作權。
2. 本授權書請授權人簽章後，裝釘於紙本論文內。

中 華 民 國 95 年 6 月 7 日