

輸電線保護應用於軌道機電系統之保護協調

台電供電處電驛標置課主管標置 許文興

一、前言

隨著科技產業之進步，食、衣、住、行、育、樂在我們的生活周遭中不斷的求新求變，在行的方面，給我們帶來更舒適且更方便的捷運交通工具。而『電力』建設是國家的原動力、生命力與競爭力，也是促使捷運車輛來回載運之最大功臣，若無穩定可靠的電力系統，就沒有穩定的『捷運交通』。同時為使捷運系統之供電品質提升，在事故檢測範圍，應快速檢出故障訊號，適時清除事故，隔離故障，避免危害設備再度擴大及減少人員傷亡，所以，在捷運電力系統故障中，『保護電驛』似如人的眼睛，是捍衛與確保捷運系統安全運轉穩定系統（System Stability）之最重要設備，也是事故發生後的一種重要保護裝置。

二、供電系統分類

電是由發電廠發電經變壓器升壓送至輸電線，經變壓器降壓，再由配電線送至用戶，這樣的輸送過程，在電力系統中我們可分為超高壓系統、特高壓系統、配電系統(如圖一)。

1. 超高壓系統

(1) 超高壓輸電線路系統：如 345kv/161kv

2. 特高壓系統

(1) 二次配電線路系統：如 69kv/11.4kv,22.8kv ---。

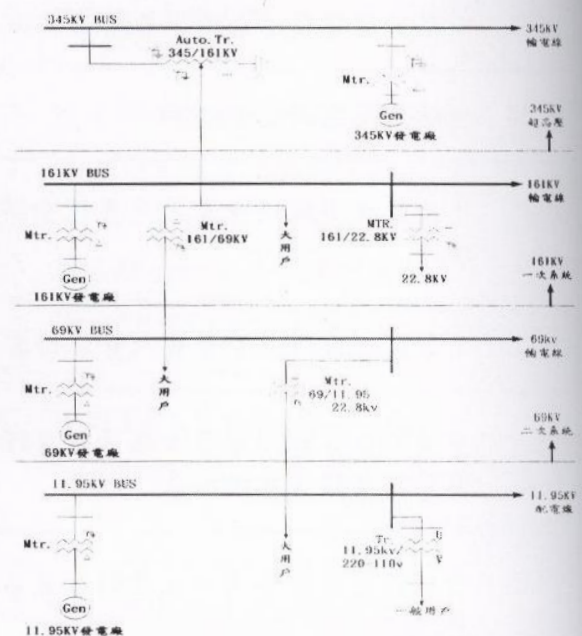
(2) 一次配電線路系統：如 161kv/11.4kv,22.8kv ---。

(3) 一次輸電線路系統：如 161kv/69kv ---。

3. 配電系統

(1) 低壓配電線路系統：如 110v,220v,380v,440v ---。

(2) 高壓配電線路系統：如 11.4kv,22.8kv ---。



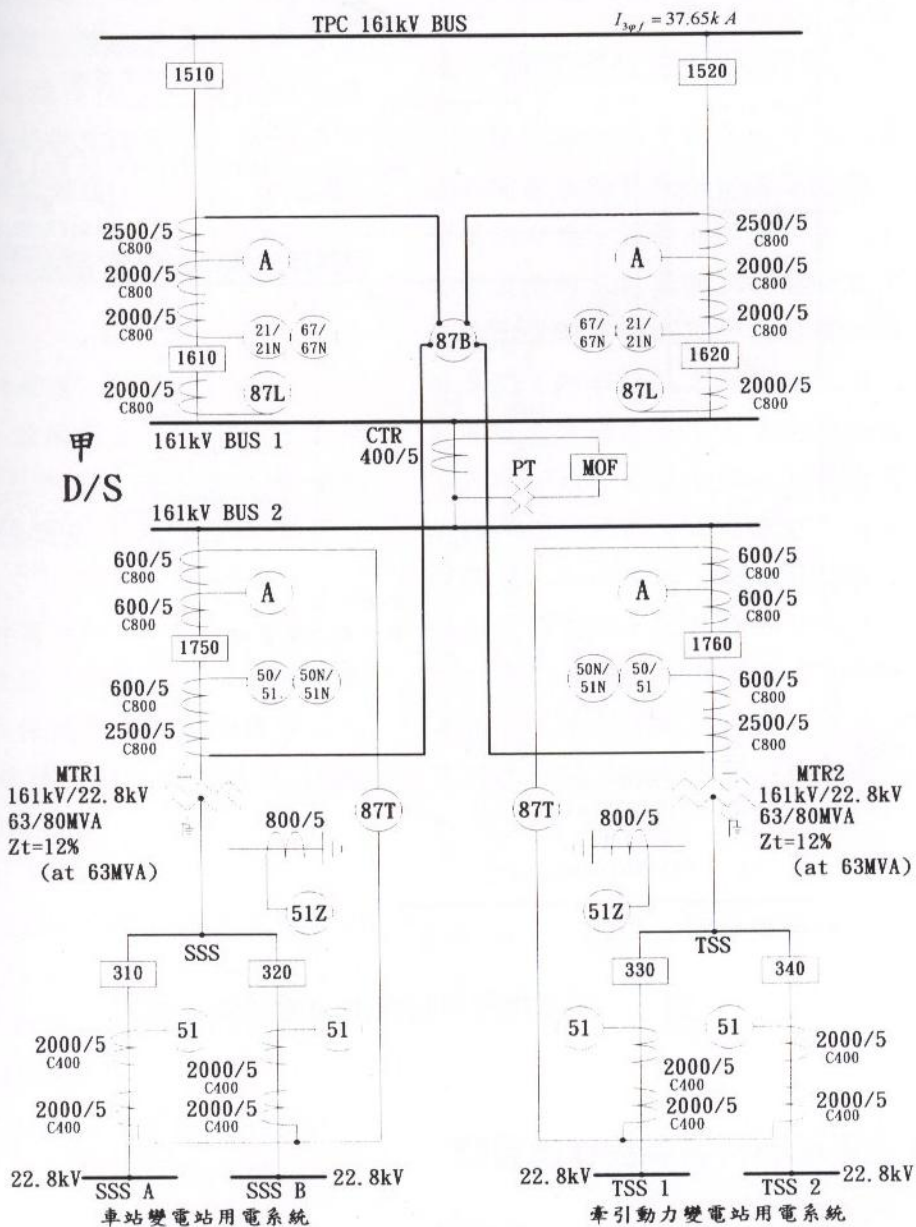
圖一 電力系統流程架構系統圖

三、軌道機電系統供電分佈

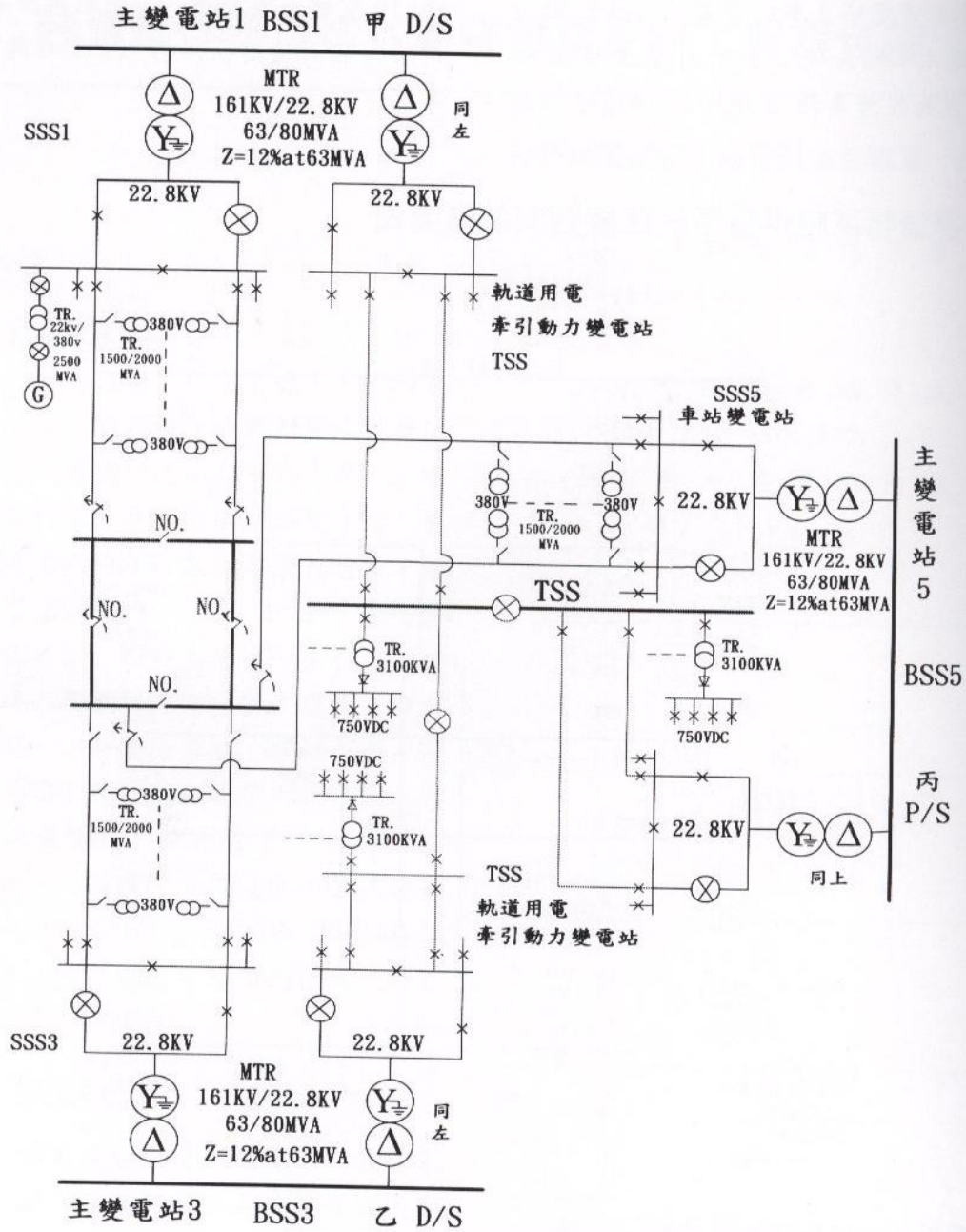
軌道機電系統掛接在特高壓輸電線系統上，為使軌道機電設備與車輛能穩定可靠運轉，除鐵路系統車輛外，軌道捷運運輸系統均由 161kV 系統供電，另外在配電系統 22.8kV 側裝設緊急發電機以備臨時無法提供電力之需，其主要供電範圍有以下設備；

- 1.主變電站 2.車站變電站 3.牽引動力變電站 4.車輛系統 5.號誌系統 6.通訊系統 7.自動收費系統 8.環控 9.機廠維修設施 10.電梯或電扶梯 11.照明與空調 12.消防幫浦及避難指示燈 13.車站與隧道水電等。

四、捷運特高壓供電系統單線圖與保護架構



圖二 捷運 161KV 特高壓供電系統與保護架構單線圖



圖三 捷運供電系統轉供連接架構系統圖

五、捷運系統為何要裝設保護電驛

1. 提昇電力品質

(1) 電力系統應用是為滿足供電的安全。

(1) 穩定的電壓與頻率。

(3) 要達到供電的連續性。

2. 因電力系統事故發生是無法避免

(1) 外界因素：a. 天然災害 b. 外物碰觸。

(2) 人為的不慎。

(3) 電力設備本身之絕緣劣化。

3. 電驛無法預測事故發生 (does not mean prevention)：

當電力系統發生事故時，受影響之停電範圍及時間與損壞可以縮

小到最低程度。

六、捷運系統裝設保護電驛之目的

當系統發生事故或設備故障時，能快速從電力系統中隔離，讓無事故或設備故障部分確保能正常運轉，如此可縮短事故或設備故障修護時間，減少損失，更可損害減低到最小程度，讓人員傷亡不要發生並降至最低，這樣可防止事故範圍再擴大，確保電力系統供電連貫性，因此不可不裝設保護電驛來保護。

七、捷運系統保護電驛協調考慮事項

(一)保護電驛設計考慮

1.人員、設備安全 2.供電可靠 3.維護簡化 4.電力品質、穩定度 5.配合施政政策 6.經濟簡單 7.環境評估 8.現況之需求。

(二)保護電驛設計需求

1.保護設備 2.負載需求 3.負載因數 4.系統組成 5.保護方式 6.圖面製作 7.可靠之電源 8.故障判斷 9.通訊連接 10.保護協調 11.保護構成。

(三)保護電驛設計準則

1. 信賴度 (Reliability) 是在保護區域內發生故障時，保護電驛要百分之百的確實動作，不需要它動作時不會發生誤動作情形。
2. 快速性 (Speed) 是在區域內發生故障時，保護電驛在最短時間內快速隔離清除，確保系統穩定可靠。
3. 選擇性 (Selectivity) 是電力系統保護均重疊保護，事故時距故障點最近的保護電驛方向內隔離故障。
4. 靈敏度 (Sensitivity) 是對系統穩定度可得到可靠度，但對安全性會有

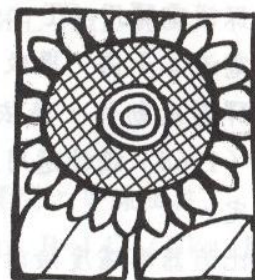
影響，所以對保護設備的特性應適當取捨。

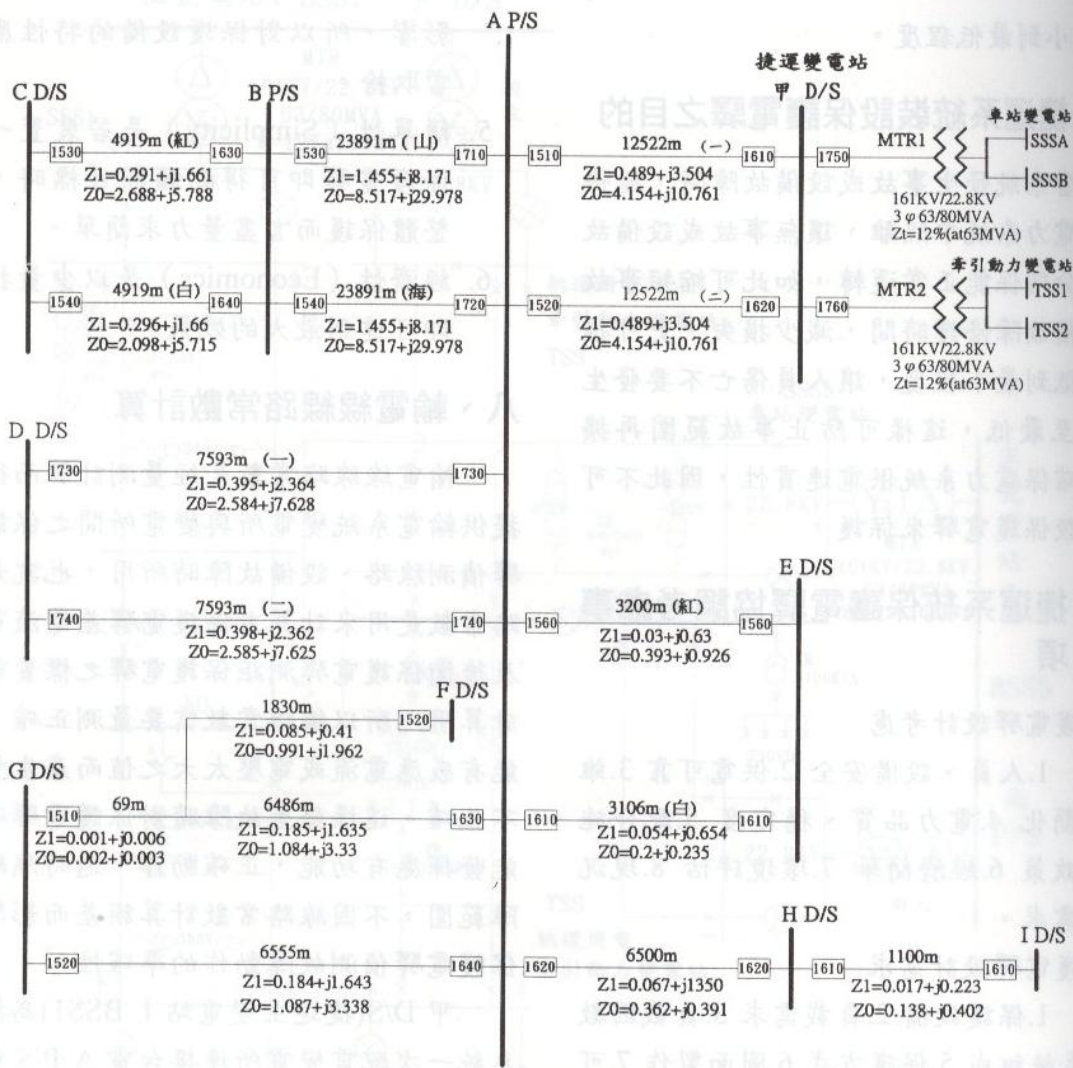
5. 簡單性 (Simplicity) 是若裝置一套保護電驛即可得到預期目標時，對整體保護而言盡量力求簡單。
6. 經濟性 (Economics) 是以少量投資即可達到最大的效果。

八、輸電線線路常數計算

輸電線線路常數是經量測計算而得，提供輸電系統變電所與變電所間之保護電驛偵測線路、設備故障時所用，也就是線路常數是用來計算主保護電驛差電流電驛及後衛保護電驛測距保護電驛之標置設定計算用，所以線路常數需要量測正確，不能有感應電流或電壓太大之值而產生量測不正確，這樣發生故障時對保護電驛確保能發揮應有功能，正確動作，適時隔離故障範圍，不因線路常數計算誤差而影響到保護電驛偵測故障動作的準確性。

甲 D/S(捷運主變電站 1 BSS1)為捷運系統一次配電變電所連接台電 A P/S 供電系統及相關之線路常數，如圖四。





圖四 161kv 線路常數阻抗圖

九、比流器容量選擇

9.1 責任分界點比流器比值相關規定

- (一)責任分界點處比流器比值選用應以最大三相短路故障容量為依據。
- (二)為避免特高壓用戶自備線路故障時引起保護電驛用 CT 二次側電流超過其額定電流二十倍，導致 CT 飽和而使保護電驛遲延動作，請依 ANSI/IEEE C57.13 (1968) 設計選用保護電驛用之 CT 額定。
- (三)比流器準確度檢討，除了「對稱故障電流」部分之外，還需考慮「不對稱故障

電流」，以符實際；按實際負擔檢討是否會飽和，如最大故障電流超過比流器二次側額定電流二十倍時，應依其實際負擔檢討準確度是否在 10% 以內。

9.2 容量計算

- (一)比流器比值選定：係指考慮所連接的保護設備之安全電流，一般是以被保護設備之額定電流的 1.2~1.5 倍間。
- (二)比流器精確等級
若選用 C800 時，其二次側最大端電壓 (V) 多少？
C：表示比流器之比誤差可用計算方法求得。

800：表示比流器二次側所能輸出之二次側端電壓，並規定二次電流為額定電流之 20 倍時，其比誤差應不得超過 10%。

$$8\Omega * 20 * 5A = 800V$$

(三)若根據 IEC (International Electrotechnical Commission) Standard 185-1966 文獻

- 若選用 IEC：15VA CLASS 10P20
- 15VA：表示 Continuous VA 持續額定容量。
- 10：表示 Accuracy Class 準確度分類；誤差仍在 10% 以內。
- P：表示 For Protection 保護電驛用。
- 20：表示 Accuracy Limit Factor 精確極限常數；

二次側輸出電壓在額定電流 5A 的條件下應為： $15/5 = 3(V)$ 而該比流器二次側輸出電壓由在 3 V 至 $20*3=60 (V)$ 的範圍內。

(四)ANSI 比流器規範 (Current Transformer Accuracy Classes)

表一 ANSI 比流器規範表

精確等級	額定負擔代號	額定負擔 (VA)	負載的阻抗 (Ω)	二次側最大端電壓 (V)
C100	B-1	25	1	100
C200	B-2	50	2	200
C400	B-3	100	4	400
C800	B-4	200	8	800

(五)比流器 (CT) 性能校驗：

係根據 ANSI 比流器規範「Current Transformer Accuracy Classes」C57.13 (1968) 的定義，在最大外部故障電流下，比流器的變比誤差應不超過 10%。當比流器二次側最高總負擔值 (Burden)，若能滿足下列計算條件，則

該比流器在最大外部故障電流情況下，將不致發生交流性的磁飽和 (AC Saturation)，其計算公式如下：

- 若故障電流小於 100A 時適用：

$$Z_T = \frac{N_P * V_{CL}}{100}$$

- 若故障電流大於 100A 時適用：

$$Z_T = \frac{[(N_P * V_{CL}) - (I_{ext} - 100) * R_S]}{K * I_{ext}}$$

式中

Z_T = 比流器二次側最高總負擔值。

N_P = 比流器選用比值與滿匝比的比值
 $= \frac{N}{N_T}$ 。

V_{CL} = 該 C 級比流器的電壓規範值 (Accuracy class voltage)。

I_{ext} = 最大外部故障電流

R_S = 比流器二次側繞線阻抗。

K = 安全係數，母線差動保護時用 $K=1.33$ ，其餘使用 $K=1.0$ 。

• 計算過程：

- 比流器規格：3000/5-2500/5-2000/5-1200-500/5，選用 2000/5，C800 級。
- 最大三相短路故障電流：37.65KA
- 比流器二次側最高總負擔值：0.505 Ω (廠家提供)

$$d. I_{ext} = \frac{37650}{2000} = 94A < 100A$$

$$e. N_P = \frac{N}{N_T} = \frac{2000}{3000} = 0.67$$

$$f. Z_T = \frac{N_P * V_{CL}}{100} = \frac{0.67 * 800}{100} = 5.36\Omega$$

- 電驛 Burden：SEL-311L-0.5VA (廠家提供)

$$\frac{0.5VA}{(5A)^2} = 0.02\Omega$$

- CT 二次側至電驛間之導線阻抗：

CT Wiring-5.5m², $R=4.424 \Omega/km$, L =約45M

CT 係採 Y 型接法，導線阻抗計算：

$$R_f = \frac{2 \times 45}{1000 \times 4.424} = 0.0203 \Omega$$

i. 比流器二次側總負擔 (Total Burden) :

$$Z'_B = 0.505 + 0.02 + 0.0203 = 0.5453 \Omega$$

j. 性能確認：

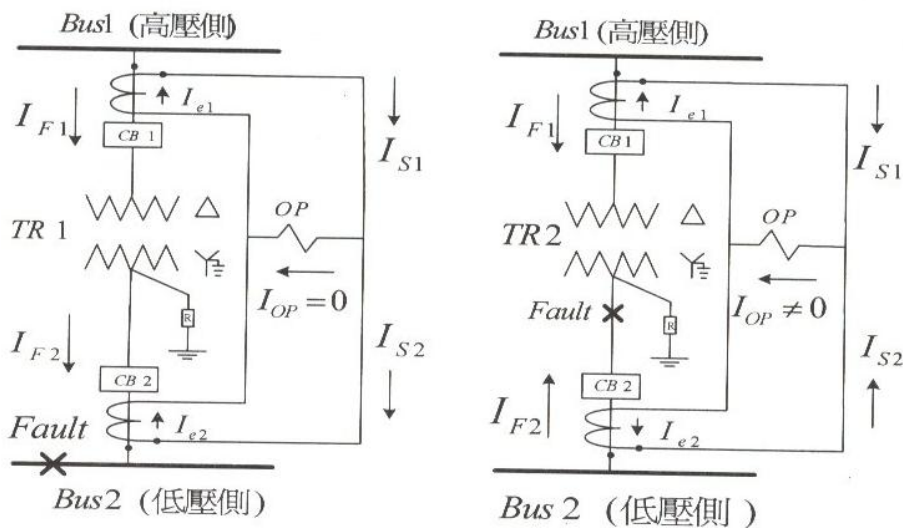
$$Z'_B = 0.5453 \Omega < Z_T = 5.36 \Omega \text{ 比流器應無交流性飽和之問題。}$$

十、捷運特高壓一次配電變壓器保護(87T)

(一)何謂變壓器主保護電驛

係指對兩個電流或某些其他電量的百

分率、相角或其他數量上的差別而起之作用；也就是說流入被保護設備與流出被保護設備的關係電流之大小、相位及時間之差來判斷是否動作的一種保護電驛。在正常系統運轉狀態或故障發生於被保護設備之外時，此流入與流出之差電流為零；若故障發生於被保護設備之內時，則流入與流出之差電流不為零，利用流入與流出之差電流不為零來判別故障發生於被保護設備之內或被保護設備範圍之外，來決定是否動作之保護電驛謂之差動保護電驛，如圖五說明。



(a) 外部故障圖示

(b) 內部故障圖示

圖五·比率差動保護電驛外部故障與內部故障圖

(三)一次配電變壓器 161KV/22.8KV 保護協調標置計算

1. 特高壓系統 161KV 側：

(1)50：額定電流之 12~15 倍。

51：變壓器額定電流之 1.5 倍。

(2)51 電驛標置設定：當主變二次側三相短路時，一次側故障電流流過

保護電驛其故障清除時間必須在 65 週波內動作。

A. 主變一次側額定電流選用 CT 比值：

$$I_{FL1} = \frac{80MVA}{\sqrt{3} \times 161kV} = 287A$$

$$= 287 \times 1.5 = 430A$$

CT.Ratio 選用：600/5---Y 接

B.主變二次側額定電流選用 CT 比值：

$$I_{FL2} = \frac{80MVA}{\sqrt{3} * 22.8kV} = 2025A$$

CT.Ratio 選用：2000/5---△接

表二 比流器接線方式表

變壓器接法	比流器接法
△-Y	Y-△
Y-△	△-Y
Y-Y	△-△
△-△	Y-Y

C.故障電流產生計算：

$$Z'_{PS} = \frac{(161kV)^2}{63MVA} = 411\Omega$$

$$Z_{base} = \frac{(161kV)^2}{100MVA} = 259.21\Omega$$

$$Z_{PU} = \frac{Z_{PS'}}{Z_{base}} = \frac{411}{259.21} = 1.587 pu$$

$$Z_{pu} = 1.587 * 12\% = 0.19 pu$$

$$I_{base} = \frac{100MVA}{\sqrt{3} * 161kV} = 358.7A$$

$$I_{3\phi f} = \left(\frac{1}{Z_{PS}}\right) * I_{base} = \left(\frac{1}{0.19}\right) * 358.7 = 1883A$$

D.變壓器後衛保護電驛(50/51,50N/51N)

標置計算：

a.51 電驛 Tap 計算：

$$51 \text{ 電驛} = \frac{\text{滿載電流}}{CT.Ration} = \frac{287}{600} = 2.39A$$

$$2.39A * (1.25 \sim 1.5 \text{倍}) = 3.59A$$

51 電驛 Tap 選用 3.5A

b.51 電驛 Lever 計算：

$$51 \text{ 電驛} = \frac{I_{3\phi f}}{CT.Ration} = \frac{1883}{600/5} = 4.5 \text{倍}$$

查電驛特性曲線 SPAJ140C

(ABB) Lever = 0.25

51 電驛設定 T/L = 3.5/0.25

c.50 過電流瞬時元件計算：

$$50 \text{ 元件} = \left(\frac{\text{滿載電流}}{CT.Ration}\right) * (10 \sim 15 \text{倍})$$

$$= \left(\frac{287}{600}\right) * (10 \sim 15 \text{倍}) = 35A$$

50 電驛設定 35A

d.51N 電驛:主變一次側是△接，51

電驛 Tap 為額定之 0.1 倍即 5A * 0.1=0.5, 51 電驛 Lever 設置最小時

間動作,則 51 電驛設定 T/L =

0.5/0.5,50N 電驛設定 10A。

50N 電驛設定 10A。

(E)變壓器主保護電驛(87T)標置計算：

A. 使用電驛有 HU-1 (ABB), BDD15

(GE)。

B. 額定電流計算：

a. 主變一次側額定電流選用 CT 比

值：

$$I_{FL1} = 430A,$$

CT.Ratio 選用：600/5---Y 接

b. 主變二次側額定電流選用 CT 比

值：

$$I_{FL2} = 2025A,$$

CT.Ratio 選用：2000/5---△接

c. 計算電驛側電流：

$$I_H = \frac{287}{600} = 2.3916A$$

$$I_L = \frac{2025 * 1.732}{2000} = 8.7683A$$

$$\frac{I_L}{I_H} = \frac{8.7683}{2.3916} = 3.66626A$$

d. 選取電驛分接頭：

$$\frac{T_L}{T_H} = \frac{8.7}{2.9} = 3.0$$

使用 HU-1 (ABB) :
 T_{ap} 範圍: 2.9、3.2、3.5、3.8、
 4.2、4.6、5.0、8.7

- 主變一次側 (高壓 161kV 側)
 Tap 選用: 2.9 $T_H = 2.9$
 - 主變二次側 (低壓 22,8kV 側)
 Tap 選用: 8.7 $T_L = 8.7$
- 87T 電驛: HU-1 標置: 2.9/8.7

e. 匹配誤差計算 (Mismatch) :

$$M\% = \left(\frac{I_L - I_H}{I_H} \right) * 100\%$$

$$= \left(\frac{8.7683 - 2.3916}{2.3916} \right) * 100\%$$

= 2.66% (M%+有載接頭切換器
 %=15%內合理)

表三 最高可容許電流匹配誤差率表

電驛型式	靈敏度%	M%+有載接頭 切換器%
CA	50	35
HU,HU-1,HU-4,BDD	30	15
HU,HU-1,HU-4,BDD	35	20
CA-26,RADSB	---	10

2. 主變二次 22.8KV 側:

(1) 51Z 設定:

A. 主變二次側中性線電驛保護

$$I_{3\phi f} = \frac{63MVA}{\sqrt{3} * 22.8kV} \div 12\% = 13295A$$

51 電驛

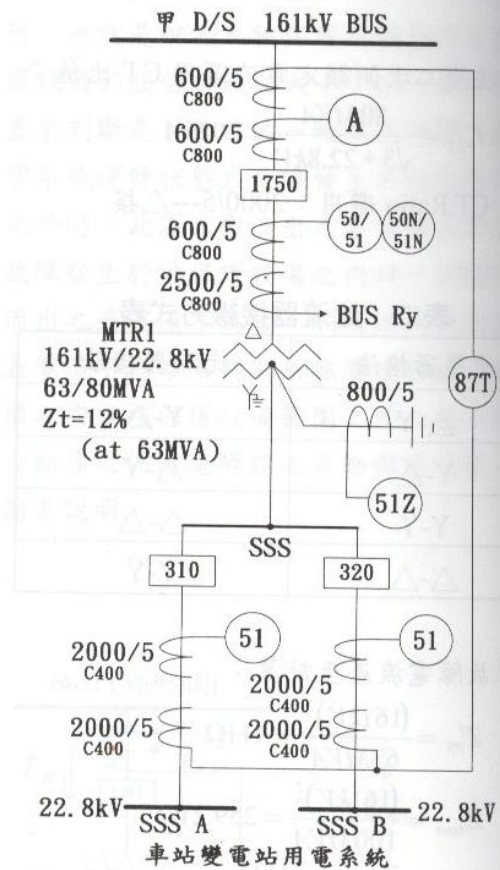
$$= \frac{I_{3\phi f}}{CT.Ration} = \frac{13295}{\frac{800/5}{3}} = 27.7倍$$

$Ry T_{ap}$

B. 動作時間為 1 秒時

51Z(SPAJ140C):T/L=3/0.45

C. 50 (IIT) : 瞬時元件不用。



圖五 差動保護電驛單線圖

十一、匯流排保護(87B)

(一)何謂匯流排保護電驛 (87B)

母線 (BUS) 又稱匯流排，在電力系統是指所有電力饋線進出之必經所在，因是每一饋線進出，所以對保護功能更顯得格外重要，若母線發生故障時，會使整個廠所供電系統完全崩潰失效，將造成嚴重的傷害與損失，為避免波及臨近擴大事故範圍，故應裝設快速之母線保護電驛將故障迅速隔離是不可缺少的保護設備，同時為減低故障損害的程度，確保系統的穩定度，是設計母線保護之主要使命。

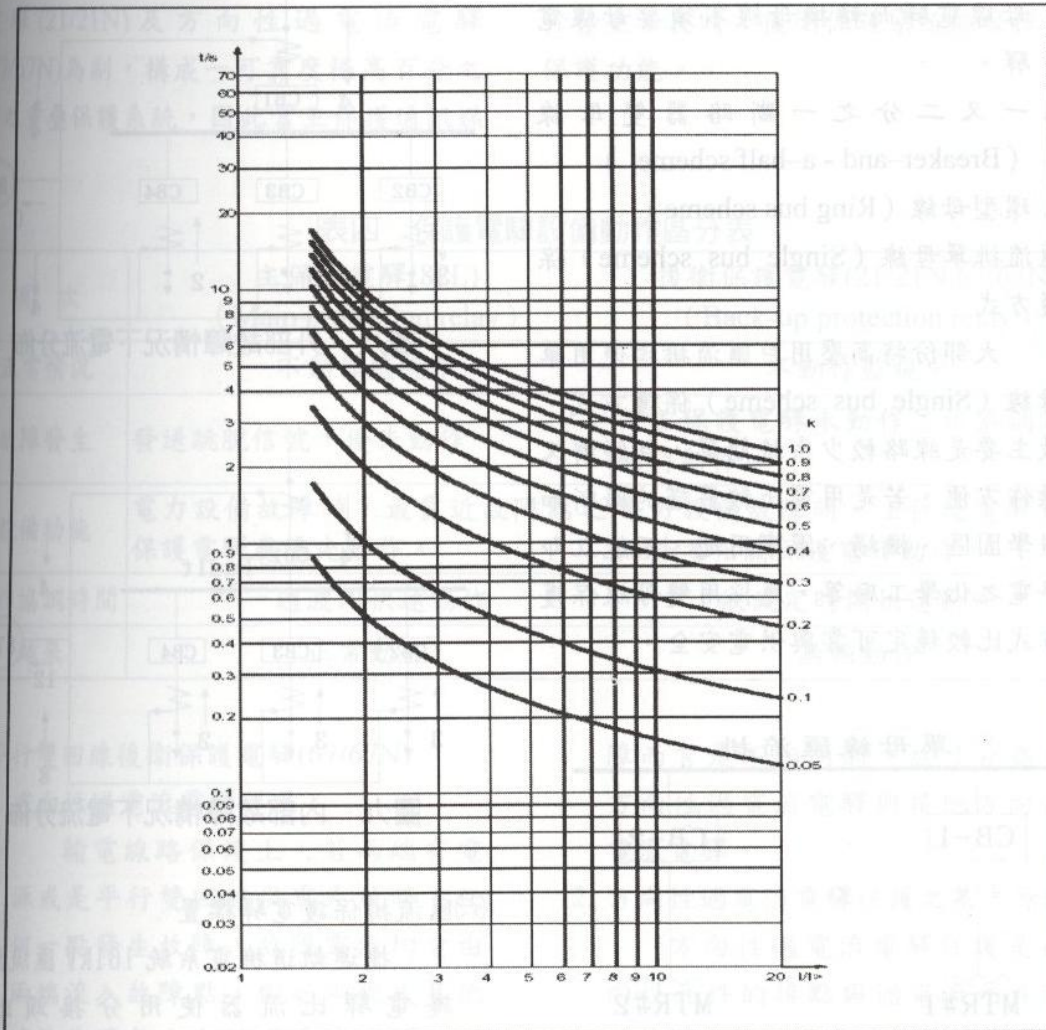


Fig. 5. Normal inverse-time characteristics of the overcurrent and earth-fault unit SPCJ 4D29.

圖六 SPAJ140C(ABB)過流電驛特性曲線圖

(二) 匯流排保護電驛基本原理

係指發電機、變壓器、母線、線路等之差動保護方式，其原理是相同的，也是利用克希荷夫電流定律 (Kirchhoffs current law)，在任一節點上，流入節點與流出節點之總電流相量和為零。因此，在系統正常情況下或外部故障時，流入過電流電驛之電流為零，此時，保護電驛不會動作；若內部發生異常事故時，其所流入故障點之電流，為所有流入電流之總和，故障電流增加，保護電驛因大故障電流通過，此

故障電流值比設定值大，即快速動作，適時跳脫相關斷路器，隔離事故，避免故障擴大。

(三) 匯流排用法分類

1. 單母線 (Single bus scheme)
2. 多段式母線附連結斷路器 (Multiple bus sections with bus tie breaker scheme)
3. 雙母線 (Double bus double breaker scheme)
4. 主母線與轉換母線 (Main bus & transfer bus scheme) 系指主母線須要

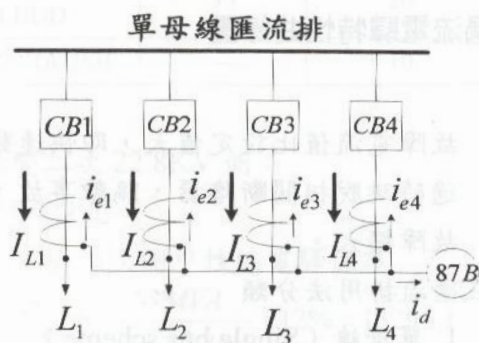
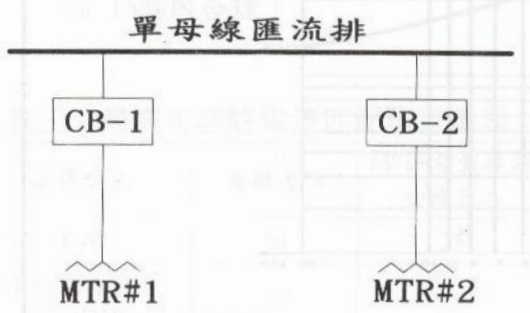
母線電驛而轉換母線不須要母線電驛。

5. 一又二分之一斷路器雙母線 (Breaker-and-a-half scheme)

6. 環型母線 (Ring bus scheme)

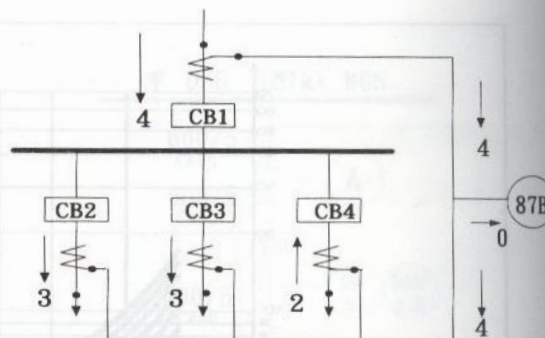
(四)匯流排單母線 (Single bus scheme) 保護方式

大部份特高壓用戶匯流排均使用單母線 (Single bus scheme) 保護方式，最主要是線路較少系統簡單，且經濟又操作方便，若是用電比較嚴謹的廠所如科學園區、機場、軍事用地、不能立即停電之化學工廠等，應採用雙母線保護方式比較穩定可靠與供電安全。

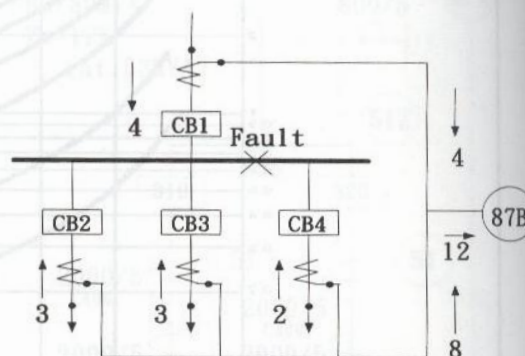


圖七 單母線圖

(五)匯流排保護故障或正常情況下電流分佈



圖八 外部故障情況下電流分佈



圖九 內部故障情況下電流分佈

(六)匯流排保護電驛標置

捷運軌道機電系統 161kV 匯流排保護電驛比流器使用分接頭比值 $CTR=2500/5$ ，精確等級 $C=800$ ，母線流出的三相短路故障電流為 37.65KA，依前述比流器飽和計算無飽和現象，若使用 CO-2 電驛，其標置設定計算為：

$$87B:CO-2(ABB) = \frac{37650A}{\frac{2500}{5}} \div 5 = 15.06 \text{ 倍}$$

動作時間為 6 週波內完成，匯流排保護電驛標置設定為 87B:CO-2(ABB):

$$\frac{T}{L} = \frac{5}{1.5}$$

十二、輸電線平行式線路保護

捷運輸電線路保護系統採用以主保護及後衛保護為架構(如表四)，主保護以差電流電驛(87L)為主，同時配合光纖通訊頻道或數位通訊系統，後衛保護使用測距

電驛(21/21N)及方向性過電流電驛(67/67N)為副，構成一可靠度極高百分之百之重疊保護系統，因此當主保護通訊媒

介發生不良時，後衛保護系統能發揮應有保護功能。

表四 保護電驛設備動作區分表

項次	主保護電驛(87L) (Main protection relay)	後衛保護電驛(21/21N,67/67N) (Back-up protection relay)
正常情況	不動作監視中	不動作監視中
故障發生	發送跳脫信號，優先動作。	待主保護電驛未動作，依協調時間適時動作。
設備功能	電力設備故障時，最靠近故障點之保護電驛應優先動作。	電力設備故障時，主保護電驛動作以外之相關保護電驛動作。
動作協調時間	一週波內快速動作	依設定時間快速動作
結果	正常動作	無誤動作

(一) 平行雙回線後衛保護電驛(67/67N)

1. 方向性過電流電驛運用

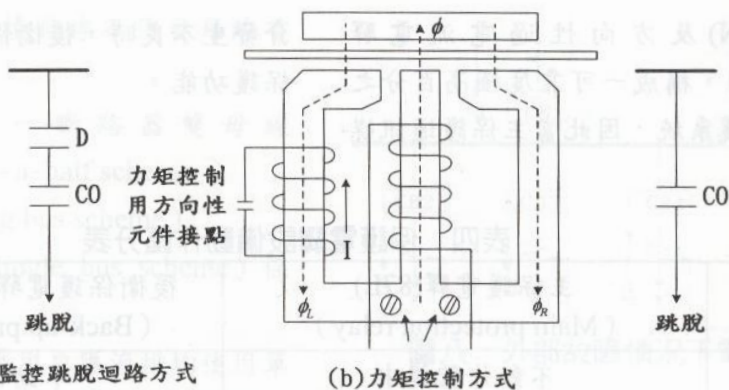
輸電線路保護上，若兩端有電源或是平行雙回線供電系統時，任何一點發生故障，故障電流均會由兩端流入故障點，假如兩端或其他端均使用無方向性過電流電驛，將使兩端或其他端之過電流電驛發生動作跳脫，這樣之保護方式顯然是不對的，為確保故障電流方向之保護電驛正確動作則應改用方向性過電流電驛來保護才是正確。

方向性過電流電驛係應用於輸電線路、環狀(環路)或平行雙回線兩端有電源之反向外故障，若使用無方向性過電流電驛保護，保護電驛將會產生誤動作，應使用方向性過電流電驛保護，避免保護電驛產生誤動作。方向性過電流電驛因相間短路之故障電流與電壓對接地故

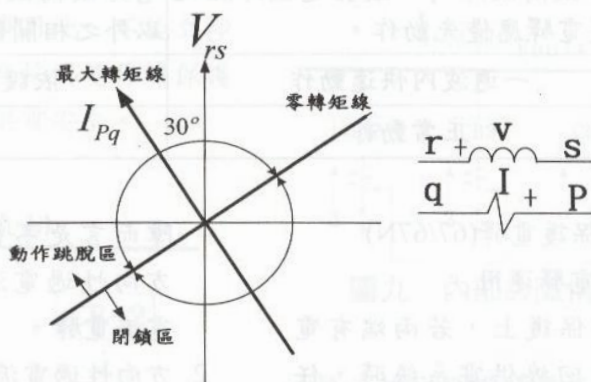
障而言是不相同的，故可分為相間方向性過電流電驛與接地方向性過電流電驛。

2. 方向性過電流電驛保護之基本原理

方向性過電流電驛保護是由方向性元件的接點與過電流元件的遮蔽線圈串接，過電流元件 CO 受方向性元件 D 控制(如圖十)，當方向性元件的接點若未閉合，方向性過電流電驛轉盤即不會轉動。而方向性元件的設計需要使用參考量及動作量，動作量使用電流；參考量使用電流或電壓，而以電壓為主或稱極化量，參考量的條件是無論故障在正相或反相，極性是固定不變的。方向性元件之電流 I 從極性點流向非極性點，超前電壓降 V 從極性點流向非極性點 30°時，方向性元件將會動作產生最大轉矩(如圖十一)。

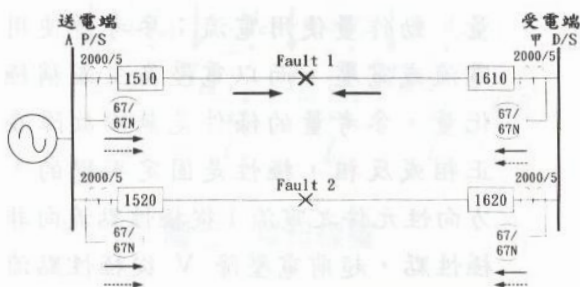


圖十 過電流電驛方向性功能



圖十一 方向性過電流電驛元件相角特性

3. 方向性過電流電驛應用於平行線式協調策略



圖十二 方向性過電流電驛動作系統協調圖

4. 平行式線路發生故障時動作時序

(1)故障點在 Fault 1:

A. 電驛跳脫順序: CB#1510, #1610, #1520 跳脫。

序: CB#1510, #1610, #1520 跳脫。

B. 電驛不動作順序: CB#1620 不動作。

(2)故障點在 Fault 2:

A. 電驛跳脫順序:

序: CB#1520, #1620, #1510 跳脫。

B. 電驛不動作順序: CB#1610 不動作。

5. 方向性過電流電驛標置

平行式雙回線供電系統，電源端是送電端台電出口，受電端是特高壓用戶也就是末端，末端保護電驛標置時間設定最小，若方向性過電流電驛使用 67:CR-8(ABB): $\frac{T}{L} = \frac{5}{0.5}$ ，

67N:CRP-8(ABB): $\frac{T}{L} = \frac{0.5}{0.5}$ ，而送電端

台電出口標置設定依末端最小時間設定與主變一次側動作時間再加 0.3 秒，取最大值者來協調。

(二) 輸電線後衛保護測距電驛(21/21N)

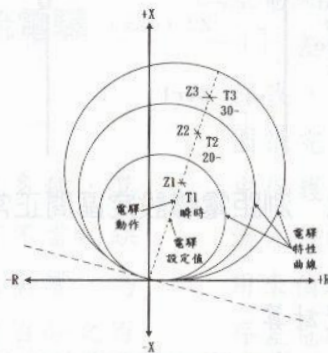
1. 測距電驛基本動作原理

測距電驛偵測判斷事故信號來源是取自於比流器 (CT) 與比壓器 (PT) 之二次側電流及電壓，當輸電線路故障時，其電壓將瞬間下降，電

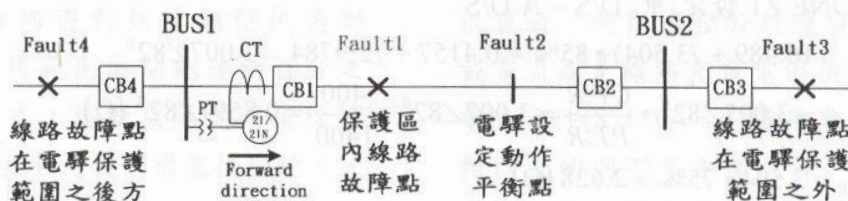
流將瞬間提高，若離故障點越近，則電流越大，電壓越低，則 $Z=V/I$ ， Z 即代表線路長度，由 V 及 I 判斷出來的 Z 經轉換至比流器 (CT) 與比壓器 (PT) 之二次測電流及電壓之等效阻抗為 Z_{set} ，如果小於一定數值，便表示故障在保護範圍之內，即表示測距電驛偵測到動作信號，否則即不會動作，其情況依表五說明。

表五 測距電驛動作情況區分表

項次原因	若本線段內發生故障時 (Fault1)	若本線段臨界點發生故障時 (Fault2)	若本線段外發生故障時 (Fault3)
模擬信號	$V_{ry}/I_{ry} = Z_{fault} < Z_{set}$ $V_{ry} < I_{ry} * Z_{set}$	$V_{ry}/I_{ry} = Z_{fault} = Z_{set}$ $V_{ry} = I_{ry} * Z_{set}$	$V_{ry}/I_{ry} = Z_{fault} > Z_{set}$ $V_{ry} > I_{ry} * Z_{set}$
情況	內部故障	平衡點故障	外部故障
結果	保護電驛動作	保護電驛動作或保護電驛不動作	保護電驛不動作



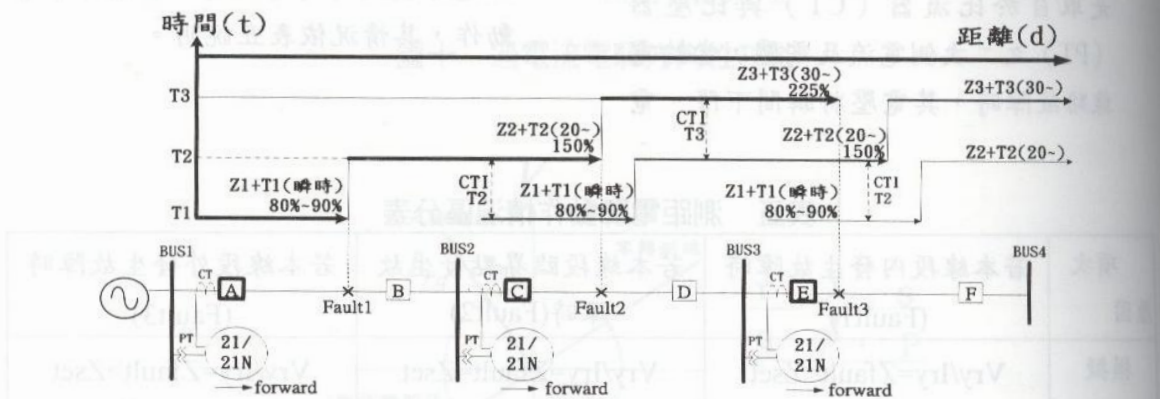
圖十三 測距電驛設定保護特性曲線圖



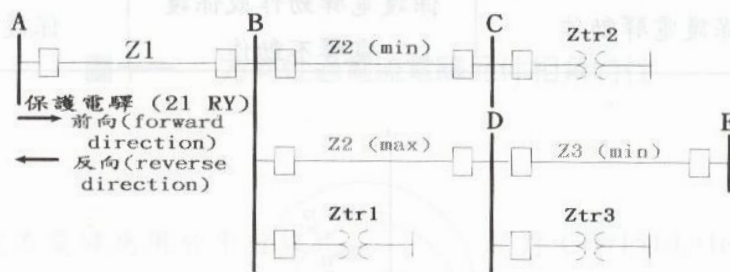
圖十四 測距電驛(21Ry)設定保護區間圖

測距電驛區間動作表示可分為正向三個區間保護，也就是有三個各別的測距電驛元件來執行故障清除任務，同時是互為重疊的。第一區間保護是本線段長度之 80%~90% 間且為瞬時動作；第二區間保護是本線段長度加第二線段最長之 50% 且為延時 20 週波動作；第三區間保護是

本線段長度加第二線段最長再加第三線段最長之 25% 且為延時 30 週波動作；由以下區間圖十五顯示知，若本線段百分長度內故障，第一區間保護電驛應瞬時快速動作；若沒有動作，應由第二區間延遲 20 週波動作或更長時間第三區間保護電驛動作，此為保護方式之缺點。



圖十五 測距電驛區間動作表示圖



圖十六 測距電驛設定區間正常型圖

2. 輸電線路測距保護電驛標置計算

161KV 輸電線路標置計算依圖四線路常數阻抗圖，設定甲 D/S #1610 做電驛標置計算，CT Ration:2000/5

21S:SEL-311C---TOSHIBA CORPORATION

(1)ZONE Z1 設定:甲 D/S - A D/S

$$Z_1 = (0.489 + j3.504) * 85\% = 0.4157 + j2.9784 = 3.007 \angle 82^\circ$$

$$Z_{1set} = 3.007 \angle 82^\circ * \frac{CT.R}{PT.R} = 3.007 \angle 82^\circ * \frac{400}{1400} = 0.8591 \angle 82^\circ (\Omega)$$

$$X_1 = 3.504 * 75\% = 2.628 (\Omega)$$

$$X_{1set} = 2.628 * \frac{400}{1400} = 0.7509 (\Omega)$$

(2) ZONE Z2 設定: 甲 D/S - A P/S - E D/S

$$Z_2 = 0.489 + j3.504 + (0.054 + j0.654) * 50\% = 0.516 + j3.831 = 3.8656 \angle 82^\circ (\Omega)$$

$$Z_{2set} = 3.8656 \angle 82^\circ * \frac{CT.R}{PT.R} = 3.8656 \angle 82^\circ * \frac{400}{1400} = 1.1045 \angle 82^\circ (\Omega)$$

$$X_2 = 3.504 + 0.654 * 50\% = 3.831 (\Omega)$$

$$X_{2set} = 3.831 * \frac{400}{1400} = 1.0946 (\Omega)$$

(3) ZONE Z3 設定: 甲 D/S - A P/S - B D/S - C D/S

$$Z_3 = 0.489 + j3.504 + 1.455 + j8.171 + (0.291 + j1.661) * 25\%$$

$$= 2.0168 + j12.0903 = 12.2574 \angle 81^\circ (\Omega)$$

$$Z_{3set} = 12.2574 \angle 81^\circ * \frac{CT.R}{PT.R} = 12.2574 \angle 81^\circ * \frac{400}{1400} = 3.5021 \angle 81^\circ (\Omega)$$

$$X_3 = 3.504 + 8.171 + 1.661 * 25\% = 12.0903 (\Omega)$$

$$X_{3set} = 12.0903 * \frac{400}{1400} = 3.4544 (\Omega)$$

(4) ZONE Z4 設定: 甲 D/S - A P/S - B D/S

$$Z_4 = 0.489 + j3.504 + 1.455 + j8.171 = 1.944 + j11.675 = 11.8357 \angle 81^\circ (\Omega)$$

$$Z_{4set} = 11.8357 \angle 81^\circ * \frac{CT.R}{PT.R} = 11.8357 \angle 81^\circ * \frac{400}{1400} = 3.3816 \angle 81^\circ (\Omega)$$

$$X_4 = 3.504 + 8.171 = 11.675 (\Omega)$$

$$X_{4set} = 11.675 * \frac{400}{1400} = 3.3357 (\Omega)$$

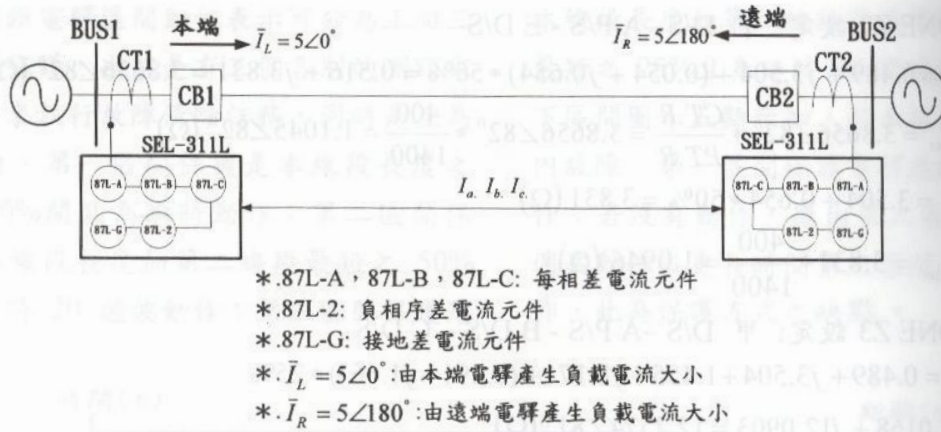
十三、輸電線主保護差電流電驛 (87L)保護

(一)差電流電驛(SEL-311L)特性

輸電線路保護方式有很多種，其保護方式最為重要，不能有不當的缺失，否則對系統將造成重大影響，為使輸電線路得到全線段能有百分之百的完全保護，台電對輸電線路保護採用差電流電驛為主保護，主因是差電流電驛在演算判斷各種故障類型時，能在一週波內對故障類型快速動作，同時保護範圍區間能達到百分之百的理想方式，這對故障適時清除確保系統供電安全是我們樂意接受的。

(二)差電流電驛動作元件功能

差電流電驛 SEL-311L 元件包括有保護、監控、通訊等功能，保護的範圍很完整是智慧型的多功能電驛，其中保護功能(如圖十七)有:(a)每相差電流元件(87L-A, 87L-B, 87L-C)，它是用來偵測每 1 相或 3 相的故障;(b)負相序差電流元件(87L-2)，它是用來偵測 3 個相的內部不平衡故障，為避免產生誤動作，若超過 3 倍額定電流值時將被抑制，而此元件對偵測高阻抗故障很靈敏，所以適合於故障電流小於負載電流或是線路充電電流值;(c)接地差電流元件(87L-G)，它是用來偵測 2 個相以上的內部不平衡故障，為避免產生誤動作，若超過 3 倍額定電流值時將被抑制。

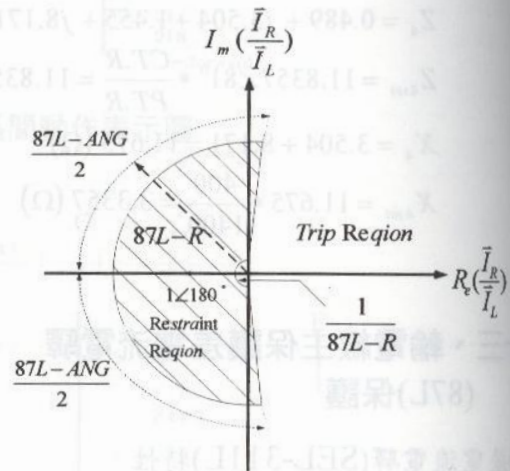


圖十七 差電流電驛元件圖

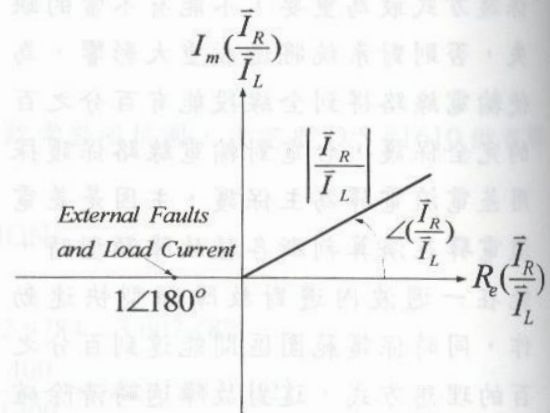
(三)差電流電驛基本動作原理

差電流電驛 SEL-311L 本身具有 Alpha plane 抑制區的特性(如圖十八), 不受線路負載量與比流器飽和的影響, 對故障保護有高速動作特性, 而 Alpha plane 抑制區的特性是取遠端電流與本端電流之相量比, 即 $\frac{\bar{I}_R}{\bar{I}_L} = \frac{5\angle 180^\circ}{5\angle 0^\circ} = 1\angle 180^\circ$, 所以當系統無故障或是保護區外部故障時, 均會使兩端電驛產生大小相等角度相反的故障電流, 同時會在 Alpha plane 抑制區上得到一接近 $1\angle 180^\circ$ 的點(如圖十八), 且差電流之值小於設定值, 則保護電驛不會動作。若 Alpha plane 抑制區的特性是取遠端電流與本端電流之相量比落於抑制區外時, 且差電流之值大於設定值, 則保護電驛會動作。若故障落於內部區域範圍內時, 差電流電驛 SEL-311L 元件 87L-ANG 會形成抑制區的角度範圍, 87L-R 會形成抑制區的外徑, 內徑的形成則為 87L-R 的倒數即 $\frac{1}{87L-R}$ 。差電流電驛 87L-A, 87L-B, 87L-C 為每相差電流值, 87L-2 是負相序差電流的值, 87L-G 是接地差電流值大於設定值且每相比值落於抑

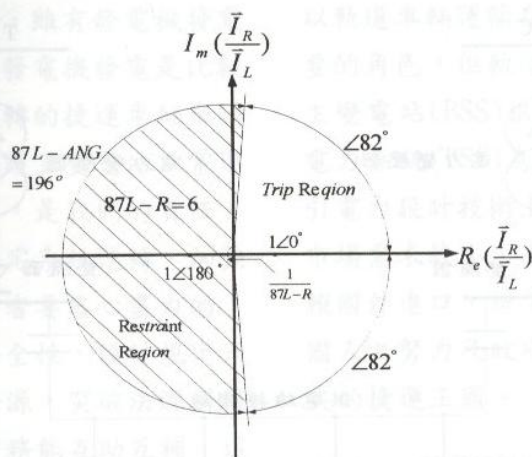
制區外時, 則保護電驛會偵測到故障信號啟動跳脫, 完成隔離故障任務。



圖十八 SEL-311L 電驛 Alpha plane 圖

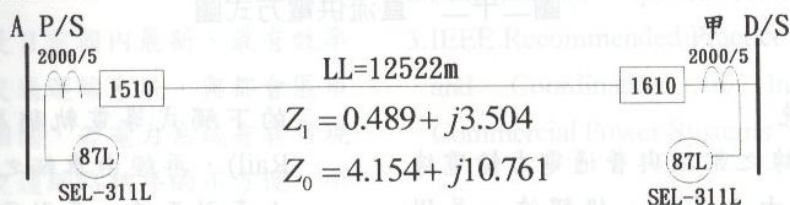


圖十九 SEL-311L 電驛外部故障與負載電流 Alpha plane 圖



圖二十 SEL-311L 電驛設定 87L-ANG 考慮所須因素之 Alpha plane 圖

四差電流電驛標置設定



圖二十一 差電流電驛保護區間標置設定單線圖

1. 線路參數設定:

a. 正相序阻抗大小

$$Z_1 \text{ MAG} = (0.489 + j3.504) * \frac{CT.R}{PT.R}$$

$$= 3.538 \angle 82.06^\circ * \frac{400}{1400}$$

$$= 1.011 \angle 82.06^\circ (\Omega)$$

b. 正相序角度: $Z_1 \text{ ANG} = \angle 82.06^\circ$

c. 負相序阻抗大小

$$Z_0 \text{ MAG} = (4.154 + j10.761) * \frac{CT.R}{PT.R}$$

$$= 11.535 \angle 68.89^\circ * \frac{400}{1400}$$

$$= 3.296 \angle 68.89^\circ (\Omega)$$

d. 負相序角度: $Z_0 \text{ ANG} = \angle 68.89^\circ$

2. 最小差流準位設定:

a. 相差電流元件: 87L-PP=5A *

1.2=6A

b. 負相序差電流元件(87L-2): 87L-2P=5A * 0.1=0.5A

c. 接地差電流元件: 87L-GP=5A * 0.1=0.5A

3. 抑制區特性設定:

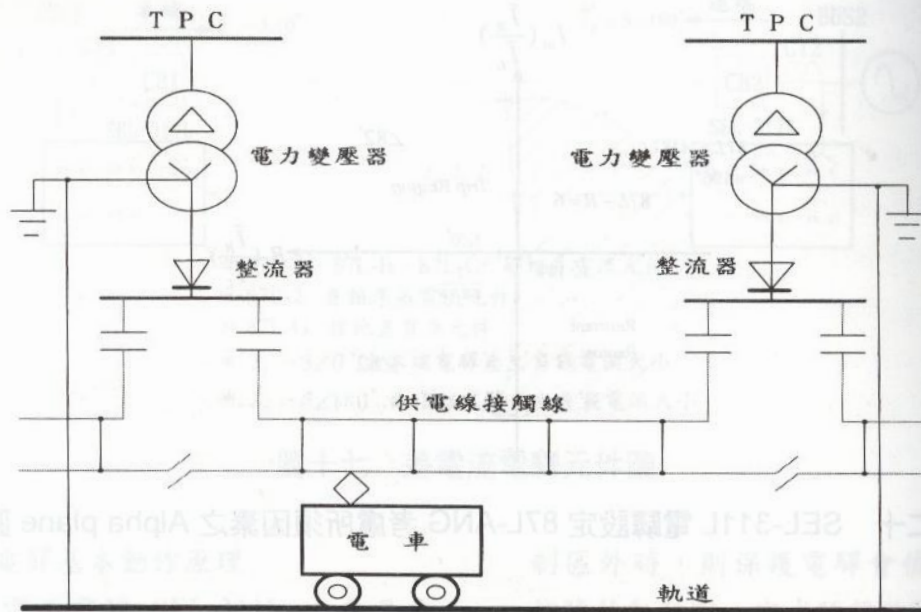
a. 抑制區角度: 87L-ANG=195°

b. 抑制區半徑: 87L-R=6

十四、軌道機電直流供電

(一) 直流供電方式

161 KV 變電站引進經變壓器降壓為 22.8KV 交流高壓電源後，再經整流設備將交流電變為直流電，以直流電直接向電力車供應電力，最主要不會產生電源不平衡問題。



圖二十二 直流供電方式圖

(二) 電車線系統

電車線之架設與普通電力輸電線不同，係由主吊線、接觸線、吊掛線、回流線、架空地線組成。電車線性能是單相交流電，60Hz，22.8KV，適合於 $0^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{C}$ 風速 26m/sec，最高車速每小時 120KM，電車線允許最高溫度為 80°C 。結構應力最大可耐風速 60m/sec。

(三) 牽引電力系統(TSS)

1. 捷運系統電聯車係以直流電源驅動，沿線適當位置設置牽引動力配電室〔Traction Power Substation，簡稱 TSS〕，以供應電聯車所需電力，捷運沿線平均約 1.7 至 2.0 公里設置一座 TSS，每座 TSS 均有二迴路 22.8KV 電源供應，以提高供電可靠度。
2. 系統內有二組整流器單元，將交流 22.8KV 整流為 24 脈波的 750V 直流電後，經由直流電纜將直流 750V 正極電力傳輸至捷運路網沿線軌道旁

的下觸式導電軌稱為第三軌(Third Rail)，再經由車輛之集電靴傳至車上牽引馬達。牽引電力系統可在任一座 TSS 離線之非正常運轉情況下，仍能維持牽引動力匯流排之電壓值及負載供應，而使電車能在低效能特性下運轉。

3. 牽引電力之負極電力由車輛鋼輪經由電刷傳至車行軌稱負回流軌(negative return rail)，再經由號誌系統之阻抗搭接設備回至牽引電力配電室之負電隔離開關盤，軌道對地接觸電位會因系統軌道接地方式不同有不同變化，而其關聯之雜散電流的洩漏亦會不同，捷運系統軌道接地方式主要有「直接接地系統」、「二極體接地系統」與「非接地系統」。

十五、結論

捷運系統之主變電站(BSS)是捷運供電系統的心臟，若沒有主變電站就沒有

電，捷運車輛就開不動，雖有發電機發電可用，是短暫的，因為發電機發電是比較昂貴的支出，對經常運轉的捷運車輛來講不是長久之計，所以維護主變電站正常運轉穩定供電及供電品質，是我們的責任。

提昇電力品質，穩定系統運轉，加強防衛事故發生，是設計者要盡心盡力的，為提高供電可靠度及安全性，設計規定只是設計者遵守的最低法源，突破法源引用成熟法規，使設計與實務能互助互補，這樣可以避免疏忽造成之失誤，讓保護電驛依宏觀的角度設計確實發揮最佳功能，這是我們的期盼，也是我們共同努力奮鬥之目標。

捷運系統是目前國內最新、最有效率之區域性大眾交通運輸系統，與都會區市民之生活息息相關，若電力系統有異常現象，即會造成交通網路秩序的不方便，所

以軌道車輛運輸在未來世界裡，將扮演重要的角色，但軌道車輛系統之核心組成除主變電站(BSS)供電系統外，另外是牽引電力系統(TSS)為其重要，目前國人對牽引電力設計技術上已有相當水準，但國內市場需求較小，尚無國內廠商開發，都仰賴國外進口，經常受制於國外，期待將來國人之努力及政府的協助下能成為世界頂尖的捷運王國。

十六、參考資料

1. 李宏任 實用保護電驛 全華科技圖書 公書。
2. J.L.Blackburn Applied Protective Relaying
3. IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems

