



輸電線路保護方式簡介

李河樟

台電電力調度處



壹、前言

保護電驛主要的任務是：當電力系統上任何發、供電設備發生異常狀況時，皆能夠藉由保護電驛快速且正確的動作，而將事故點檢出並隔離，以避免事故的擴大，使停電範圍縮到最小，減低人員及設備的損傷程度。

輸電線路絕大部分均暴露於路旁、田野、高山上或是海邊，因此故障機率比起其他電力設備要高出許多，尤其在雷雨季節，遭受雷擊次數佔線路事故的比例更高達 80% 以上。因此，如果能夠有足夠快速的保護電驛，可以在極短的時間內隔離事故點，將可減低線路事故對電力系統所造成的衝擊，也使線路及相關設備損害的程度減低不少，對於提昇電力品質亦大有幫助。

線路之保護方式很多，依線路的特性（架空或地下電纜）、電壓等級、系統接

地方式、供電方式（輻射狀或是環路）、線路長度、通訊媒體的配合及線路的重要性等之不同，而分別採行各種妥適的保護方式。

貳、線路保護方式

就目前保護電驛科技發展的現況而言，線路保護方式大致上可分為：非載波系統（Non-pilot System）、載波系統（Pilot System）及副線保護電驛系統（Pilot-wire Relaying System）三類。

一、非載波系統

非載波系統可分為過電流電驛及測距電驛兩大類，過電流電驛又可區分為有方向性及無方向性過電流電驛兩類別，一般無法達到快速保護的要求。

二、載波系統

載波系統之保護方式可分為方向比較方式、相位比較方式及遙控跳脫方式等三大類，其中最常用者為方向比較方式。而方向比較方式又可區分為閉鎖方式、非閉鎖方式、POTT (Permissive Overreach Transfer Trip) 方式及 PUTT (Permissive Underreach Transfer Trip) 方式等。

載波系統如依使用之通信頻道來區分，則可分為電力線載波 (Power Line Carrier)、微波 (Micro Wave)、光纖 (Optic Fiber) 及音頻電話線等。

三、副線保護電驛系統

副線保護電驛系統，在初期是以金屬副線為信號傳輸媒體的傳統式副線電驛，包括循環電流方式及反相電壓方式兩大類，而後者已在二十年前停產。近代的副線保護電驛系統，則是以光纖或微波為信號傳送媒介，有類比式及數位式兩種型態。

一般而言，過電流電驛運用於複雜的輸電網路，在保護協調上有其困難，且無法達到快速保護的要求；測距電驛則因必須考慮比流器、比壓器以及各種可能之誤差，其第一區間之保護範圍無法涵蓋被保護線路之全部，線路兩端各有 10~20% 被排除在快速保護範圍之外；另外，如果線路太短，則第一區間保護範圍之設定亦有困難。因此，有所謂的頻道控制保護方式，但其相關設備投資與維護之費用較為昂貴，在比較各項因素下，交流副線電驛不

失為一種既簡單又快速之線路保護方式，更可達到線路百分之百的全區間快速保護。因此副線電驛幾成為 69kV 線路之主要主保護，其應用於較短距離之 161kV 輸電線路為主保護亦頗為適切。在 345kV 輸電線路逐漸採用數位式差電流電驛做為主保護，並以光纖為信號傳輸媒體的相位比較保護方式，尤其是應用於三端子線路，更將成為主保護之主要選擇。

參、345kV 輸電線路

超高壓輸電線路保護電驛方式均採用雙重保護，此雙重保護方式是由兩組獨立的比流器、比壓器及直流電源，分別供給兩套完全獨立的電驛使用。特別強調『完全獨立』，才是真正的兩套保護設備。在台灣此種孤立的「島型電力系統」特殊需求下，每套電驛都設有失步閉鎖電驛，以備系統發生搖擺現象時，能閉鎖相間測距電驛跳脫回路，以維系統運轉安全。

一、第一套電驛：

此套電驛以採用方向比較閉鎖方式為原則，極少數採用 POTT 方式。較早期因靜態、固態式或數位式電驛尚未普及化，本套電驛皆以機電型電驛 (Electro-Magnetic Relay) 為主；而現今數位式電驛已蔚為風尚，性能與價格均較機電型電驛更具競爭力，因之此第一套保護電驛系統已逐漸採

用數位式或靜態式電驛，但保護方式仍延用方向比較閉鎖方式，不過所使用之控制頻道，在可能的情況下，已有逐漸從使用電力線載波轉換為使用音頻訊號之頻率偏移（FSK；Frequency Shift Keying）方式的趨勢。此套電驛之組成，可從機電式電驛與數位式電驛分別說明如下：

（一）機電式電驛

包括：1.第一區間相間(21Z₁)測距電驛；2.頻道(載波或音頻)控制相間測距電驛兼第三區間後衛保護(21Z_p/21Z₃)；3.失步閉鎖電驛(68)；4.延時電驛(2A)，5.測距載波(或音頻)發送控制電驛(21-Z_s)；6.頻道控制方向性接地電驛(85N)；7.三區間接地測距電驛(21N)；8.接地故障檢測電驛(21NX)或接地測距補助電驛(32T)；9.延時電驛(2B)等，如圖一所示。

（二）靜態或數位式電驛

包括：1.第一區間相間(21Z₁)及接地(21N₁)測距功能；2.頻道控制區間相間(21Z_p)及接地(21N_p)測距功能；3.第二區間相間(21Z₂)及接地(21N₂)測距功能；4.第三區間相間(21Z₃)及接地(21N₃)測距功能；5.每一測距功能必須有可調整的瞬時過電流或其他相關特性元件的監視，以避免在喪失電壓源時造成電驛誤動作；6.具有線路加壓時快速保護功能，加壓於故障線路時可以在32ms以內動作；7.具有失步閉鎖或跳脫功

能；8.每一測距保護元件在其設定值的80%以內發生故障時，可以在24ms之內動作；9.此保護電驛為一微處理型數位式電驛，具備自我診斷功能，其特性可為姆歐(MHO)型、以姆歐型元件監視之電抗型或為四邊形特性；10.測距量測是每一保護區間各自獨立進行。

（三）機電式電驛型式及保護方式舉例如下：

電驛 代號	型 式		控制 頻道	保護 方式	備 註
	G.E	ABB			
50	CHC	KC-4	載 波	閉鎖 方式	
21	CEY	KD-10			
21N	G CXG S LYG	KDXG SDG			
21NX	NAA15				
21-Z _s	CEB	KD-11			
32T		KRT			
2A	SAM	TD-5			
2B	SAM				
85	SCA	KA-4			
85N	CLPG	KRD-4			
85N	CJCG		微 波	POT	
85X	NAA27				

〔附註〕：

各種電驛設備在相間或單相接地故障時，電驛動作時間如下（未包含斷路器跳脫時

間 2 週波在內)，以供參考：

註 1：靜態或數位式電驛：頻道控制及第一區間電驛約 1/4~1.5 週波；第二區間後衛延時保護電驛約 20 週波。

註 2：機電型電驛：頻道控制及第一區間保護電驛 1~2 週波；第二區間後衛延時保護電驛約 20 週波（相間保護無此電驛）；第三區間後衛延時保護電驛約 30 週波。

二、第二套電驛：

本套電驛之保護方式以採用 POTT 為原則，使用靜態或數位式電驛均可，未來將以數位式電驛為主。

此套電驛之組成可分為靜態式電驛及數位式電驛分述如下：

(一)靜態式電驛：

包括：1.相間及接地故障檢測元件(50/50N)；2.測距第一區間相間(21Z₁)及接地(21N₁)電驛；3.頻道控制測距相間(21Z_p)及接地(21N_p)電驛兼第二區間相間(21Z₂)及接地(21N₂)後衛電驛；4.失步閉鎖電驛(68)。

(二)數位式電驛：

包括：1.第一區間相間(21Z₁)及接地(21N₁)測距功能；2.頻道控制區間相間(21Z_p)及接地(21N_p)測距功能；3.第二區間相間(21Z₂)及接地(21N₂)測距功能；4.第三區間相間(21Z₃)及接地(21N₃)測距功能；5.每一

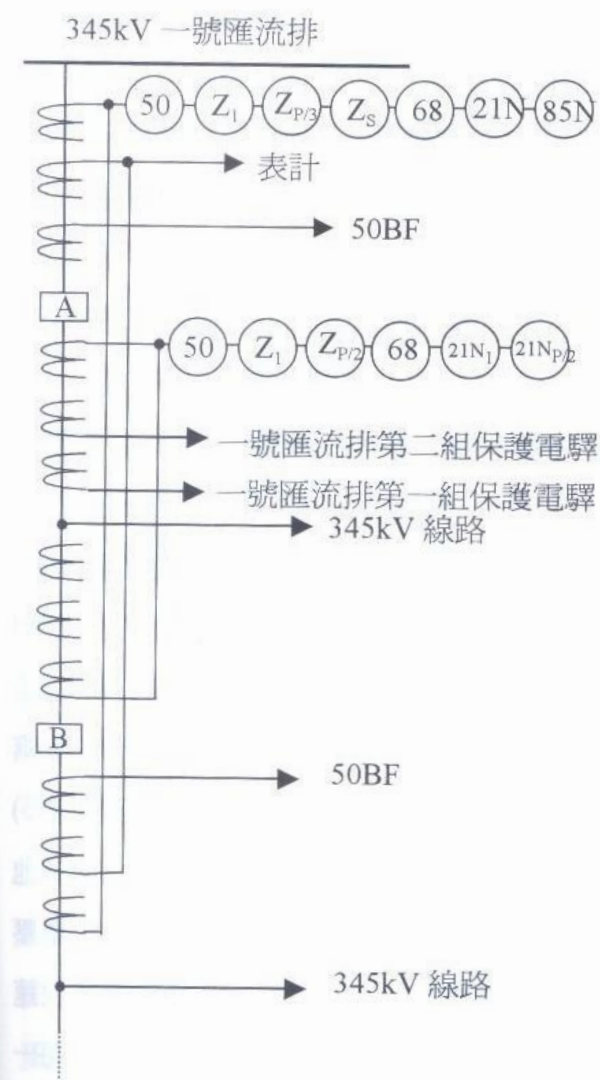
測距功能必須有瞬時過電流或其他相關特性元件的監視，以避免在喪失電壓源時造成電驛誤動作；6.具有線路加壓時快速保護功能，加壓於故障線路時可以在 32ms 以內動作；7.具有失步閉鎖或跳脫功能；8. 此保護電驛為一微處理型數位式電驛，具備自我診斷功能。

(三)台灣地區使用較多之靜態、數位式電驛型式及保護方式如下表：

型 式	保護方式	廠牌	頻道類別	備註
SKDU	非閉鎖方式	WH	載波	
DDL M	閉鎖方式	東芝		
MOD- II	閉鎖方式	GE		
MOD- III	閉鎖方式			
MOD- III	非閉鎖方式			
UNIFLEX	POTT	ABB	微波	
TLS	POTT	GE		
TYS	POTT	GE		
SEL321	POTT	SEL		
MXL1E	POTT	東芝		

隨著數位式差電流電驛技術的不斷提昇，以及光纖傳輸技術的普及，數位式差電流電驛應用於 345kV 輸電線路做為主保護方式，將逐漸被廣泛採用。因此，345kV

輸電線路的主保護，已不再侷限於傳統的頻道控制保護方式；但爲了保護區間的重疊性要求，其後衛電驛必須以分段式測距電驛方式保護。



圖一、345kV 線路保護方式單線圖

肆、161KV 輸電線路

161KV 輸電線路依其線路長度及重要性之不同而有下列幾種保護方式：

- ✧ 中長距離之輸電線路，以四區間載波或微波控制方式保護。
- ✧ 短距離之輸電線路(約十公里以內)，以高速動作之副線電驛爲主保護方式，後衛保護則爲測距電驛，亦有以雙重副線電驛爲主保護，而以方向性過電流電驛後衛保護。
- ✧ 對於故障清除時間有特別要求之線路(如跨越高速公路之線路，或故障臨界清除時間小於 12 週波者)，必須裝設兩套主保護電驛。

161kV 輸電線路的保護方式，可區分爲主保護與後爲保護來說明，在 1990 年之前的主保護電驛，除了少數線路距離較短者使用副線電驛之外，絕大部分使用方向比較閉鎖方式；現在隨著微波通信的普及，主保護電驛逐漸採用音頻控制之方向比較 POTT 保護方式。茲分述如下：

一、主保護電驛

161kV 輸電線路主保護電驛大部分以方向比較方式爲主，目前使用的有下列兩種方式：

(一)電力線載波控制四區間保護電驛方式 (方向比較閉鎖方式)

1.電力線載波控制閉鎖方式系統組成

如圖二所示，主要設備爲瞬時過電流電驛(50)、相間測距電驛(21Z_p/Z₂)、相間測距載波起動電驛 (21Z_s)、方向性接地電驛

(85N)、載波控制補助電驛(85)，載波機組及其附屬設備（線路調諧器、電容耦合比壓器、陷波器等）。

2. 電力線載波控制相間故障保護原理與協調

(1)保護線段內發生相間故障時，測距電驛 $21Z_p$ (KD 或 CEY)動作，經載波補助電驛 85(KA-4 或 SCA、BCA)檢定，確認故障發生於本線段內(未收到閉鎖訊號)，主保護電驛立即動作跳脫。

(2)如故障發生於次一線段之 50% 內 ($21Z_p/Z_2$ 之設定範圍)，因屬外部故障，將收到對方端載波機組送出之閉鎖訊號，而使 $21Z_p$ 不能完成跳脫回路，但仍可經 20 週波之延時做為後衛保護。

3. 相間測距電驛為避免電壓電源喪失時發生誤動作，特串聯一具瞬時過電流電驛 50(KC-4 或 CHC)，其標置值以線路最大負載電流之 1.25 倍為原則。

4. 載波控制接地故障保護線段內發生接地故障時，方向性接地電驛 85N (KRD-4 或 CLPG)動作，經載波補助電驛 85(KA-4 或 BCA、SCA)檢定，確認故障發生在保護線段內，立即動作使斷路器跳脫。

5. 載波補助電驛對外部故障之閉鎖功能

(1)保護線段外發生相間故障時，本線段較近故障點之一端的 $21Z_s$ 電驛動作，起

動載波設備發出載波訊號，對方端載波接收機收到此閉鎖訊號，禁止載波補助電驛動作元件動作，使主保護電驛 $21Z_p$ 不會動作。

(2)保護線段外發生接地故障時，本線段較近故障點一端之 85(KA-4 之 Ios)或 85N(CLPG 之 G1)動作，直接起動載波設備，發出載波訊號，使對方之 85 不動作，以避免 85N 發生誤動作。

(二)方向比較音頻控制 POTT 保護方式

1. 主保護電驛為一套數位式線路保護電驛(LFZP、MDAR、SEL321 或 DLP 等)以及音頻設備，包含：(1)第一區間相間($21Z_1$)及接地($21N_1$)測距功能；(2)頻道控制區間相間($21Z_p$)及接地($21N_p$)測距功能；(3)第二區間相間($21Z_2$)及接地($21N_2$)測距功能；(4)第三區間相間($21Z_3$)及接地($21N_3$)測距功能；(5)每一測距功能必須受到瞬時過電流或其他相關特性元件的監視，以避免在喪失電壓源時電驛誤動作；(6)具有線路加壓時快速保護元件，可以在 32ms 以內動作；(7)每一測距保護元件在其設定值的 80% 以內發生故障時，可以在 36ms 之內動作。

在方向比較 POTT 保護方式裡必須有音頻設備配合，平常有一頻率偏移之音頻監視訊號持續發送，當相間保護 $21Z_p$ 或接地保護 $21N_p$ 電驛動作時，將會促使本端音頻設備發送之頻率轉移為允許跳脫頻率，

經微波通信頻道傳遞至對方端，當接收器收到允許跳脫訊號，且 $21Z_p$ 或 $21N_p$ 測距元件亦動作時，主保護電驛即可快速跳脫；如果音頻接收器收不到訊號或是收到的訊號雜訊太高時，則頻道控制主保護電驛跳脫回路將立即自動閉鎖，並發出警報與指示。

本套保護電驛為一微處理器為主的數位式電驛，具備自我診斷功能，其特性可為姆歐(MHO)型、姆歐型元件監視之電抗型或為四邊形特性；本電驛測距量測是每一保護區間各自獨立進行，所有設定值(標置)及保護方式的選擇，可以在電驛面板上經由內建之鍵盤或類似的人-機介面執行，且亦可由遠端經 RS-232 介面遙控設定，所有設定值均儲存於非暫存性記憶體內(Non-Volatile Memory)，為防止設定值遭不當更改，可加以設定密碼，只有在被授權情況下，才可以執行設定值的更易。

2.主保護電驛另一方式為使用機電式電驛，包括微波控制之 $21Z_p/Z_2$ 、 $85N$ (CJCG)及補助電驛 $85X$ 。與數位式電驛一樣，必須有音頻設備配合。

3.POTT 保護方式之運用

(1)保護線段內發生相間(接地)故障時，測距電驛 $21Z_p$ ($21N_p$ 或 $85N$)動作，並於音頻機組確認收到對方傳來之允許跳脫訊號後，立即動作跳脫斷路器，同時促使音頻

機組從監視訊號轉成跳脫訊號送至對方。

(2)如故障發生於次一線段之 50%內(Z_p/Z_2 或 $21N/2$ 之設定範圍)，因屬外部故障，對方端之 $21Z_p$ ($21N_p$ 或 $85N$)不會動作，送出之音頻訊號為監視訊號而非允許跳脫訊號，故 $21Z_p$ ($21N_p$ 或 $85N$)不會完成跳脫回路；但 $21Z_p$ 或 $21N_p$ 可經 20 週波之延時動作而做為後衛保護用。

(3)外部故障發生後，相關斷路器不同時跳脫，造成電流反向現象，為了防止此時電驛誤動作，主保護電驛動作時間與訊號傳遞時間，必須要有適當的協調。

(4)當線路發生事故，本端電驛動作跳脫斷路器後，52b 接點閉合促使音頻機組送出允許跳脫訊號到對方端，此一允許跳脫訊號發送時間必須至少持續 100 毫秒，以確保對方端主保護電驛能動作，使斷路器可以快速跳脫隔離故障。

(5)POTT 如果使用於弱電源端之線路保護，則必須有『回送』(Echo Keying)邏輯，而且要具備往後方向的相間及接地測距元件，當此一元件偵測到故障時，可以閉鎖 POTT 的訊號控制跳脫功能。

(三)交流副線或差電流電驛保護方式

161kV 輸電線路如果距離較短或是為三端子線路，如以測距電驛為主保護，則在應用上會有諸多問題難以克服，因此都以交流副線或差電流電驛為主保護。

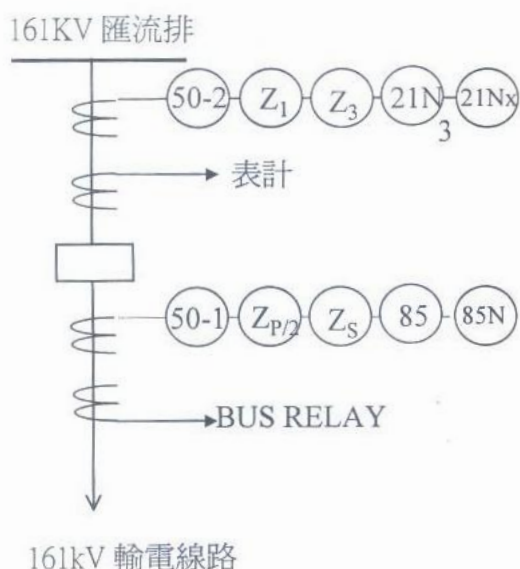
在被保護線段內發生相間或接地故障

時，交流副線電驛 85(HCB 或 SPD)或電流差動電驛(LCB II 或 DLS)動作，在 1 週波內完成跳脫回路。

二、後衛測距電驛保護及協調

後衛保護電驛，可由機電式電驛組成，亦可以採用微處理器為主之數位式線路保護電驛，但不需要音頻設備配合，以分段測距方式做為後衛保護。本套電驛內含有單次自動復閉功能之相關元件，如電壓檢測、同步檢定等電驛。

後衛測距相間保護分為第一區間保護瞬時動作及第三區間延時 30 週波動作；後衛測距接地保護分為第一區間瞬時動作，第二區間 20 週波延時及第三區間 30 週波延時動作。



圖二、161kV 線路方向比較閉鎖方式保護電驛單線圖

伍、69kV 輸電線路

69kV 輸電線路之保護方式有多種，視其供電方式(環狀、平行雙回線或放射狀)及線路的重要性等因素而定，較常見者為：

- ◆ 交流副線電驛為主保護，測距電驛為後衛保護方式。
- ◆ 交流副線電驛為主保護，方向性過電流電驛為後衛保護方式。
- ◆ 交流副線電驛為主保護，過電流電驛為後衛保護方式。
- ◆ 方向性過電流電驛保護方式。
- ◆ 過電流電驛保護方式。

1. 一次變電所 69KV 出口線路保護方式

- (1) 放射狀之出口線路---一般以過電流電驛保護。
- (2) 環路供電線路---以副線電驛、測距電驛為主保護，方向性過電流電驛或過電流電驛為後衛保護。

2. 二次變電所 69kV 線路保護方式

- (1) 放射狀之出口線路---一般以過電流電驛保護。
- (2) 環路供電線路---一般以方向性過電流電驛保護；重要線路以副線電驛為主保護，方向性過電流電驛或過電流電驛為後衛保護。

陸、輸電線路復閉電驛之運用

1. 輸電線路斷路器跳脫後，如係兩端跳脫，線路上無電壓，由 A 端確認匯流排電壓正常後 (345kV 線路經 30 週波；161kV 線路經 1 秒、末端線路經 20 週波) 復閉試加壓線路。B 端則經檢定線路電壓與匯流排壓同步後 (345kV 線路經 30 週波；161KV 線路經 10 秒、末端線路經 20 週波) 併用線路。

註：復閉電驛之 A、B 端由電驛運用部門標定，與運轉上調度操作所訂定之 A、B 端可能有所區別，但不影響其功能。

2. 輸電線路一端斷路器跳脫時，因線路仍有電壓，將自動經同步檢定後復閉。

3. 復閉電驛僅允許做三相一次復閉，投入成功 30 秒後，再次跳脫時才能再次復閉。如斷路器在投入 30 秒之內再跳脫，則復閉電驛不會動作。所以復閉電驛對於線路的永久性故障，最多僅能復閉一次，即跳脫→復閉→再跳脫，而不會做多次復閉，使線路故障情形更惡化。

4. 緊鄰大型發電機組之輸電線路，一般皆不使用復閉電驛，主要是考慮線路復閉對於發電機會造成極大衝擊，尤其是對於永久性故障，如執行自動復閉，後果將難以預料。

5. 使用充油式電力電纜之線路，原則上不使用復閉電驛。

柒、結論

輸電線路的保護，不管是架空線或是地下電力電纜，是所有電氣設備保護裡最為複雜與困難的，其故障機會比起其他電力設備又高出許多。尤其架空線受到雷擊與鹽、霧害的機率極高，如果沒有周詳的保護電驛設備，遇事故時將無法正確快速的隔離故障點，對電力系統的穩定度將造成直接衝擊。

三端子線路的主保護一直是電驛運用人員長久以來的夢魘，一方面是網路結構造成保護上的瓶頸，例如測距電驛對於故障電流匯入問題，受限於其基本動作原理設計上的限制，往往造成保護區間的縮減，以致事故時三端無法同時快速動作隔離事故。另一方面雖然目前已有差電流電驛，可以克服三端子線路保護上的難題，但是通信頻道的架設，有時候亦有其困難，而致光有良好保護方式，但卻欠缺配套設施而徒感無奈。

所幸隨著光纖技術的不斷進步、光纖應用的普及，未來保護電驛用通信頻道與控制、監測用頻道經過整合之後，其成本將會大幅下降，更有利於高性能保護電驛的應用，對於輸電線路保護電驛的瓶頸將會得到徹底解決。線路保護技術的不斷提昇、電驛動作速度的縮短，對於電力系統穩定度的改善，及電力品質的提昇都有正面意義。