

ABB SPAD346C

有諧波抑制功能 之變壓器差動保護原理介紹

ABB 公司工程師 李昭欣 陳冠宏

前言

變壓器在電力系統中扮演相當重要的角色，依不同的容量、型式及接線扮演著升壓和降壓，在許多的應用場合中，配電用之變壓器容量大約 3~200KVA。其次發電機在電力系統中主要當做汽電共生系統，隨著容量及接於輸電系統增加同時也需要加裝差動保護。

除了在非接地系統或是高阻抗接地系統中，由於在非接地系統中，對於差動保護而言，只能提供相間短路故障保護。至於在高接地阻抗限制其接地故障電流變成很小外，差動保護提供相間短路和接地故障最佳保護。

通常差動保護都應於 10MVA 以上之變壓器機組，假使在某些重要場合低於 10MVA 之變壓器機組，亦可以採差動保護。容量在 5000KW 以上，需接於輸電系統(69KV 或 161KV)之發電機機組也應用差動保護。

在應用差動保護時，有一些因素也應加以考慮的：

1. 激磁湧流(Magnetizing inrush current)。它是以內部故障電流的方式出現，但是卻是正常現象，此時變壓器中只有電流流入，卻沒有流出。
- 2 由於電壓準位不同，在變壓器的兩測就

會具有不同型式、比值及執行特性不同的兩個 CT。

3. Y- Δ 接線所產生之一、二次側相位移。
4. 在變壓器上做電壓控制用之分接頭。
5. 在電壓調整變壓器(regulating transformer)中的相位移及電壓分接頭。

本文為各位介紹由艾波比(ABB)公司製造的微處理式具有諧波抑制能力的差動保護電驛 SPAD346C，這顆保護電驛主要針對變壓器及發電機的差動保護，還有接地差電流保護，以及過電流保護。

特 性

SPAD 346C 是一種具有數位式的差動保護、過流保護及接地故障保護功能的整合性電驛，提供包括雙繞組變壓器及發電機升壓變壓器繞組的短路及繞組層間故障的保護，同時也應用在發電機繞組的短路保護。

對變壓器高壓側(HV)及低壓側(LV)的接地故障保護則可依不同的故障偵測方式處理，例如差電流的方式、高阻抗接地的方式、計算或測量殘餘電流(residual current)的方式或中性線電流的方式。

對變壓器及發電機的保護而言，具有三段的過電流保護，及二段的接地故障後衛保護。電驛的穩定性可防止保護區的誤動作或變壓器的突波電流(inrush current)

，變壓器突波電流之誤動作的防止，是藉由差電流中二次諧波電流與基本波電流的比值，當變壓器過激磁但並無過壓之危險時，電驛可根據差電流內五次諧波及基本波電流的比值防止電驛誤動作，但當變壓器過壓嚴重且差電流內的五次諧波與基本波比值上昇時，本項閉鎖功能將消失。

不管雙繞組變壓器高壓側 (HV) 及低壓側 (LV) 的接法如何，本電驛並不需要任何的輔助比流器來匹配，同時比流器比值的修正亦有很寬廣的修正範圍，並以數位方式設定。此外，本電驛具有靈敏的相電流及相角顯示，容易檢查量測迴路 (比流器回路) 的接線及相位是否正確。

具有四只跳脫及四只信號輸出電驛，適合保護系統設計者的應用，同時有五組外部程式控制輸入點，可指示或傳送變壓器布氏電驛的警報或跳脫信號，或油溫或變壓器其他輔助裝置的偵測器的信號。可調的斷路器故障保護 (CBFP) 動作時間，可增加動作的可靠性，積體式的 integrated 故障記錄器能記下電流及數位信號，並可選擇觸發信號。本電驛對電氣及電磁干擾具有免疫性，可適用於惡劣的環境中，同時內建有硬體及軟體的自我偵錯功能，可用性及可靠性高。

接著簡單介紹此差動電驛所包含之模組及其功能。SPAD 346C 包括三組獨立的電驛模組，即三相差動電驛模組 SPCD 3D53、接地故障保護電驛模組 SPCD 2D55 和組合式的過流及接地故障保護電驛模組 SPCJ 4D28，電驛的額定電流可為 1A 或 5A，同時高壓側 (HV) 及低壓側 (LV) 可使用不同或相同的額定電流。

三相差動電驛模組 SPCD 3D53：

差動電驛模組 SPCD 3D53 提供繞組

間及層間的短路保護，電流的大小或相角的差，都會造成差電流，一般輔助比流器用來匹配或補償因變壓器一次與二次側接法不同，所產生的相位差及比流器不同的比值；同時輔助比流器亦用來消除保護區外接地故障產生的零相電流，但 SPAD 346C 可不必使用輔助比流器，因電驛模組可處理變壓器相位的差異及比流器比值的不同，並清除相電流所含的零相序成份，這些修正工作可在電驛的 HV 側或 / 及 LV 側完成。

基本上 SPCD 3D53 是依基本波的成份動作，依基本波動作的設計是正確且穩定的，至於直流成份及諧波電流在差動保護元件上是不會引起誤動作的。

變壓器停用一段時間後再加壓，將產生突波電流。突波電流可能是額定電流的好幾倍，持續時間亦高達數秒。對差動電驛而言，突波電流被視為差電流，因此只要變壓器加入系統，電驛可能會動作。一般而言，因突波電流含有大量的二次諧波電流，差動電驛對突波電流的抑制能力是藉由差電流中，以數位濾波器產生的二次諧波電流與基本波電流的比值 (I_{d2f}/I_{d1f})。

在過激 (overexcitation) 的狀況下，電驛動作的抑制能力，是根據差電流內所含五次諧波成份與基本波成份的比值 I_{d5f}/I_{d1f} 而定，若變壓器嚴重過電壓且可能造成損害時，抑制功能將藉由設定 $I_{d5f}/I_{d1f} >>$ 而自動消除，當需要時，差電流內二次諧波及五次諧波的抑制能力也可以令其失效而不用。

接地故障保護電驛模組 SPCD 2D55：

當單相或兩相接地故障發生在保護區內時，以量測相電流為主的差動保護其靈敏度可能不夠，尤其中性點以電阻接地的

除此之外，SPCJ 4D28 亦可做為欠相保護 (phase discontinuity) $\Delta I >$ 。欠相保護的方式是電驛監測每相的最大、最小電流，並將相間的電流差 (ΔI) 計算出來，欠相保護可用來監視電源網路的狀況。在 Y-Y 接的電力變壓器的保護上，欠相保護至少可作為警報用，在一些小型發電機的不平衡保護，可使用 SPCJ 4D28 的欠相保護功能。

1. 當電源供應模組正常運轉，則系統面盤上的綠色 LED U_{aux} 會亮。
2. 電驛模組的顯示器顯示測量資料、設定值及已被記錄的資訊，電驛模組的動作指示器包括：顯示器上的紅色數目 (digit) 或數碼 (code)，及“TRIP”LED 指示燈。關於動作指示器的內部優先順序及復歸方法，將在各電驛模組的使用手冊中說明。
3. 測量值或設定值將在顯示器顯示，同時在面板以黃色的 LED 指示燈及顯示器上的紅色數碼確認，測量值或設定值在各電驛模組的使用手冊中說明。
4. 永久的故障將被自我偵測系統偵測，並以各電驛模組中的指示燈指示，當故障發生及需修護時，故障碼將出現在各模組的顯示器上，故障碼的解釋請參考各電驛模組的使用手冊。

使用在差動電驛 SPAD 346C 的比流器 (IEC 185)，其精確度建議為 5P，亦即在額定一次電流時，其電流誤差為 1%，相位移角度為 60 分，在額定精確因素下的電流綜合誤差為 5%。

相對於實際比流器負擔的精確因素 F_a ，可由額定精確因素 F_n 、額定負擔 S_n 、比流器內部負擔 S_{in} 及實際比流器負擔 S_a 計算出來，亦即：

$$F_a = F_n \times \frac{S_{in} + S_n}{S_{in} + S_a}$$

以 LV 側的比流器為例，其額定 5P20 是 10VA，二次側電流為 5A，內部電阻 $R_{in}=0.07\Omega$ ，相對於額定負擔的精確因素 F_n 為 20，因此 $S_{in}=(5A)^2 \times 0.07=1.75VA$ ，電驛的輸入阻抗在額定電流 5A 時 $<20m\Omega$ ，若比流器的導線電阻為 0.113Ω ，則比流器的實際負擔為 $S_a=(5A)^2 \times (0.113+0.020)\Omega=3.33VA$ 。根據上述公式計算 $F_a=20 \times (1.75+10)/(1.75+3.33)=46$ 。

因此比流器的負擔在 5A 額定時，明顯的增大；若使用 1A 額定，則比流器的實際負擔降低，同時其轉換的精確度也大為改善。

在 HV 側的保護區內若發生故障，則故障電流相對於比流器的額定電流將非常高，但由於差動電驛具有瞬時動作元件，比流器在第一週波時，可偵測此大電流供瞬時元件發出跳脫指令，因此，比流器必須在發生故障後的 10ms 內，將非對稱的故障電流忠實地轉換給電驛，為確定此動作時間，電驛模組內的程式被要求能符合此動作時間。

應用在差動電驛的相比流器，在實際負擔之下，其精確因素 F_a 必須符合下列條件：

$$F_a > 40 \text{ 且 } F_a > 4 \times I_{max1}$$

其中 I_{max1} 的值取與瞬時元件的設定值 $I_d/I_n >>$ 相同。

若使用復閉保護來確定故障是否發生在保護區外時，比流器會在其鐵心上產生可觀的剩磁通，為保證在復閉狀況，且具有大電流、大殘磁通之狀況下，差動電驛亦能穩定運轉，則上述的精確因素條件在比流器實際負擔下，不管 HV 側或 LV 側都必須符合，同時最好是同精確等級。

接著介紹本電驛關於一般使用的電力變壓器的接法，與如何匹配的接法 (Vector group matching) 設定表。表中的匹配接法，是經由開關群 SGF1 設定輸入電驛。使用此表之前，你必須知道，被保護變壓器的接法及比流器的接地型式 (connection type)，應用在發電機保護時，亦有相同的注意事項。

假設相比流器的接法是型 I (type I)，這種接法即 HV 側和 LV 側輸入電驛的相電流相差 180° ，相角差將經由電驛的 SGF1 設定而匹配補償 (SGF1/3=1, SGF1/4=1 及 SGF1/5...8=0)。由於 HV 側及 LV 側的中性點都接地，因此在保護區外的接地故障產生的零相序電流，必須由 HV 側及 LV 側的相電流中消除，設定 SFF1/1=1, SFF1/2=1，因此開關群 SGF1 的核對和 (Checksum) 為 15 (11110000)。

下表表示電驛模組在 HV 側的設定，如何在單相測試時，影響其測量值。其中 I (A) 為輸入單相電流， I_n 為比流器的額定電流 (1A 或 5A)， I_1/I_n 為 HV 側的比值修正設定 (相對於 LV 側則為 I_2/I_n)。

HV 側接法匹配	個別零相電流清除	電驛模組顯示的電流
Yy	No	$\frac{I}{I_n} \times \frac{1}{I_1 / I_n}$
Yy	Yes	$\frac{I}{I_n} \times \frac{1}{I_1 / I_n} \times \frac{2}{3}$
Yd	No	$\frac{I}{I_n} \times \frac{1}{I_1 / I_n} \times \frac{1}{\sqrt{3}}$

接法匹配 (vector group matching) 及零相序成份消除

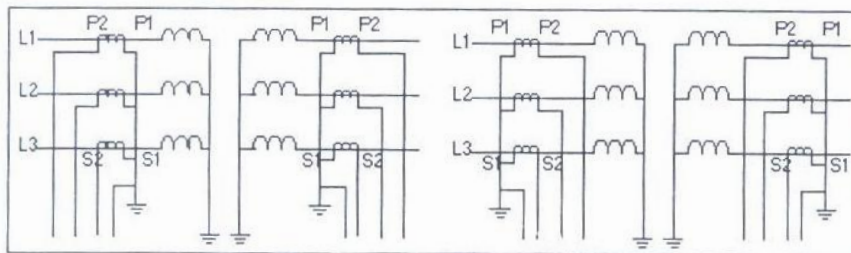


圖 2 · 型 I 的比流器接法

下表表示大部份電力變壓器的接法及其對應開關 SGF1/1...8 位置的設定值，表中第 I 行表示的變壓器接法，是對應比流器接法為型 I (Type I) 的情形，所謂比流器型 I 的接法，是指 HV 側及 LV 側比流器的接地端，同時在保護區內側或同時在保護區外側，如圖 2 所示；而表中第 II 行表示 HV 側及 LV 側比流器的接地端，一在保護區內側，一在保護區的外側，如圖 3 所示。

其中開關 SGF1/3...8 用來補償因變壓器接法引起之 HV 側及 LV 側相電流的相角差。接法補償可同時在 HV 及 LV 側實施，亦可僅在 HV 側或 LV 側進行，對 YNd 及 Dyn 接的變壓器而言，接法補償大部份在 Y 接側實施，因此，在保護區外的接地故障產生的零相電流，在 Y 接側就因接法補償的緣故，而被消除於差電流 (differential current) 及穩定電流 (stabilizing current) 的計算中。若 HV 側及 LV 側的相電流無相角差，則毋需接法補償，但若其中性點接地的 Y 接變壓器，則需考慮零相電流的消除。SGF1/1...2 的設定，用來將 HV 側或 LV 側的零相電流由相電流中扣除。

又例如，對 YNd 接法的變壓器而言，若其保護區內的三角形 (delta) 側使用接地變壓器，則接法匹配在 Y 接側實施，但三角形側若需在相電流消除零相序電流，則要設定 SGF1/1 的開關，因此並不需要使用中間級的比流器來消除零相電流，下表表示開關 SGF1/1 及設定及其功能。

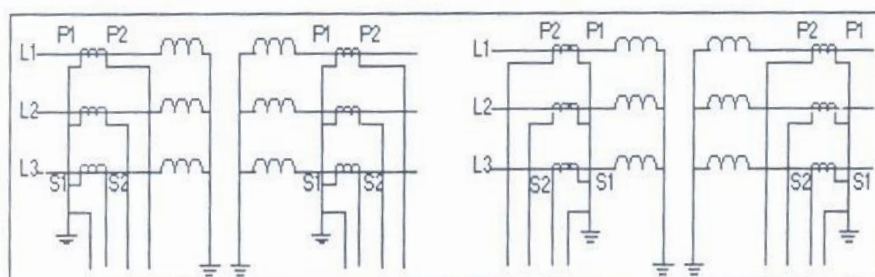


圖 3 · 型 II 的比流器接法

表 1 · 一般電力變壓器的接法匹配與相對應的開關設定

變壓器接		開關 SGF1/1...8								核對和
I	II	1	2	3	4	5	6	7	8	
Yy6	Yy0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
YNyn8	YNyn2	0	0	1	0	1	1	0	0	52
YNyn10	YNyn4	0	0	1	0	0	0	1	0	68
YNyn6	YNyn0	1	1	0	0	0	0	0	0	3
Yy0	Yy6	0	0	1	1	0	0	0	0	12
YNyn2	YNyn8	0	0	1	0	1	0	0	1	148
YNyn4	YNyn10	0	0	1	0	0	1	0	1	164
YNyn0	YNyn6	1	1	1	1	0	0	0	0	15
Yd1	Yd7	0	0	0	1	0	0	0	0	8
YNd1	YNd7	0	0	0	0	0	0	0	1	128
Yd5	Yd11	0	0	1	0	0	0	0	0	4
YNd5	YNd11	0	0	0	0	0	1	0	1	160
Yd7	Yd1	0	0	1	0	1	0	0	0	20
YNd7	YNd1	0	0	0	0	0	1	0	0	32
Yd11	Yd5	0	0	0	0	1	0	0	0	16
YNd11	YNd5	0	0	0	0	0	0	1	0	64
Dd6	Dd0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dd0	Dd6	0	0	1	1	0	0	0	0	12
Dy1	Dy7	0	0	0	0	0	0	0	1	128
Dyn1	Dyn7	0	0	0	1	0	0	0	0	8
Dy5	Dy11	0	0	0	0	0	1	0	1	160
Dyn5	Dyn11	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Dy7	Dy1	0	0	0	0	0	1	0	0	32
Dyn7	Dyn1	0	0	1	0	1	0	0	0	20
Dy11	Dy5	0	0	0	0	0	0	1	0	64
Dyn11	Dyn5	0	0	0	0	1	0	0	0	16
YNzn1	YNzn7	1	0	0	0	0	0	0	1	129
YNzn5	YNzn11	1	0	0	0	0	1	0	1	161
YNzn7	YNzn1	1	0	0	0	0	1	0	0	33
YNzn11	YNzn5	1	0	0	0	0	0	1	0	65
Dzn0	Dzn6	1	0	1	1	0	0	0	0	13
Dzn2	Dzn8	0	0	0	1	0	1	0	0	40
Dzn4	Dzn10	0	0	1	0	0	1	0	1	164
Dzn6	Dzn0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Dzn8	Dzn2	0	0	1	0	1	1	0	0	52
Dzn10	Dzn4	0	0	1	0	0	0	1	0	68

表 2 · 零相序成份的消除

開 關	功 能
SGF1/1=1	LV 側的零相序電流在計算差電流及穩定電流使用計算的方式從相電流中扣除
SGF1/1=0	LV 側的零相序電流不被計算
SGF1/2=1	HV 側的零相序電流在計算差電流及穩定電流前使用計算的方式從相電流中扣除
SGF1/2=0	HV 側的零相序電流不被計算

下表表示使用 SGF1/3...8 的設定，來補償輸入電驛的相電流之相角差，其中第一行的“內部匹配”（internal matching）表示接法補償是在電驛內部以數位的方式執行。

表 3 · LV 側的接法（相角）補償

內部匹配	SGF 1/3	SGF 1/4	SGF 1/5	核對和 Σ
Yy0	0	0	0	0
Yd1	1	0	0	4
Yd5	0	1	0	8
Yy6	1	1	0	12
Yd7	0	0	1	16
Yd11	1	0	1	20

表 4 · HV 側的接法（相角）補償

內部匹配	SGF 1/6	SGF 1/7	SGF 1/8	核對和 Σ
Yy0	0	0	0	0
Yd1	1	0	0	32
Yd5	0	1	0	64
Yy6	1	1	0	96
Yd7	0	0	1	128
Yd11	1	0	1	160

當內部匹配的方式選擇 Yy0，則連接至電驛的相電流的相角差並未改變；若選擇 Yy6，則相電流旋轉 180°（順時鐘 30° × 6）；若選擇 Yd1，Yd5，Yd7 或 Yd11，則相電流內的零相序電流因三角形（ Δ ）接法之故，在計算差電流及穩定電流時被消除。使用 Yy0 及 Yy6 時，零相序電流無法被消除，因此若需要消除，則必須設定 SGF1/1 及 SG1/2，使用計算的方式消除。

由以上敘述可知，使用表 2、3、4 的接法匹配，可使差動電驛應用在未列在表 1 的任何變壓器的接法。

應 用

差動電驛 SPAD 346C 是為保護雙繞組變壓器及發電機升壓變壓器而設計，它可保護包括繞組短路、繞組層間故障、接地故障、短路，同時可保護發電機的繞組短路及線路短路，此電驛亦可保護故障電流 75% 流過同方向的三繞組變壓器。

應用例 1：差動電驛 SPAD 346C 使用在 YNyno 接法的電力變壓器保護

差動電驛 SPAD 346C 使用在 YNyno 接法的電力變壓器保護上，具有抑制能力的差動元件及瞬時差動元件的三相差動電驛模組 SPCD 3D53，應用在保護電力變壓器的繞組短路及層間故障。在突波電流下，有抑制能力的差動保護模組，將藉由差電流內的二次諧波電流值，將跳脫功能閉鎖；假使變壓器過壓時，若不允許其將網路跳脫，則使用五次諧波的抑制能力將差動電驛模組閉鎖。

有抑制能力的差電流保護方式或高阻抗保護方式的電驛模組 SPCD 2D55，用來保護 HV 側及 LV 側的繞組接地故障，當使用差電流保護方式時，電驛模組 SPCJ

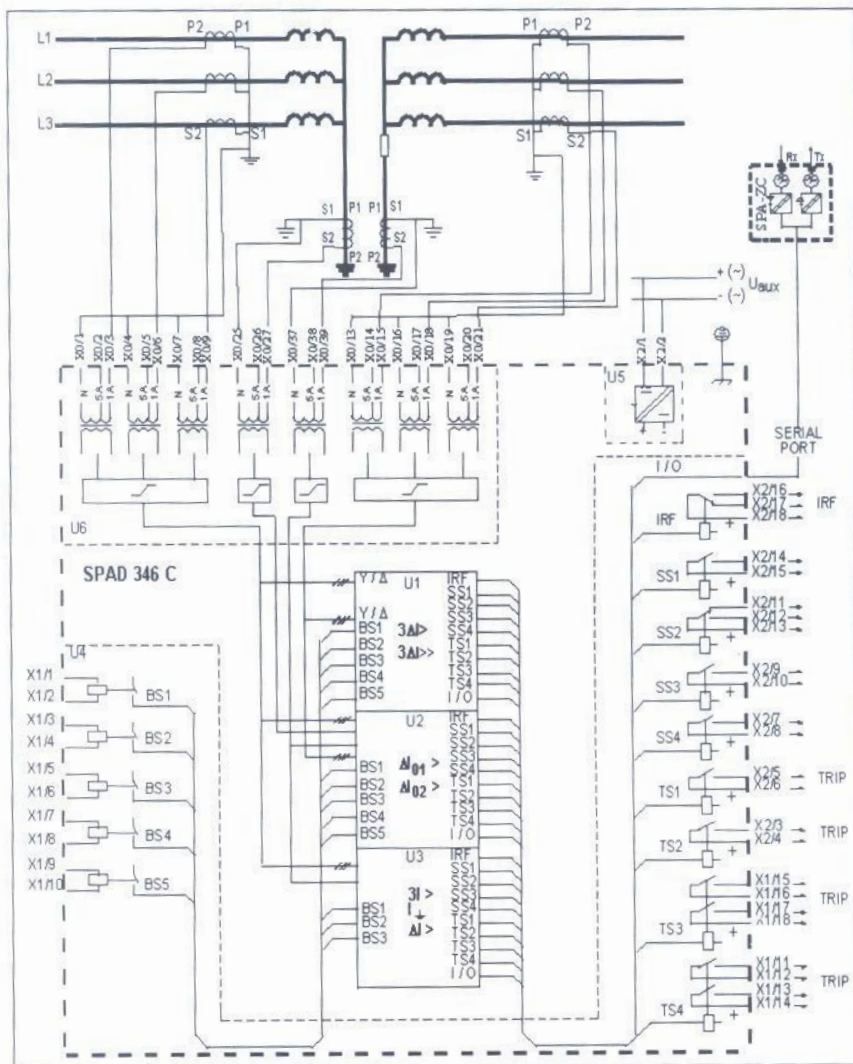


圖 4 · 應用例 1

4D28 的反時性保護元件 $I_{o>}$ 可用來作為 LV 側的後衛保護，中性線電流內含的二次諧波及基本波電流比值，在 HV 側及 LV 側的保護上可用來作為抑制、防止誤動作。但在 LV 側使用高阻抗保護方式，則無法安排其它的後衛保護。

電驛模組 SPCJ 4D28 提供三相及三段的過電流保護及接地故障後衛保護，模組偵測 HV 側的相電流及 LV 側的中性線電流，定時性的過流保護 $I_{>>>}$ 設定使得 HV 側發生短路故障時可動作，過流保護 $I_{>>}$ 則保護 LV 側的相間短路，同時作為 LV 側

匯流排短路故障的後衛保護，在發生突波電流時， $I_{>>}$ 的設定將自動加倍。至於過流保護 $I_{>}$ 可做為 LV 側的接地故障保護的後衛保護（動作特性為反時性）。

在變壓器有突波電流的狀況下，差動保護模組 SPCD 3D53 藉由二次諧波的閉鎖功能，可用來閉鎖 SPCJ 4D28 模組的過流保護元件 $I_{>}$ 及 $I_{>>}$ ，閉鎖功能可經由 SPCD 3D53 模組規劃至所需的輸出電驛，如外部控制輸入電驛 BS1、BS2、BS3，這些相關的控制輸入信號可被規劃用來閉鎖 SPCJ 4D28 的過流保護元件 $I_{>}$ 及 $I_{>>}$ ，

但過流元件 $I_{>>>}$ 不會被閉鎖。

附加在 YNyn 接法的電力變壓器保護的欠相保護 ($\Delta I_{>}$) (電驛模組 SPCJ 4D28)，可用來監視網路的狀況，至少可作為警報使用。特別注意的是，接地故障時，欠相保護亦可提供警報信號。

電驛模組中，斷路器故障保護的動作信號，是連至一高容量的輸出電驛，此電驛可動作 HV 側斷路器前的電源側斷路器，以便切斷故障電流。

在差動電驛模組的使用手冊內，有一則關於一般使用的電力變壓器的接法，與本電驛如何匹配的接法 (Vector group matching) 設定表。表中的匹配接法，是經由開關群 SGF1 設定輸入電驛。使用此表之前，你必須知道，被保護變壓器的接法及比流器的接地型式 (connection type)，應用在發電機保護時，亦有相同的注意事項。

在應用例 1 (圖 4) 中 (YNdno)，相比流器的接法是型 I (type I)，這種接法，在 HV 側及 LV 側輸入電驛的相電流相差 180° ，相角差將經由電驛的 SGF1 設定而匹配補償 (SGF1/3=1, SGF1/4=1 及 SGF1/5...8=0)。由於 HV 側及 LV 側的中性點都接地，因此在保護區外的接地故障產生的零相序電流，必須由 HV 側及 LV 側的相電流中消除，設定 SFF1/1=1, SFF1/2=1，因此開關群 SGF1 的核對和 (Checksum) 為 15 (11110000)。

應用例 2：差動電驛 SPAD 346 使用在 YNd11 接法的電力變壓器保護

差動電驛 SPAD 346 使用在 YNd11 接的電力變壓器繞組，及層間故障保護及過流保護的原理如同例 1，而 SPCD 2D55 的高阻抗保護方式用來保護 HV 側的接地故障。

SPCJ 3D28 中的保護元件 $I_{o>}$ 為反時性，用來做為接地故障的後衛保護，而由 HV 側第二個中性線比流器取得的中性線電流，被接至端子 $X_{o/37-38}$ 或 $X_{o/37-39}$ ，如圖所示，當 HV 側的中性點直接接地時，定時元件 $I_{o>>}$ 亦可用來作為接地故障的後衛保護。

SPCD 2D55 電驛模組的中性線電流保護方式被規劃用在 LV 側，因此中性線電流內含的二次諧波被用來作為抑制閉鎖的功能，在突波電流的情況下，閉鎖 SPCJ 4D28 內的保護元件 $I_{o>}$ 及 $I_{o>>}$ 。在 SPCD 2D55 的電驛模組，可規劃閉鎖信號至所需的輸出電驛，並連至外部輸入控制信號 BS1、BS2 及 BS3，而這些閉鎖信號可被規劃去閉鎖模組 SPCJ 4D28 內相關的接地保護元件。

在應用例 2 (圖 5) 中 (YNd11)，比流器的接法為型 II (type II)，因此，HV 側及 LV 側進入電驛的相電流無相角差，在 HV 側相電流中的零相序成份，利用以電驛 HV 側的接法做內部匹配 Yd11，同時消除變壓器接法引起的相角差及零相序成份，亦即設定 SGF1/6=1, SGF1/7=0 及 SGF1/8=1，其核對和為 160 (00000101)。

設定指南：

三相差動電驛模組 SPCD 3D53：

設定值在顯示器上以靠右的三位數目字表示，當電驛前端面板上表示何種設定項目的 LED 亮時，則顯示器所顯示的值即為該項目的設定值。下表中設定欄的括號內內值表示預設 (default) 的設定值，電驛的第二設定值可由主記錄器 A 中，第四個次記錄器 (subregister) 讀出，其設定範圍與主設定相同。當顯示第二設定值時，

顯示器上的LED 會閃爍。

相對於電力變壓器 HV 側及 LV 側的額定電流，若 HV 側及 LV 側比流器的一次側額定電流不相同時，則可使用 I_1/I_n 及 I_2/I_n 的設定修正其比值的不同，例如電力變壓器的額定為 40MVA，額定電壓為 110KV/10.5KV，HV 側比流器比值 300A/1A，LV 側的比流器比值 2500A/5A，則 HV 側變壓器額定電流 I_{1n} 為：

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_{1n}} = \frac{40MVA}{\sqrt{3} \times 110KV} = 210A$$

對 LV 側變壓器的額定電流 I_{2n} 為：

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_{2n}} = \frac{40MVA}{\sqrt{3} \times 10.5KV} = 2199A$$

轉換比值修正 (transformation ratio

correction) 的設定計算，是根據上述變壓器的額定電流及 HV 側、LV 側比流器一次側的額定電流：

$$I_1/I_n = 210A/300A = 0.7$$

$$I_2/I_n = 2199A/2500A = 0.88$$

基本設定 (Basic setting) P/In 是用來設定差動電驛最大的靈敏度，這個設定必須考慮變壓器無載、及輕微過激時產生的差電流，基本設定也影響整個動作特性曲線的準位，對變壓器保護而言，P/In 設定值為 20%...40%，而發電機保護則為 5...20%。

當設定始動比值 (starting ratio) S 時，比流器的精確等級 (accuracy class)、比流

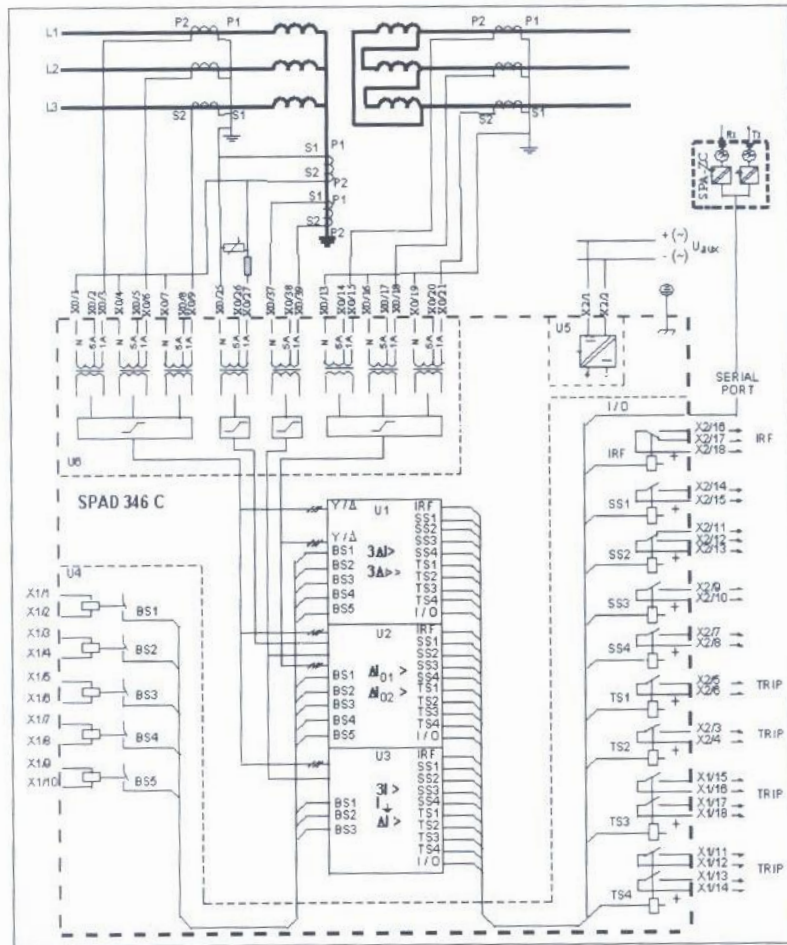


圖 5 · 應用例 2

設 定	說 明	設定範圍 (預設值)
$P/I_n(\%)$	電驛始動的基本設定 (basic setting) 每次以 1%調整	5...50% (5%)
$S(\%)$	始動比值 (starting ratio) 每次以 1%調整	10...50% (10%)
I_{2tp}/I_n	動作特性曲線的第二轉折點每次以 0.1 調整	1.0...3.0 (1.5)
$I_d/I_n \gg$	瞬時差動元件, 每次以 $1 \times I_n$ 調整	5...30 (10)
$I_{d2f}/I_{d1f} >(\%)$	差電流中二次諧波與基本波成份比值, 每次以 1%調整	10...20% (15%)
$I_{d5f}/I_{d1f} >(\%)$	差電流中五次諧波與基本基本波成份比值, 每次以 1%調整	10...50% (35%)
$I_{d5f}/I_{d1f} \gg(\%)$	五次諧波反閉鎖 (deblocking) 比值, 每次以 1%調整	10...50% (35%)
I_1/I_n	HV 側比流器的比值修正值, 每次以 0.01 調整	0.4...1.50 (1.00)
I_2/I_n	LV 側比流器比值修正值, 每次以 0.01 調整	0.40...1.5 (1.00)

器在實際負擔時的精確限制因素(accuracy limit factor)、電力變壓器分接頭的調整範圍、動作特性曲線的第二轉折點 (I_{2tp}/I_n) 的位置都要被考慮, 比流器的誤差愈大則 S 值也愈高。例如 HV 及 LV 側比流器的精確等級為 5P, 則在額定一次電流的精確度合成最大誤差在 HV 及 LV 側為 5%。在 HV 及 LV 側的比流器比值, 一般定在電力變壓器的中間分接頭位置, 分接頭產生的最大誤差則發生在分接頭位於最大或最小的兩個極端位置, 始動比值 S 設定的一個考慮因素為分接頭的調整範圍, 例如 $\pm 9 \times 1.67\% = 15\%$ (亦即共有 9 個分接頭, 每個分接頭差值為 1.67%, 最大或最小分接頭位置為 19 或 1, 中間位置為 10)。另影響始動比值 S 的因素, 為電驛內部之匹配變壓器及 A/D 轉換器產生的誤差, 這個誤差最大值大約為 2%。

始動比值 S 的設定則根據上述的誤差, 以上述的案例而言, 始動比值 S 的設定大概為 25%...35%, 比流器實際負擔的精確限制因素在 HV 及 LV 側會有所不同, 因此, 始動比值 S 的設定, 必須比

HV 側及 LV 側精確限制因素相同的個案稍大。

動作特性中的第二轉折點 (second turning point), 其設定 I_{2tp}/I_n 值會影響當電流超過額定電流時的跳脫靈敏度。如果保護區發生故障, 且故障電流主要來自一個方向而已, 則 I_{2tp}/I_n 的設定值大約在 2.0...2.5 之間; 如果故障電流來自 HV 側及 LV 側, 轉折點的值可設定低一點以免降低靈敏度。在保護含有升壓變壓器的發電機時, 由於故障電流來自包括電源及發電機兩個方向, 因此其電流的相角差增加, 且穩定電流 (stabilizing current) 降低, 因此 I_{2tp}/I_n 的值建議置於 1.5...2.0 之間。

瞬時動作的設定值 $I_d/I_n \gg$ 要設定在變壓器加壓時不會誤動作, 當差電流的基本波其電流值大於 $I_d/I_n \gg$ 的設定值時, 或差電流的瞬時值超過 $2.5 \times I_d/I_n \gg$ 的設定值時, 瞬時差動元件將動作; 當差電流小於 $2.5 \times I_d/I_n \gg$ 的值時, DC 成份及諧波電流不會影響電驛的動作。一般而言, 非對稱的變壓器突波電流的瞬時值, 比對稱時的突波電流大的很多, 這是因為非對稱突波

電流中的 DC 成份很大的緣故。由於突波電流中，基本波電流的大小只有其瞬時值的一半，因此 $I_d/I_n \gg$ 可設定在非對稱突波電流瞬時值下，用來保護電力變壓器。一般瞬時差動元件 $I_d/I_n \gg$ 設定在 6...10 之間，而發電機保護則設定在 5...8 之間。

差電流動作元件的閉鎖，是將 SGF2/1 的開關設定為 1，此功能係根據差電流內二次諧波與基本波電流的比值來執行閉鎖。在電力變壓器的保護，這種閉鎖功能必須使用，同時 I_{d2f}/I_{d1f} 的閉鎖比值 (blocking ratio) 大約設定在 15%，當 $SGF2/2=1$ 時，電驛的動作時間，在保護區的變壓器加壓同時發生故障也不會變長，亦即此時閉鎖功能將失效。

在含有大容量升壓變壓器，或隔離變壓器的發電機的差動保護上，諧波抑制的能力也不可缺少。因在同步併聯時，變壓器被發電機加壓，而通過發電機的突波電流，可能使比流器飽和，導致產生的差電流含有大量的諧波。在這種情況下，電驛使用二種設定：在同步併聯時，電驛使用第二種設定，亦即有諧波抑制能力；當突波電流被衰減下來後，主設定一亦即無閉鎖功能的設定則被使用。

當設定五次諧波的抑制能力時，則必須選擇全部抑制 $I_{d5f}/I_{d1f} >$ 及 $I_{d5f}/I_{d1f} \gg$ (開關設定 $SGF2/3=0$, $SGF2/4=0$)；或僅抑制 $I_{d5f}/I_{d1f} >$ (開關設定 $SGF2/3=1$, $SGF2/4=0$)；或設定 $I_{d5f}/I_{d1f} >$ 抑制，但 $I_{d5f}/I_{d1f} \gg$ 無抑制 (開關設定 $SGF2/3=1$, $SGF2/4=1$) 等情形。最後一種狀況中，當 I_{d5f} 與 I_{d1f} 的比值介於 $I_{d5f}/I_{d1f} >$ 與 $I_{d5f}/I_{d1f} \gg$ 之間時，差電流動作元件被閉鎖；若上述閉鎖比值太高，將使變壓器在過壓時，電驛不會動作而造成變壓器受損。

接地故障保護模組 SPCD 2D55：

變壓器 HV 側及 LV 側可使用電驛上的開關群 SGF1/1...8，加以規劃選擇不同的接地故障保護方式。保護方式與相對應的開關位置，請參考電驛模組的使用手冊。

基本設定 (basic setting) P_1/I_n 與 P_2/I_n 用來做為設定接地保護的始動值 (start value)，當差電流接地故障保護方式被使用時，上述的基本設定值將影響整個動作特性的準位。

當差電流接地故障保護方式使用時，其動作時間的設定 $t_{01} >$ 或 $t_{02} >$ 必須大於網路的直流時間常數 (DC time constant)。基本設定愈小，則動作時間的設定需較長。若高阻抗方式被使用時，動作時間的設定則置於最小，亦即 0.03 秒。

當使用相比流器引出的殘餘電流 (residual current) 保護方式，其動作時間的設定必須足夠長 (數秒)，以防止因非對稱突波電流，或起動電流流過保護區，使得比流器因飽和或誤差引起誤動作。

相比流器及中性線比流器的接法，必須使得其殘餘電流與中性線電流在發生外部接地故障時，其相角差為 180° 【參考 SPCD 2D55 使用手冊中的圖 6】。當使用有抑制能力的差電流接地保護方式時，相差角必須與電驛模組內的設定匹配 (開關 $SGF2/1$, $SGF2/2$)。

當差電流接地保護方式被使用時，比流器的比值修正 (transformation ratio correction) 設定值 I_{01}/I_n , I_{02}/I_n , I_1/I_n , I_2/I_n 之設定程序同差動電驛模組，當其他保護方式被使用時，上述設定值亦可作為始動值的大小。

$I_{01}/\Sigma I_1$, $I_{02}/\Sigma I_2$ 的設定決定於變壓器及網路的零相序阻抗，若變壓器 Y 接中性點直接接地，則接地故障電流中性線電流

(I_{01} , I_{02}) 與相電流之殘餘電流 (ΣI_1 , ΣI_2) 的比值,基本上比中性點電阻或電抗接地的大,當中性點直接接地,則上述設定建議置於 5...15%。其中,繞阻接地故障的位置及網路中性點的數目與位置,將影響接地故障電流的分佈。

使用中性線電流內二次諧波與基本波比值,作為閉鎖抑制條件的保護方式,是應用在差電流接地保護方式與中性線電流保護方式合起來使用的場合,將開關 SGF2/3 及 SGF2/4 分別設定為 1,則可使上述閉鎖功能啟動,同時二次諧波的抑制條件一般設定為 10%...15%。

過流保護及接地保護模組 SPCJ 4D28 :

SPCJ 4D28 過流保護及接地保護的設定,依保護對象及使用何種保護元件 (protection stage) 而定。例如,以低設定元件 (low-set stages) $I>$ 和 $I_0>$ 而言,其動作時間特性有定時性 (definite time) 或反時性 (inverse time)。就反時性 (IDMT) 而言,有四種標準及二種特殊的電流/時間特性,開關 SGF1 用來設定動作模式及電流/時間特性。就高設定元件 (high-set stages) $I>>$, $I>>>$ 及 $I_0>>$ 而言,僅有定時動作特性。個別保護元件的閉鎖,可透過開關的設定完成。

對變壓器的保護,過流保護元件至少需設定 $1.5 \times I_n$,如此可使用變壓器的過載能力。高設定保護元件 $I>>$ 設定值可設定為:當變壓器加壓時,自動變為設定值的二倍。過流保護元件 ($I>$ 及 $I>>$) 和接地保護元件 ($I_0>$ 及 $I_0>>$) 均可使用閉鎖信號 BS1, BS2 及 BS3 加以閉鎖,開關 SGB1/1...4, SGB2/1...4, SGB3/1...4 用來設定上述的閉鎖功能。

當需要時,閉鎖信號 BS1 可用來閉鎖

SPCJ 4D28 內的欠相保護 $\Delta I>$ 元件,開關 SGB1/6 用來設定上述的閉鎖功能,欠相保護的監視可由開關 SGF3/1 設定為無作用。

結 論

本文針對差動保護電譯 SPAD346C,以下歸納幾點與傳統差動電譯之比較差異供各位參考:

1. 自我監視及診斷功能
2. 可由面板讀取如下讀值:
 - a. 高壓側電流值,低壓側電流值,差動電流值
 - b. 高壓側及低壓側相鄰兩相電流角度差
 - c. 高壓側及低壓側 RST 三相電流角度差
3. 可記錄跳脫時之差動電流與平均電流
4. 可記錄變壓器加壓瞬間之 2th 諧波電流量
5. 具 38 cycles 之 6 相電流暫態波形記錄
6. 可透過電力監控系統 SCADA 做監控
7. 可藉由通訊埠與電腦連線,進行設定值讀取與修改
8. 利用 TRIP 燈代替吊牌方式

參考資料

1. ABB, SPAD 346C3 有抑制能力的差動電譯 中文使用手冊, 2001
2. ABB, 變壓器保護與電容器保護, 1998
3. 發電機保護與低頻卸載, 1998
4. 李宏任, 實用保護電譯, 修訂版, 全華科技圖書股份有限公司, PP.8-1~8-52 & PP.9-1~9-73, 2000