

民用航空站 161 kV 變電所保護系統與測試

昱泰機電技術顧問(股)公司總經理 彭憲貴
台電供電處電驛標置課主管標置 許文興
仙瑛企業有限公司高級工程師 劉浚柔

I. 前言

輸電線路依據電壓等級可區分為超高压線路、輸電線路、配電線路等，線路的不同各有不同之保護方式，大部分線路是暴露在外，因此故障機率會比其他設備為高，保護的方式會因電壓等級不同而更加周嚴。中正國際機場為國家之門戶，是飛機起降之地方，不可因導航系統失去電力，而影響飛安，甚至影響國家顏面，因此，為顧及供電品質，原由林口發電廠供電至南崁變電所 T 引接二迴路供電，改由蘆竹變電所雙迴路專線供電。當系統發生故障時，保護電驛是捍衛與確保輸電線路安全運轉穩定系統之最重要設備，也是事故發生後的一種重要保護裝置；同時，將傳統式(E/M)保護電驛更換為智慧型(IED)數位式保護，可大大提升供電能力，確保供電安全，而數位式保護電驛的優點除了硬體結構較為簡單且體積小及外部接線少外，在投資費用上及工程施工時間大為減低，除保護功能外還備有量測、通訊、控制、事故記錄及自我偵測能力，加上智慧型微處理器在偵測故障能力準確且快速，對機場的供電穩定度及安全可靠性有極佳之改善空間，然而在市面的自由競爭下，昱泰機電技術顧問公司很幸運承接此一艱鉅任務。本文將描述工作之過程如輸電線保護、盤面汰換及接線施工、電驛試驗(1.特性試驗 2.跳脫試驗)及加入系

統之接線(取載)試驗及對相試驗。

II. 輸電線保護

輸電線路保護系統採用以主保護及後衛保護為架構如圖 1 所示，主保護以差電流電驛(87L=GRL100)為主，同時配合光纖通訊頻道或數位通訊系統；後衛保護使用測距電驛(21/21N=GRZ100)，構成一可靠度極高且百分之百之重疊保護系統，因此當主保護通訊媒介發生不良時，後衛保護系統能發揮應有保護功能，確保供電品質，其電力系統輸電線路系統架構如圖 2 所示。

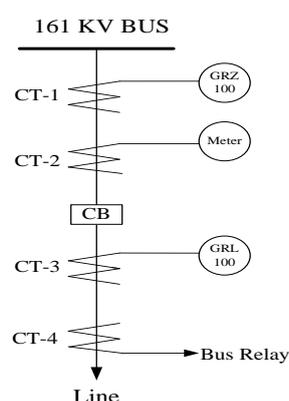


圖 1 161kV 輸電線保護單線圖

2.1 桃機 C/S 供電系統

中正國際機場(桃機)供電系統由蘆竹 D/S 雙迴路專線引供，如圖 3 所示，輸電線是輸送電力至用戶之主要

設備，所以輸電線要加入系統前先要做好線路常數試驗，以提供主保護電驛及後衛保護電驛之標置設定計算用，所以線路常數需要量測正確，不能有感應電流或電壓太大之值而產生

量測不正確，這樣發生故障時對保護電驛確保能發揮應有功能，正確動作，適時隔離故障範圍，不因線路常數計算誤差而影響到保護電驛偵測故障動作的準確性。

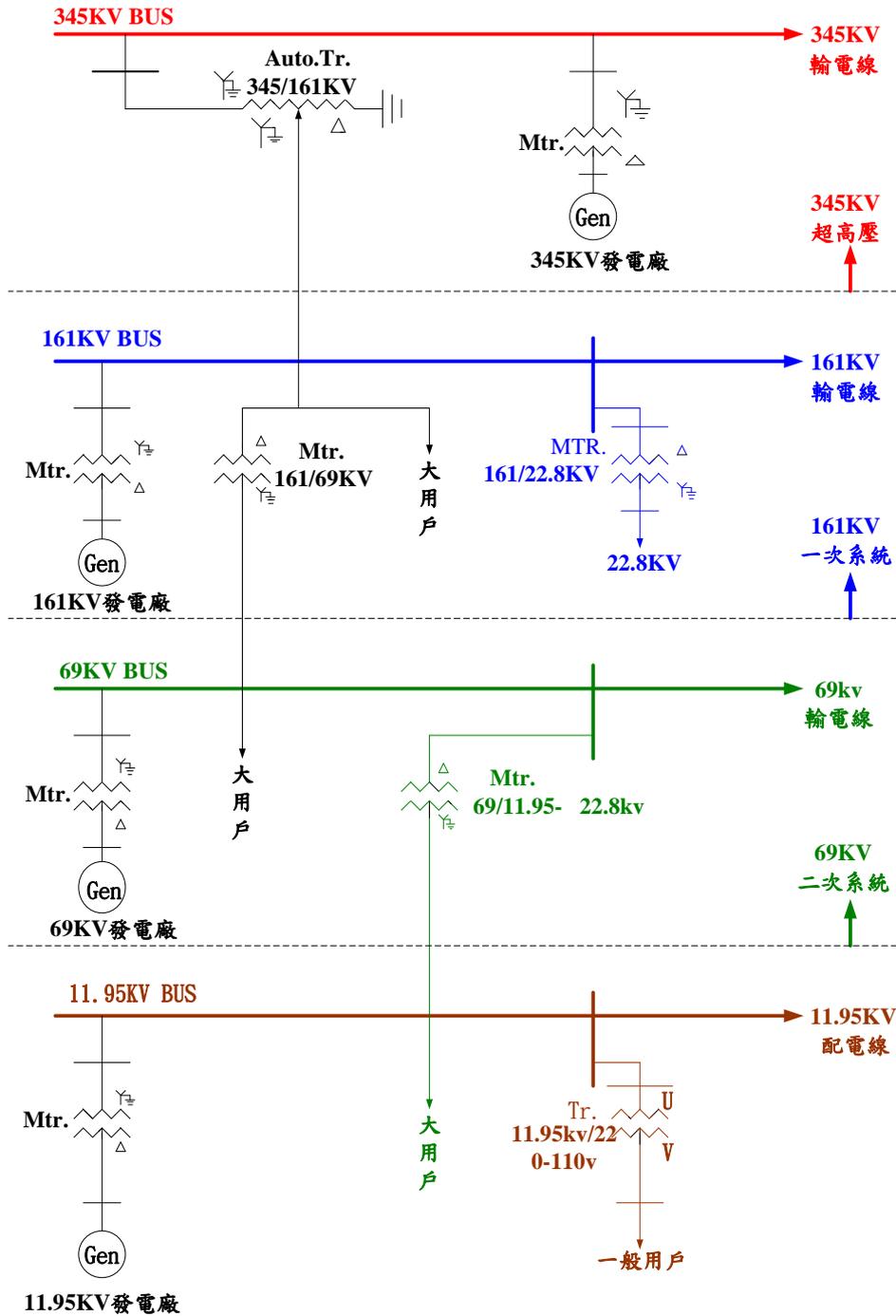


圖 2 電力系統輸電線路系統架構圖

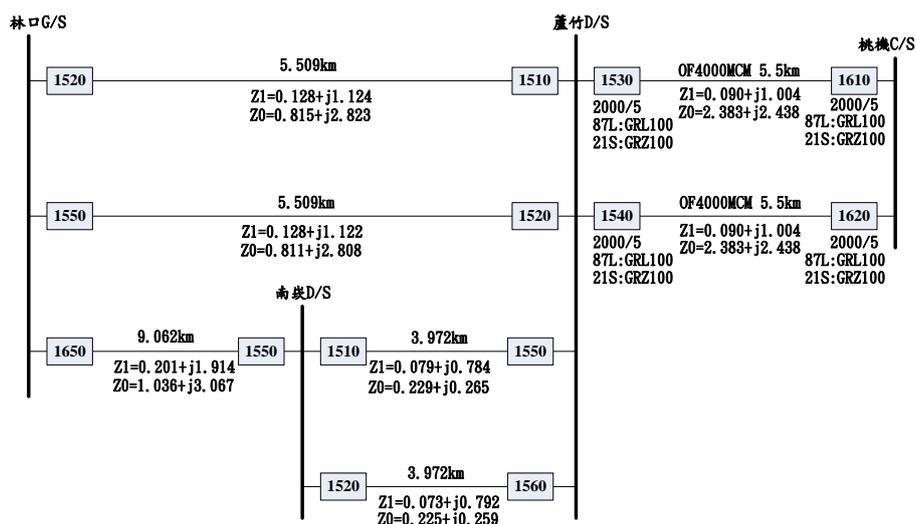


圖 3 桃機 C/S 供電系統及阻抗單線圖

2.2 輸電線主保護差電流電驛保護

輸電線路保護方式有很多種，其保護方式最為重要，不能有不當的缺失，否則對系統將造成重大影響，為使輸電線路得到全線段能有百分之百的完全保護，台電對輸電線路保護採用差電流電驛為主保護，主因是差電流電驛在演算判斷各種故障類型時，能在一週波內針對故障類型快速動作，同時保護範圍區間能達到百分之百的理想方式，這對故障適時清除確保系統供電安全是我們共同努力的目標，如圖 4,5 所示。由線路兩端的差流電驛監測線路上電流值及角度大小，再經由光纖或微波的通訊波道互相傳送監測到的電流值及角度，最後經兩端電驛做電流向量的運算， $I_L + I_R = I_d$ ， I_L 表示本端電流， I_R 表示遠端電流， I_d 表示合成差電流，以判斷故障是否發生或發生在何處，如圖 5 所示。差電流電驛在一般狀況下，不管送電端或是受電端都會將本端 CT 感應到的電流角度當作 0° ，對方的角

度則為 180° ，則在兩端差流電驛所合成的差電流值 $I_d=0$ 。當故障發生在保護線路中間時，兩側的電流會同時流向故障點，此時兩端的 CT 感應到的電流角度會為同相位，兩端的電驛運算的差電流若大於設定值時，兩端的電驛則發出跳脫的指令將兩端的斷路器跳脫；當故障發生在線路外側或為正常狀況時，則電驛得到兩端的電流大小相等，角度會相差 180° ，其合成的差電流會為 0，則兩端電驛不會有任何動作，繼續保持監視狀態。

2.3 輸電線後衛保護測距電驛保護

測距保護電驛偵測判斷事故信號來源是取自於比流器 (CT) 與比壓器 (PT) 之二次側電流及電壓，當輸電線路故障發生在 Fault1 時，其電壓將瞬間下降，電流將瞬間提高，若離故障點越近，則電流越大，電壓越低，則 $Z=V/I$ ， Z 即代表線路長度，由 V 及 I 判斷出來的 Z 經轉換至比流器與比壓器之二次側電流及電壓之等效阻抗為 Z_{set} ，如果小於一定數值，便表

示故障在保護範圍之內，即表示測距電驛偵測到動作信號，即偵測到電驛到故障點間的距離；否則即不會動作。若故障發生在 Fault2 時，其情況恰為平衡點故障，即表示保護電驛動

作或保護電驛不動作。若故障發生在 Fault3 時，其情況恰為一外部故障，即表示保護電驛不動作。其情況依表一說明及如圖 6 所示。

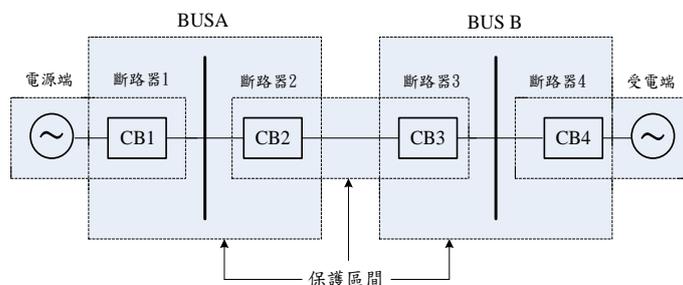


圖 4 輸電線保護區間圖

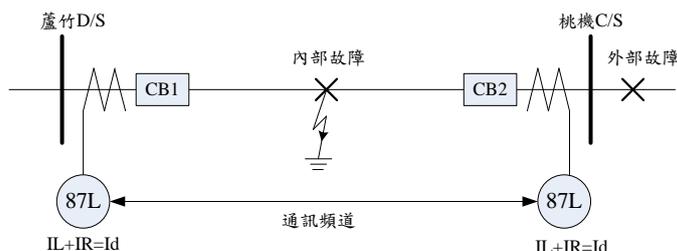


圖 5 主保護差電流電驛保護示意圖

表一 測距電驛動作情況區分表

功能原因	若本線段內發生故障時 (Fault 1)	若本線段臨界點發生故障時 (Fault 2)	若本線段外發生故障時 (Fault 3)
模擬結果	$V_{RY} / I_{RY} = Z_{Fault} < Z_{Set}$ $V_{RY} < I_{RY} * Z_{Set}$	$V_{RY} / I_{RY} = Z_{Fault} = Z_{Set}$ $V_{RY} = I_{RY} * Z_{Set}$	$V_{RY} / I_{RY} = Z_{Fault} > Z_{Set}$ $V_{RY} > I_{RY} * Z_{Set}$
情況	內部故障	平衡點故障	外部故障
結果	保護電驛動作	保護電驛動作或保護電驛不動作	保護電驛不動作

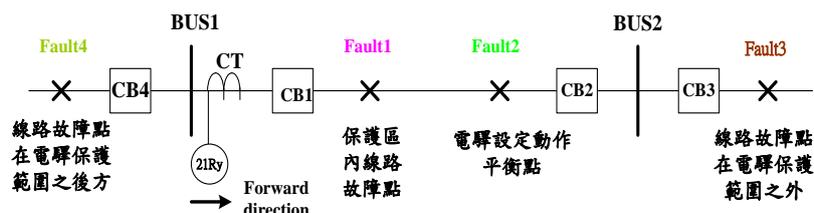


圖 6 測距電驛設定保護區間示意圖

2.4 輸電線路測距保護電驛標置計算原則

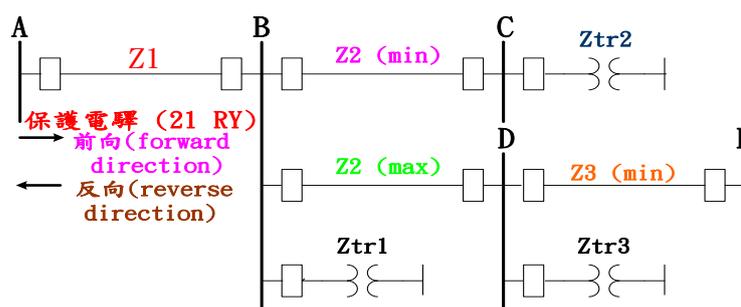


圖 7 測距電驛標置計算設定區間圖

(1) 相間測距保護電驛

a. 第一區間保護：

$$Z1_{set} = Z1 * 80\% (< 2\Omega)$$

b. 第二區間保護：

$$Z2_{set} = Z1 + Z2_{min} * 50\%$$

(時間延遲 $T2=20\sim$)

c. 第三區間保護：

$$Z3_{set} = Z1 + Z2_{max} + Z3_{min} * 25\%$$

(時間延遲 $T3=30\sim$)

d. 第四區間保護：

$$ZS_{set} = Z1_{max} + Z2_{max}$$

(2) 接地測距保護電驛

a. 第一區間保護：

$$Z1X_{set} = Z1X * 60\% (< 2\Omega)$$

b. 第二區間保護：

$$Z2X_{set} = Z1X + Z2X_{min} * 50\%$$

(時間延遲 $T2=20\sim$)

c. 第三區間保護：

$$Z3X_{set} = Z1X + Z2X_{max} + Z3X_{min} * 25\%$$

(時間延遲 $T3=30\sim$)

(3) 測距電驛標置阻抗計算

161 kV 輸電線路標置計算依表二所示，線路常數阻抗參數如圖 3 所示，設定桃機 D/S #1610, #1620 做電驛標置計算，CT Ratio:2000/5，所以輸入之線路常數數據要正確，確保標置計算無誤。

表二 測距電驛標置阻抗計算表

動作 區間 ZONE	第一線段 第二線段 第三線段			第一區間 第二區間 第三區間			一次側阻抗	二次側阻抗	相角 ANGLE
	1'ST	2'ND	3'RD	1'ST	2'ND	3'RD	Z(pri)	Z(sec)	
Z1	桃機 - 蘆竹			1.008 X 0.8			= 0.806	0.230	85
				1.004 X 0.6			= 0.602	0.172	
Z2	桃機 - 蘆竹 - 南崁			1.008 + 0.788 X 0.50			= 1.402	0.401	85
				1.004 + 0.784 X 0.50			= 1.396	0.399	
Z3	桃機 - 蘆竹 - 桃機 - 蘆竹			1.008 + 1.008 + 1.008 X 0.25			= 2.268	0.684	85
				1.004 + 1.004 + 1.004 X 0.25			= 2.259	0.645	
ZS	桃機 - 蘆竹 - 桃機			1.008 + 1.008			= 2.016	0.576	85
				1.004 + 1.004			= 2.008	0.574	

由於 87L 差流電驛(GRL100)只有電流元件，與 E/M 過流電驛類似，分別測其 Three Phase(5A)及 Phase-Ground(1A)的電驛電流始動值，應注意的是 87L 的特性試驗必須是在通訊(Channel)通的狀況下才能做特性試驗。因為當 Channel 不通時，電驛便會自動閉鎖而不會動作，故必須在 87L 電驛 Channel 通的時候才能做特性試驗，如表四所示。

加入系統前應做跳脫試驗，為確保電驛跳脫回路接線無誤，電驛才能正確的動作跳脫。在跳脫試驗之前先

確定先前的接線如 52a 接點、RI、BFI、壓力接點等是否正確才行。在 GRL100 中透過內部設定及外部的接線可以直接從電驛面板上看到這些接點接線是否正確，例如當 CB 投入後 52a 接點、壓力接點便可從電驛面板直接顯示是否這兩點有否接通，可由電驛面板直接看到這些信號。RI 是 Reclose Initiate，動作電驛會有一復閉訊號 RI 至電驛，看電驛面板或以三用電表量測電驛盤之 RI 應會有電位的變化，如表四所示。

表四 GRL100 差流電驛特性試驗及跳脫試驗表

87L差流電解試驗報告 NO. M211366FK0002M02-15 試驗日期:94/05/04

廠所		斷路器編號		線路名稱	
Local	桃機	1610		桃機蘆竹紅線	
Remote	---	---			

1. 電解型式及比流器匝比

電解型式		直流電源(DCV)		匝比		21S	
87L	GRL100	125V		2000/5		GRZ100	

2. 電解標置:

[Description]

Plant name	Description
---	---

[Description LED]

LED1	LED2	LED3	LED4
194	195	225	226

[Parameter]

Line name	VT	CT	Impedance
---	1400	400	Sequence

[Trip/Com(SW)]

SP. SYN.	TERM
Master	2TERM

TPMODE	DIFG	OST	OCBT	OCIBT
3PH	ON	OFF	OFF	OFF

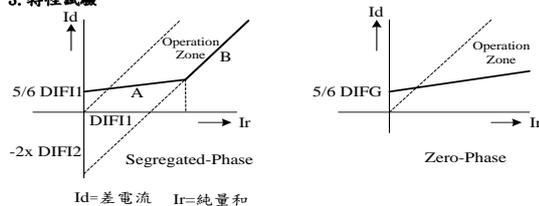
EFBT	EFIBT	SVCNT
OFF	OFF	ALM&BLK

[Trip/Com(Ele)]

DIF1	DIF12	OST	OCBT	OCIBT
5	12	0.9	0.2	0.1

OC	EF
0.1	0.1

3. 特性試驗



A. 差流特性:

DIF11	PhaseA	PhaseB	PhaseC
動作值	2.47	2.46	2.48

DIF11

DIFG1	PhaseN
動作值	0.42

B.

4. 跳脫試驗:

測試項目	LED Display	跳脫斷路器	Trip	DTT LED	警報
$\phi - G$	Trip indicate_ /G	1610	Yes		OK
$\phi - \phi$	Trip indicate(_/_)	1610	Yes		OK

元眾機電顧問股份有限公司

主任技師: 試驗者: 李文川 頁數

4.2 21S 測距電驛特性試驗

電力系統數位測距電驛運用於輸電線保護，在加入系統前，保護電驛須先測試電驛特性是否符合電驛特性圖，測試後符合特性圖才能加入系

統，確保測距電驛性能良好，系統故障時，能快速動作。昱泰公司目前測試數位式測距電驛特性試驗所使用的儀器為 double 試驗儀器。

表五 GRZ100 測距電驛特性試驗及跳脫試驗表

TMT&D 數位測距電驛試驗報告

廠所: 中正機場

線路別: 桃機蘆竹紅線

日期: 94.05.08

PTR: 161KV/√3/115V/√3

CTR: 2000/5

標置:

Z1S	2.3 Ω	Z1S-ang1	0 dge	Z1S-ang2	90 dge	Z2S	4 Ω	Z3S	10 Ω	SOFT-Z	Z1	Krs	100
Z1G	2.3 Ω	Z1G-ang1	0 dge	Z1G-ang2	90 dge	Z2G	4 Ω	Z3G	10 Ω			Kxs	100
TZ1S	0s	TZ2S	0.33s	TZ3S	0.5s	TZ1G	0s	TZ2G	0.33s	TZ3G	0.5s	Krm	153
ZBS	5 deg	BFRS	5.0 Ω	BFLS	120 dge	ZBG	30 deg	BFRG	5.0 Ω	BFLG	120 dge	Kxm	5
P-Scheme	3ZONE	ZG-C	Quad	ZS-C	Quad	TPMODE	3PH	Ground	1				

特性試驗:

1. 1φ ground fault: (Q)

	V(V)	θ(°)	A-G	B-G	C-G	Ical(A)
Zone 1 Ground	10	50	3.473	3.469	3.477	3.482 ∠-50°
		80	4.672	4.658	4.671	4.476 ∠-80°
		110	4.267	4.259	4.262	4.271 ∠-110°
Zone 2 Ground	50	50	9.565	9.571	9.560	9.579 ∠-50°
		80	12.298	12.301	12.288	12.310 ∠-80°
		110	11.721	11.718	11.731	11.746 ∠-110°
Zone 3 Ground	50	50	4.366	4.357	4.369	4.375 ∠-50°
		80	4.909	4.916	4.920	4.924 ∠-80°
		110	4.688	4.671	4.681	4.699 ∠-110°

2. φ-φ short fault:

	V(V)	θ(°)	A-G	B-G	C-G	Ical(A)
Zone 1 Ground	10	50	3.321	3.316	3.310	3.331 ∠-140°
		80	4.261	4.271	4.268	4.282 ∠-170°
		110	4.065	4.073	4.069	4.068 ∠-200°
Zone 2 Ground	50	50	9.565	9.571	9.568	9.579 ∠-140°
		80	12.298	12.301	12.289	12.310 ∠-170°
		110	11.721	11.735	11.729	11.746 ∠-200°
Zone 3 Ground	50	50	4.366	4.371	4.299	4.375 ∠-140°
		80	4.901	4.919	4.920	4.924 ∠-170°
		110	4.678	4.682	4.671	4.699 ∠-200°

3. Operating timer:

	ZONE 1	ZONE 2	ZONE 3	ZONE 4
Ph-G	25.68ms	353.2ms	526.2ms	---
Ph-Ph	26.20ms	353.2ms	528.1ms	---

跳脫試驗:

動作元件	跳脫斷路器	指示	警報
Z1S	1610	Yes	Yes
Z2S	1610	Yes	Yes
Z1G	1610	Yes	Yes
Z2G	1610	Yes	Yes
—	—	—	—

元眾機電顧問股份有限公司

主任技師:

試驗者: 李文川

頁數

V. 加入系統保護電驛取載及對相試驗

輸電線路要加入系統時，先確認線路

的電流、頻率、電壓及相角是否與系統同步，試驗同步方能將線路加入系統送電運轉，此時最重要的工作即做電驛的取載試驗。數位式電驛都含有 Meter 的功能，從電驛面板上即可讀到所量測的電流、電壓

及相角值。取載試驗通常是由終端機連線軟體來抓取電驛中之電壓、電流、功率、頻率及相位差等。針對 GRL100 電驛可連線讀取電驛中之電壓電流相角等數據。在正常送電時，不管電力潮流是往 A 端流或是 B 端流，其流進與流出的電流大小應該相等，但兩端角度會相差 180° ，以抵銷電流的合成，如圖 8 之虛線所示。但當內部故障時，因為 A、B 端的電流皆往故障點流，因此在 A、B 端所量到的角度差便不會差 180° ，此時電驛便會判斷這是一個內部故障，如圖 8 實線所示，87L 差流電驛便是用此原理來保護線路。當然 87L 差流電驛的靈魂主要是靠兩端互相送(TX)、收(RX)的光纖通道(Fiber channel)。87L 電驛在通訊方面是利用電驛背面的 PORT 2 以 RS-530 電纜線連接到 FOCUS (多工光纖通訊處理器)，之後

再以光纖連接到對方的 FOCUS，在差流電驛來說通道(channel)是保護線路很重要的一環，若 channel failure 一顯示即失去電驛功能般的無用武之地。試驗結果顯示桃機 C/S-蘆竹紅線 87L,21S 取載試驗記錄，如表六、七及八所示；桃機 C/S-蘆竹白線 87L,21S 取載試驗記錄，如表九、十、十一所示及表十二、十三對相試驗所示。

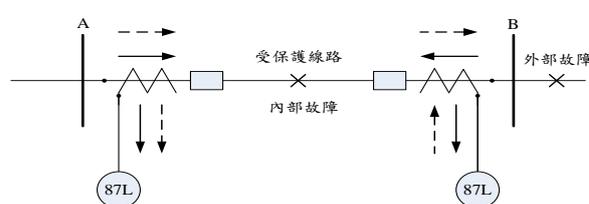
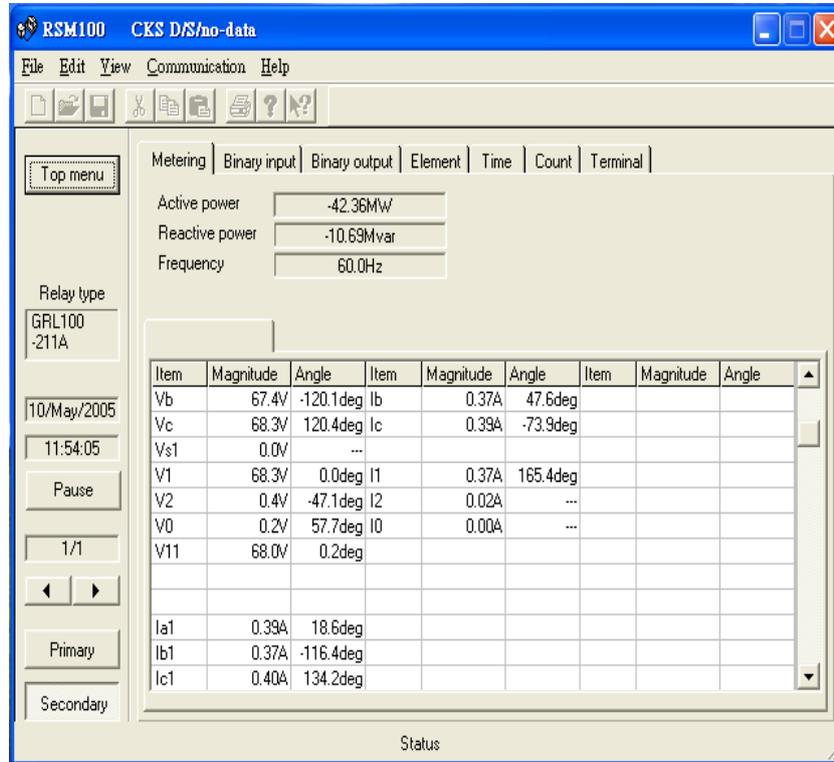


圖 8 87L 差流電驛保護原理圖

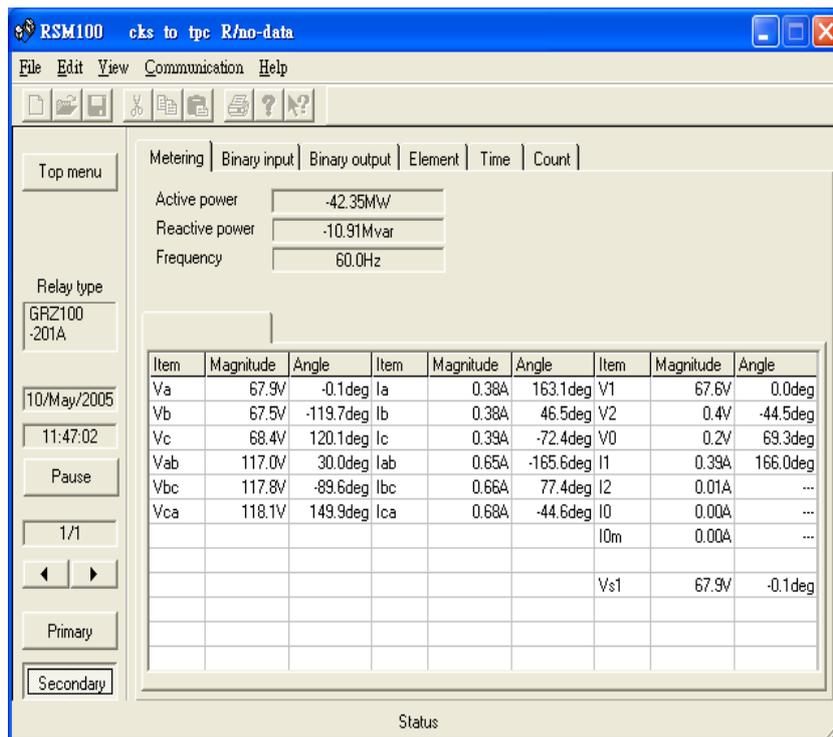
表六 GRL100 差流電驛取載試驗記錄一

RSM100 CKS D/S/no-data								
File Edit View Communication Help								
Metering Binary input Binary output Element Time Count Terminal								
Active power		-42.66MW						
Reactive power		-11.16Mvar						
Frequency		60.0Hz						
Relay type GRL100 -211A								
10/May/2005 11:53:23 Pause 1/1 Primary Secondary								
Item	Magnitude	Angle	Item	Magnitude	Angle	Item	Magnitude	Angle
Va	68.6V	-0.1deg	Ia	0.38A	162.8deg			
Vb	67.8V	-120.5deg	Ib	0.38A	45.4deg			
Vc	68.0V	119.8deg	Ic	0.40A	-73.3deg			
Vs1	0.0V	---						
V1	68.2V	0.0deg	I1	0.38A	164.9deg			
V2	0.4V	-49.0deg	I2	0.01A	---			
V0	0.2V	58.8deg	I0	0.00A	---			
V11	68.0V	-0.3deg						
Ia1	0.35A	3.2deg						
Ib1	0.39A	-112.5deg						

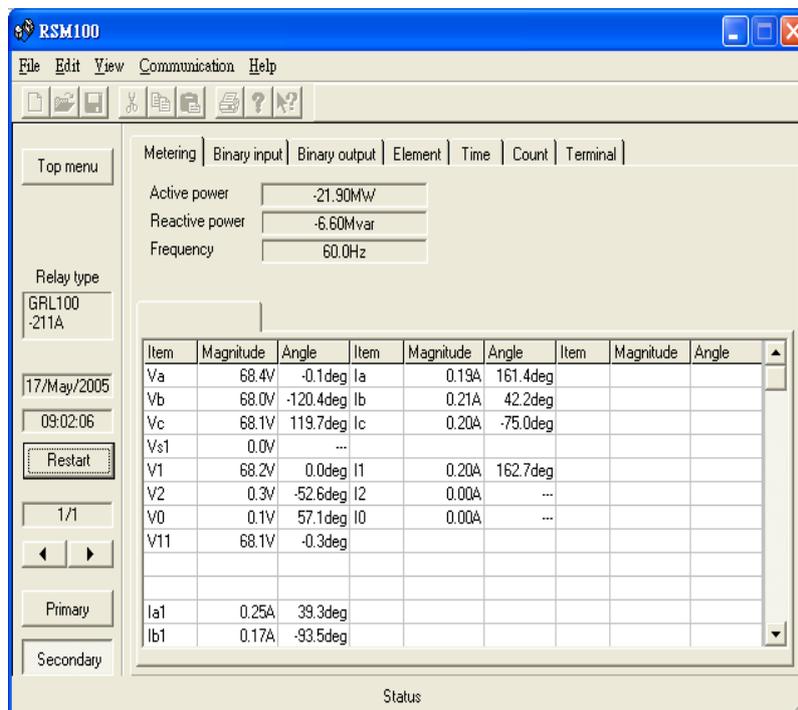
表七 GRL100 差流電驛取載試驗記錄二



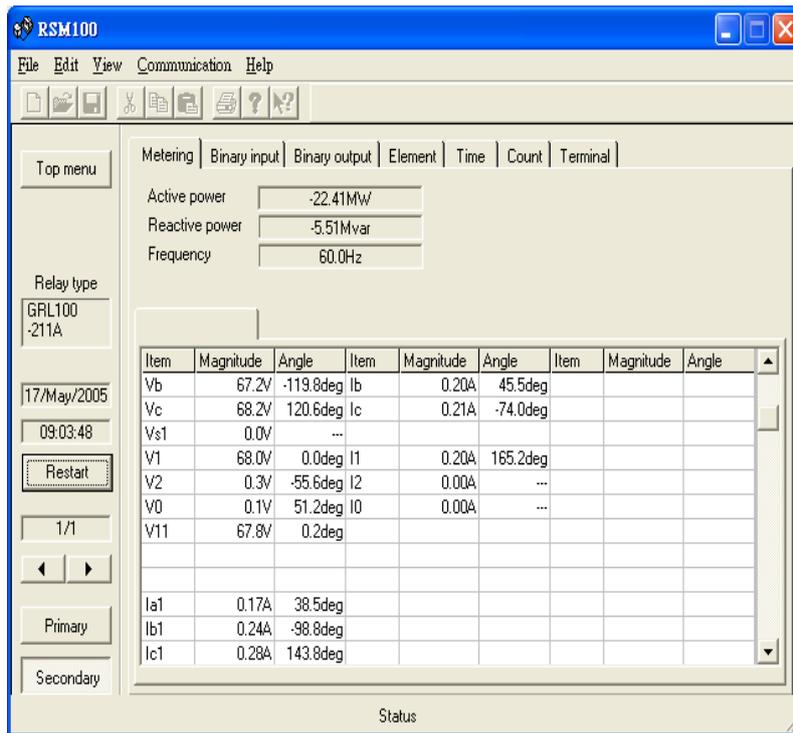
表八 GRZ100 測距電驛取載試驗記錄



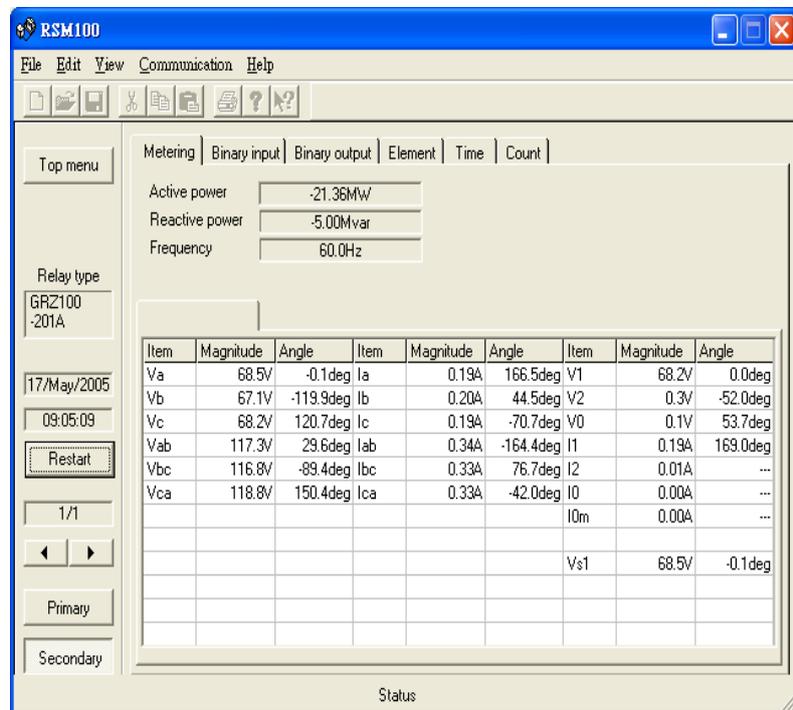
表九 GRL100 差流電驛取載試驗記錄一



表十 GRL100 差流電驛取載試驗記錄二



表十一 GRZ100 測距電驛取載試驗記錄



表十二 AN-AN 對相試驗

Local	A	B	C	3I0	3I2	I1
IMAG (A Pri)	1587.873	0.649	3.472	1587.171	1590.610	530.430
I ANG (DEG)	-0.10	45.20	151.30	-0.10	-0.30	0.00
Channel x	A	B	C	3I0	3I2	I1
IMAG (A Pri)	1597.428	1.464	1.673	1594.911	1599.532	531.960
I ANG (DEG)	178.50	-40.60	39.30	178.70	178.70	178.60
Vector Sum	A	B	C	3I0	3I2	I1
IMAG (A Pri)	40.070	1.464	3.240	34.208	29.232	13.069
I ANG (DEG)	102.90	-17.40	122.70	102.30	106.90	96.00

表十三 AN-BCN 對相試驗

Local	A	B	C	3I0	3I2	I1
IMAG (A Pri)	1595.252	0.151	1.524	1594.935	1595.611	532.158
IANG (DEG)	-0.10	-34.40	-172.20	-0.10	-0.30	0.00
Channel x	A	B	C	3I0	3I2	I1
IMAG (A Pri)	3.385	1638.432	1637.820	1620.872	1647.552	1092.40
IANG (DEG)	-128.20	62.10	-58.50	1.90	1.70	-178.10
Vector Sum	A	B	C	3I0	3I2	I1
IMAG (A Pri)	1593.165	1638.415	1637.208	3215.317	3242.669	560.820
IANG (DEG)	-0.10	62.00	-58.50	0.90	0.70	-176.20

VI. 結論

電力系統之保護最主要的目標是確保系統正常運轉不停電，萬一事故無法避免時，將能確保停電範圍縮小，使供電設備損壞降至最低，中正國際機場的保護設備很重要，使用東芝牌 GRL100 及 GRZ100 數位保護電驛，功能強大，能提供穩定供電，但對保護協調標置設定、電驛特性試驗、電驛取載試驗、跳脫試驗及對相試驗等，在這些試驗中缺一不可，否則會影響供電品質與安全。中正機場的變電設備更新一案帶給昱泰公司一個成熟技術最好的學習環境，對未來之維護、檢測技術方面更加有所助益。

VII. 誌謝

本文是昱泰公司承接工作之心得回饋，藉由文載對業界互相分享，同時對本次任務能圓滿達成，所在於團隊間之合作無間，更感謝中正機場黃華雄先生及機場相關人員，台電新桃供電區處羅隆和課

長、張家熙股長、供電處電驛標置課許文興股長、仙璫公司高級工程師劉浚柔、何文瑤先生之鼎力相助及所有相關單位之配合，非常感恩、感謝。

參考文獻

- [1] GRL100(TOSHIBA) Current Differential Relay 說明書。
- [2] GRZ100(TOSHIBA) Digital Distance Relay 說明書。
- [3] J. L. Blackburn, "Protective Relaying: Principle and Application", 2nd edition Marcel Dekker Inc, 1998.
- [4] 李宏任，「實用保護電驛」，全華科技圖書，民國八十八年五月。
- [5] 臺電公司供電處網站 <http://www.taipower.com.tw>。
- [6] 許文興，「161 kV 系統一次配電變電所加入對輸電線路保護運用與計算」，中華民國電驛協會會刊，第 17 期，pp. 95-108，民國九十二年七月。