

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

## 數位式保護電驛標置技術

(裝訂線)

服務機關：台灣電力公司

出國人職稱：電機工程監

姓名：吳清章

出國地區：加拿大、美國

出國日期：95年09月12日至95年09月24日

報告日期：95年11月23日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：數位式保護電驛標置技術

頁數42 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

吳清章/台灣電力公司/台中供電區營運處/電機工程監/(04)23335627 ext 388

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：95 年 09 月 12 日至 95 年 09 月 24 日

出國地區：加拿大、美國

報告日期：95 年 11 月 23 日

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、新型數位式電驛，內部參數標置設定複雜且眾多，廠牌不同參數標置設定亦異，瞭解各個廠牌保護電驛設計理念及應用原理，才能確保電驛標置設定的適當性。
- 二、電磁式變壓器保護電驛，相位移補償採用外部 CT， $\Delta$  或 Y 接線方式補償，此方法增加配線錯誤的機會；其數值補償，選用與計算值近似的電驛電流分接頭(Tap)，因為近似匹配而產生誤差；新型數位式電驛，相位移補償及數值補償，完全由軟體自動偵測、計算、執行，既正確又降低接線錯誤的機會。本報告詳細說明 GE 變壓器保護電驛(T60)，百分比差動元件(87T)標置設定計算步驟，相位移和零相序補償，數值補償等計算方法及 T60 電驛特性試驗。GE 發電機保護電驛(G60)有偵測 CT 飽和的邏輯，可以防止外部故障時，大電流流過 CT，引起 CT 飽和，產生差電流所導致的電驛誤動作。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

## 目錄

|   |    |
|---|----|
| 壹、出國原由-----                                 | 5  |
| 貳、行程說明-----                                 | 6  |
| 參、GE公司動態模擬及分析系統(RTDS)簡介-----                | 7  |
| 肆、數位式保護電驛標置技術-----                          | 8  |
| 一、變壓器數位式保護電驛(GE UR T60)-----                | 8  |
| 二、變壓器保護電驛(GE UR T60)標置<br>設定與計算-----        | 12 |
| 三、發電機數位式保護電驛<br>(GE UR G60, SEL-300G)-----  | 33 |
| 四、GE 發電機保護電驛(G60),偵測 CT<br>飽和的邏輯-----       | 36 |
| 五、發電機保護電驛(G60),電壓抑制<br>過電流(51V)標置計算與設定----- | 40 |
| 伍、心得與建議-----                                | 41 |

## 壹、 出國原由

本公司電力系統保護電驛目前正全面性汰換傳統的電磁式保護電驛為微處理機型數位式保護電驛，此新型數位式電驛，內部參數標置設定複雜且眾多，廠牌不同參數標置設定亦異，瞭解各個廠牌保護電驛設計理念及應用原理，才能確保電驛標置設定的適當性。

保護電驛標置設定是否適當，牽涉整個電力系統保護協調的好壞，方法非為唯一，如何做到最佳標置設定實屬不易。保護電驛製造廠家一般應用電力系統故障模擬及分析技術，來測試自己的電驛產品可靠度及電力系統故障原因分析。此種動態模擬及分析技術也可以應用來驗證保護電驛標置設定是否適當。

未來本公司將全面性汰換匯流排、變壓器和發電機傳統的電磁式保護電驛為微處理機型數位式保護電驛。因應將來業務需求，赴先進電驛生產廠家研習此種保護電驛設計的理念、應用原理及電驛標置設定技術，取彼之長補己之短，提升保護電驛標置技術和保護系統的可靠度，確保供電安全與系統穩定。

## 貳、 行程說明

| 起迄日期                   | 工作內容   |
|------------------------|--|
| 95/09/12               | 往程(台北→成田機場→多倫多→Markham)                      |
| 95/09/13~<br>95/09/18  | GE Multilin(Markham)公司研習數位式電驛標置技術            |
| 95/09/19               | 行程 (Markham → 多倫多 → Tampa → New Port Richey) |
| 95/09/20 ~<br>95/09/22 | SEL(New Port Richey)公司研習數位式電驛標置技術            |
| 95/09/23 ~<br>95/09/24 | 返程(New Port Richey→Tampa→成田機場→台北)            |

## 參、 GE 公司動態模擬及分析系統(RTDS)簡介

本次出國行程中，有機會參訪加拿大 GE Multilin 公司 RTDS(Real Time Digital Simulator) 動態模擬及分析系統，該套設備可以應用在保護、監視、控制與通訊設備上各種運轉狀況的模擬試驗及研究。例如：電力系統模擬及保護系統暫態測試；驗證電力系統保護方式的規劃是否適當；驗證保護電驛標置設定是否適當；系統故障波形重播放，確認保護電驛動作是否正確。

GE Multilin 公司新研發的數位式保護電驛，生產前均應用 RTDS 設備來驗證產品設計的理念、演算法及保護邏輯是否有瑕疵，並模擬各種正常與故障狀況，來測試新研發的保護電驛產品可靠度。通過所有的試驗後，才送到生產線上製造。

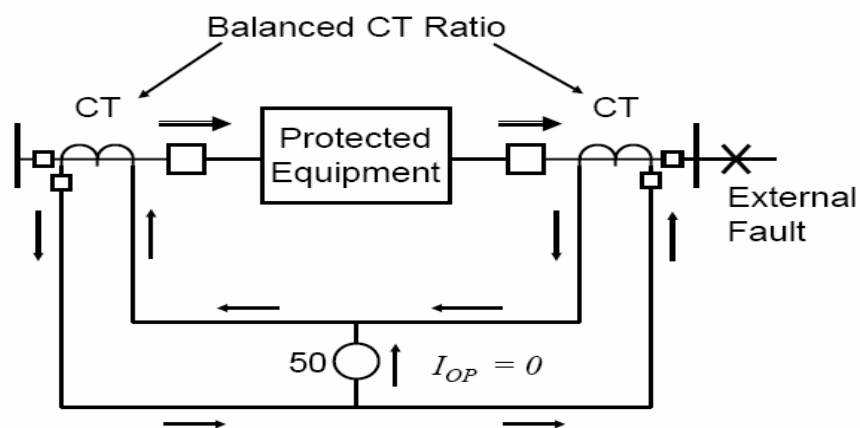
RTDS(Real Time Digital Simulator) 動態模擬及分析系統，設備昂貴，運轉維護費用也很高，並且需有專精人員負責。GE 公司有提供客戶各種諮詢服務，從經濟效益方面考量，少量或難解的問題可透過諮詢方式解決。RTDS 動態模擬及分析系統類似本公司綜合研究所的 Hyper Sim (power network simulator)。

## 肆、 數位式保護電驛標置技術

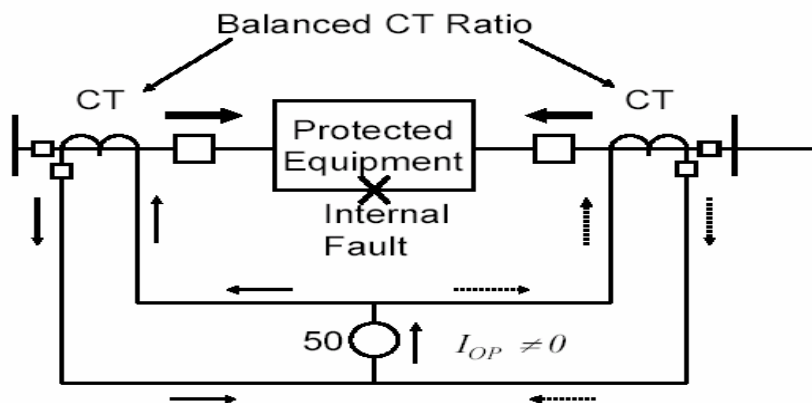
### 一、 變壓器數位式保護電驛(GE UR T60):

1. 差電流保護電驛的基本原理： 理想 CT 情況下，外部故障時，設備兩端 CT 二次側電流彼此抵消，差電流為零，電驛不動作； 內部故障時，設備兩端 CT 二次側電流，全部流過差電流動作元件，差電流不為零，電驛動作。

### Differential Protection Principle



### Differential Protection Principle





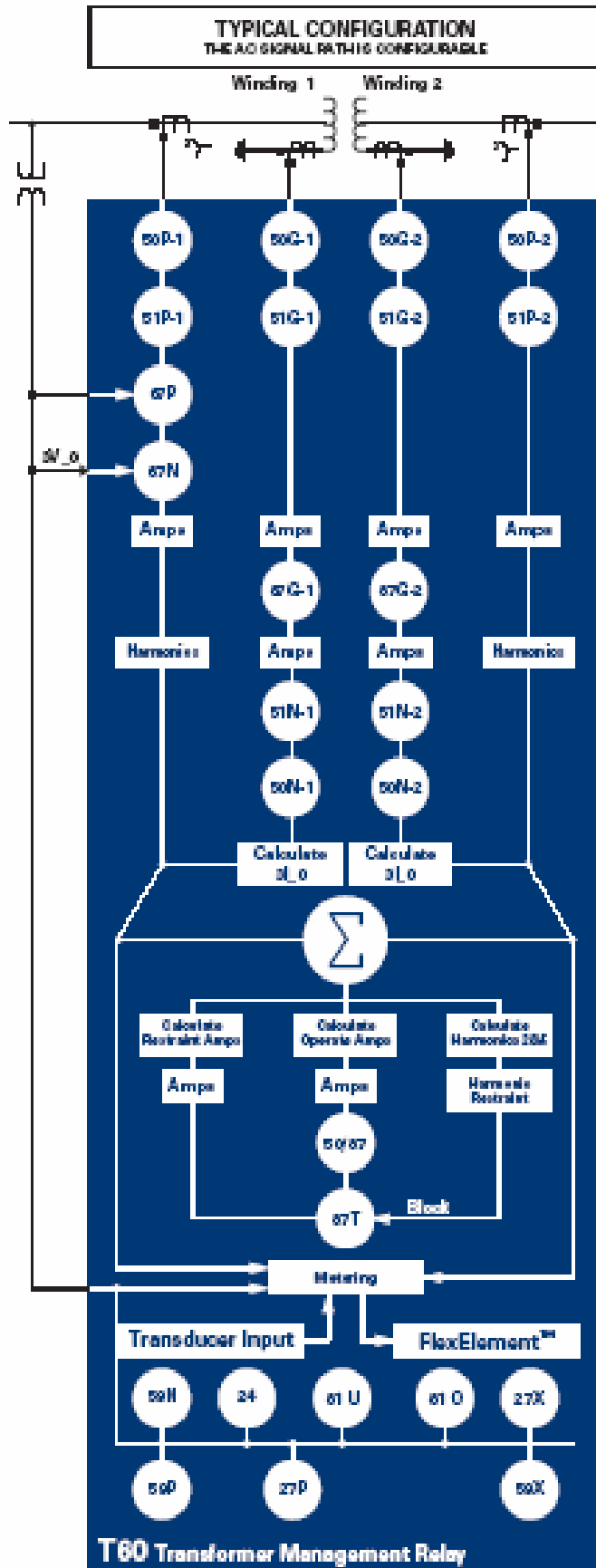
## 2. 下圖為 GE UR(Universal Relay)電驛的外貌



圖一： GE UR 電驛外貌

## 3. 圖二為 GE UR 電驛 T60 內部保護元件及其單線圖：

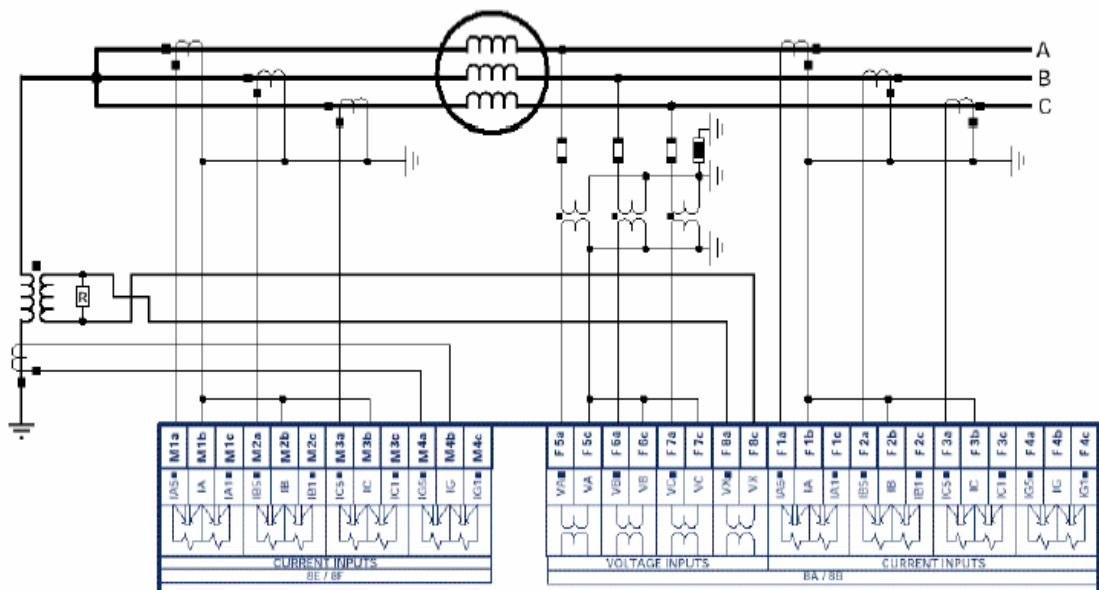
保護元件有：變壓器百分比差動元件(87T)； 瞬時差動元件(87/50)； 限制接地故障(RGF)元件(87G)； 過激磁保護元件 -Volts/Hz (24)； 相間/中性點/接地 延時過電流元件(51P,51N,51G)； 相間/中性點/接地 瞬時過電流元件(50P,50N,50G)； 相間和中性點方向性過電流元件(67P,67N)； 相過電壓和相欠電壓元件(59P,27P)； 輔助欠電壓和過電壓元件(27X,59X)； 中性點過電壓元件(59N)； FlexElement 元件(通用比較器)。

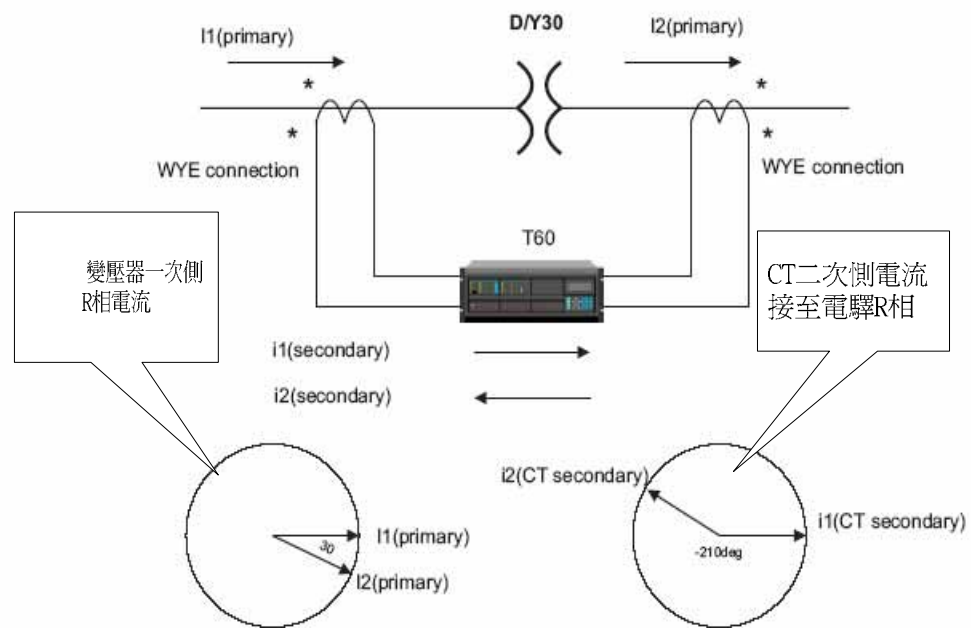


圖二：GE UR 電驛 T60 保護元件及其單線圖

4. T60 電驛允許有六組不同電驛標置設定，供不同運轉情況使用；亦有過頻率和低頻率(810,81U)控制。T60 電驛之儀表量測和監視功能有：各相、中性點、接地及各對稱分量之電流值(相量值和有效值)；電流需量(Demand)；各相、中性點、接地及各對稱分量之電壓值(相量值和有效值)；有效功率、無效功率、視在功率和功率因數；能量及能量需量(Energy Demand)；每一相的差電流和抑制電流；接地的差電流和抑制電流；每一相差電流的二次和五次諧波；二次到二十五次電流諧波及總諧波失真率(THD)；事故波形記錄器(Oscillography)；事件記錄器(Event Recorder)；數據記錄器(Data Logger)。

5. GE UR 電驛(T60)，最多可接四組輸入電源(CT and/or VT)，下圖為比流器和比壓器及其極性的接線例子和示意圖。





圖三：GE UR 電驛 T60 之 VT,CT,及其極性接線例子和示意圖

## 二、變壓器保護電驛(GE UR T60)標置設定與計算

### 1. 變壓器繞組和比流器的標置設定

步驟一：輸入變壓器高壓側，低壓側與接地側的比流器匝比

| PARAMETER           | CT F1 | CT F5  | CT M1  |
|---------------------|-------|--------|--------|
| Phase CT Primary    | 500 A | 2000 A | 2000 A |
| Phase CT Secondary  | 5 A   | 5 A    | 5 A    |
| Ground CT Primary   | 1 A   | 1 A    | 1 A    |
| Ground CT Secondary | 1 A   | 1 A    | 1 A    |

步驟二：輸入電源(CT and/or VT)配置(configuration)

| PARAMETER     | SOURCE 1 | SOURCE 2 | SOURCE 3 |
|---------------|----------|----------|----------|
| Source 1 Name | SRC 1    | SRC 2    | SRC 3    |
| Phase CT      | F1       | F5       | M1       |
| Ground CT     | None     | None     | None     |
| Phase VT      | None     | None     | None     |
| Aux VT        | None     | None     | None     |

步驟三：輸入變壓器繞組數目，選定參考繞組及相位移使用外部 CT 接線方式補償或電驛內部(軟體)補償

| SETTING                        | PARAMETER               |
|--------------------------------|-------------------------|
| Number Of Windings             | 3                       |
| Reference Winding Selection    | Winding 1               |
| Phase Compensation             | Internal (software)     |
| Load Loss At Rated Load        | 100 kW                  |
| Rated Winding Temperature Rise | 65 $^{\circ}$ C (oil)   |
| No Load Loss                   | 10 kW                   |
| Type Of Cooling                | OA                      |
| Top-oil Rise Over Ambient      | 35 $^{\circ}$ C         |
| Thermal Capacity               | 100.00 kW/ $^{\circ}$ C |
| Winding Thermal Time Constant  | 2.00 min                |

步驟四：輸入變壓器之高、低壓側繞組額定容量及額定電壓，繞組為 $\Delta$ 或Y接線，各繞組在保護區間內是否有接地及各繞組相對於參考繞組落後的相位移 (Phase Shift) 角度

| PARAMETER               | WINDING 1       | WINDING 2     | WINDING 3     |
|-------------------------|-----------------|---------------|---------------|
| Source                  | SRC 1 (SRC 1)   | SRC 2 (SRC 2) | SRC 3 (SRC 3) |
| Rated MVA               | 60.000 MVA      | 60.000 MVA    | 60.000 MVA    |
| Nominal Phs-phs Voltage | 161.000 kV      | 22.000 kV     | 22.000 kV     |
| Connection              | Delta           | Wye           | Wye           |
| Grounding               | Not within zone | Within zone   | Within zone   |
| Angle Wrt Winding 1     | 0.0             | -30.0         | -30.0         |
| Resistance              | 10.0000 ohms    | 10.0000 ohms  | 10.0000 ohms  |

## 2. 電磁式電驛與數位式電驛，相位移補償方法比較

◆電磁式電驛相位移補償方式：變壓器繞組若為Y接線則該繞組之外部 CT 採用 $\Delta$ 接線；變壓器繞組若為 $\Delta$ 接線則該繞組之外部 CT 採用Y接線。此方式可能會增加接線錯誤的機會。

◆**數位式電驛相位移補償方式**：採用軟體自動偵測變壓器繞組標置設定(第二.1節)之相位移角度，並且與實際流入電驛的電流相位移角度比較，然後自行做相位移角度補償修正。

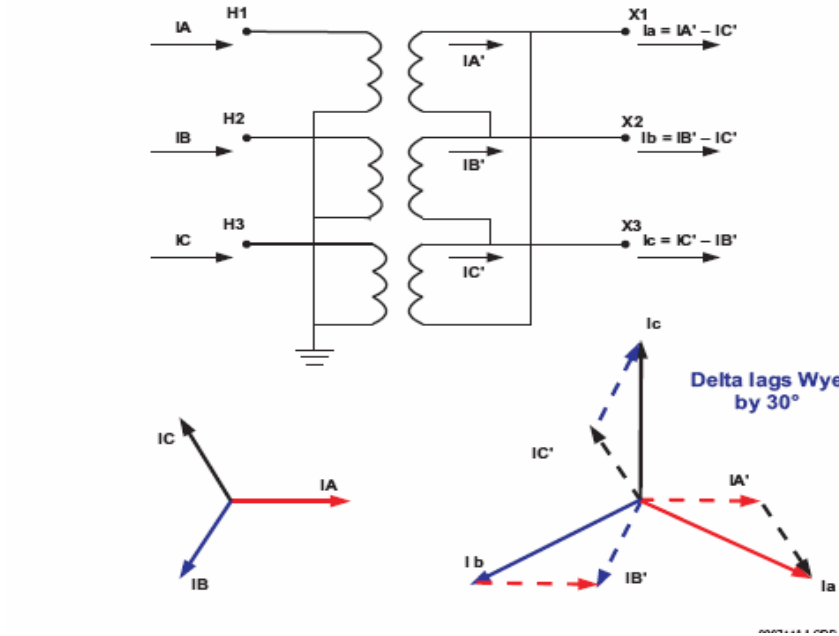
### 3. 電磁式電驛與數位式電驛，數值大小補償方法比較

◆**電磁式電驛數值大小(Magnitude)補償方法**：經過計算後再選各 CT 比值及近似的電驛電流分接頭(Tap)。因為現場 CT 比值與電驛的電流分接頭係做近似匹配而將產生誤差。

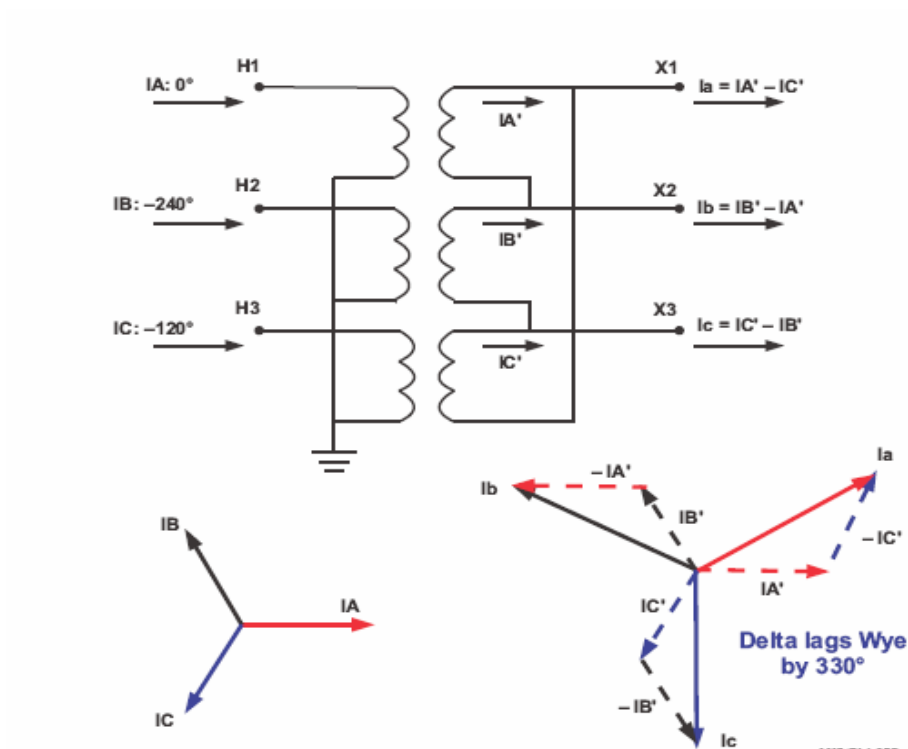
◆**數位式電驛數值大小(Magnitude)補償方法**，採用程式軟體計算各繞組電流之數值大小補償因子(factor)，然後自動內部做正確的數值大小補償修正。

### 4. 變壓器 30° 相位移

變壓器高壓側(一次側)與低壓側(二次側)繞組接線方式不同，會造成高、低壓側有相位移，如圖四與圖五所示。



圖四:正相序系統時，Yd1 變壓器(高壓側繞組Y接線領先低壓側繞組  $\Delta_{ac}$  接線  $30^\circ$  )



圖五:負相序系統時，高壓側Y接線繞組落後低壓側  $\Delta_{ac}$  接線繞組  $30^\circ$

## 5. T60 電驛相位移與零相序補償計算：

步驟一：依下列規則選參考繞組(規則 1 失敗時使用規則 2)

規則 1.：變壓器第一個  $\Delta$  或 Zig-Zag 繞組為參考繞組。

規則 2.：變壓器第一個 Y 繞組為參考繞組。

步驟二：計算各繞組相位移補償角度( $\Phi_{\text{comp}}[W]$ )

◆正相序系統： $\Phi_{\text{comp}}[W] = \Phi[W_{\text{ref}}] - \Phi[W]$

例子：Dy1(或DABY)變壓器(高壓側繞組  $\Delta_{ab}$  接線，領先低壓側繞組 Y 接線  $30^\circ$ )，一次側  $\Delta$  繞組為參考繞組( $W_{\text{ref}} = W1$ )，其相位移補償角度  $\Phi_{\text{comp}}[W_{\text{ref}}] = 0^\circ$ ；二次側 Y 繞組相位移補償角度為  $330^\circ$  落後。

$$\Phi_{\text{comp}}[W2] = 0^\circ - (-30^\circ) = 30^\circ = 330 \text{ lag}$$

◆負相序系統： $\Phi_{\text{comp}}[W] = \Phi[W] - \Phi[W_{\text{ref}}]$

例子：同上例子之變壓器，在負相序系統，一次側  $\Delta$  繞組為參考繞組( $W_{\text{ref}} = W1$ )，其相位移補償角度

$$\Phi_{\text{comp}}[W_{\text{ref}}] = 0^\circ$$

；二次側 Y 繞組相位移補償角度

$$\text{為 } \Phi_{\text{comp}}[W2] = -30^\circ - 0^\circ = -30^\circ = 30 \text{ lag}$$

步驟三：依各繞組的相位移補償角度( $\Phi_{\text{comp}}[W]$ )和下表公式，

計算經過相位移與零相序補償後，各繞組每相的電流值

註： $I_x[W]$  為未補償前該繞組的各相電流； $I_x^p[W]$  為相位移和



零相序補償後，該繞組的各相電流；此處x = A, B, C 相

| $\Phi_{comp}[w]$ | Grounding[w] = "Not within zone"  | Grounding[w] = "Within zone"  |
|------------------|---|---|
| 0°               | $I_A^p[w] = I_A[w]$ $I_B^p[w] = I_B[w]$ $I_C^p[w] = I_C[w]$   | $I_A^p[w] = \frac{2}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_B[w] - \frac{1}{3}I_C[w]$ $I_B^p[w] = \frac{2}{3}I_B[w] - \frac{1}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_C[w]$ $I_C^p[w] = \frac{2}{3}I_C[w] - \frac{1}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_B[w]$    |
| 30° lag          | $I_A^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$ $I_B^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$ $I_C^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$    | $I_A^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$ $I_B^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$ $I_C^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$                      |
| 60° lag          | $I_A^p[w] = -I_C[w]$ $I_B^p[w] = -I_A[w]$ $I_C^p[w] = -I_B[w]$  | $I_A^p[w] = -\frac{2}{3}I_C[w] + \frac{1}{3}I_A[w] + \frac{1}{3}I_B[w]$ $I_B^p[w] = -\frac{2}{3}I_A[w] + \frac{1}{3}I_B[w] + \frac{1}{3}I_C[w]$ $I_C^p[w] = -\frac{2}{3}I_B[w] + \frac{1}{3}I_A[w] + \frac{1}{3}I_C[w]$ |
| 90° lag          | $I_A^p[w] = -\frac{2}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$ $I_B^p[w] = -\frac{2}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$ $I_C^p[w] = -\frac{2}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$ | $I_A^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$ $I_B^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$ $I_C^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$                      |
| 120° lag         | $I_A^p[w] = I_B[w]$ $I_B^p[w] = I_C[w]$ $I_C^p[w] = I_A[w]$   | $I_A^p[w] = \frac{2}{3}I_B[w] - \frac{1}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_C[w]$ $I_B^p[w] = \frac{2}{3}I_C[w] - \frac{1}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_B[w]$ $I_C^p[w] = \frac{2}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_B[w] - \frac{1}{3}I_C[w]$    |
| 150° lag         | $I_A^p[w] = -\frac{2}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$ $I_B^p[w] = -\frac{2}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$ $I_C^p[w] = -\frac{2}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$ | $I_A^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$ $I_B^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$ $I_C^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$                      |
| 180° lag         | $I_A^p[w] = -I_A[w]$ $I_B^p[w] = -I_B[w]$ $I_C^p[w] = -I_C[w]$  | $I_A^p[w] = -\frac{2}{3}I_A[w] + \frac{1}{3}I_B[w] + \frac{1}{3}I_C[w]$ $I_B^p[w] = -\frac{2}{3}I_B[w] + \frac{1}{3}I_A[w] + \frac{1}{3}I_C[w]$ $I_C^p[w] = -\frac{2}{3}I_C[w] + \frac{1}{3}I_A[w] + \frac{1}{3}I_B[w]$ |
| 210° lag         | $I_A^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$ $I_B^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$ $I_C^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$    | $I_A^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$ $I_B^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$ $I_C^p[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$                      |

| $\phi_{\text{comp}}[W]$ | Grounding[W] = "Not within zone"   | Grounding[W] = "Within zone"  |
|-------------------------|--|---|
| 240° lag                | $I_A^P[W] = I_C[W]$ $I_B^P[W] = I_A[W]$ $I_C^P[W] = I_B[W]$  | $I_A^P[W] = \frac{2}{3}I_C[W] - \frac{1}{3}I_A[W] - \frac{1}{3}I_B[W]$ $I_B^P[W] = \frac{2}{3}I_A[W] - \frac{1}{3}I_B[W] - \frac{1}{3}I_C[W]$ $I_C^P[W] = \frac{2}{3}I_B[W] - \frac{1}{3}I_A[W] - \frac{1}{3}I_C[W]$    |
| 270° lag                | $I_A^P[W] = \frac{2}{\sqrt{3}}I_C[W] + \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[W]$ $I_B^P[W] = \frac{2}{\sqrt{3}}I_A[W] + \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[W]$ $I_C^P[W] = \frac{2}{\sqrt{3}}I_B[W] + \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[W]$ | $I_A^P[W] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[W] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[W]$ $I_B^P[W] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[W] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[W]$ $I_C^P[W] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[W] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[W]$                      |
| 300° lag                | $I_A^P[W] = -I_B[W]$ $I_B^P[W] = -I_C[W]$ $I_C^P[W] = -I_A[W]$   | $I_A^P[W] = -\frac{2}{3}I_B[W] + \frac{1}{3}I_A[W] + \frac{1}{3}I_C[W]$ $I_B^P[W] = -\frac{2}{3}I_C[W] + \frac{1}{3}I_A[W] + \frac{1}{3}I_B[W]$ $I_C^P[W] = -\frac{2}{3}I_A[W] + \frac{1}{3}I_B[W] + \frac{1}{3}I_C[W]$ |
| 330° lag                | $I_A^P[W] = \frac{2}{\sqrt{3}}I_A[W] + \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[W]$ $I_B^P[W] = \frac{2}{\sqrt{3}}I_B[W] + \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[W]$ $I_C^P[W] = \frac{2}{\sqrt{3}}I_C[W] + \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[W]$ | $I_A^P[W] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[W] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[W]$ $I_B^P[W] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[W] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[W]$ $I_C^P[W] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[W] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[W]$                      |

## 6. T60 電驛數值大小(Magnitude)補償計算:

◆Firmware 版次 3.40 以上，參考繞組標置設定具有

“Automatic Selection” 選項。若選此項時，電驛內部程式先計算變壓器各繞組 CT 飽和的安全餘量(Margin)，然後選定安全餘量最小的繞組為參考繞組。

| SETTING                        | PARAMETER           |
|--------------------------------|---------------------|
| Number Of Windings             | 3                   |
| Reference Winding Selection    | Automatic Selection |
| Phase Compensation             | Automatic Selection |
| Load Loss At Rated Load        | Winding 1           |
| Rated Winding Temperature Rise | Winding 2           |
| No Load Loss                   | Winding 3           |
| Type Of Cooling                | Winding 4           |
| Top-oil Rise Over Ambient      | Winding 5           |
| Thermal Capacity               | Winding 6           |
| Thermal Capacity               | 100.00 kWh/°C       |
| Winding Thermal Time Constant  | 2.00 min            |

◆參考繞組標置設定，選“Automatic Selection”時之數值

大小補償計算：

步驟一：計算變壓器各繞組之額定電流

$$I_{\text{rated}}(W1) = \frac{MVA}{KV(W1) * \sqrt{3}}$$

$$I_{\text{rated}}(W2) = \frac{MVA}{KV(W2) * \sqrt{3}}$$

步驟二：計算變壓器各繞組 CT 飽和之安全餘量

$$L_{\text{margin}}(W1) = CT_{\text{primary}}(W1) / I_{\text{rated}}(W1)$$

$$L_{\text{margin}}(W2) = CT_{\text{primary}}(W2) / I_{\text{rated}}(W2)$$

步驟三：CT 飽和安全餘量最小的變壓器繞組為參考繞組

$$\text{參考繞組 } W_{\text{ref}} := \text{Min} [L_{\text{margin}}(W1), L_{\text{margin}}(W2)]$$

步驟四：計算變壓器各繞組之數值大小補償係數

$$M(W) = [CT_{\text{primary}}(W) * V_{\text{nominal}}(W)] / [CT_{\text{primary}}(W_{\text{ref}}) * V_{\text{nominal}}(W_{\text{ref}})]$$

◆參考繞組標置設定，選“Winding x”之數值大小補償計算

步驟一：參考繞組  $W_{\text{ref}} := W_x$

步驟二:計算變壓器各繞組之數值大小補償係數

$$M(W)=[CT_{\text{primary}}(W)*V_{\text{nominal}}(W)]/[CT_{\text{primary}}(W_{\text{ref}})*V_{\text{nominal}}(W_{\text{ref}})]$$

## 7. 百分比差動元件(87T)之差電流及抑制電流計算公式

◆計算數值大小、相位移與零相序補償後，各繞組每相電流

$$I_A^C[W]=M(W) * I_A^P[W], \text{ Where } W = 1, 2, \dots, W_{\text{total}} \text{ (各繞組, A相)}$$

$$I_B^C[W]=M(W) * I_B^P[W], \text{ Where } W = 1, 2, \dots, W_{\text{total}} \text{ (各繞組, B相)}$$

$$I_C^C[W]=M(W) * I_C^P[W], \text{ Where } W = 1, 2, \dots, W_{\text{total}} \text{ (各繞組, C相)}$$

◆計算差動元件(87T) 每一相之差電流

$$I_{dA}=I_A^C[1]+ I_A^C[2]+\dots+ I_A^C[W_{\text{total}}]$$

$$I_{dB}=I_B^C[1]+ I_B^C[2]+\dots+ I_B^C[W_{\text{total}}]$$

$$I_{dC}=I_C^C[1]+ I_C^C[2]+\dots+ I_C^C[W_{\text{total}}]$$

◆計算差動元件(87T) 每一相之抑制電流

$$I_{rA}=\max\{ | I_A^C[1] | , | I_A^C[2] | , \dots , | I_A^C[W_{\text{total}}] | \}$$

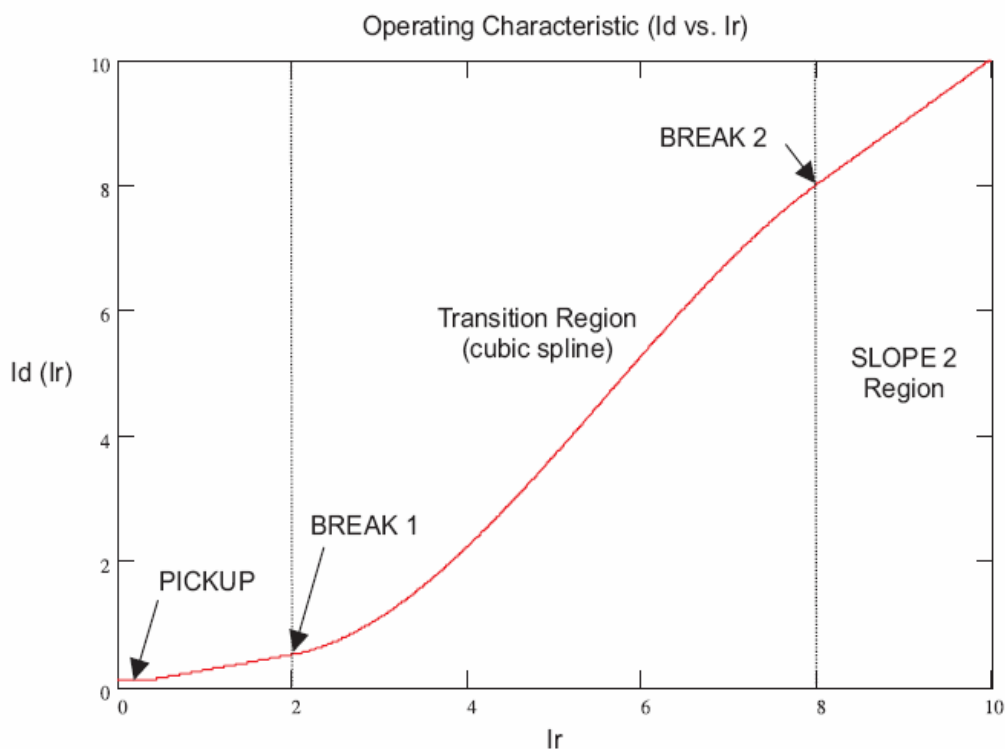
$$I_{rB}=\max\{ | I_B^C[1] | , | I_B^C[2] | , \dots , | I_B^C[W_{\text{total}}] | \}$$

$$I_{rC}=\max\{ | I_C^C[1] | , | I_C^C[2] | , \dots , | I_C^C[W_{\text{total}}] | \}$$

註:  $| I_A^C[1] |$  表示 $I_A^C[1]$ 取絕對值，其餘相同。經數值大小、相位移與零相序補償後，各繞組電流取絕對值，最大者被選為該相差動元件(87T)之抑制電流。

## 8. 百分比差動元件(87T)之動作特性曲線

◆圖六為百分比差動元件(87T)之動作特性曲線圖，特性曲線有兩組斜率(SLOPE 1& 2，單位為%)，兩個轉折點(BREAK 1 & 2，單位為 pu)，及最小始動值(Minimum Pickup，單位為 pu)。



圖六：百分比差動元件(87T)之動作特性曲線圖

◆變壓器高壓側與低壓側比流器匝比不同，正常情況時，運轉在比流器線性區，產生的誤差很小；考量外部故障時，大的電流流過比流器，可能造成 CT 飽和(產生大誤差)而誤動作，因此特性曲線需要兩組斜率和兩個轉折點來組合 (BREAK 1 為 CT 線性區的最高點，在低斜率區；BREAK 2

為可能造成 CT 飽和，產生大誤差而誤動作的電流最低點，  
在高斜率區)。

### 9. GE UR T60 電驛百分比差動元件(87T)標置計算例子：

變壓器： $\Delta / Y30$ ，100MVA，230/69KV

230KV 側：CT1(500:5)， $I_{rated}(230KV)=251$  Amps

69KV 側：CT2(1000:5)， $I_{rated}(69KV)=836.7$  Amps

CT 飽和安全餘量：Margin(230KV)= $500/251=1.992$

Margin(69KV)= $1000/836.7=1.1952$ (CT2 較

可能先飽和，故繞組 2(W2)，為參考繞組

計算各繞組數值大小補償系數，M(W)：

$$M(W1)=\frac{230k \times 500}{69k \times 1000}=1.667$$

M(W2)=1 (因為繞組 2 為參考繞組)

Minimum Pickup 標置設定計算：

繞組 CT 所產生的誤差：

最壞情況：繞組 1 之 CT1 產生+10%誤差，繞組 2 之

CT2 產生-10%誤差

繞組 1 電流  $I_n(W1)=(1+10%)*251=276.1$  Amps

繞組 2 電流  $I_n(W2)=(1-10%)*836.7=753$  Amps

CT2(1000:5)為參考繞組， $753/1000=0.75$  pu

CT1(500:5)計算得  $(276.1*1.667)/500=0.92$  pu

差電流=0.92-0.75=0.17 pu (Minimum Pickup 標置)

註:Tap changer 增加另外 10%誤差; Minimum Pickup 標置  
設定應高於變壓器的磁化電流。

Slope 1 標置設定計算:

差電流  $I_d = 0.17$  pu

抑制電流  $I_r = 0.92$  pu

Slope 1 標置:  $(I_d/I_r)*100 = 18.47\% + 5\%$ (安全餘量) = 23%

轉折點(Breakpoint )標置設定計算:

CT1(500:5), 若為 C400:  $V_{sat}=125V, Z_b=5\Omega$  - total burden

CT2(1000:5), 若為 C400:  $V_{sat}=240V, Z_b=4\Omega$  - 標準 burden

$I_{max}(CT1) = V_{sat}/Z_b = 25$  Amps Secondary current

$I_{max}(CT2) = 240/4 = 60$  Amps Secondary current

$I_{max,pu}(CT1) = [I_{max}(CT1)*M(W1)]/(CT\ tap)$   
 $= (25*1.667)/5 = 8.335$  pu

$I_{max,pu}(CT2) = 60/5 = 12$  pu

第 2 轉折點標置設定於可能引起 CT 飽和的最小電流值。

因為  $I_{max,pu}(CT1) < I_{max,pu}(CT2)$ ; 第 2 轉折點(Break  
point 2)標置設定為 8.335 pu

第 1 轉折點標置設定於 CT1 線性區的最高點。

Slope 2 標置設定:

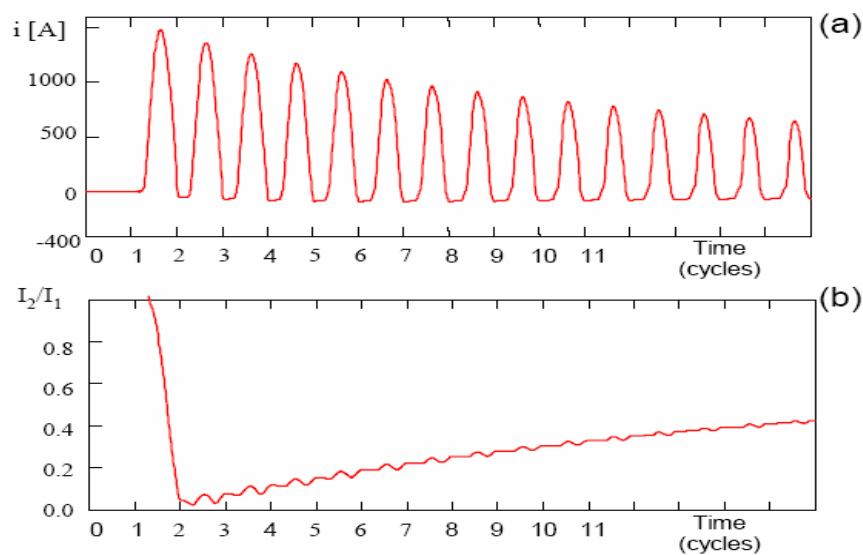
Slope 2 標置設定，必須超過外部故障時，大電流可能引起 CT 飽和所產生的差電流動作值，通常標置設定為 95% ~98%

#### 10. GE UR T60 電驛，百分比差動元件(87T)二次諧波抑制:

◆變壓器磁化湧入電流(Inrush Current)，係由於磁化電壓的瞬間變化所產生，通常為變壓器初始加壓的結果；磁化湧入電流也可能由於外部故障的發生、外部故障清除後系統電壓恢復、外部故障的特性改變、或鄰近發電機失同步而產生。

◆由於磁化分枝(Branch)代表鐵心，被視為在變壓器等效電路上的並聯元件，磁化電流被差動電驛視為差電流。

◆下圖(a)為湧入電流波形；(b)為 2nd 諧波對基本波的比值



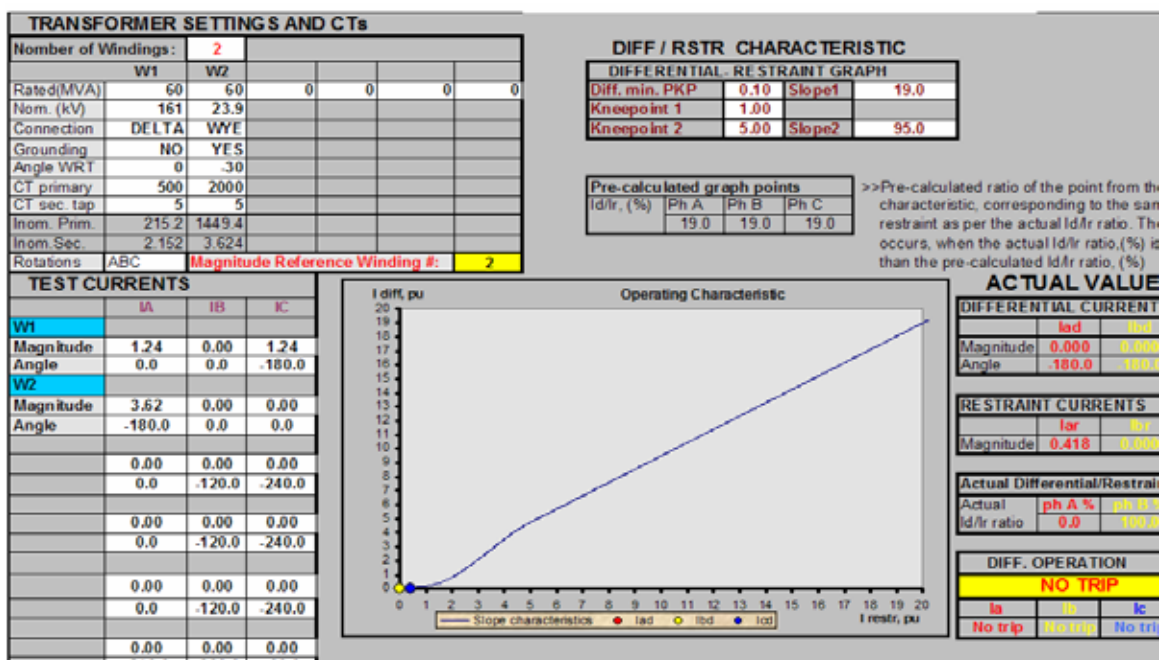


◆磁化湧入電流含有大量高諧波成份，差動電驛辨識磁化湧入電流防止誤動作，方法有直接波形分析和間接諧波分析。

◆傳統的二次諧波抑制，僅使用二次諧波的數值大小 (Magnitude) 做控制；T60 電驛採用自適應的二次諧波 (Adaptive 2nd Harmonic) 抑制控制，即使用二次諧波與基本波的數值大小 (Magnitude) 和角度關係做控制。

### 11. GE UR T60 電驛特性試驗：

◆GE Multilin 網站上，有一工具軟體，使用者輸入百分比差動元件(87T)的特性曲線參數，變壓器與 CT 的標置設定和欲加的各繞組 CT 二次側電流值，工具軟體會自動計算差電流與抑制電流的 pu 值



◆變壓器標置：60MVA，161KV/23.9KV，CT1= 500/5,CT2= 2000/5，參考繞組：W2，Min PKP=0.1pu，Slope 1=19%， Slope 2= 95%，BKP1=1 pu，BKP2=5 pu，IIT=7 pu， Harmonic = 20%


T60 電驛特性試驗接線請參考 Instruction Manual 第八章

| 平衡時 | 灌入電驛的電流     |              | 電驛顯示的電流 |              | 電驛動作 |
|-----|-------------|--------------|---------|--------------|------|
|     | W1          | W2           | Id      | I r          |      |
| A 相 | 1.24 ∠ 0    | 3.624 ∠ -180 | 0       | 0.418 ∠ -180 | No   |
| B 相 | 0           | 0            | 0       | 0            | No   |
| C 相 | 1.24 ∠ -180 | 0            | 0       | 0.418 ∠ 0    | No   |

| PARAMETER       | SOURCE 1             | SOURCE 2             | SOURCE 3        |
|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| Source 1 Name   | SRC 1                | SRC 2                | SRC 3           |
| PHASORS         | View                 | View                 | View            |
| RMS Ia          | 123.493 A            | 1.444 kA             | 0.000 A         |
| RMS Ib          | 0.000 A              | 0.000 A              | 0.000 A         |
| RMS Ic          | 123.590 A            | 0.000 A              | 0.000 A         |
| RMS In          | 0.000 A              | 1.445 kA             | 0.000 A         |
| Phasor Ia       | 123.487 A 0.0 deg    | 1.444 kA -180.8 deg  | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor Ib       | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor Ic       | 123.589 A -180.2 deg | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor In       | 0.000 A 0.0 deg      | 1.445 kA -180.8 deg  | 0.000 A 0.0 deg |
| Zero Seq Id     | 0.000 A 0.0 deg      | 481.689 A -180.8 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Positive Seq I1 | 71.396 A -330.1 deg  | 481.117 A -180.8 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Negative Seq I2 | 71.263 A -30.1 deg   | 481.033 A -180.7 deg | 0.000 A 0.0 deg |

| 3號電驛 T60 Actual Values: Metering: Source |                     |
|--|---------------------|
| Phasor Id                                | 0.000 pu 0.0 deg    |
| Phasor Ix                                | 0.417 pu -180.8 deg |
| 2nd Harm Id                              | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| 5th Harm Id                              | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| Phasor Id                                | 0.000 pu 0.0 deg    |
| Phasor Ix                                | 0.000 pu 0.0 deg    |
| 2nd Harm Id                              | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| 5th Harm Id                              | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| Phasor Id                                | 0.000 pu 0.0 deg    |
| Phasor Ix                                | 0.417 pu -0.7 deg   |
| 2nd Harm Id                              | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| 5th Harm Id                              | 0.0 % fo 0.0 deg    |



| 最小始動植           | 灌入電驛的電流      |              | 電驛顯示的電流    |              | 電驛動作 |
|-----------------|--------------|--------------|------------|--------------|------|
|                 | W1           | W2           | Id         | I r          |      |
| A 相             | 1.264 ∠ 0    | 4.547 ∠ -180 | 0.1 ∠ -180 | 0.524 ∠ -180 | Yes  |
| B 相             | 0            | 0            | 0          | 0            | No   |
| C 相             | 1.264 ∠ -180 | 0            | 0.098 ∠ 0  | 0.523 ∠ 0    | NO   |
| Slope = 19.08 % |              |              |            |              |      |

| PARAMETER       | SOURCE 1             | SOURCE 2             | SOURCE 3        |
|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| Source 1 Name   | SRC 1                | SRC 2                | SRC 3           |
| PHASORS         | View                 | View                 | View            |
| RMS Ia          | 125.851 A            | 1.814 kA             | 0.000 A         |
| RMS Ib          | 0.000 A              | 0.000 A              | 0.000 A         |
| RMS Ic          | 126.120 A            | 0.000 A              | 0.000 A         |
| RMS In          | 0.000 A              | 1.815 kA             | 0.000 A         |
| Phasor Ia       | 125.818 A 0.0 deg    | 1.814 kA -180.9 deg  | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor Ib       | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor Ic       | 126.173 A -180.3 deg | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor In       | 0.000 A 0.0 deg      | 1.815 kA -180.9 deg  | 0.000 A 0.0 deg |
| Zero Seq I0     | 0.000 A 0.0 deg      | 605.156 A -180.9 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Positive Seq I1 | 72.771 A -330.1 deg  | 604.172 A -180.9 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Negative Seq I2 | 72.716 A -30.1 deg   | 604.790 A -180.8 deg | 0.000 A 0.0 deg |

Differential And Restraint // 中西DS: 3號配變...

Save Restore Default Reset VIEW

|                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| Reference Winding | 2                   |
| Phasor Iad        | 0.100 pu 0.0 deg    |
| Phasor Iar        | 0.524 pu -180.9 deg |
| 2nd Harm Iad      | 0.1 % fo -200.8 deg |
| 5th Harm Iad      | 0.5 % fo -291.9 deg |
| Phasor Ibd        | 0.000 pu 0.0 deg    |
| Phasor Ibr        | 0.000 pu 0.0 deg    |
| 2nd Harm Ibd      | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| 5th Harm Ibd      | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| Phasor Icd        | 0.098 pu 0.0 deg    |
| Phasor Icr        | 0.523 pu -0.7 deg   |
| 2nd Harm Icd      | 0.4 % fo -296.8 deg |
| 5th Harm Icd      | 0.3 % fo -348.6 deg |



| 低斜率區<br>Slope 1 | 灌入電驛的電流     |              | 電驛顯示的電流    |              | 電驛<br>動作 |
|-----------------|-------------|--------------|------------|--------------|----------|
|                 | W1          | W2           | Id         | Ir           |          |
| A 相             | 1.27 ∠ 0    | 4.575 ∠ -180 | 0.1 ∠ -180 | 0.527 ∠ -180 | Yes      |
| B 相             | 0           | 0            | 0          | 0            | No       |
| C 相             | 1.27 ∠ -180 | 0            | 0.098 ∠ 0  | 0.527 ∠ 0    | Yes      |
| Slope = 19 %    |             |              |            |              |          |


| PARAMETER       | SOURCE 1             | SOURCE 2             | SOURCE 3        |
|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| Source 1 Name   | SRC 1                | SRC 2                | SRC 3           |
| PHASORS         | View                 | View                 | View            |
| RMS Ia          | 126.902 A            | 1.825 kA             | 0.000 A         |
| RMS Ib          | 0.000 A              | 0.000 A              | 0.000 A         |
| RMS Ic          | 127.110 A            | 0.000 A              | 0.000 A         |
| RMS In          | 0.000 A              | 1.827 kA             | 0.000 A         |
| Phasor Ia       | 126.907 A 0.0 deg    | 1.825 kA -180.8 deg  | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor Ib       | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor Ic       | 127.071 A -180.3 deg | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor In       | 0.000 A 0.0 deg      | 1.827 kA -180.8 deg  | 0.000 A 0.0 deg |
| Zero Seq Id     | 0.000 A 0.0 deg      | 608.894 A -180.8 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Positive Seq Id | 73.404 A -330.2 deg  | 608.162 A -180.9 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Negative Seq Id | 22.221 A 99.1 deg    | 608.315 A -180.8 deg | 0.000 A 0.0 deg |

Differential And Restraint // 中西DS: 3號配變...

Save Restore Default Reset VIEW

| Reference Winding | 2                   |
|-------------------|---------------------|
| Phasor Id         | 0.100 pu 0.0 deg    |
| Phasor Ir         | 0.527 pu -180.9 deg |
| 2nd Harm Id       | 0.2 % fo -224.9 deg |
| 5th Harm Id       | 0.1 % fo -9.6 deg   |
| Phasor Ibd        | 0.000 pu 0.0 deg    |
| Phasor Ibr        | 0.000 pu 0.0 deg    |
| 2nd Harm Ibd      | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| 5th Harm Ibd      | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| Phasor Id         | 0.098 pu 0.0 deg    |
| Phasor Ir         | 0.527 pu -0.8 deg   |
| 2nd Harm Id       | 0.1 % fo -179.5 deg |
| 5th Harm Id       | 0.3 % fo -7.5 deg   |



| 高斜率區<br>Slope 2 | 灌入電驛的電流     |              | 電驛顯示的電流      |                | 電驛<br>動作 |
|-----------------|-------------|--------------|--------------|----------------|----------|
|                 | W1          | W2           | Id           | I <sub>r</sub> |          |
| A 相             | 1.05 ∠ 0    | 43.34 ∠ -180 | 4.648 ∠ -180 | 5 ∠ -180       | Yes      |
| B 相             | 0           | 0            | 0            | 0              | No       |
| C 相             | 1.05 ∠ -180 | 0            | 4.641 ∠ 0    | 4.999 ∠ 0      | Yes      |
| Slope = 94 %    |             |              |              |                |          |

| PARAMETER       | SOURCE 1             | SOURCE 2             | SOURCE 3        |
|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| Source 1 Name   | SRC 1                | SRC 2                | SRC 3           |
| PHASORS         | View                 | View                 | View            |
| RMS Ia          | 104.435 A            | 17.324 kA            | 0.000 A         |
| RMS Ib          | 0.000 A              | 0.000 A              | 0.000 A         |
| RMS Ic          | 106.276 A            | 0.000 A              | 0.000 A         |
| RMS Id          | 0.000 A              | 17.328 kA            | 0.000 A         |
| Phase Ia        | 104.454 A 0.0 deg    | 17.326 kA -181.4 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Phase Ib        | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg |
| Phase Ic        | 106.409 A -180.2 deg | 0.000 A 0.0 deg      | 0.000 A 0.0 deg |
| Phase Id        | 0.000 A 0.0 deg      | 17.332 kA -181.4 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Zero Seq ID     | 0.000 A 0.0 deg      | 5.777 kA -181.4 deg  | 0.000 A 0.0 deg |
| Positive Seq ID | 60.947 A -329.7 deg  | 5.775 kA -181.4 deg  | 0.000 A 0.0 deg |
| Negative Seq ID | 60.797 A -30.5 deg   | 5.775 kA -181.4 deg  | 0.000 A 0.0 deg |

測點: M760 | Actual Values: Measuring Source

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| Phase Id    | 4.648 pu -181.5 deg |
| Phase Ir    | 5.000 pu -181.4 deg |
| 2nd Harm Id | 0.0 % to 0.0 deg    |
| 5th Harm Id | 0.1 % to -115.4 deg |
| Phase Id    | 0.000 pu 0.0 deg    |
| Phase Ir    | 0.000 pu 0.0 deg    |
| 2nd Harm Id | 0.0 % to 0.0 deg    |
| 5th Harm Id | 0.0 % to 0.0 deg    |
| Phase Id    | 4.641 pu -1.4 deg   |
| Phase Ir    | 4.999 pu -1.3 deg   |
| 2nd Harm Id | 0.0 % to 0.0 deg    |
| 5th Harm Id | 0.1 % to -116.8 deg |



Inrush Inhibit Mode = Per Phase

| 相 | 灌入電驛的電流 |      |         | 電驛顯示的電流 |       |         | 電驛狀態 |
|---|---------|------|---------|---------|-------|---------|------|
|   | W1      | W2   | W1 二次諧波 | Id      | Ir    | W1 二次諧波 |      |
| A | 0.3     | 0.06 | 0       | 0.101   | 0.101 | 20.2%   | 閉鎖   |
|   | 0.3     | 0.06 | 0       | 0.1     | 0.1   | 18.1%   | 動作   |


| PARAMETER       | SOURCE 1         | SOURCE 2        | SOURCE 3        |
|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Source 1 Name   | SRC 1            | SRC 2           | SRC 3           |
| PHASORS         | View             | View            | View            |
| RMS Ia          | 30.415 A         | 0.000 A         | 0.000 A         |
| RMS Ib          | 0.000 A          | 0.000 A         | 0.000 A         |
| RMS Ic          | 0.000 A          | 0.000 A         | 0.000 A         |
| RMS In          | 30.432 A         | 0.000 A         | 0.000 A         |
| Phasor Ia       | 29.804 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor Ib       | 0.000 A 0.0 deg  | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor Ic       | 0.000 A 0.0 deg  | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor In       | 29.846 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Zero Seq I0     | 0.000 A 0.0 deg  | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Positive Seq I1 | 0.000 A 0.0 deg  | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Negative Seq I2 | 10.019 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |

Differential And Restraint // 中西DS: 3號配變...

Save Restore Default Reset VIEW

| Reference Winding | 2                   |
|-------------------|---------------------|
| Phasor Iad        | 0.101 pu 0.0 deg    |
| Phasor Iar        | 0.101 pu 0.0 deg    |
| 2nd Harm Iad      | 20.2 % fo -3.7 deg  |
| 5th Harm Iad      | 0.2 % fo -107.2 deg |
| Phasor Ibd        | 0.000 pu 0.0 deg    |
| Phasor Ibr        | 0.000 pu 0.0 deg    |
| 2nd Harm Ibd      | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| 5th Harm Ibd      | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| Phasor Icd        | 0.000 pu 0.0 deg    |
| Phasor Icr        | 0.000 pu 0.0 deg    |
| 2nd Harm Icd      | 0.0 % fo 0.0 deg    |
| 5th Harm Icd      | 0.0 % fo 0.0 deg    |



Inrush Inhibit Mode = Average (20% \*3)

| 相 | 灌入電驛的電流    |            |    | 電驛顯示的電流 |     |            | 電驛狀態 |
|---|------------|------------|----|---------|-----|------------|------|
|   | W1         | W1<br>二次諧波 | W2 | Id      | Ir  | W1<br>二次諧波 |      |
| A | 0.3 ∠ 0    | 0.176      | 0  | 0.1     | 0.1 | 59%        | 閉鎖   |
|   | 0.3 ∠ 0    | 0.162      | 0  | 0.1     | 0.1 | 53.6%      | 動作   |
| B | 0.3 ∠ -120 | 0          | 0  | 0.1     | 0.1 | 0          |      |
| C | 0.3 ∠ 120  | 0          | 0  | 0.1     | 0.1 | 0          |      |

The screenshot displays a software interface with two main windows. The top window is a table of parameters for three sources (SOURCE 1, SOURCE 2, SOURCE 3). The bottom window is titled 'Differential And Restraint // 中西DS: 3號配置...' and shows settings for three reference windings.

| PARAMETER       | SOURCE 1            | SOURCE 2        | SOURCE 3        |
|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| Source 1 Name   | SRC 1               | SRC 2           | SRC 3           |
| PHASORS         | View                | View            | View            |
| RMS Ia          | 34.651 A            | 0.000 A         | 0.000 A         |
| RMS Ib          | 29.863 A            | 0.000 A         | 0.000 A         |
| RMS Ic          | 29.854 A            | 0.000 A         | 0.000 A         |
| RMS In          | 17.673 A            | 0.000 A         | 0.000 A         |
| Phasor Ia       | 29.821 A 0.0 deg    | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor Ib       | 29.863 A -119.7 deg | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor Ic       | 29.810 A -240.3 deg | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Phasor In       | 0.000 A 0.0 deg     | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Zero Seq I0     | 0.000 A 0.0 deg     | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Positive Seq I1 | 29.835 A 0.0 deg    | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Negative Seq I2 | 0.000 A 0.0 deg     | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |

| Reference Winding | 2                   |
|-------------------|---------------------|
| Phasor Iad        | 0.100 pu 0.0 deg    |
| Phasor Iax        | 0.100 pu 0.0 deg    |
| 2nd Harm Iad      | 59.0 % fo -2.7 deg  |
| 5th Harm Iad      | 0.3 % fo -297.1 deg |
| Phasor Ibd        | 0.101 pu 0.0 deg    |
| Phasor Ibx        | 0.101 pu 0.0 deg    |
| 2nd Harm Ibd      | 0.4 % fo -64.1 deg  |
| 5th Harm Ibd      | 0.4 % fo -33.9 deg  |
| Phasor Icd        | 0.100 pu 0.0 deg    |
| Phasor Icx        | 0.101 pu 0.0 deg    |
| 2nd Harm Icd      | 0.2 % fo -16.1 deg  |
| 5th Harm Icd      | 0.3 % fo -112.6 deg |

### Inrush Inhibit Mode =2-out-of-3

| 相 | 灌入電驛的電流  |            |    | 電驛顯示的電流 |     |            | 電驛狀態 |
|---|----------|------------|----|---------|-----|------------|------|
|   | W1       | W1<br>二次諧波 | W2 | Id      | Ir  | W1<br>二次諧波 |      |
| A | 0.3∠0    | 0.06       | 0  | 0.1     | 0.1 | 20.3%      | 閉鎖   |
|   | 0.3∠0    | 0.06       | 0  | 0.1     | 0.1 | 20.4%      | 動作   |
| B | 0.3∠-120 | 0.059      | 0  | 0.1     | 0.1 | 19.8%      | 閉鎖   |
|   | 0.3∠-120 | 0.055      | 0  | 0.1     | 0.1 | 18.6%      | 動作   |
| C | 0.3∠120  | 0          | 0  | 0.1     | 0.1 | 0          |      |

The screenshot displays a software interface with two main data tables and a configuration window.

| PARAMETER       | SOURCE 1            | SOURCE 2        | SOURCE 3        |
|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| Source 1 Name   | SRC 1               | SRC 2           | SRC 3           |
| PHASORS         | View                | View            | View            |
| RMS Ia          | 30.436 A            | 0.000 A         | 0.000 A         |
| RMS Ib          | 30.388 A            | 0.000 A         | 0.000 A         |
| RMS Ic          | 29.854 A            | 0.000 A         | 0.000 A         |
| RMS Ia          | 11.620 A            | 0.000 A         | 0.000 A         |
| Phase Ia        | 29.778 A 0.0 deg    | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Phase Ib        | 29.972 A -120.1 deg | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Phase Ic        | 29.943 A -240.6 deg | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Phase Ia        | 0.000 A 0.0 deg     | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Zero Seq I0     | 0.000 A 0.0 deg     | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Positive Seq I1 | 29.898 A -0.2 deg   | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |
| Negative Seq I2 | 0.000 A 0.0 deg     | 0.000 A 0.0 deg | 0.000 A 0.0 deg |

| Differential And Restraint // 中西DS: 3號配變... |                      |
|---|----------------------|
| Reference Winding                           | 2                    |
| Phase Ia                                    | 0.101 pu 0.0 deg     |
| Phase Ib                                    | 0.101 pu 0.0 deg     |
| 2nd Harm Ia                                 | 20.4 % fo -2.5 deg   |
| 5th Harm Ia                                 | 0.4 % fo -59.0 deg   |
| Phase Ib                                    | 0.101 pu 0.0 deg     |
| Phase Ic                                    | 0.101 pu 0.0 deg     |
| 2nd Harm Ib                                 | 18.6 % fo -123.9 deg |
| 5th Harm Ib                                 | 0.2 % fo -340.7 deg  |
| Phase Ia                                    | 0.100 pu 0.0 deg     |
| Phase Ib                                    | 0.100 pu 0.0 deg     |
| 2nd Harm Ia                                 | 0.2 % fo -61.3 deg   |
| 5th Harm Ia                                 | 0.4 % fo -295.5 deg  |



### 三、發電機數位式保護電驛

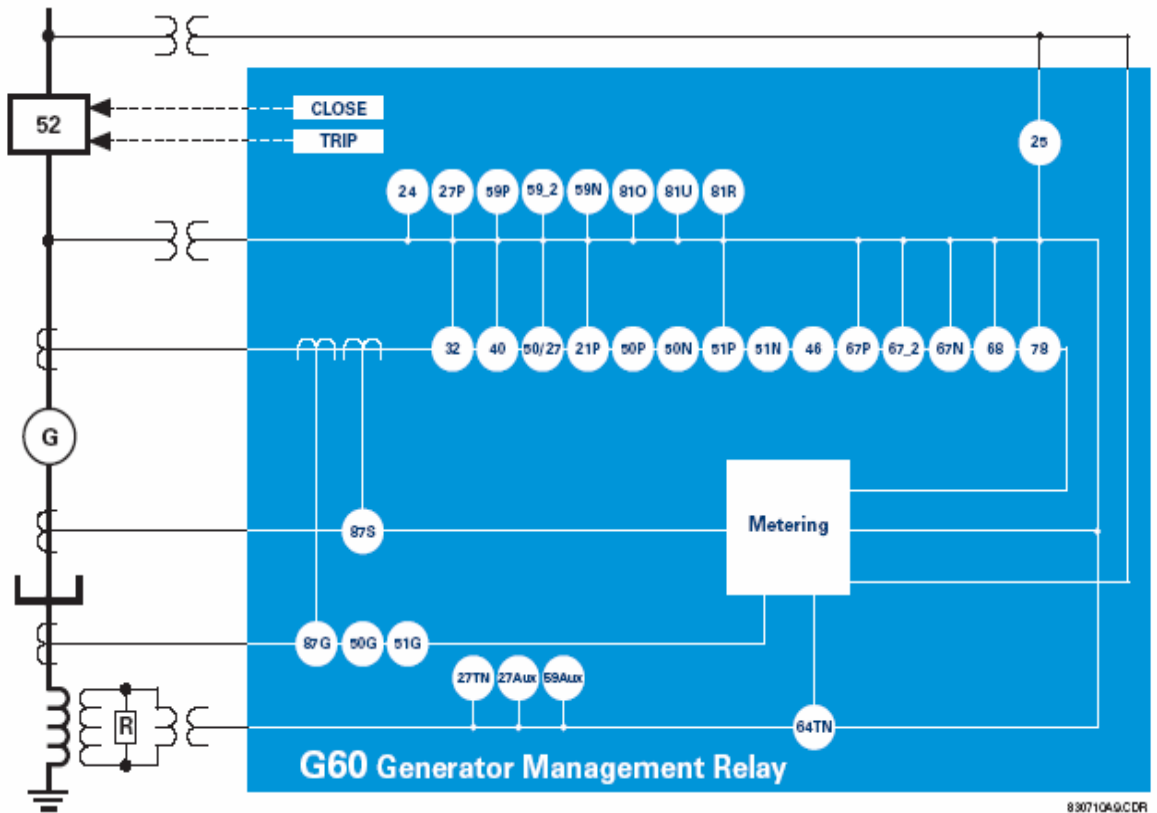
#### 1. 發電機保護項目分類：

- 不正常運轉情況：過電壓/欠電壓、過激磁、負載不平衡、失磁、失同步、頻率異常、喪失原動機、停機時主斷路器意外投入、發電機被加壓、PT電源不正常及跳脫回路開路。
- 發電機內部故障：定子相間故障；定子及場繞組接地
- 系統故障後衛保護：相間及接地
- 時序停機(Sequential Shutdown)
- 同步安全：同步檢定

#### 2. GE 發電機保護電驛 G60



### 3. GE 發電機保護電驛 G60 保護功能單線圖



### 4. G60 電驛內部的保護元件：

| 數量 | 保護元件名稱                |
|----|-----------------------|
| 1  | 定子故障差流保護(87S)         |
| 3  | 相間故障測距後衛保護 (21P)      |
| 1  | 電流不平衡保護(46)           |
| 1  | 100% 定子接地保護 (64TN)    |
| 1  | 3rd 諧波中性點低電壓檢測 (27TN) |
| 1  | 停機時發電機意外被加壓 (AE)      |
| 1  | 失磁保護 (40)             |
| 2  | 靈敏方向性功率檢測(32)         |
| 2  | 過激磁保護 V/Hz (24)       |

|   |                              |
|---|------------------------------|
| 2 | 相間低電壓 (27)                   |
| 1 | 過電壓 (59)                     |
| 1 | 輔助低電壓/定子接地過電壓偵測 (27/59Aux)   |
| 1 | 相間/接地/中性點延時過電流 (51P/51G/51N) |
| 1 | 負相序過電壓 (47)                  |
| 1 | 中性點過電壓 (59N)                 |
| 2 | 相間瞬時過電流(50P)                 |
| 1 | 接地/中性點瞬時過電流 (50G/50N)        |
| * | 相間/中性點方向性過電流 (67P/67N)       |
| 1 | 系統搖擺或失步偵測 (68/78)            |
| 6 | 低頻率保護 (81U)                  |
| 4 | 過頻率保護 (810)                  |
| 4 | 使用者自行規劃的保護曲線 (FlexCurves)    |
| * | RTD' s 輸入做為 thermal 保護       |

## 5. SEL(Schweitzer Engineering Laboratories)公司發電機保護

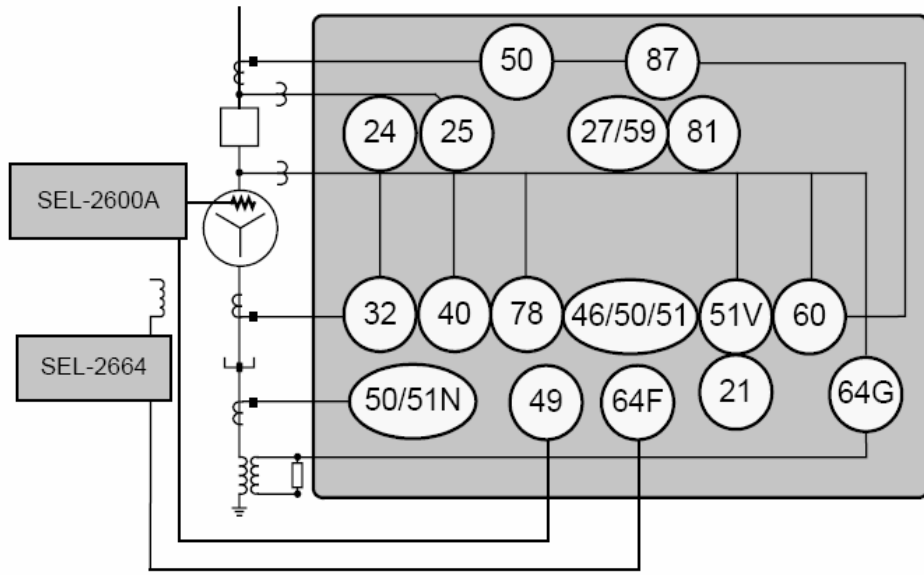
電驛 SEL-300G :

SEL-300G Generator Relay



*Apply the SEL-300G for comprehensive primary and backup generator protection.*

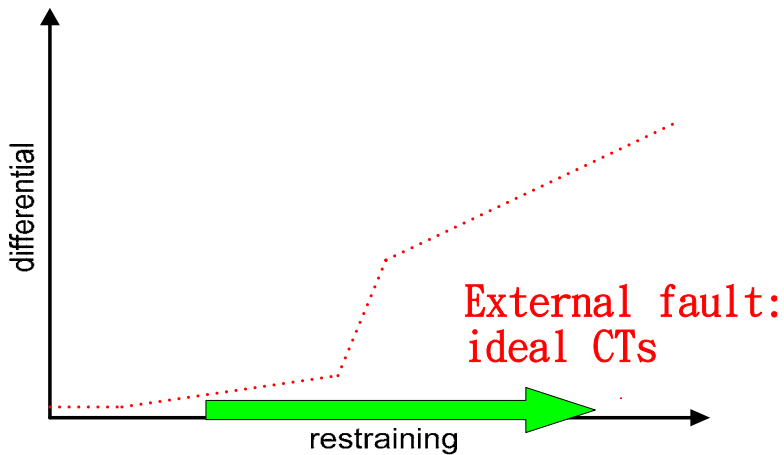
## 6. SEL-300G 發電機保護電驛保護功能單線圖



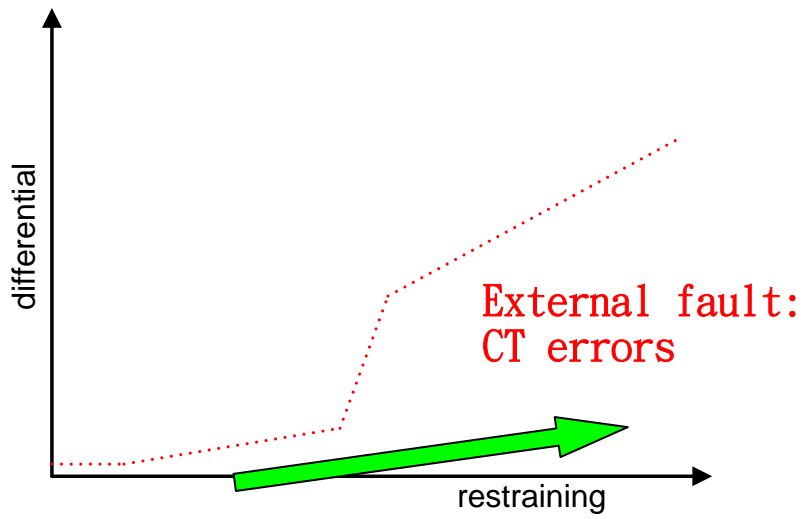
### 四、GE 發電機保護電驛 G60，偵測 CT 飽和的邏輯：

差電流保護電驛在外部故障時，有時會因 CT 飽和而誤動作。 GE 發電機保護電驛 G60 有 CT 飽和偵測邏輯，可防止保護電驛在此情況下誤動作。

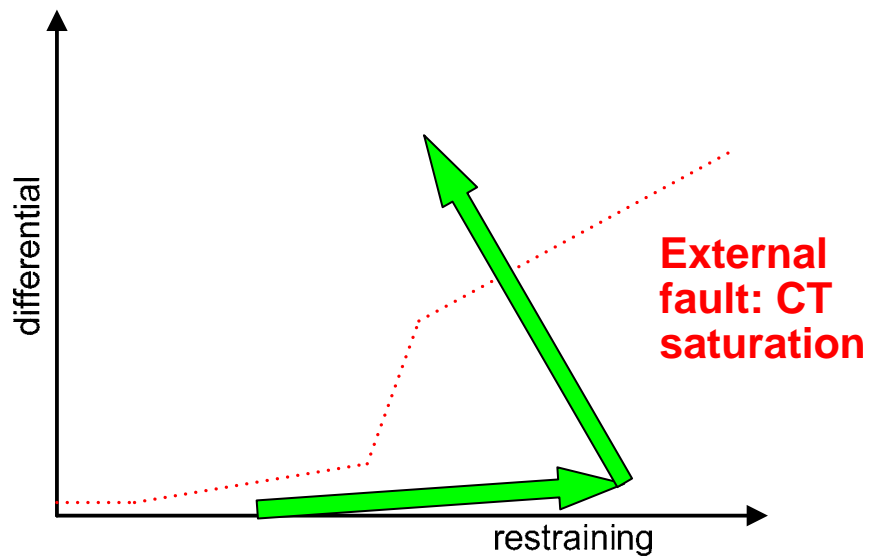
#### 1. 理想 CT 在外部故障時無差電流



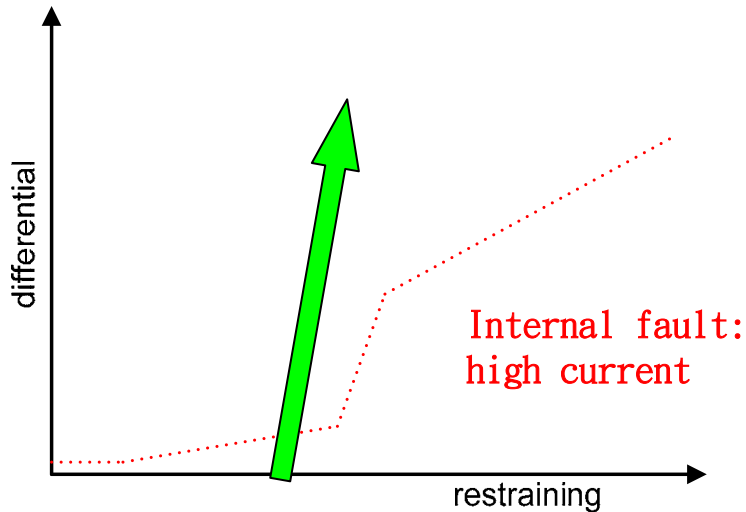
## 2. 外部故障時非理想 CT 的特性誤差造成差電流



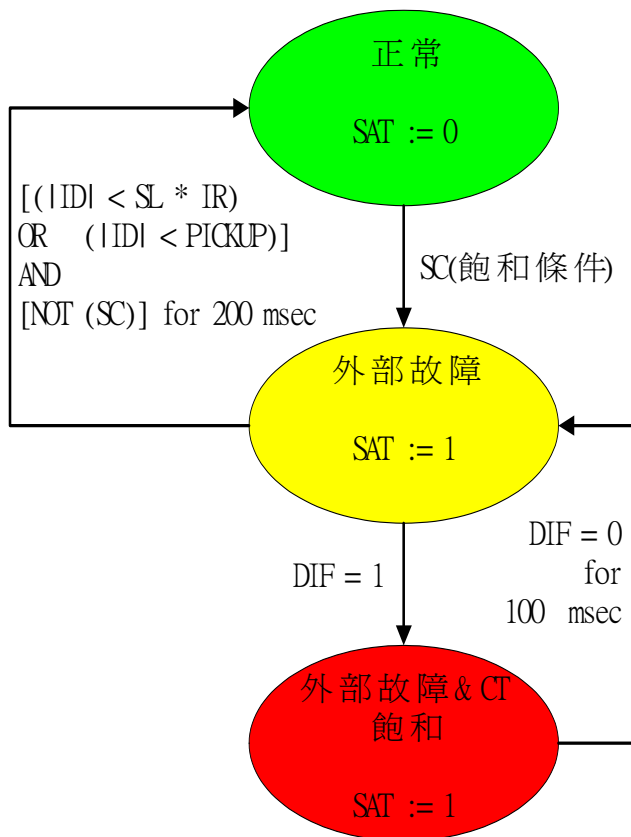
## 3 外部故障時因 CT 飽和特性，造成差電流大於抑制電流而動作



4. 內部故障時，大的差電流一般直接由抑制區跳至動作區，使電驛動作



5. CT 飽和偵測邏輯之狀態機器

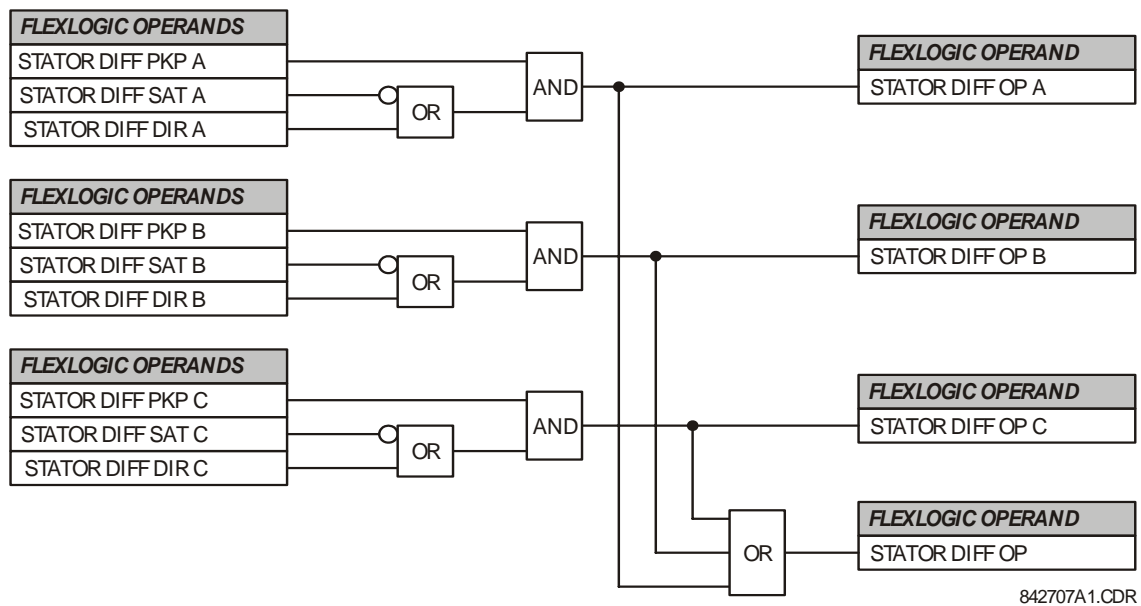


$$SC = (|ID| < SL * IR) \text{ AND } (IR > BL)$$

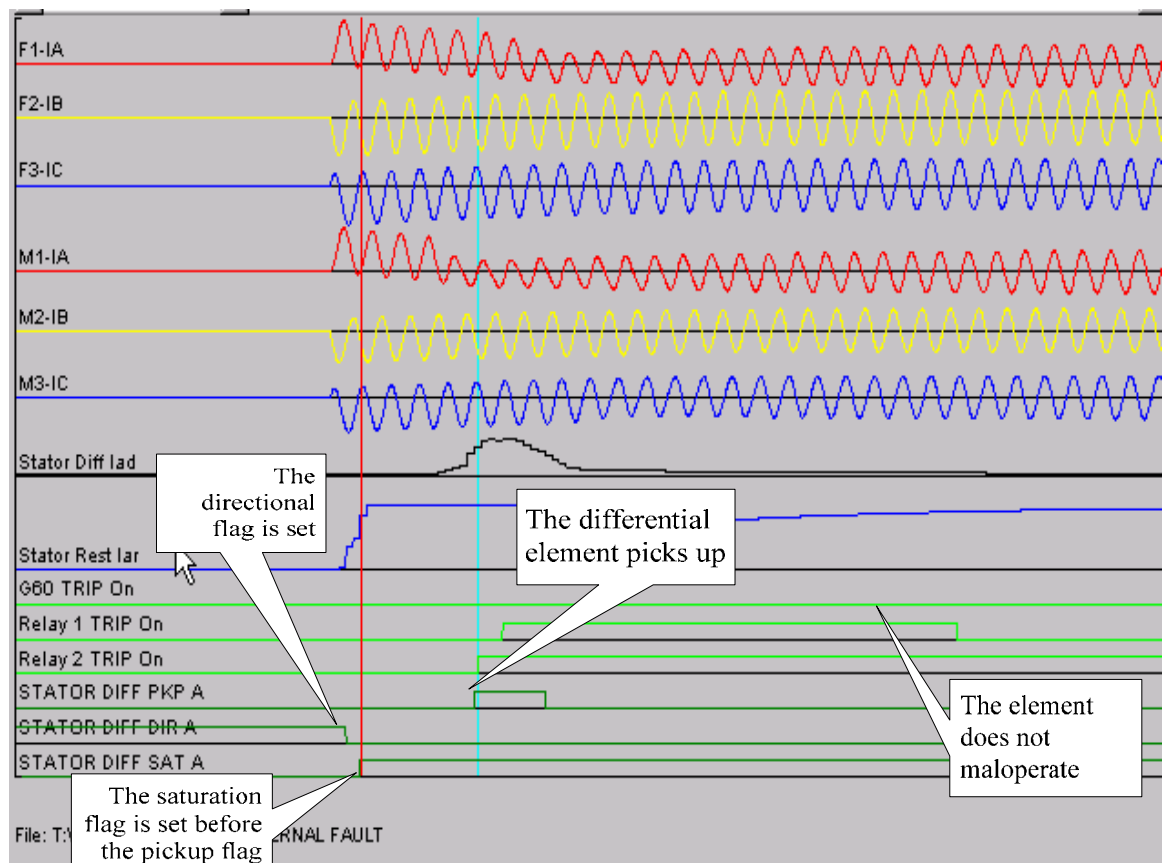
符號說明：

- IR：抑制電流
- ID：差電流
- DIF：定子差流元件動作旗標
- SL：斜率1(低斜率)之設定值
- BL：特性曲線第一個轉折點 (Low Breakpoint)
- PICKUP: 動作點設定值
- SAT：CT飽和旗標
- SC (Saturation Condition):飽和條件

6. 差流元件動作若為外部故障加上 CT 飽和所造成，電驛將被閉鎖不會誤動作。控制邏輯如下：

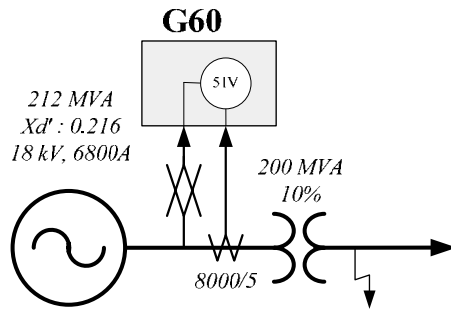


7. 外部故障且 CT 飽和，造成差流元件(Diff PKP A)動作，因 G60 電驛有 CT 飽和偵測邏輯(Diff SAT A)，電驛未誤動作



## 五、發電機保護電驛(G60)之系統後衛保護元件：電壓抑制過電流 (51V)標置計算與設定

### 1. 電壓抑制過電流(51V)標置計算：



$$\text{始動值} = 1.50 * \frac{6800}{8000} = 1.275 \text{ pu}$$

$$\text{變壓器阻抗} = 0.10 * \frac{212}{200} = 0.106 \text{ pu on machine base}$$

$$\text{至故障點阻抗} = 0.216 + 0.106 = 0.322$$

$$\text{故障電流} = \frac{V}{X} = \frac{1}{0.322} * \frac{6800}{8000} = 2.64 \text{ pu}$$

$$\begin{aligned} \text{故障電壓} &= \text{額定電壓} * \frac{\text{變壓器阻抗}}{\text{系統全部阻抗}} \\ &= 18 * \frac{0.106}{0.322} = 5.93 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\text{始動值縮減係數} = \frac{\text{故障電壓}}{\text{發電機額定電壓}} = \frac{5.93 \text{ kV}}{18 \text{ kV}} = 0.329$$

假設最長的故障排除時間為 0.75 秒，採用 IEEE EI 曲線，依下列公式計算 TDM (Time Dial Multiplier)：

$$\begin{aligned} TDM &= \frac{0.75}{\frac{28.2}{\left(\frac{2.64}{1.275 * 0.329}\right)^2 - 1} + 0.1217} = 0.88 \end{aligned}$$



## 2. 電壓抑制過電流(51V)標置設定:

| PARAMETER         | PHASE TOC1           |
|-------------------|----------------------|
| Function          | Enabled              |
| Signal Source     | LOAD (SRC 2)         |
| Input             | Phasor               |
| Pickup            | 1.275 pu             |
| Curve             | IEEE Ext Inv         |
| TD Multiplier     | 0.88                 |
| Reset             | Timed                |
| Voltage Restraint | Enabled              |
| Block A           | SRC1 VT FUSE FAIL OP |
| Block B           | SRC1 VT FUSE FAIL OP |
| Block C           | SRC1 VT FUSE FAIL OP |
| Target            | Latched              |
| Events            | Enabled              |

## 伍、心得與建議

心得：非常感謝各級長官的栽培，給我此次出國研習的機會，同時也感謝本課同仁，分攤我出國期間的工作。行千里路勝讀萬卷書，實地赴國外知名廠家研習新技術，取彼之長補己之短，有助於公司技術層面的提昇。此次出國研習，學習很多有關新型數位式保護電驛的新技術，對於將來的工作有很大幫助，本人很樂意將此行所見所學與所有同仁共同分享研討。

## 建議：

- 一、保護電驛是電力系統最前線的哨兵，擔任守門員角色承擔不能失分的重任，因此保護電驛之技術發展及運用，應該是一本公司營運中重要的核心技術；因應保護電驛技術與應用的快速發展及進步，並且面對公司未來民營化的挑戰，建議公司繼續派員出國研習保護電驛有關的技術。
- 二、保護電驛一般有主保護與後衛保護兩套。國外保護理念已採核能電廠 Redundant 觀念，即主保護與後衛保護兩套電驛保護方式完全一樣，此可供公司參考。
- 三、變電所配電自動化為未來潮流，保護電驛維護有關人員應加強通信及 SCADA 領域之知識與技能。
- 四、變電所保護電驛，透過通信設備互聯至封閉性區域網路，並接至運轉控制中心，使用監控軟體(例如: EnerVista Viewpoint - Monitoring )，隨時監控系統運轉狀況，設備一有故障或系統事故發生時，可依設定使用 EMAIL 或其他方式自動通知運轉維護人員處理，事故有關之資料亦自動攫取並送回控制中心供事故分析，節省人力及提高效率，此可做為公司推動變電所配電自動化參考。