

## 保護電驛問題專欄

李河樟編

☎ 1、爲什麼由不同斷路器操作的兩組變壓器，不由同一組差動電驛保護？

☞ 1、在一般情況下，兩組變壓器必須由不同的兩組差動電驛分別保護，其理由是當其中一組變壓器爲運轉中機組，如再加壓另一組變壓器時，則突入磁化電流須包含運轉中的變壓器及加壓之變壓器，故此一突入暫態現象會持續特別長的時間，而且進入加壓變壓器的突入現象，發生在運轉中變壓器的反向半周波，導致進入所有變壓器的總突入電流，可能非常接近於其中基本頻率的正弦波，因而使得同時保護此兩變壓器的差動電驛之諧波抑制元件失效，引起電驛誤動作。

如果兩組變壓器經常是同時加壓，則不會有上述的突入共振現象發生，故共同使用一組差動電驛不會有問題。

☎ 2、副線電驛 HCB-1 特性試驗時，其序濾波器輸出電壓  $V_F$  到底是多少才算正常？

☞ 2、對於這一問題簡單的回答是：根據廠家說明書『ABB 1L41-971.31』第13頁，7.2.2序濾波器一節所述，當電驛設定在 C 及 H 的分接頭時，在  $I_{79}=2.05$ 安培及  $I_{59}=3.44$ 安培時， $V_F=0.8\pm 5\%$ 伏特。電驛特性試驗一般均以製造廠家所提供的標準值爲依據，除非特別的需求，否則

使用者鮮少自定標準。如果要得到更確定的答案，這可從序濾波器的設計公式：

$$V_F = -0.2I_{a1} + 0.46I_{a2} + 4.9I_{a0}$$

$I_{59} = 3.44$  表示： $I_c = -I_a = 3.44$  安培，且  $I_b = 0$ ，根據序分量公式(參看本會刊創刊號『副線電驛 HCB-1 之原理與應用』)。

$$\begin{aligned} I_{a1} &= (I_a + aI_b + a^2I_c)/3 \\ &= [I_a + a \times 0 + a^2(-I_a)]/3 \\ &= I_a(1 - a^2)/3 = (I_a/3)(1.5 + j0.866) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{a2} &= (I_a + a^2I_b + aI_c)/3 \\ &= I_a(1 - a)/3 = (I_a/3)(1.5 - j0.866) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{a0} &= (I_a + I_b + I_c)/3 \\ &= (I_a + 0 - I_a)/3 \\ &= 0 \end{aligned}$$

所以  $V_F = -0.2I_{a1} + 0.46I_{a2} + 4.9I_{a0}$

$$\begin{aligned} V_F &= (-0.2 \times I_a/3)(1.5 + j0.866) + 0.46 \times \\ &\quad I_a/3(1.5 - j0.866) \\ &= (I_a/3)(-0.3 - j0.1732 + 0.69 - j0.3984) \\ &= (I_a/3)(0.39 - j0.5716) \\ &= 0.23 I_a \angle -55.7^\circ \end{aligned}$$

如不考慮相角，則

$$V_F = 0.23 \times 3.44 = 0.7912V$$

同樣方式可求得  $I_{79} = 2.05$  安培時的  $V_F$ ， $I_{79} = 3.44$  表示  $I_c = -I_b = 2.05$  安培且  $I_a = 0$ ，則

$$\begin{aligned} I_{a1} &= (I_a + aI_b + a^2I_c)/3 \\ &= [0 + a \times I_b + a^2(-I_b)]/3 \\ &= I_b(a - a^2)/3 = (I_b/3)(j1.732) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{a2} &= (I_a + a^2I_b + aI_c)/3 \\ &= I_b(a^2 - a)/3 = (-I_b/3)(-j1.732) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{a0} &= (I_a + I_b + I_c)/3 \\ &= (0 + I_b - I_b)/3 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_F &= -0.2 \times I_b/3(j1.732) + 0.46 \times \\ &\quad (I_b/3)(-j1.732) \\ &= (I_b/3)(-j0.3464 - j0.7967) \\ &= (I_b/3)(-1.65 - j0.9699) \\ &= 0.381 I_b \angle -90^\circ \end{aligned}$$

如不考慮相角，則

$$V_F = 0.381 \times 2.05 = 0.781V$$

如試驗所得結果在  $\pm 5\%$  以內，電驛特性可視為正常；如超出此一範圍，則須加以適當的調整。

☎ 3、接地過電流電驛 LCO 的始動值設定，是否須隨比流器比值更改而變動？

☞ 3、答案是：原則上『必須隨著更動』。理由是，LCO 電流始動值的設定，有其一定的原則。即此一設定值，必須小於可能的最小單相接地故障電流之一半，且必須大於最大負載不平衡電流的兩倍。這裡所以要為最小故障電流之【一半】，是考慮到保護電驛的可靠性而加的餘裕度；而要最大負載不平衡電流的【兩倍】，則是考慮保護

電驛的安全性所增加乘數，以確保電驛不會因負載電流的變動而誤動作。此處所談的電流，是指設備實際故障電流，經比流器變比後引入保護電驛的電流，是比流器的二次側電流。因此，當比流器比值更改後，設備故障電流雖然相同，但是流入電驛的電流已然改變，電驛設定當然要隨之更改。這可用下列例子加以說明：假設線路最小單相接地故障電流為1500安培，負載不平衡電流最大為40安培，比流器比值(CTR)為500/5，則流入電驛的電流分別為： $1500 \div (500/5) = 15$ 安培及 $40 \div (500/5) = 0.4$ 安培。為了使電驛能正常動作，其電流始動值設定必須大於 $0.4 \times 2 = 0.8$ 安培，且必須小於 $15 \div 2 = 7.5$ 安培。為符合上述的基本原則，並考慮電驛的靈敏度，通常始動值選擇設定為1.0安培。

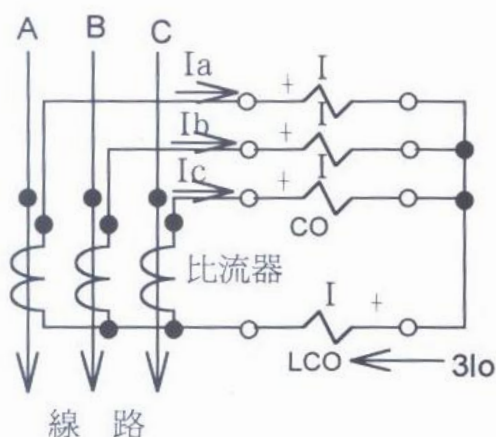
如果現在要將比流器比值更改為300/5，則 $1500 \div (300/5) \div 2 = 12.5$ 安培； $40 \div (300/5) \times 2 = 1.33$ 安培。此時如果設定值不改，則可能在負載不平衡電流下導致電驛不必要的動作。另外，亦有可能在比流器比值提高後，造成最小故障電流低於電驛始動值，而導致事故時電驛不會動作的可怕後果。

另外，保護電驛動作時間的協調，是根據事先所選定的CTR計算而得，如果CT比值更改，當然須重新協調，否則會使得上下游間保護電驛無法得到正確的協調，事故時電驛將失去其應有的選擇性，導致事故範圍的擴大。

☎ 4、*接地過電流電驛 LCO 是否僅在任何一相發生接地事故時動作，或是三相不平衡時也會動作？*

☞ 4、LCO 電驛在三相接地系統中，只要有任何一相發生接地故障，它都會動作(當然，先決條件是電驛設定要正確)，這可從其接線方式得知，如圖一所示：當線路或設備發生 A 相接地事故時，流經 A 相電驛的故障電流，必定會流過 LCO 電驛(當然電驛接線一定要正確，迴路上不能有雙重接地現象)。而在一般情況下，接地過電流電驛的始動值，通常較相間過電流電驛設定為低。因此，對於任何一相發生接地故障，LCO 都必須動作，電驛的設定才算正確；如果接地故障電流，大於相間過電流電驛的設定值，則相間過電流電驛也可能動作。不過，除非故障電流相當大，否則，相間過電流電驛的動作時間

應較慢(始動值高)，理論上應該是動作的機會較小，但實際上還需視故障電流大小及電驛設定值而定。但是無論如何，就算接地過電流電驛與相間過電流電驛同時動作，這並不影響保護電驛的應有功能，無損於其正確性。



圖一. 過電流電驛接線方式

另外，如果三相不平衡電流大於電驛的始動值，LCO 電驛當然也會動作。其計算方法是利用三相平衡系統時， $I_a + I_b + I_c = 3I_o$ 。在三相平衡狀態時， $I_a + I_b + I_c = 3I_o = 0$ ，LCO 當然不會動作，但當  $I_a \neq I_b \neq I_c$  時(此處是指相量的不等式，而非代數的不等式)，可用相量的加總方式得到  $3I_o$  的值，如果大於電驛設定值，電驛即動作，反之則不會動作。

☎ 5、11.4KV 乾式變壓器為何現場送電時，LCO 時常動作，需多試送幾次才能送上，請問其原因何在？

☞ 5、此種現象不僅發生於 11.4KV 乾式變壓器，幾乎所有變壓器的 LCO 電驛都可能有此情形。最有可能的原因是，LCO 在設定時對於變壓器加壓時的突入磁化電流沒有做適當的考慮，以致在變壓器加壓時，因三相的突入電流不必然相等，故而產生不平衡電流導致 LCO 動作。而每一次加壓時，其突入電流受斷路器投入角度，及變壓器內部的剩磁影響而有極大差異，故有可能多試送幾次後，偶會有成功的機會。有關突入電流的詳細解說，請參考本會刊第四期『變壓器差動保護電驛之運用』一篇。

至於解決的方法是重新考慮 LCO 電驛的設定，包括始動電流值及動作時間延遲。設定時，必須詳加考慮變壓器的突入電流大小及持續時間。

☎ 6、保護電驛動作有各種不同結果，一般可分為幾類？

☞ 6、保護電驛可能在設備發生異常時動作，以隔離故障點；但也可能設備

發生異常時，電驛發生未能正常動作的情形，更有可能在設備正常情況下，保護電驛不當動作，造成不必要的停電損失。一般可將保護電驛的動作情形可歸納如下：

1. 正確動作：這又可分為預期的與非預期的兩類，約佔98~99%。電驛正確動作表示(1)至少有一主保護電驛於設備故障時動作，(2)對於此一事故，沒有後衛保護電驛動作，(3)故障區域在所期望的時間內有效隔離。

2. 不正確動作：可分為該動作而未動作(failure to trip)，及不該動作而動作，後一類又稱誤動作(false tripping)。不正確動作是我們所不願意見到的，但也有一部分是可以接受的。

電驛不正確動作的原因大致上可歸類為(1)電驛運用方式不當，(2)電驛標置不當，(3)人為錯誤，(4)設備不良，包括電驛、斷路器、比流器、比壓器、直流電源、接線或控制頻道等)，(5)原因不明。

實際上，對於電力系統層出不窮的各類問題，不可能期望保護電驛能提供完美的保護，既使有最好的規畫與設計，通常仍多多少少會

潛有著保護死角。

3. 無定論：電驛跳脫或因斷路器動作而認定某些電驛動作(未指示)，且又未能找出真正的原因，也沒有證據顯示電力系統有故障或異常。這對於從事保護電驛工作者而言，是一件非常嚴重的事情，務必找出原因以防範事件再度發生。

此類電驛動作會發生，合理的推測是，大部分的情況為人為因素，但並未據實報告，或是因為某些間歇性的問題，尚未能在測試中被發現。所幸，現在有事故自動記錄示波器，可將當時的電壓、電流等等數據紀錄，提供直接的證據與線索，做為電驛動作分析與研判。

☎7、進行過電流電驛動作時間協調，需要準備那些基本資料？

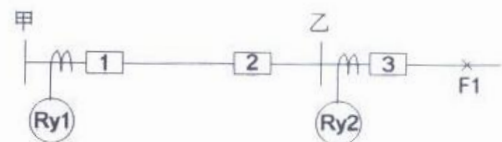
☞7、在電力系統中的每一保護電驛，均有其各自的保護區域，系統中有任何故障發生時，為了使各過電流電驛能正確的在其各自的保護範圍動作，在可能的最小停電範圍內，有效隔離故障點，並要求故障隔離時間越短越好，以達到保護電驛基本要求的快速性與選擇性。要達到此

一目的，唯一有效的方法便是，做好電驛協調工作。要做好過電流電驛的保護協調，必須要準備充分的資料，包括：

1. 所要協調的系統之單線圖，此單線圖必須含下列資料：(1)包括所有被保護設備的電壓、電力額定容量，(2)變壓器的接線方式及阻抗值，(3)線路的線徑、長度，(4)發電機及馬達的次過度電抗 (Subtransient reactance)，發電機與同步馬達的過度電抗 (Transient reactance)，及發電機的同步電抗 (Synchronous reactance)，(5)比壓器及比流器的變比值。
2. 系統之正常及緊急運轉方式(如系統的分界點等)。
3. 保護電驛、電力熔絲的額定值、特性曲線、調整範圍等。
4. 完整的故障電流計算，包括單相接地故障、三相短路、兩相短路之最大與最小故障電流值。
5. 可能的最大負載電流及最大不平衡電流。
6. 被保護設備的過熱極限(thermal limit)值  $I^2t$ 。

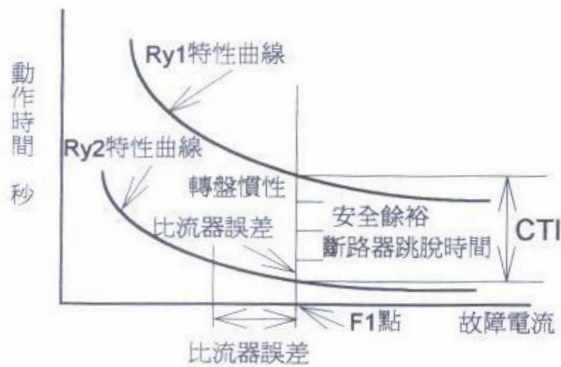
☎8、什麼叫做過電流電驛的動作協調時間 (Coordination Time Interval) CTI，需要考慮哪些因素？

☞8、選擇性是保護電驛的基本要求之一，當電力設備發生異常時，電驛快速、正確的選擇跳脫相關斷路器，使停電範圍縮小到最小，這是保護電驛的主要任務。在一個以過電流電驛為保護的系統中，為了要達成此一目標，相關電驛的標置必須做好保護協調，如圖二所示，當故障發生於 F1 時，應該是電驛 Ry2 動作，跳脫斷路器 3 隔離事故點；電驛 Ry1 則作為 Ry2 的後衛保護。因此，對於 F1 的故障，流過斷路器 1 與斷路器 3 的電流雖然完全一樣，但電驛 Ry1 的動作時間必須較 Ry2 動作時間長，這是很容易可以了解的。但是到底要加長多少時間才適當呢？這就是所謂的協調時間 CTI。



圖二. 系統簡易單線圖

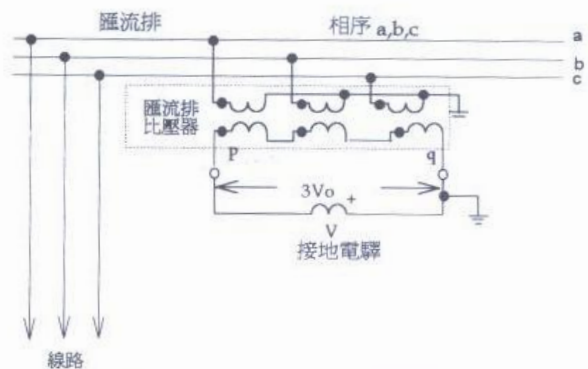
一般在決定協調時間時，必須要考慮的因素包括：比流器的誤差、系統變更造成故障電流的改變、斷路器跳脫時間等，如果是電磁型轉盤式電驛，則還需考慮電驛轉盤的慣性衝程。因為並非故障電流一消失，電驛轉盤可以立即停止動作，而是受到慣性作用，轉盤繼續往前走一段距離(此一因素在電子式電驛可以不需考慮)。這些因素加總起來，一般約在0.30到0.5秒之間，0.30到0.5秒就是所謂的CTI，如圖三所示。



圖三. 協調時間CTI

9、方向性過電流電驛67N 的電壓源 (broken Δ) 因受接線方式所限制，而無法施行模擬故障試驗時，有何方法可補救？

9、方向性過電流電驛67N 的電壓源，一般均接自匯流排的比壓器，而所用比壓器的接法為缺口三角方式 (broken Δ，請勿稱為 open Δ，以避免與 V 接線方式混淆)，如圖四所示。

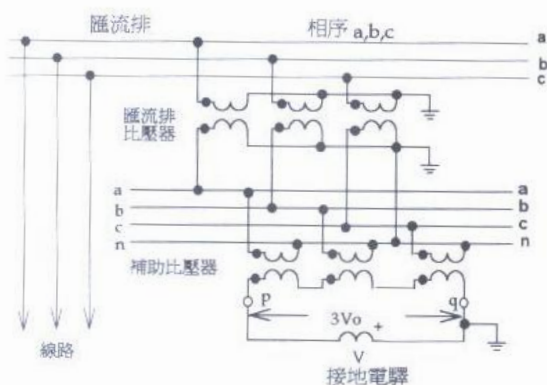


圖四. 方向性接地過流電驛電壓源接線方式

在三相平衡系統裡，於正常情況下， $V_{qp} = V_a + V_b + V_c = 0$ 。因此，如果要判斷電驛接線是否正確，必須模擬單相故障情形，才能獲得  $V_{qp}$  電壓，再加上模擬出故障電流，這樣才能判定67N 電驛接線的正確性，否則此一電驛可能該動作時不動作，不該動作時反而動作，成為造成停電的禍首。電力設備在設計規劃時，就應考慮保護電驛的應用方式，以及相關設備的配合，

否則徒增運轉上的困擾，這是很明顯的實際例子。

因此，如果匯流排比壓器 broken  $\Delta$  接線僅有頭尾兩條引線接出，勢必無法模擬單相接地故障。補救方法為：利用一組補助比壓器，一次側引自接匯流排比壓器另一組星形接法(Y 接)，並將其二次側接成 broken  $\Delta$ ，則模擬故障可再比壓器二次側進行，如圖五所示。



圖五. 方向性過電流電驛電壓源以補助比壓器引接方式

☎10、變壓器差動保護電驛動作，但經過詳細檢查，變壓器並無異狀，事後亦證明變壓器一切正常；而差動電驛經測試也未發現異常(包括特性及接線試驗)，請問可能的原因是什麼？

☞10、變壓器差動保護電驛會動作，是因為進出變壓器兩側(或三側)的電流，不符合預先設定的比例，以致電驛的抑制線圈力量小於動作線圈的力量，導致電驛動作。最有可能的情況是變壓器本身故障，其次是差動電驛接線或特性有問題。

但現在這兩種最有可能的情形，經試驗後皆已排除。那麼首先考慮到的是，此電驛是不是在加壓時動作，如果是，那可能是該差動電驛沒有諧波抑制功能，或是諧波抑制功能無法與變壓器的特性配合(包括諧波抑制設定不當、調整不良等)。改善方式為採用諧波抑制元件的差動電驛，並經測試證實可配合所保護的變壓器，則以後此種變壓器加壓時引起差動電驛動作的情形，應可以有效的防止。

如果差動電驛動作並不是在變壓器加壓時引起，那麼最有可能的情況是變壓器發生過激磁現象，尤其是發電機組的主、輔變壓器，當過激磁的來源是變壓器的 $\Delta$  接線側，則過激磁現象會產生激磁電流，此激磁電流中含有大量的基本波成分，而奇數諧波反而極為微



小。此時，基本波的激磁電流，可能大於電驛的始動值；而諧波成分太小，未能提供有效的抑制，故造成差動電驛動作。

過激磁現象的產生，可能由於電力系統的異常，也可能由於鄰近變壓器的加壓所引起，也可能是發電機的勵磁系統異常所造成電壓的突升。

要防止此種不必要的差動電驛動作，可能的方法是：使用過激磁

Volts/Hz 電驛，當過激磁超過設定值時，Volts/Hz 電驛動作閉鎖差動電驛；或利用變壓器 $\Delta$  側的三次諧波電流來抑制差動電驛，防止其在過激磁時動作；另一種方式為，改用具有二次諧波及五次諧波抑制的差動電驛，在正常運轉情況下，變壓器 $\Delta$  側的最低階諧波為第五次諧波。要注意的是，前面兩種方式，都或多或少會降低電驛的靈敏度。

### 徵稿啓事：

- 一、本刊歡迎有關電力系統及與保護電驛相關之論著、譯述或經驗談等文稿。
- 二、來稿文責自負，如係譯稿請附原文及著作權所有人之書面同意文件。
- 三、來稿請簡潔明瞭，並請以橫式稿紙正楷書寫（如能附電腦打字後之磁片更佳）。
- 四、文章發表後，酌致稿酬，版權歸本會刊所有。
- 五、除另有聲明外，本刊對來稿有刪改權，無論刊登與否，恕不退稿。