

微處理式變壓器保護電驛 TPU2000R 之簡介

台電供電處 周瑞年

壹、前言

TPU-2000 型電驛為美國 ABB 公司製造之變壓器保護電驛。TPU 為 Transformer Protection Unit 之縮寫，採三相一體之設計，可供兩繞組（TPU-2000）及三繞組（TPU-2000R）之變壓器保護用，因為其為微處理式的，故其保護元件包括動作快速的主保護差動元件（87T，87H），各個繞組獨立的延時過流元件（51P-1，51P-2）、瞬時過流元件（50P-1，50P-2）接地延時過流元件（51N-1，51N-2）及接地瞬時過流元件（50N-1，50N-2）等原需利用不同單體達成之變壓器保護功能。

本微處理式電驛除結合各種變壓器之保護功能外，亦提供了多個通信連接埠，及多種通信協定可供連線控制；各個繞組之電流顯示，事故之儲存及專用之分析軟體，作為事故之判讀及分析等，擬於後續之段落詳細說明各項功能之特點。

貳、變壓器保護之沿革

變壓器分佈於系統各種不同電壓階層，在電力系統中一直扮演著相當重要的角色，其廣泛的特性應用，舉凡發電廠中的升壓變壓器；超高壓變電所的單相降壓（345kV→161kV）用自耦變壓器；一次變電所的三相降壓（161kV→69kV）用主變壓器；配電變電所的三相降壓（161kV→22kV）用配電變壓器等，由於

不同的特性、型式及容量，其保護的方式有其不同的考量。例如小容量的變壓器，其保護多僅用電力熔絲或過電流電驛即可；而大容量或較重要之變壓器，多利用差動電驛為其主保護而過電流電驛作為後衛保護用。

台電目前針對各電壓等級及不同功能之變壓器，在調度規則中皆明訂其該遵循之保護方式，以下擬稍作簡單說明：

- 一、發電機主變壓器：包括主保護差動電驛 87GT（HA、HU-4、BDD16、BDD17、BDD18、HUB 等）及後衛保護測距電驛 21GTB 或 51 過流電驛。
- 二、超高壓自耦變壓器：包括兩套主保護差動電驛 87T1 及 87T2（HU-4、BDD17）、相間後衛保護測距電驛 21T（KD-41、KD-11、CEB52A）、接地後衛保護 51NT 及零序過電壓保護 59V₀₋₁、59V₀₋₂。
- 三、161/69kV 主變壓器：一套主保護差動電驛 87T（BDD 或 HU-1）、相間後衛保護測距電驛 21T（KD 或 CEB）、接地故障後衛保護 51NT 及二次側過電流電驛 51。
- 四、161/22kV 配電變壓器：包括一套主保護差動電驛 87T（BDD 或 HU-1）及後衛保護過電流電驛 50/51、50N/51N 與 51Z。
- 五、69/11kV 配電變壓器：主保護電驛為比率差動電驛 87T（CAT、IJD 或 CA 等），後衛保護為過電流電驛 50/51 及 50N/51N 與 51Z，51 及 51N 跳脫一

次側斷路器。

目前台電發變電廠（所）使用之變壓器保護電驛，大多仍使用機電式電驛，且差動電驛、過流電驛及測距電驛等均為單相及單一功能。目前針對新設變電所之變壓器保護已採購新型微處理式保護電驛；另有部份六輸新建變電所之變壓器保護電驛即使用 TPU-2000 型之保護電驛。

參、TPU-2000 變壓器保護電驛硬體及外觀之說明

一、面板之指示：如圖 3-1 所示。

1. 電驛之狀態指示 (STATUS)：可提供包括正常狀態 (NORMAL)、故障狀態 (FAIL)、過溫 (OVERTEMP)、過載 (OVERLOAD)、過載 (OVERLOAD)、過載 (OVERLOAD)、過載 (OVERLOAD)、系統重置 (SYSTEM RESET)。

LOAD)、系統重置 (SYSTEM RESET)。

2. 電驛之動作指示 (TARGETS)：包括故障相別 (A、B、C、N) 及動作之電驛功能 (DIFFERENTIAL, 87 差動、TIME, 51 延時過流、INSTANANEOUS, 50 瞬時過流、NEGATIVE SEQUENCE, 46 逆序過流)。
3. 人機介面 (MAN-MACHINE INTERFACE, MMI)：可提供表計功能 (Meter)、相關設定之顯示及變更 (Setting)、事故資料讀取 (Records) 及測試 (Test) 等面板操作功能。

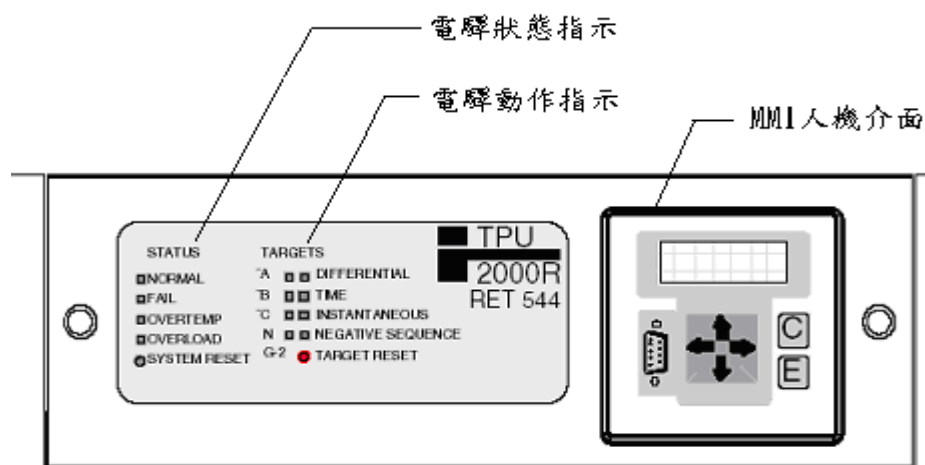


圖 3-1 TPU-2000R 電驛之前視圖

二、電驛相關接線說明：如圖 3-2 所示，共計包括三繞組（或兩繞組）之三相電流輸入，三相電壓輸入端子，自我偵測異常輸出接點，八組可自行規劃

之輸入接點，一組主跳脫接點及七組可自行規劃之輸出接點，另包括三組通信連接埠，可供現場電腦連線或遠端利用專用之控制分析軟體，執行相

關監控及事故資料存取及分析之功能。

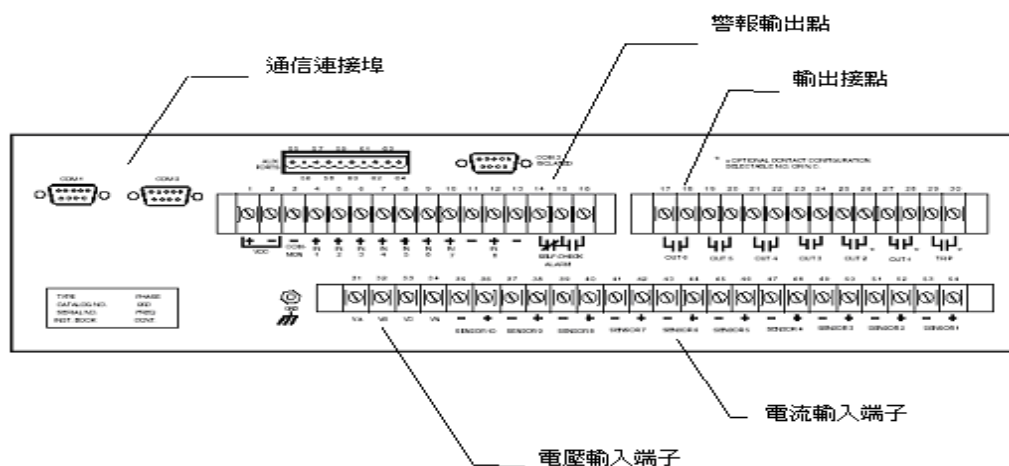


圖 3-2 TPU-2000R 電驛之後視圖

肆、TPU-2000 變壓器保護電驛各項保護功能之介紹

TPU-2000 變壓器保護電驛之各項保護功能如圖 4-1 所示，可區分為相間故障保護及接地故障保護。

相間故障之保護功能包括差動保護 (87T、87H)、各繞組過電流保護 (51P-

1、51P-2、51P-3)、各繞組瞬時過電流保護 (50P-1、150P-1、50P-2、150P-2、50P-3、150P-3)及各繞組逆相序過電流保護 (46P-1、46P-2、46P-3)。

接地故障之保護功能包括各繞組過電流保護 (51N-1、51N-2、51N-3)、各繞組瞬時過電流保護 (50N-1、150N-1、50N-2、150N-2、50N-3、150N-3)。

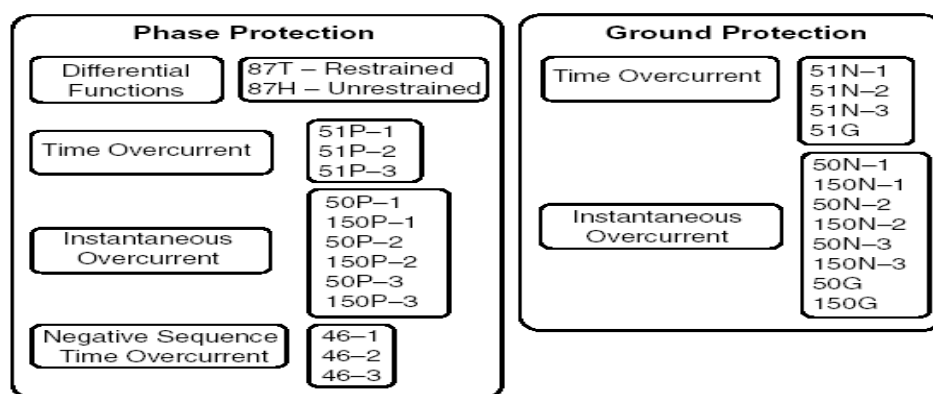


圖 4-1 TPU-2000 保護電驛之各項保護功能 (三繞組)

一、差動保護功能：

1. 諧波抑制之比例差動保護 87T：四種不同類型的差動保護特性可供選擇，適用比流器二次側

5A、1A，在不同比流器時，相關調整之參數範圍，詳如下表所示。

表 4-1 諧波抑制之比例差動保護相關參數表

87T 差動及諧波抑制參數	TAP 調整範圍	增 量
CTs 5A	2-9A	0.1A
CTs 1A	0.4-1.8A	0.02A
2 次諧波	基本頻率之 7.5 至 25%	2.5%
5 次諧波	基本頻率之 15 至 40%	2.5%
所有次數諧波	基本頻率之 15 至 40%	2.5%

1-1. 30% 靈敏度曲線之 HU 型電驛特性，其動作特性曲線如圖 4-2 所示，圖中縱軸為動作電流（差電流）之標么值（per unit of

tap），橫軸為抑制電流（不同繞組流過最大抑制電流）之標么值（per unit of tap）。另每一繞組的最小動作電流為 $0.3 \cdot \text{tap}$ 值。

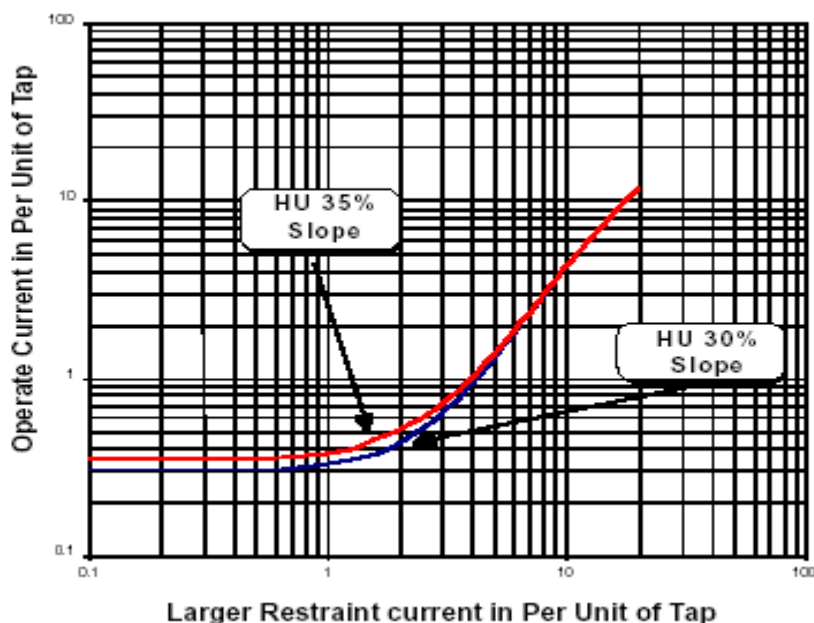


圖 4-2 HU 型可變百分比差動特性

1-2. 35% 靈敏度曲線之 HU 型電驛特性，其動作特性曲線亦如圖 4-2 所示。其每一繞組的最小動作電流為 $0.35 \cdot \text{tap}$ 值。

1-3. BDD 型系列電驛特性，包括 15%、25% 及 40% 之斜率（slop）曲線，其動作特性曲

線如圖 4-3 所示，圖中縱軸為動作電流（差電流）之標么值（per unit of tap），橫軸為抑制電流（不同繞組流過較小抑制電流）之標么值（per unit of tap）。另每一繞組的最小動作電流為 $0.3 \cdot \text{tap}$ 值。

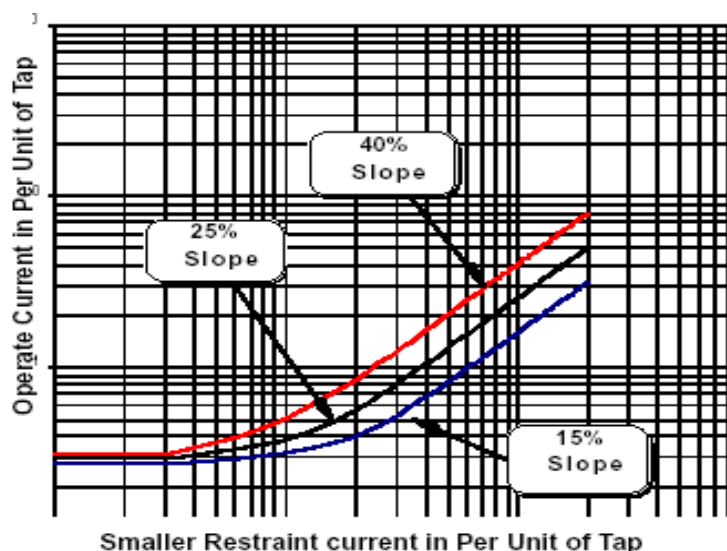


圖 4-3 BDD 型固定常數百分比之差動特性圖

1-4. 15% 至 60% 的特性曲線，每隔 5% 可調整，其動作特性曲線如圖 4-4 所示，圖中縱軸為動作電流（差電流）之標么值（per unit of tap），橫軸為抑制電流

（不同繞組流過較小抑制電流）之標么值（per unit of tap）。每一繞組的最小動作電流為 $n \cdot \text{tap}$ 值， n 為一需設定之參數，範圍為 0.2~1.0。

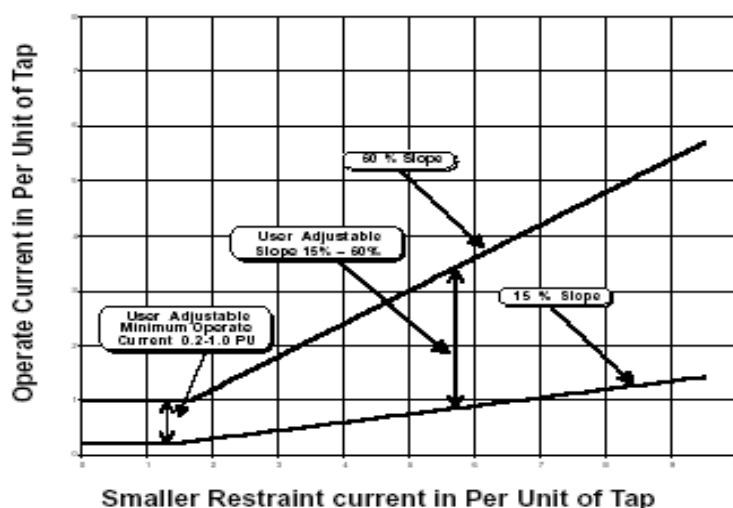


圖 4-4 可調常數百分比之差動特性圖

有關 1-3 及 1-4 項差動特性中之較小抑制電流，在三繞組時之定義說明如下：

假設 I_{MAX} ：最大抑制電流之

標么值

I_{MIN} ：最小抑制電流之標么值

I_{MID} ：中間抑制電流之

標么值

則較小抑制電流 $I_{SMALLER} = I_{MID} + I_{MIN}$ 假如 $I_{MID} + I_{MIN} < I_{MAX}$

或較小抑制電流 $I_{SMALLER} = 3 I_{MIN} - I_{MID}$ 假如 $I_{MID} + I_{MIN} > I_{MAX}$

2. 無諧波抑制大電流之瞬時差動功能 87H：每一繞組的最小動作電流為 $n \cdot \text{tap}$ 值， n 需設定，範圍為 6~20，為一無任何延遲之高速動作元件。

二、相間過電流保護功能：

1. 延時過流保護：包括 51P-1、

51P-2 及 51P-3（三繞組時），電驛提供了各種不同的動作曲線，詳如表 4-2 所示，表中所列之各種延時曲線皆依 ANSI 之標準，其所使用之方程式如下所示，式中之各個參數如表 4-3 所示：

$$\text{Trip Time} = \left(\frac{A}{M^B - C} + B \right) \times \left(\frac{14n-5}{9} \right)$$

$$\text{Reset Time} = \left(\frac{D}{11-EMI} \right) \times \left(\frac{14n-5}{9} \right)$$

其中

M = Multiples of pickup current (I/I_{pu})

n = Time Dial setting (range 1 to 10 in steps of 0.1)

表 4-2 延時過電流保護曲線表 (51/46)

Curve	Time Dial/Delay
Extremely Inverse	1.0 to 10
Very Inverse	1.0 to 10
Inverse	1.0 to 10
Short Time Inverse	1.0 to 10
Definite Time	0.0 to 10.0 seconds
Long Time Extremely Inverse	1.0 to 10
Long Time Very Inverse	1.0 to 10
Long Time Inverse	1.0 to 10
Recloser Curve #8	1.0 to 10
User Prog 1 †	—
User Prog 2 †	—
User Prog 3 †	—

表 4-3 過流時間特性之常數表

Curve	A	B	C	P	D	E
Extremely Inverse	6.407	0.025	1	2.0	3	0.998
Very Inverse	2.855	0.0712	1	2.0	1.346	0.998
Inverse	0.0086	0.0185	1	0.02	0.46	0.998
Short Time Inverse	0.00172	0.0037	1	0.02	0.092	0.998
Short Time Ext. Inv.	1.281	0.005	1	2.0	0.6	0.998
Long Time Ext. Inv.	64.07	0.250	1	2.0	30	0.998
Long Time Very Inv.	28.55	0.712	1	2.0	13.46	0.998
Long Time Inverse	0.086	0.185	1	0.02	4.6	0.998
Recloser Curve #8	4.211	0.013	0.35	1.8	3.29	1.5

使用者可依不同保護方式，選擇不同之曲線保護；本功能針對比流器二次側 5A 及 1A，亦分別提供不同之 TAP 選擇，詳如表 4-4 所示。

表 4-4 51 延時過電流保護功能之 TAP 參數表

51P-1/51P-2/51P-3 參數	TAP 範圍	增 量
5A CTs，始動值	1~12A	0.1A
1A CTs，始動值	0.2~2.4A	0.02A

2. 瞬時過流保護：計包括第一組瞬時過流（50P-1、50P-2 及 50P-3）及第二組瞬時過流（150P-1、150P-2 及 150P-3）等兩組瞬時保護功能，其始動值皆以 51P-1、51P-2 及 51P-3 所定之 TAP 值為標準，設定其倍數作為始動值，

其設定之範圍及增量詳如表 4-5 所示；另第一組瞬時過流亦提供多組不同之動作曲線，現場可作不同之保護應用，相關設定曲線亦詳如表 4-5 所示，而第二組瞬時過流則僅提供單一且固定時間之動作曲線。

表 4-5 50 瞬時過電流保護功能之參數表

50P-1/50P-2/50P-3 參數	範 圍	增 量
始動值設定	0.5~20 倍	0.1 倍
瞬時曲線	無任何延時曲線	
反時性瞬時曲線	1~10	0.1
短時間反時性曲線	1~10	0.1
短時間極反時性曲線	1~10	0.1
固定時間曲線	0~9.99seconds	0.01 seconds

三、接地過電流保護功能：兩繞組差動保

護之電驛其接地保護功能，具有獨立

的接線端子，可作為 51N-1 及 51G-2 之零相保護；而三繞組保護之電驛，因接線端子不足，故 51N-1、51N-2 及 51N-3 並非利用實際接線讀值，而是分別利用三繞組三相電流經過電驛運算所得之零相電流值，而電驛僅提供一組 51G 實際輸入接線；其延時及瞬時過電流保護之始動值及動作曲線等相關參數之設定皆與相間過電流部分相同。

四、逆相序過電流保護功能：本項功能主要加強相間故障之判斷及清除能力，其始動值及動作曲線等相關參數之設定皆與相間過電流部分相同。

上述所有相關保護功能，除了可由現場透過人機介面輸入完成外，亦可經由電驛原廠所提供之連線控制軟體 ECP (EXTERNAL COMMUNICATIONS PROGRAM)，完成相關功能之使用閉鎖及保護參數之輸入修改。

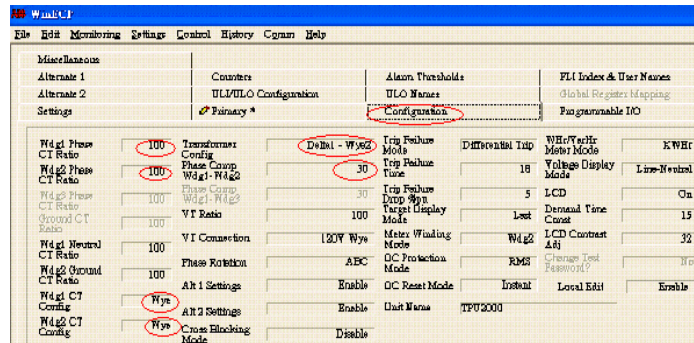
伍、連線控制軟體 ECP 之介紹

一、概述：為 ABB 公司電驛專用之連線軟體 WinECP，所需的連線為 RS-232C。

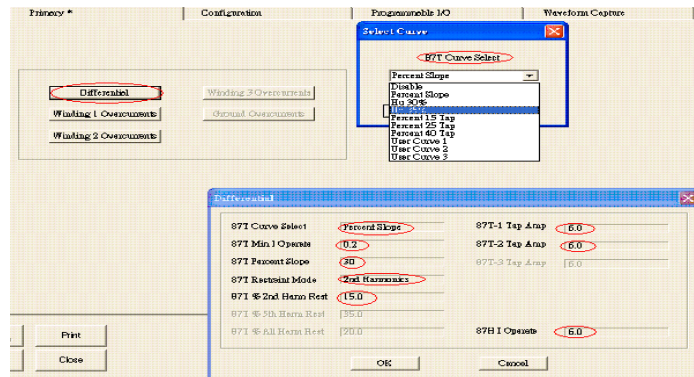
二、功能介紹：

1. 電驛相關設定之輸入：

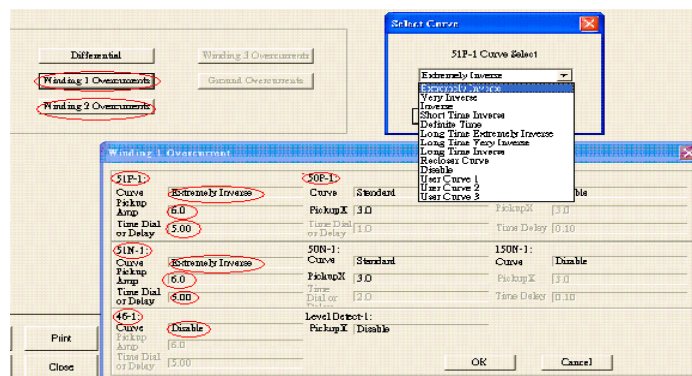
1-1. 變壓器連接方式，相關比流器匝比，高低壓側角度補償等相關規劃方式之輸入方法。



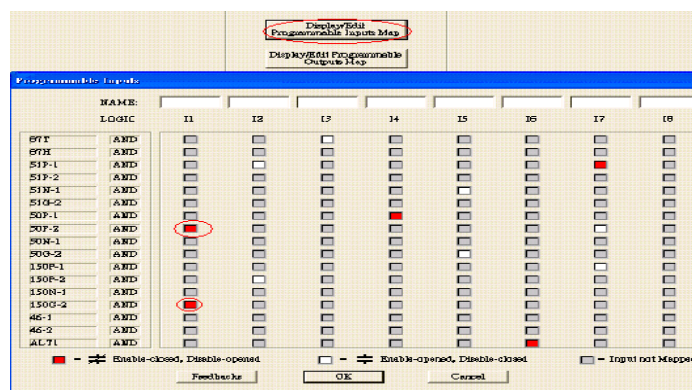
1-2. 差動保護之相關設定輸入：包括差動特性曲線之選擇，各個繞組 TAP 值之設定，諧波抑制相關參數之設定，87H 差動瞬時動作元件參數之輸入等。



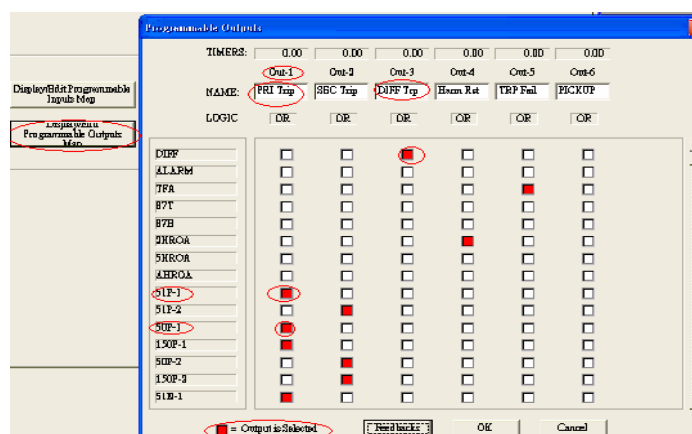
1-3. 過流保護功能：包括延時過流（51P，51N）、瞬時過流（50P，50N）及逆相序過流（46）動作特性曲線之選擇，TAP 及 TIME DIAL 設定之輸入等。



1-4. 輸入接點之規劃：



1.5. 輸出接點之規劃：可定義不同之保護功能由不同之輸出接點輸出，或相關警報及 RTU 所需之接點。



2. 變壓器相關設定之自動計算功能：在輸入變壓器容量、阻抗及各繞組之連接方式後，可自動代為計算出下列各項重要資料：

2-1. 各個繞組之最大負載電流（IH、IT、IL）。

2-2. 故障時流經各個繞組之最大故障電流（IHF、ITF、

- ILF)。
- 2-3. 由最大負載電流可再自動計算出各繞組所需比流器之匝比。
- 2-4. 比流器二次側之各個繞組之最大負載電流 (IHS、ITS、ILS)。
- 2-5. 比流器二次側各個繞組之最大故障電流 (IHFS、ITFS、ILFS)。
- 2-6. 差動保護之設定 (87T-1、87T-2、87T-3 及 87H)。
- 3. 顯示電壓電流等相關表計等功能：

- 4. 事故相關波形之顯示及故障分析之功能：事故資料記錄時會包括下列必要之資料：
 - 4-1. 故障日期及時間
 - 4-2. 故障編號 (整個電驛之編號及差動或過流之編號)
 - 4-3. 電驛之相關設定
 - 4-4. 動作跳脫之元件
 - 4-5. 故障清理之時間
 - 4-6. 各個繞組抑制電流之大小、角度及各個繞組諧波之大小、角度 (差動功能動作時)

Differential Record - IPU2000R OC TSI

Differential Record : 1		Differential Number: 120	
Action Set : Prim		Fault Element : 87H	
Date : 08-Jun-95		Clear Time : 0.066	
Time : 11:22:16.81		Wdg-1 Tap: 3.00 Wdg-2 Tap: 6.00	

HARMONIC	WDG-1	WDG-2																												
2nd-A	58.5%	10.0%	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>I Operate A :</td> <td>5.42</td> </tr> <tr> <td>I Operate B :</td> <td>14.55</td> </tr> <tr> <td>I Operate C :</td> <td>13.23</td> </tr> </table>				I Operate A :	5.42	I Operate B :	14.55	I Operate C :	13.23																		
I Operate A :	5.42																													
I Operate B :	14.55																													
I Operate C :	13.23																													
5th-A	4.0%	7.5%																												
All-A	93.5%	24.0%																												
2nd-B	48.5%	19.5%	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">RESTRAINT CURRENTS</th> <th colspan="2">WDG-1</th> <th colspan="2">WDG-2</th> </tr> <tr> <th>MAGNITUDE</th> <th>ANGLE</th> <th>MAGNITUDE</th> <th>ANGLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ires-A</td> <td>4.87</td> <td>0</td> <td>1.46</td> <td>284</td> </tr> <tr> <td>Ires-B</td> <td>13.95</td> <td>236</td> <td>1.61</td> <td>165</td> </tr> <tr> <td>Ires-C</td> <td>11.89</td> <td>73</td> <td>1.57</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table>				RESTRAINT CURRENTS	WDG-1		WDG-2		MAGNITUDE	ANGLE	MAGNITUDE	ANGLE	Ires-A	4.87	0	1.46	284	Ires-B	13.95	236	1.61	165	Ires-C	11.89	73	1.57	40
RESTRAINT CURRENTS	WDG-1							WDG-2																						
	MAGNITUDE	ANGLE					MAGNITUDE	ANGLE																						
Ires-A	4.87	0	1.46	284																										
Ires-B	13.95	236	1.61	165																										
Ires-C	11.89	73	1.57	40																										
5th-B	2.0%	5.0%																												
All-B	91.5%	42.0%																												
2nd-C	63.0%	37.0%																												
5th-C	1.0%	10.0%																												
All-C	93.0%	63.0%																												

Use Page Down key to view current magnitude and angle Next Record Latest Record Return

Show Next Record

圖 5-1 差動保護功能動作之故障記錄資料

Through Fault Record - TPU2000R 0G T&I					
Through Fault Record : 1			Fault Number : 596		
Active Set : Prim			Relay Time : 0.004		
Date: 08-Jun-95 Time: 11:22:16.87			Clear Time : 0.037		
Fault Element : 50P-2					
IA-1:	489	IA-1 Angle: 0	IA-2:	518	IA-2 Angle: 72
IB-1:	487	IB-1 Angle: 270	IB-2:	469	IB-2 Angle: 305
IC-1:	626	IC-1 Angle: 130	IC-2:	440	IC-2 Angle: 195
IN-1:	20	IN-1 Angle: 277	IG-2:	0	IG-2 Angle: 200
IO-1:	6	IO-1 Angle: 292	IO-2:	0	IO-2 Angle: 200
II-1:	497	II-1 Angle: 14	II-2:	471	II-2 Angle: 71
I2-1:	139	I2-1 Angle: 237	I2-2:	48	I2-2 Angle: 84

Next Record
Latest Record
Return

Show Next Record

圖 5-2 過流保護功能動作之故障記錄資料

陸、實際接線之說明

因為電驛為三相一體之微處理式電驛，所以電流之接線無需考量變壓器之接

線方式，皆以 Y 接方式即可，比流器接線方式詳如圖 6-1 所示，另有關電驛其它控制回路之接線方式詳如圖 6-2 所示。

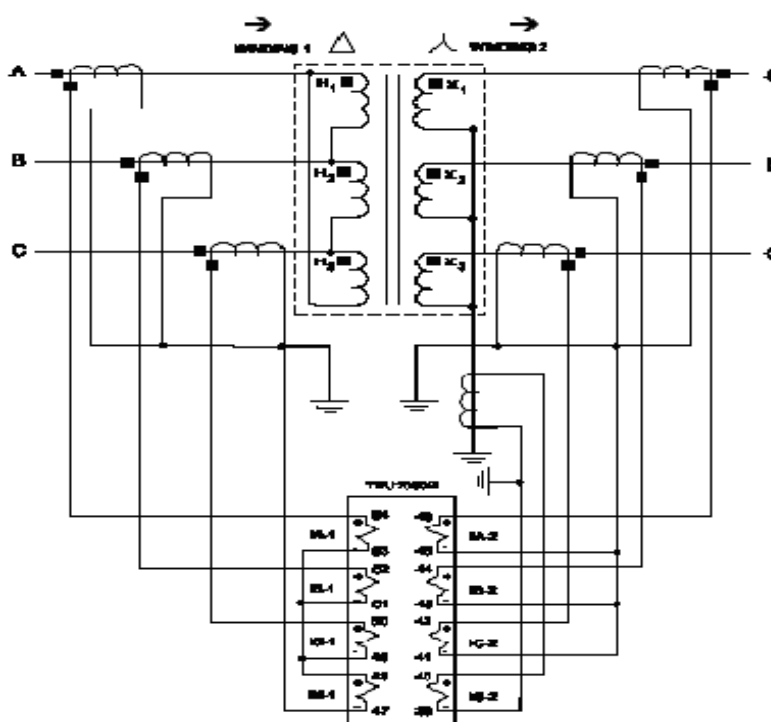


圖 6-1 TPU-2000 比流器 Y-Y 之接線圖

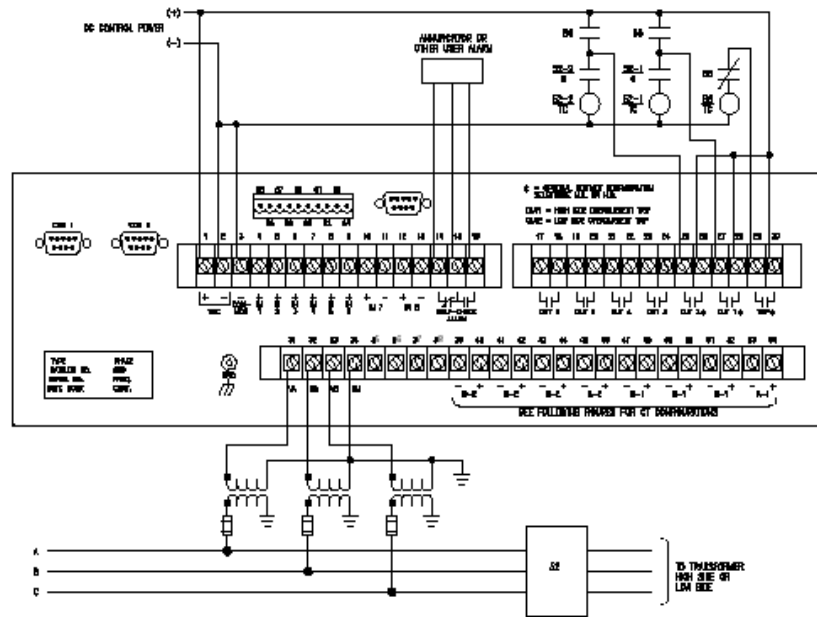


圖 6-1 TPU-2000 典型之外部接線圖 (兩繞組)

柒、結語

智慧型保護電驛為今日電力系統保護電驛之主流，台電目前新採購之保護電驛皆為智慧型保護電驛，包括輸電線路保護、低壓饋線保護、匯流排保護、斷路器故障保護、變壓器保護等。

本文所介紹 ABB 公司之 TPU-2000R 電驛有著智慧型電驛才有的電驛功能，除了基本的事務記錄分析及電壓電流即時讀取顯示外，具備了變壓器保護所需的各項保護功能於一身，包括了差動保護功能，各繞組皆有延時過流、接地過流、瞬時過流及接地瞬時過流等過流完整保護，另亦提供了共計四種不同之差動特性曲線及更精確的分接頭比率，可使保護更準確的達成。

另外，以往變壓器的差動保護，其比流器的接線方式，需正確的配合變壓器的 Δ -Y 接線方式，改以 Y- Δ 的接線方式完

成，然而這 Y- Δ 接線方式一直是變壓器差動保護施工及應用時最易發生錯誤的地方，為了克服這項問題，TPU-2000R 特別設計比流器皆可以 Y-Y 的接線方式，只要正確的設定即可由軟體內建之相角補償程式完成。

相信這些新式智慧型變壓器保護電驛強大的保護功能，必能提供變壓器更為完備的保護，並藉由其所提供的事務分析功能，更能了解事故的成因及現象，提供電力維護人員參考，以作為減低事故再發之機率，加強供電之可靠。

參考文獻

- (1) ABB Transformer Protection Unit 2000R
Instruction Booklet 1MRA588372-MIB
- (2) 李宏任，實用保護電驛，全華科技圖書股份有限公司