

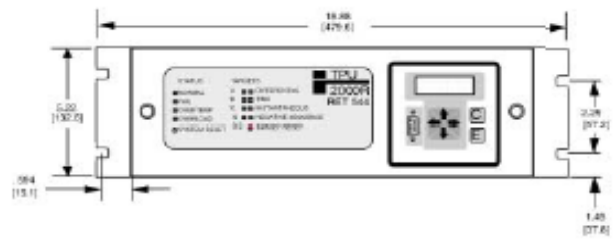
特高壓電力變壓器保護使用差動電驛

TPU2000R 之測試應用

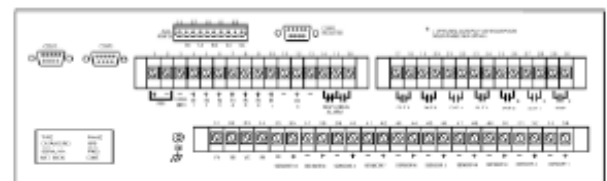
台電嘉南供電區營運處電驛組 許文興
 ABB 電力技術部 柯侖寬

一、前言

隨著電力負載逐年增加，為求電力供電的穩定，變壓器在電力系統中已被廣泛應用，且是用電戶的心臟，因此對變壓器故障將造成用電戶之重大損失，當然在保護上就須格外慎重小心。由於變壓器本體均密閉於箱體內，受外物碰觸之機會少，故障機率顯著降低，因此對變壓器可能會疏忽其保護之嚴重性，且各大型電驛廠商均大力投入變壓器故障保護之研發，尤其智慧型數位式 TPU2000R(ABB)變壓器差動保護更為靈敏準確，可適用於變壓器三相兩繞組及三繞組的保護，TPU2000R 兼顧保護、控制及監視之多功能微處理式保護電驛，其外觀如圖 1(a),(b),(c)所示。TPU2000R 用在變壓器保護上，最主要除了差動保護外，還包含有過電流保護及相序(46)保護，針對 TPU2000R 目前在台電之使用上僅使用差動保護功能部分，其它附屬保護功能均未使用，有關差動保護電驛附屬保護功能如圖 2 所示。



(b)



(c)

圖 1 TPU2000R 保護電驛(a)外觀圖
(b)前視圖(c)背面圖

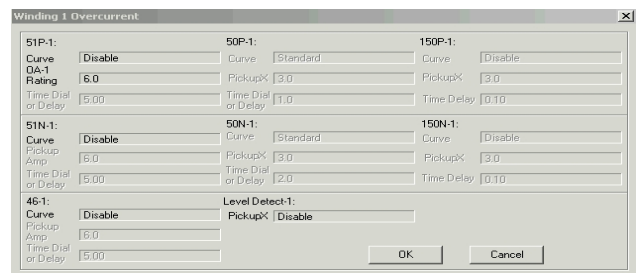


圖 2 TPU2000R 過電流 / 相序保護功能元件



(a)

二、變壓器差動保護原理

變壓器差動保護基本原理是流入被保護設備與流出被保護設備的關係電流之大小、相位及時間之差來判斷是否動作的一種保護裝置。在正常運轉狀態或故障發生於被保護設備之外時，故障電流之流入與

流出之差電流為零，即 I_{S1} 與 I_{S2} 為同方向， $\Delta I = I_{OP} = 0$ ；若故障發生於被保護設備之內時，則流入與流出之差電流不為零，即 I_{S1} 與 I_{S2} 為不同方向， $\Delta I = I_{OP} \neq 0$ 。利用流入與流出之差電流不為零來判別故障發生於被保護設備之內或被保護設備範圍之外，來決定是否動作之保護電驛謂之差動電驛，如圖 3 所示。

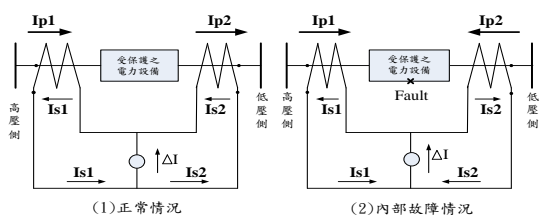


圖 3 電力設備正常與內部故障情況電流分布圖

三、變壓器差動電驛 TPU2000R 標置設定計算

1. 額定電流計算：

(1) 主變一次側額定電流

$$IFL1 : 60 \text{ MVA} / (1.732 * 161 \text{ kV}) = 215.17\text{A}$$

(2) 主變二次側額定電流

$$IFL2 : 60 \text{ MVA} / (1.732 * 23.9 \text{ kV}) = 1449.46\text{A}$$

(3) 主變三次側額定電流

$$IFL3 : 60 \text{ MVA} / (1.732 * 23.9 \text{ kV}) = 1449.46\text{A}$$

2. 電驛側電流 Tap 計算：

$$I_H = \frac{215.17}{500/5} = 2.15\text{A} \rightarrow T_H = 2.2(87\text{T}-1)$$

$$I_{L1} = \frac{1449.46}{2000/5} * \sqrt{3} = 6.27\text{A} \rightarrow T_{L1} = 6.3(87\text{T}-2)$$

$$I_{L2} = \frac{1449.46}{2000/5} * \sqrt{3} = 6.27\text{A} \rightarrow T_{L2} = 6.3(87\text{T}-3)$$

$$T_{L1}/T_H = 6.3/2.2 = 2.86\text{A}$$

$$T_{L2}/T_H = 6.3/2.2 = 2.86\text{A}$$

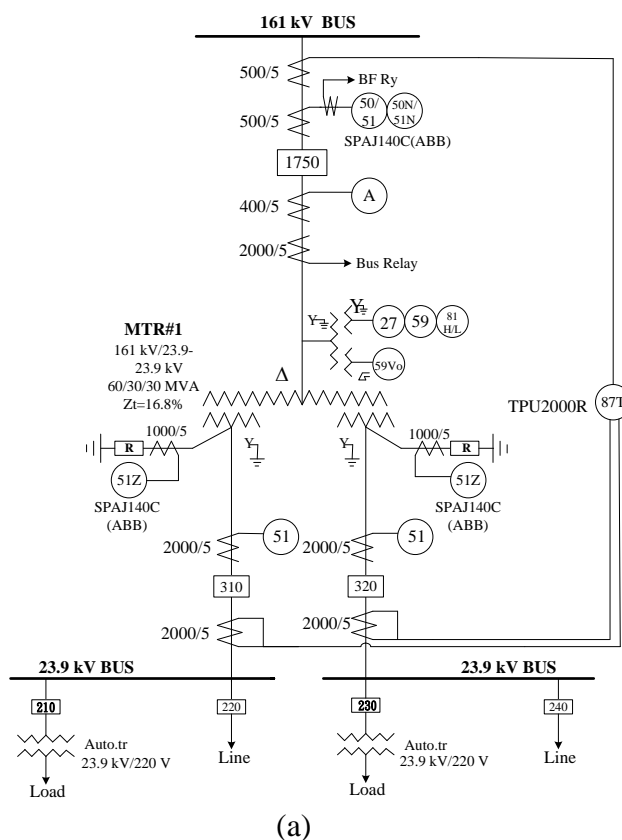
3. 87H 突入電流計算：

變壓器高壓側比流器二次側電流

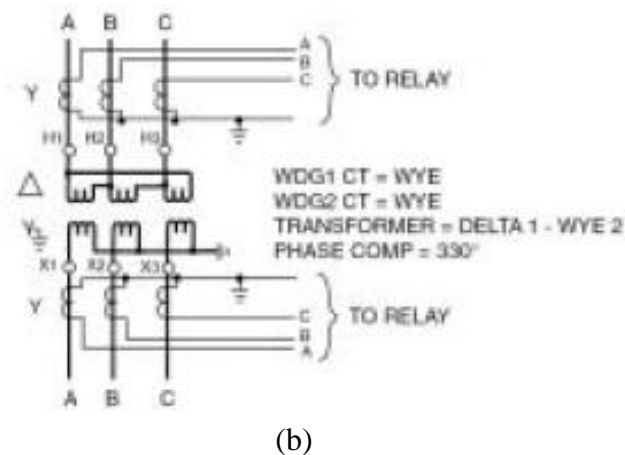
$$I_{HFS} = \frac{60\text{MVA}}{\sqrt{3} * 161\text{kV}} \div \frac{500}{5} = 2.15\text{A}$$

突入電流為額定電流之 8~10 倍

$$87\text{H} = (2.15 * 10) \div 2.2 = 9.8\text{pu.}$$



(a)



(b)

圖 4 變壓器 TPU2000R(a)系統單線圖

(b)變壓器 Δ -Y 接線圖

四、變壓器差動保護功能

差動電驛 TPU2000R 可針對三相 2 繞組及 3 繞組之變壓器提供快速的相間及接地故障保護，同時對比流器之比值作一匹配。當變壓器有突波電流或有過激現象時，可由諧波抑制模式之 2nd 及 5th 來作抑制，此諧波抑制功能是發生在當一相繞組中，其諧波抑制設定值及動作電流被任一相超過時，差動電驛即會動作。故障發生在外部時，可調整諧波百分率及比流器之比值誤差，使差動電驛不會動作。差動電驛依其特性曲線可分為多種曲線如表 1 所示，當中曲線所定義之差動值也會有所不同，可分為四大部份。

1.具有一個可調整之最小動作電流的定

值式%差動斜率。

2.具有一個固定之最小動作電流的可變式%差動斜率。

3.具有一個固定之最小動作電流的固定式%差動斜率。

4.具有一個固定之相角補償的最小動作電流，且可在 15%、25%及 40%之接頭設定值的變化斜率。

當中可調整之定值式%差動斜率和定值式%差動斜率都是以較小之抑制電流標么值為基準而去決定差動動作標么值，而可變式%差動特性是以較大之抑制電流標么值為基準而去決定差動動作標么值，如圖 5、圖 6 及圖 7 所示，所以在做差動電驛特性試驗時，不要混亂了各種曲線特性所做之定義，否則差動之數值就會顯現不正確。

表 1 TPU2000R 差動曲線特性表

Percentage Differential Curve	Percent Slope	Percent Slope Increment	Minimum Operating Current
Adjustable linear % slope	15 to 60%	5%	0.2 to 1.0 per unit tap
HU 30% variable slope	—	—	Fixed at 0.3 per unit tap
HU 35% variable slope	—	—	Fixed at 0.35 per unit tap
Variable slope at 15%, 25%, or 40% tap	—	—	Fixed at 0.3 per unit tap

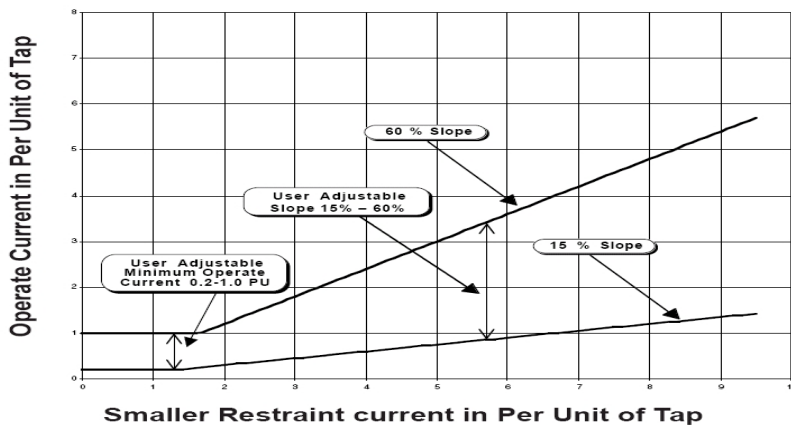


圖 5 TPU2000R 可調整之定值式%差動特性曲線圖

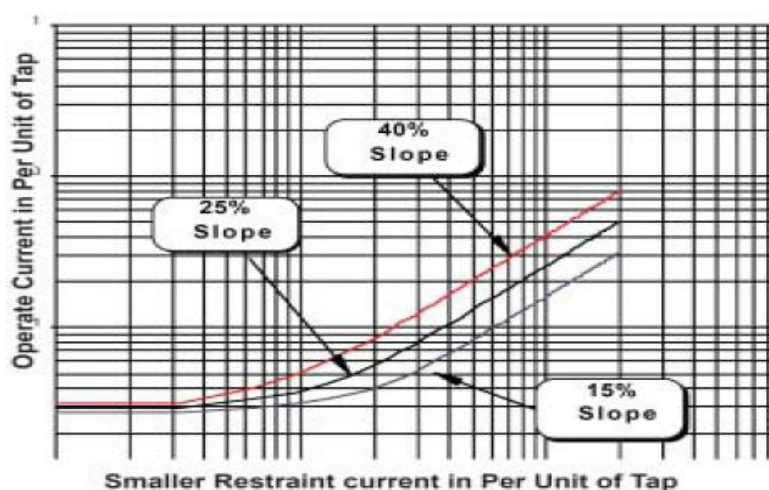


圖 6 TPU2000R 可變式%差動(HU)特性曲線圖

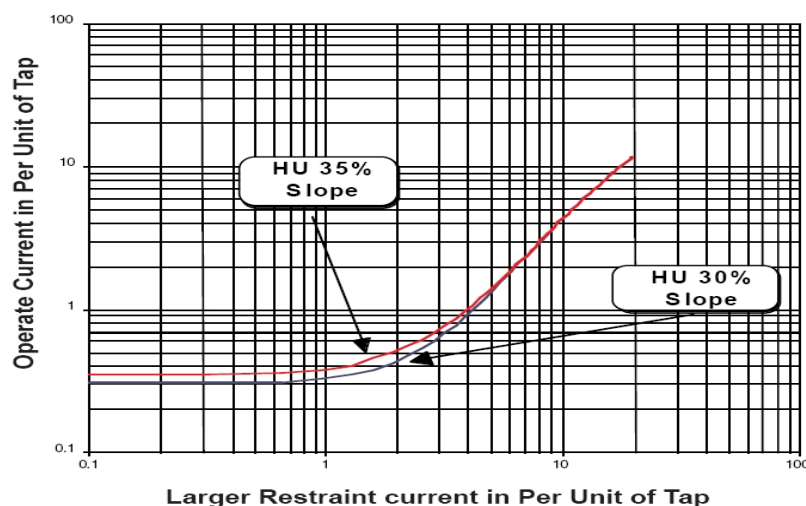


圖 7 TPU2000R 定值式%差動特性曲線圖

五、變壓器差動電驛特性試驗測試

變壓器差動特性試驗以 HU30%做試驗，將計算所得之標置值輸入 TPU2000R，其標置設定為 HU30%、87T-1 Tap: 2A、87T-2 Tap: 2A，如圖 8 所示。首先將 87T Restraint Mode 元件之諧波抑制功能關閉，僅使用 87T 功能做試驗，而 87-1 Tap、87-2 Tap、87-3 Tap 之計算方式可以從變壓器之資料計算出，TPU2000R 軟體提供計算 Tap 值之方式來做為 87T 計算之判別

，如圖 9 所示。

依據變壓器之標置資料輸入 TPU2000R 計算軟體之欄位，可以得到高壓繞組 87T-1、低壓繞組 87T-2、低壓繞組 87T-3 之比流器比值，同時變壓器之接法及比流器接法需正確的將接線方式輸入 TPU2000R，這樣一來，TPU2000R 才會依輸入之變壓器接法及比流器接法來進行差動計算及判別。當變壓器有使用到三繞組時，比流器接法一定要為 Wye 接法，這樣才能符合差動電驛之特性。TPU2000R 差動電驛之構造形態如圖 10 所示。

差動電驛 TPU2000R 內鍵有 Wdg1 Phase CT Ratio 為高壓繞組比流器比值，比流器比值設定 500/5，既輸入 100；同理 Wdg2 phase CT ratio 及 Wdg3 phase CT ratio 為第二繞組及第三繞組之比流器比值設定 4000/5，既輸入 800；變壓器之接法依變壓器之接線方式輸入（當變壓器使用三繞組時，其 CT 接線方式已規劃為 Wye 接時，不可變更為 Delta 接），差動電驛加入電壓元件主因是健全電驛在量測之功能，如圖 11(a),(b)所示之 Active Power(KW) 和 Reactive Power (KVAR) 之轉換圖來知道所接之 CT/PT 相序及極性是否有所不同，以電壓領先電流之原則去輸入電流及電壓元件至電驛去驗證是否電驛所顯示之量測 KW/KVAR 座落區域是否正確，即可判定接線是否正確。

差動電驛 TPU2000R 內鍵有 Phase Compensation Setting 為相角補償設定值，依據變壓器接線方式將補償角度輸入，差動電驛才能去換算 87T 是否正確之補償

，所以變壓器兩繞組接線方式為高壓側繞組領先低壓側繞組 30 度時，相角補償設定值即輸入 30 度，當低壓繞組領先高壓繞組 30 度時，此時相角補償設定值就需輸入 330 度，此補償角度會依比流器接線方式將差動電驛內部做補償計算，使補償角度正確，否則產生之差動值就有可能會引起差動電驛誤動作。VT 比值及接線攔位之輸入是讓差動電驛顯示具有量測之功能，使差動電驛能得到 KW/KVAR 值，從差動電驛面板上讀到有效及無效功率之數值，此 VT 輸入功能與否與訂購代碼有相關性，應需注意到。Phase Rotation 元件是指正相序運轉，符號是 ABC 代表正序運轉，差動電驛 TPU2000R 可以提供三個群組設定功能供使用者多彈性使用，一般都是使用在 Primary 群組，如圖 12 所示，其它兩個群組 Alternate1 and Alternate2 都是經過 DI 點輸入去做群組轉換使用，主要是因應各群組之設定值不同而有所變更，其外部接點輸入來變更設定動作群組。

Differential	
87T Curve Select	Hu 30%
87T Min I Operate	0.3
87T Percent Slope	30
87T Restraint Mode	Disable
87T \approx 2nd Harm Rest	15.0
87T \approx 5th Harm Rest	35.0
87T \approx All Harm Rest	20.0
87T-1 Tap Amp	2.2
87T-2 Tap Amp	6.3
87T-3 Tap Amp	6.3
87H I Operate	9.8

圖 8 TPU2000R 87T setting 資料顯示值

Calculate Tap Settings

Unit: ----- Catalog No: 5890G412-61101 Date: 22-Aug-2007

Transformer Rating (MVA)	Force-Cooled	20	Self-Cooled	T3
Transformer Voltage (kV)	High Side	161	Tertiary Side	6.9
Transformer Connection	High Side	Delta	Tertiary Side	Wye
Percent Winding Impedance	High To Tertiary (%)	8	Tertiary To Low (%)	8
Percent Impedance Base (MVA)	High To Tertiary (%)	5	Tertiary To Low (%)	5
Maximum Load	(IH)	71.72	(IT)	1673.48
Maximum Through Fault	(IHF)	224.13	(ITF)	5229.62
			(IL)	1673.48
			(ILF)	5229.62

Calculate

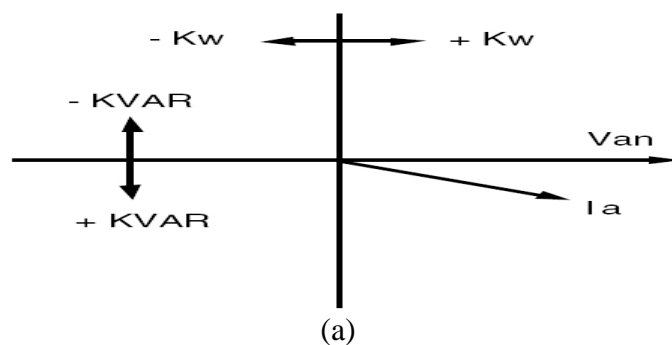
Phase CT Ratio	High Side	100	Tertiary Side	800	Low Side	800
Phase CT Connection	High Side	Wye-Wdg 1	Tertiary Side	Wye-Wdg 3	Low Side	Wye-Wdg 2
Maximum Load on CT	(IHS)	0.72	(ITS)	2.09	(ILS)	2.09
Maximum Through Fault	(IHFS)	2.24	(ITFS)	6.54	(ILFS)	6.54
Apparent Relay Currents	(IHAR)	0.72	(ITAR)	3.62	(ILAR)	3.62
Set 87T-1 To	2.0	Set 87T-2 To	10.1	Set 87T-3 To	10.1	
Set 87H To	2.3					

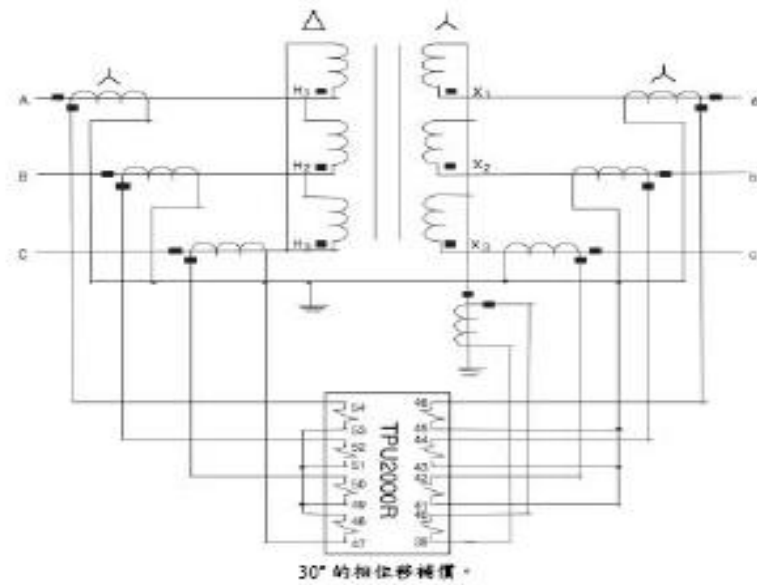
Calculate

圖 9 TPU2000R Tap 模擬計算顯示值

Wdg1 Phase CT Ratio	100	Transformer Config	Delta1 - Wye2 - Wye3
Wdg2 Phase CT Ratio	800	Phase Comp Wdg1-Wdg2	30
Wdg3 Phase CT Ratio	800	Phase Comp Wdg1-Wdg3	30
Ground CT Ratio	800	VT Ratio	100
Wdg1 Neutral CT Ratio	100	VT Connection	120V Wye
Wdg2 Ground CT Ratio	800	Phase Rotation	ABC
Wdg1 CT Config	Wye	Alt 1 Settings	Disable
Wdg2 CT Config	Wye	Alt 2 Settings	Disable
		Cross Blocking Mode	Disable

圖 10 TPU2000R-87T 差動電驛構造形態圖





(b)

圖 11 TPU2000R 之(a)電表顯示圖(b)標準電表顯示接線圖

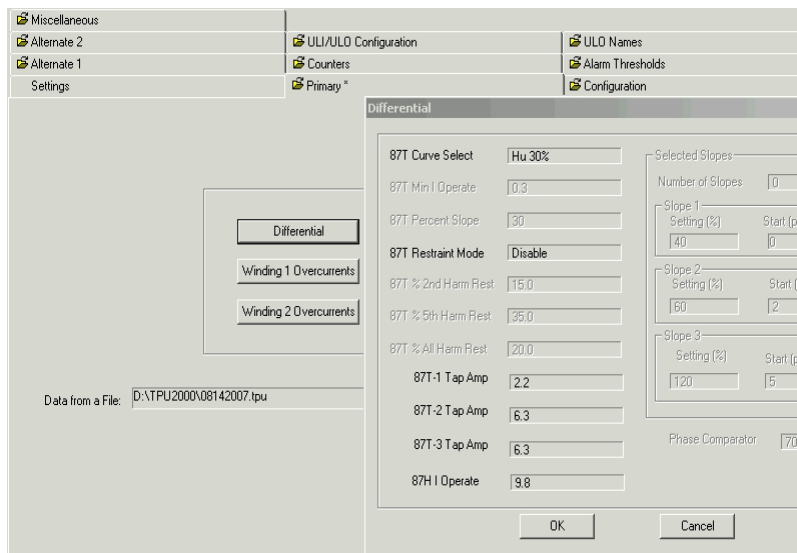


圖 12 TPU2000R 群組設定

六、變壓器差動保護動作試驗

為使差動電驛正確動作，對差動電驛特性來測試始動值是必要的，差動電驛從如圖 5 所示可看出斜率 HU30% 曲線，差動電驛 87T 始動值是在 0.3Pu，由圖橫軸為最大抑制電流 Tap Pu，縱軸為動作差電流 Pu，從 87T 設定值中確認，87T-1 Tap = 2.2 Amp，87T-2 Tap = 6.3 Amp，首先先測

試 0.3Pu 動作曲線，因 87T 動作值是 0.3Pu，所以當抑制電流約在 0.7 Pu 之內，87T 動作值測試結果為 0.3Pu。

(一)單相 87T 高壓繞組始動值動作試驗

差動電驛高壓繞組始動值測試，當高壓側輸入 0.6 A，低壓繞組輸入 0A，對外部輸入 0.6 A 時，對電驛模擬檢測到之數值。

$$0.6 \text{ A} / 2.2 \text{ A (87T-1 Tap)} = 0.28 \text{ Pu}$$

$0.28\text{Pu} < 0.3\text{Pu} \Rightarrow \text{TPU2000R } 87\text{T}$ ，不會動作。

當高壓側輸入 0.67A ，低壓繞組輸入 0A ，對外部輸入 0.67A 時對電驛模擬檢測到之數值。

$0.67\text{A} / 2.2\text{A} (87\text{T-1 Tap}) = 0.304\text{Pu}$

$0.304\text{Pu} > 0.3\text{Pu} \Rightarrow \text{TPU2000R } 87\text{T}$ ，會動作。

差動電驛高壓側始動值是

$I1 = 0.3\text{Pu} = 0.66\text{A}$ 。

$I2$ 低壓側 $= 0\text{A} < 0.66\text{A}$

$\Rightarrow \text{TPU2000R } 87\text{T}$ ，會動作。

故電驛動作電流值 $I1=0.67\text{A}$ ， 87T 動作跳脫。

(二)單相 87T 低壓繞組始動值動作試驗

差動電驛低壓繞組始動值測試，當低壓側輸入 1.8A ，高壓繞組輸入 0A ，對外部輸入 1.8A 時，對電驛模擬檢測到之數值。

$1.8\text{A} / 6.3\text{A} (87\text{T-2 Tap}) = 0.29\text{Pu}$

$0.29\text{Pu} < 0.3\text{Pu} \Rightarrow \text{TPU2000R } 87\text{T}$ 不會動作，模擬結果如圖 13 所示。

當低壓側輸入 1.89A ，高壓繞組輸入 0A ，對外部輸入 1.9A 時電驛模擬檢測到之數值。

$1.9\text{A} / 6.3\text{A} (87\text{T-2 Tap}) = 0.301\text{Pu}$

$0.301\text{Pu} > 0.3\text{Pu} \Rightarrow \text{TPU2000R } 87\text{T}$ 會動作。

差動電驛高壓側始動值是

$I2 = 0.3\text{Pu} = 1.89\text{A}$ 。

$I1$ 高壓側 $= 0\text{A} < 1.88\text{A} \Rightarrow \text{TPU2000R } 87\text{T}$ 會動作。

故電驛動作電流值 $I2=1.89\text{A}$ ， 87T 動作跳脫。

(三)高/低壓繞組單相差動電驛模擬動作試驗

當高/低壓側同時輸入單相數值來驗證差動電驛是否正確動作，首先測試高/低壓側繞組 R 相電流所輸入之數值，高壓側輸入 $2.2\text{A} @ 0\text{ degree}$ ，低壓繞組輸入 $6.3\text{A} @ 180\text{ degree}$ ，對差動電驛 TPU2000R 而言，當高壓側外部輸入 2.2A 時，差動電驛檢測到之數值為 $2.2\text{A} / 2.2\text{A} (87\text{T-1 Tap}) = 1\text{Pu}$ ，低壓側外部輸入 6.3A 時，差動電驛檢測到之數值為 $6.3\text{A} / 6.3\text{A} (87\text{T-2 Tap}) = 1\text{Pu}$ ，理論上差動電流為零，但從差動電驛 TPU2000R 模擬得到之數值如圖 14 所示。

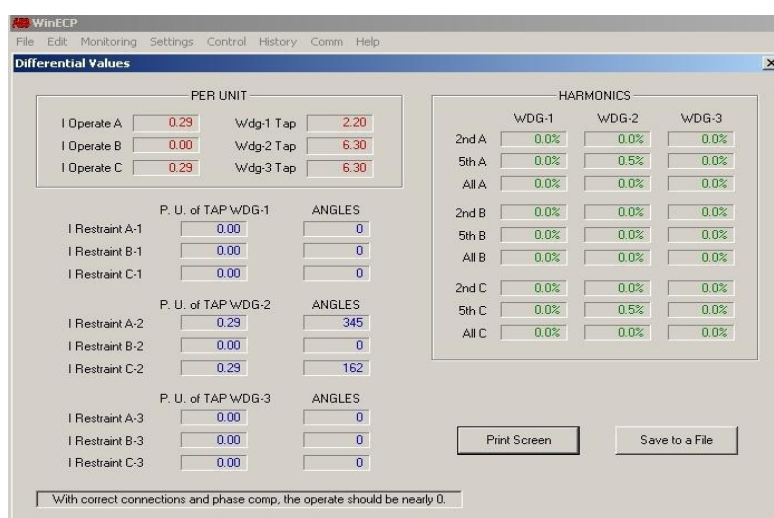


圖 13 TPU2000R 0.29Pu 值 $< 0.3\text{Pu}$ 值



圖 14 TPU2000R 87T 低壓側繞組動作

但實際模擬測試結果會造成差動電驛 R 相動作跳脫，事實上差動電驛是不應該動作，主因是變壓器 Delta-Wye 接法，致高壓側輸入單相 R 時，差動電驛即檢測到高壓 R 相，但輸入低壓單相 R 時，差動電驛即檢測到電流佇入 R.T 相，主因為 Delta-Wye 接並補償 30 度角度關係，此方式會讓單相 R 相電流分佇於 R.T 相，如果是補償 330 度角度關係，此方式會使單相 R 相電流分佇於 R.S 相，如果接線用 Wye 方式，單相電流就不會有分佇到其它相之情形，在此模式上，接線方式就要將高壓繞組之接地相接到 T 相，當輸入高壓 R 相時，差動電驛就會看到是 R.T 相，此時與低壓繞組比較起來，差動電驛就不會有差值出現，差動電驛不會動作，此為正確之測試方式。因此，要測試 TPU2000R 單相 87T 動作，高/低壓側繞組之差值 Diff Pu 值要大於 0.3 Pu，差動電驛才會動作。

$$I1\text{-Rest} : IL/\text{Tap} = 2.2 / 2.2 = 1 \text{ Pu}$$

$$\Rightarrow IL1 : 2.2 \text{ A (高壓側)}$$

$$I2\text{-Rest} : IL/\text{Tap} = 6.3 / 6.3 = 1 \text{ Pu}$$

$$\Rightarrow IL2 : 6.3 \text{ A (低壓側)}$$

(1)高壓側固定低壓側調整之單相測試

$$A-1 = 2.2 \text{ A @ } 0 \text{ degree}$$

$$A-2 = 6.3 \text{ A @ } 180 \text{ degree}$$

$$A-1 = 1 \text{ Pu}, A-2 = 1 \text{ Pu}, \text{ 差電流 Diff} = 0$$

固定 A-1 值，調整 A-2 值(高壓側 RT 接)

$$A-1 : 2.2 / 2.2 = 1 \text{ Pu},$$

$$A-2 : 8.6 / 6.3 = 1.36 \text{ Pu},$$

最大抑制電流 1.36 Pu

所以差動電驛斜率 HU 30% 動作曲線看出，所對應之動作 Pu 約為 0.36 Pu，而實際上 TPU2000R 動作 Pu 值

為 $1.36 \text{ Pu} - 1 \text{ Pu} = 0.36 \text{ Pu}$ ，電流動作值為 0.36 Pu 87T 動作跳脫。

(2)低壓側固定高壓側調整之單相測試

$$A-1 = 2.2 \text{ A @ } 0 \text{ degree}$$

$$A-2 = 6.3 \text{ A @ } 180 \text{ degree}$$

$$A-1 = 1 \text{ Pu}, A-2 = 1 \text{ Pu}, \text{ 差電流 Diff} = 0$$

固定 A-2 值，調整 A-1 值(高壓側 RT 接)

$$A-1 : 2.98 / 2.2 = 1.35 \text{ Pu},$$

$$A-2 : 6.3 / 6.3 = 1 \text{ Pu}, \text{ 最大抑制電流}$$

1.35 Pu 所以差動電驛斜率 HU 30% 動作曲線看出，所對應之動作 Pu 約為

0.35 Pu，而實際上 TPU2000R 動作 Pu 值為

$$1.35 \text{ Pu} - 1 \text{ Pu} = 0.35 \text{ Pu}, \text{ 電流動作值}$$

0.35 Pu 87T 動作跳脫。因

TPU2000R 為比率式差動特性，當故障電流越大，其所反應之動作差動值

也會更大。

(3)高壓側固定低壓側調整且測試值加倍之單相測試

$$A-1 = 4.4 \text{ A @ } 0 \text{ degree}$$

$$A-2 = 12.6 \text{ A @ } 180 \text{ degree}$$

$$A-1 = 2 \text{ Pu}, A-2 = 2 \text{ Pu}, \text{ 差電流 Diff} = 0$$

固定 A-1 值，調整 A-2 值(高壓側 RT 接)

$$A-1 : 4.4 \text{ A} / 2.2 = 2 \text{ Pu},$$

$$A-2 : 10.04 \text{ A} / 6.3 \text{ A} = 1.58 \text{ Pu}, \text{ 最大抑制電流}$$

2Pu (2Pu > 1.58Pu)，所以差動電驛斜率 HU 30% 動作曲線看出，

所對應之動作 Pu 約為 0.43Pu，而實際上

TPU2000R 動作 Pu 值為

$$2 - 1.58 = 0.43 \text{ Pu}, \text{ 電流動作值為 } 0.43 \text{ Pu}$$

87T 動作跳脫。

(4)低壓側固定高壓側調整且測試值加倍之單相測試

$$A-1 = 4.4 \text{ A @ } 0 \text{ degree}$$

$$A-2 = 12.6 \text{ A @ } 180 \text{ degree}$$

$$A-1 = 2 \text{ Pu}, A-2 = 2 \text{ Pu}, \text{ 差電流 Diff} = 0$$

固定 A-1 值，調整 A-2 值(高壓側 RT 接)

A-1 : $4.4 \text{ A} / 2.2 = 2 \text{ Pu}$,

A-2 : $16.1 \text{ A} / 6.3 \text{ A} = 2.56 \text{ Pu}$, 最大抑制電流 2 Pu ($2.56 \text{ Pu} > 2 \text{ Pu}$) , 所以差動電驛斜率 HU 30% 動作曲線看出, 抑制電流 2.56 Pu 所對應之動作 Pu 約為 0.56 Pu , 而實際上 TPU2000R 動作 Pu 值為 $2.56 \text{ Pu} - 2 \text{ Pu} = 0.56 \text{ Pu}$, 電流動作值 0.56 Pu 87T 動作跳脫。

(四)高/低壓繞組三相差動電驛動作試驗

當輸入三相高/低壓側同時試驗來驗證差動電驛動作是否正確, 首先測試高/低壓繞組之三相電流差動電驛輸入數值是否正確, 先從高壓側輸入 A-1 : $2.2 \text{ A} @ 0 \text{ degree}$, B-1 : $2.2 \text{ A} @ -120 \text{ degree}$, C-1 : $2.2 \text{ A} @ 120 \text{ degree}$; 低壓側繞組輸入 A-2 : [3.6A@150 degree](#) , B-2 : [3.6A@30degree](#) , C-2 : $3.6 \text{ A} @ -90 \text{ degree}$; 對差動電驛之高壓外部三相輸入 2.2 A , 差動電驛量測到之三相數值為 $2.2 \text{ A} / 2.2 \text{ A}$ (87T-1 Tap) = 1 Pu , 差動電驛之低壓側外部三相輸入 3.6 A , 差動電驛量測到之數值為 $3.6 \text{ A} / 6.3 \text{ A}$ (87T-2 Tap) * $\sqrt{3} = 1 \text{ Pu}$, 此時差動電驛 R.S.T 相差電流幾乎等於零, 即 I Operate A=I Operate B=I Operate C, 如圖 15 所示。

由此證實差動電驛接線所量測之角度差為高/低壓側差 210 度 , 電流產生器 ISA/OMICRON 就如同變壓器一樣, 所輸出之角度為高壓繞組及低壓繞組差為 150 度 , 主因是變壓器 Delta-Wye 接高壓側領先低壓側 30 度 , 電流產生器所輸出之角度為高壓繞組及低壓繞組互差為 150 度 , 此時量測差動電驛 CT 接線之高壓側及低壓側差 210 度 即 $360 - 150 = 210 \text{ 度}$, 而差動電驛內部會進行補償變壓器 Delta-Wye 接高

壓側領先低壓側 30 度 之接法補償。由差動電驛內部設定得知補償之方式, 所以差動電驛內部所得到之正確角度為高壓繞組及低壓繞組會互相差 180 度 , 則為正確之接法及設定。

當一變電站設備做遞升加壓試驗時, 可以從高壓側比流器及低壓側比流器中量到之角度依序為:

A-1 : $0.35 \text{ A} @ 23 \text{ degree}$, B-1 : $0.35 \text{ A} @ 143 \text{ degree}$, C-1 : $0.35 \text{ A} @ 263 \text{ degree}$, A-2 : $0.6 \text{ A} @ 233 \text{ degree}$, B-2 : $0.6 \text{ A} @ 353 \text{ degree}$, C-2 : $0.6 \text{ A} @ 113 \text{ degree}$, 且高壓側及低壓側差為 210 度 , 所以差動電驛接線如同比流器之接線方式。

變壓器保護差動值動作試驗, 由高壓側輸入為 A-1: $4.4 \text{ A} @ 0 \text{ degree}$, B-1 : $4.4 \text{ A} @ 240 \text{ degree}$, C-1 : $4.4 \text{ A} @ 120 \text{ degree}$; 而低壓繞組輸入 A-2 : $7.3 \text{ A} @ 150 \text{ degree}$, B-2 : $7.3 \text{ A} @ 30 \text{ degree}$, C-2 : $7.3 \text{ A} @ 270 \text{ degree}$; 對差動電驛之高壓外部三相輸入 2.2 A , 差動電驛量測到之三相數值為 $4.4 \text{ A} / 2.2 \text{ A}$ (87T-1 Tap) = 2 Pu , 輸入低壓側外部三相為 7.3 A , 差動電驛量測到之數值為 $7.3 \text{ A} / 6.3 \text{ A}$ (87T-2 Tap) * $\sqrt{3} = 2 \text{ Pu}$, 模擬結果差動電驛之差電流為零, 如圖 16 所示。

固定高壓側 A-1、B-1、C-1 值, 調整低壓側 A-2、B-2、C-2 值, 則高壓側模擬計算值為 A-1: $4.4 \text{ A} / 2.2 = 2 \text{ Pu}$, B-1 : $4.4 \text{ A} / 2.2 = 2 \text{ Pu}$, C-1 : $4.4 \text{ A} / 2.2 = 2 \text{ Pu}$; 低壓側模擬計算值為 A-2 : $5.7 \text{ A} / 6.3 \text{ A} * \sqrt{3} = 1.58 \text{ Pu}$, B-2 : $5.7 \text{ A} / 6.3 \text{ A} * \sqrt{3} = 1.58 \text{ Pu}$, C-2 : $5.7 \text{ A} / 6.3 \text{ A} * \sqrt{3} = 1.58 \text{ Pu}$, 若最大抑制電流 2 Pu , 即高壓側抑制電流大於

低壓側抑制電流，所以從斜率 HU30% 動作曲線看出，最大抑制電流 2Pu 所對應之動作 Pu 約為 0.43Pu，而實際上差動電驛動作 Pu 值約為 2Pu-1.58Pu

0.43Pu，差動電驛電流動作值 0.43Pu，差動電驛 87T 動作跳脫，如圖 17 所示。

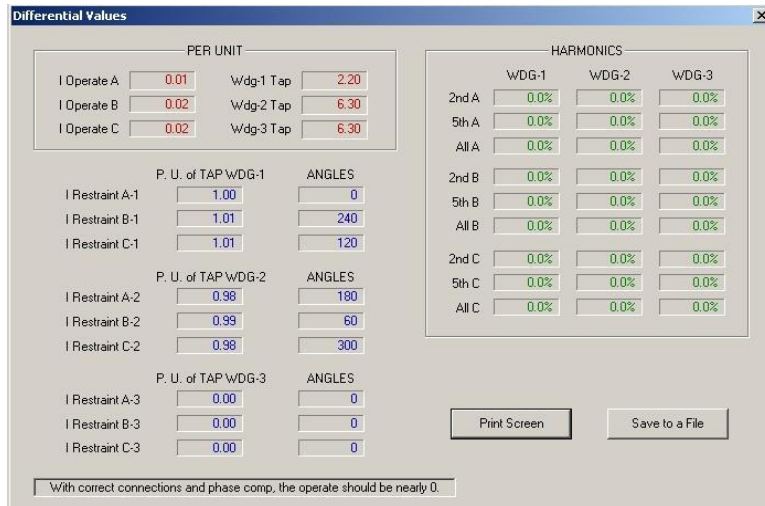


圖 15 TPU2000R 高低壓繞組之 O.P

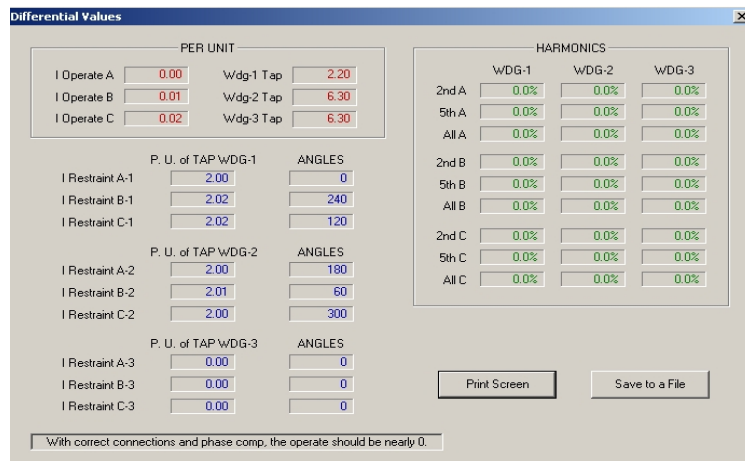


圖 16 TPU2000R 正確之補償值

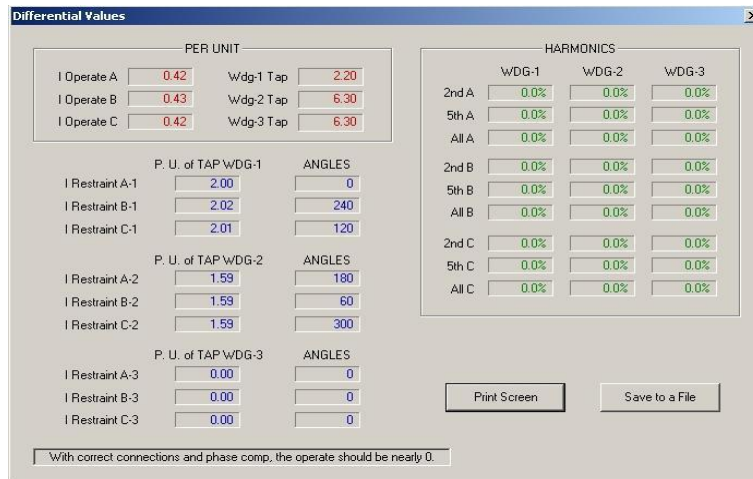


圖 17 TPU2000R 87T 動作數值

(五) 驗證諧波抑制功能是否會閉鎖差動電驛動作

諧波源來自於系統變壓器，為避免因諧波產生致使差動電驛誤動作，對諧波功能抑制是必要的，首先開啟諧波抑制功能，差動電驛對諧波抑制之設計上是以二次諧波，五次諧波及多次諧波來量測計算並驗證二次諧波抑制功能，而諧波抑制功能是用來閉鎖差動電驛不致產生誤動作如圖 18 所示，差動電驛設定二次諧波抑制以 15% 為門檻值，即是 $I_{2f}(120\text{Hz})/I_{1f}$ (基本波 60Hz) 之比值。

當測試時，以高壓繞組單相來進行驗證諧波功能，輸入高壓側 R 相電流 1A，如果不看諧波抑制功能，差動電驛量測到之差動值會是 $1\text{A}/2.2\text{A}=0.45\text{Pu}$ ，即 $0.45\text{Pu} > 0.3\text{Pu}$ ，會使差動電驛動作跳脫，為了要驗證二次諧波 15% 閉鎖功能，除了輸入高壓繞組電流 R 相 1A 60Hz 之外，並且輸入一組 120Hz

電流 0.15A 進入高壓繞組 R 相，此時對差動電驛來說，二次諧波值為 15%，當二次諧波模擬值大於 15% 時，差動電驛就會被閉鎖住，此時差動電驛就不會動作，所試驗之數值無誤。

從圖 19 所示高壓繞組 R 相電流已大於差動電驛動作門檻值，從諧波模擬值顯示 2nd A 相電流為 13%，即 $13\% < 15\%$ 設定，差動電驛理論上不該動作，但從模擬圖已有差電流顯示即會使差動電驛仍會動作。

再來測試是高/低壓繞組單相驗證諧波功能，輸入高壓側 R 相電流 1A 60Hz，低壓側 R 相電流 1A 120Hz，高壓側與低壓側兩者之間相差零度，則差動電驛諧波抑制功能就會抑制電驛不致使電驛動作跳脫，差動電驛二次諧波模擬值為 15%，若二次諧波模擬值大於 15% 時，差動電驛功能就會被閉鎖住，此時差動電驛不會動作，即表示試驗模擬值無誤。



圖 18 TPU2000R -2nd 二次諧波設定

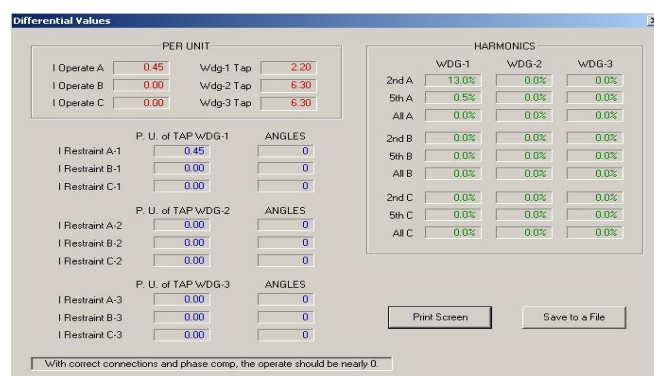


圖 19 TPU2000R -2nd 模擬數值顯示

(六)驗證 87H 高電流差動瞬跳動作

差動電驛 87H 突入電流元件是不會受抑制功能所閉鎖，使用 87H 主要目的是變壓器加入啟用時會產生短暫激磁電流，而激磁電流中會含有二次諧波存在且占最大比例，差動電驛諧波抑制功能主要在抑制激磁電流，當抑制電流夠大時，如高壓繞組抑制電流大於 21.56 A，即 $2.2A * 9.8 = 21.56 A$ ，如圖 20 所示 87H 突入電流元件即會動作；若高壓側輸入模擬電流為 21.8A，而低壓繞組輸入 0A，對差動電驛來說是外部輸入 21.8 A，TPU2000R 量測到之數

值為 $21.8 A / 2.2 A = 9.91 Pu$ ，而 $9.91Pu$ 大於 87H 標置值 $9.8 Pu$ ，因此模擬結果會使差動電驛動作跳脫。

TPU2000R 差動電驛可使用於兩繞組或三繞組接線，其接線方式不同，所以差動電驛使用三繞組之變壓器，進行三繞組測試時，應先測試高壓繞組 1 及低壓繞組 2 測試，測試完成後再進行高壓繞組 1 及低壓繞組 3 測試，以避免錯誤接線影響模擬測試結果，有關差動電驛兩繞組及三繞組之接線方式如圖 21 及圖 22 所示。

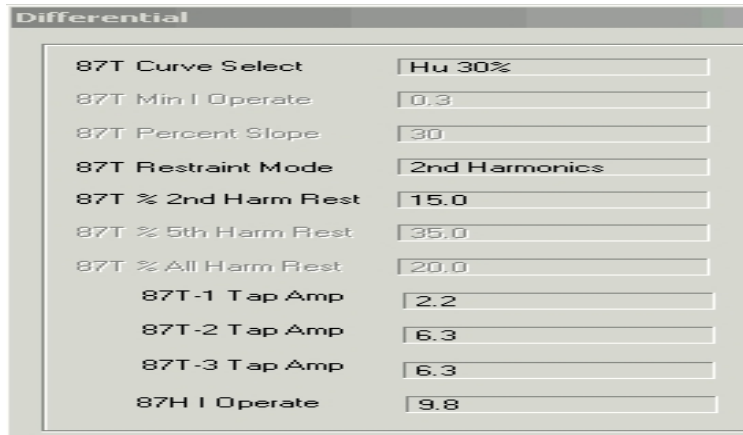


圖 20 TPU2000R 87H 突入電流元件設定值

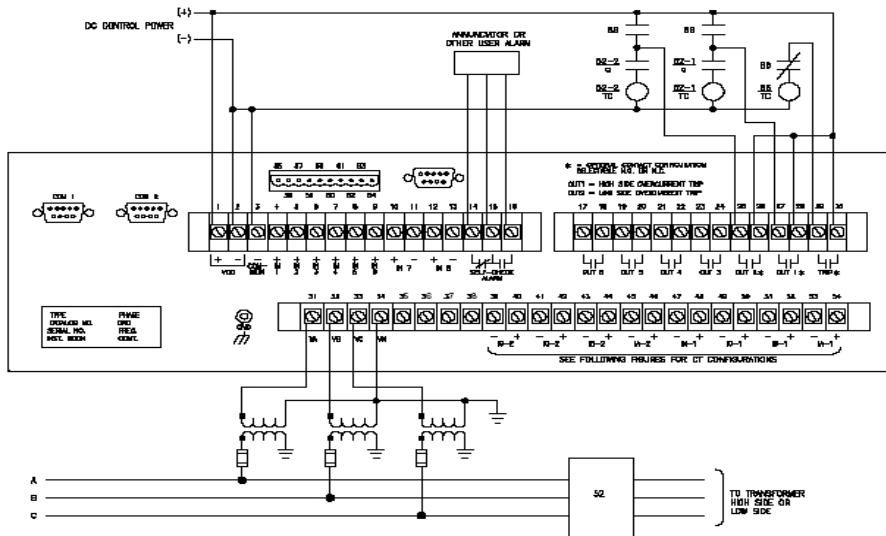


圖 21 TPU2000R 兩繞組之接線

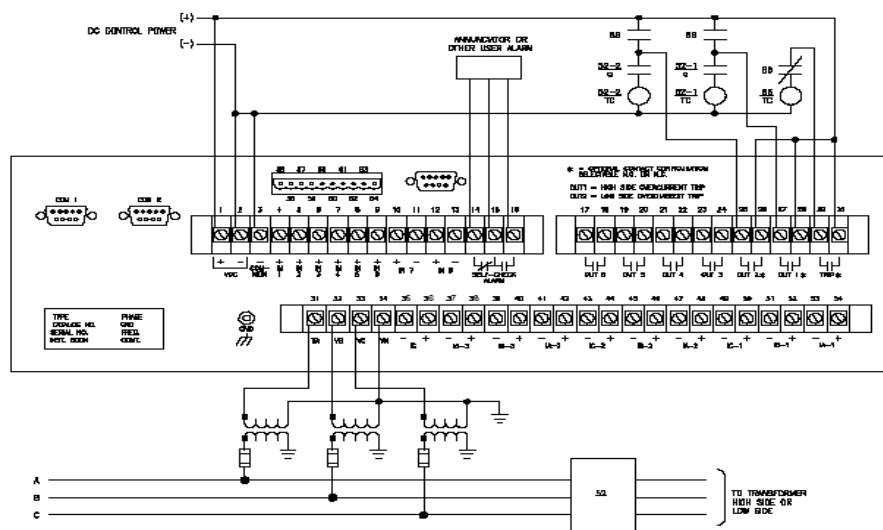


圖 22 TPU2000R 三繞組之接線

經過單相及三相之模擬試驗後，將差動電驛之功能進行逐一驗證，透過此測試方式，讓使用者對 TPU2000R 在使用上有更加深入了解其動作特性及更多功能訊息，如圖 23 所示是讀取高低壓側之電流值，角度及差流值，並且可以從資料中得到諧波之數值及動作時間，當事件發生可以清楚從畫面顯示當時故障電流情形，也可以從事件資料中得知繞組之各相電流值大小、相位角度及零序、正序、負序值所紀錄之數據，此數據可以紀錄到 32 筆資料，並以覆蓋之紀錄方式進行資料儲存，其路徑為 History / Differential Fault Records。

接著“Through Fault”攔位訊息是 TPU2000R 電驛紀錄過電流跳脫動作及超過繞組 2 元件之保護設定值，如圖 24 所示，所紀錄之數據可以達到 32 筆資料，並以覆蓋之紀錄方式進行資料儲存，其路徑為 History / Through Fault。

從差動電驛資料中有紀錄諧波抑制數據，此“Harmonic Restraint”攔位訊息主要是紀錄諧波元件之資料，TPU2000R 對諧波之取樣設計是以二

次諧波及五次諧波為主要取樣點，如圖 25 所示，TPU2000R 所紀錄之數據可以達到 32 筆紀錄資料，並以覆蓋之紀錄方式進行資料儲存，其路徑為 History / Harmonic Restraint。

此外在 TPU2000R 之資料中可查詢到電驛動作紀錄資料如圖 26 所示，其路徑為 History / Operations Records。

資料顯示所有保護動作元件之資料，不只是差動電驛跳脫資料，也可以使用過電流保護或 46 相序保護元件，所以 TPU2000R 元件動作紀錄顯示包括元件動作時間紀錄及動作清除時間紀錄與輸入或輸出動作接點動作訊息紀錄，在動作紀錄訊息攔位中，所紀錄之紀錄值可以達到 128 筆紀錄資料，並以覆蓋之紀錄方式進行資料儲存，所以電驛儲存資料中可以查詢到 Operation Summary 紀錄如圖 27 所示，其路徑為 History / Operations Summary。

圖 28 所示之攔位主要是紀錄過電流、差動動作、故障點次數及紀錄故障點所有之低壓繞組之電流(單位為 1000Amp)，主要是讓使用者知道差動電驛所紀錄之動作總和

資料有那些是目前已被紀錄在差動電驛裡，所以事故後之資料紀錄都可以被轉換成 excel 檔供使用方便註解及列印。

TPU2000R 可以彈性規劃輸入點及輸出點如圖 27 所示，輸入點可規劃為單端式或雙端式，輸出點可規劃為永久規劃的及使用

者可規劃的。輸出接點是被使用於任一元件動作之訊息，當中有 Timer 來做時間延遲輸出之使用，並可以搭配 OR 或 AND 來配合使輸出接點動作之條件如圖 28(a),(b),(c),(d)所示。

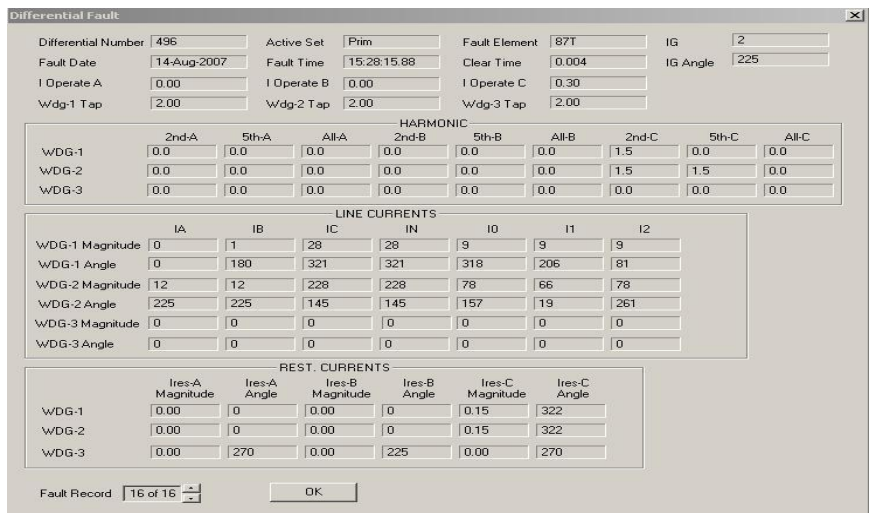


圖 23 TPU2000R Differential Fault Records

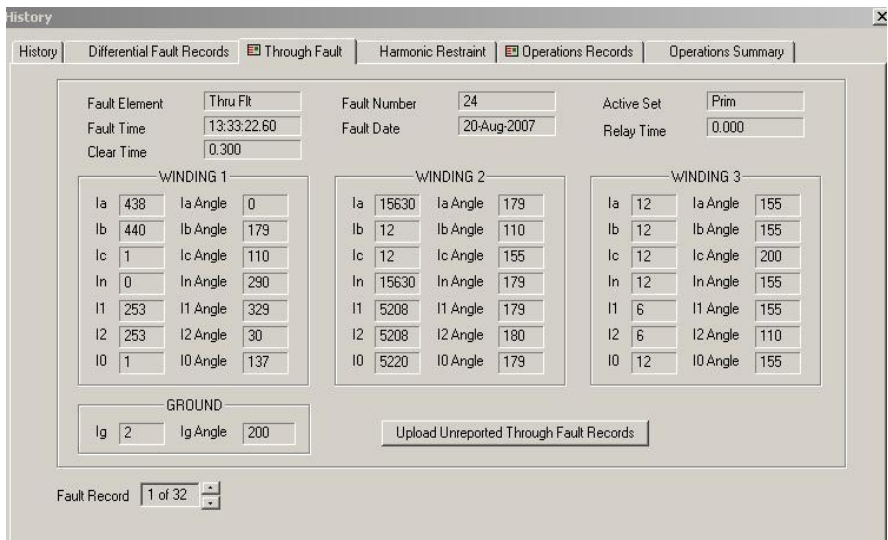


圖 24 TPU2000R Through Fault

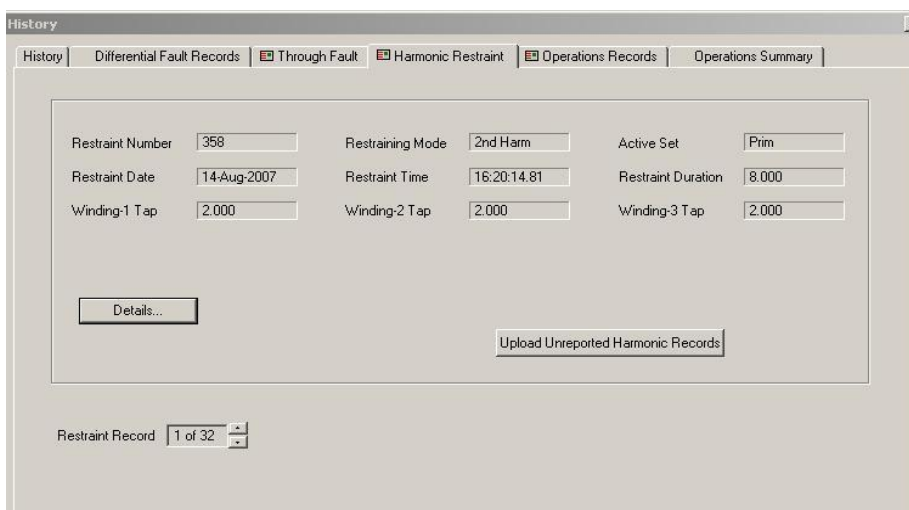


圖 25 TPU2000R Harmonic Restraint

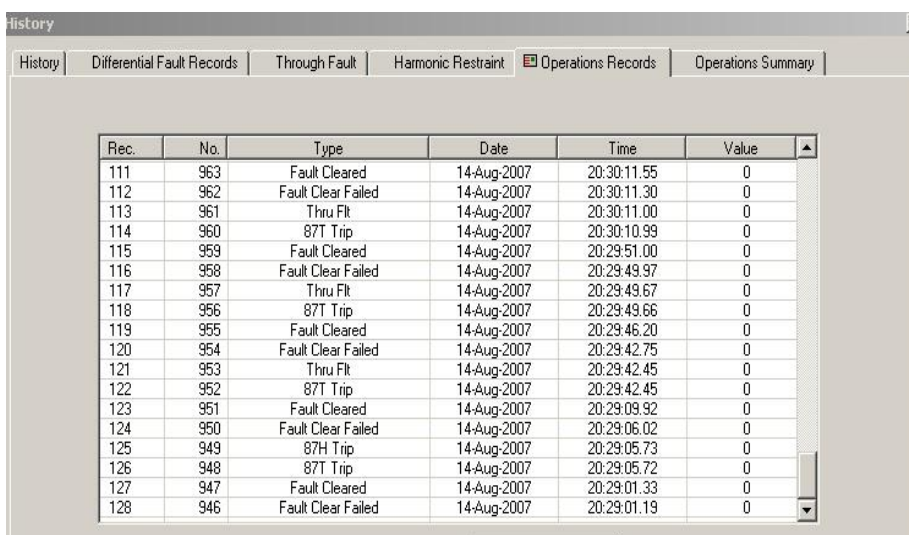


圖 26 TPU2000R Operation Record

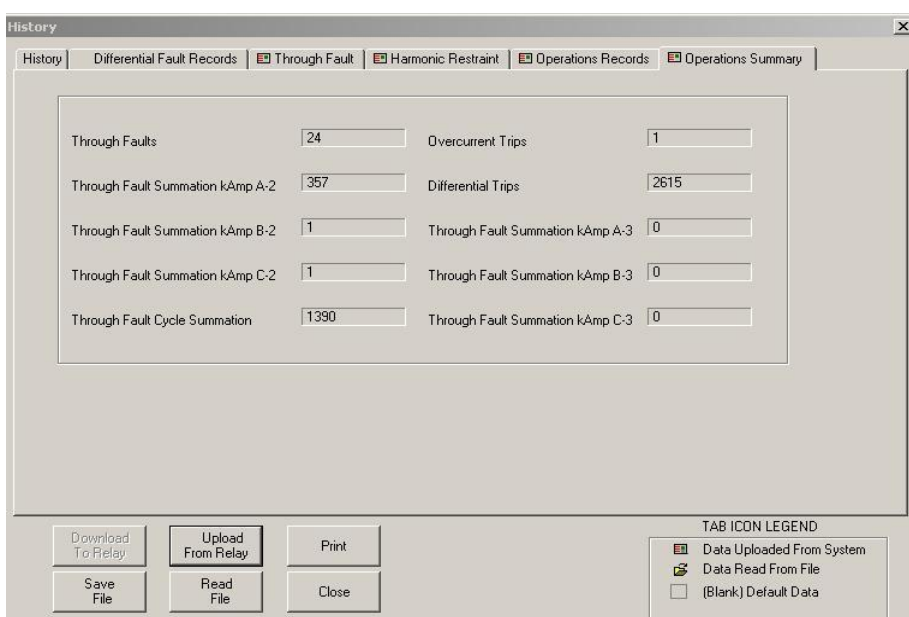


圖 27 TPU2000R Operations Summary

圖 28 計錄資料轉換成 Excel 檔

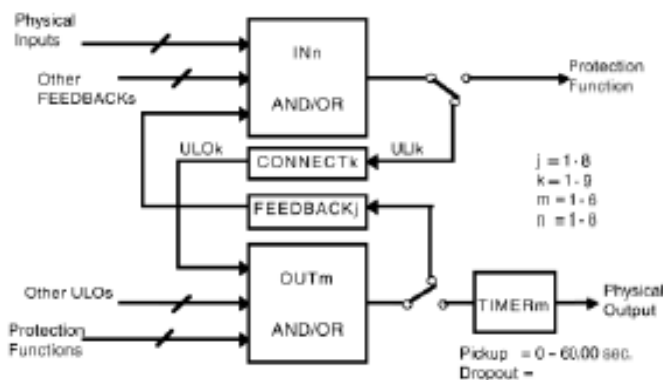
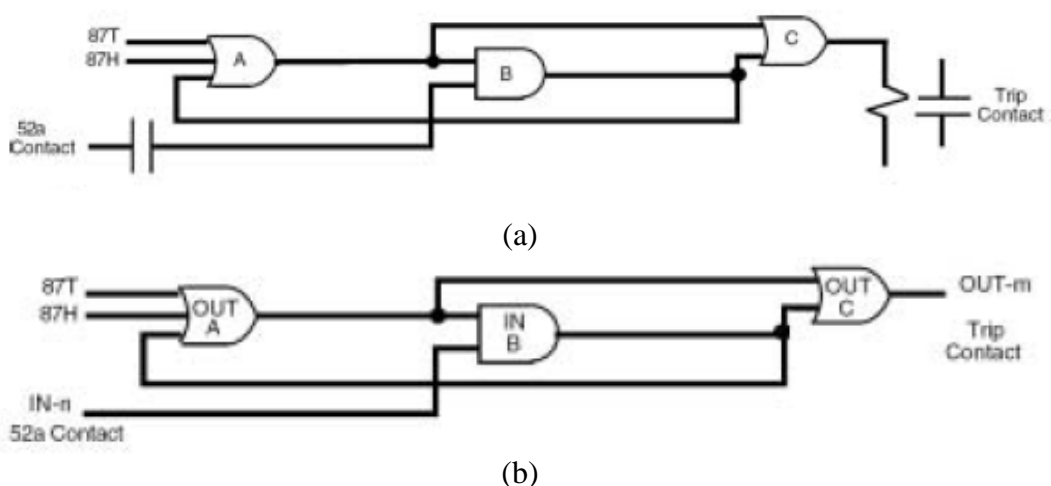
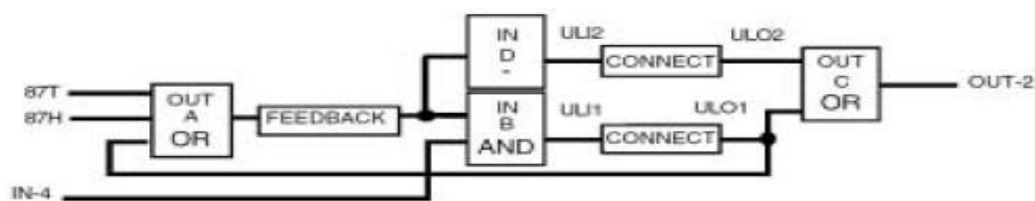
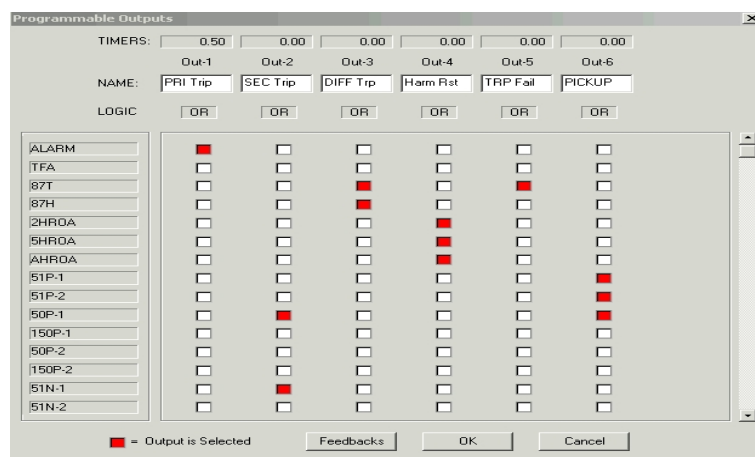


圖 27 TPU2000R 輸入輸出內部接線圖





(c)



(d)

圖 28 TPU2000R(a)AND 及 OR 輸入輸出邏輯圖
(b)、(c)輸出邏輯圖、(d)輸出接點之規劃圖

七、結論

電力系統運轉中之保護設備要有嚴密且周詳的規劃設計與監測，保護設備才能正確快速動作，系統設備才能順利運轉，TPU2000R 智慧型數位式差動保護電驛使用在大型電力變壓器保護系統中，且此型差動保護電驛運用靈活試驗簡單，可使用於兩繞組或三繞組以上之變壓器，在系統運用誤動作率低，最主要是要從驗證差動特性曲線斜率之計算與標置正確，才能確保穩定運轉供電安全。

經過單相及三相模擬試驗，將 TPU2000R 之功能逐一詳細計算驗證，對使用 TPU2000R 會更加了解其動作特性，也可以透過電驛之功能得到差動電驛動作訊息，可量測到高/低壓側之電流值、相位

角度及差流值，並且可以從資料中量測到諧波之數值及動作時間，透過事件資料可以清楚知道事故當時之電流情形，當然也可以從事件資料中量測得知繞組之各相電流值大小及角度之紀錄值，可方便供事故狀態時分析。

對於目前使用之數位式新型變壓器保護電驛而言，對於諧波抑制功能使用是不可忽視的，應有解決之計算方式與模擬方法，確保電驛動作特性正確，所以如何驗證差動電驛特性是使用數位式新型變壓器保護電驛最重要之課題，同時也攸關保護電驛是否正常動作有關，因此對變壓器保護電驛之研究重點是如何確保模擬實驗方式正確且差動特性無誤。

八、參考資料

- [1]ABB Transformer Protection Unit 2000R(TPU-2000R)說明書。
- [2]J. L. Blackburn, “Protective Relaying : Principle and Application”, 2nd edition Marcel Dekker Inc, 1998.
- [3]李宏任，「實用保護電驛」，全華科技圖書，民國八十八年五月。