

西門子 7SA522 數值型測距電驛簡介

台電供電處電驛標置課主管圖審 鍾彰榮

一、前言：

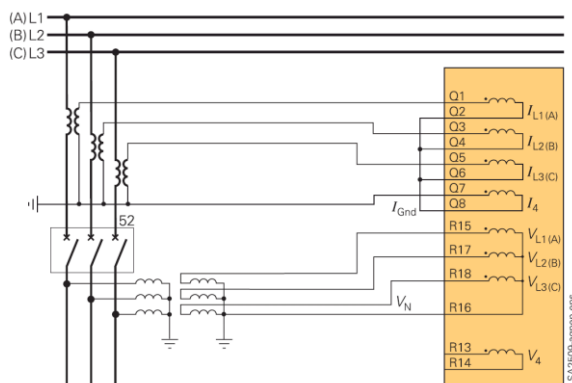
近年來由於科學進步，電子計算機軟硬技術不斷的大幅提升，並大量應用於保護電驛內部的控制迴路上，以突破傳統之電磁型與固態型測距電驛，使得世界各大保護電驛廠家紛紛推出各型多功能之數值型測距電驛，本文簡介之西門子 7SA522 就是一種數值型測距保護電驛。

7SA522 數值型測距電驛為輸電線多功能之保護電驛，配有 32bit 微處理器可針對各種故障條件來計算及分析出發生故障的種類及範圍，使故障範圍快速從正常系統中隔離，以提升系統的供電品質及安全。

7SA522 數值型測距電驛有 PUTT、POTT、UNBLOCKING 及 BLOCKING 等多項保護功能選項，目前台電係選擇 POTT(permissive overreach transfer trip)

保護功能的選項，本文僅對 7SA522 數值型測距電驛之測量方式、方向性元件及簡單邏輯作一簡介。

二、7SA522 數值型測距電驛典型接線圖：



圖一

有關比流器部份：

- 1.Q1、Q2(IL1(A))接腳引接 A 相電流。
- 2.Q3、Q4(IL2(A))接腳引接 B 相電流。
- 3.Q5、Q6(IL3(A))接腳引接 C 相電流。
- 4.Q7、Q8(I4)接腳引接中性點相電流。

有關比壓器部份：

- 1.R15、R16(VL1(A))接腳引接 A 相電壓。
- 2.R17、R16 (VL2(B))接腳引接 B 相電壓。
- 3.R18、R16 (VL3(C))接腳引接 C 相電壓。
- 4.R13、R14 (V4)接腳引接 OPEN DELTA 之相電壓。

三、7SA522 數值型測距電驛接地測量條件：

3Io 接地電流成份：(參考圖二)

- 1.當系統發生故障時，故障電流經由數值濾波器擷取零相序電流成份，來檢測是否達到 parameter $3I_o > \text{threshold}$ 預定值，如超過 threshold 預定值則

判定為接地故障，在 95% threshold 預定值時復歸。

- 由於 $3I_0$ 接地電流成份會由於不平衡動作電流或非接地相短路故障電流成份造成比流器不同程度的飽和，使得

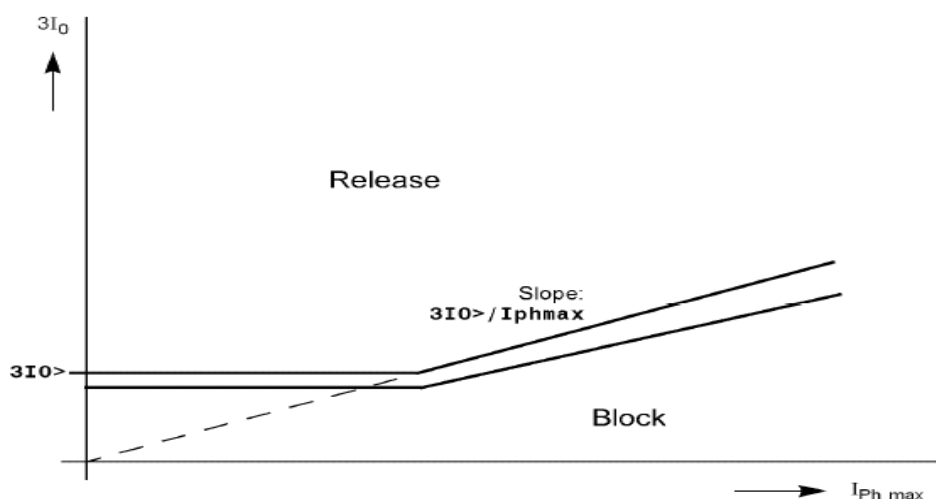


圖 二

比流器二次側有誤差電流產生，該成份會引起電驛誤動作，故 7SA522 電驛設計在 10 倍 $3I_0$ 接地電流時，自動增加 0.1 斜率 ($3I_0/I_{phmax}$) 以避開誤差電流成份。

$3I_2$ 負相序電流成份：(參考圖三)

- 當系統重載時， $3I_0$ 接地電流成份會受到大電流所影響而變的不明顯，為保障接地故障檢測正確性，故增加負相序電流成份的偵測條件。
- 系統發生在單相接地故障時， $3I_2$ 負相序電流與 $3I_0$ 零相序電流趨進相同

大小的特性，在大的 $3I_2$ 負相序電流時， $3I_2$ 負相序電流與 $3I_0$ 零相序電流比值關係成拋物線的特性曲線，即利用此一特性作為接地測量條件。

- 如故障落在圖三 $3I_2/3I_0$ 比值特性曲線與縱軸 $3I_0$ 間，則判定為接地故障，一般最小比較電流值為 $0.2I_n$ 。

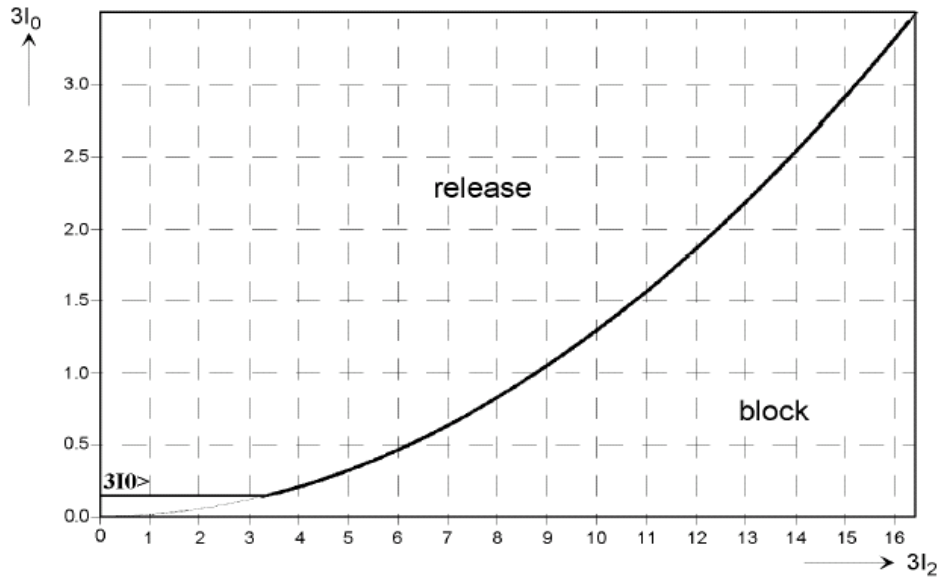


圖 三

3Uo 中性點位移電壓成份：

當系統發生故障時，經由數值濾波器擷取 3Uo 中性點位移電壓成份，來檢測是否達到 3Uo > threshold 預定值，如超過 threshold 預定值則判定為

接地故障，若不需本項功能則 threshold 預定值可設定在 ∞ 位置。

7SA522 數值型測距電驛接地測量之完整邏輯圖：

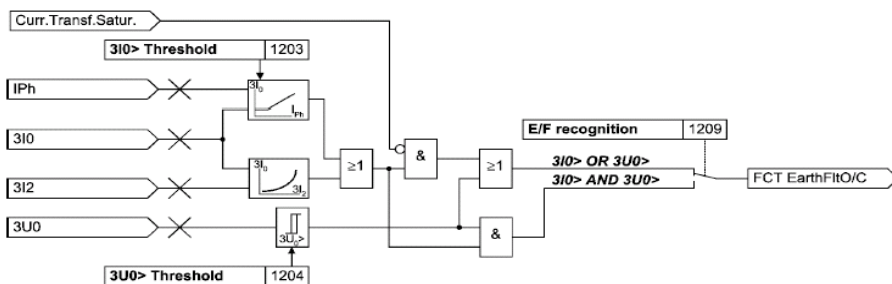


圖 四

四、7SA522 電驛測距元件之測量模式：

7SA522 電驛有一個獨立測量系統，具有 L1-L2、L2-L3、L3-L1 三個相對相及 L1-E、L2-E、L3-E 相對地等六個可能的阻抗測量迴路，如接地測量條件成立，則相對地阻抗測量迴路即依故障數據計算故障接地阻抗值，如故障相電流超過 Minimum Iph> 設定值，則相對相阻抗測量迴路即依故障數據計算故障相間阻抗值，此六個可能的阻抗測量迴路在系統發生故障時，均在同時測量並計算故障阻抗值。

相間阻抗測量迴路之計算方式：(參考圖五)

1. 假設發生 L1-L2 相間短路故障時，由圖五環路方程式為：

$$I_{L1} \cdot Z_L - I_{L2} \cdot Z_L = U_{L1-E} - U_{L2-E}$$

with

$\underline{U}, \underline{I}$ the (complex) measured quantities and

$\underline{Z} = R + jX$ the (complex) line impedance.

The line impedance is computed to be

$$Z_L = \frac{U_{L1-E} - U_{L2-E}}{I_{L1} - I_{L2}}$$

ZL：係由相間阻抗測量迴路計算之相間故障阻抗值

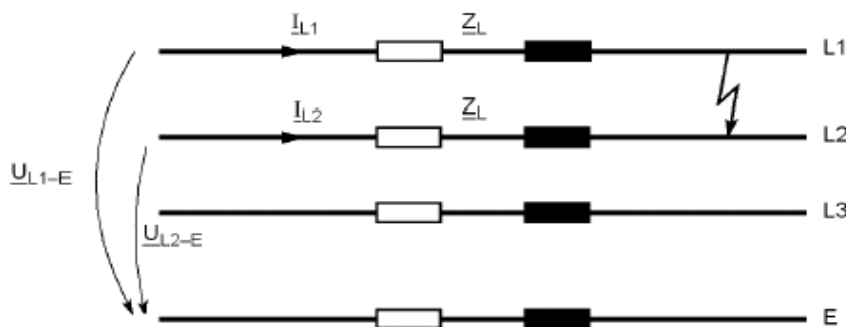


圖 五

2.相間阻抗測量迴路之邏輯圖：(參考圖六)

圖內 Measurement Logic Lx-Ly 為：

$$Z_L = \frac{U_{L1-E} - U_{L2-E}}{I_{L1} - I_{L2}}$$

式子關係

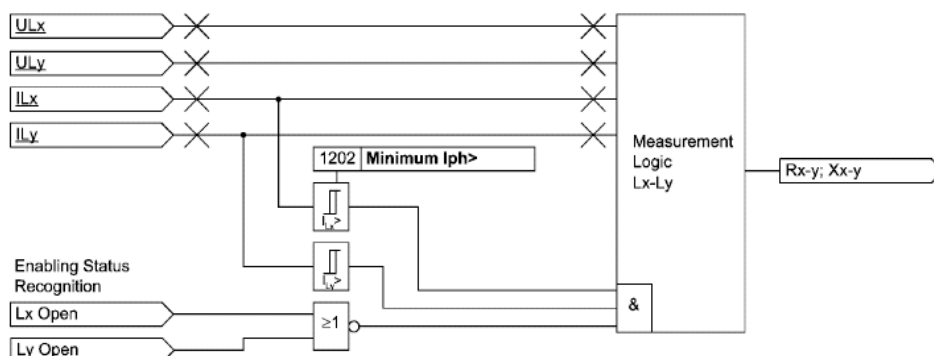


圖 六

相對地阻抗測量迴路之計算方式：(參考圖七)

1. 假設發生 L3 相接地故障時，由圖七環路方程式為：

$$I_{L3} \cdot Z_L - I_E \cdot Z_E = U_{L3-E}$$

Z_E is replaced by $(Z_E/Z_L) \cdot Z_L$ yielding:

$$I_{L3} \cdot Z_L - I_E \cdot Z_L \cdot \frac{Z_E}{Z_L} = U_{L3-E}$$

From this the line impedance can be extracted

$$Z_L = \frac{U_{L3-E}}{I_{L3} - Z_E/Z_L \cdot I_E}$$

Z_L ：係由相對地阻抗測量迴路計算之接地故障阻抗值， Z_E/Z_L 為接地補償部分。



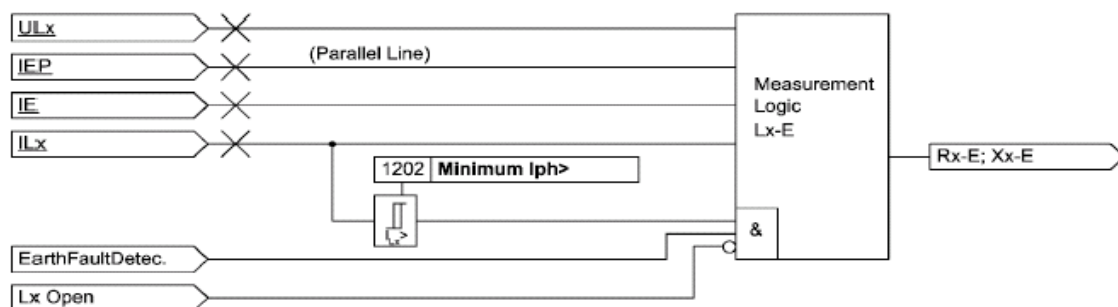
圖 七

2.相對地阻抗測量迴路之邏輯圖：(參考圖八)

圖內 Measurement Logic Lx-E 為：

$$Z_L = \frac{U_{L3-E}}{I_{L3-E} / Z_E / Z_L \cdot I_E}$$

式子關係



圖八

兩相短路接地故障情況之判斷：(參考圖七)

在一個有效接地系統中，發生兩相短路接地時，要正確計算兩相短路接地之故障阻抗值，則需要兩個相同相量之相對地阻抗測量迴路及一個相對相阻抗測量迴路，依故障數據計算兩相短路接地之故障阻抗值。

如兩個相對地阻抗測量迴路不同向量，則無法正確計算兩相短路接地之故障阻抗值，現以 L1, L2 兩相發生兩相短路接地為例分析如下：

1. 發生 L1, L2 兩相短路接地時，只有 L2-E 及 L1-L2 等兩個阻抗測量迴路，依故障數據計算故障之阻抗值，則表示兩個相對地阻抗測量迴路之相位有超前現象，會導電驛之測距元件

有看超過範圍之虞，故此種情況必須被閉鎖。

2. 發生 L1, L2 兩相短路接地時，只有 L1-E 及 L1-L2 等兩個阻抗測量迴路，依故障數據計算故障之阻抗值，則表示兩個相對地阻抗測量迴路之相位有落後現象，會導電驛之測距元件有看不正確之虞，故此種情況亦必須被閉鎖。

3. 發生 L1, L2 兩相短路接地時，有 L1-E、L2-E 及 L1-L2 等兩個阻抗測量迴路，依故障數據計算故障之阻抗值，則表示兩個相對地阻抗測量迴路之兩個相同相量，電驛之測距元件方可正確判斷兩相短路接地故障。

以上三種分析情況可參考表一。

Loop pickup	Evaluated loop(s)	Setting of parameter 1221
L1-E, L2-E, L1-L2 L2-E, L3-E, L2-L3 L1-E, L3-E, L3-L1	L2-E, L1-L2 L3-E, L2-L3 L1-E, L3-L1	2Ph-E faults = Block leading \emptyset
L1-E, L2-E, L1-L2 L2-E, L3-E, L2-L3 L1-E, L3-E, L3-L1	L1-E, L1-L2 L2-E, L2-L3 L3-E, L3-L1	2Ph-E faults = Block lagging \emptyset
L1-E, L2-E, L1-L2 L2-E, L3-E, L2-L3 L1-E, L3-E, L3-L1	L1-E, L2-E, L1-L2 L2-E, L3-E, L2-L3 L1-E, L3-E, L3-L1	2Ph-E faults = All loops

表 一

三相短路及單相接地故障之判斷：(參考表二)

- 1.發生 L1, L2、L3 三相短路時，則需 L1-L2、L2-L3 及 L3-L1 等三個阻抗測量迴路，依故障數據計算三相短路故障之阻抗值，使電驛之測距元件正確判斷三相短路故障。
- 2.發生 L1 單相接地故障時，只需 L1-E 等一個阻抗測量迴路，依故障數據計算單相接地故障之阻抗值，使電驛之測距元件可正確判斷單相接地故障。

Loop pickup	Evaluated loop(s)
L1-E, L2-E, L1-L2	L1-L2
L2-E, L3-E, L2-L3	L2-L3
L1-E, L3-E, L3-L1	L3-L1
L1-E, L2-E, L1-L2	L1-E, L2-E
L2-E, L3-E, L2-L3	L2-E, L3-E
L1-E, L3-E, L3-L1	L1-E, L3-E

表 二

五、共架雙回線測量值修正計算：(參考圖十)

共架雙回線發生接地故障時，測距電驛之阻抗測量值會受到雙回線接地互耦阻抗影響，故將共架雙回線接地互耦阻抗依圖十列入環路方程式修正計算如下：

$$I_{L3} \cdot Z_L - I_E \cdot Z_E - I_{EP} \cdot Z_M = U_{L3-E}$$

$$I_{L3} \cdot Z_L - I_E \cdot Z_L \cdot \frac{Z_E}{Z_L} - I_{EP} \cdot Z_L \cdot \frac{Z_M}{Z_L} = U_{L3-E}$$

I_{EP} ：共架雙回線之接地故障電流。

Z_M/Z_L ：常數比值。

$$Z_L = \frac{U_{L3-E}}{I_{L3} - Z_E/Z_L \cdot I_E - Z_M/Z_L \cdot I_{EP}}$$

Z_L ：修正後故障阻抗值。

式子內 Z_E/Z_L 為接地補償部分， Z_M/Z_L 互耦補償部分

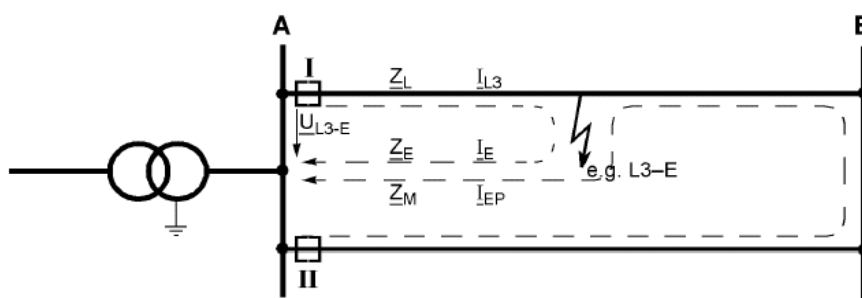


圖 十

六、故障存在時 CB 投入之跳脫保護功能：(switch onto a fault function, SOTF)

在系統故障未排除前就將斷路器投入時，即靠「故障存在時 CB 投入之跳脫保護功能」快速排除故障，7SA522 電驛 SOTF 功能偵測方式分為兩種，一為測距元件偵測方式，一為過流元件偵測方式。

測距元件偵測方式：(參考圖十一)

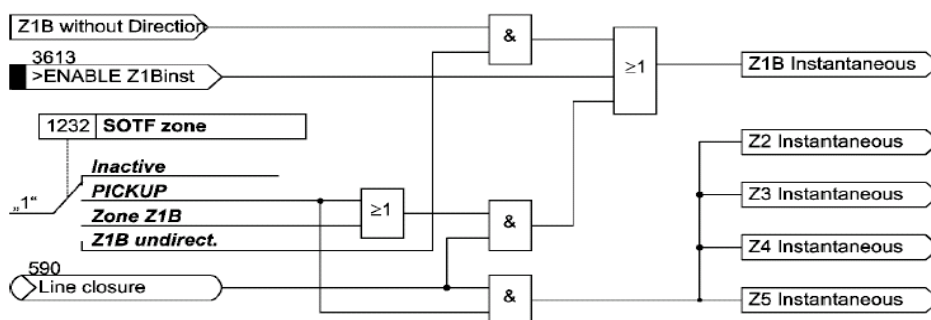


圖 十一

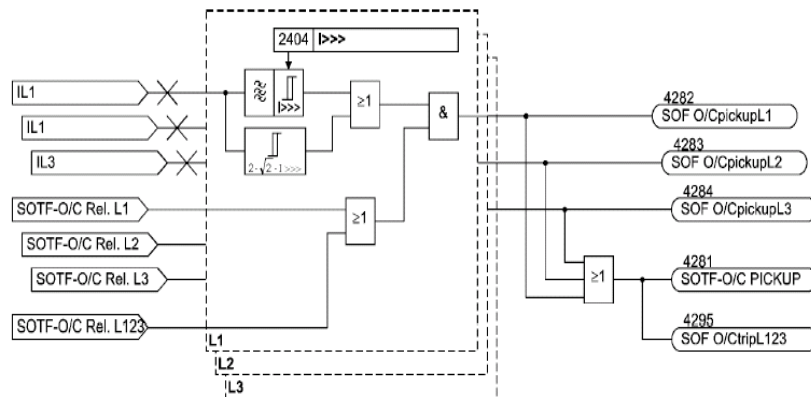
1. 1232 SOTF zone 開關：

- (1) inactive 位置：不使用 Line closure SOTF 功能。
- (2) pickup 位置：只要故障存在時 CB 投入，則啟動任何瞬跳功能。
- (3) zone Z1B 位置：在故障存在時 CB 投入，則啟動 Z1B 之瞬跳功能。
- (4) Z1B undirect. 位置：在故障存在時 CB 投入，則啟動 Z1B 非方向性之瞬跳功能。

2. Line closure：斷路器 52A 接點信號，信號=1 時斷路器 CLOSE，信號=0 時斷路器 OPEN。

3. Z1B without Direction：信號=1 時使用非方向性之瞬跳功能，信號=0 不使用非方向性之瞬跳功能。

過流元件偵測方式：(參考圖十二)



圖十二

1. 擷取每相高始動電流(High-current pickup function)經由數值濾波器再與 $I \gg \gg$ 預設值比較，如超過則啟動 SOTF 功能。
2. 擷取每相高始動電流(High-current pickup function)未經由數值濾波器數據如超過兩倍 $I \gg \gg$ 預設值，則啟動 SOTF 功能。
3. SOFT-O/C Rel.L1、L2、L3：啟動 L1、L2、L3 之單相 SOTF 功能。
4. SOFT-O/C Rel.L123：啟動三相 SOTF 功能。

七、7SA522 數值型測距電驛之方向性判斷：

當系統故障發生時，7SA522 數值型測距電驛會依故障的種類選擇相關的阻抗測量迴路同時測量並計算故障阻抗值，而 7SA522 電驛之方向性就以相關的阻抗測量迴路電壓及電流成份作方向性判斷，惟系統發生故障時電壓會受到暫態變化的影響，不易取得系統電壓，故 7SA522 電驛改採記憶系統發生故障前之電壓作為方向性判斷的電壓成份。以下針對各種故障情況之方向性判斷作簡介：

(參考表三及圖十三)

如發生 L1 單相接地故障時，則擷取 L1-E 阻抗測量迴路之 I_{L1} 電流及故障前系統 U_{L2} - U_{L3} 電壓，作九十度角方向性判斷。

如發生 L2、L3 兩相短路故障時，則擷取 L2-L3 阻抗測量迴路之 I_{L2} - I_{L3} 電流及故障前系統 U_{L3-L1} - U_{L1-L2} 電壓，作九十度角方向性判斷。

如發生 L2、L3 兩相短路接地故障時，則需擷取 L2-E、L3-E 及 L2-L3

等三個阻抗測量迴路電壓及電流作方向性判斷，分析如下：

1. L2-E 阻抗測量迴路，則擷取 L2-E 阻抗測量迴路之 I_{L2} 電流及故障前系統 U_{L3} - U_{L1} 電

壓，作九十度角方向性判斷。

2.L3-E 阻抗測量迴路，則擷取 L3-E 阻抗測量迴路之 I_{L3} 電流及故障前系統 $U_{L1}-U_{L2}$ 電壓，作九十度角方向性判斷。

3.L2-L3 阻抗測量迴路，則擷取 L2-L3 阻抗測量迴路之 $I_{L2}-I_{L3}$ 電流及故障前系統 $U_{L3-L1}-U_{L1-L2}$ 電壓，作九十度角方向性判斷。

綜合 A、B、C 三項即為兩相短路接地故障方向性判斷。

如發生 L1、L2、L3 三相短路故障時，則需擷取 L2-E、L3-E 及 L2-L3 等三個阻抗測量迴路電壓及電流作方向性判斷，分析如下：

1.L1-L2 阻抗測量迴路，則擷取 L2-L3 阻抗測量迴路之 $I_{L1}-I_{L2}$ 電流及故障前系統 $U_{L2-L3}-U_{L3-L1}$ 電壓，作九十度角方向性判斷。

2.L2-L3 阻抗測量迴路，則擷取 L2-L3 阻抗測量迴路之 $I_{L2}-I_{L3}$ 電流及故障前系統 $U_{L3-L1}-U_{L1-L2}$ 電壓，作九十度角方向性判斷。

3.L3-L1 阻抗測量迴路，則擷取 L2-L3 阻抗測量迴路之 $I_{L3}-I_{L1}$ 電流及故障前系統 $U_{L1-L2}-U_{L2-L3}$ 電壓，作九十度角方向性判斷。

綜合 A、B、C 三項即為三相短路故障方向性判斷。

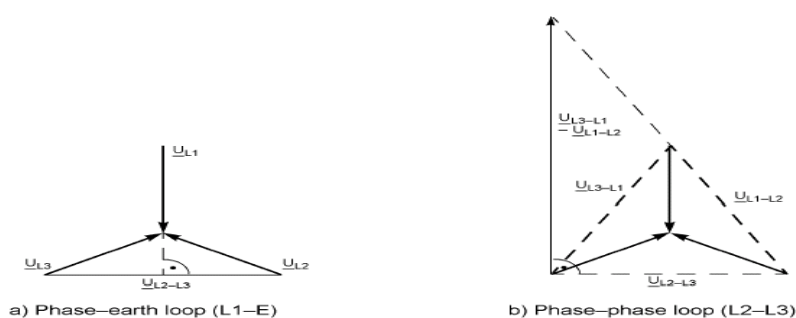


圖 十三

Loop	Measuring Current (Direction)	Actual short-circuit voltage	Quadrature voltage
L1-E	\underline{I}_{L1}	\underline{U}_{L1-E}	$\underline{U}_{L2} - \underline{U}_{L3}$
L2-E	\underline{I}_{L2}	\underline{U}_{L2-E}	$\underline{U}_{L3} - \underline{U}_{L1}$
L3-E	\underline{I}_{L3}	\underline{U}_{L3-E}	$\underline{U}_{L1} - \underline{U}_{L2}$
L1-E ¹⁾	$\underline{I}_{L1} - \underline{k}_E \cdot \underline{I}_E^{1)}$	\underline{U}_{L1-E}	$\underline{U}_{L2} - \underline{U}_{L3}$
L2-E ¹⁾	$\underline{I}_{L2} - \underline{k}_E \cdot \underline{I}_E^{1)}$	\underline{U}_{L2-E}	$\underline{U}_{L3} - \underline{U}_{L1}$
L3-E ¹⁾	$\underline{I}_{L3} - \underline{k}_E \cdot \underline{I}_E^{1)}$	\underline{U}_{L3-E}	$\underline{U}_{L1} - \underline{U}_{L2}$
L1-L2	$\underline{I}_{L1} - \underline{I}_{L2}$	$\underline{U}_{L1} - \underline{U}_{L2}$	$\underline{U}_{L2-L3} - \underline{U}_{L3-L1}$
L2-L3	$\underline{I}_{L2} - \underline{I}_{L3}$	$\underline{U}_{L2} - \underline{U}_{L3}$	$\underline{U}_{L3-L1} - \underline{U}_{L1-L2}$
L3-L1	$\underline{I}_{L3} - \underline{I}_{L1}$	$\underline{U}_{L3} - \underline{U}_{L1}$	$\underline{U}_{L1-L2} - \underline{U}_{L2-L3}$

¹⁾ $\underline{k}_E = \underline{Z}_E / \underline{Z}_L$; if only one phase-earth loop picks up, the earth current \underline{I}_E is taken into account.

表 三

八、7SA522 數值型測距電驛之方向性 R-X 平面：

依理論的穩態特性，依圖十四 R-X 平面可以利用與 X 縱軸夾角三十度和與 R 橫軸夾角二十二度等兩個方向性元件區分為順向(forward)、逆向(reverse)、無方向(non-directional)等三各區域，目前台電使用順向(forward)作跳脫功能，以逆向(reverse)作監視功能。

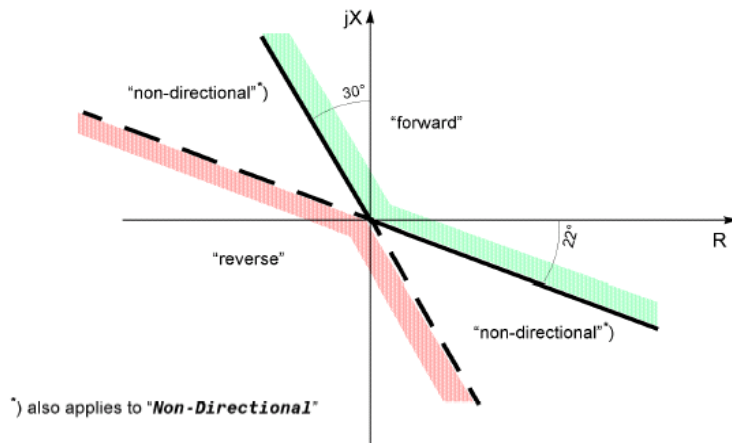


圖 十四

九、以單回線雙電源系統來介紹 7SA522 電驛之方向性：(參考圖十五)

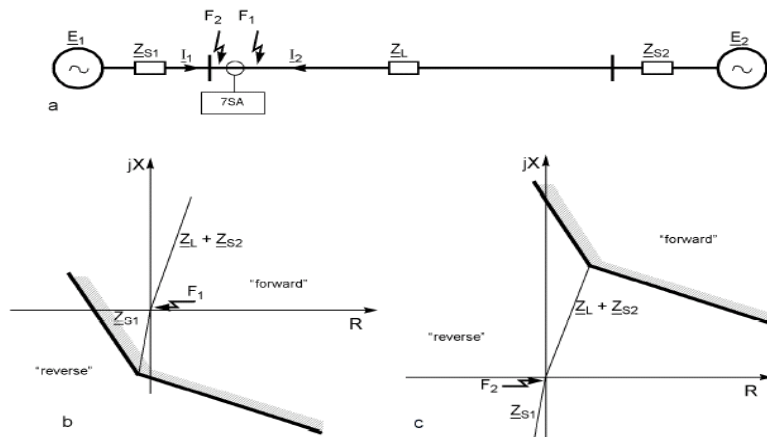


圖 十五

依圖十五單回線雙電源系統有 E_1 及 E_2 兩台發電機， Z_{S1} 、 Z_{S2} ：為 E_1 、 E_2 之系統阻抗， Z_L ：為線路阻抗，7SA522

測距電驛位於 E_1 端，以靠近電驛引接比流器前後兩端發生 F_1 及 F_2 兩點故障來介紹 7SA522 電驛之方向性。

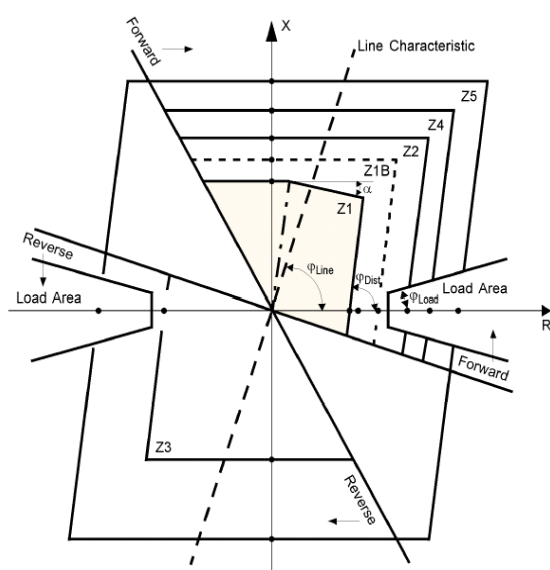
在 F1 點故障：

若以 7SA522 測距電驛引接比流器位置為 R-X 平面座標的原點，在 F1 點發生故障時，由 E_1 發電機提供順向流過 7SA522 測距電驛之 I_1 故障電流，記憶故障前系統電壓 E_1 ，7SA522 測距電驛測量出順向 $Z_{S1}=E_1/I_1$ 阻抗。(詳圖十五 b)。

在 F2 點故障：

若以 7SA522 測距電驛引接比流器位置為 R-X 平面座標的原點，在 F2 點發生故障時，由 E_2 發電機提供逆向流過 7SA522 測距電驛之 I_2 故障電流，記憶故障前系統電壓 E_2 ，7SA522 測距電驛測量出逆向 $Z_{S2}+Z_L=E_2/I_2$ 阻抗。(詳圖十五 c)。

十、7SA522 數值型測距電驛多邊形動作特性：(參考圖十六)



圖十六

圖十六為 7SA522 數值型測距電驛完整多邊形動作特性圖，有關細節如下：

7SA522 數值型測距電驛多邊形動作特性圖，係與 X 縱軸為成 Φ_{line} 傾角平行四邊形動作特性圖。

多邊形動作特性圖內 Z1、Z2、Z3、Z4、Z5 均為各自獨立多邊形的動作區間。

為避免在系統重載時，負載阻抗落入多邊形動作特性圖之動作範圍內，有使測距電驛誤動之虞，故從完整多邊形動作特性圖中切除 R_{LOAD} 大小和 Φ_{LOAD} 角度之梯形範圍。

Z1 多邊形的動作區間，為防止因有電阻性的短路故障造成電驛 Z1 測距元件看超過範圍而誤動，故在 Z1 多邊形的動作區間內切除一個 α 傾角的範圍。

多邊形動作特性圖內，有兩個方向性元件將多邊形動作特性圖，區分為順向 (forward)、逆向 (reverse)、無方向 (non-directional) 等三各區域。

十一、7SA522 數值型測距電驛姆歐動作特性：(參考圖十七)

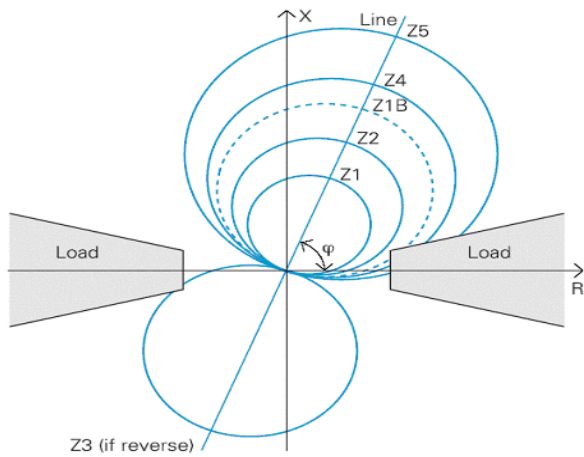


圖 十七

圖十七為 7SA522 數值型測距電驛完整姆歐動作特性圖，有關細節如下：

7SA522 數值型測距電驛姆歐動作特性

圖，係與 X 縱軸為成 Φ 傾角姆歐動作特性圖。

多邊形動作特性圖內 Z1、Z2、Z3、Z4、Z5 均為各自獨立姆歐的動作區間。

為避免在系統重載時，負載阻抗落入姆歐動作特性圖之動作範圍內，有使測距電驛誤動之虞，故從完整多邊形動作特性圖中切除 R_{LOAD} 大小和 Φ_{LOAD} 角度之梯形範圍。

十二、7SA522 數值型測距電驛 POTT 功能簡介：(參考圖十八)

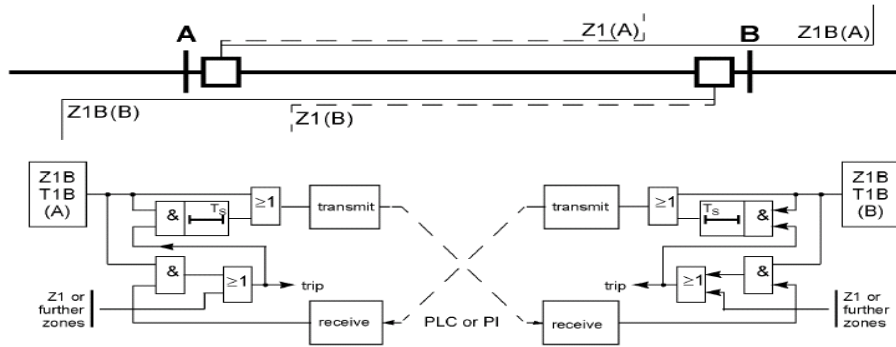


圖 十八

依 7SA522 數值型測距電驛 POTT 功能圖(圖十八)，簡介相關細節如下：

在線路 A 和 B 兩端各裝一套 7SA522 數值型測距電驛，方向性元件之順向(forward)均朝線路對方端。

Z1B 為 7SA522 電驛之 pilot zone；Z1 or further zones：係指順向(forward) Z1、Z2、Z3、Z4、Z5 之後衛保護區間。

T_S ：POTT 傳輸信號延時復歸時間，為確保接收到對方之 POTT 傳輸信號，以達到 POTT 之正常保護功能。

依線路內部或外部故障範圍，來簡介 7SA522 電驛之 POTT 功能：

1.線路發生內部故障時：

- (1)線路 A 和 B 兩端之 Z1B(pilot zone)均偵測到故障並經通信設備傳輸 POTT 信號到對方端，再延時 T_S 時間後復歸，以確保接收到對方之 POTT 傳輸信號。
- (2)線路 A 和 B 端之 Z1B(pilot zone)偵測到故障並接收到對方之 POTT 傳輸信號時，同時跳脫線路兩端之斷路器，以排除線路之內部故障。

(3)線路之內部故障如落在順向(forward)後衛保護區間內，即執行後衛保護區間之跳脫功能。

2.線路發生外部故障時：

- (1)僅有線路 A 或 B 端之 Z1B(pilot zone)偵測到故障並經通信設備傳輸 POTT 信號到對方端，惟線路 A 或 B 端不是未偵測到故障，就是並接收到對方之 POTT 傳輸信號時，如此線路 A 及 B 兩端均無法符合 POTT 跳脫條件，線路 A 及 B 兩端斷路器均不跳脫。
- (2)線路之內部故障如落在順向(forward)後衛保護區間內，即執行後衛保護區間之跳脫功能。

十三、結語：

本文係研讀西門子 7SA522 測距電驛廠家說明書之心得期與同業分享，但因準備時間不長，僅能針對 7SA522 測距電驛之典型內部接線、偵測接地故障之條件、測量模式、方向性判斷、共架雙回線測量值之修正以及 POTT 功能等共十二項作簡單介紹，如有疑義還望先進不吝指教。

也感謝西門子公司提供 7SA522 測距電驛完整說明書供參，得以完成本文。