

保護電驛問題專欄

Q&A

李河樟

Q&A

☎ 1、變壓器加壓時接地過電流電驛（51N）會動作，但變壓器經檢查一切正常，請問為什麼？

📁 1、變壓器加壓時接地過電流電驛動作的主要原因在於：變壓器加壓時會有突入電流（Inrush Current）產生，而此突入電流並非三相一樣大小，因而會有零序電流進入接地過電流電驛。如果電驛的設定不當，則可能零序電流大於電驛始動值且持續的時間長於電驛動作時間，在此種情形之下電驛動作是無法避免的。解決之道在於預估可能產生的最大突入電流及可能的延續時間、突入電流衰減的趨勢等，做好保護協調。

一般變壓器的突入電流在前 10 週波的電流較大，然後逐漸衰減，最長可持續 1 秒鐘以上（如圖 1-1 所示）。突入電流與變壓器的容量、變

壓器飽和磁通密度 ϕ_s 及加壓時電壓的投入角度有關，詳如下表所示。

表 1-1 變壓器突入電流平均值

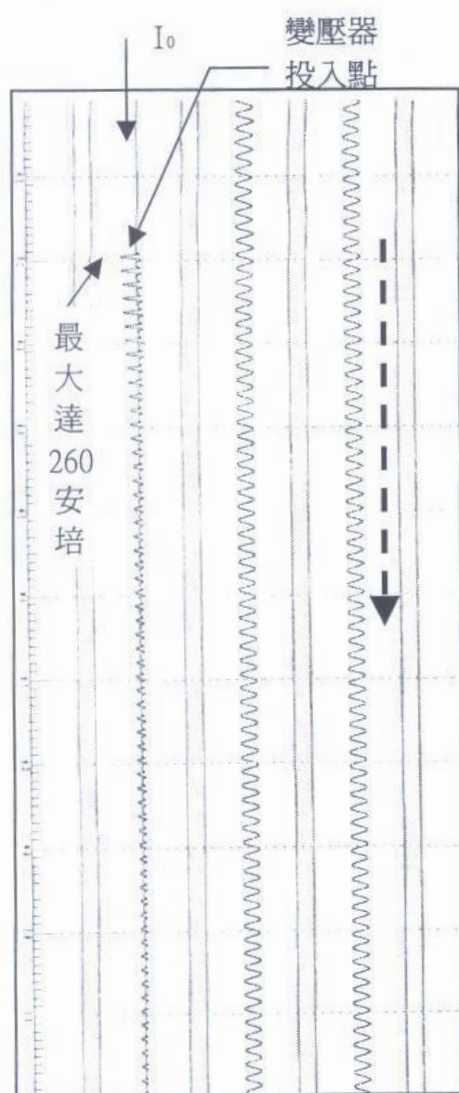
變壓器容量 (kVA)	變壓器突入電流 / 滿載電流			
	冷軋延矽鋼片		熱軋延矽鋼片	
	HV	LV	HV	LV
500	11.0	16.0	6.0	9.4
1,000	8.4	14.0	4.8	7.0
5,000	6.0	10.0	3.9	5.7
10,000	5.0	10.0	3.2	3.2
50,000	4.5	9.0	2.5	2.5

表 1-2 變壓器突入電流衰減時間

變壓器容量 (kVA)	突入電流衰減為最大峰值的50%之時間（毫秒）
500~1,000	最大8~10
1,667~10,000	最大10~60
10,000以上	最大60~360

表1-3 一般突入電流與投入角之關係

ϕ_s	投入 角度	突入電流之峰值 (pu)					
		I_r	I_s	I_t	I_{rs}	I_{st}	I_{tr}
1.40	0°	5.60	-3.73	-3.73	8.33	-3.73	-8.33
1.40	30°	5.10	-1.87	-5.10	5.96	5.10	-9.20
1.15	0°	6.53	-4.67	-4.67	10.20	-4.67	-0.20
1.15	30°	6.03	-2.80	-6.03	7.83	6.03	-1.06

圖1.變壓器加壓時零序電流變化情形
(500MVA 自耦變壓器)

☎ 2、零序比流器 ZCT 在應用上應注意哪 些事項？

☞ 2、一般傳統式的接地故障保護大部分使用殘餘電流 (Residual Current) 方式，即三相電流合成之後的不平衡電流、零序電流等。此一方式因必須考慮負載不平衡電流而不得不犧牲電驛的靈敏度。因此，如果需要更高靈敏度的接地故障保護，則應使用鐵芯平衡比流器 (Core-balance Current Transformer)，一般習慣上稱為零序感測器 (Zero-Sequence Sensor) 或俗稱的 ZCT。高壓用電戶的電纜接地事故保護，普遍都使用 ZCT 做為接地過電流電驛的訊號來源。但是在接線上必須注意接地點的位置，否則會造成電驛的不當動作。如圖2-1所示為錯誤的接法，接地線未貫通 ZCT，當電纜發生接地故障時，故障電流由電纜芯線流過 ZCT，然後在故障點由遮蔽線流經 ZCT 到接地點，在 ZCT 內此兩電流大小相等方向相反，所產生的磁力線相互抵銷。因此 ZCT 無感應電流輸出，會導致接地電驛無法動作，而失去保護的目的，正確接地方式應如圖2-2或2-3所示，接地故障時所有流經 ZCT 的故障電流，絕不可以使其產生的磁力線完全抵銷。



圖 2-1 錯誤的接地方法

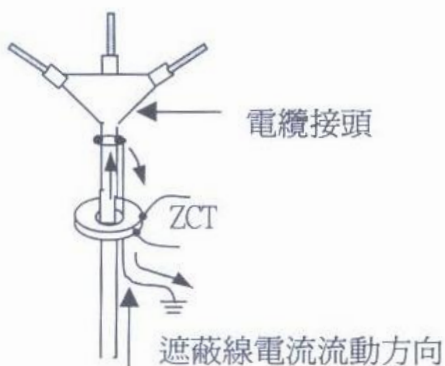


圖 2-2 正確的接地方法



圖 2-3 正確的接地方法

以上所述接線方式是假設穿過 ZCT 的三相電纜都有遮蔽線，所謂接地點是指三相的遮蔽線連結在一起之後接到變電站的接地網。正確的接線方式如圖2-4所示。

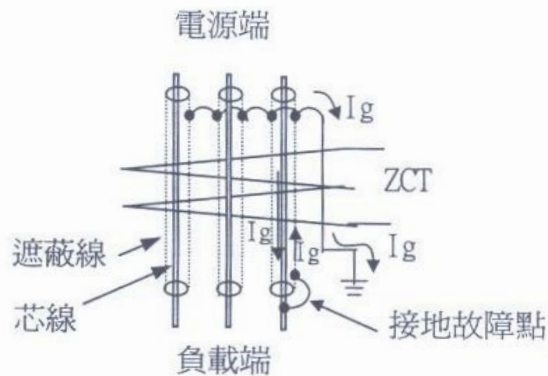


圖 2.4a 正確接線方式故障電流分布圖

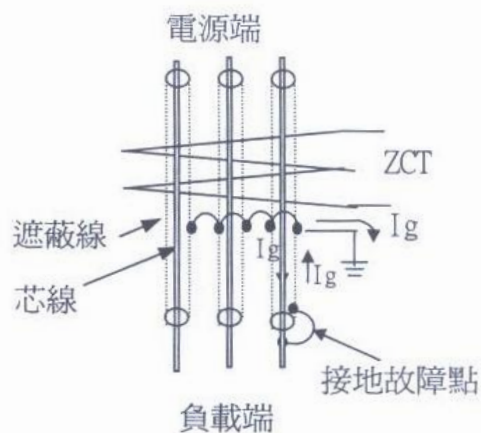


圖 2.4b 正確接線方式故障電流分布圖

另外，要特別注意的是如果電纜兩端（負載端與電源端）同時接地的話，可能會造成外部事故電驛誤動作，也可能於內部事故時減低電驛動作的靈敏度。

如果電纜是三相四線式，則中性線必須貫穿 ZCT，否則對於不平衡負載電流，因無法藉由中性線的電流抵銷此不平衡電流在 ZCT 所產生的感應電流可能會引起電驛誤動作，如圖2-5所示。

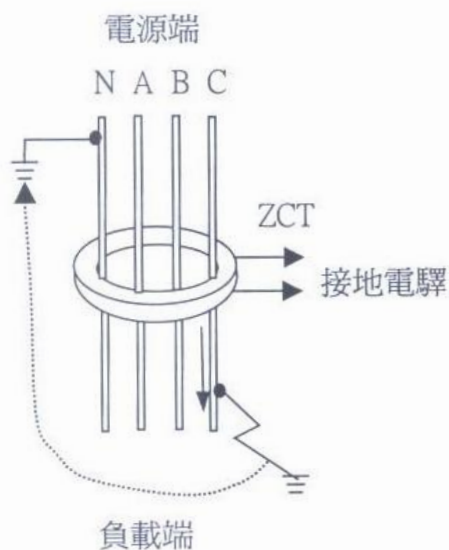


圖 2-5 三相四線式正確接法

☎ 3、為什麼要使用接地變壓器 GPT？電力系統發生單相接地事故時，接地變壓器 GPT 的端電壓為何？

📁 3、對於非接地系統或高阻抗接地系統而言，一旦發生單相接地事故，接地故障電流極小，過電流方式之保護電驛恐無法有效偵測出故障。因此在低接地故障電流系統中的接地故障保護，通常使用過電壓方式，那就是使用接地變壓器（GPT：Ground Potential Transformer）以取得零序電壓，做為保護電驛的動作源，如圖3-1所示，此種保護方式在設備發生接地事故時極為靈敏。

在接地故障發生時，跨接於過電壓電驛兩端之電壓到底最高會有多高？這關係到選用电驛之額定電

壓值，也影響保護協調時之電驛設定，因此非常值得仔細探討。

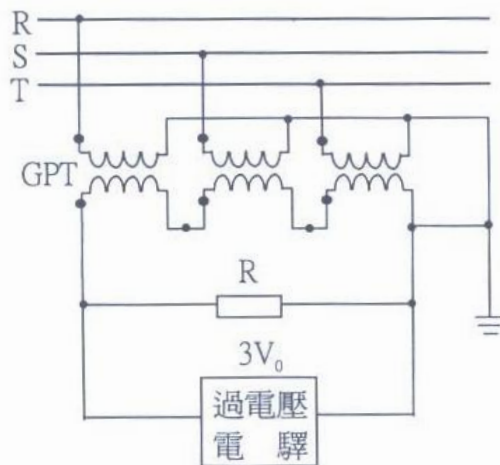


圖 3-1 接地用變壓器（GPT）接線方式

在對稱系統中一相（R 相）發生接地事故時，

$$V_R = 0 \quad (1)$$

如果不考慮負載電流，則

$$I_S = I_T = 0 \quad (2)$$

依據對稱分量關係

$$V_f = V_0 + V_1 + V_2 = 0 \quad (3)$$

$$I_S = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = 0 \quad (4)$$

$$I_T = I_0 + a I_1 + a^2 I_2 = 0 \quad (5)$$

$$\text{故 } I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_0 + a I_1 + a^2 I_2$$

$$\text{得 } I_1 (a^2 - a) = I_2 (a^2 - a)$$

$$\text{即 } I_1 = I_2 \quad (6)$$

將(6)代入(4)

$$\text{得 } I_0 + a^2 I_1 + a I_1 = 0$$

$$I_0 = -I_1 (a^2 + a)$$

$$\text{因 } a + a^2 + 1 = 0 \Rightarrow a + a^2 = -1$$

$$\text{故 } I_0 = I_1, \text{ 所以 } I_0 = I_1 = I_2$$

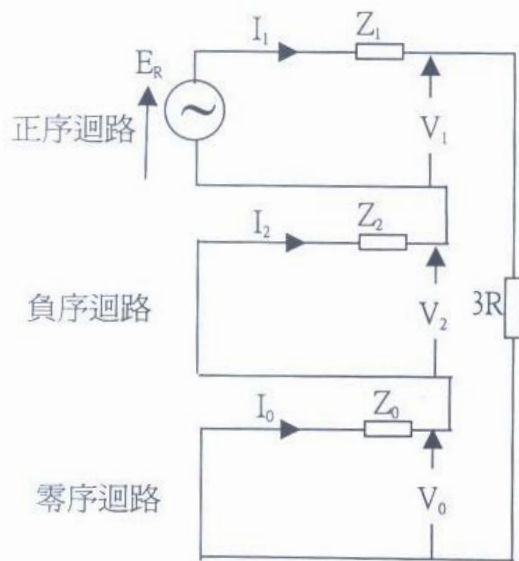


圖 3-2 單相接地等效迴路圖

此一關係可由三相對稱系統發生單相接地事故時的等效迴路圖看出（圖3-2），另外從圖上可以得知電壓的序分量為：

$$V_0 = -I_0 Z_0, V_1 = E_R - I_1 Z_1, V_2 = -I_2 Z_2$$

$$\text{單相接地時 } V_R = 0 = V_0 + V_1 + V_2$$

$$\therefore (-I_0 Z_0) + (E_R - I_1 Z_1) + (-I_2 Z_2) = 0$$

$$\text{即 } (-I_0 Z_0) + (E_R - I_0 Z_1) + (-I_0 Z_2) = 0$$

$$-I_0(Z_0 + Z_1 + Z_2) + E_R = 0$$

$$\therefore I_0 = E_R / (Z_0 + Z_1 + Z_2) = I_1 = I_2$$

$$V_0 = -I_0 Z_0 = -Z_0 E_R / (Z_0 + Z_1 + Z_2)$$

$$V_1 = E_R - I_1 Z_1 = E_R - Z_1 E_R / (Z_0 + Z_1 + Z_2)$$

$$= (Z_0 + Z_2) E_R / (Z_0 + Z_1 + Z_2)$$

$$V_2 = -I_2 Z_2 = Z_2 E_R / (Z_0 + Z_1 + Z_2)$$

$$V_s = V_0 + a^2 V_1 + a V_2$$

$$= -Z_0 E_R / (Z_0 + Z_1 + Z_2) + a^2 (Z_0 + Z_2) E_R /$$

$$(Z_0 + Z_1 + Z_2) + Z_2 E_R / (Z_0 + Z_1 + Z_2)$$

$$= E_R [(a^2 - 1) Z_0 + (a^2 - a) Z_2] / (Z_0 + Z_1 + Z_2)$$

同法

$$V_T = V_0 + a V_1 + a^2 V_2$$

$$= E_R [(a - 1) Z_0 + (a - a^2) Z_2] / (Z_0 + Z_1 + Z_2)$$

在非接地系統中可以視為 $Z_0 = \infty$ ，而一般情況下 $Z_1 = Z_2$

$$\therefore V_0 = -Z_0 E_R / (Z_0 + Z_1 + Z_2)$$

$$= -Z_0 E_R / (Z_0 + 2Z_1)$$

$$= -E_R / (1 + 2Z_1 / Z_0)$$

$$= -E_R$$

$$V_1 = (Z_0 + Z_2) E_R / (Z_0 + Z_1 + Z_2)$$

$$= (1 + Z_2 / Z_0) E_R / (1 + 2Z_1 / Z_0) \cong E_R$$

$$V_2 = Z_2 E_R / (Z_0 + Z_1 + Z_2)$$

$$= E_R (Z_2 / Z_0) / (1 + 2Z_1 / Z_0) \cong 0$$

則健全相對地之電壓為：

$$V_s = V_0 + a^2 V_1 + a V_2$$

$$= -E_R + a^2 E_R + a \cdot 0 = (a^2 - 1) E_R$$

$$V_T = V_0 + a V_1 + a^2 V_2$$

$$= -E_R + a E_R + a^2 \cdot 0 = (a - 1) E_R$$

因為

$$a = -0.5 + j \frac{\sqrt{3}}{2} \quad a^2 = -0.5 - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$|a^2 - 1| = |a - 1| = \sqrt{1.5^2 + (\frac{\sqrt{3}}{2})^2} = \sqrt{3}$$

如果我們只看大小而不去考慮相位關係，則可發現 $|V_s| = |V_T|$ 。

GPT 開口端的電壓為：

$$V_{GPT} = V_R + V_s + V_T = 0 + (a^2 - 1) E_R + (a - 1) E_R$$

$$= (a^2 - 1 + a - 1) E_R = (a^2 + a - 2) E_R$$

$$= (a^2 + a - 2) E_R = -3 E_R$$

也就是說，在非接地系統中如果發生單相接地事故時（接地阻抗為零），則在 GPT 開口端的電壓視線對地電壓的三倍。例如在 33kV 系統，比壓器比值為 33000/110，即 $\frac{33000}{\sqrt{3}} : \frac{110}{\sqrt{3}}$ 比壓器二次側相電壓為 63.5V，當 33kV 系統上發生單相直接接地故障時，GPT 開口端的電壓為：
 $3 \times 63.5V = 190V$ 。

圖 3-3 表示在非接地系統單相接地事故時相關電壓之相位關係，從圖中亦可以獲得相同答案。

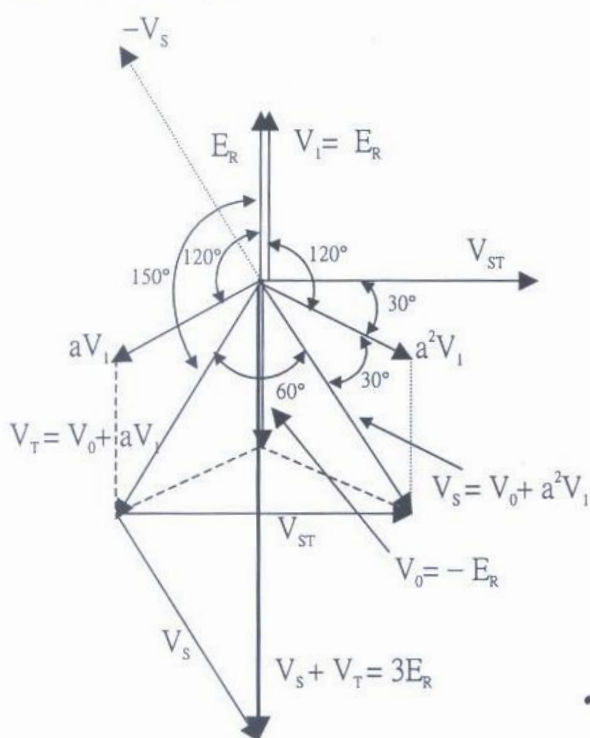


圖 3-3. R 相接地故障時電壓相量關係圖

事實上在一般中性點接地系統中，對於單相接地故障保護電驛亦常使用到 GPT，大家所熟悉的方向性接地過

電流電驛即是其中一例。在中性點接地系統中發生單相接地故障時，GPT 開口端的電壓到底會是多少？其實最簡單的方法是以電壓的相量圖來說明，如圖 3-4 在中性點直接接地系統中，如果不考慮中性點電位移的問題，則當 R 相發生直接接地事故時，R 相電壓等於零，R 的位置與中性點重疊；而 S、T 對中性點的電壓與對地電壓完全一致，所以 GPT 開口端的電壓為：

$$V_{GPT} = V_R + V_S + V_T, \text{ 當 } V_R = 0$$

$$V_{GPT} = V_S + V_T = -V_R$$

如果比壓器的比值為：

$$\frac{161kV(69kV)}{\sqrt{3}} : \frac{115V}{\sqrt{3}}$$

則二次側電壓為 66.4V，及 V_S 、 V_T 之電壓皆為 66.4V，其夾角為 120° 。

$$\therefore V_{GPT} = V_S + V_T \text{ (向量和)}$$

$$= \sqrt{66.4^2 + 66.4^2 - 2 \times 66.4 \times 66.4 \cos 60^\circ}$$

$$= 66.4V$$

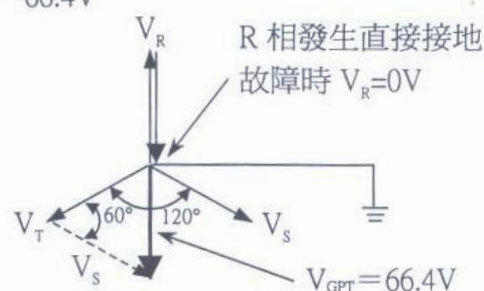


圖 3-4 中性點直接接地系統 R 相發生接地故障電壓相量圖

但是如果中性點發生位移現象時，或中性點非直接接地時（經電阻或電抗

接地)，則 R 相發生接地故障 V_R 對中性點的電壓不為零，如圖 3-5 所示。

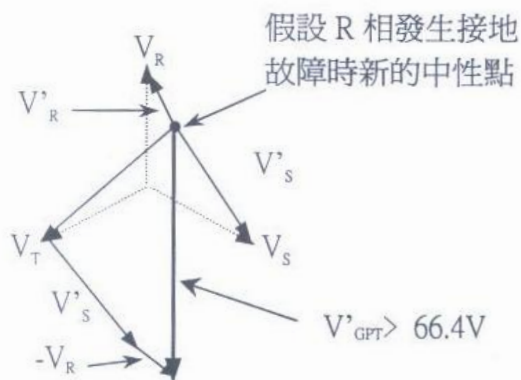


圖 3-5 R 相發生接地故障時中性點位移相關電壓相量圖

如果發生的 R 相接地事故並非完全接地，則 V_R 對中性點的電壓不為零，如圖 3-6 所示。

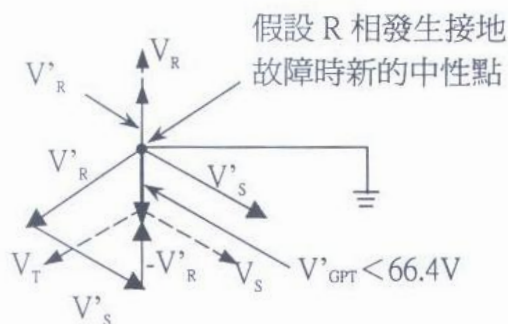


圖 3-6 R 相發生非直接接地故障且中性點電位位移相關電壓相量

中性點電位位移最極端的情況就如同非接地系統，當 R 相發生直接接地故障時，接地點即為新的中性點，如圖 3-7 所示。當然 $V_R = 0$ ，而故障時的 S、T 電壓分別為 $V'_S = \sqrt{3} V_S$ ， $V'_T = \sqrt{3} V_T$ ，所

以 $V'_{GPT} = -3 V_R = 3 \times 66.4V = 199.2V$ 。

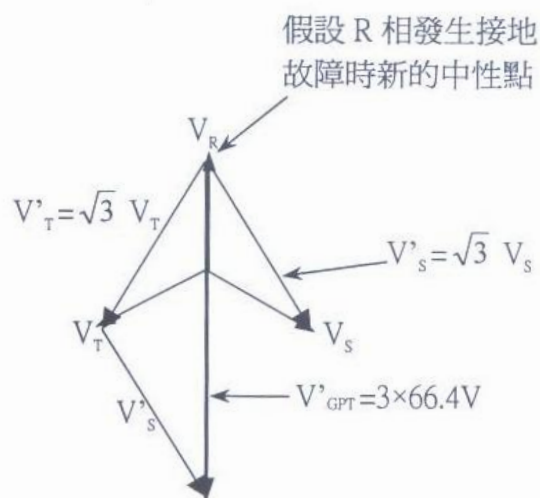


圖 3-7 非接地系統 R 相發生接地故障時中性點位移相關電壓相量圖

因此當您在選擇此類過電壓電驛時，其額定電壓的選擇及電驛設定值的範圍，應根據系統的中性點接地方式，以及電驛所在系統發生單相接地故障時中性點電位位移的情況詳加考慮。如果選用不當可能造成電驛設定上的難題，也可能在發生接地事故時，電驛還未能有效完成動作之前，電驛本身先燒損的烏龍事件。

在非接地系統上使用 GPT 要特別注意的是，在 GPT 的開口端必須並聯一電阻器 R，以抑制中性點異常電壓的浮動現象，同時對高頻突波過電壓提供阻尼作用，控制暫態過電壓，避免設備受損。