

測距電驛之基本原理與應用

李國楨

壹、引言

在台電龐大的電力設備中，以輸配電線路之規模架構，及幅員遼闊最為宏觀壯麗。舉目眺望，從高山到海濱，跨過田園和荒野，穿越無數的城鄉和小鎮，縱橫交織，綿密如網。無時無刻都默默肩負起運輸發電機所輸送出來的電力，秉持著任重而道遠之精神，無遠弗屆地傳輸電力到每一個角落，點燃了萬家燈火，照亮了不夜城，帶給了工商業蓬勃發展的生機展望，滿足了人們享受現代化科技文明舒適的家居生活。

然而輸配電線路在傳輸電力過程中，仍不免發生不可預測之意外狀況，諸如：電擊、風害、霧害、雷害、異物碰觸，線路斷落，及民眾感電或過失等諸因素，此時端賴保護輸電線路之電驛 (Relay)，適時快速跳脫斷路器，利用區隔方式，將事故區域隔離於健全電力系統區域之外，其積極目的，在求維持電力系統繼續運轉供電，消極的目的在於防止事態持續擴張，減少電力設備受損層面或嚴重程度，以及避免人員之慘重傷亡。

由此可知，保護電驛確實是扮演電力系統安全運轉所不可或缺之角色，環顧國

外各電力事業經營者亦有同感，故讚譽保護電驛為電力系統安全運轉之守護神，絕非過言，蓋實至名歸也。

有關輸配電線路之保護方式頗多，不一而足，如過電流方式、方向性過電電流方式、電流差動方式 (Differential Current Type)、測距方式 (Distance Type) 等廣受應用，然尺有所短，寸有所長，各有利弊優劣，故通常交互選配應用，以互補彼此間功能性不足之處。

前面所提線路保護方式中，尤以測距保護方式獨佔鰲頭，是故特闢文談論「測距電驛之基本原理與應用」，專題研討略敘如下：

- 一、線路事故距離計量之原理
- 二、測距電驛之動作模式
- 三、測距電驛之特性及動作解析
- 四、測距電驛之區間標置及應用

本文擬供初學者或對於保護電驛相關之工作有興趣者，建立一個基本的、正確的、實用的概念，進而奠定良好之礎石，日後對設計與應用方面能有所助益，是所期許。

貳、線路事故距離計量之原理

首先，應實地完成線路長度與線路阻抗值之相關試驗，通常而言，線路長度與線路阻抗約略成線性正比例關係。因此若已知確定保護某一線段時，先推算其線路

之等效阻抗值，再設定入測距電驛，如此保護電驛即可偵測到事前要求保護之保護範圍。

如圖示，基本上測距電驛係取自電力系統

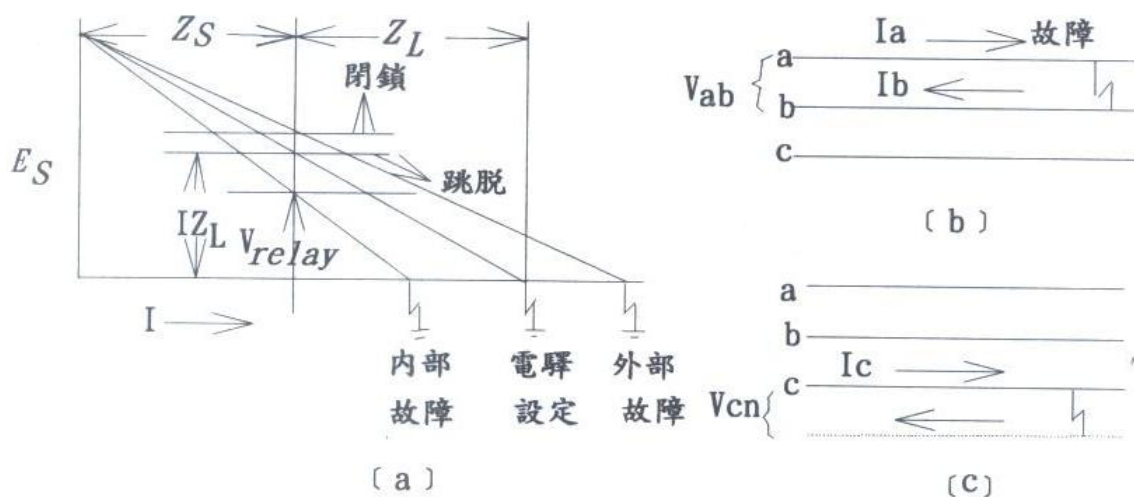


圖1.測距電驛動作原理

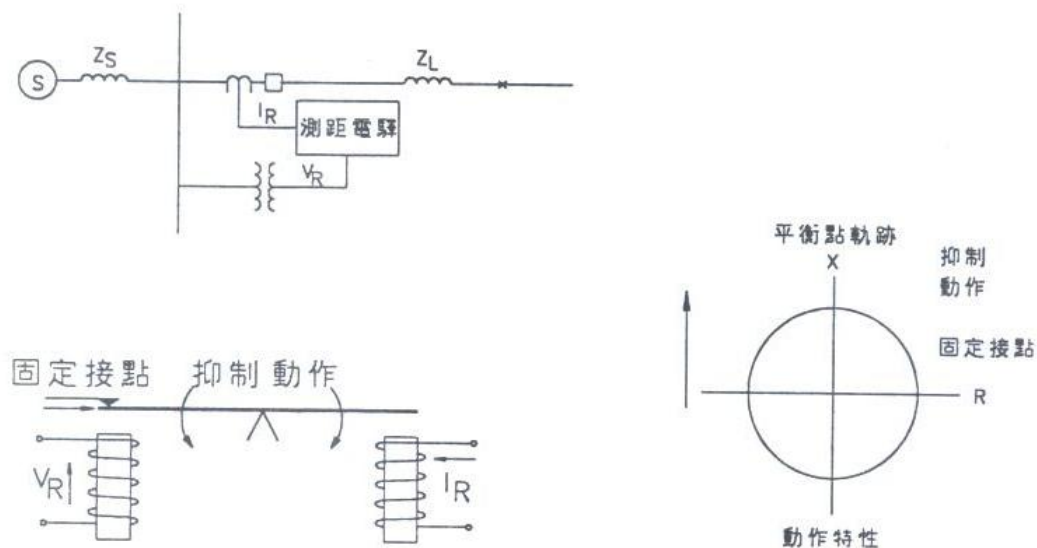


圖2.平衡槓桿模式測距電驛

電壓源比壓器 (PT) 之二次側電壓，和所保護線路電流源比流器 (CT) 二次測之電流，兩者之比值 $V/I = Z$ ，即是一阻抗值，若將此阻抗值設計與線路事故成特定之關係，則此測距電驛可視為線路保護之特定阻抗函數。

如圖 1(a) 所示：當電力系統發生事故時，系統之電壓將驟降，同時事故電流陡增，使得測距電驛內部之電壓、電流大小同時產生微妙變化。

假設測距電驛阻抗標置 (Setting) 為 Z_L 值。

- A. 若 $V < I * Z_L$ 時，稱內部事故，電驛將動作跳脫。
- B. 若 $V = I * Z_L$ 時，稱平衡點 (即測距電驛標置點)，電驛呈未定狀態。
- C. 若 $V > I * Z_L$ 時，稱外部事故，電驛維持原狀不動作。

圖 1(b) 表示：電力系統 a、b、c 三相運轉，其中 a、b 兩相發生短路，故障電流自電源端 a 相以 I_a 流出經事故地點折返以 I_b

流返電源端 b 相設備，構成一事故迴流。

圖 1(c) 所示：電力系統三相四線式運轉，當 c 相發生接地事故，故障電流自電源端 c 相設備以 i_c 流出，經事故點折返，以 I_n 流返電源端之中性接地點，完成一事故迴流。

參、測距電驛之動作模式

如圖二所示，以平衡槓桿模式來充分說明測距電驛動作情形。前已提及電力系統在發生事故時其系統電壓瞬間降低，而事故電流卻瞬時增大，故利用此種特性，選擇電流為動作力矩源，電壓為抑制力矩源之考量。如圖中之模型，在一水平槓桿之左端為可動接點，其支點則在正中央位置，當左側電壓線圈附勢時，吸引水平槓桿向左側傾斜，使得可動接點離開固定接點，若右側之電流線圈在附勢時，將吸引平衡槓向右下方傾斜，使得左方之可動接點碰觸及固定接點，完成閉合通電。

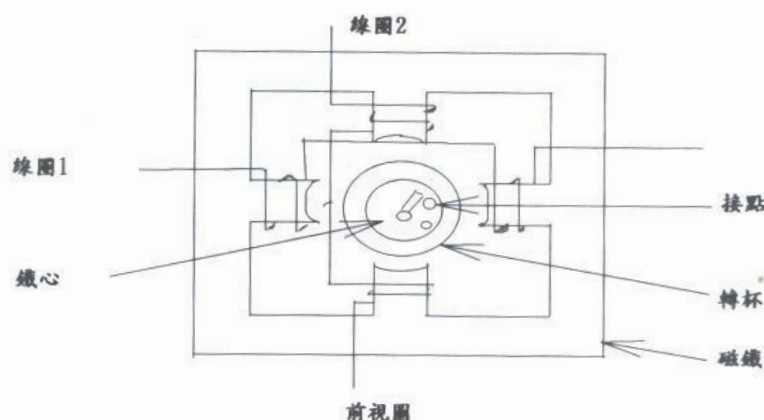


圖 3. 典型的電機機械式感應杯型電驛

上述電壓、電流均取自電力系統相關之電壓源、電流源之二次側處，如圖中之 I_R 、 V_R 即是，如某一線路事故發生在距離電驛端 $Z_L \Omega$ 處，此時事故位置之電壓

值可視為零，而電驛端之電壓為 V_R 其值為 $I_R * Z_L$ 。若將此事故電流 I_R ，加到模式中電流線圈，再逐步調整左側電壓線圈之電壓，使抑制力矩等於動作力矩，則平衡

槓桿必然保持水平狀態，亦即 $V_R/I_R = I_R * Z_L/I_R = Z_L$ ，此時稱為平衡點或臨界狀態。

討論：

- (1) 若事故發生於 $(Z_L - \Delta Z_L)\Omega$ 處，電驛端測得之阻抗值為 $(Z_L - \Delta Z_L)\Omega$ ，故電壓抑制力為 $I_R * (Z_L - \Delta Z_L) = (V_R - I_R * \Delta Z_L) < V_R$ ，而 V_R 為維持平衡臨界值，故平衡槓偏右側下降使得左方接點閉合通電。
- (2) 若事故點超越過 $Z_L\Omega$ 時，則電驛端測得阻抗為 $(Z_L + \Delta Z_L)\Omega$ ，其抑制力為 $I_R(Z_L + \Delta Z) = I_R * Z_L + I_R * \Delta Z_L = (V_R + I_R * \Delta Z_L) > V_R$ ，即大於維持平衡狀態所

需值，故平衡槓應向左側下方傾斜，接點仍保持開路。

平衡點一詞，係指測距電驛動作與否之關鍵點，在近代許多測距電驛動作解說理論上，經常被提及且亦受相當程度之重用。

圖3 為一電磁式或機電式感應圓筒型測距電驛，係利用平衡槓原理來設計，其動作力矩 $T = K_1 * I_R^2 - K_2 * V_R^2$ 在平衡點時 $T=0$ ，整理之 $K_1/K_2 = V_R^2/I_R^2$ 其有效運作範圍或阻抗 Ω 值 $Z_L = V_R/I_R = \sqrt{(K_1/K_2)}$ 。

肆、測距電驛之特性及動作解析

所有測距電驛均採集電力系統中電壓源和電流源，再將其電流成份轉化為電壓量，如圖(4)

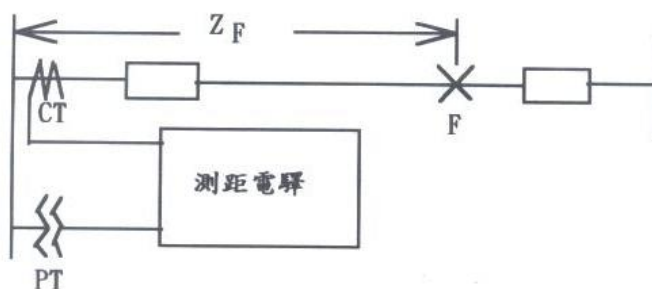


圖 4. 測距電驛之電壓、電流源

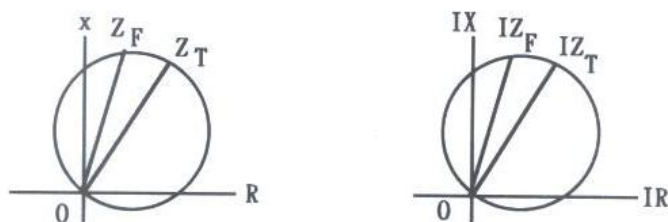


圖 5. 測距電驛量測原理之相量圖

電壓部份自系統電壓源，經比壓器二次側再進入電驛。另電流部份自線路負載電流，經 CT 二次側進入電驛內部之轉換器(Transactor)一次側；該轉換器係一空氣隙(Air gap)變壓器，耦合感應至轉換器二次側，此電流經負載端電阻，形成一跨接電壓 V_T 。由於轉換器一、二次側電流成正比，而跨接電壓和二次側耦合感應電流亦成正比，易言之，跨接電壓 V_T 應與 CT 二次側電流 I_R 成正比，且兩者之比值為 $V_T/I_R=Z_T$ ，此處 Z_T 稱為轉換器之轉換阻抗，如圖(4)所示，設線路在 F 位置發生事故，測距電驛量測到阻抗值 Z_F 時，電驛端之電壓 V 應等於故障電流與故障阻抗之乘積，即

$$V=I_R * Z_F \dots (1)。$$

此時電流經轉換器二次側負載之跨接電壓為：

$$V_T=I_R * Z_T \dots (2)。$$

(1)、(2)式皆具有相同之電流 I_R ，故

$$V/V_T=Z_F/Z_T$$

即 Z_F 與 Z_T 在 R-X 座標圖形應與 V (亦即 $I_R * Z_F$) 及 V_T ($I_R * Z_T$) 在 IR-IX 座標圖形上，具有相同之相量圖及相同形狀分佈，如圖5所示。

測距電驛之特性，常見者如圖 6(a)導納型 (b) 阻抗型 (c) 電抗型。

(a) 導納型 (Admittance) 亦稱姆歐元件 (MHO Unit)，其阻抗值 $Z_R=V/[I*\cos(\phi-\theta)]=Z_X \sec(\phi-\theta)$

此處之 Z_X 代表原點至圖周上某一點之連線，且該連線與水平軸夾 θ 角， Z_R 代表電驛阻抗圖之直徑，其與水平軸之夾角為 ϕ 。

例：某一 MHO 元件，其最大運作範圍系在 75 度，設額定電流 CT 二次側為 5A，且該電流落後電壓 30°，若比壓器二次側額定電壓為 120V，則額定阻抗電阻

$$\begin{aligned} Z_{Load} &= V_{LN}/I_{load} \\ &= (120/\sqrt{3}) * (1/5) \\ &= 13.86 \Omega = Z_X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{又因 MHO 元件最大運作範圍在 } 75^\circ, \text{ 故 } Z_R &= Z_X * \sec(75^\circ - 30^\circ) \\ &= 13.86 \Omega * \sec(45^\circ) \\ &= 13.86 * \sqrt{2} = 19.6 \Omega \end{aligned}$$

此可換算為線路一次側的實際故障阻抗值利用公式：

$$Z_{R(pri)} = Z_{R(sec)} * (R_V/R_C)，$$

此處 R_V 指比壓器之比值， R_C 指比流器之比值。假設該線路為 161KV 系統，比流器之比值 1000/5A 則：

$$\begin{aligned} Z_{R(pri)} &= 19.6 \Omega * (161000/120)/(1000/5) \\ &= 131.5 \Omega，\text{線路一次側} \end{aligned}$$

MHO 型電驛特性圖之解析

前已提及，線路事故時，系統電壓驟降，事故電流陡增，此舉使電驛端電壓 V 與轉換器二次側跨接電壓 $I * Z_T$ ，兩者間微妙變化使得 $(I * Z_T - V)$ 與 V 之夾角在內部、外部或平衡點上，產生截然不同之現象。

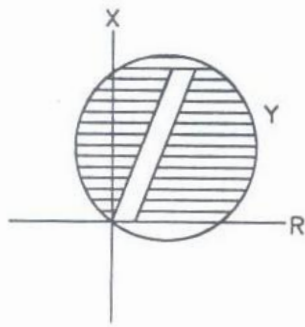


圖6(a).導納型

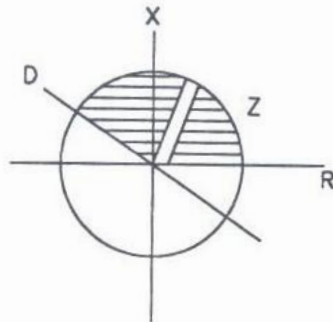


圖6(b).阻抗型

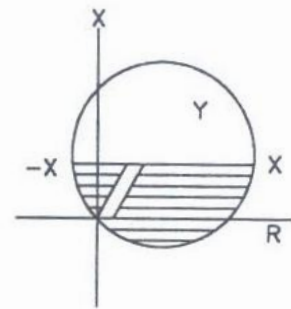


圖6(c).電抗型

如圖 7(a)之事故位置，恰好落在平衡點上， V 向量之末端剛巧落在圓周上，使得 V 與 $(I \cdot Z_T - V)$ 之相位差 90° ，電驛呈現未定狀態。

如圖 7(b)之事故位置，落於電驛標置阻抗圖內，故 V 向量之末端落入圓內，使得 $(I \cdot Z_T - V)$ 落後 V 之相位差小於 90° ，電驛將動作跳脫。

如圖 7(c)之事故位置，超越電驛標置阻抗圖外，故 V 向量之末端在圓外，使得 $(I \cdot Z_T - V)$ 落後電壓 V 相位差大於 90° ，電驛維持原狀。

圖 6(b)為阻抗型 (Impedance)，阻抗 $Z_R = V_R / I_R$ ，從阻抗圖分佈位置來看，無論 V_R 與 I_R 間之相位關係如何變化，該阻抗元件在全部四個象限均可動作，因此，無法選擇判斷事故之方向，必須搭配一獨立式方向性元件，如圖 6(b)之“D”線所示，方能完成有選擇性之保護區間。惟此種設計已屬過時，近來漸被 MHO 型所取代。圖 6(c)電抗型 (Reactance) 亦稱歐姆元件 (OHM unit) 電抗 $X = (V/I) \cdot \sin \theta$ ， θ 表 V 、 I 間之夾角。此種元件僅量測線路阻抗值中

之電抗成份，故可免除伴隨事故發生所衍生出來之電阻量（如異物碰觸，弧光電阻等）是其優點，但發生在電驛背後方向之外部事故則有可能誤動作，或在正常負載之功率因數接近 1.0 時，電抗元件觀察到電力系統負載電抗成分幾乎近似零值（因 $\sin \theta \approx 0$ ，當 $\theta \rightarrow 0^\circ$ ），亦可能發生誤動作，故在實際應用上，另設計搭配一獨立式之方向性元件來限制上述兩現象，通常選配 MHO 元件，如圖 6(c)中“Y”圖，使其特性更趨完美。又平時之負載電流 I_L 與故障電流 I_F 基本性質差異甚大，負載電流 I_L ，其功率因數相當高，故與水平軸夾角較小，而故障電流 I_F ，其功率因數特低，故與水平軸夾角較大，此現象使得電抗元件能發揮所長。

OHM型電驛特性之解析

電抗型電驛之特性，繪製在 R - X 座標圖上，顯然為一平行於水平軸之定電抗值直線，除前述電壓 V 、轉換器之端電壓為 $I \cdot Z_T$ 外，尚須由電流源二次側電流導出的

極化電壓 $I \cdot Z_p$ ，運用 $(I \cdot Z_T - V)$ 與 $I \cdot Z_p$ 間之相位關係來研判事故位置。

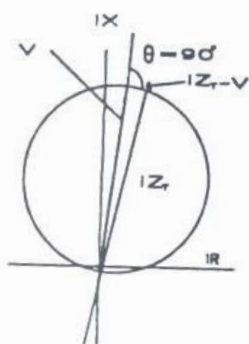


圖7(a).平衡點事故

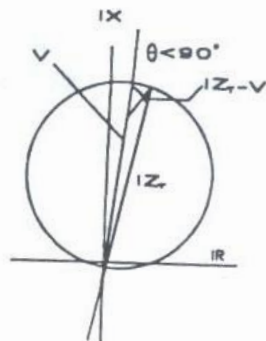


圖7(b).內部事故

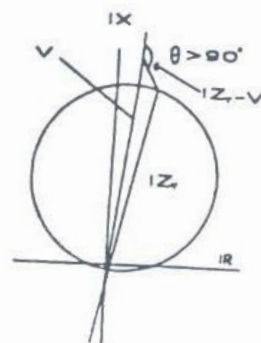


圖7(c).外部事故

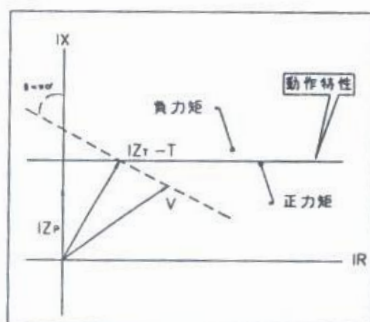


圖8(a). 平衡點事故

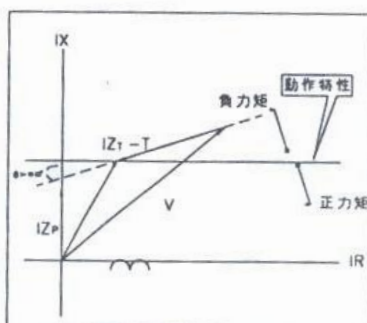


圖8(b).內部事故

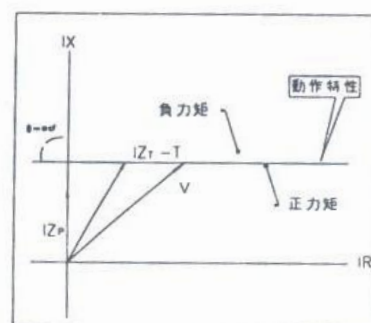


圖8(c) 外部事故

圖 8(a)係一平衡點事故，電壓 V 之末端，恰好落在特性直線上，使得 $I \cdot Z_p$ 落後 $(I \cdot Z_T - V)$ 相位 90° ，電抗元件呈現未定狀態。

圖 8(b)，當事故位置落入電抗元件標置內，電壓 V 末端落入特性直線內，使得

$I \cdot Z_p$ 落後 $(I \cdot Z_T - V)$ 相位小於 90° 電驛受到正力矩作用而動作。

圖 8(c)，當事故位置超越電抗元件標置外，電壓 V 末端亦超越出特性直線外，使得 $I \cdot Z_p$ 落後 $(I \cdot Z_T - V)$ 相位角大於 90° 電驛受到負力矩作用而不動作。

伍、測距電驛之區間標置與應用

一般而論，所謂事故距離係指從電驛端起到線路事故點為止，然而事實上電驛

所量測之阻抗值通常比現場實際值高，這是因為電驛同時也量測到負載阻抗 Z_L 。

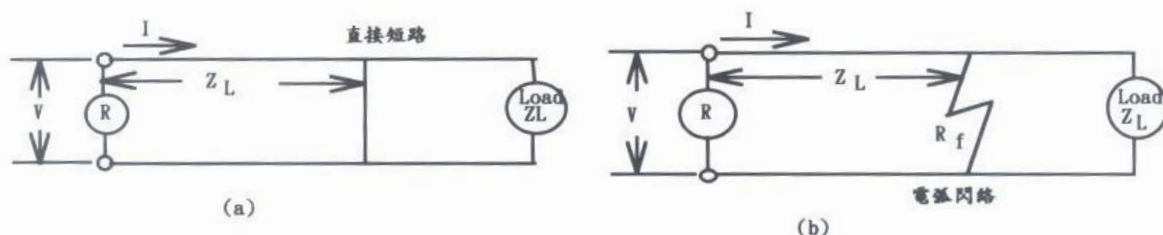


圖9.測距電驛 R 於故障時阻抗收縮現象

如圖 9(a)所示，當某一實際短路完全事故發生時，故障電流自電驛端 R 流出，經故障點折返回，故電驛端量測故障等效阻抗僅 Z_L 。

又如圖 9(b)所示，此事故並非完全短路，形成 R_f 與 Z_L 併聯再串聯 Z_L ，以上所計得之阻抗值，皆小於 $(Z_L - Z_L)$ ，此舉使得測距電驛之阻抗產生收縮現象，另外，為調適存在於電驛內部阻抗元件，以及比流器，比壓器，線路阻抗值等之誤差或是精密度不足，衍生出保留線路長度10~20%阻抗量，提供一安全因素做為安全上之考量。

基於上述理由，衍生出必須配備第二具測距電驛，供線路兩端10~20%部份並超越B匯流排 (BUS) 之出口端線路，而第三具測距電驛則超越 B 及下一個匯流排

之出口端線路，俾利更周全的系統網路保護，詳如圖10所示。

傳統上，三個區間 (Zone) 之保護在國內已行之有年，各區間功能運作如下：

第一區間(1st Zone)：通常標置線路本身80~90%長度，可為瞬間跳脫或略為延遲 $T1$ 時段。

第二區間 (2nd Zone)：標置本線路全部再加線路遠方匯流排出口端所有線路最長者之 50%，並加以延遲 $T2$ 時段，然後再動作。第三區間 (3rd Zone)：標置本線路全部，再加線路遠端匯流排出口端線路中最長線路全部，及該最長線路遠方匯流排之出口端線路中最長者之 25%，並加上延遲 $T3$ 時段，再動作跳脫，之所以加上延遲時段，乃是為建立動作跳脫秩序，以免混淆傾軋，擴大斷電區域，上述中 $T1 < T2 < T3$ 。如圖11所示。

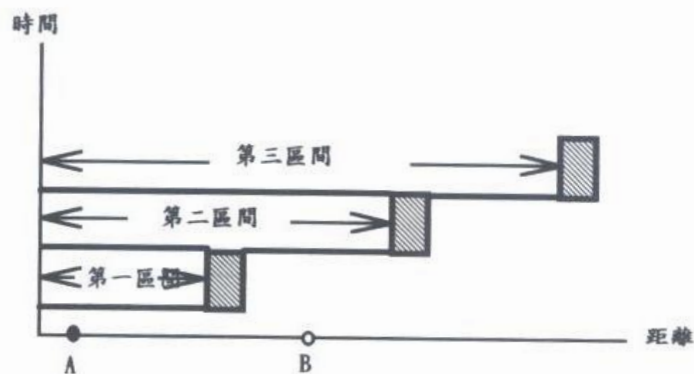


圖10.由於故障阻抗使得A之電驛保護範圍縮短

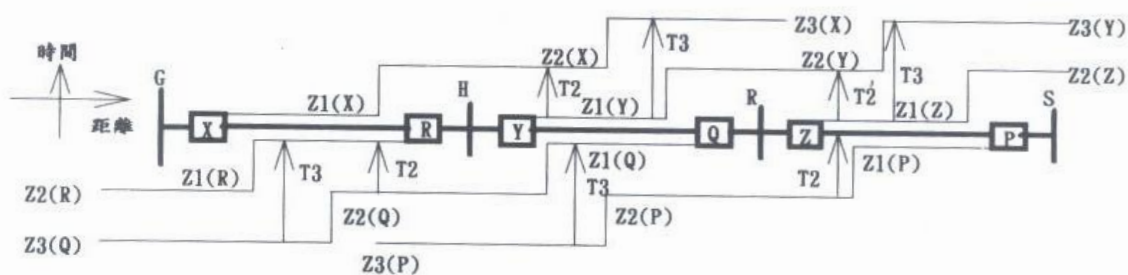


圖11.測距電驛時段區間保護方式

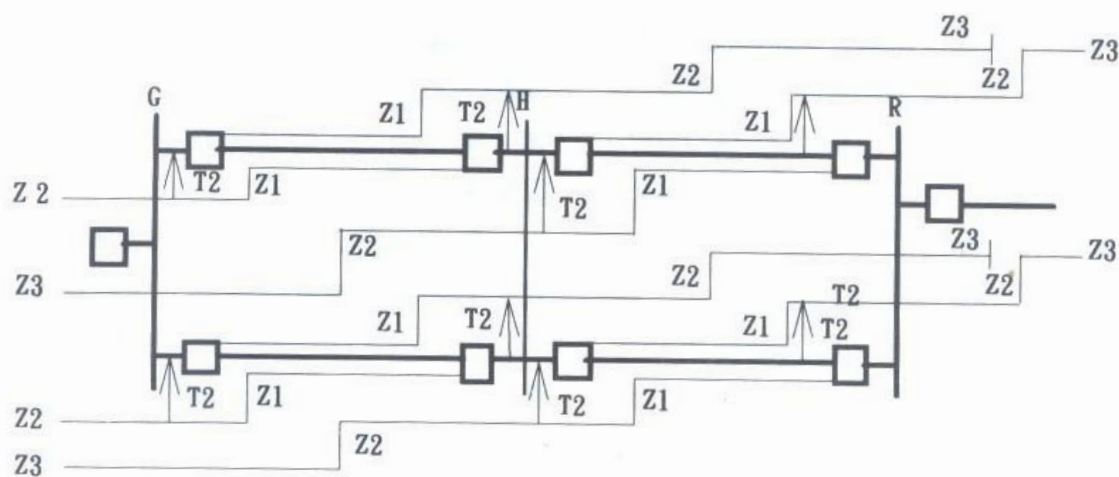


圖12.共架雙迴線之測距電驛

圖12表應用於共架鐵塔雙回線之三區間保護。此處T2延時標置在各平行回路應取得一致，以免造成多跳之現象。

圖13表線路遠方匯流排出口端有許多回線，且不同長度時之三區間標置。

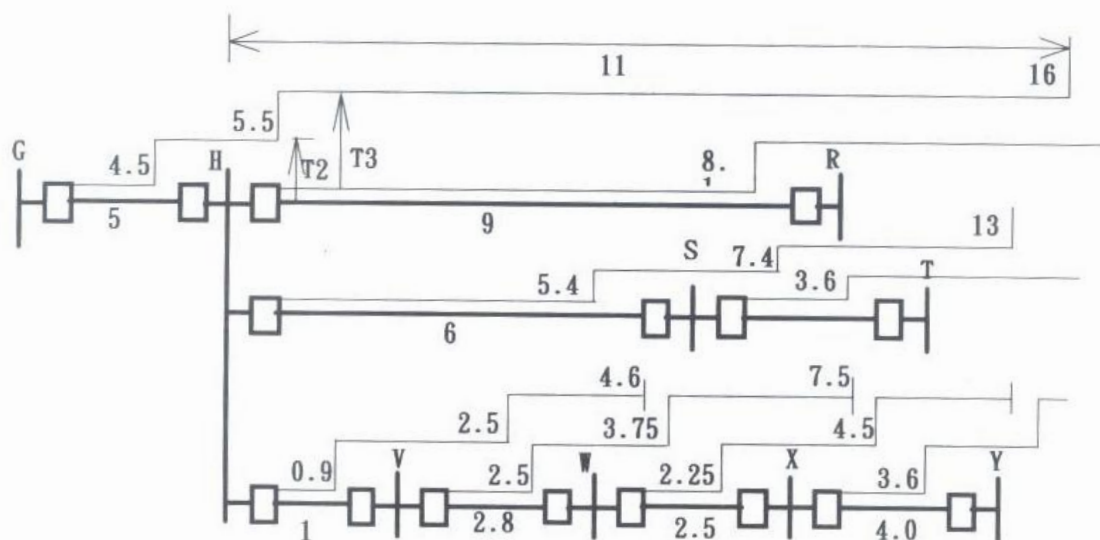


圖13.對於匯流排連接多種不同長度線路測距電驛之設定

陸、結論：

綜合前面說明，當知某一線路第一區間標置為80~90%長度時，則該線路兩端各保留10~20%長度，留供線路兩端第二區間測距電驛來保護，故實際上該線路僅有60~80%部份才是雙端第一區間測距電驛所共同擁有之保護區。

又第三區間保護範圍涵蓋第一、二區間範圍，第二區間保護範圍又涵蓋第一區間之範圍，故稱第三區間為第一、二區間之後衛保護，同理，第二區間保護為第一區間之後衛保護。依時效而言，線路事故以爭取快速跳脫為首要之務，第一區間測距電驛動作跳脫尤受期許，然而因標置關係使第一區間保護略受到局限，故不得不依賴第二區間來彌補未能善盡之部份保護，因此，第二區間尚有發展之空間。至

於第三區間保護，通常預留備用，當第二區間之電驛因特性不良而未發揮應有之功能時，適時予以補位替代動作跳脫，同理，第二區間亦可遞補第一區間測距電驛因故未動作而替代執行任務。

另者，線路保護採用測距式遠較過流式，方向性過流式在時間上之協調作業來的容易處理。而比差流式所涵蓋保護區間更長遠且交互重疊保護，是其廣泛普獲採用之理由。除此之外，測距電驛也應用於發電機及變壓器之後衛保護，此因發電機及變壓器本身，具有高阻抗之故，然阻抗標置難以完全匹配實際需求，故通常需加上延遲時段，略緩動作跳脫，以便讓其主保護電驛，有機會善盡保護職責。

參考資料

1. Protective Relays THEIR THEORY AND PRACTICE Volume Two , by A.R.Van C.WARRINGTON
- 2.Protective Relaying Principle and Applications , by J.Lewis Blackburn

- 3.Protective Relaying Theory and Applications , by ABB Walter. A.Elmore
- 4.GE.Solide State Relay Instuction Book by Taiwan Power Company.

「保護電驛」工作是一良心的事業

