

中興電工機械股份有限公司
委託研究計畫期末報告

(計畫名稱【數位電驛測試波形分析】)

受委託機關(構)：中華科技大學

計畫主持人：連畊宇 助理教授 

共同主持人：陳士麟 教授 

聯絡電話：03-2654828

E-Mail Address：upckelly@cc.cust.edu.tw；slchen@cycu.edu.tw

報告日期：2015/08/17

目錄

摘要	1
壹、前言、研究目的與研究成果	2
貳、建立 101 年數據	3
參、撰寫計算程式	8
肆、比較程式計算結果	14
伍、模擬軟體建置模型之模擬結果	16
陸、計畫驗收查核項	26
柒、結論	29

圖目錄

圖 1、101 年#10 AG 389_3Phase Voltage	3
圖 2、相量計算_VI_for_AG 程式介面	8
圖 3、相量計算_VI_for_ABG 程式介面	8
圖 4、相量計算_VI_for_AG 程式碼	9
圖 5、相量計算_VI_for_ABG 程式碼	10
圖 6、相量計算_PQ_for_AG 程式介面	11
圖 7、相量計算_PQ_for_ABG 程式介面	11
圖 8、相量計算_PQ_for_AG 程式碼	12
圖 9、相量計算_PQ_for_ABG 程式碼	13
圖 10、103 年#8-AG、四路式#2 左側、14：30：15.254	14

圖 11、103 年#8-AG、四路式#2 左側、14：30：14.445.....	14
圖 12、103 年#11-ABN、四路式#1 右側、10：30：57.075.....	15
圖 13、103 年#11-ABN、四路式#1 右側、10：30：57.290.....	15
圖 14、類似台電綜研所試驗環境的饋線單線圖.....	16
圖 15、模擬軟體所建置之模型圖.....	17
圖 16、模擬故障點 10 號及量測點 2 號之單相接地故障：(a)三相電壓波形圖；(b)三相電流波形圖；(c) $3I_0$ & $3V_0$ 波形圖；(d)P & Q 波形圖；(e)正、負、零序電壓；(f)正、負、零序電流.....	20
圖 17、模擬故障點 10 號及量測點 4 號之單相接地故障：(a)三相電壓波形圖；(b)三相電流波形圖；(c) $3I_0$ & $3V_0$ 波形圖；(d)P & Q 波形圖；(e)正、負、零序電壓；(f)正、負、零序電流.....	22
圖 18、模擬故障點 10 號及量測點 7 號之單相接地故障：(a)三相電壓波形圖；(b)三相電流波形圖；(c) $3I_0$ & $3V_0$ 波形圖；(d)P & Q 波形圖；(e)正、負、零序電壓；(f)正、負、零序電流.....	24
圖 19、模擬故障點 10 號及量測點 9 號之單相接地故障：(a)三相電壓波形圖；(b)三相電流波形圖；(c)P & Q 波形圖.....	25
圖 20、模擬結果-故障發生前之數據分析.....	26
圖 21、模擬結果-故障發生時之數據分析.....	26
圖 22、模擬結果-故障結束後之數據分析.....	27
圖 23、將波形數字檔轉換成類比波形測試電驛.....	27

表目錄

表 1、 101 年#10 AG 389_正常段數據	4
表 2、 101 年#10 AG 389_故障前段數據	4
表 3、 101 年#10 AG 389_故障中段數據	5
表 4、 101 年#10 AG 389_故障末段數據	5
表 5、 101 年#10 ABG 318_正常段數據	6
表 6、 101 年#10 ABG 318_故障前段數據	6
表 7、 101 年#10 ABG 318_故障中段數據	7
表 8、 101 年#10 ABG 318_故障末段數據	7
表 9、 模擬軟體之各設備規格	18
表 10、 計畫驗收項目與研究成果對照表	28

摘要

本研究旨在根據中興電工於 101 及 103 年在台電綜研所測試 FTU(Feeder Terminal Unit, FTU)之數據進行探討，由於在 103 年的 FTU 測試中，於某些特定案例有舉旗不正確之情況，因此根據 101 年的測試數據，透過撰寫 Labview 程式計算數據，分析 101 及 103 年的試驗波形與數據，並探討其舉旗錯誤之原因，另依據台電綜研所之 RTDS(Real-Time Digital Simulation, RTDS)模擬試驗模組，利用軟體模擬類似的饋線，再觀察模擬出的波形，探討舉旗特性，並建議軟體模擬結果如何用於未來電驛測試的方法。

壹、前言、研究目的與研究成果

研究背景

本研究旨在透過中興電工所提供之試驗數據，探討其 FTU 於台電綜研所試驗中舉旗錯誤之原因，並提出可予改善之舉旗建議。

研究目的

本研究目的在於探討台電綜研所之 FTU 試驗環境對試驗結果之影響，並探討可能干擾 FTU 舉旗之影響因素，提出減少干擾的舉旗判讀建議；並提供饋線模型，說明模擬結果以及模型未來用於電驛測試的方法。

研究成果

- (1)設計方法，根據 101 及 103 年之試驗數據，完成波形之還原，並提出其可能干擾 FTU 舉旗錯誤之因素。
- (2)利用軟體建置饋線模型，模擬饋線故障，據之觀察波形特性及其對舉旗之影響。
- (3)建議此饋線模型未來用於電驛測試的方法。

貳、建立 101 年數據

本研究根據 101 年測試數據(AG、ABG)找出正常段(Normal, 縮寫 N)、故障前段(Fault Front, 縮寫 FF, 約故障後第 2 個 Cycle)、故障中段(Fault Middle, 縮寫 FM)、故障末段(Fault Terminal, 縮寫 FT, 約故障截止前第 2 個 Cycle)的電壓電流數據, 如圖 1, 並根據資料中的零交越點, 找出相位的角度。

將電壓電流數據擷取 1 週期的取樣點(約 208 點), 透過 Excel 程式計算出 RMS 值(註 1), 並建立表 1~表 8(註 2)。

註 1: RMS 公式為 $\text{RMS} = \sqrt{\text{SUMSQ}(A \sim :A \sim) / \text{COUNT}(A \sim :A \sim)}$

註 2: 表 1~表 8 中, I_FTUIR 為右側四路亭置式 FTU 電流, I_FTU2L 為左側四路亭置式 FTU 電流。

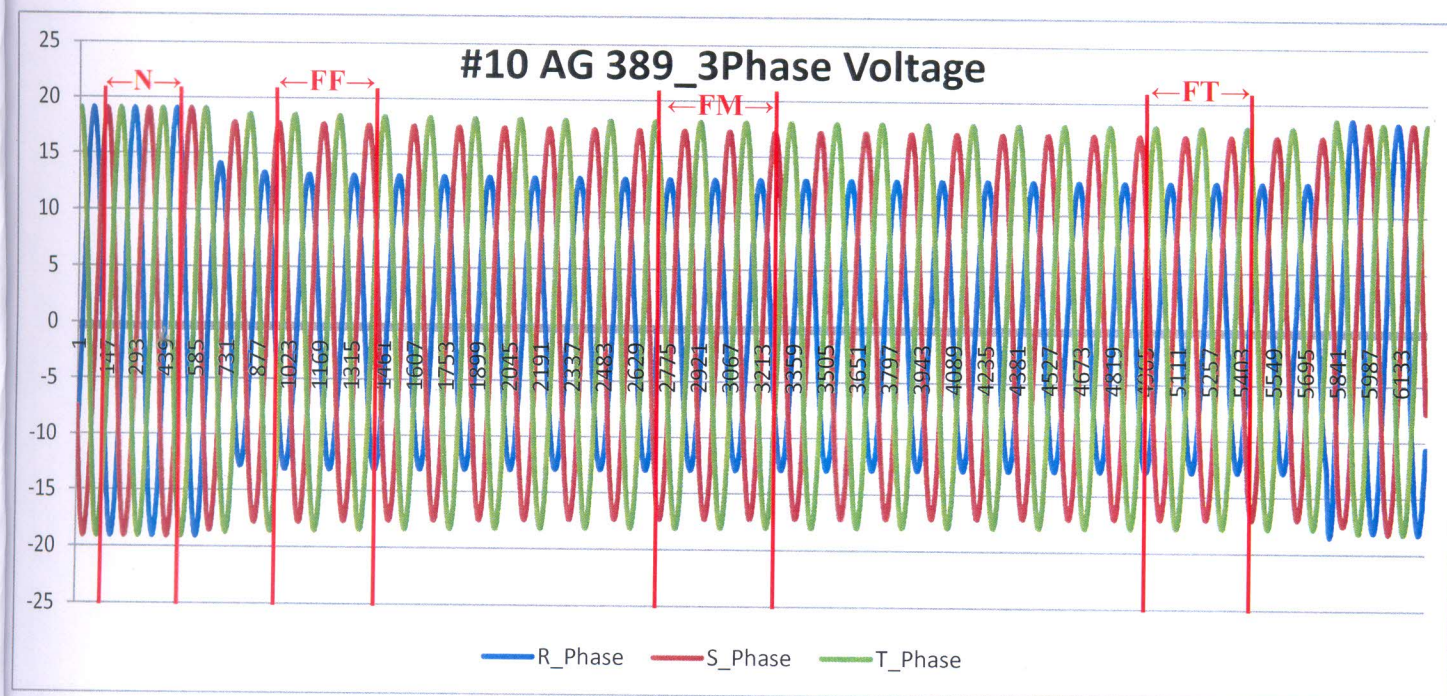


圖 1、101 年#10 AG 389_3Phase Voltage

表 1、101 年#10 AG 389_正常段數據

Normal					
Va	13.48	arcVab	120.5		
Vb	13.46	arcVbc	122.22		
Vc	13.46	arcVca	120.5		
I_FTU1RA	0.2	theta	134.27	arcIab	120.5
I_FTU1RB	0.2	theta	134.27	arcIbc	122.22
I_FTU1RC	0.2	theta	134.27	arcIca	120.5
I_FTU1RN	0.000517				
I_FTU2LA	0.22	theta	325.34	arcIab	120.5
I_FTU2LB	0.22	theta	325.34	arcIbc	120.5
I_FTU2LC	0.22	theta	321.9	arcIca	122.22
I_FTU2LN	0.000214				

表 2、101 年#10 AG 389_故障前段數據

Fault Front					
Va	9.27	arcVab	117.05		
Vb	12.53	arcVbc	129.1		
Vc	13.1	arcVca	118.78		
I_FTU1RA	1.99	theta	251.32	arcIab	191.07
I_FTU1RB	0.36	theta	325.34	arcIbc	-10.33
I_FTU1RC	0.69	theta	189.35	arcIca	179.02
I_FTU1RN	1				
I_FTU2LA	2.06	theta	63.69	arcIab	208
I_FTU2LB	0.39	theta	154.92	arcIbc	-13.77
I_FTU2LC	0.72	theta	13.77	arcIca	170.41
I_FTU2LN	1				

表 3、101 年#10 AG 389_故障中段數據

Fault Middle					
Va	9.1	arcVab	113.61		
Vb	12.06	arcVbc	129.1		
Vc	12.68	arcVca	120.5		
I_FTU1RA	1.99	theta	249.6	arcIab	185.91
I_FTU1RB	0.53	theta	321.9	arcIbc	17.21
I_FTU1RC	0.61	theta	210.01	arcIca	161.81
I_FTU1RN	0.92				
I_FTU2LA	2.05	theta	67.13	arcIab	180.75
I_FTU2LB	0.52	theta	134.27	arcIbc	18.94
I_FTU2LC	0.66	theta	24.1	arcIca	163.53
I_FTU2LN	0.92				

表 4、101 年#10 AG 389_故障末段數據

Fault Terminal					
Va	9.09	arcVab	115.33		
Vb	12	arcVbc	127.38		
Vc	12.61	arcVca	120.5		
I_FTU1RA	1.99	theta	249.6	arcIab	182.47
I_FTU1RB	0.52	theta	130.83	arcIbc	18.94
I_FTU1RC	0.62	theta	210.01	arcIca	158.37
I_FTU1RN	0.91				
I_FTU2LA	2.06	theta	67.13	arcIab	179.02
I_FTU2LB	0.54	theta	130.83	arcIbc	22.38
I_FTU2LC	0.66	theta	24.1	arcIca	163.53
I_FTU2LN	0.91				

表 5、101 年#10 ABG 318_正常段數據

Normal					
Va	13.48	arcVab	122.22		
Vb	13.46	arcVbc	120.5		
Vc	13.46	arcVca	122.22		
I_FTU1RA	0.2	theta	136	arcIab	120.5
I_FTU1RB	0.2	theta	134.27	arcIbc	120.5
I_FTU1RC	0.2	theta	134.27	arcIca	122.22
I_FTU1RN	0.000287				
I_FTU2LA	0.22	theta	325.34	arcIab	122.22
I_FTU2LB	0.22	theta	325.34	arcIbc	120.5
I_FTU2LC	0.22	theta	325.34	arcIca	120.5
I_FTU2LN	0.000473				

表 6、101 年#10 ABG 318_故障前段數據

Fault Front					
Va	9.47	arcVab	113.61		
Vb	8.5	arcVbc	122.22		
Vc	12.1	arcVca	127.38		
I_FTU1RA	2.33	theta	234.11	arcIab	139.43
I_FTU1RB	2.19	theta	259.93	arcIbc	106.73
I_FTU1RC	0.57	theta	244.44	arcIca	117.05
I_FTU1RN	1.02				
I_FTU2LA	2.34	theta	48.2	arcIab	144.6
I_FTU2LB	2.25	theta	79.18	arcIbc	122.22
I_FTU2LC	0.58	theta	79.18	arcIca	101.56
I_FTU2LN	1.02				

表 7、101 年#10 ABG 318_故障中段數據

Fault Middle					
Va	9.23	arcVab	115.33		
Vb	8.3	arcVbc	120.5		
Vc	11.59	arcVca	129.1		
I_FTU1RA	2.23	theta	235.83	arcIab	141.15
I_FTU1RB	2.16	theta	261.65	arcIbc	120.5
I_FTU1RC	0.69	theta	261.65	arcIca	105
I_FTU1RN	0.93				
I_FTU2LA	2.28	theta	55.08	arcIab	137.71
I_FTU2LB	2.23	theta	77.46	arcIbc	120.5
I_FTU2LC	0.74	theta	77.46	arcIca	105
I_FTU2LN	0.93				

表 8、101 年#10 ABG 318_故障末段數據

Fault Terminal					
Va	9.14	arcVab	113.61		
Vb	8.2	arcVbc	120.5		
Vc	11.34	arcVca	129.1		
I_FTU1RA	2.2	theta	235.83	arcIab	137.71
I_FTU1RB	2.17	theta	259.93	arcIbc	127.38
I_FTU1RC	0.77	theta	266.81	arcIca	99.84
I_FTU1RN	0.88				
I_FTU2LA	2.25	theta	55.08	arcIab	137.71
I_FTU2LB	2.23	theta	79.18	arcIbc	123.94
I_FTU2LC	0.82	theta	82.63	arcIca	101.56
I_FTU2LN	0.88				

參、撰寫計算程式

根據(1)式與(2)式計算出 $3I_0$ 與 $-V_0$ ，並利用 Labview 將其計算過程程式化，其程式介面與程式碼如圖 2~圖 5。

$$3I_0 = I_a + I_b + I_c \dots\dots\dots (1)$$

$$-V_0 = \frac{-(V_a + V_b + V_c)}{3} \dots\dots\dots (2)$$

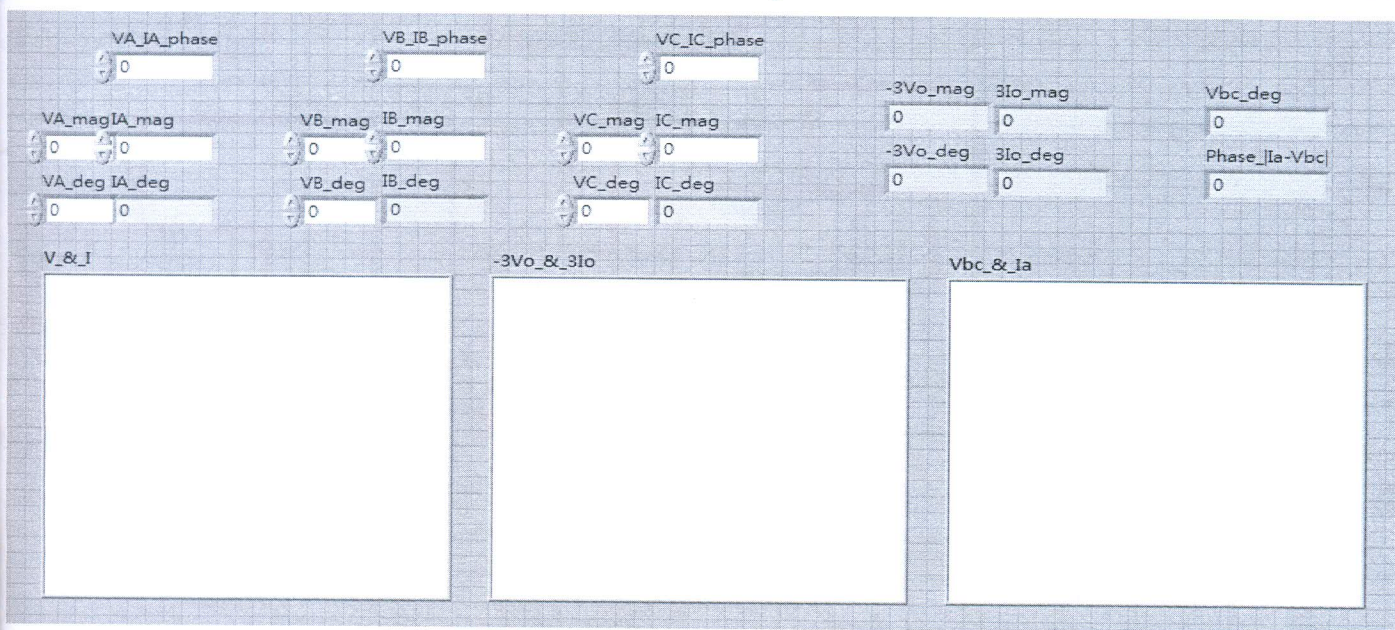


圖 2、向量計算_VI_for_AG 程式介面

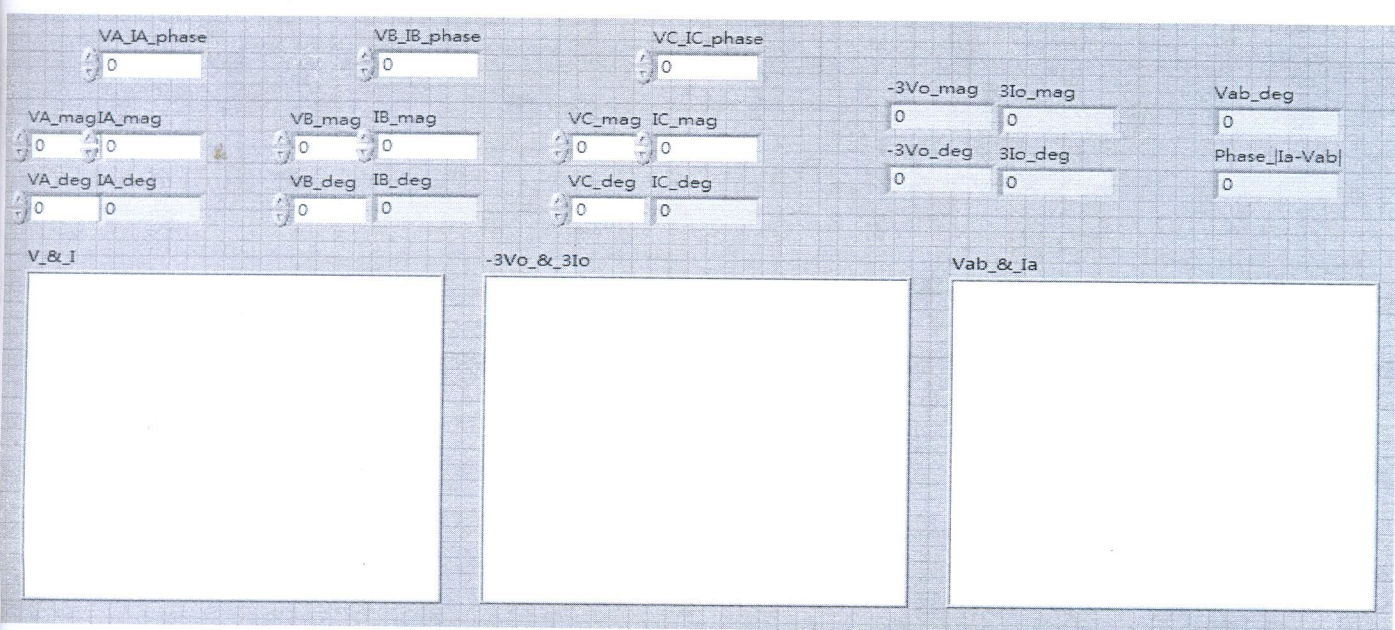


圖 3、向量計算_VI_for_ABG 程式介面

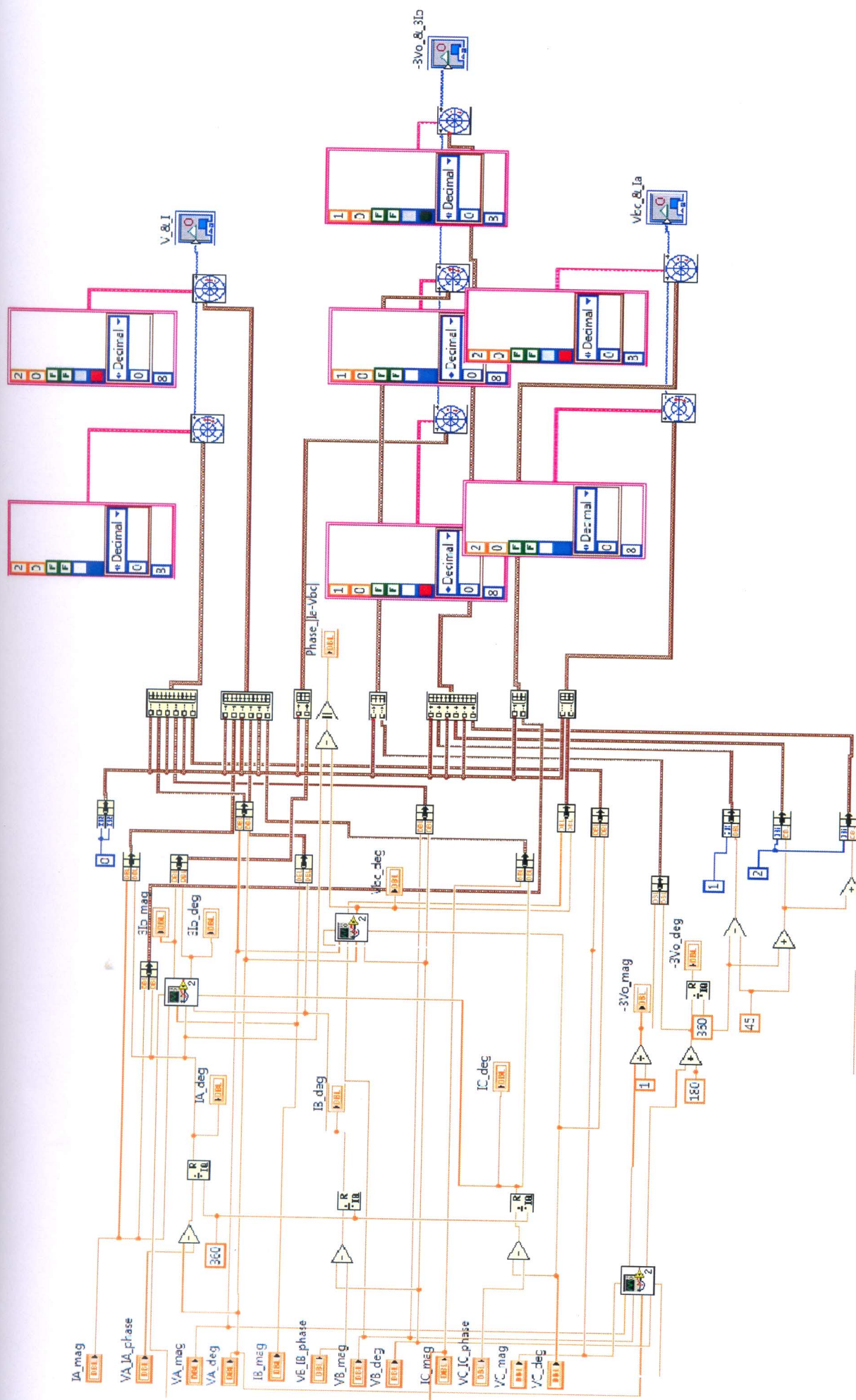


圖 4、相量計算_VI_for_AG 程式碼

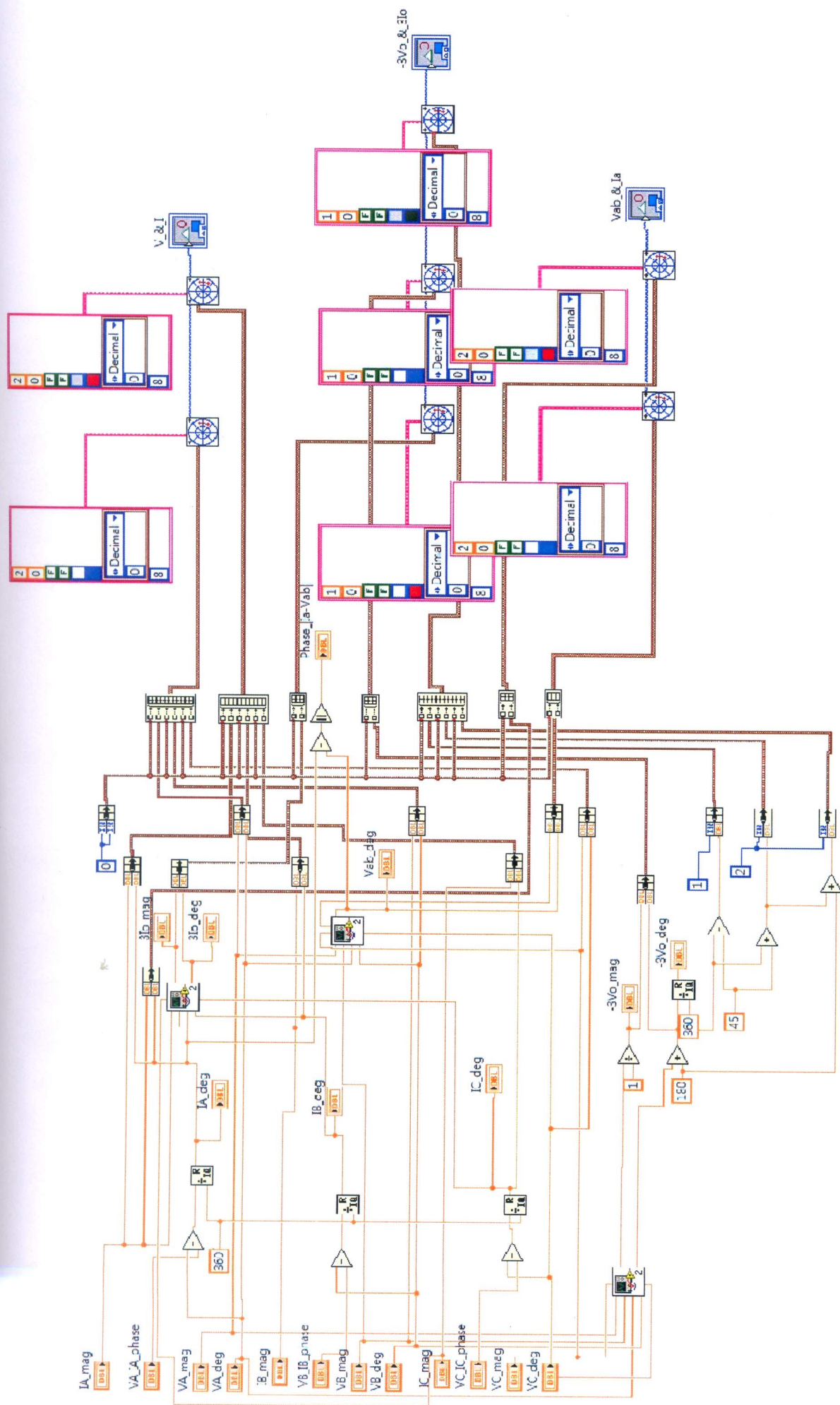


圖 5、相量計算_VI_for_ABG 程式碼

根據 103 年資料中的 P、Q 值，透過公式(1)~(5)，再加上表 3 與表 7 中的電壓值與相位角，估算出電流值與其他相關數據，並利用 Labview 將其計算過程程式化，其程式介面與程式碼如圖 6~圖 9。

$$P_A = V_A I_A \cos \theta_A \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_A = V_A I_A \sin \theta_A \dots\dots\dots (4)$$

$$\tan \theta_A = \frac{Q_A}{P_A} \dots\dots\dots (5)$$

圖 6、相量計算_PQ_for_AG 程式介面

圖 7、相量計算_PQ_for_ABG 程式介面

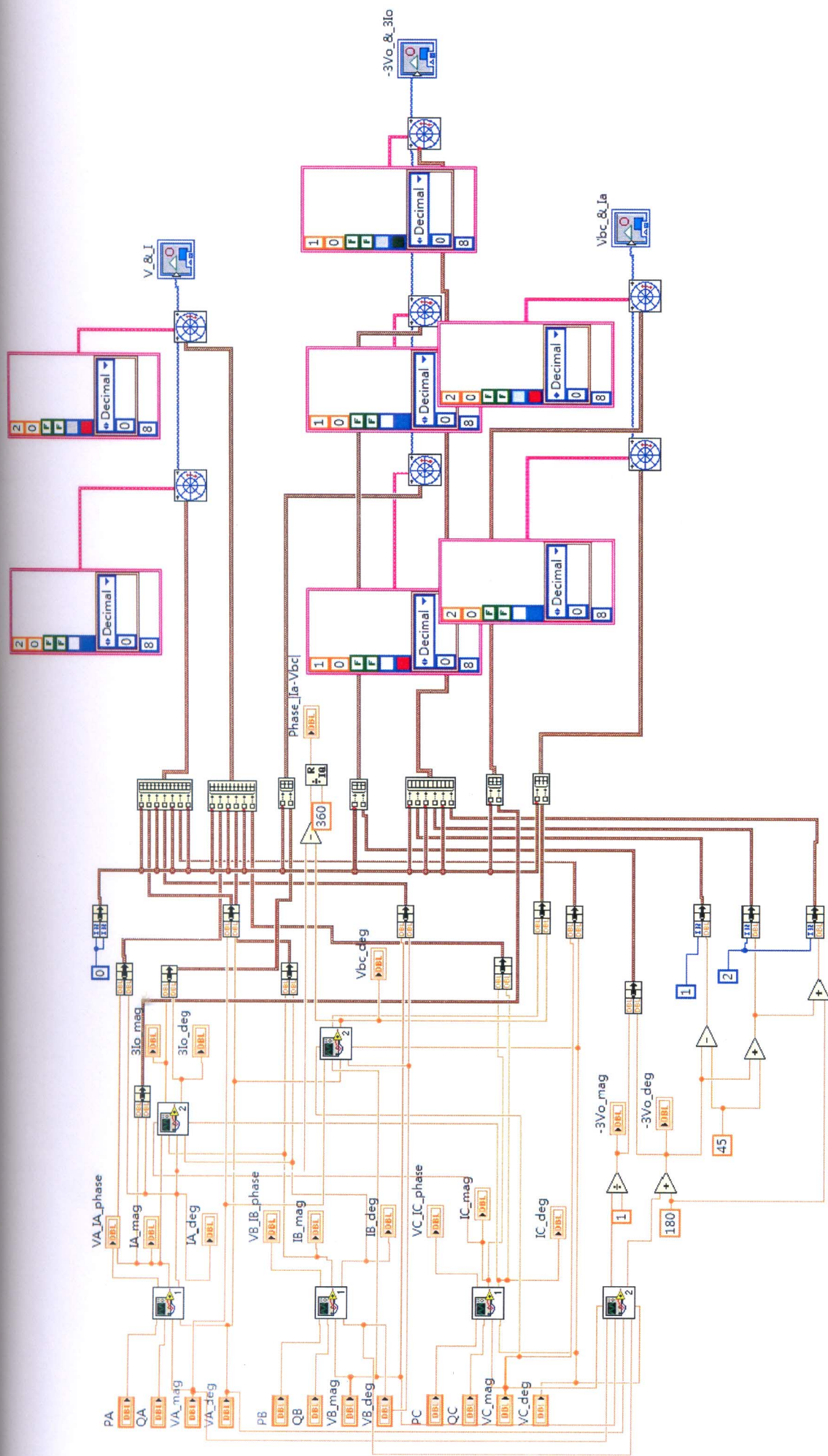


圖 8、相量計算_PQ_for_AG 程式碼

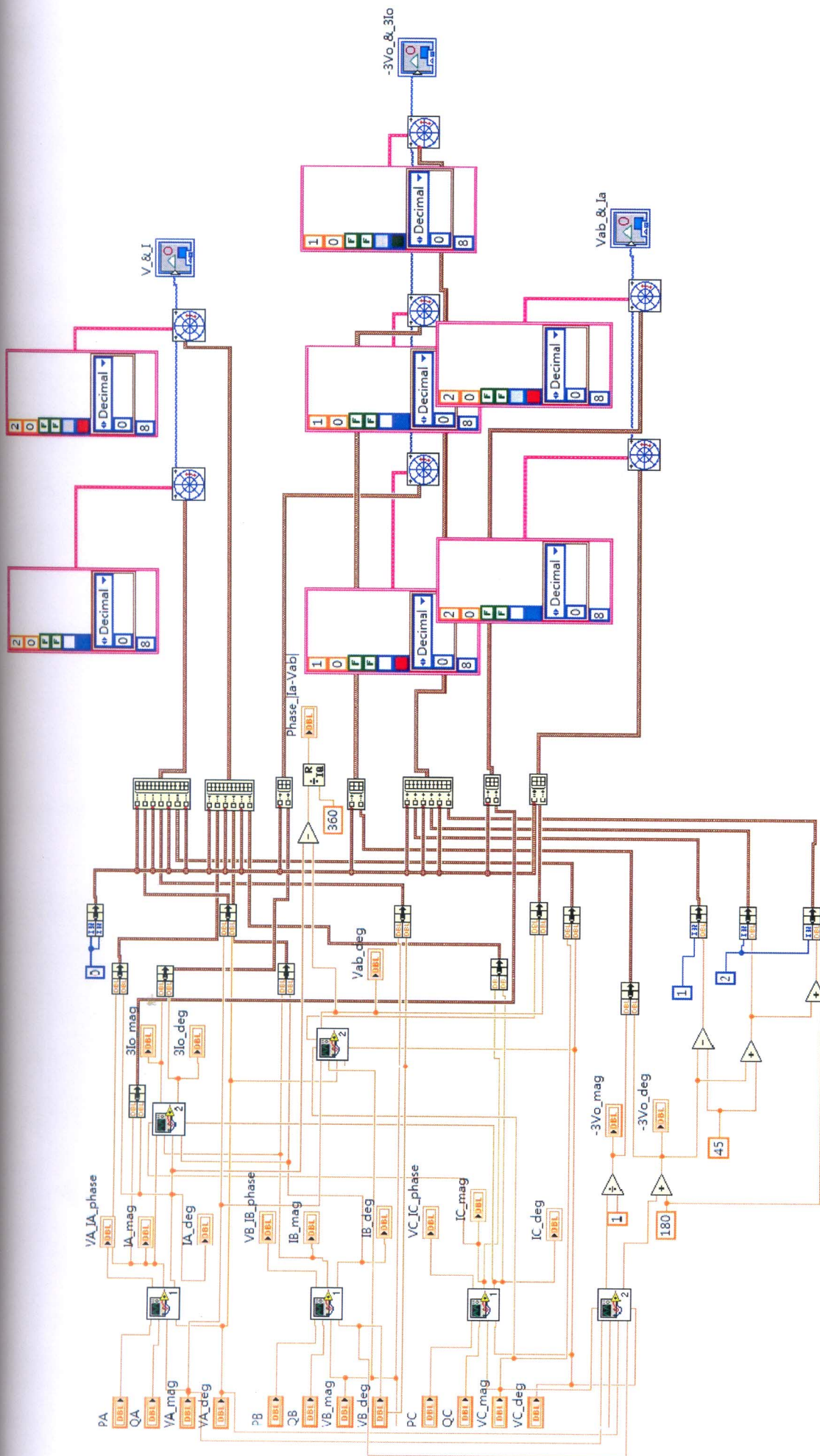


圖 9、相量計算_PQ_for_ABG 程式碼

肆、比較程式計算結果

將 101 年與 103 年的資料，透過相量計算_VI_for_AG、相量計算_VI_for_ABG、相量計算_PQ_for_AG、相量計算_PQ_for_ABG，此四個程式計算出 $3I_0$ 與 $-V_0$ ，並畫出相關的相量圖，如圖 10~圖 13。

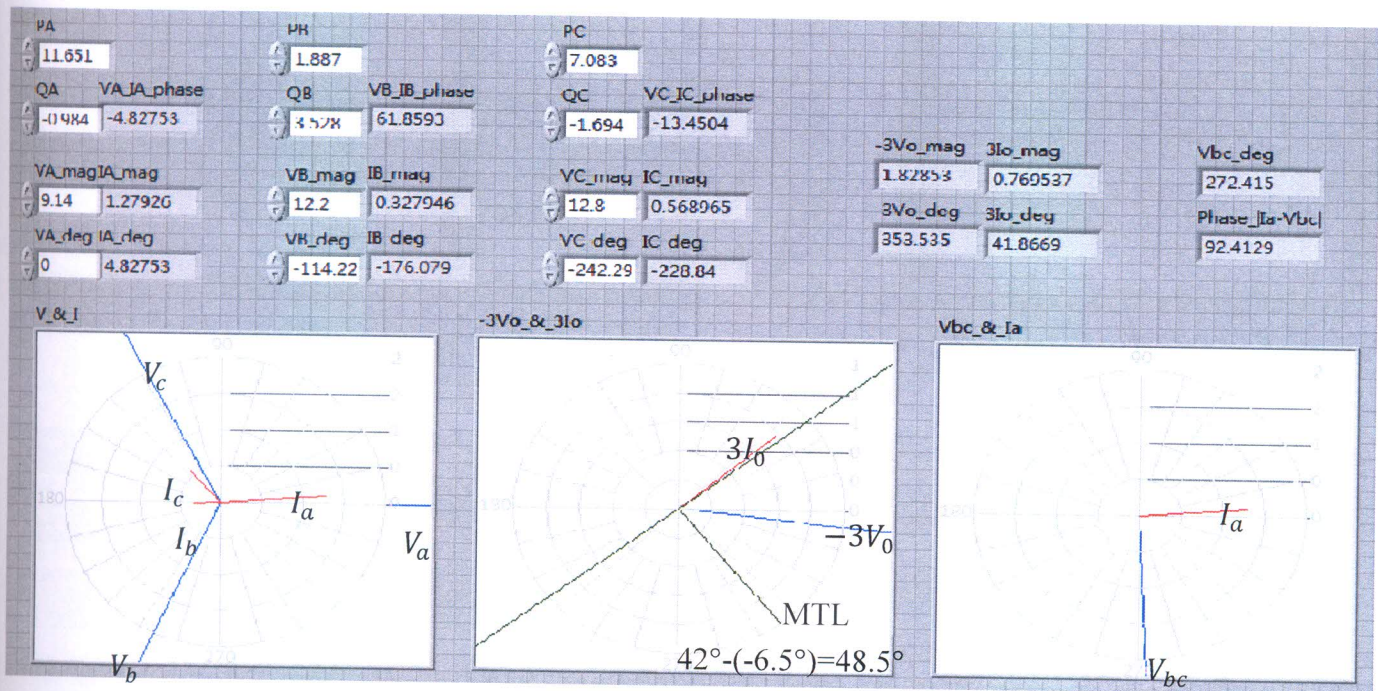


圖 10、103 年#8-AG、四路式#2 左側、14：30：15.254

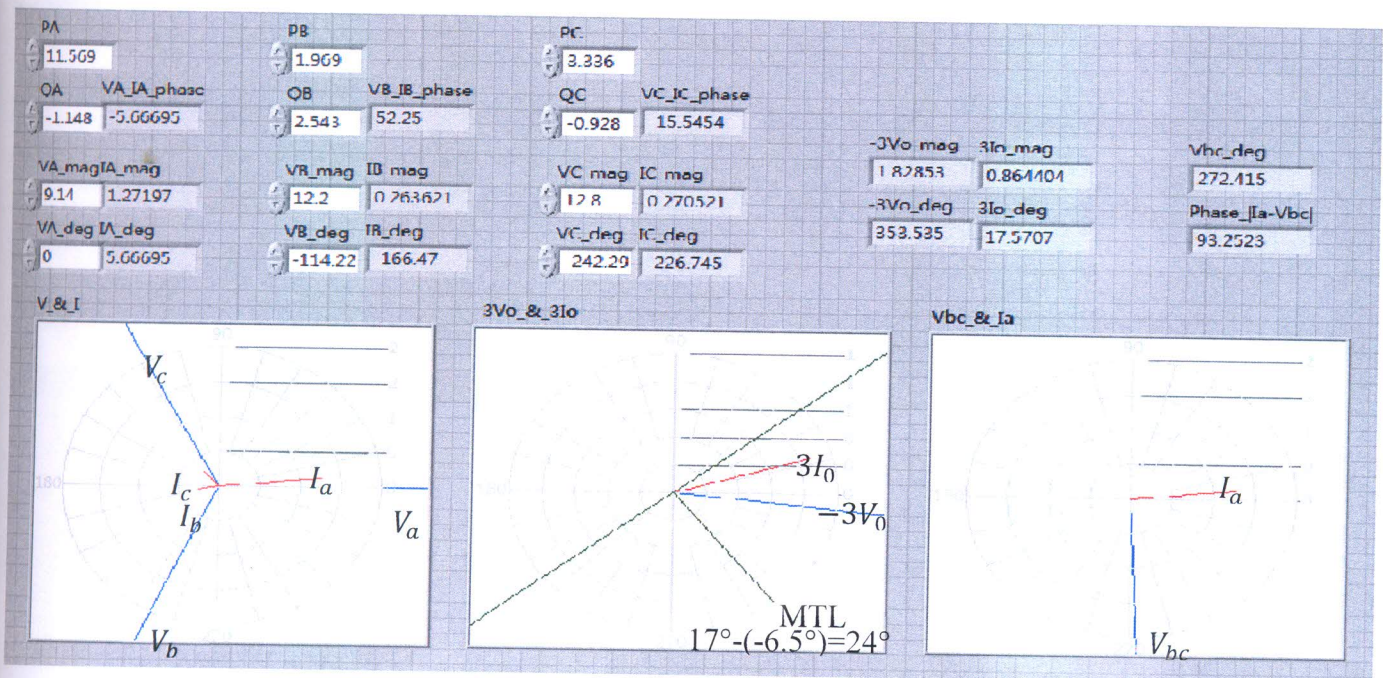


圖 11、103 年#8-AG、四路式#2 左側、14：30：14.445

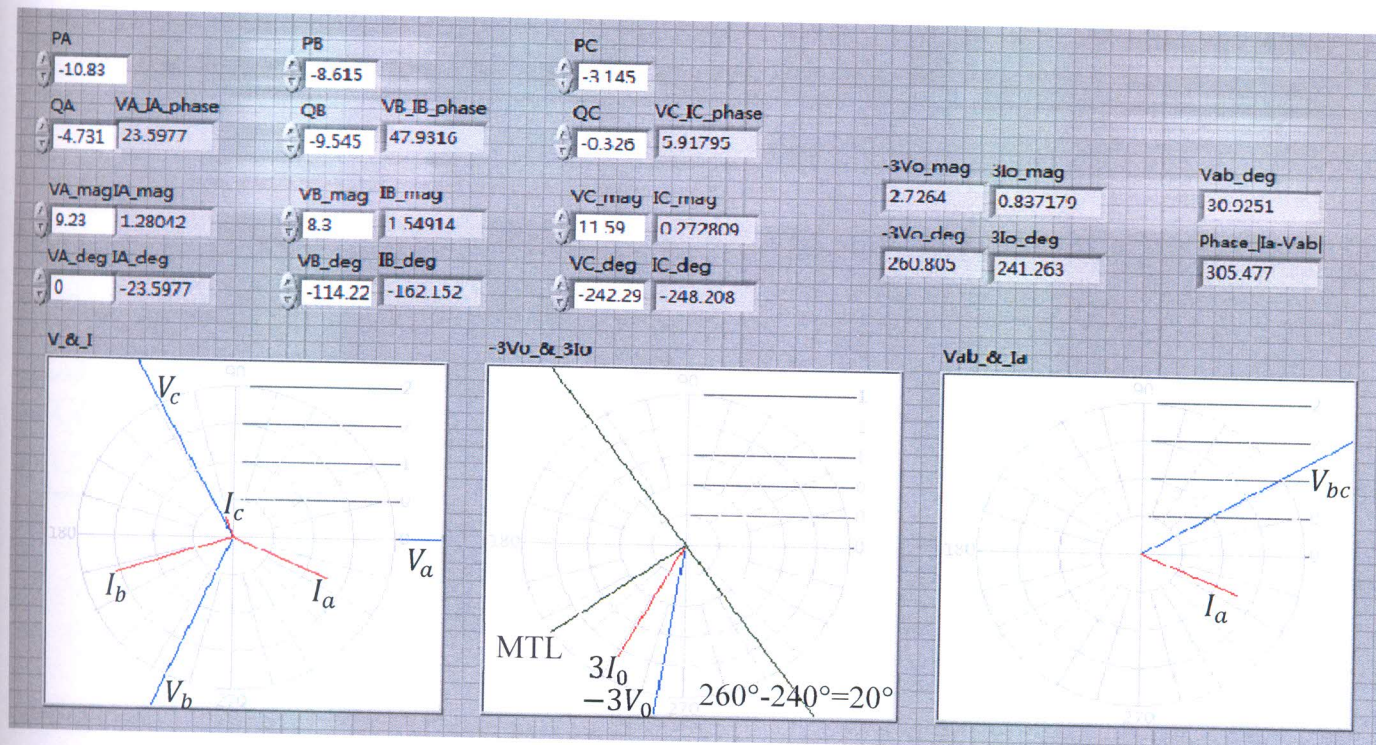


圖 12、103 年#11-ABN、四路式#1 右側、10：30：57.075

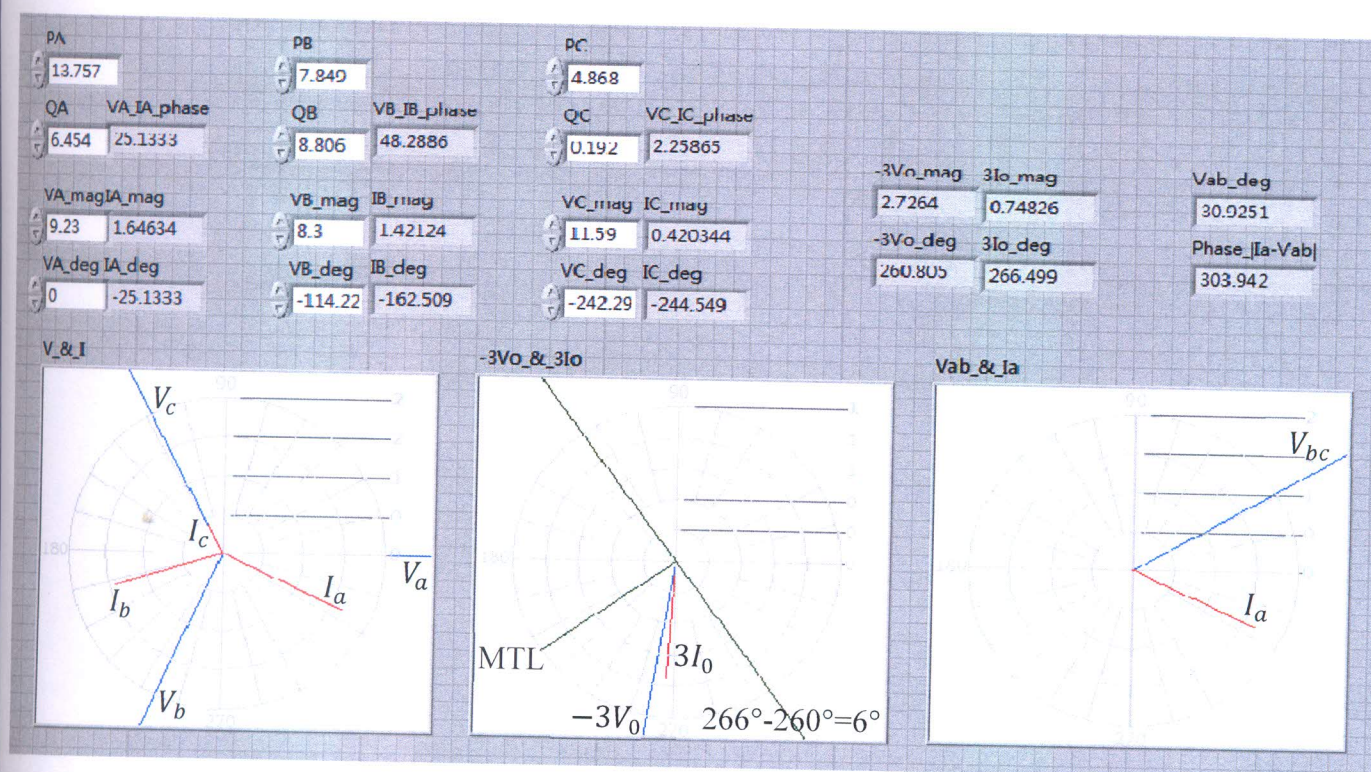


圖 13、103 年#11-ABN、四路式#1 右側、10：30：57.290

圖 10 顯示： $3I_0$ 相量進入至非動作區，誤判「故障方向不在保護區方向」。此外，比較圖 10~13 顯示： $3\vec{I}_0$ 與 $3\vec{V}_0$ 的夾角亦呈現漂移現象，亦影響故障方向判讀的穩定性。

伍、模擬軟體建置模型之模擬結果

本研究根據中興電工所提供的資料，建置一套類似台電綜研所的饋線模型，如圖

14 所示，而本研究所建置的模型圖，如圖 15。

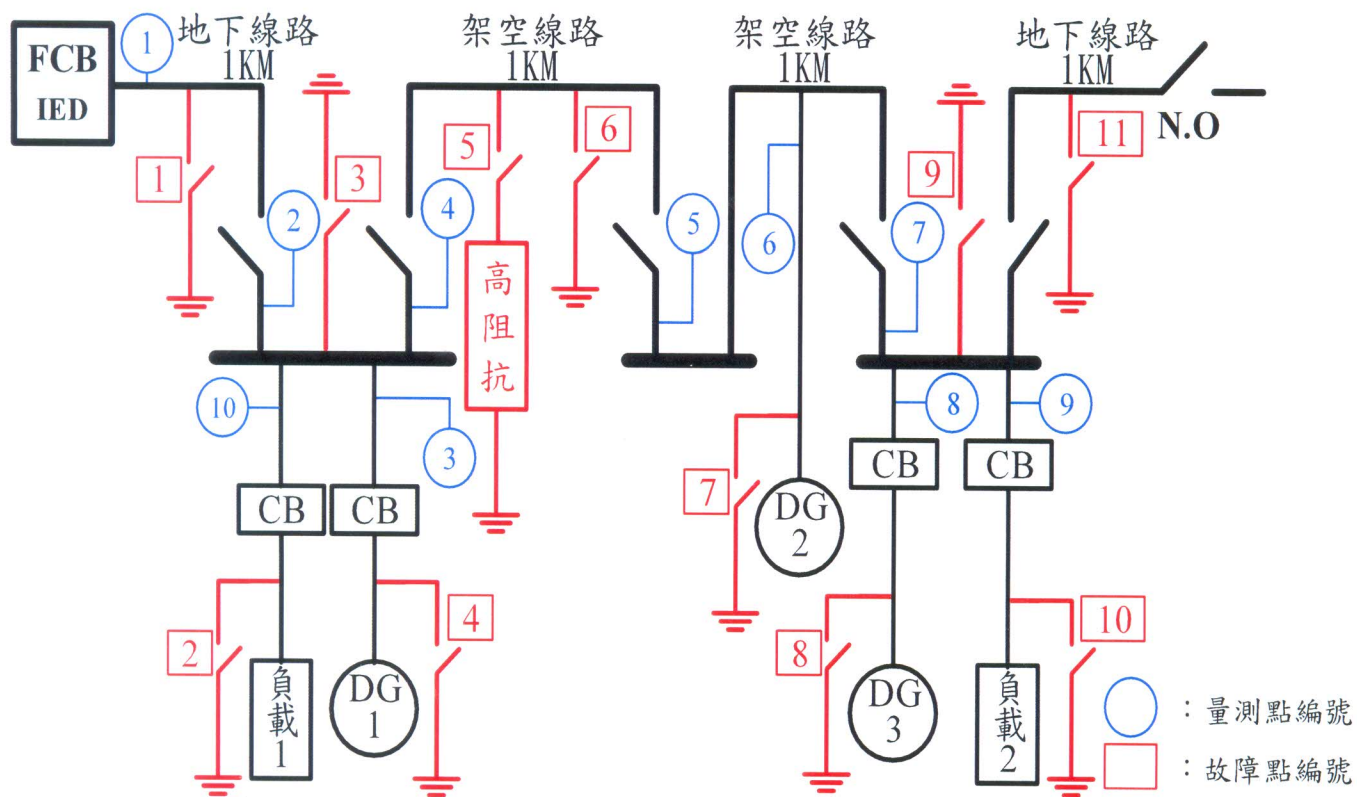


圖 14、類似台電綜研所試驗環境的饋線單線圖

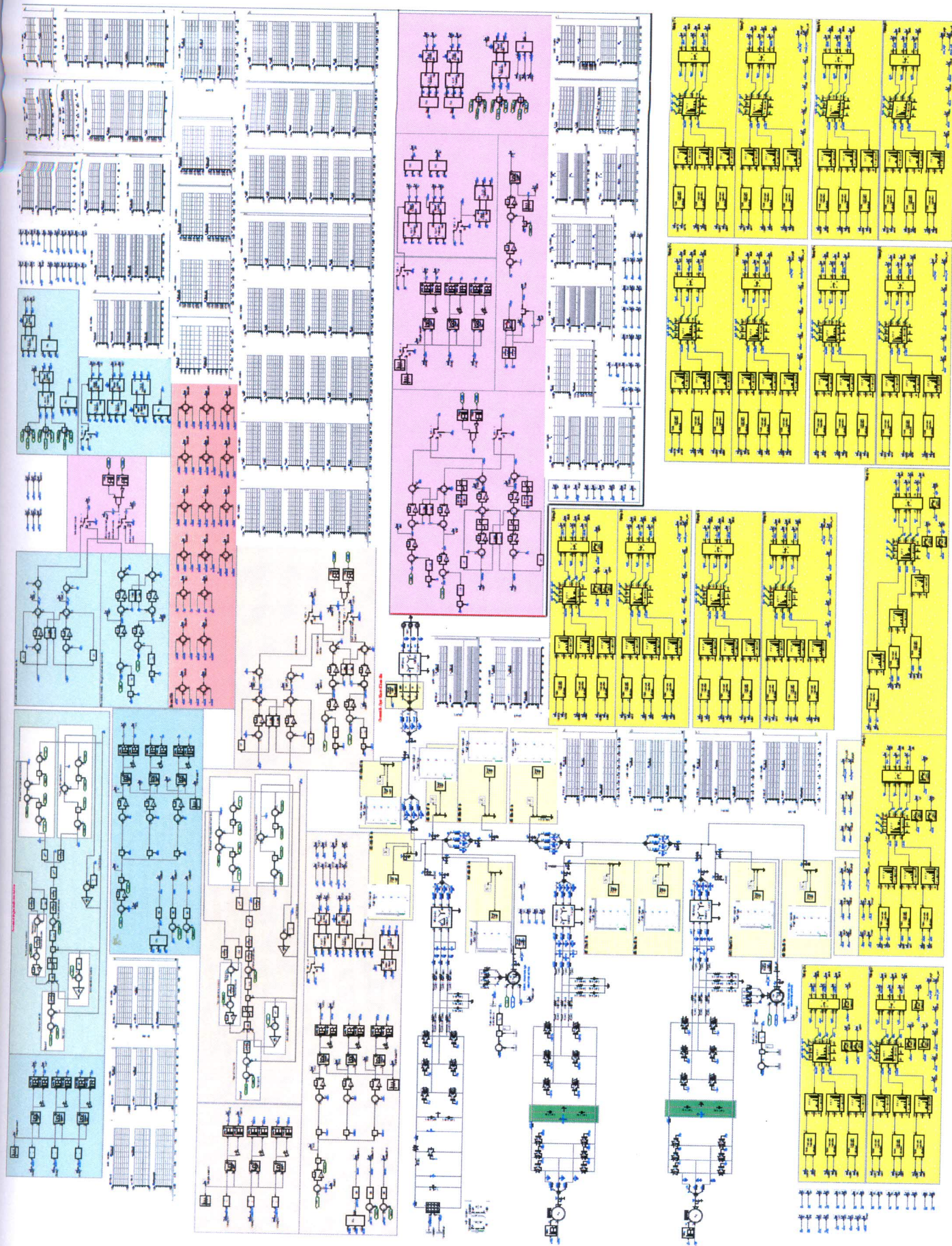


圖 15、模擬軟體所建置之模型圖

根據圖 15 所建置之模型，本研究所假設的饋線參數如表 9。

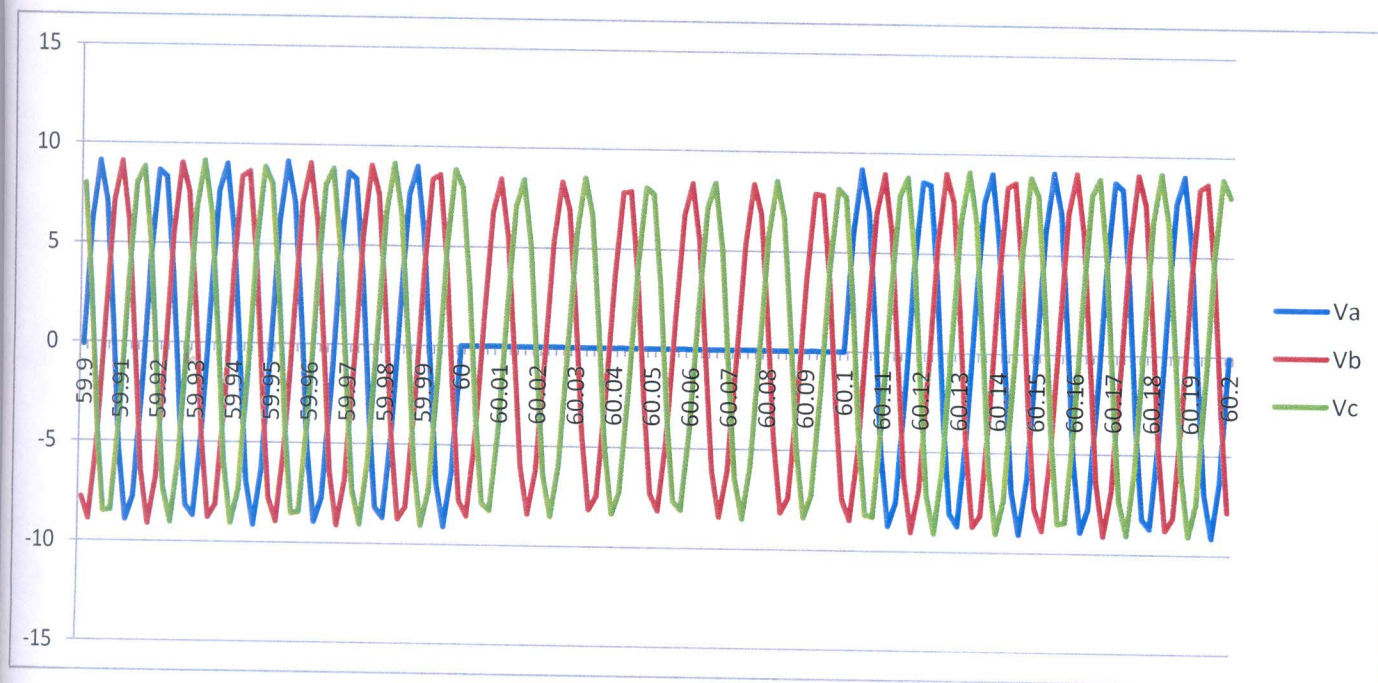
表 9、模擬軟體之各設備規格

設備	規格
地下線路	25KV500MCM
架空線路	477MCM/AWG
DG1	PV：20.16kW
DG2	微渦輪機：65kW
DG3	微渦輪機：65kW
負載 1	30kW
負載 2	45kW

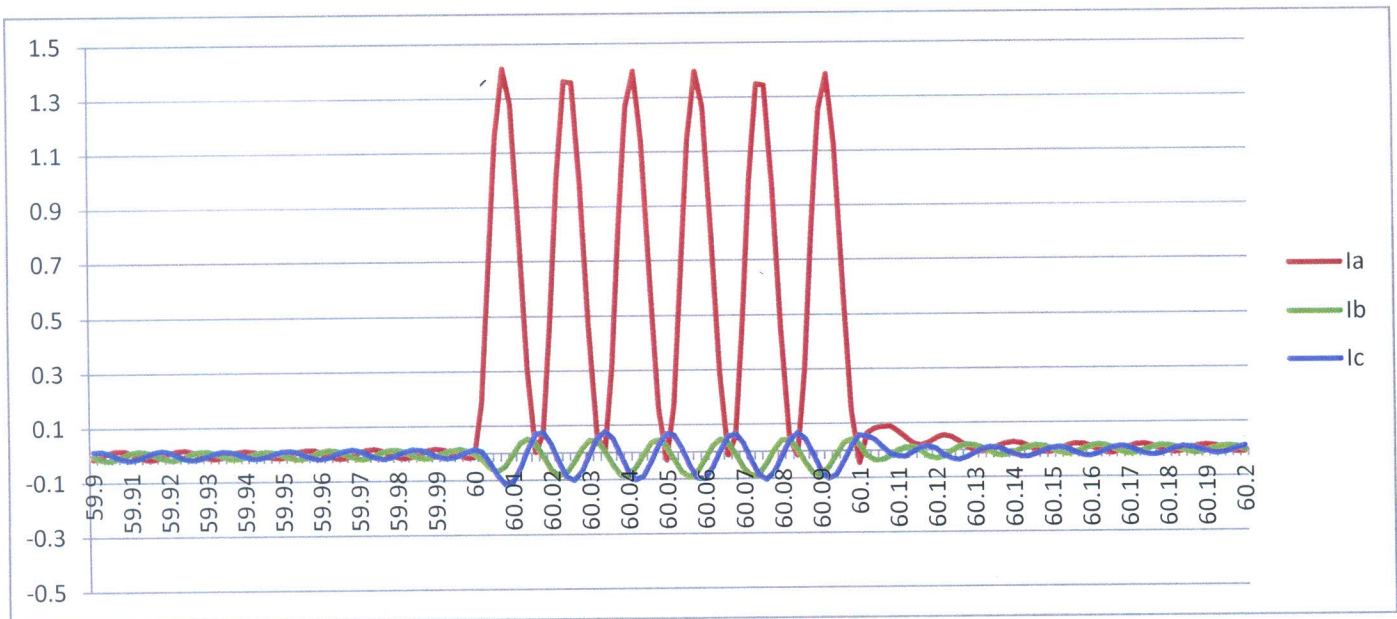
本研究根據表 9 之假設進行模擬，故障點為 10 號，量測點 2、4、7、9，以下將呈現三相電壓、電流、 $3I_0$ & $3V_0$ 、P & Q、正序負序零序電壓、正序負序零序電流。

(1) 單相接地故障

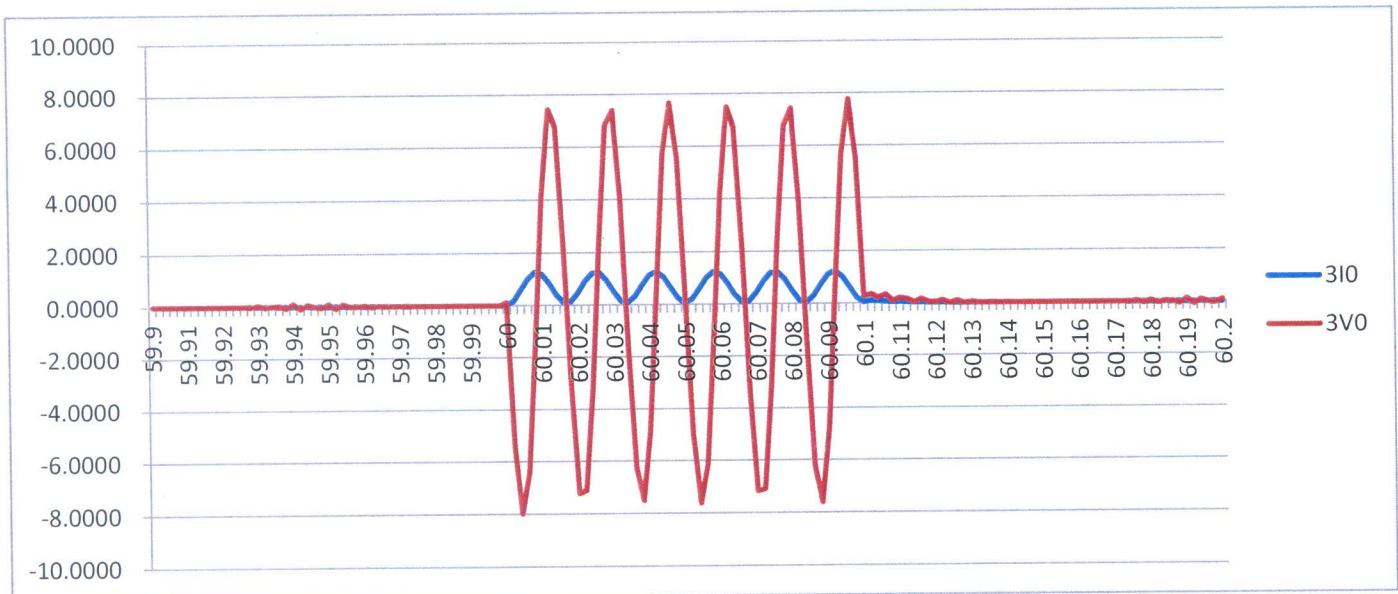
量測點：2



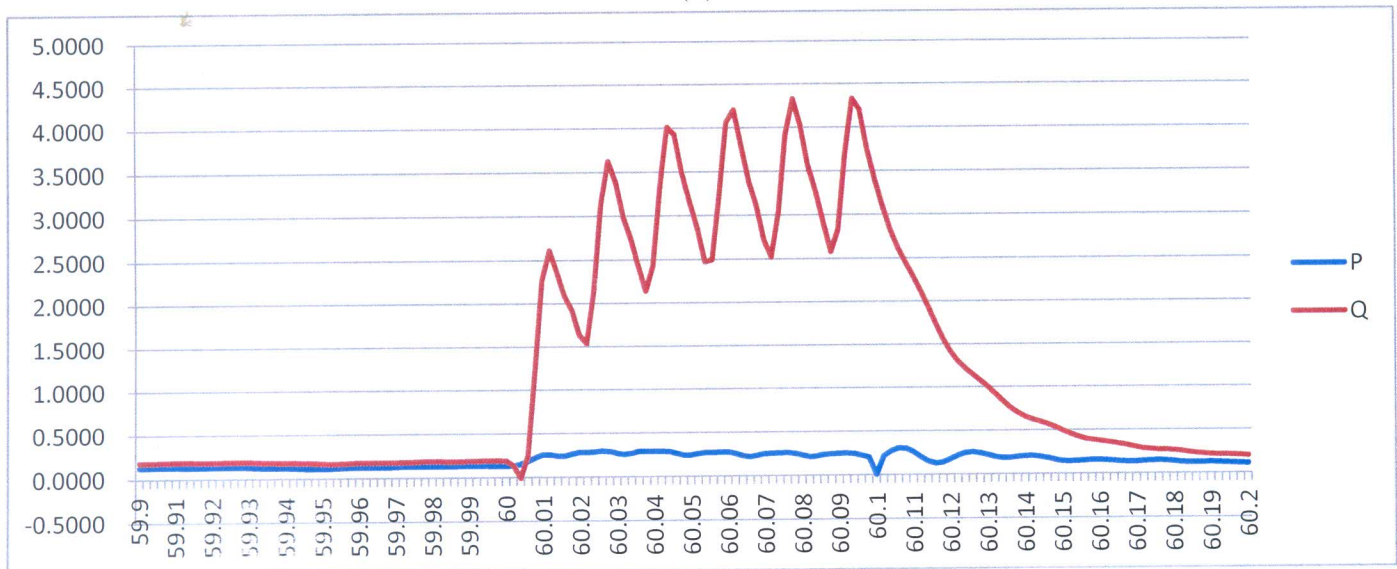
(a)



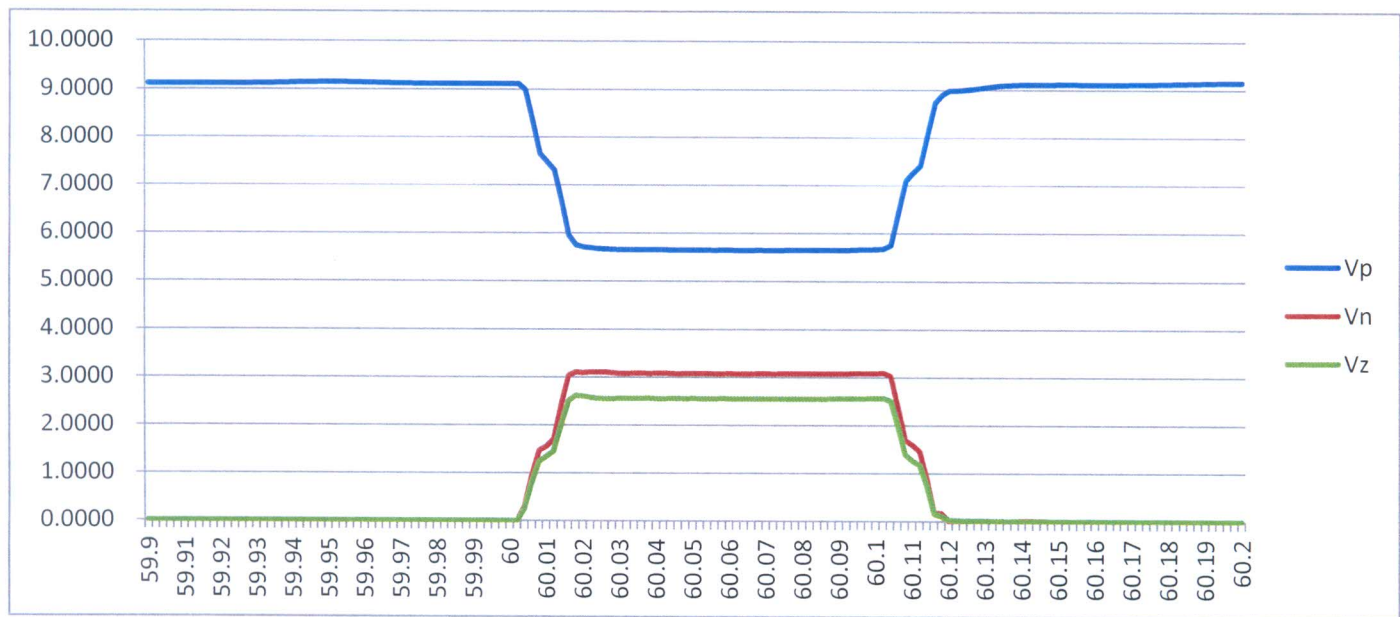
(b)



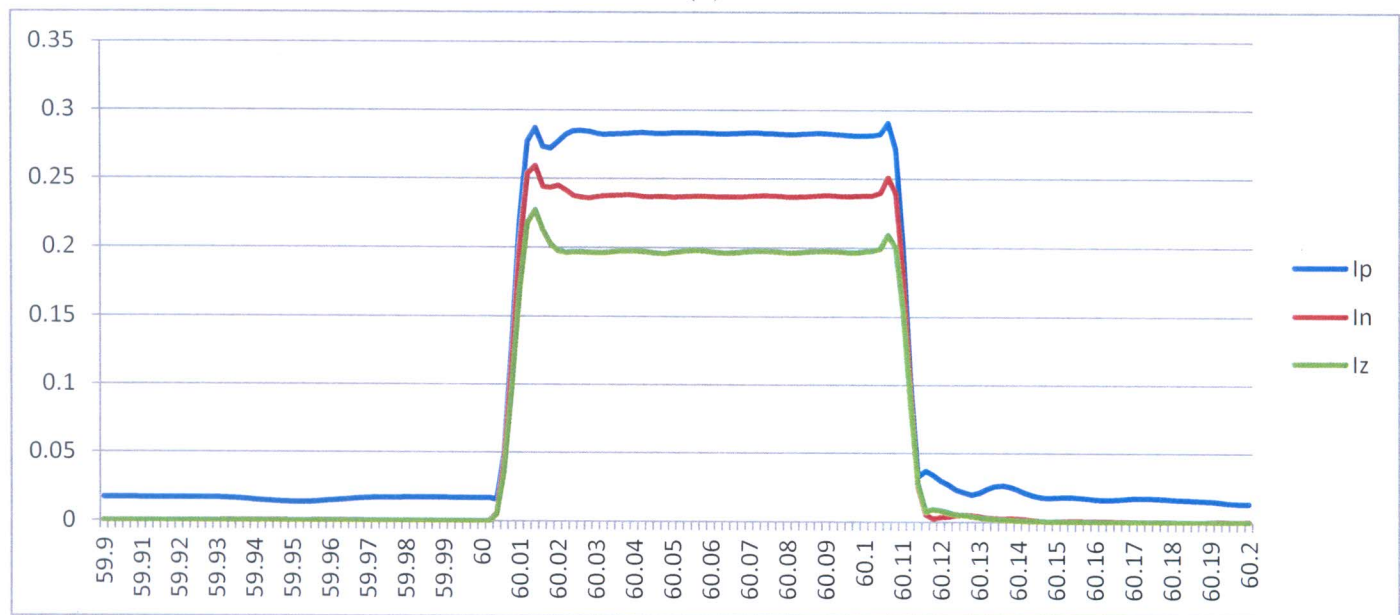
(c)



(d)



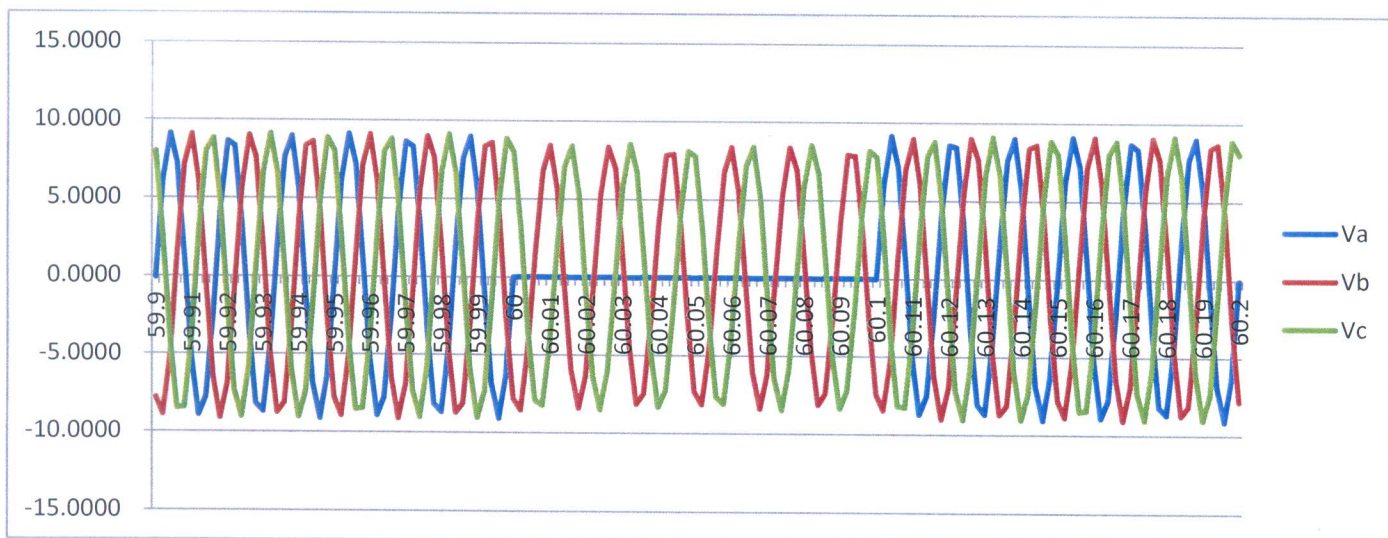
(e)



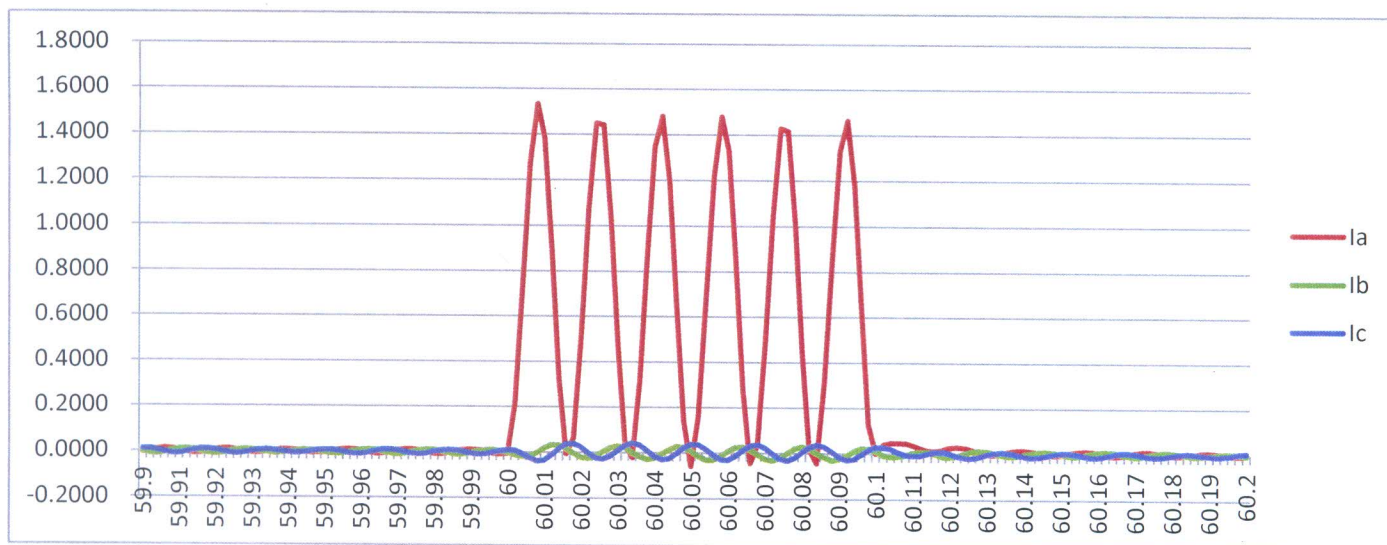
(f)

圖 16、模擬故障點 10 號及量測點 2 號之單相接地故障：(a)三相電壓波形圖；(b)三相電流波形圖；(c) $3I_0$ & $3V_0$ 波形圖；(d) P & Q 波形圖；(e) 正、負、零序電壓；(f) 正、負、零序電流

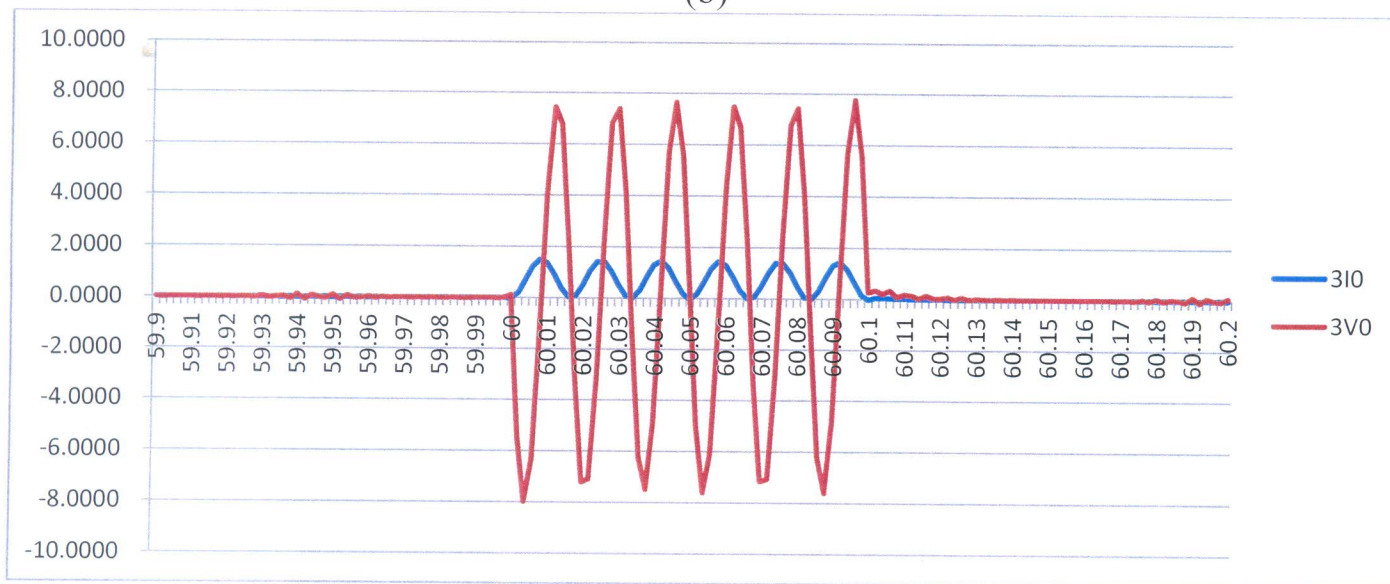
量測點：4



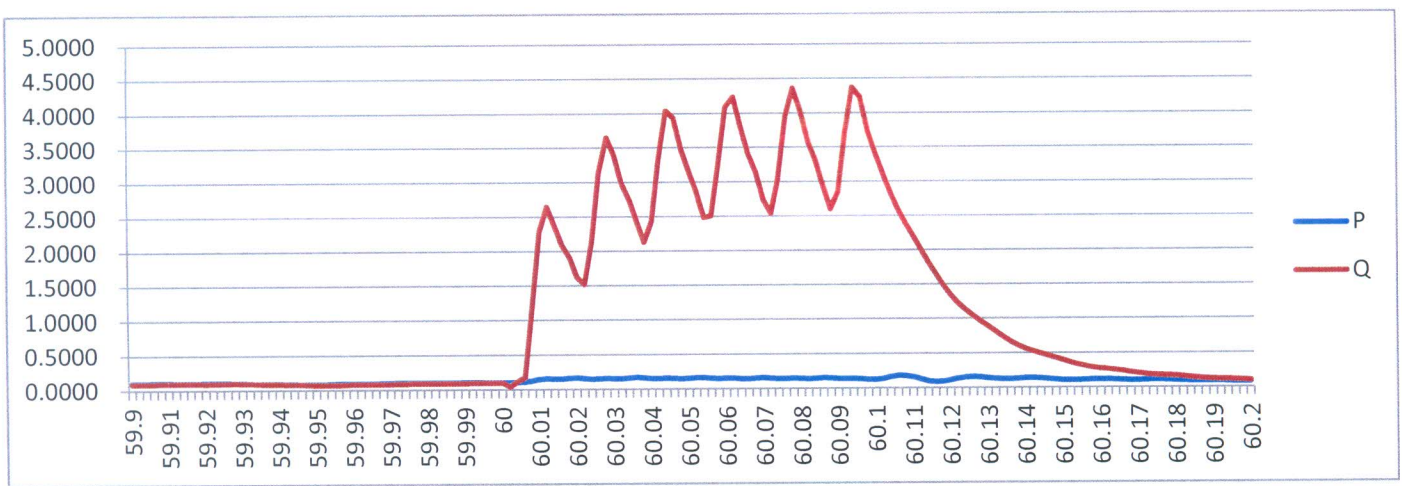
(a)



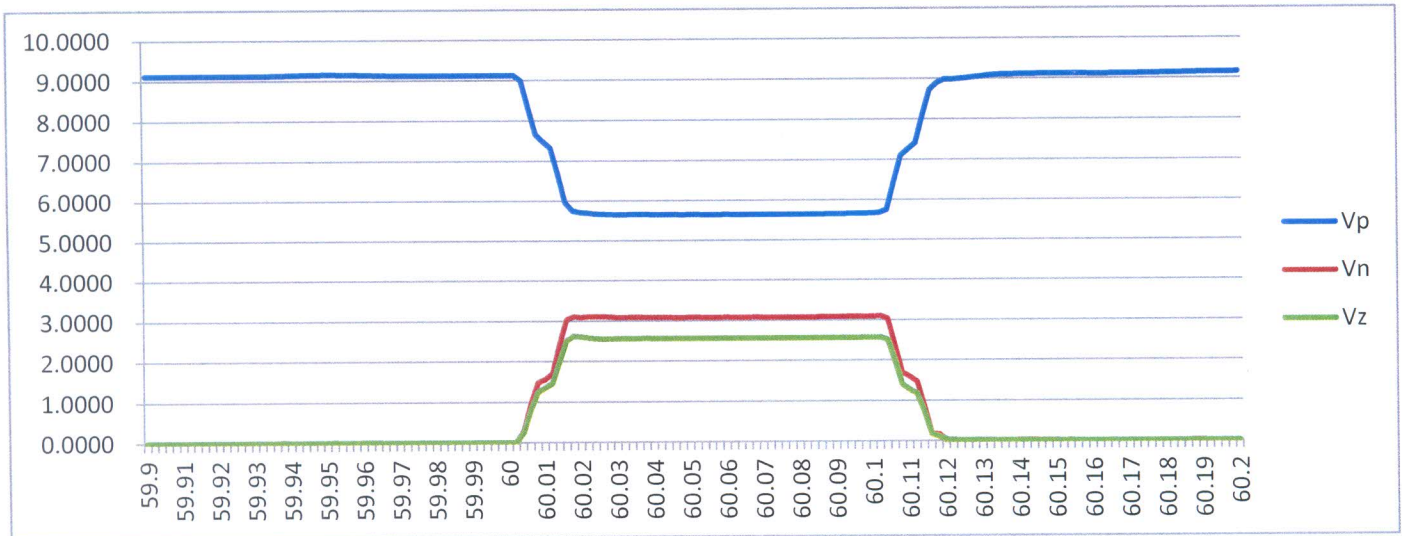
(b)



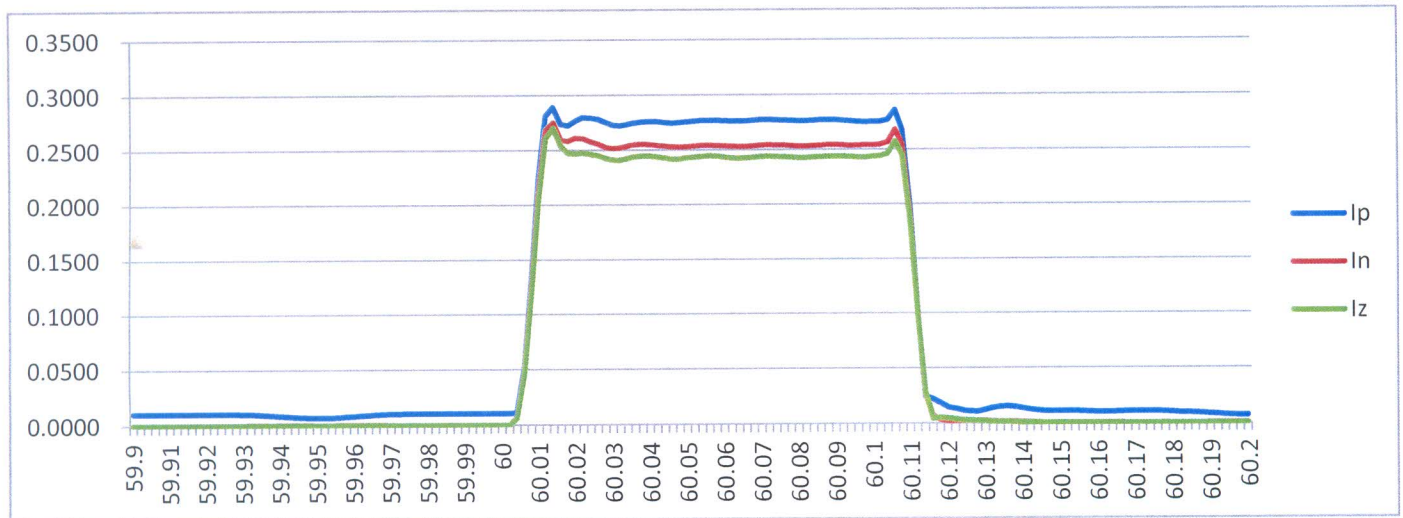
(c)



(d)



(e)

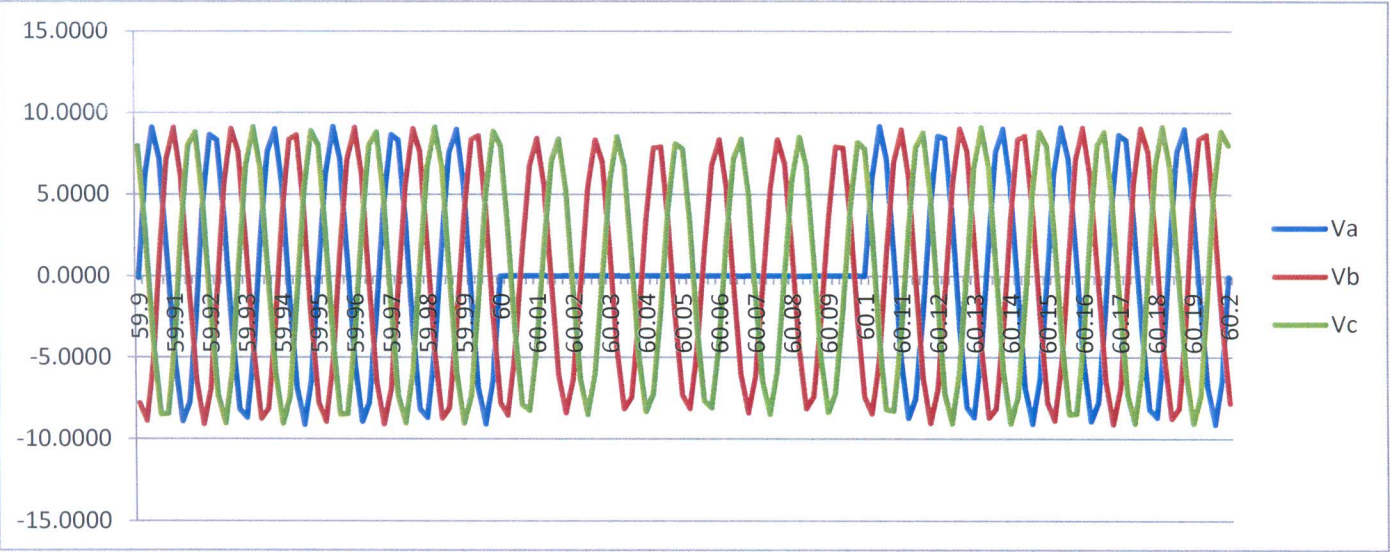


(f)

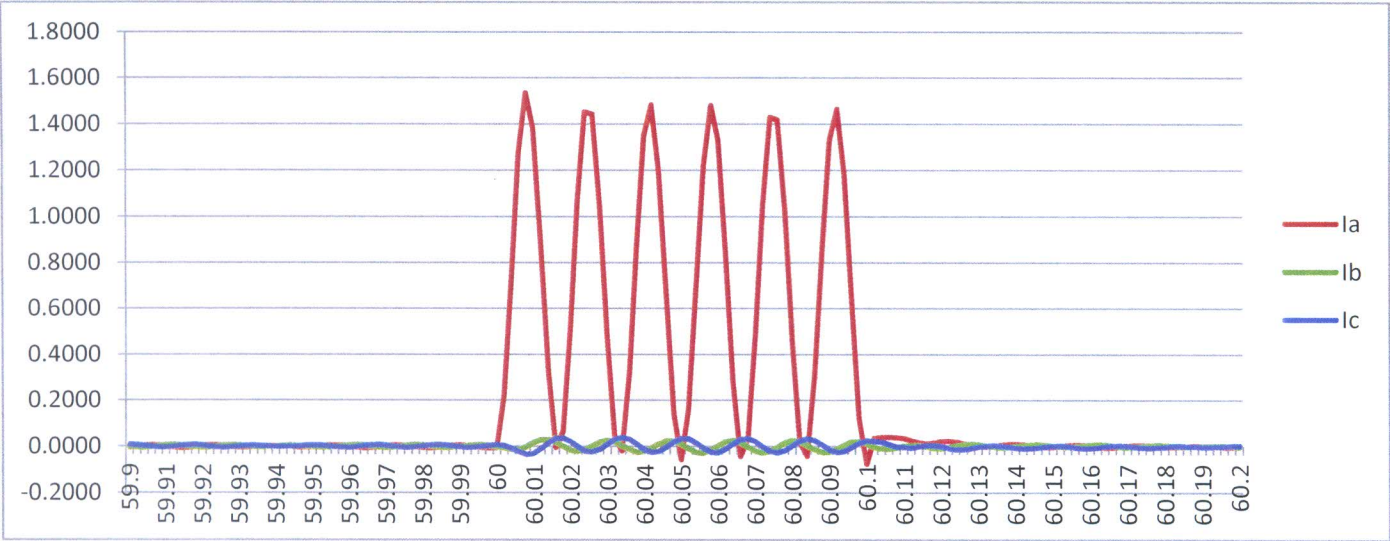
圖 17、模擬故障點 10 號及量測點 4 號之單相接地故障：(a)三相電壓波形圖；(b)三相電流波形圖；(c) $3I_0$ & $3V_0$ 波形圖；(d) P & Q 波形圖；(e) 正、負、零序電壓；(f) 正、負、

零序電流

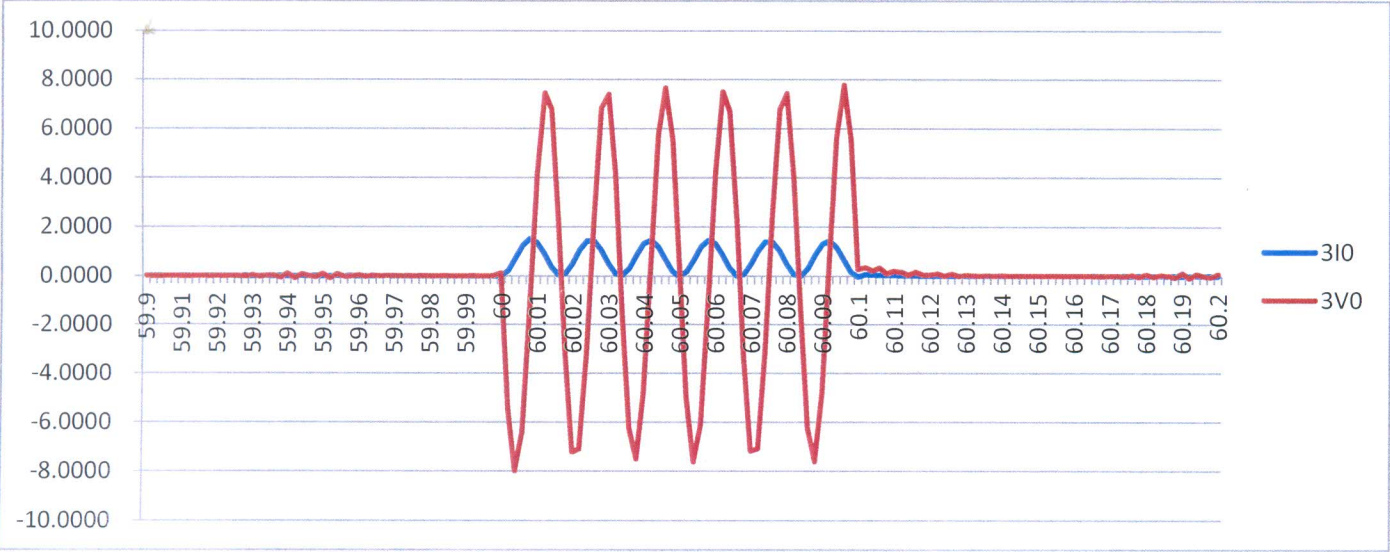
量測點：7



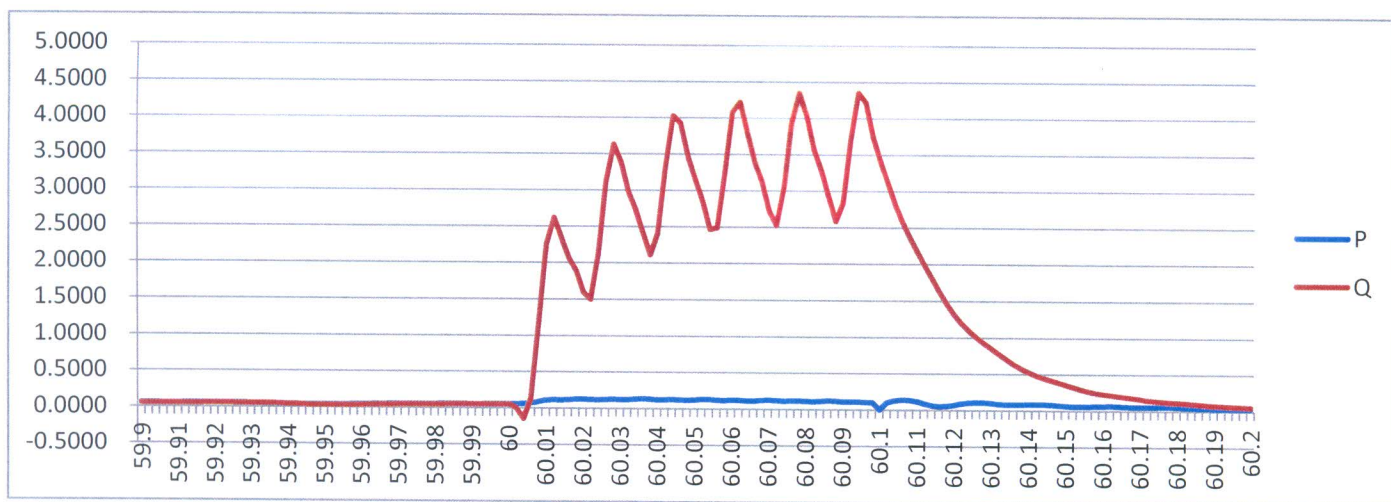
(a)



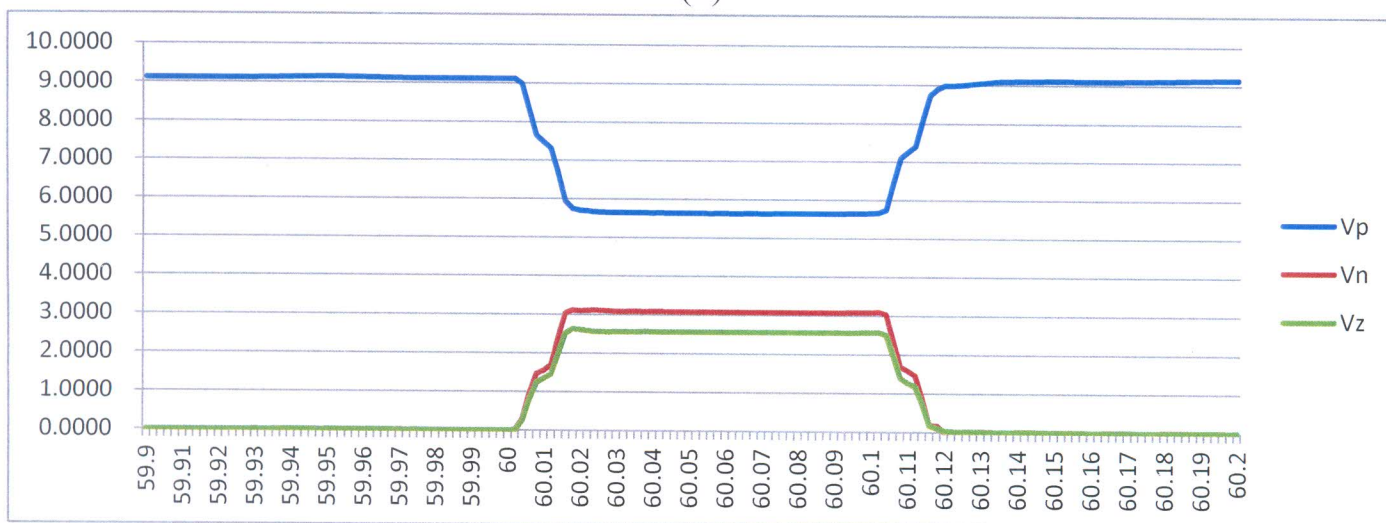
(b)



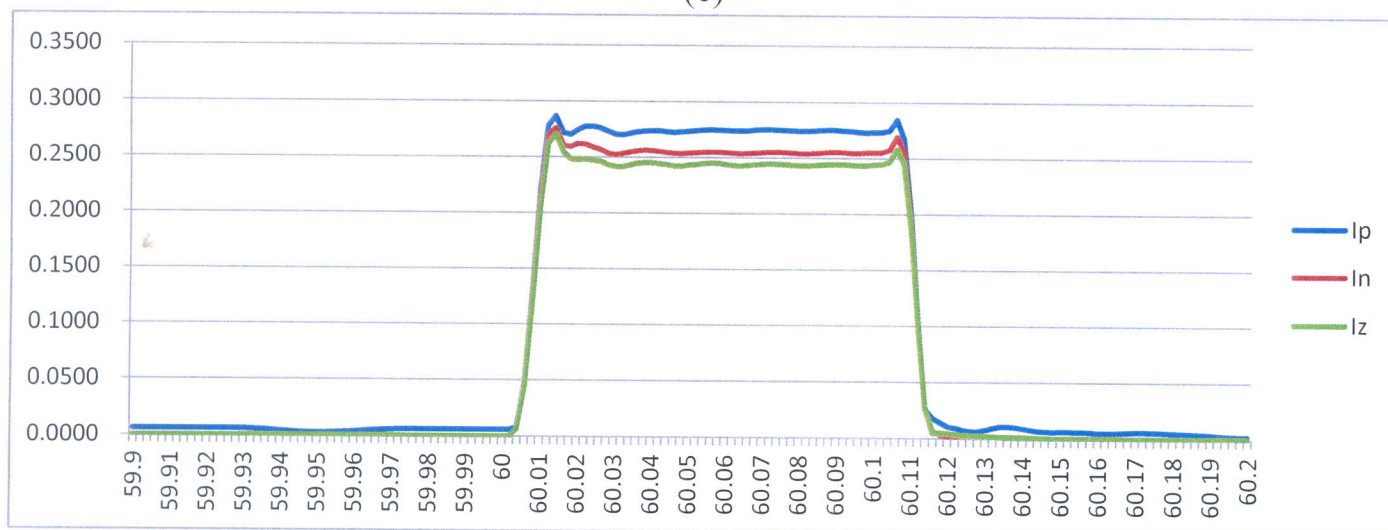
(c)



(d)



(e)

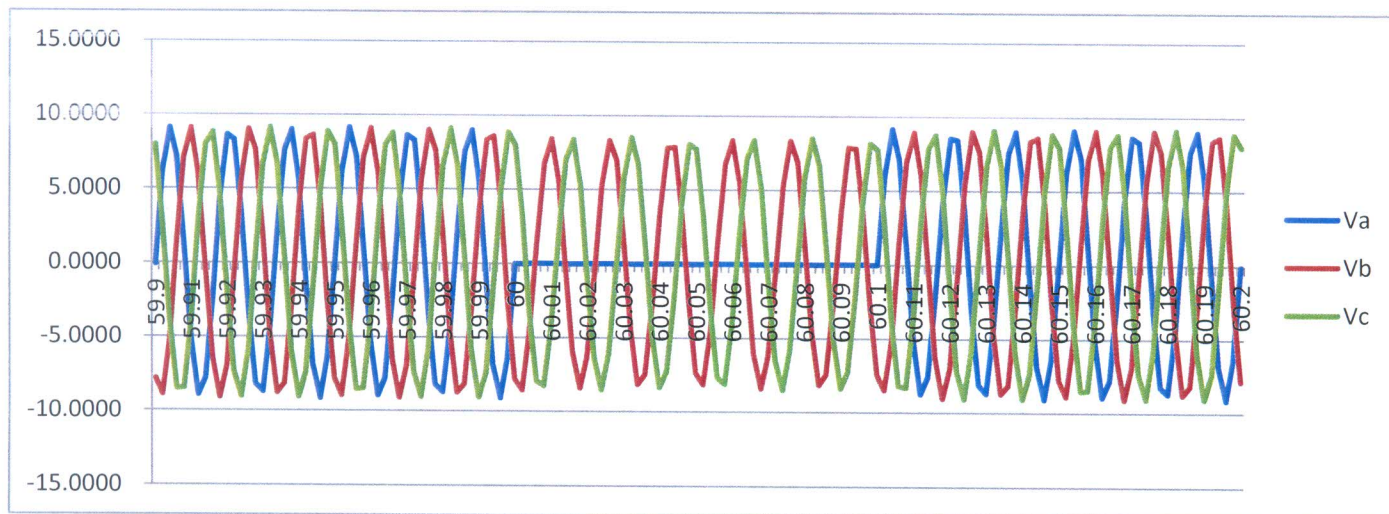


(f)

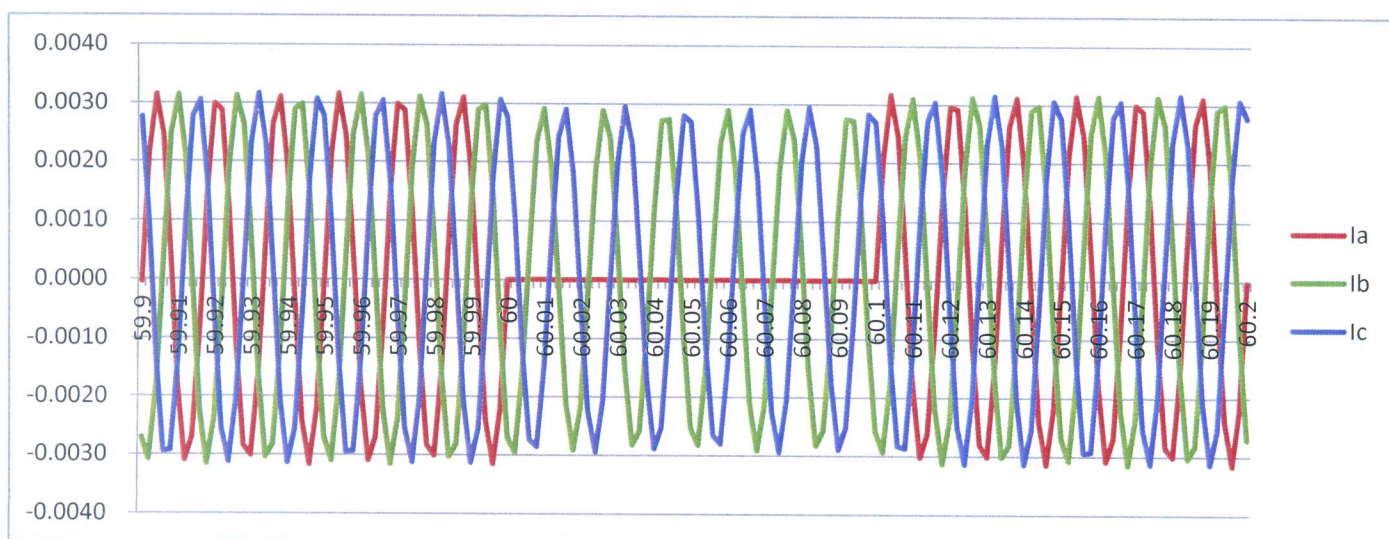
圖 18、模擬故障點 10 號及量測點 7 號之單相接地故障：(a)三相電壓波形圖；(b)三相電流波形圖；(c) $3I_0$ & $3V_0$ 波形圖；(d) P & Q 波形圖；(e) 正、負、零序電壓；(f) 正、負、

零序電流

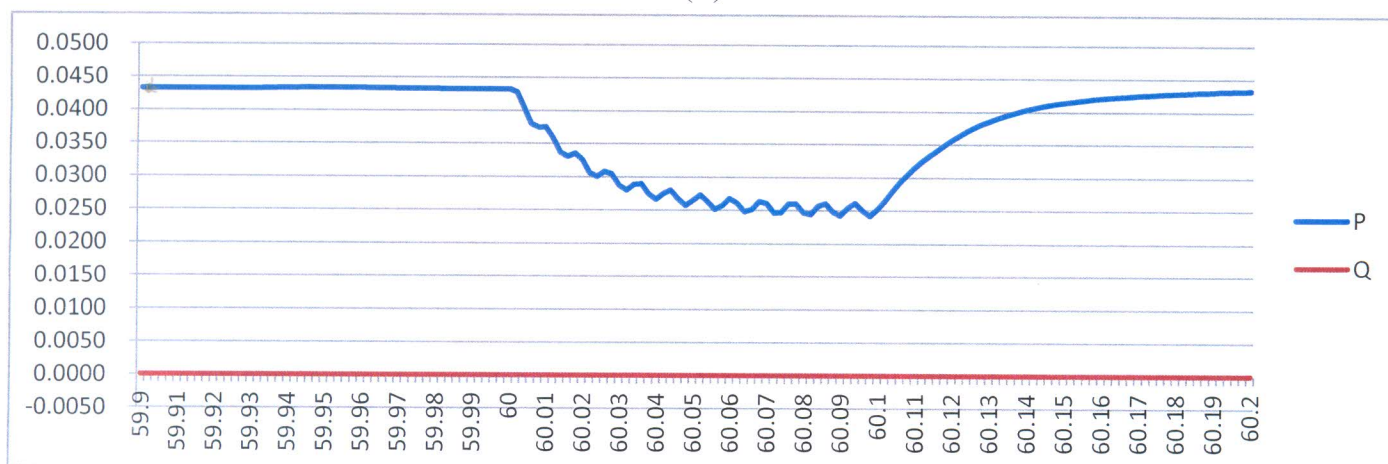
量測點：9



(a)



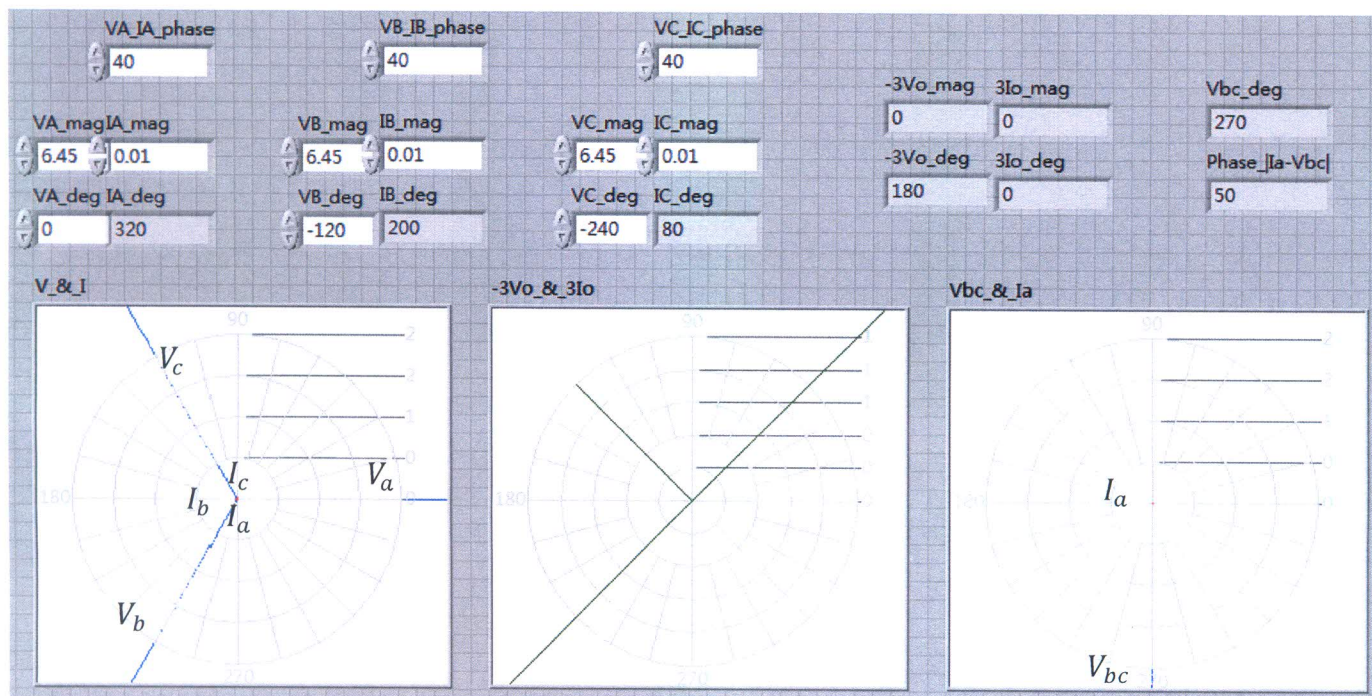
(b)



(c)

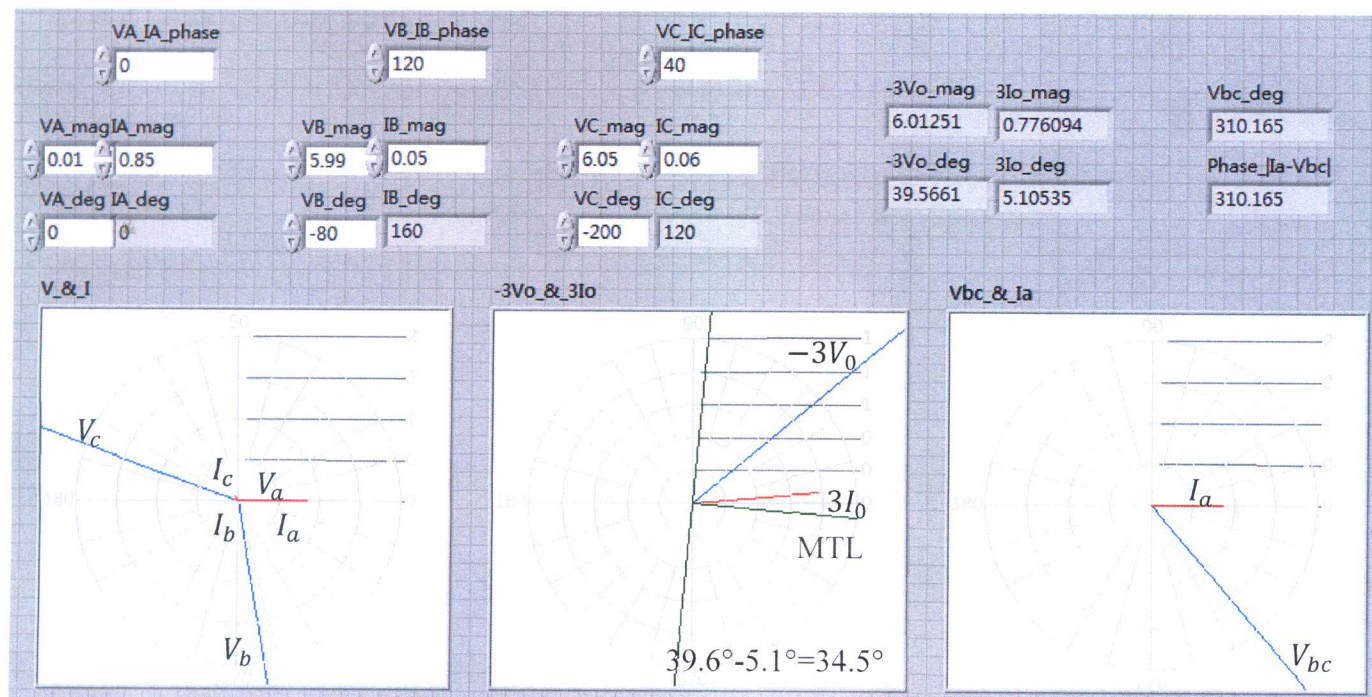
圖 19、模擬故障點 10 號及量測點 9 號之單相接地故障：(a)三相電壓波形圖；(b)三相電流波形圖；(c)P & Q 波形圖

茲根據圖 16(c)，利用 Labview 程式計算出故障發生前、故障發生時、故障結束後的電壓、電流相位角度變化，其計算結果如圖 20~21 顯示：故障清除瞬間 $3I_0$ 相對於 $3V_0$ 的相量夾角作急劇移動，由故障中的 34.5° 擴大為 61.4° ，若繼續擴大則有反向的疑慮。



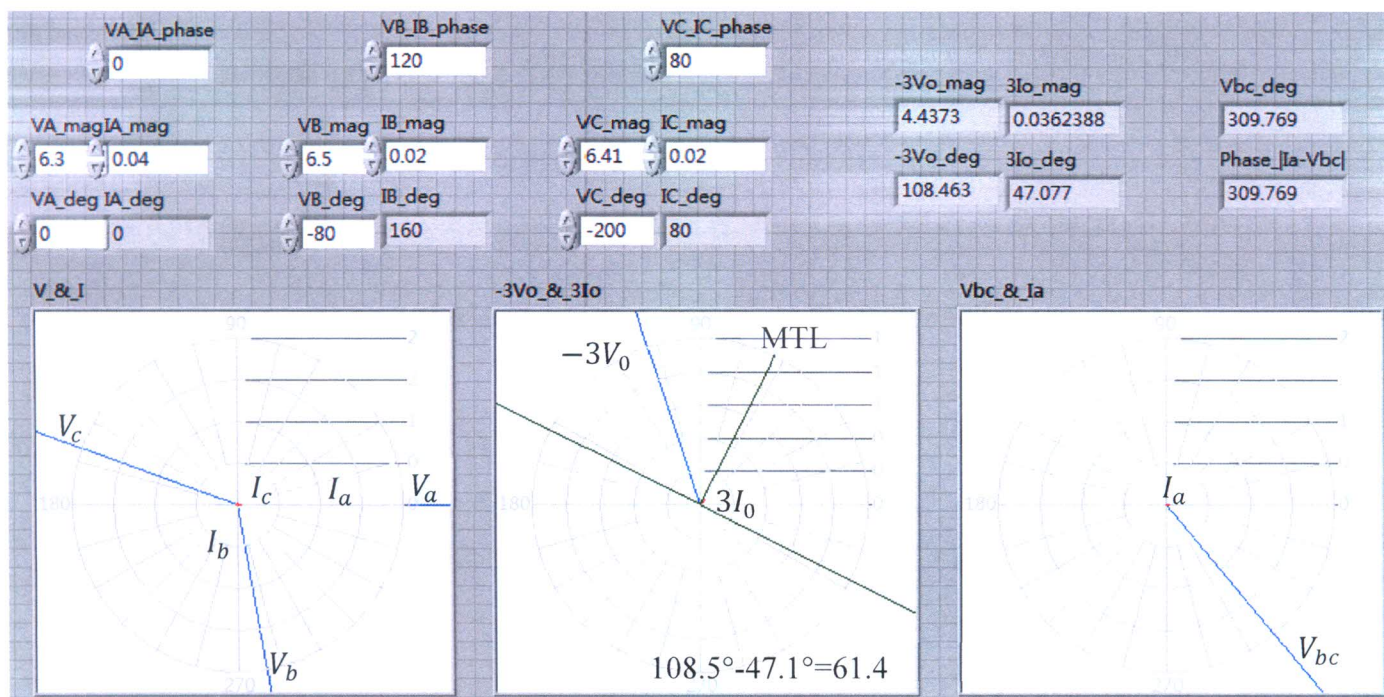
註： I_a 落後 $V_a 40^\circ$ 、 I_b 落後 $V_b 40^\circ$ 、 I_c 落後 $V_c 40^\circ$ ； $3I_0=0$ 、 $-3V_0=0$ ； I_a 與 V_{bc} 夾角 50° 。

圖 20、模擬結果-故障發生前之數據分析



註： I_a 落後 $V_a 0^\circ$ 、 I_b 落後 $V_b 120^\circ$ 、 I_c 落後 $V_c 40^\circ$ ； $3I_0=0.78$ 、 $-3V_0=6.01$ ； $3I_0$ 與 $-3V_0$ 夾角 34.5° 。

圖 21、模擬結果-故障發生時之數據分析



註： I_a 落後 $V_a 0^\circ$ 、 I_b 落後 $V_b 120^\circ$ 、 I_c 落後 $V_c 80^\circ$ ； $3I_0=0.04$ 、 $-3V_0=4.44$ ； $3I_0$ 與 $-3V_0$ 夾角 61.4° 。

圖 22、模擬結果-故障結束後之數據分析

圖 16(b)、圖 17(b)及圖 18(b)顯示：在各量測點 2、4、7 所看到之故障結束後，其電流波動程度，離故障點越遠其波動越大，影響故障方向的判斷。未來可以透過信號轉換及放大電路(圖 23)，進行電驛測試，可以先行掌握電驛測試的風險。

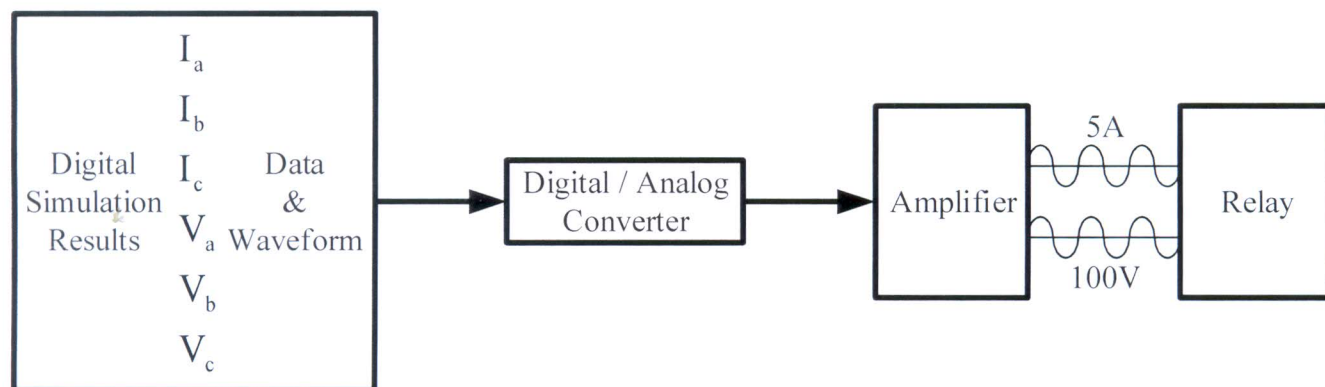


圖 23、將波形數字檔轉換成類比波形測試電驛

在圖 23 中，利用三相的電壓、電流值，將其數位信號轉換為類比信號，並透過信號放大器將電壓、電流信號增益，用於進行電驛測試。

陸、計畫驗收查核項

本研究報告列出計畫合約所示之驗收項目與研究成果對照表如表 10 所示。

表 10、計畫驗收項目與研究成果對照表

項次	驗收項目	計畫執行狀態	備註
1	根據測試饋線資料，建立 ETAP 模型。根據此模型所模擬而得的電壓電流數據資料，交付與中興電工（光碟片）。	以 PSCAD 取代 ETAP 軟體，並完成饋線資料之建立	系統圖如圖 14、圖 15；波形圖示於圖 16～圖 19。
2	建立兩年前 FTU 測試時電綜所提供的測試波形數據資料，交付與中興電工（光碟片）	已完成	P1~5 表 1~表 8
3	建立前述兩項的電壓電流相量預估值（光碟片）	已完成	P1~5 表 1~表 8
4	建立電綜所/#11 ABN 的 A、B、C 電流的相量估計值（光碟片）	已完成	P12~13 圖 10~圖 13
5	根據第 4 項的三相電壓、電流相量，演算故障點(第 1 觀測點)的 $3V_0$ 及 $3I_0$ 的相量大小及角度，據之推論 67N 的判別(指故障方向的判別)指標值（光碟片）	已完成	P14
6	提出第 2 觀測點的 67N 判別指標建議值(光碟片)	如結論所述	
7	另繳交期末報告紙本一式 5 份	期末可完成	

柒、結論

$-3\overline{V}_0$ 與 $3\overline{I}_0$ 夾角飄移會影響故障方向指示之穩定性

本研究根據所觀察的資料加以分析研究，以 101 及 103 年測試紀錄(後者為推算值)，故障(發生)期間，針對部分週期，依計算結果， $3\overline{I}_0$ 落於 Protection Zone(指依 $-3\overline{V}_0$ 及 $3\overline{I}_0$ 所訂之 Maximum Torque Line 或依 $-3\overline{V}_0$ 及 $3\overline{I}_0$ 所訂之保護區間)的邊界(圖 10)；此外，故障發生期間內的不同時段之 $3\overline{I}_0$ 與 $-3\overline{V}_0$ 之夾角亦呈現飄移現象(譬如相差 $24.5^\circ=48.5^\circ-24^\circ$ ，係比較圖 10~13 所得)。由數據顯示:上列二者現象皆會影響故障方向判讀之穩定性，據此，建議故障方向判讀將採用的數據取故障清除前的波形，而故障清除後或近故障清除的波形不納入作為判讀數據。