

應用全球定位系統於對相試驗及端對端保護電驛測試

李長興 邱敏彥 黃智賢

震江機電技術顧問股份有限公司

1、前言

差流保護電驛係監視被保護設備兩端之電流狀態，事故發生時，即會產生差電流而跳脫斷路器，如圖 1 所示。因其不需與其它保護電驛作協調，故能快速隔離故障，常被用做快速主保護。

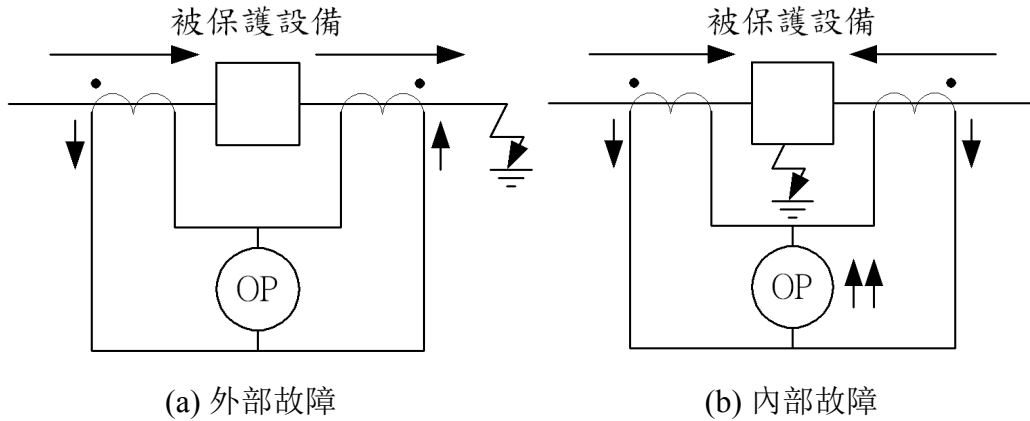


圖 1 差流保護電驛

現今對於線路的故障保護方式，亦幾乎都是利用差流電驛作為快速主保護。尤於差流保護電驛係利用兩端電流之差異，做為電驛是否動作的判別依據，故竣工測試的對相測試就顯得相對重要。因為差流保護電驛兩端多相距數百公尺，甚至數公里遠，故在兩端皆無共同之參考訊號下，並無法直接比對訊號相別。現今所採用的方式多是利用外加一條通訊線連接兩端點，觀看兩端的電壓電流變化，如圖 2 所示。對於數位電驛而言，電驛本身已具備雙端同步功能，可利用顯示面版進行雙端之對相試驗。惟有少部份數位電驛，雖具有雙端同步功能，但並未開放此功能給末端使用者使用。在此情形下，仍需要傳統之對相試驗。

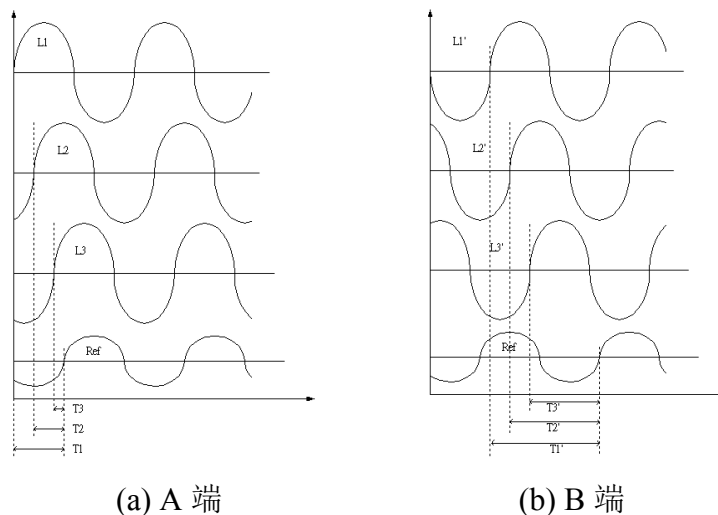


圖 2 差考電壓與三相電流相位

然而，外加通訊線之方式為臨時性設置，並未設有永久固定設施及警示，故於測試時需派員看守各路口以避免人車發生危險。尚且，一旦兩端距離過遠時，佈線成本將偏高，使得此方式幾乎不可行。此外，若利用送電後再以差流電驛的錶頭來進行對相，則必須先閉鎖電驛的跳脫接點，此時電驛無法提供足夠的保護，存有潛在風險。

基此，為提升對相試驗之便捷性，及準確性，本文提出利用全球衛星定位系統（GPS）之同步訊號，作為兩測試端之參考訊號的方法，並成功應用於現場測試中，如圖 3 所示。

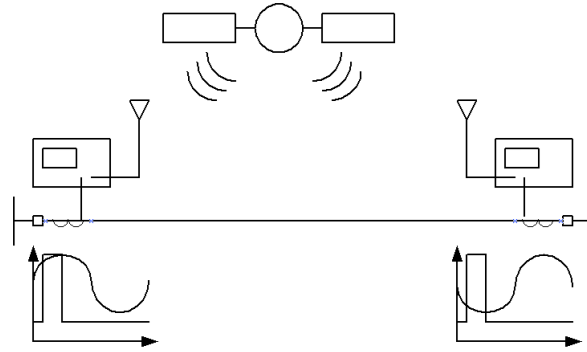


圖 3 利用 GPS 同步訊號做對相試驗示意圖

早期受限於電驛測試設備的功能，兩端電驛測試器無法同步，故對於線路差流電驛的測試，多僅能做單體測試，或是利用線路負載電流，進行簡單跳脫試驗。然而，此測試方法僅能測得差流保護電驛是否能跳脫，但對於是否能正確動作則無法確認，如比率差動特性。此外，若線路負載電流過小時，因為差電流可能小於動作電流，故亦無法確認差流保護電驛是否會動作。

基此，為確認差流保護電驛功能正常，本文利用 GPS 的同步訊號，搭配新型保護電驛測試器，進行端對端的保護電驛測試（End-to-End Relay Test）。

如前所述，本文將依序分析 GPS 同步訊號之最大誤差，探討其對測試可能造成之誤差。接著分析電驛測試器可能產生之頻率誤差，並探討其在端對端測試時，可能產生之相角誤差。最後簡略提出對相系統及端對端試驗的試驗步驟。

2、精確度

差流保護電驛的工作原理，即是比較被保護設備兩端之電流相量差。基此，測試之同步訊號誤差對整個試驗來說是非常關鍵的一環，可能產生不必要的相量差，導致測試結果失敗。當待測電壓或電流為固定 60Hz 的頻率，若同步脈衝產生 1 ms 的誤差，就會產生約 21.6 度角的相對誤差。對於對相試驗而言，因為每相別之相角差為 120 度角，雖會增加測試人員的困擾，但尚不至造成相別的誤判。但對於端對端保護電驛試驗時，則此相角差會造成兩端之差電流增加，導致差流保護電驛誤動作。基此，對於不同的試驗項目，其同步時間差之要求可以有不同標準。

分析可能產生可能發生時間誤差的原因有：(1)衛星同步信號的誤差，(2)GPS 接收器的傳遞誤差，(3)同步脈衝產生器的誤差，(4)電驛測試器的反應時間誤差，(5)電驛測試器之電源頻率誤差。前述(1)~(3)項，可視為同步訊號誤差，前述(4)(5)可視為電驛測試器之誤差，本節即此兩大類分析其誤差。

A、同步訊號誤差

全球衛星定位系統之衛星係使用原子鐘做為內部時脈，其最大的時間誤差為 10 億分之 200 秒，即 20 ns，可忽略不計。GPS 接收器接收到衛星訊後，即開始計算 GPS 接收器所在位置。當定位完成後，GPS 每整秒將送出一筆同步資料，包含同步訊號，位置資料，定位所用之相關資訊。本文即是利用該同步訊號進行對相試驗，端對端電驛測試的同步訊號。由於 GPS 接收器從接收到衛星同步資料，到送出同步訊號會因為接收器之內部電路延遲，故不同 GPS 接收器間會存有同步訊號誤差。不同之 GPS 接收器，會因內部電路設計不同，而有不同之時間延遲，故進行試驗時，宜使用相同型式之 GPS 接收器。目前，同廠牌之 GPS 接收器的時間誤差約在 100 ns 以內。

GPS 接收器所送出之同步訊號為低電壓，且低持續時間短，無法直接用以觸發電驛測試器。基此，除了 GPS 接收器外，尚需要訊號放大電路及延時電路，將 GPS 接收器之同步訊號放大，以供電驛測試器使用。同前所述，訊號放大電路及延時電路皆會延遲同步時間，故皆建議使用同型式之電路，期使兩端之時間誤差最小。

圖 4 是於實驗室進行測試。同時測量二個同步脈衝產生器經由 GPS 接收同步衛星信號所產生的同步脈衝的信號，以時間軸每格 2.5 ms 來觀看，其脈衝寬為 10 ms，且二個波形可說是完全重疊，沒有任何的時間誤差，如圖 7 所示。接下來放大時間軸，放大每格為 250ns，並觀測波形上升時間的位置。經過 20 次測量比對，發現 20 次中所產生的最大誤差值約為 180ns，如圖 8 所示。

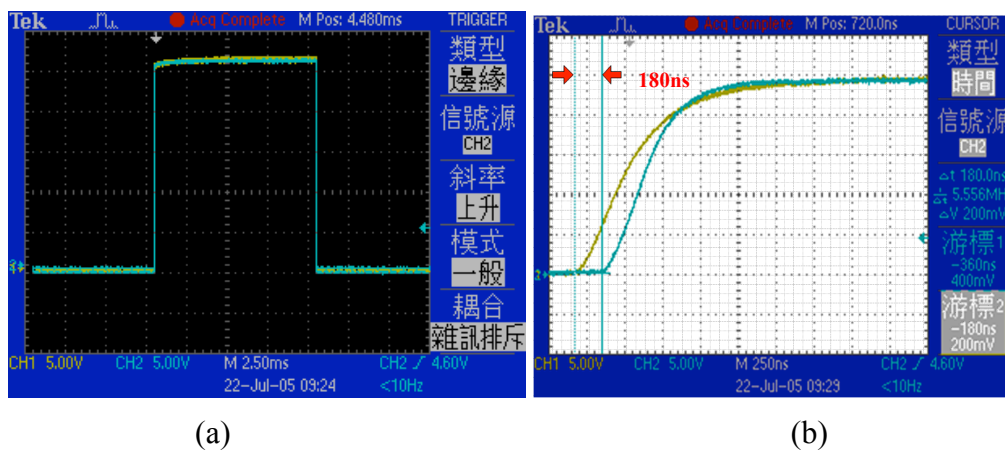


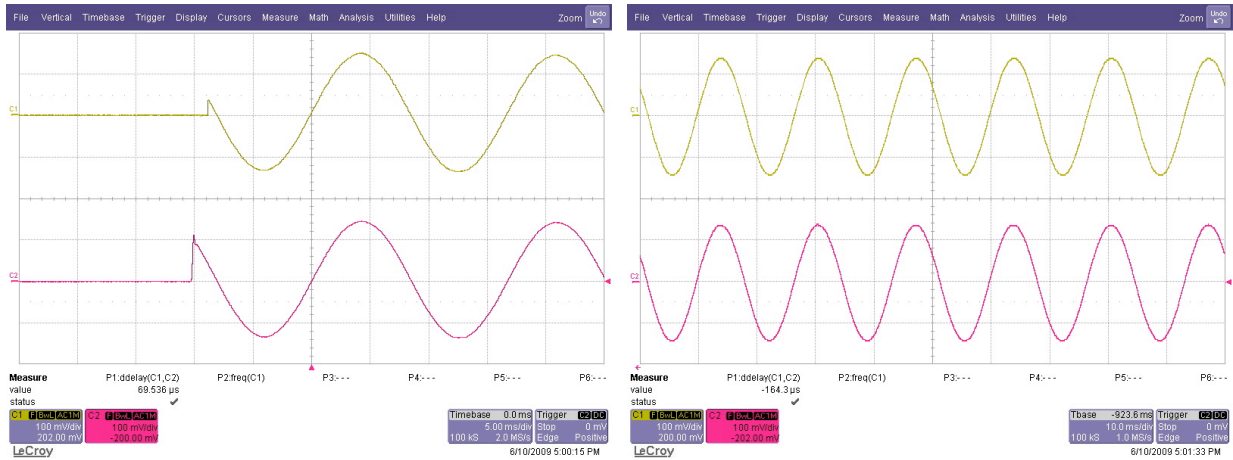
圖 4 同步脈衝波形圖

以 60 Hz 為基準，誤差 180 ns 換算後相位約誤差不到 0.01 度角。經過上述的試驗後，可瞭解此方式用於高壓竣工前的對相測試是非常精準的。

B、電驛測試器頻率誤差

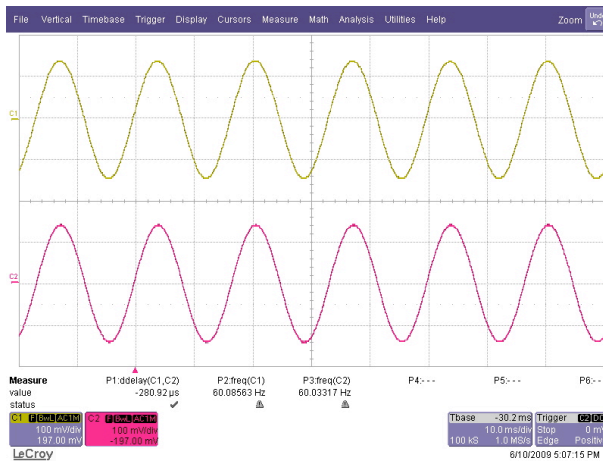
傳統之電驛測試器，輸出電源之頻率多與市電頻率相同，而其相位則是以插座電壓為參考。因此，應用在端對端試驗時，主要困難在於參考相位難取得。反之，數位化電驛測試器，可以輸出不同頻率之電源，且其相位可以同步訊號做為參考，故應用在端對端試驗時，其兩端電驛測試器的頻率精度遂成為主要考量。

若電驛測試器的頻率精度高，如誤差為 0.5 uHz，則每 10,000 個週波，兩端電流相角誤差小於 2 度角。在此情形下，使用搜尋模式（固定抑制電流大小，改變動作電流大小）確認動作曲線時，兩端測試電流並不會因為搜尋時間長而產生相角差。圖 9 所示為兩電驛測試器，在 60 Hz 設定下，於初始、1 秒後，10 秒後，以及 20 秒後的輸出電流波形。圖 5 顯示，電驛測試器之頻率精度高時，兩電驛測試器的電流在短時間內並不會產生足以影響測試結果之相角差。



(a) 0 秒

(b) 10 秒



(c) 20 秒

圖 5 同步觸發電驛測試器之輸出電流

反之，若電驛測試器的頻率精度不高，如誤差為 0.1 Hz，則每經過 10 週波，兩端電流相角將誤差 6 度角以上。此時，若使用搜尋模式（固定抑制電流大小，改變動作電流大小），則可能因為搜尋時間過長，使得相角誤差過大而動作電驛，導致測得之動作曲線失準。在此條件下，測試程序應修改為，輸入事先計算動作曲線之動作區與抑制區邊界之電流大小，每次僅測試一個點確認電驛是否動作。因為差流保護電驛的動作時間很快，約在 0.2 秒內（小於 2 個週波），故相角誤差尚未因頻率精度不高而被擴大。

3、對相試驗

傳統差流保護電驛之對相試驗的執行方法，係額外敷設金屬線，並在金屬線上載一參考訊號，用以比對線路兩端之差流保護電驛的電流相角，以確認相序是否一致。此外，數位差流保護電驛之對相試驗，則因電驛本身已透過光纖通訊同步，線路兩端之差流保護電驛皆會將本地之電流資訊傳給對方，故可在電驛本體計算線路兩端之電流資訊以進行相位辨識。然而，部份數位差流保護電驛雖有光纖通訊功能，惟其未將遠方電流資訊開放給使用者，故無法由面板讀取雙方之電流訊號，進行對相試驗。

基於，本文利用 GPS 之同步訊號，在線路兩端量測電驛所監視之電流訊號，藉由各相電流與同步訊號之時間差，進行相位比對，圖 6 為量測架構示意圖。表 1 為量測結果，圖 7 為量測之波形圖。

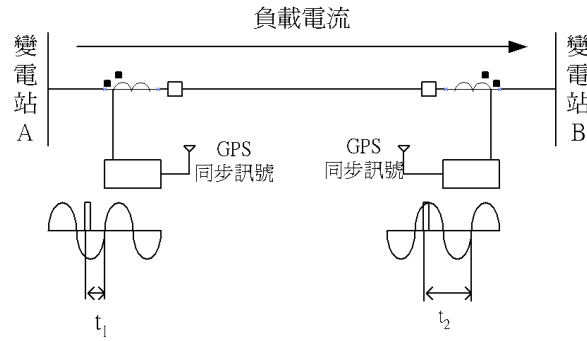


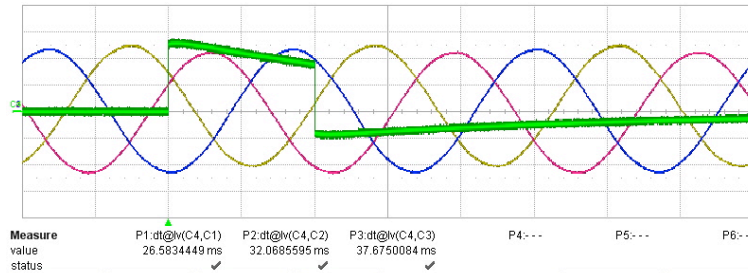
圖 6 利用 GPS 同步訊號進行對相示試之示意圖

量測波形顯示，因為對相試驗前並未對 CT 執行歸零的動作，故電流波形中含有些許直流成份。此部份缺失造成電流波形之零交越點與真實零交越點會有誤差，導致線路兩端之電流零交越點的時間差會有些漂移 (± 0.2 ms)，惟此部份並不會造成結果之誤判。

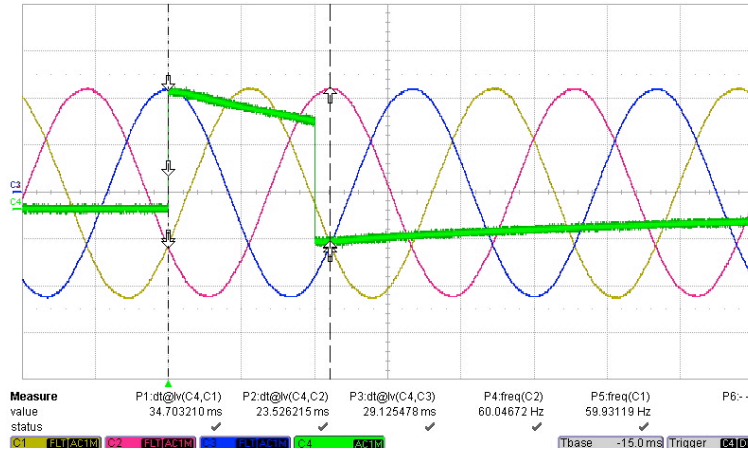
量測數據顯示，變電站 A 與變電站 B 之各相電流零交越點皆相差約 8.3 ms，即差 180 度電角度，為正確接線。

表 1 對相試驗數據

盤名	相別	與同步訊號之時間差		兩端之時間差
		變電站 A	變電站 B	
Line 1	R	9.60265 ms	1.49000 ms	8.11265 ms
	S	15.422 ms	6.9955 ms	8.4265 ms
	T	20.909 ms	12.5985 ms	8.3105 ms
Line 2	R	6.643 ms	15.0665 ms	8.4235 ms
	S	12.425 ms	20.5705 ms	8.1455 ms
	T	17.934 ms	26.1770 ms	8.243 ms
Line 3	R	6.04755 ms	14.5055 ms	8.45795 ms
	S	11.790 ms	19.9395 ms	8.1495 ms
	T	17.386 ms	25.5565 ms	8.1705 ms
Line 4	R	8.86485 ms	596.0 us	8.26885 ms
	S	14.530 ms	6.0465 ms	8.4835 ms
	T	20.089 ms	11.6370 ms	8.452 ms



(a) 變電站 A Line 1

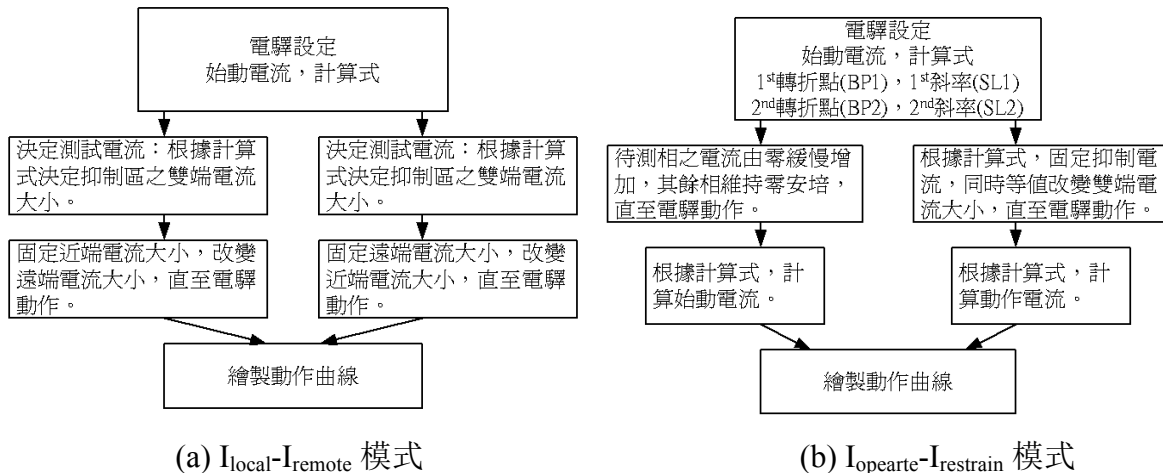


(b) 變電站 B Line 1

圖 7 對相試驗波形圖（黃色：R 相，紅色：S 相，藍色：T 相，綠色：同步訊號）

4、端對端保護電驛測試

差流保護電驛之動作曲線的表達方法可略分為兩大類，一為橫軸及縱軸為遠端與近端電流，另一為橫軸為抑制電流，縱軸為動作電流。端對端保護電驛測試時，若為前者，則分別固定遠端之電流，而改變近端之電流大小，直至電驛動作，依序完成各個測試點。完成後，換固定近端電流大小，改變遠端電流大小，直至電驛動作，依序完成各個測試點，如圖 8(a)所示。若為後者，則需先計算測試點之抑制電流大小，及動作電流大小。控制兩端電流之合成抑制電流固定，緩慢增加動作電流大小（一端減小，一端增加），直至電驛動作，依序完成各個測試點，如圖 8(b)所示。



(a) $I_{local}-I_{remote}$ 模式

(b) $I_{opearte}-I_{restrain}$ 模式

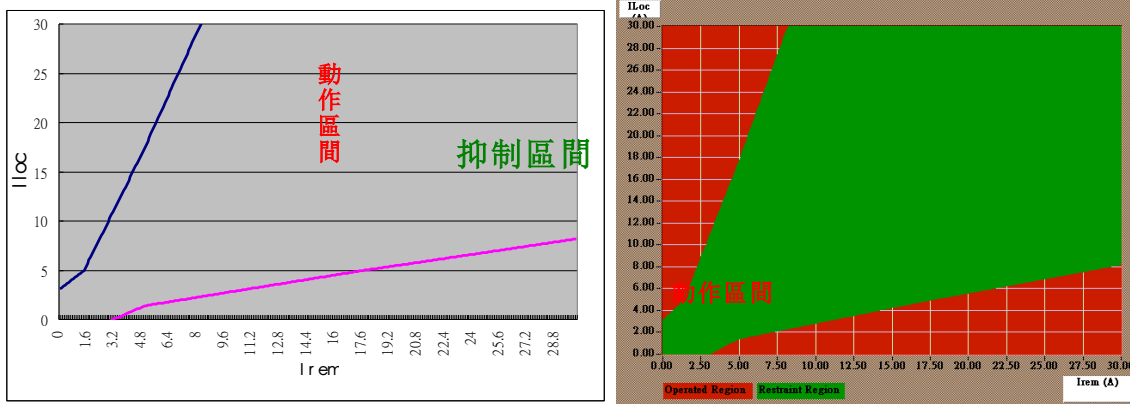
圖 8 差流保護電驛之動作曲線模式

因為端對端保護電驛測試時，兩端電流必需維持同相位，並變化峰值大小。以往線路差流保護電驛受限於測試儀器無法同步，多僅能執行單體測試，或背對背測試，並無法於竣工測試時執行端對端保護電驛測試。因此，線路差流保護電驛的完整功能並無法被測試到。目前，隨著測器的快速進展，兩地之電驛測試器利用通訊或是 GPS 來取得同步訊號，並輸出同步之電源，其誤差已在可接受的範圍內（如第 2 節所示），故端對端保護電驛試驗變得可行。

由於不同電驛測試器之頻率誤差不同，故驗證動作曲線的搜尋時間若過長，則會造成差流保護電驛因相角誤差而誤動作。此時，僅能依事前之計算值，依序使電流落在動作區間和抑制區間，以驗證曲線是否正確。本節以兩個實例，分別說明兩者的試驗方法。

A、動作曲線驗證－搜尋模式

本試驗以兩顆 GE L90 為例，使用兩組電驛測試器，及以兩組 GPS 同步訊號產生器，以搜尋模式進行動作曲線驗證。測試數據如圖 9(a)所示，L90 之原廠資料如圖 9(b)所示。



(a) 實測結果

(b) 理論曲線

圖 9 差流電驛動作特性實際圖

B、動作曲線驗證－邊緣模式

本試驗以兩個 Beckwith M3425A 為例，使用兩組電驛測試器，及以兩組 GPS 同步訊號產生器，以邊緣模式進行動作曲線驗證。試驗數據如圖 10 所示。

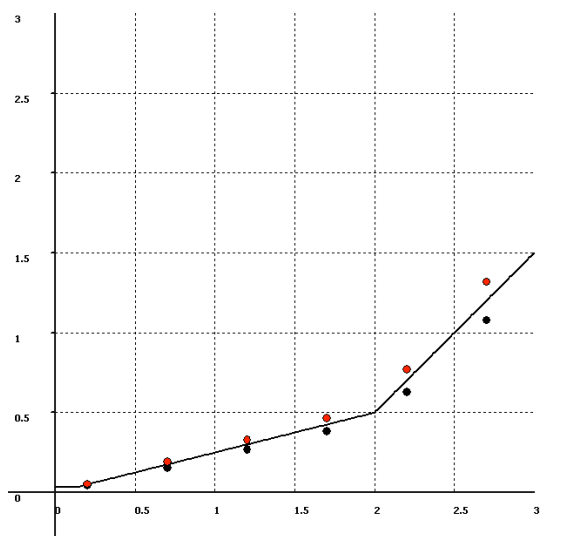


圖 10 差流保護電驛—動作曲線驗證（黑色為未動作，紅色為動作）

5、結論

傳統竣工試驗時，線路之對相試驗多需要佈置金屬副線，供雙端做參考訊號。雖然現在的數位保護電驛具有同步功能，可用以輔助對相試驗，但仍有少數數位保護電驛不開放此功能給使用者。基此，本文所提之利用 GPS 同步訊號做為線路對相試驗，可大幅減少試驗所需之成本。

傳統差流保護電驛的測試方法僅能測試出單機的動作是否正確，或使用背對背模式驗證電驛功能是否正常。但對於完整功能，如 DTT 功能等，則無法得到驗證。本文提出使用 GPS 同步訊號之端對端保護電驛測試方法，除可驗證保護電驛的動作曲線外，亦可以模擬各種可能之線路或電驛故障情形，進行各種情形的模擬，進而確認差流保護電驛的完整功能。

6、參考文獻

- [1] A. T. Johns and S. K. Salman: 'Digital protection for power system' (United Kingdom, 1995.)
- [2] M. G. Adamiak G. E. Alexander and Dr. W. Premerlani: 'A New Approach to Current Differential Protection for Transmission Lines' (New Hampshire, USA, 1998)
- [3] B. W. Parkinson and J. J. Spilker: 'Global positioning system: theory and applications' (AAAI, USA, 1996.)
- [4] E. D. Kaplan: 'Understanding GPS: principle and Application' (Artech House, London, 1996.)
- [5] GE Multilin: 'L90 Line Differential Relay UR Series Instruction Manual' (Canada, 2005.)
- [6] M. E. Agudo, B. Kasperek, and S. I. Thompson, "END-TO-END RELAY TESTING USING GPS-SYNCHRONIZED SECONDARY INJECTION", DEVELOPMENTS IN POWER SYSTEM PROTECTION, CONFERENCE PUBLICATION NO. 479, IEE 2001, PP: 42-45
- [7] 黃智賢，邱敏彥，李長興，顏世雄，"應用 GPS 於遠端高壓對相試驗及差流電驛測試之系統研製"，第 26 屆電力工程研討會論文集。