

行政院所屬機關出國報告
(出國類別：實習)

數位型差流保護電驛運用

服務機關：臺灣電力公司
出國人職稱：電機工程師
姓名：呂嘉圖
出國地區：美國
計畫編號：91 年度第 38 號出國計畫
出國日期：91 年 4 月 7 日至 91 年 4 月 20 日
報告日期：91 年 6 月 17 日

G3/
CO9101526

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：數位型差流保護電驛運用

頁數 28 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

呂嘉圖/台灣電力公司/電力調度處/電機工程師/(02)23666620

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：91 年 4 月 7 日至 91 年 4 月 20 日

出國地區：美國

報告日期：91 年 6 月 17 日

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、數位型差流保護電驛目前被廣泛地使用，除了該電驛應用於輸電線路保護上具有設定及協調容易的特點外，其所具備的多功能、維護週期長、存取數據靈活等特性，再加上具有記錄事故發生時電力系統變化狀態的功能，有助於分析事故發生原因及作為日後改善的依據，提升保護系統的可靠度。
- 二、此次出席於德州農工大學舉行的第五十五屆保護電驛工程師年會，並造訪美國 SEL 公司研習 SEL-311L 數位型差流保護電驛並參觀其生產工廠。由於未來本公司 161KV 等級以上之輸電線路，數位型差電流保護電驛將被逐步使用並規劃為主保護方式，又因數位型差流電驛具有極為仰賴通信媒體之特性，故本報告中主要針對工程師年會中被提出之相關論文及 SEL-311L 電驛之差流元件特性作一個簡單的論述。

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

目錄

壹、	出國源由.....	4
貳、	出國計畫內容.....	5
參、	行程說明.....	6
肆、	衛星時間同步技術應用於差電流電驛保護之優點.....	7
伍、	SEL 公司 SEL- 311L 數位型差電流電驛介紹.....	20
陸、	心得感想.....	28

壹、 出國源由

數位型差流保護電驛，除應用於輸電線路保護上具有設定及協調容易的特點外，更有資料存取容易、附加功能多、維護週期長等優點，實為將來發展的主流。故為因應日後可能陸續引進採用之數位型差流保護電驛能順利運用於系統保護上，以取代目前本公司大多輸電線路保護之電磁式電驛，實須儘早派員出國吸取相關技術。

貳、 出國計畫內容

本次出國任務包含參加第五十五屆保護電驛工程師年會、赴電驛設備廠家研習智慧型數位差流電驛及參觀當地電力公用事業機構之相關輸、變電保護設備為主。

目前本公司系統中使用智慧型數位保護電驛之比例日益增加，且現代智慧型數位電驛功能亦日趨複雜及多元化，其所具有之功能整合、維護週期長、存取資料靈活等特性，實為傳統舊型電驛所不能及。

藉由本次參加國際性保護電驛工程師會議之機會，能與來自世界各大電力機構、電驛設備廠家及學術機構之人士交換在保護電驛應用上之寶貴意見及相關實務經驗，並吸取新式保護電驛相關資訊。

參、行程說明

1. 91 年度第 38 號出國計畫
2. 出國期限 14 天
3. 任務類別：實習
4. 主要任務內容：
 - 參加 TAMU 第五十五屆保護電驛工程師年會
 - 研習數位型差流保護電驛之運用
5. 行程簡介：
 - 第一站：德州農工大學
 - 第二站：SEL 公司
 - 第三站：西雅圖 PSE 變電站參觀

肆、 衛星時間同步技術應用於差電流電驛保護之優點

APPLICATION BENEFITS OF GPS SYNCHRONIZED CURRENT DIFFERENTIAL PROTECTION

◆ 簡介：

自從 1980 年代中期數位型差電流電驛被廣泛的應用在輸電及配電網路的保護。差電流保護方式似乎在許多方面皆比測距保護更為理想，其中一個最明顯的事實就是前者不需電壓訊號的輸入。

目前許多電力事業機構都在追求更為經濟、可靠的電驛保護用通訊系統及通道。其原因就在於對於差電流保護而言，介於電驛間通訊通道的表現，直接會影響到該電驛動作的可靠度。

或許保護電驛用的通訊系統及通道是由該電力系統所擁有，或許是向當地電信業者租用，但是基本上他們都只能保證能提供一個變電站至變電站的通道而已，他們並不能保證該通道的往返路徑，甚至是傳輸延遲時間！

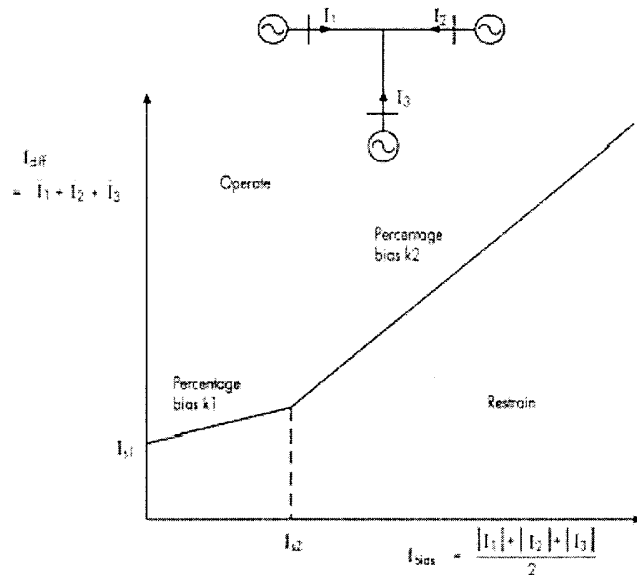
接下來本文將開始探討通訊系統中常見的 Synchronous digital hierarchy(SDH or SONET ring)應用於差流保護通訊時可能遇到的問題及如何利用衛星 GPS 時間同步訊號使得差電流保護變的更為可靠。

◆ 差電流電驛原理：

基本的差電流電驛理論就是去計算在保護區間內，所有進出電流的差值。如果超過設定值，電驛便會作動。

當外部故障發生，且 CT 飽和的情形下，所有進出之電流相量相加不為零，差電流也會產生。為了提供在外部故障況且 CT 飽和的情

形下電驛不至於誤動作，所以許多差流電驛便導用了比率型差動特性。這個方法是藉由隨著外部故障電流的增加而提高電驛動作設定值因而避免的電驛誤動作的發生。圖一即是一個典型的三端子差流電驛

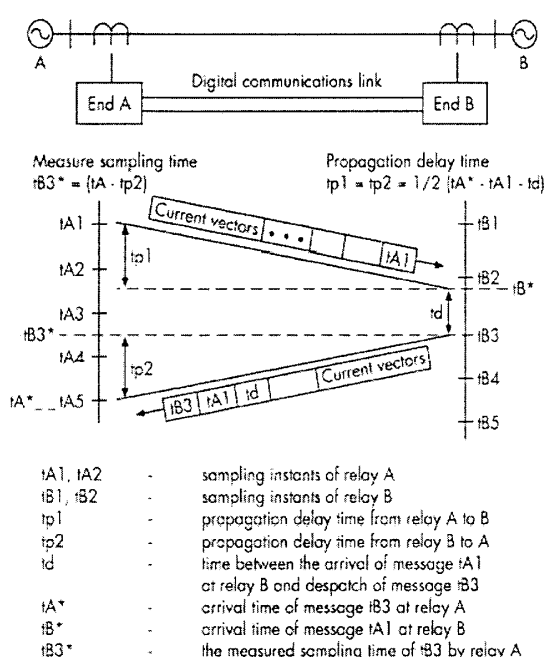


圖一：差電流特性曲線

動作特性曲線圖。理論上，在沒發生內部故障的情形下，差電流應該為零。然而實際上，因為線路每端的 CT 皆會有些許的不同，加上線路的充電電流在送電情況下隨時都會存在，種種因素皆會造成在正常送電或外部故障時差電流的產生。這樣產生的差電流應該對應到圖一特性曲線的下半部，也就是抑制區間。

◆ 傳統的時間同步技術：

為了準確地計算保護區間內的差電流量，每端點所取樣到的電流波形具有共同的時間基準點是必須的。以一個典型的 64Kbps 數位通



圖二：傳輸延遲的量測

道來傳輸線路端的電流相量資料，它必須同時量測並且補償通道的傳輸延遲。以前述 64Kbps 的數位通道為例，完整的將一筆資料傳至對方端，一般而言至少有 3ms 的延遲時間。

現在以一個兩端子的系統為例，如圖二所示。兩個完全相同的電驛分別放置在線路的两端，A 電驛

於時間 t_{A1} 、 t_{A2} ... 進行電流波形的取樣，B 電驛亦於時間 t_{B1} 、 t_{B2} ... 進行電流波形的取樣。此時須注意的是，一般而言，兩端電驛取樣的瞬間並不會一致的。

假設在時間 t_{A1} 時，A 電驛送出一筆資料給 B 電驛。這筆資料內除了包含了一個時間戳記 t_{A1} 外，還包含了在時間 t_{A1} 時當時電驛的狀態資料及當時計算的電流相量資料等。這筆資料經過了一段 t_{p1} 的時間延遲後到達 B 電驛。B 電驛亦同時記錄該資料的到達 B 端時間 t_{B^*} 。

因為 A 電驛及 B 電驛是完全相同的，B 電驛亦傳送資料給 A 電驛。假設 B 電驛於時間 t_{B3} 的時候傳送資料給 A 電驛，這筆資料不只包含時間戳記 t_{B3} ，它亦包含 t_{A1} 及 t_d ， t_d 為資料在 B 電驛的處理延遲時間，故 $t_d = (t_{B3} - t_{B^*})$ 。

該筆資料再經過了一段 t_{P2} 的時間後到達 A 電驛，A 電驛亦同時記錄該資料的到達 A 端時間 t_{A^*} 。A 電驛便能從該筆資料中返回的時間標記 t_{A1} 計算得知該筆資料的總往返時間為 $(t_{A^*} - t_{A1})$ ，這個總往返時間亦等於 t_{P1} 、 t_{P2} 及 t_d 的總和。因此 $(t_{A^*} - t_{A1}) = (t_{P1} + t_{P2} + t_d)$

在這樣傳統的時間同步技術下，必須假設該通道送收路徑及傳輸延遲時間是相同的，在這樣的假設下， $t_{P1} = t_{P2}$ ，因此 $t_{P1} = t_{P2} = \frac{1}{2}(t_{A^*} - t_{A1} - t_d)$ ，所以在通道傳輸延遲時間 t_{P1} 及 t_{P2} 是已知的情形下，電驛便可以藉由該時間去對齊電流的波形。例如假設 $t_{P1} = t_{P2} = 3\text{ms} = 3/16.67\text{cycle}(60\text{Hz system})$ ，那麼在接收端的電驛便需要將遠端傳來的電流相量資料與近端 $3/16.67\text{cycle}$ 前所存的電流相量資料做差電流運算。

所以在這樣一個傳統時間同步方式下，必須仰賴時間戳記的往返，才能得知該通道的延遲時間，故一般稱之為「乒乓」時間同步技術。

◆ 傳統時間同步技術的限制：

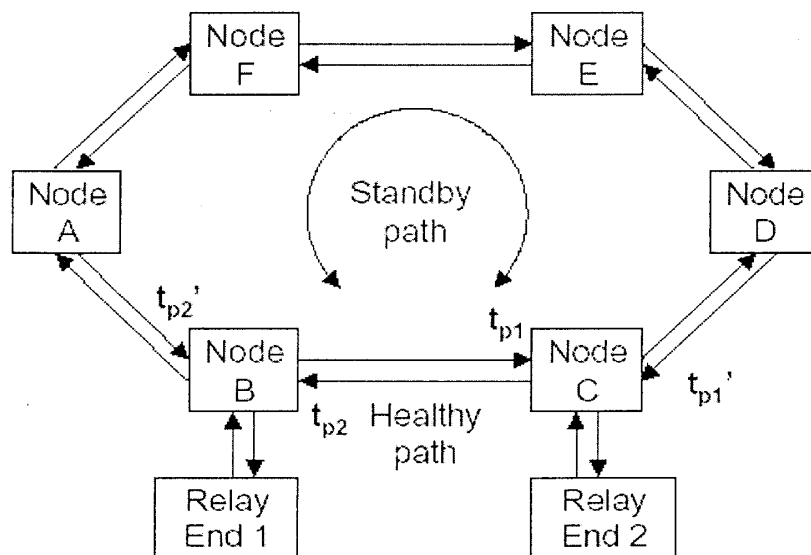
在假設 $t_{P1} = t_{P2}$ 的前提下，前述「乒乓」時間同步技術是可以提供一個可靠的保護的。例如以光纖直接引接的方式，便非常符合上述的假設，因為光纖送收路徑幾乎等長，而且資料以近光速傳輸，因此通道傳輸延遲時間不僅幾乎相同，而且非常的小。

但是光纖直接引接方式有其距離限制，一般而言大約 80 公里為其上限，除此之外隨著距離的增加，投資成本亦隨之增加，但是如果

以光纖為骨幹的多工器多點通訊網絡卻不失為一個更為經濟且具有無限擴展空間的作法，傳統的「乒乓」時間同步技術在多工器多點通訊網絡下依然是可行的，但是依然有著 t_{p1} 與 t_{p2} 必須相等或是非常接近的限制，這也表示著在多工器多點通訊網絡下需提供一個傳送和接收路徑 (Route) 相同的環境以供差流電驛使用。下一個段落將來探討在多工器多點通訊網絡下如果發生路徑分歧的情況下，差流電驛對於該現象容忍的程度為何。

◆ 同步數位階層式架構系統 (SDH/SONET SYSTEMS)

SDH/SONET SYSTEMS 目前越來越被廣泛的應用在通訊網絡中，像這樣的一個網絡系統具有極為彈性的規劃方式及自我痊癒 (Self-healing) 的功能。一般而言，採用環狀的網絡規劃方式便具有在點對點連結中斷時，能提供該環狀網絡自癒的功能。



圖三：同步數位階層式架構

圖三便是一個具有六個節點（A 至 F）的環狀網絡系統，電驛設備分別裝置在節點 B 和 C 上。在正常情況下，B 和 C 節點的傳輸延遲時間分別為 t_{P1} 及 t_{P2} ，而且 t_{P1} 及 t_{P2} 應該幾乎相等，在上述的情形下，「乒乓」時間同步技術應用於差流電驛保護上將不會有任何問題。

現在假設節點 B 至 C 的通道中斷，此時 SDH 系統允許切換新的路徑以維持資料繼續傳輸，此時節點 B 至 C 的新路徑為 B, A, F, E, D 至 C，因此傳輸延遲時間由原本的 t_{P1} 變為 t_{P1}' 。

◆ 通道傳輸延遲時間差異之容忍值：

假設 $t_{P1}' = 7.8\text{ms}$ ， $t_{P1} = 3.8\text{ms}$ ，依據「乒乓」時間同步技術，電驛會以 $\frac{1}{2}(t_{P1}' + t_{P1}) = 5.8\text{ms}$ 的補償來對齊兩端電流的波形，這表示與實際情況會有 2ms 的誤差，這個誤差值剛好是往返傳輸延遲時間差的一半。

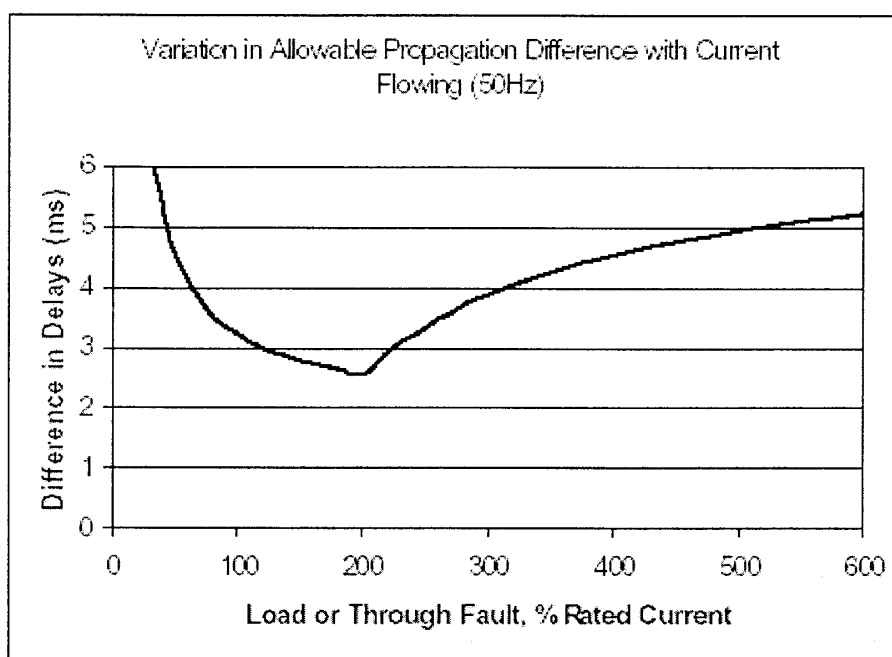
因此對一個 60Hz 的電力系統而言，2ms 的相角補償誤差換算成波形角度的誤差變為 $(2/16.67) \times 360^\circ \approx 43.2^\circ$ ，現在我們假設這個角度為 Θ 。

現在再假設負載電流 X 安培流過該保護線段，依據餘弦定理，便可導出因為相角補償誤差所產生的錯誤差電流 Y 。

餘弦定理定義對於任意一個三角形的三邊長 a , b , c 及每邊所對應之內角 A , B , C 下列等式恆成立： $a^2 = b^2 + c^2 - (2bc \cdot \cos A)$

現以 $b=c=X$ ， $A=\Theta$ 代入上式可推得 $Y = \sqrt{2} \cdot X \cdot \sqrt{(1 - \cos \Theta)}$ ，在不同的負載條件或故障電流的條件下，可以將各點對應至圖一的差電

流電驛動作曲線上，X 對應至圖一的橫軸，Y 對應至圖一的橫軸。



圖四：理論上電驛對於傳輸通道往返延遲時間差異的容忍值

因此對應於不同的負載條件下，便可以得到電驛對於通道傳輸往返延遲時間差異之容忍值。如圖四所示（50Hz 系統）。該電驛設定維持出廠設定，且 K2 斜率設為 100%，由圖四可看出臨界點就位在斜率 K1 及 K2 的轉折點上，也就是額定負載電流的 200%。

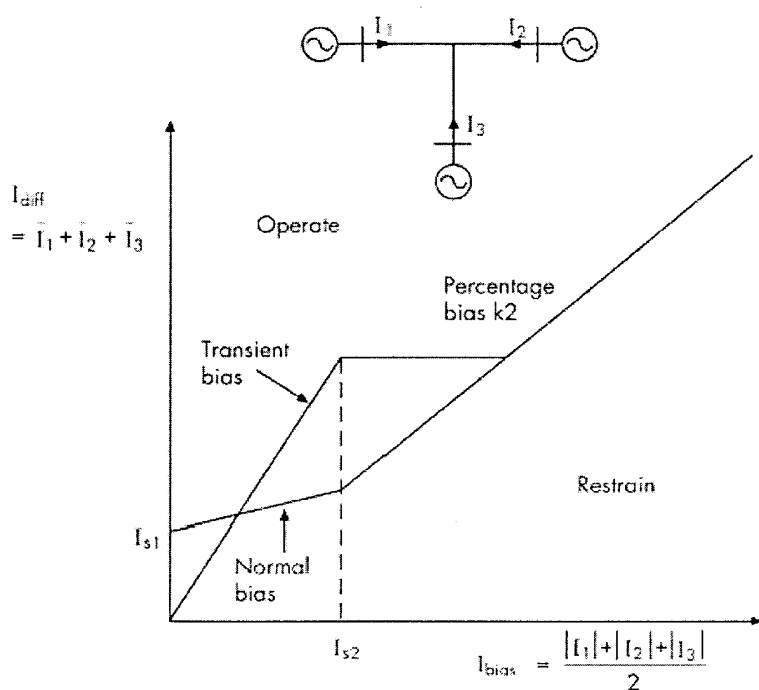
雖然從圖四看來電驛對於通道傳輸往返延遲時間差異之容忍程度可以到達 2.5ms，然而在實際的應用上，差流電驛的抑制區，也就是 BIASING，是為了補償 CT 本身的誤差，線路充電電流等等，所以實際上，差流電驛能允許的通道傳輸往返延遲時間差異就會更小，甚至到達 1ms。

對大多數的 SDH 系統而言，是無法保證其通道傳輸往返延遲時間

小於 1ms 的。為了避免多工器多點通訊網絡下如果發生路徑分歧的情況造成電驛誤動作，下面的段落將探討一些解決的方法。

◆ 瞬間變化 BIASING 方式：

對於某些通訊系統而言，是不允許如圖三送收路徑分歧的情況是永久存在的，所以當通訊中斷時，該系統會同時切換傳送和接收的路徑，在這種情形下，如果傳送和接收路徑的切換是同時的，「乒乓」



圖五：瞬間變化 BIASING 至 200% 以避免傳送及接收路徑切換時電驛誤動作

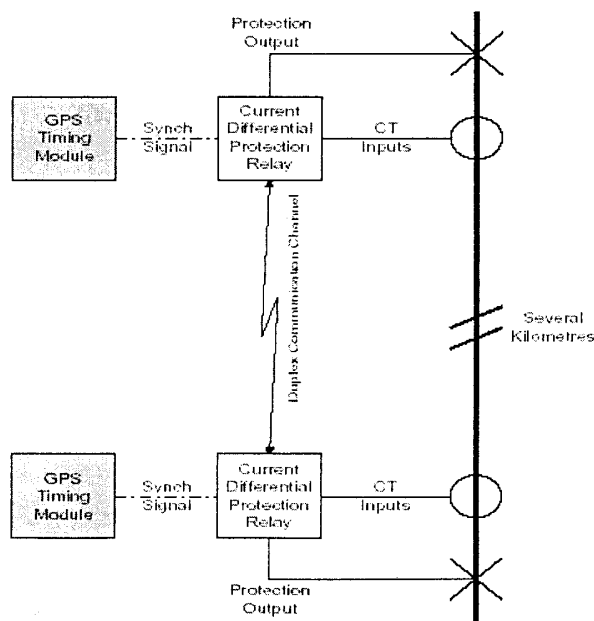
時間同步技術依然是可行的。但是實際上傳送和接收路徑的切換時間是會有微秒甚至毫秒上的差異的，而並非同時切換。萬一路徑分歧時間超過的差流電驛的故障判斷處理時間，則非常有可能造成電驛誤動

作的情況發生。

可以藉由通道傳輸往返延遲時間 t_p 值的變化量來檢查通訊網絡正常與否。在正常情況下， t_p 值的變化量應該非常的小（以微秒為單位，可能因為訊號擾動所致），但是如果電驛持續量測到 t_p 值變化量大於一個使用者定義的設定值範圍（例如 250us~1000us），此時便可以觸發電驛短時間的改變其動作曲線，如圖五所示。這個瞬間變化 BIASING 的方式提高了穩定性，而且對於大部分的內部故障而言依然不會喪失其保護作用。其實這種方式亦相當於使用過電流元件監視來決定是否閉鎖跳脫迴路是一樣的。

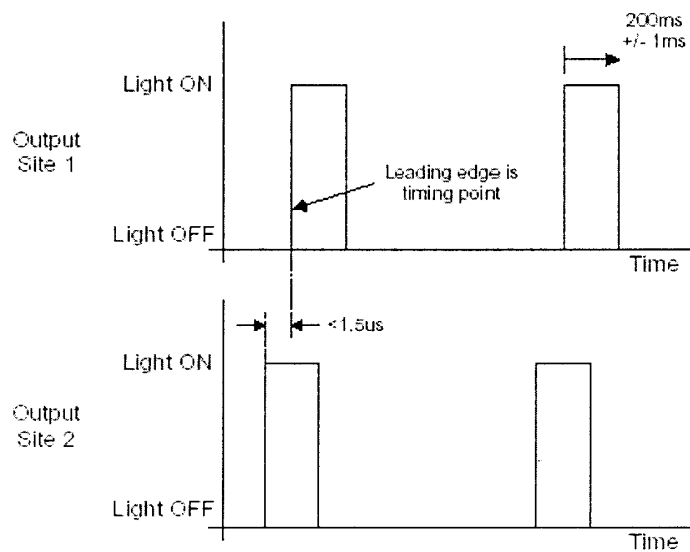
◆ GPS 時間同步差電流保護：

當 SDH/SONET 通訊系統發生通道傳輸往返延遲時間差大於 1ms 且



圖六：利用 GPS 時間同步訊號來同步兩端的電驛

該現象持續超過一段時間，「乒乓」時間同步技術便無法發揮作用了。但是如果將 GPS 時間同步訊號引入電驛（如圖六所示），則電驛之間將會架構在一個共同的時間基準上，此時便不需要像傳統的「乒乓」時間同步技術一樣，須等待資料送出並返回後才能計算通道傳輸延遲時間，而是當一收到資料後便能由該筆資料中的時間戳記直接計算出通道傳輸延遲時間。再以圖二為例，如果兩端電驛皆以 GPS 時間同步訊號為時間基準，此時時間戳記 $tA1$ 對於 B 電驛而言便是一個有意義



圖七：GPS 時間同步訊號

的值了，故 B 電驛可以直接計算出由 A 電驛至 B 電驛的通道傳輸延遲時間 $tp1 = tB^* - tA1$ ，同理， $tp2 = tA^* - tB3$ 。

圖七顯示 GPS 時間同步模組輸出一個每秒一次的脈衝訊號（1pps），且不同變電站之間的時間差異極小，如此電驛便可以該脈衝的正緣為共同時間基準的觸發信號。

◆ GPS 時間同步信號的可靠度：

「乒乓」時間同步技術的一個優點就是他不需藉由任何其他的設備便可以完成通道傳輸延遲時間的計算，所以整體在保護上的可靠度便提高了。如果整個保護系統需加上額外的設備，則發生故障的機率將會大為提高。

當 GPS 時間同步技術被應用於差電流保護上時，應該要考慮到 GPS 設備發生故障的情形。通常有下列因素會影響到 GPS 時間同步信號的正常與否，(1)GPS 天線會因為受到鹽害，如海岸地區而去信號。(2)GPS 天線安裝方式不良或是接觸不良，導致天線與主機中斷。(3)維護人員的疏忽。(4)GPS 信號受到軍事設施的干擾。

但是實際應用上，只要安裝得當，失去 GPS 信號的機會是微乎其微的，就算是軍事設施的干擾大多限於定位方面，對於時間同步則不受影響。

但是差電流保護通常用於主保護方式，所以在失去 GPS 信號得時候，應該有一套「備援」的方式而使得差電流電驛能繼續工作。下一個段落將會提到幾個「備援」的方法和技術。

◆ 當失去 GPS 信號時的「備援」技術：

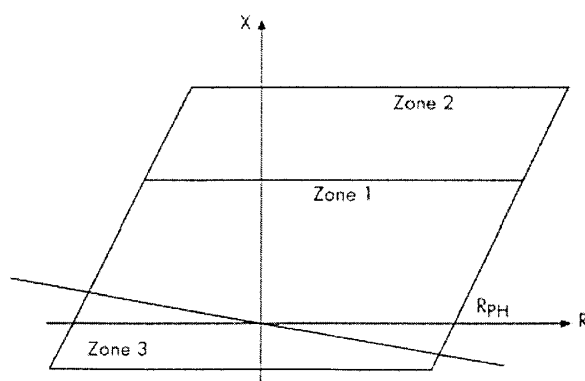
就像一般的保護電驛應用方式一樣，Main 1 保護及 Main 2 保護互為對方的「備援」系統，斷路器失靈電驛為斷路器不跳脫時的「備援」系統。同樣的觀念亦可以衍生至失去 GPS 信號上。失去 GPS 信號是一個單一偶發事件，這時最不希望再發生其他的事件，例如 SDH/SONET 網絡系統的路徑切換問題。

在 GPS 時間同步信號正常狀況下，其實電驛仍可以將傳統的「乒乓」時間同步技術放在背景之中持續的執行，去計算該通道的傳輸延遲時間，因此無論 GPS 信號正常與否，至少電驛還是可以知道通道往返的傳輸延遲時間($t_{P1} + t_{P2}$)。所以當失去 GPS 時間同步信號時，如果在背景下計算的($t_{P1} + t_{P2}$)值變化不大的話，表示 SDH/SONET 網絡系統並沒有同時發生路徑切換問題，此時差流保護電驛仍可以正常工作。

但是如果不幸於失去 GPS 時間同步信號後，接著發生路徑切換的問題，則此時最好是有一個機制能夠閉鎖差電流電驛功能，並且馬上導入「後衛」(非差流元件)的保護。

還有一種作法便是，當失去 GPS 時間同步信號後，電驛隨即以其內部極為精準的震盪器來取代 GPS 時間同步信號，以維持差流電驛的時間基準，但是這個方法還是有其問題存在，因為每個電驛的震盪器其精準度還是會隨著時間而產生飄移的。

◆ 差電流電驛的「後衛」保護



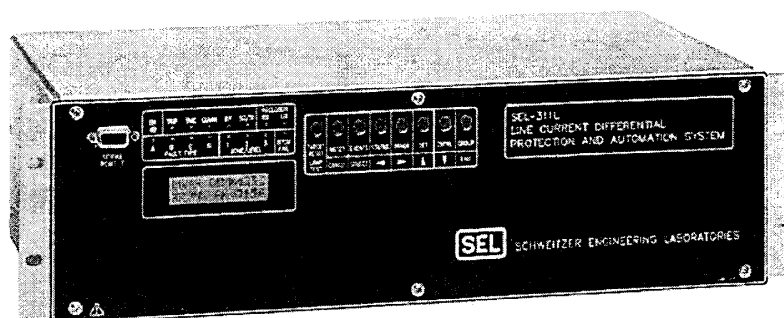
圖八：當通道發生故障時的後衛測距保護

差電流電驛非常依賴其通訊通道的好壞，所以可以規劃另一個「備援」通訊通道以供電驛使用，通常稱之為（Hot standby channel），不過這樣的投資成本較高。其他方法像是利用電驛內部提供的其他元件，例如測距元件、方向性過流元件或是過流元件等亦可以作為其「後衛」保護。

◆ 結論：

利用 GPS 時間同步信號的差電流電驛保護對於輸電線路而言提供了一個更為可靠的保護方式，再搭配上前述的「備援」及「後衛」保護方式，更可以使得本文所提之差流保護方式其安全性及可靠度亦大大的提升。

伍、 SEL 公司 SEL-311L 數位型差電流電驛介紹



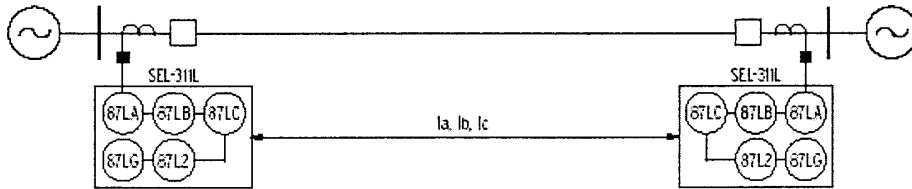
本次台電公司 345KV 保護電驛汰換工程 A 組得標廠家所提供之主保護產品即為 SEL-311L 數位型差電流電驛，該項產品為台電輸電系統保護電驛設備第一次使用，目前尚無任何實際應用經驗。此次因公奉派出國，很榮幸有這個機會能到座落於美國華盛頓州 PULLMAN 的 SEL 公司參觀，接下來便針對 SEL-311L 數位型差電流電驛做一個介紹。

該電驛主要的特色為，它是一具動作時間小於 1 週波的高速差電流電驛，對於外部故障能提供極佳的抑制，並且該電驛之差電流元件設定極為簡單。另外內建有測距元件，能另搭配通訊輔助裝置達到全區段快速跳脫保護，其他還有內建方向性過流後衛保護、CVT 暫態閉鎖邏輯及接地方向性元件選用的最佳決策機制等。除此之外該電驛的事故記錄功能及電表功能亦極為強大，對於故障發生後的事務分析有很大的幫助。其差動電驛功能最大支援至三端子保護，所用之通訊頻道介面共計有四種 G.703 codirectional to multiplexer, EIA-422 56/64Kbps, IEEE 37.94 fiber optic 及 1300nm fiber optic。目前

本公司選用 EIA-422 56/64Kbps 介面與本公司通信處的多工機連結。

◆ SEL-311L 的差電流元件：

SEL-311L 差電流電驛共計有五個差流元件：除了每相獨立一個差電流元件外，還有接地電流元件及逆相序電流元件。每相的差電流元件可針對大電流的故障提供高速的跳脫，接地電流元件及逆相序電流元件則能在不影響安全性的前提下提供偵測不平衡故障最佳的靈敏度。



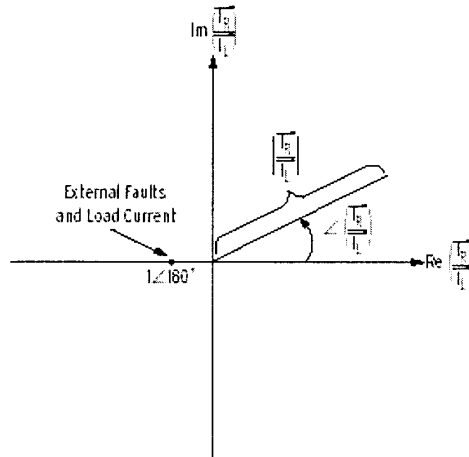
圖九： SEL-311L 的差電流元件

SEL-311L 差電流電驛無論是在二端子或是三端子情況下，時時刻刻都在彼此交換著時間同步過的 I_a , I_b 和 I_c 電流採樣資料，每個電驛亦會去計算各端點的 $3I_2$ 及 $3I_0$ 。每個電驛內部的差電流元件 87LA, 87LB, 87LC, 87L2 及 87LG 會和各端點的 I_a , I_b , I_c , $3I_2$ 及 $3I_0$ (I_G) 做比較。各端點的電驛在此一點對點架構下，皆各自執行相同的差電流運算法則，如此可以避免使用遙跳 (Transfer Trip) 所造成的延遲。

相差電流元件 87LA, 87LB 及 87LC 可以可靠地偵測到三相故障。負相序差電流元件 87L2 可以偵測到內部非平衡故障，並且當任何一個端點的三個相電流超過三倍的 I_{nom} 時 87L2 元件是被抑制的。

◆ 動作原理：

圖十可以幫我們瞭解到一個兩端子的系統其相差流元件及負相序差流元件的動作原理，該圖所示的即為阿爾發平面（Alpha



圖十：用阿爾發平面表示遠近端電流的比值

Plane)，該平面能表示相量（Phasor）及遠端電流（ I_r ）及近端電流（ I_l ）的比。所以對於每一種電流（相、負相序、及零序電流）皆有其對應之阿爾發平面。

任意假設一個流進保護線路的電流其角度為零度，流出該保護線路其角度為 180 度，所以一個 5 安培的負載電流流經近端及遠端電驛，以 A 相而言近端電流為 $5 \angle 0^\circ$ ，而遠端為 $5 \angle 180^\circ$ ，所以可知各相的遠端比近端之值如下：

$$\frac{I_{AR}}{I_{AL}} = \frac{5 \angle 180^\circ}{5 \angle 0^\circ} = 1 \angle 180^\circ$$

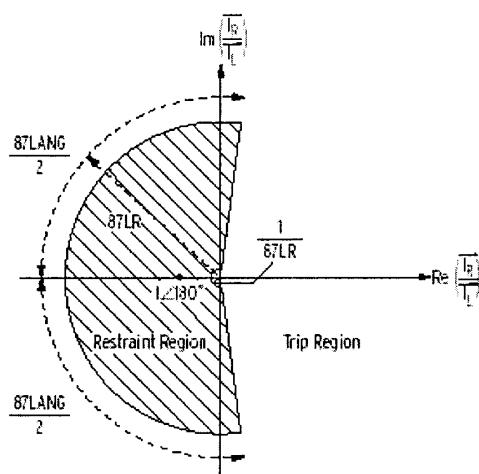
$$\frac{I_{BR}}{I_{BL}} = \frac{5 \angle 60^\circ}{5 \angle -120^\circ} = 1 \angle 180^\circ$$

$$\frac{I_{CR}}{I_{CL}} = \frac{5 \angle -60^\circ}{5 \angle 120^\circ} = 1 \angle 180^\circ$$

在 A 相的阿爾發平面上，可對應到左半平面上的一點，其他如 B 相及 C 相亦同。

所以理論上，在一般負載電流情況下，或是外部故障情況下，對應至阿爾發平面上都是同一個位置，也就是 $1 \angle 180^\circ$ 。

SEL-311L 差電流電驛在 $1 \angle 180^\circ$ 周圍有一個抑制區，如圖十一所示，當在遠端比上近端電流的比值位在抑制區外，且差電流超過設定的門檻電流值時，則電驛會下達跳脫指令。



圖十一：SEL-311L 電驛的抑制區及動作區

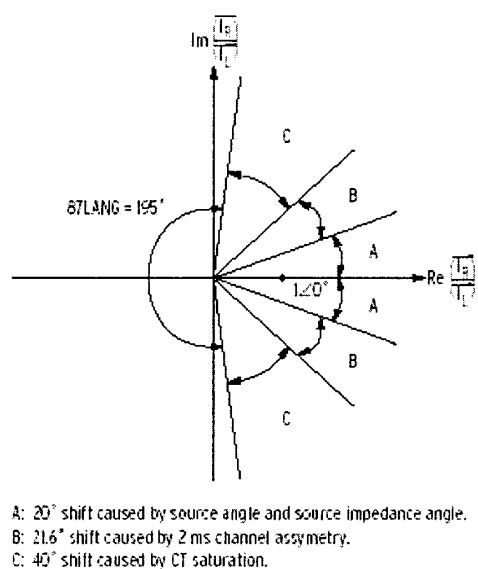
該抑制區的形狀是由兩個設定值來定義的，如圖十一所示，87LANG 決定了以阿爾發平面原點為原心的延伸角度，而 87LR 則決定了抑制區的外邊界，87LR 的倒數則決定的抑制區的內邊界。

事實上其他所有傳統的差電流電驛、相比較電驛及電荷比較電驛的動作特性皆可以轉換並對應至阿爾發平面，但是在許多情況下，SEL-311L 差電流電驛的動作原理確實具有較佳的安全性、可靠度、靈敏度及速度。

其中該電驛的 87LANG 設定較具討論性，故藉此報告將之提出特別探討。

◆ 87LANG 的設定：

請參考圖十二，假設現在在一個齊次系統下且無負載電流的情形下，在線路的中點發生了一個三相故障，這時遠端比上近端電流的比值應為 $1 \angle 0^\circ$ ，這時該點座落於圖十二的右半平面上。但是實際上在



圖十二：87LANG 的設定是基於外部故障時最大可能發生的阿爾發平面角

一個非齊次系統中，線路端點的電流相角是不同的，因此遠端比上近端電流的比值其角度也不為零。假如電源阻抗角有 10° 的差異，並且在電源之間亦存在著 10° 的相角差 (Source angle)，則此時遠端比上近端電流的比值其角度會接近 20° 。

假如故障不是發生在線路的中點，或是電源強度不同，則遠端比上近端電流的比值會座落在 $1 \angle 0^\circ$ 的左和右，而最極限的情況便是在

其中一端電流近乎於零時 (Weak-infeed)。

假如遠端的電流趨近於零，則遠端比上近端電流的比值會往右半平面向著原點的方向靠近，假如近端的電流趨近於零，則遠端比上近端電流的比值一樣會座落於右半平面但是卻向著遠遠的右邊移動。

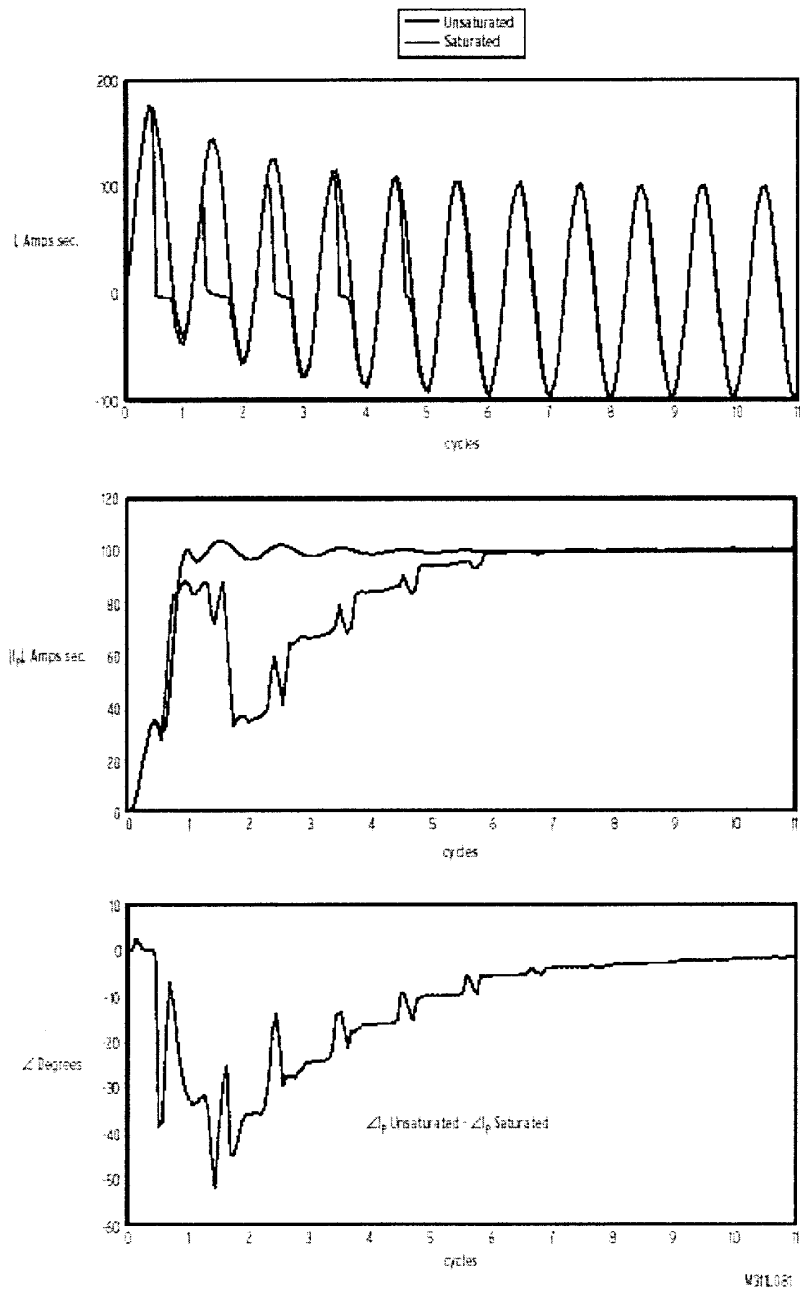
因此對於任何一個三相內部故障而言，其相電流遠端比上近端的比值恆座落於右半平面以正實軸左右 $+/-20^\circ$ 為夾角的區域內。

現在接下來再考慮因為通道傳輸往返延遲時間差異而造成的差流電驛的資料對齊及波形補償的問題。假設一個具有 30 個節點的 SONET 環狀通訊網路中一個極端的情形，那就是送收路徑為不同方向，則其通道傳輸往返延遲時間差異可接近 2ms (單向 100us，另一方向 2ms)。因此 SEL-311L 差電流電驛會計算出接近 1ms 的單向傳輸延遲時間。

在這樣的情形下，SEL-311L 差電流電驛會將近端 1ms 前量測到的電流波形與遠端的電流波形來做運算，此時每一端的電驛皆有著 1ms 的補償誤差 (一端為提早 1ms，另一端為延後 1ms)，這樣亦造成了一個阿爾發平面上的角度誤差，以 60Hz 的系統而言，1ms 的時間同步誤差相當於 22° 。又因為一端為提早 1ms，另一端為延後 1ms，故一端為正 22° ，另一端為負 22° 。

加上前述之非齊次系統所產生的誤差，可以得知最差的情況下，對於一個內部故障而言，在阿爾發平面上的相角誤差範圍最大可至 $+ / -(20^\circ + 22^\circ) = + / -42^\circ$ 。

皆下來考慮比流器飽和的狀況。如圖十三所示，一個嚴重飽和的比流器會暫時導致比流器二次側基本波成分領先一次側波形達 40° 之



圖十三：比流器飽和導致相角的領先及振幅變小的現象

譜，所以如果考慮到比流器飽和、系統非齊次現象、負載的角度及數位通道傳輸往返延遲時間差異，對於一個三相內部故障而言，在阿爾發平面上的相角誤差範圍最大可至 $+ / -(40^\circ + 22^\circ + 20^\circ) = + / -82^\circ$ 。

現在考慮一個內部接地故障的負相序差電流元件，因為系統的 Source angle 對於該元件無影響，所以理論上在阿爾發平面上的負相序差電流元件相角誤差範圍最大也不會大於相差流元件相角誤差範圍。

所以如果以三相內部故障而言，在阿爾發平面上的相角誤差範圍最大可至 $+/-82^{\circ}$ 來考量，因為 $360^{\circ}-(82^{\circ}\times 2)=196^{\circ}$ ，所以該電驛 87LANG 的出廠設定值選用 195° 。

◆ 結論：

本報告針對該型電驛的功能、特性及其差電流元件及 87LANG 設定做了一個簡單的論述。將來應用於本公司系統線路保護上時，應對本公司系統先有充分之研究及瞭解後，方能計算出最佳設定值並應用於該型電驛上，以求能發揮其最大功效，進而使電力系統運作更為安全、可靠。

陸、心得報告

數位型差流保護電驛配合數位通訊媒體介面或光纖電纜之運用，具有線路全段快速跳脫保護之功能外，更因資料存取容易、附加功能多、維護週期長等優點，實為將來發展的主流。公司日後即將引進數位型差流保護電驛並運用於輸電線路保護上，藉以取代本公司目前使用於輸電線路保護之傳統電驛；為使本公司輸電線路保護系統之規劃運用更為靈活、維護工作更為簡化，期望藉此遠赴須國外電驛設備廠家研習之機會，吸取該型電驛未來發展方向並對其特性、原理進行更深入之認知與了解之後，期能於未來應用於本公司系統時能發揮其最大功效，確保供電安全、系統穩定。