

# 保護電驛之動態、暫態性能測試

Doble 公司 He Fang & Bergen Wu

盈昇有限公司 總經理 顏義芳

## 前言

以往對保護裝置在系統發生事故過程中之動作行為的研究，只能在動模試驗室(dynamic simulation lab)中進行，且存在投資大，建模比較費時，試驗重複性、靈活性、擴充性差等缺點。但隨著電腦和電子技術的發展，電力系統電磁暫態模擬技術得到了越來越廣泛的應用，過去以實體模型架構為基礎，來實現電驛暫態性能試驗，現今已將之數位化，以本文為例，將以電磁暫態模擬程式(ElectroMagnetic Transients Program, EMTP)結合 Doble 公司所生產之 F6150 型電驛試驗系統，來討論系統發生事故過程中之暫態行為，對保護電驛之影響，更進一步可改善電驛標置，防治保護電驛於故障暫態過程中誤動。

## 電力系統故障模擬器

本文所採用之故障波形輸出裝置為 Doble 公司所製造生產之 F6150 模擬器 [1]，實際之成品如圖 1 所示，其本體是用電力電子、網路通訊及 DSP 處理器之技術完成，最大輸出之類比數共 12 通道，三相電壓輸出範圍為 0~300Vac，三相電流連續輸出範圍為 0~30A，單相電流連續輸出範圍為 0~90A，三相電流暫態(1.5 秒)輸出範圍為 0~60A，單相電流暫態(1.5 秒)輸出範圍為 0~180A，每一通

道約 150VA，重量大約 20 公斤，故其攜帶性相當佳，另外加全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)之同步信號，可進一步應用於電力系統雙端(End-to-End)之電驛測試，使試驗更加逼真。

在圖 2 中說明 F6150 之基本控制面板，以手動試驗為主，而本文所要討論之動、暫態試驗是以 ProTest(如圖 3 所展示之一單相接地故障暫態試驗)電驛試驗軟體為核心，再配合 EMTP 模擬軟體以完成開迴路之暫態試驗，其中 EMTP 模擬軟體所產生之暫態波形，必須轉換為 IEEE C37.111 於 1991 年或 1999 年所訂定之 COMTRADE 資料格式，利用 ProTest 軟體將此 COMTRADE 型檔案之波形編輯及觀測，藉以輸出使用者所需之測試波形，便可將信號重現，輸入至實際保護電驛中做測試之工作。



圖 1 Doble 所生產之 F6150 波形重現模擬器實體圖

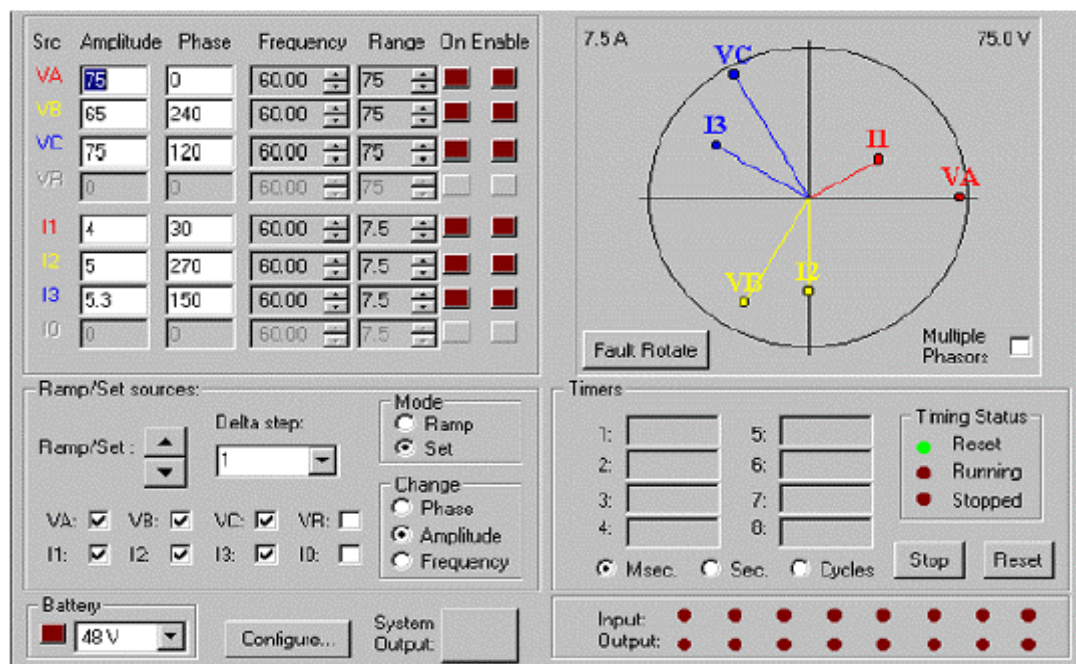


圖 2 F6150 之控制面板圖

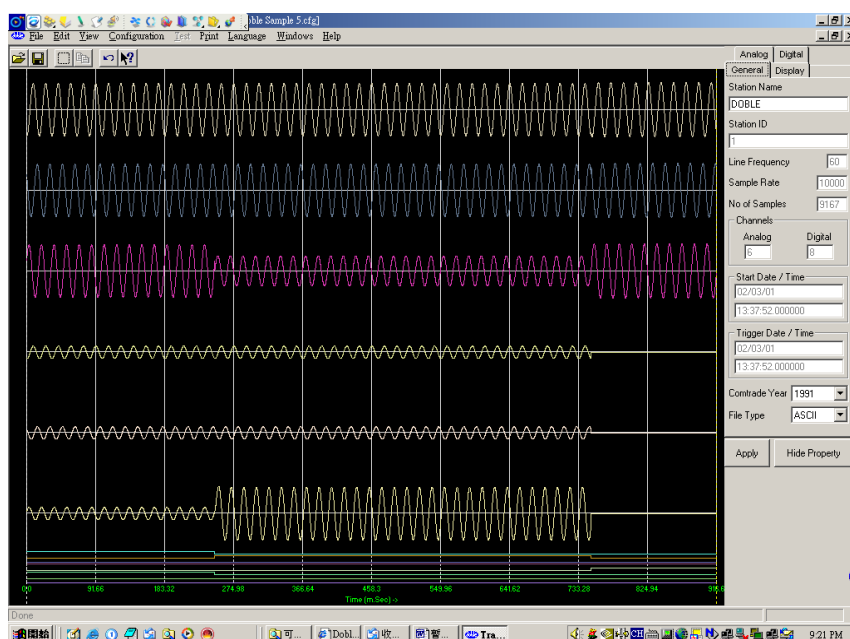


圖 3 由 TransWin 所載入之故障資料測試波形

### 暫態模擬於保護電驛之應用及實測

EMTP 由於已經具多年之實際應用經驗，且版本已改成互動式介面，如圖 4 所

示，非常具有親和力，程式撰寫相當容易，同時內建許多元件，故相當適合做保護電驛測試與發展，另可快速完成整批之大量模擬測試資料，提高電驛測試之效



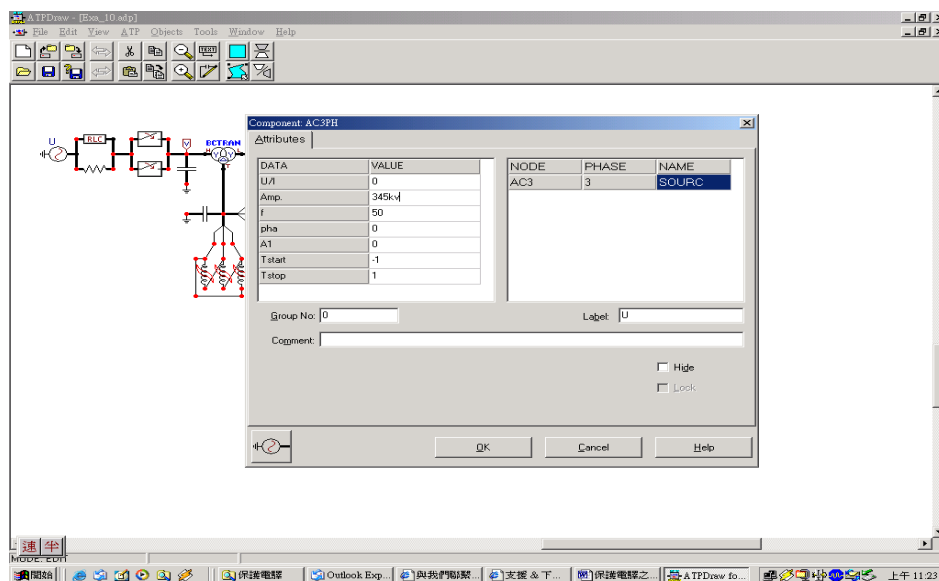


圖 4 ATP-EMTP 之互動式介面操作

在圖 5 中之單線圖為我們所簡化之一單迴路故障模型示意圖，我們可將許多參數設定，利用交談式視窗填入 EMTP 模擬軟體中，如圖 6 所示，其中例如故障型態、故障位置、故障電阻、故障前負載潮流、電源等效阻抗、故障投入角...等，皆可任意改變，所以每次模擬完後，可由此作立即更改設定，再重新執行，完成大量不同系統及故障狀態下之模擬。

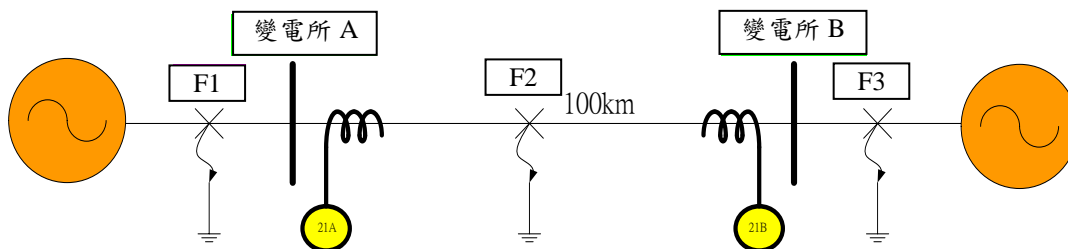


圖 5 模擬系統之單線圖及參數

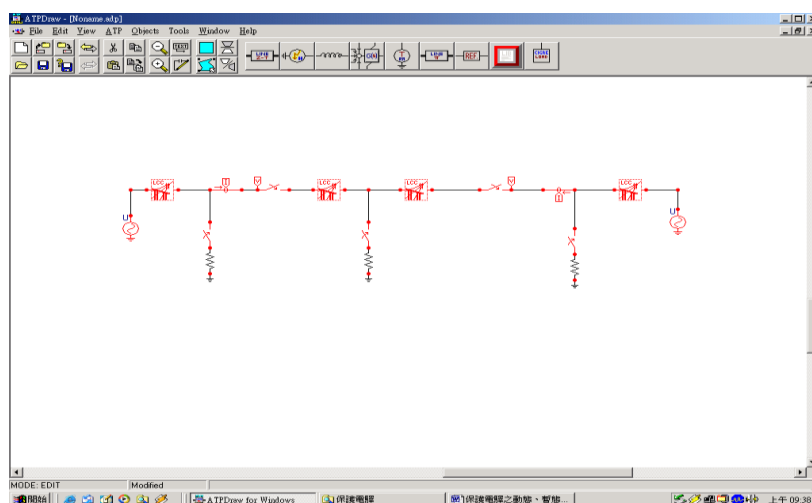


圖 6 以 EMTP 所建構之輸電線路模擬系統

圖 7 所示為本文所提之完整開迴路型電驛測試架構圖，再利用圖 6 暫態模擬軟體 EMTP 建立之故障模型，快速模擬大量之故障資料，並加以轉存成 COMTRADE 格式，而後經由 Doble 公司模擬器 F6150 之軟、硬體控制，將故障資料重現為實際大功率之電壓及電流波形，再輸入至實際待測之數位電驛中，以觀測其動作之正確性，藉由大量之測試後，我們可做電驛性能之相關統計表，進而評估電驛之性能及對電驛標置之最佳化設定，以更確保於任何一類型之故障發生時，保護電驛皆能正確跳脫。

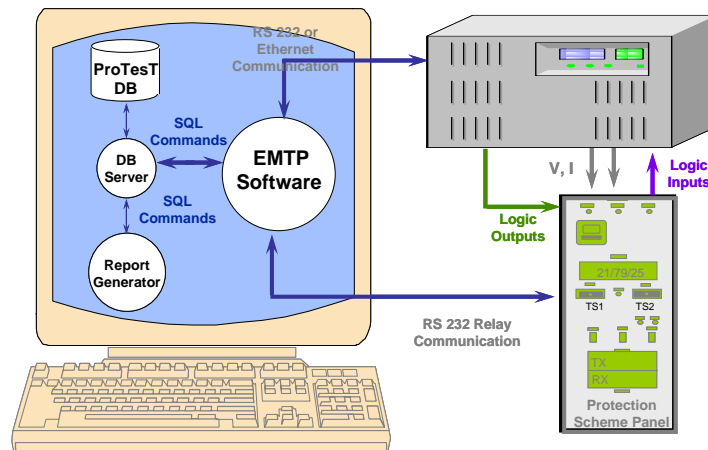


圖 7 開迴路之完整電驛暫態測試架構圖

經由圖 6 模擬三相短路故障及單相接地故障，所產生之內、外部故障波形如圖 7、8、9 及 10 所示，我們利用此波形即可輕易判定電驛動作之正確否，在故障波形中，其三相短路故障發生在點 F2 對變電所 A 和 B 而言為內部事故，電驛應快速發出跳脫訊號，隔離事故點，相對的單相接地故障發生在點 F3 之情形對變電所 A 而言為 Zone 2 之事故，電驛應在 20Cycle 後發出跳脫訊號，對變電所 B 而言為外部故障，電驛應閉鎖不動作。

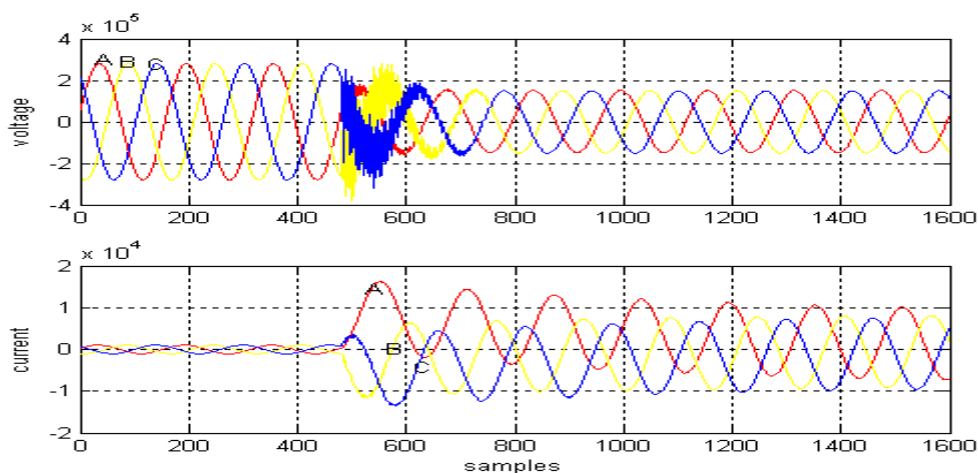


圖 7 故障點發生在 F2 時變電所 A 電驛所感受之波形

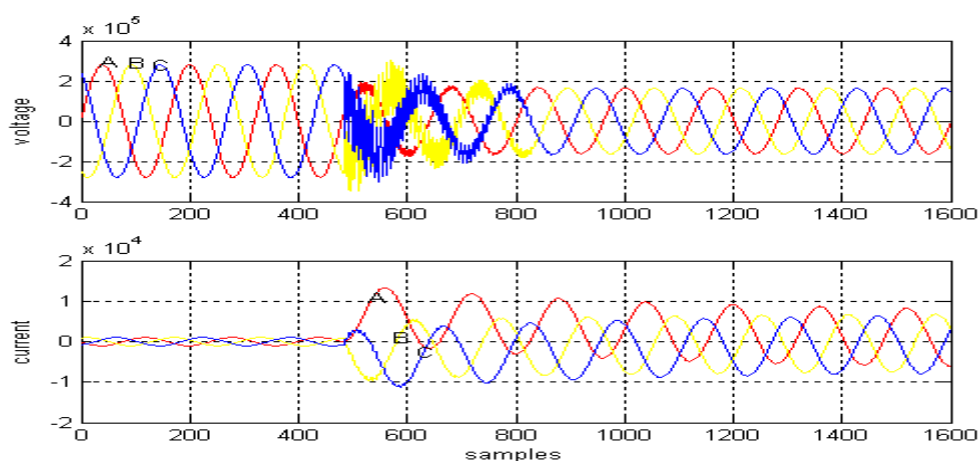


圖 8 故障點發生在 F2 時變電所 B 電驛所感受之波形

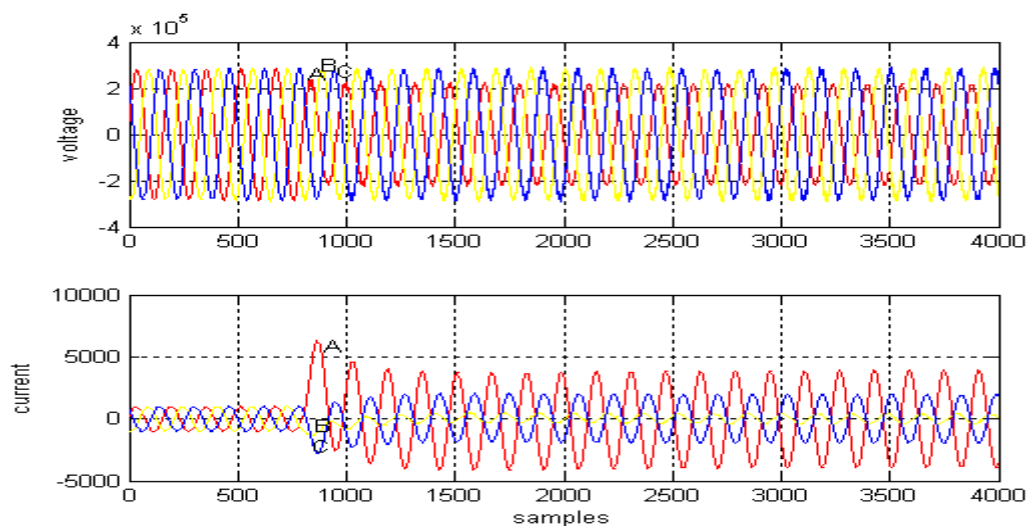


圖 9 故障點發生在 F3 時變電所 A 電驛所感受之波形

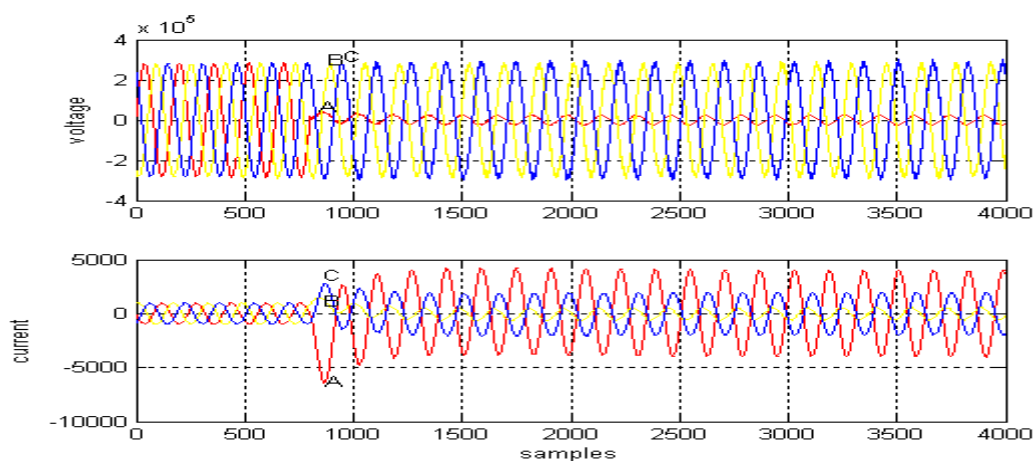


圖 10 故障點發生在 F3 時變電所 B 電驛所感受之波形

將上述之故障點 F2 事故模擬結果，如圖 11 實際對電驛輸入做驗證，其結果完全符合理論假設，變電所 A 之電驛(21A)試驗結果顯示如圖 12 所示。另外，將故障點 F3 事故模擬結果，輸入保護電驛做驗證，若變電所 B 與電廠間之電驛不動作時，則變電所 A 之電驛(21A)在 20Cycle 後正確跳脫，結果如圖 13 所示，而故障當時變電所 B 之電驛(21B)，所偵測之類型屬於外部事故，則閉鎖跳脫訊號。

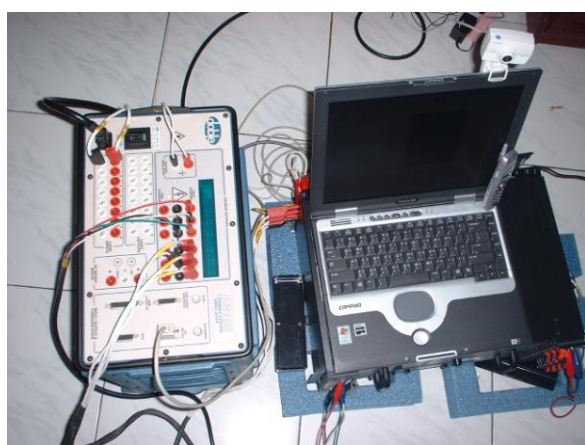


圖 11 實際之電驛暫態試驗(一)



圖 12 實際之電驛暫態試驗(二)



圖 13 實際之電驛暫態試驗(三)

由以上之範例實測，我們不難理解，一般電驛之靜態試驗，只是很粗略的對電驛做標置之檢視而已，對於故障發生時是否可以準確跳脫，則要待故障真正發生後才能瞭解，電驛動作是否正常及其標置設定是否適當；但如經暫態模擬試驗後，我們不必等故障來臨就可有把握的掌握，保護電驛的動作。此外；暫態試驗更可利用 GPS 之同步時間觸發方式，應用到現場雙端(End-to-End)之測試或三端 T 接之試驗，其架構如圖 14 所示。在一般之電驛試驗可分為靜態、動態及暫態試驗，而此三類之試驗以暫態試驗最具功效，故本文主要以暫態試驗介紹之；動態試驗雖然含概了完整故障型態(故障前→故障中→故障後)資料，但因訊號猶如穩態方式變化，故試驗效果介於靜態與暫態之間，但其好處就是不需經過模擬即可由 F6150 直接做測試。



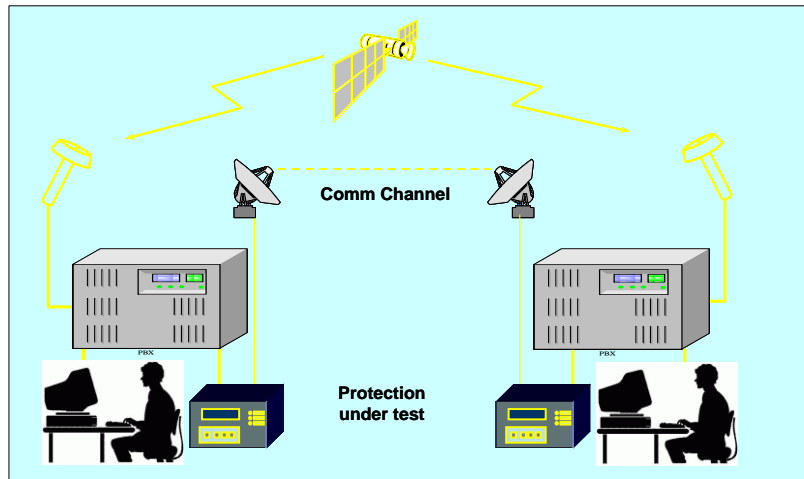


圖 14 雙端(End-to-End)電驛測試架構圖

## 結論

本文描述以 EMTP 及 Doble 公司模擬器(F6150)為基礎之動暫、態電驛測試，其整體架構中之故障模擬軟體、F6150 之控制軟體及實際硬體，於文中均有概括性之介紹，為了更進一步了解其完整操作流程，我們更以假設之 345 kV 超高壓輸電線及實際之數位式電驛做為測試範例說明，由此便可評估電驛動作性能之正確與否，在本文中可了解電驛測試之必要性與最新電驛暫態測試之觀念，雖然本文僅以簡單範例做說明，但其具備一般性，更可延伸用於發電機、變壓器...等保護電驛之測試。經過以上之說明後，我們更可清楚瞭解，完成保護電驛之動態、暫態測試，具有以下各項之優點：

1. 可決定故障時 DC offset 對電驛之影響，因電驛只以 60HZ 為動作量；且數位式電驛可慮除 DC offset 之濾波器一般多是專利。
2. 此一試驗可告訴我們 CT Ratio 要放多少，來防止 CT 飽和，且 CT 飽和一般也只有故障時之前幾 Cycles。而不必

一味的去提高 CT Ratio、降低電驛靈敏度。

3. 可精準的量測出電驛動作特性，尤其是有 DC offset、CT Saturation。
4. 利用 GPS 可更精準的測出，平行共架線路是否會誤跳脫，並解決 Current reversal problems.
5. 可做  $\Delta V$ 、 $\Delta I$  之試驗。如 :LFZR、SEL421、LFDC 等電驛。
6. 可做 Load shedding 之試驗。
7. 用於飽和及變壓器 Inrush current 之試驗，而不可使用穩態試驗。因變壓器 Inrush current 或 Harmonic 超過設定值將造成差動電驛閉鎖，故可利用此方法來得到最佳的 setting。
8. 穩態試驗只見發電機、電動機等之穩態阻抗，而動態暫態測試可完整呈現次暫態 → 暫態 → 穩態之阻抗，使我們更能明瞭電驛是否能保護電力設備。
9. 可做序分析，將故障時之電壓、電流分解為正序、負序及零序成分。
10. 在電路上如果有避雷器、非線性電阻器，其過電壓對電驛的影響能被測

試。

11. 跨變電所之互感之影響將被試驗。
12. 此測試方式可幫助電驛標置人員完成 Out-of-Step and Power Swing 之電驛標置設定。
13. CVT and PT 對電驛之影響可被試驗。
14. 互感(包含零序互感)之影響將被試驗。

## 參考文獻

- [1] <http://www.doble.com/products/F6000.htm>
- [2] The NxtPhase, Inc., "L-PRO User Manual"
- [3] M. Kezunovic, "User Friendly, Open System Software for Teaching Protective Relaying Application and Design Concepts," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, No. 3, August 2003
- [4] Y. Guo, M. Kezunovic, C. Chen, "Simplified Algorithms for Removal of the Effect of Exponentially Decaying DC-Offset on the Fourier Algorithms," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 3, pp 711-717, July 2003
- [5] P.G. McLaren, C. Henville, V. Skendzic, A. Girgis, M. Sachdev, G. Benmouyal, K. Mustaphi, M. Kezunovic, Lj. Kojovic, M. Meisinger, C. Simon, T. Sidhu, R. Marttila, D. Tziouvaras, "Software Models for Relays," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 16, No. 2, pp. 238-246, April 2001
- [6] IEEE C37.111-1996, "IEEE Standard Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems", 1996.