

新型數位式變壓器差動保護原理與應用

台電供電處電驛標置課主管圖審許文興
ABB 艾波比公司電力技術部 柯侖寬

一、前言

科學園區之電子廠、半導體廠及其精密產業，為使製成獲得穩定性且充足供電能力，其電力供應均接至台電系統。這些精密產業廠其電力均接至台電 161 kV 系統，經廠內責任分界點之 GIS 設備後，由廠內變壓器將電壓等級從 161 kV 系統降至 22.8 kV 系統供電。依變壓器保護電驛標置計算原則及安全穩定運轉特性，主變壓器在 10MVA(含)以上者，應裝設差動電驛(87T)保護，若接於 161 kV 系統者，應裝設高速差動保護電驛來做保護。電力供電系統中，透過變壓器，電力供電由高壓降為低壓之輸送過程是將電力輸送至各負載端；此外，在緊急饋線迴路之供電中，發電機經由升壓變壓器將低電壓提升至高電壓而供應到各緊急饋線端，所以變壓器是電力輸送的重要橋樑；因此，變壓器之保護在設計上需要周全規劃，否則，一旦發生事故時，將造成廠內運轉之更大損失。

廠內變壓器發生事故時，變壓器之保護電驛應能即時動作，利用變壓器之差動保護電驛，迅速將其故障隔離，確保變壓器安全。變壓器的價值昂貴，一旦變壓器受到傷害，對廠內供電即造成重大影響，歷年來，也曾經發生過變壓器爆炸之案件，這都是活生生的實例；因此，確保變壓器之正常運轉，對變壓器保護是不容忽視的。

目前電力變壓器之保護都是以差動電驛為主保護，而以過電流電驛做為後衛保護，若單純僅以過電流電驛來做為變壓器保護是不夠周全。變壓器差動保護原理是利用變壓器高、低壓側之電流大小、相位角度來做為變壓器差動電驛動作判斷依據。目前新型差動電驛系列有很多種，本文以 ABB RET54X 系列之變壓器保護電驛來討論，此種電驛是能提供兩個 stage 來做為變壓器差動保護之功能，一為是 Stabilized differential current stage，另一是 Instantaneous differential current stage。

二、變壓器差動保護電驛之動作原理

變壓器差動保護原理是利用流進與流出之差電流值來判別故障點在變壓器內部或變壓器之外部，也就是取決於差動保護是否動作，也就是說，當流進與流出之差電流值不為零時，動作線圈不等於零，此時差電流值大於設定值，差動保護電驛即時動作，如圖 1 所示。

變壓器之一次側(高壓側)、二次側(低壓側)之電壓等級不同，繞組(Winding)接線方式亦不盡相同，所以變壓器之一次側、二次側之電壓及比流器比值也不完全匹配，而比流器本身有激磁回路，在轉換過程中二次側之電流直接流經激磁迴路，而這激磁電流大小會導致比流器產生飽和現象，常導致外部電流而讓變壓器保護電

驛誤認為是內部故障電流，有鑑於此，變壓器保護電驛如 ABB SPAD346、RET541 保護電驛都是使用比率差動動作特性，用

抑制線圈來抑制通過之激磁電流，使流經動作線圈之電流等於零，來提高保護電驛的穩定性及安全性，如圖 2 所示。

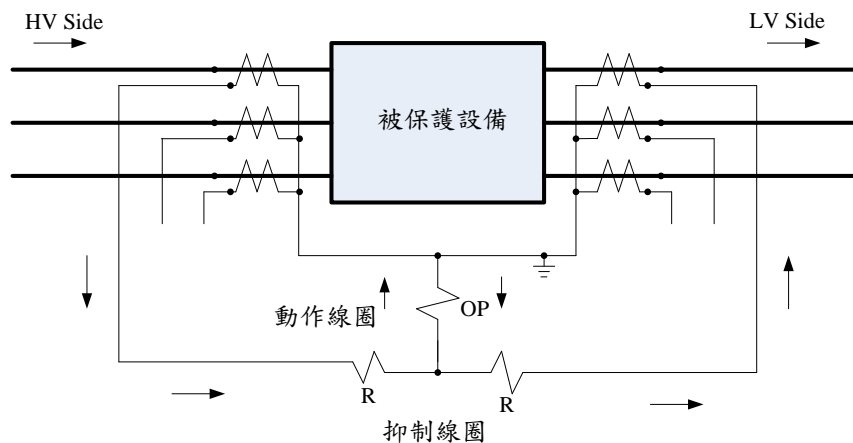


圖 1 變壓器差動保護示意圖

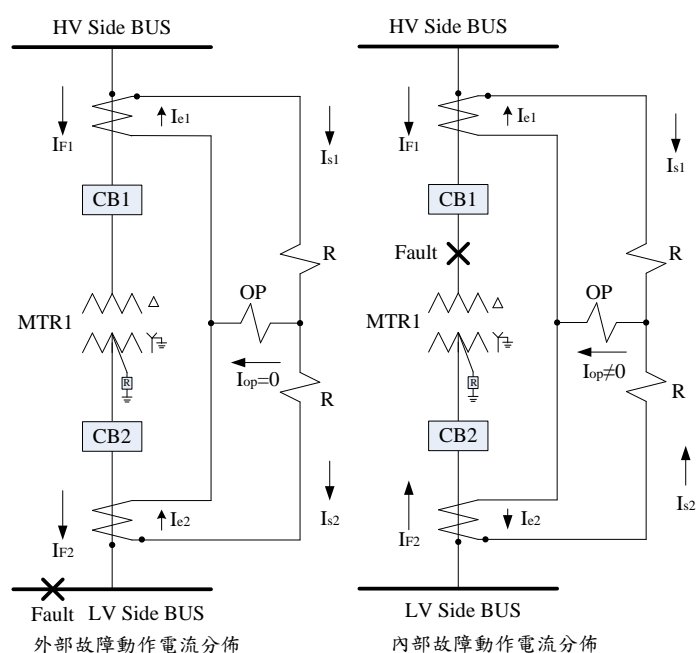


圖 2 變壓器差動保護外部與內部故障動作電流分佈圖

三、變壓器差動保護電驛之特性

RET541 針對變壓器保護之設計規劃，在激磁電流、監測變壓器一/二次側

之電壓、變壓器一/二次側兩側之比流器比值設定及接法、變壓器 Δ -Y 接線所產生之 30° 偏移、變壓器 Y 接中性點接地、變壓器 Δ 接有無接地故障零相電

流、變壓器有載分接頭(On-Load Tap Changer)調整設備、變壓器鐵芯、變壓器主保護功能外還有後衛保護功能等，這些因素中都有提供具體之解決防範之道。

1. 激磁電流

變壓器之容量、安裝位置、系統容量大小、變壓器鐵心及磁通密度及加壓瞬間時之相位角等因素都會影響激磁電流之大小；而激磁電流的瞬間峰值可能會達到變壓器額定電流值之8~30倍，當變壓器保護電驛如果沒有提供一抑制方式，將導致變壓器因激磁電流值過大而促使保護電驛動作，產生激磁電流可分為以下三部份。

- 1.1 Magnetizing inrush 也就是激磁初始湧流。當變壓器開始加壓瞬間，會有一暫態激磁現象，經由變壓器產生此暫態性激磁電流，當變壓器加壓送電所產生之激磁電流中就有可能導致差動電驛動作。
- 1.2 Recovery inrush 也就是電壓復原湧流。The magnetizing current of the transformer to be protected increases momentarily when the voltage returns to normal after clearance of a fault outside the protected area.是當變壓

器外部故障清除後，在電壓恢復至正常值中，所產生之激磁現象。

- 1.3 Sympathetic inrush 也就是共感湧流。Sympathetic inrush is caused by another transformer, running in parallel with the protected transformer already connected to the network, being energized.是將一變壓器併聯於已在加壓之另一變壓器，而瞬間產生之激磁現象。

2. 諧波抑制

二次諧波佔了其它次諧波 50% 以上比率，RET541 相同於 SPAD346 保護電驛，都是具有提供二次諧波抑制功能，二次諧波抑制功能也提供了防止不必要的差動電驛動作發生。當變壓器瞬間加壓時，二次諧波會瞬間引起抑制差動保護元件差動電驛動作，如圖 3 所示。當二次諧波抑制功能動作時，此時差動電驛元件是會被瞬間閉鎖住，暫態激磁電流會瞬間達到波峰時就會下降，不至於常時間存在於波峰值，由此圖可看出，當差動值仍繼續存在時，此時保護電驛才會視此差電流值為一故障值，差動電驛元件才會動作。

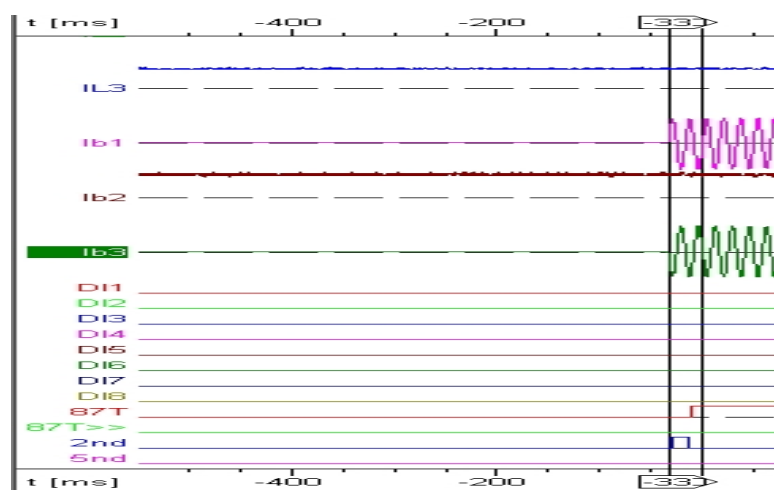


圖 3 變壓器差動保護電驛諧波抑制功能圖

RET541 同於 SPAD346C 之二次諧波抑制原理，RET541 是利用“Ratio $I_{2f}/I_{1f} >$ ” (I_{2f} 為二次諧波值， I_{1f} 為基本波值)設定選項，當實際之變壓器 Ratio I_{2f}/I_{1f} 之比率值%大於 RET541 之 Ratio I_{2f}/I_{1f} 設定時，此時，RET541 就會送出一個二次諧波閉鎖訊號去防止差動電驛動作，主要用意在於如果發生變壓器之激磁電流或 CT 飽和之外部故障而認定之內部故障之情形。因此在 RET541 設定上要搭配“2.harm.block”選項“Not in use”，“In use”，“With deblock”。

- 2.1 當實際之變壓器 Ratio I_{2f}/I_{1f} 之比率值%大於 RET541 之 Ratio I_{2f}/I_{1f} 設定時，如果“2.harm.block”選項是選擇“Not in use”，此時 RET541 是不會去瞬間閉鎖差動電驛。
- 2.2 當實際之變壓器 Ratio I_{2f}/I_{1f} 之比率值%大於 RET541 之 Ratio I_{2f}/I_{1f} 設定時，如果“2.harm.block”選項是選擇“In use”，此時 RET541 就會去瞬間閉鎖差動電驛。
- 2.3 當實際之變壓器 Ratio I_{2f}/I_{1f} 之比率值%大於 RET541 之 Ratio I_{2f}/I_{1f} 設定時，如果“2.harm.block”選項是選擇“With deblock”(反閉鎖，也就是不去閉鎖之意思，但是這是有條件)，條件是指: There are low current periods in the differential current during inrush. Also the rate of change of the differential current is very low during these periods.If these features are not present in the differential current, it can be suspected that there is a fault in the transformer. 也就是說;當激磁時，在差動電流中有著小的

電流值，並且在這期間，差電流之速率改變非常低。假如這些特性沒有存在，RET541 就會去認定這是一種變壓器故障而去反閉鎖二次諧波閉鎖功能。RET541 可以幫我們分析二次諧波對基本波之各相百分比值，如圖 4 所示，當中 I_{d2f}/I_{d1fL1} 為二次諧波對基本波之 R 相百分比值， I_{d2f}/I_{d1fL2} 為二次諧波對基本波之 S 相百分比值， I_{d2f}/I_{d1fL3} 為二次諧波對基本波之 T 相百分比值。

I_{d2f}/I_{d1fL1}	F106I013	22.7	%
I_{d2f}/I_{d1fL2}	F106I014	34.1	%
I_{d2f}/I_{d1fL3}	F106I015	17.1	%

圖 4 RET541 顯示之二次諧波對基本波之各相百分比值

當變壓器在過激磁(Overexcitation)的情況下，五次諧波就會產生;RET541 是以 fifth harmonic (I_{5f}) / fundamental component (I_{1f}) 之 ratio 比值來決定於是否判斷五次諧波抑制功能，當變壓器本身之 I_{5f}/I_{1f} 數值大於 RET541 $I_{5f}/I_{1f}>$ 之設定時，RET541 就會送出一個五次諧波閉鎖訊號去防止差動電驛動作，因此在 RET541 設定上要搭配“5.harm.block”選項:“Not in use”，“In use”，“With deblock”。

- 2.4 當實際之變壓器 Ratio I_{5f}/I_{1f} 之比率值%大於 RET541 之 Ratio $I_{5f}/I_{1f}>$ 設定時，如果“5.harm.block”選項是選擇“Not in use”，此時 RET541 是不會去瞬間閉鎖差動電驛。

2.5 當實際之變壓器 Ration I_{5f}/I_{1f} 之比率值 % 大於 RET541 之 Ratio $I_{5f}/I_{1f} >$ 設定時，如果“5.harm.block”選項是選擇“In use”，此時 RET541 就會去瞬間閉鎖差動電驛；然而，變壓器也有過電壓 (Overvoltage) 之條件所需考慮，過電壓就會有五次諧波量之產生，如圖 5 所示，有可能會造成對變壓器之傷害，這時候，就不能以五次諧波抑制功能去閉鎖差動電驛。

2.6 當實際之變壓器 Ration I_{5f}/I_{1f} 之比

率值 % 大於 RET541 之 Ratio $I_{5f}/I_{1f} >>$ 設定時，如果“5.harm.block”選項是選擇“With deblock” (反閉鎖，也就是不去閉鎖之意思)；五次諧波閉鎖功能就可以自動地被反鎖住。RET541 在五次諧波設計上在閉鎖 (Blocking) 及反閉鎖 (Deblocking) 作用上都有著滯後 (Hysteresis) 去波動 (Oscillation)，而影響著五次諧波閉鎖是否動作，如圖 6 所示。

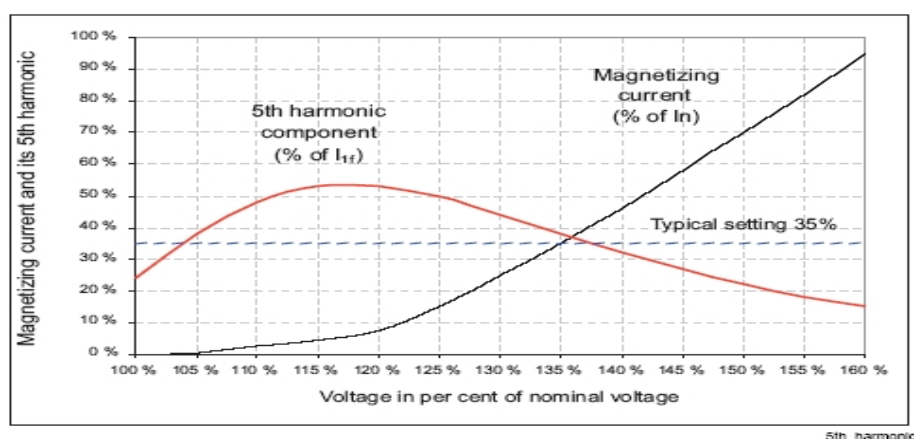


圖 5 變壓器過激磁所造成五次諧波百分比圖

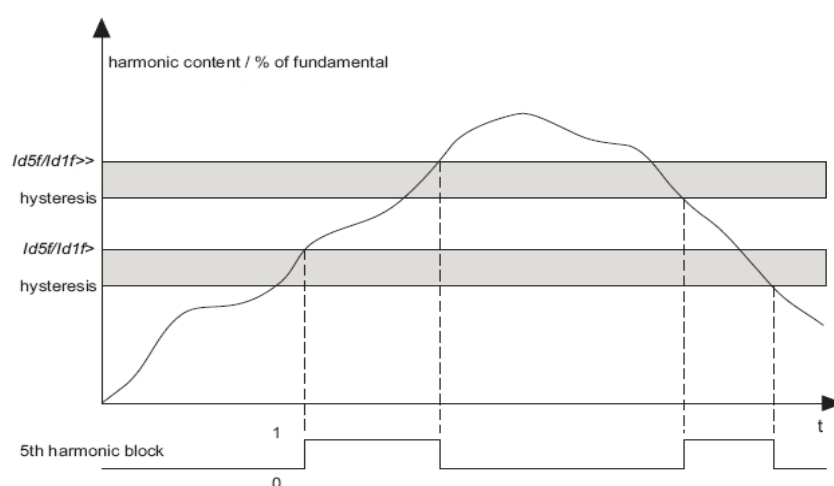


圖 6 五次諧波 Ration $I_{5f}/I_{1f} >$ Blocking is Enable and Ration $I_{5f}/I_{1f} >>$ deblocking is Enable 圖

3. 監測變壓器一/二次側之電壓

一般變壓器保護電驛只提供 CT 進線端之通道，如同 SPAD346 保護電驛一樣，因此在變壓器一/二次側之電壓監視上是無法滿足，RET541 具有提供電壓(PT)通道，使用者可以透過 PT 通道來知道變壓器一/二次側之電壓狀況，如果保護上需要，也足以提供電壓元件上之保護。RET541 目前有三種型號：第一種為 6CT+3PT 通

道使用；第二種為 7CT+2PT 通道使用；第三種為 8CT+1PT 通道使用。

3.1 RET541 -6CT+3PT：6CT 為一次側 IL1、IL2、IL3 /二次側 IL1b、IL2b、IL3b 之三相電流通道規劃，其中可以利用 RET541 具有特殊之軟體合成算法計算出一次側之接地故障電流及二次側接地故障電流，而 RET541 在一次側之接地故障電流命名為 Ios，如圖 7 所示，而在二次側接地故障電流命名為 Iobs，如圖 8 所示，

$$\text{Digitally Summed Ios} = -(IL1 + IL2 + IL3)$$

圖 7 RET541 一次側 接地電流 Ios 合成

$$\text{Digitally Summed Iobs} = -(IL1b + IL2b + IL3b)$$

圖 8 RET541 二次側 接地電流 Iobs 合成

Ios 和 Iobs 都是透過一次側及二次側之 CT Ratio 所自動計算產生之數值，因此在 RET541 CT 設定中，要確實將 CT Ratio 填入，避免造成 RET541 Ios/Iobs 之誤判斷。透過 RET541 量測功能規劃，把一次側之接地故障電流 Ios 規劃在 MECU1A 量測方塊，把二次側接地故障電流 Iobs 規劃在 MECU1B 量測方塊，我們就可以知道一次側及二次側接地故障電

流之大小，此外也可以利用 RET541 量測功能警報功能，將一次側之接地故障電流 Ios 及二次側接地故障電流 Iobs 設立警報功能，如圖 9 所示，利用“Time interval”選項，每經過 1 秒將接地電流變化量值上傳至 SCADA 監控系統做更新，利用警報設定門檻 HW(High Warning)/HA(High Alarm) 訂定警報數值，提醒人員注意。

Description	DB Name	Present Value	New Value
Threshold select	F201V001	?	Time interval
Time interval	F201V006	?	1 s
Threshold value	F201V002	?	1.0 % In
Limit selection	F201V003	?	Hw, HA
High warning	F201V004	?	30 % In
High alarm	F201V005	?	20 % In

圖 9 RET541 一/二次側接地警報設定

RET541 一次側及二次側各共有三相電壓通道，此 RET541 這型號中，雖然只提供 3PT 電壓通道，但這三個 PT 通道是可以彈性規劃的，可以規劃為取一次側，一或兩相及低壓側單相接線至 RET541 PT 通道，並利用 RET541 量測功能方塊 MEVO3A/MEVO3B 去讀取高低壓側之電壓做為

監視，相同於電流警報監視，我們可以設定監視之電壓通道之所訂定之警報門檻值，如圖 10 所示，一般都希望保護電驛除具有欠壓/過壓保護外，都會再要求欠壓及過壓之警報，使用 RET541 就可以利用量測元件來做為欠壓及過壓之警報。

Menu Path: MAIN MENU\Measurement\MEVO3A\Control setting

Description	DB Name	Present Value	New Value
Phase selection	F204V001	?	Uch1 & Uch2
Average interval	F204V002	?	5 min
Threshold select	F204V003	?	Time interval
Time interval	F204V010	?	1 s
Threshold value	F204V004	?	0.01 x Un
Limit selection	F204V005	?	Hw, HA, LW, LA
High warning	F204V006	?	1.00 x Un
High alarm	F204V007	?	1.10 x Un
Low warning	F204V008	?	0.9 x Un
Low alarm	F204V009	?	0.8 x Un

圖 10 RET541 二次側電壓警報設定

這是 RE_系列保護電驛所具有之特色; 但是如果將此三個 PT 通道用來做為欠壓或過壓保護之功能, 我們有些取捨之。

方案: 3.1.1: 此三個 PT 通道用在一次側保護 R、S、T 三相電壓, 三相電壓保護元件可以規劃為單相欠壓/過壓動作或是三相同時欠壓/過壓才動作, 二次側電壓就不進行保護及監測。

方案: 3.1.2: 此三個 PT 通道用在一次側之兩相及二次側之單相訊號或是一次側之單相及二次側之兩相訊號, 這樣一來, 高壓側及低壓側都可以監測及欠壓/過壓保護, 但監測及保護元件之訊號只能是取 RET541 PT 之電壓通道電壓源, 如果要在保護功能取三相同動作時, 是要做取捨, 但可以利用電流元件來加入欠壓/過壓之跳脫條件判斷, 避免因單相熔絲燒毀而讓保護電驛動作之情形發生。

方案: 3.1.3: 此三個 PT 通道用在二次側保護 R、S、T 三相電壓, 三相電壓保護元件可以規劃為單相欠壓/過壓動作或是三相同時欠壓/過壓才動作, 一次側電壓就不進行保護及監測, 不過這情形中是比較不常見, 都會以高壓側電壓為主要前提。

3.2 RET541 -7CT+2PT: 如同上述之 6CT 為一次側 IL1、IL2、IL3 / 二次側 IL1b、IL2b、IL3b 之三相電流通道規劃, 其中可以利用 RET541 具有特殊之軟體合成算法計算出一次側之接地故障電流及二次側接地

故障電流, 而 RET541 在一次側之接地故障電流 I_{os} , 而在二次側接地故障電流 I_{obs} , 另一個 CT 通道可以用來做為變壓器 Y 接中性點接地(51Z)用途; 以往, 我們需要再加裝一顆保護電驛做為 51Z 用途, 現在只需要一顆變壓器保護電驛就可以做到雙重功能, 這也是 RET541 的優點之一, 另外, 如果要將此二 PT 通道用來做為欠壓或過壓監測、保護之功能, 我們有些取捨之方案。

方案: 3.2.1: 此二個 PT 通道用在各取一次側之單相及二次側之單相訊號, 這樣一來, 一次側及二次側都可以監測電壓及欠壓/過壓保護, 但監測及保護元件之訊號只能是取 RET541 PT 之電壓通道電壓源, 如果要在保護功能取三相同動作時, 是要做取捨, 如同上述, 可以利用電流元件來加入欠壓/過壓之跳脫條件判斷, 避免因單相熔絲燒毀而讓保護電驛動作之情形發生。

3.3 RET541 -8CT+1PT: 可以依上述所提到之功能做彈性之 CT/PT 通道之規劃而進行一/二次側之監視及保護用途, 其實此型號之主意是, 一/二次側接地故障是用實體線, 也就是實際合成之流向, 高/低壓之接地通道實際上是佔用到 RET541 之 CT 通道, 非主要是用軟體來計算出一/二次側之接地故障之用意。

4. 變壓器一/二次兩側之比流器比值設定及接法與變壓器 Δ -Y 接所產生之 30° 偏移

RET541 不同於 SPAD346C 保護電驛之 CT 設計，SPAD346C 有個設定選項 I_1/I_n 及 I_2/I_n ， I_1/I_n 是指變壓器一次側之比流器的比值修正值， I_2/I_n 是指變壓器二次側之比流器的比值修正值，這是做為大小補償之用途，再加上特有之相位補償(vector

group matching)方式，也就是所謂之變壓器 CT 接線方式，將變壓器 Δ -Y 接所產生之 30° 偏移補償到正確值，如圖 11 所示。

如果相位及大小值未做補償之動作，此時就會有差動電流之出現，也因此會影響到保護電驛之動作；而 SPAD346C 在差電流之判斷上因有補償之能力，因此就不會有因相位及大小數值之因素影響到差動電驛動作之判別。

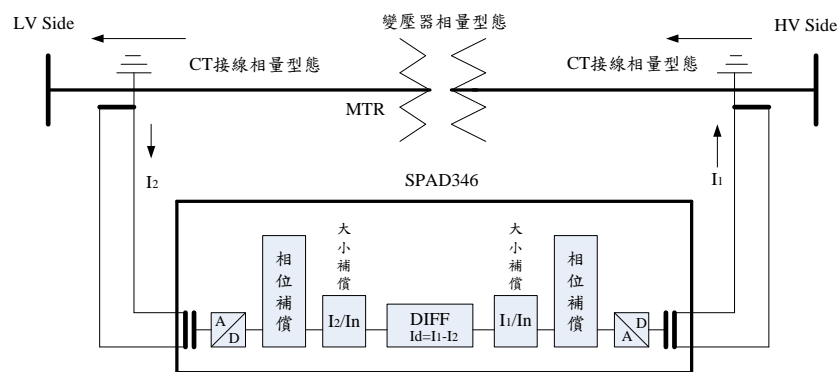


圖 11 SPAD346C 變壓器保護補償示意圖

依據 IEEE 的規章，變壓器接線高壓側超前低壓側 30° 之相角差，而變壓器接法 Δ -Y 接所產生之 30° 相角差，一般我們都是用 Δ -Y 接結線之變壓器之 Δ 側比流器接成 Y 接，而 Y 側比流器接成 Δ 接，此方式也是避免外部接地故障時，由零相電流引起差動電驛之誤動作情形發生；為何要比流器接法去匹配變壓器之接線方式，是因使流進變壓器保護差動電驛之電流取得相同之相位，也就是負載電流或外部故障電流流經抑制線圈之高低壓側之電流相位為 180° 。

目前 RET541 保護電驛相同於 SPAD346C 之設計，在比流器接法上

不用完全去匹配變壓器接線方式，也就是變壓器 Δ -Y 接，比流器不需要 Y- Δ 接，比流器可以 Y-Y 接方式，由 RET541 內部去做 Vector Group Matching 補償動作，因此 RET541 有獨力之 CT Ratio 之高/低壓相設定，RET541 可以將比流器因 Y-Y 接方式所產生之相位之差進行補償，方式是利用 Type I /Type II 方式來補償相位之差。

Type I，如圖 12 所示，簡單判別方式是，一次側及二次側之 CT 比流器接地端同時靠近變壓器或者是一次側及二次側之 CT 比流器接地端同時遠離變壓器。

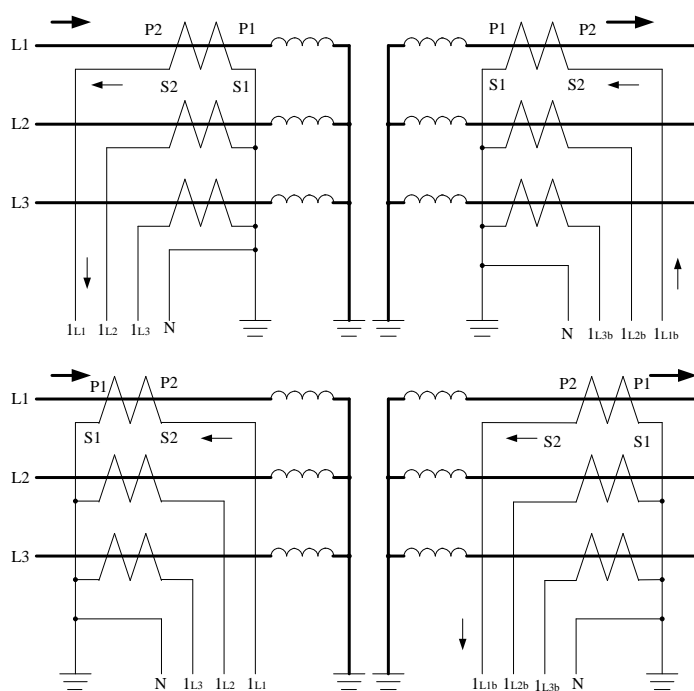


圖 12 變壓器與比流器接法- Type I 示意圖

另外，由 CT 接法也可判別是 Type I 接法方式，如圖 13 所示。

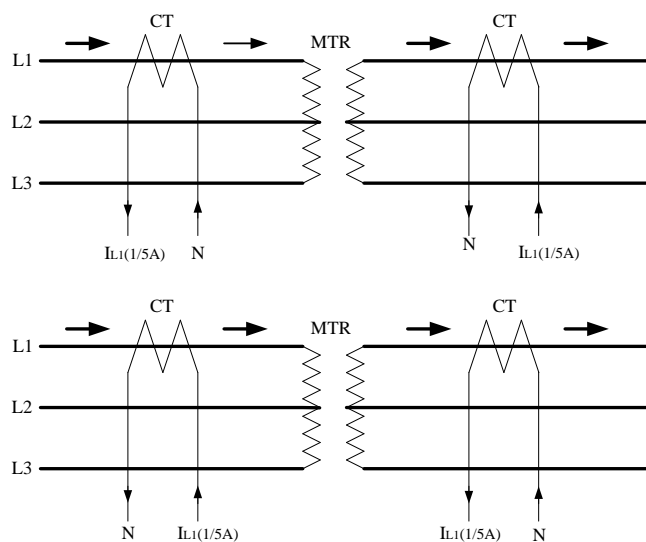


圖 13 用 CT 接法判別 Type I 接法方式圖

Type II，如圖 14 所示，簡單判別方式是，高壓側之 CT 比流器接地端靠近變壓器且低壓側之 CT 比流器接

地端遠離變壓器，或者是高壓側之 CT 比流器接地端遠離變壓器且低壓側之 CT 比流器接地端靠近變壓器。

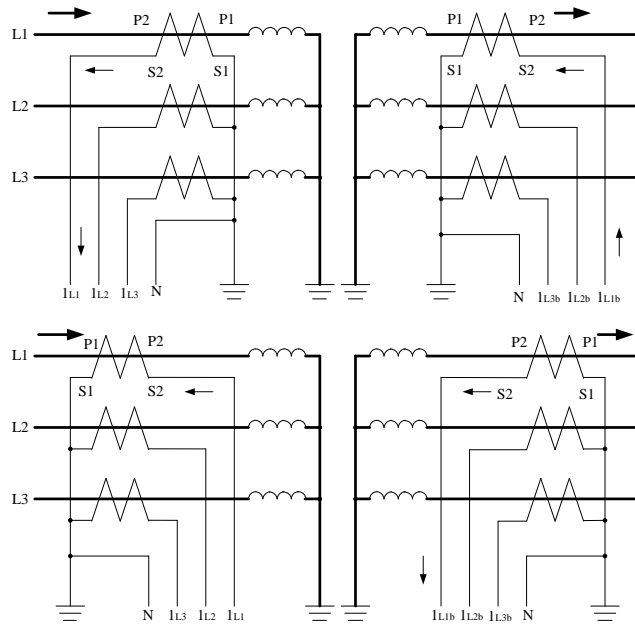


圖 14 變壓器與比流器接法- Type II 示意圖

另外，由 CT 接法也可判別是 Type II 接法方式，如圖 15 所示。

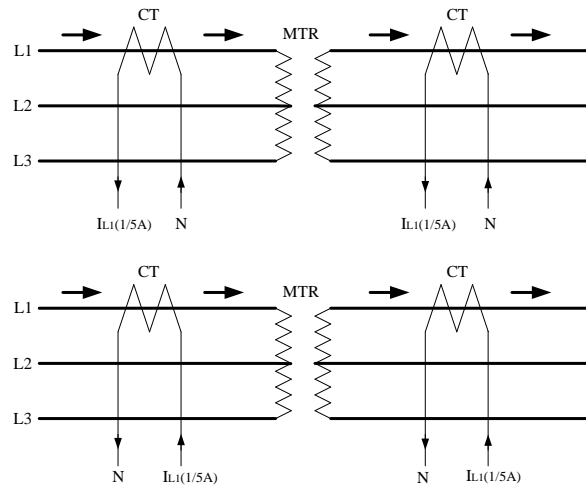


圖 15 用 CT 接法判別 Type II 接法方式圖

首先將現場比流器之接法確認正確後，在 RET541 功能設定中，將實

際之接法依次填入 RET541 中，如圖 16 所示。

Description	DB Name	Present Value	New Value
CT connection	F106V007	?	Type I
HV connection	F106V008	?	D
LV connection	F106V009	?	yn
Clock number	F106V010	?	1
Io elimination	F106V011	?	HV&LV side

圖 16 RET541 相位補償選項設定圖

正確之量測角度值為，Angle IL1-IL2，Angle IL2-IL3，Angle IL3-IL1，Angle IL1b-IL2b，Angle IL2b-IL3b，Angle IL3b-IL1b 是為 120°。此外，相序正確(Phase Order)值，Angle IL1-

IL1b，Angle IL2-IL2b，Angle IL3-IL3b 是要為 0，可以從 RET541 去查看 RET541 判別出來的結果，如圖 17 所示。

Values to be checked	Expected result
Current IL1, 2, 3 (HV- side phase currents)	About same current in each phase
Current IL1b, 2b, 3b (LV- side phase currents)	About same current in each phase
Angle IL1-IL2, IL2-IL3, IL3-IL1	About 120 degree between any two phase
Angle IL1b-IL2b, IL2b-IL3b, IL3b-IL1b	About 120 degree between any two phase
Angle IL1-IL1b, IL2-IL2b, IL3-IL3b	About 0 degree between any HV-LV phase
Current Id1, 2, 3 (Differential current)	About 0 in each phase (on-load tap changer pos. can make big error if the position is not correct)

圖 17 RET541 補償後顯示之正確差數值

在針對 RET541 大小補償(CT Transformation Ration Correction)部份，RET541 大小補償方式是與 SPAD346 原理相似，但做法上是不同，由例 1 說明此一做法。

例 1：變壓器容量為 40 MVA，110

kV/10.5 kV，高壓側之 CT 比值 300/1，低壓側之 CT 比值 2500/5，依據 SPAD346 C I1/In 及 I2/In 之大小算法，如圖 18 所示。

I1/In 及 I2/In 之大小補償算法：

$$I1n=40MVA/(\sqrt{3} \times 110 \text{ kV})=210A$$

I1/In HV Side CT 比值修正值：

$$I1/In = 210A/300A = 0.7$$

$$I2n = 40MVA / (\sqrt{3} \times 10.5 kV) = 2199^\circ$$

I2/In LV Side CT 比值修正值：

$$I2/In = 2199A/2500A = 0.88$$

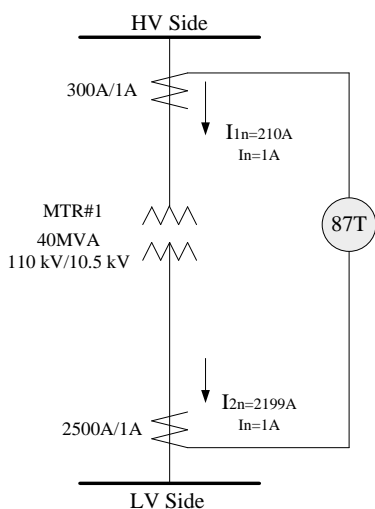


圖 18 SPAD346C CT 修正值算法示意圖

依據 RET541 之算法，因 RET541 又需考慮到保護元件功能，如 CO/LCO，RET541 計算如下：

$$InT = \frac{Sn}{\sqrt{3} \times Un}$$

Where InT = rated load of the power transformer

Sn = rated power of the power transformer

Un = rated phase-to-phase voltage

Next, the setting of the protected unit can be calculated

$$Scaling = \frac{Ip}{InT}$$

Where Ip = rated primary current of the CT

$$\text{所以 } InT = 40MVA / (\sqrt{3} \times 110 kV) = 210 A$$

$$Scaling = Ip/InT = 300A / 210A = 1.429 \text{ --- 高壓側}$$

同理 $Scaling = 1.137 \text{ --- 低壓側}$

而 RET541 設定值路徑在：

(Configuration/Protected unit/Ch_ : Scaling); 如下圖 19 所示，其中 Ch1~Ch3 為高壓側之 R、S、T 相，Ch4~Ch6 為低壓側之 R、S、T 相。

在變壓器正常運轉之下，保護電驛需將 Current in percent = 100.0 % In ，才是所謂 “Transforming ration correction of CT”，因此在高壓側中， $Scaling = 1.429$

Description	DB Name	Present Value	New Value	Range
Ch1: scaling	F003v541	?	1.429	(0.500 ... 3.000)
Ch2: scaling	F003v542	?	1.429	(0.500 ... 3.000)
Ch3: scaling	F003v543	?	1.429	(0.500 ... 3.000)
Ch4: scaling	F003v544	?	1.137	(0.500 ... 3.000)
Ch5: scaling	F003v545	?	1.137	(0.500 ... 3.000)
Ch6: scaling	F003v546	?	1.137	(0.500 ... 3.000)

圖 19 RET541 顯示之 CT 修正值

Current in ampere = 210 A

Current in percent = 100.0 % In

---(正確)

假如，我們忽略去修正 Scaling，
(RET541 Scaling 原始值是 1)，這樣
的話就會變成，

Scaling = 1.000

Current in ampere = 210 A

Current in percent = 70.0 % In

----(較不精確)

例 2：變壓器容量大小為 25 MVA，
110 kV/21 kV，YNd11 接之變
壓器，CT Ratio 為 300/1A 及
1000/1A，如圖 20 所示。

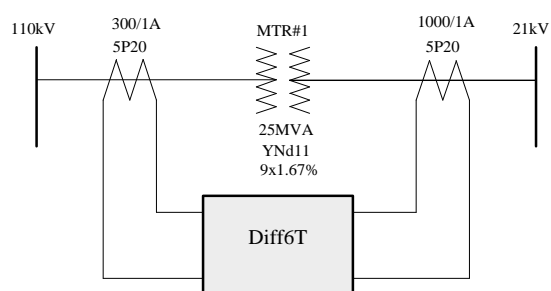


圖 20 RET541 Scaling 算法示意圖

Current Id1	F106I007	0.615	x In
Current Id2	F106I008	0.299	x In
Current Id3	F106I009	0.477	x In

圖 21 RET541 顯示之各相差電流數值

5. 變壓器 Y 接中性點接地保護(51Z)

上述功能有提到，可以利用
RET541 軟體合成而得到 Ios 接地故
障電流，而將 RET541 原本 Io 之 CT
硬線通道提供給變壓器 Y 接中性點接
地(51Z)用，這樣一來，就不需額外再

比照上述算法，先算出 InT 值。

HV Side : $InT = 25MVA / (\sqrt{3} \times 110 \text{ kV})$

= 131.2A

Setting = $I_p / InT = 300A / 131.2A$

= 2.287 ---高壓側

LV Side : $InT = 25MVA / (\sqrt{3} \times 21 \text{ kV})$

= 687.3A

Setting = $I_p / InT = 1000A / 687.3A$

= 1.455 ---低壓側

==> HV Scaling = 2.287 ,

LV Scaling = 1.455

大小補償及相位補償設定完成後，就
可以依變壓器實際運轉狀況去查看補償之
後之數值是否正確，既可以利用 RET541
去查看到各項數值。此外，也可從
RET541 去查看到高/低壓側之各相差動
電流值 Id 是多少？如 Id1/Id2/Id3，其中
Id1 為 R 相差動電流值，Id2 為 S 相差動
電流值，Id3 為 T 相差動電流值，如圖 21
所示。

去增加一顆 LCO 保護電驛做為 51Z
用途，此 51Z 功能也可以在 RET541
之 CT 通道中規劃出 CT Ratio 量測
值。

6. 變壓器 Δ 接有無接地故障零相電流

RET541 在相位補償(Vector Group

Matching)計算中，也提供是否利用 RET541 來消除零相序成份，如圖 16 所示，“Io Elimination” Setting ;我們必須注意的是，在相位補償中，消除零相序電流成份是必須考慮到變壓器高/低壓側之接法。

7. 有載分接頭切換器(Tap Changer)

有載分接頭位置(Tap Changer Po-

sition)可以經由 RET541 功能來做一線性取線之條列，如圖 22-1 及 22-2 所示。

The position of the tap changer used for voltage control can be compensated if the position information is provided for the protection function via the input signal “TAP_POS”.

Measurement	TAP_POS	POS(mA)
1	1	4.85
2	3	6.54
3	5	8.23
4	7	9.98
5	9	11.60
6	11	13.28
7	13	14.96
8	15	16.64
9	17	18.33
10	19	20.01

圖 22-1 Tap Changer mA Measurement

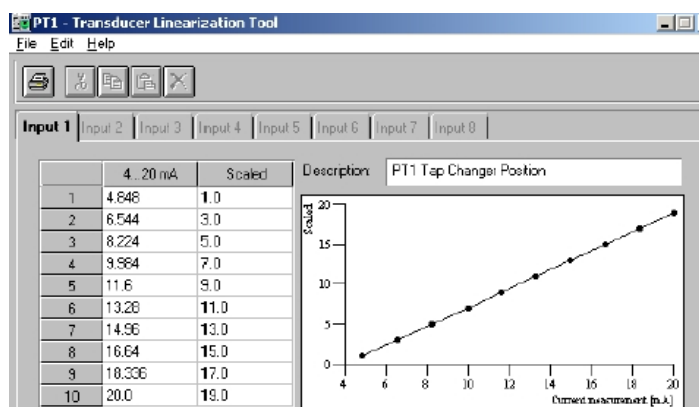


圖 22-2 Linearization Curve 圖

在 RET541 設定選項 “ Start Ratio ” 中，如圖 23 所示，依照下列各項

參考數值而計算出，高壓側 CT 精確度、低壓側 CT 精確度、Tap Changer

Regulation Range、Relay 精確度、裕度(Margin)。在圖 20 中，5P20 CT 精確度約 5%，Relay 精確度約 4%，裕度約 5%，可以算出 Start Ratio Setting 值。

$$\begin{aligned} \text{Start Ratio Setting} &= \text{HV CT} + \text{LV CT} + \text{Tap} \\ &\quad \text{Changer} + \text{Relay} + \\ &\quad \text{Margin} \\ &= 5\% + 5\% + 9 \times 1.67\% + \\ &\quad 4\% + 5\% = 34\% \end{aligned}$$

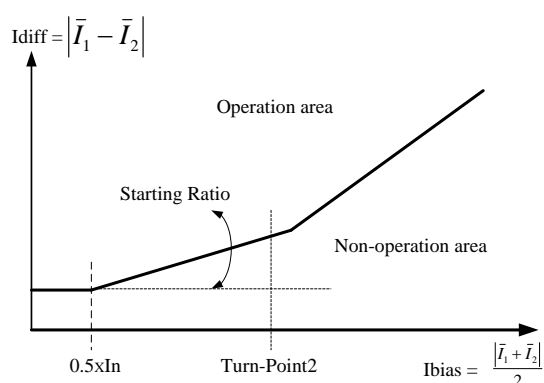


圖 23 RET541 Start Ratio Setting 圖

假如有載分接頭切換器(Tap Changer)具自動校正(Compensated)，也就是依照圖 22 方式，TAP_POS 有依輸入所顯示數值，此時 Start Ratio Setting 是多少？

$$\begin{aligned} \text{Start Ratio Setting} &= \\ 5\% + 5\% + 4\% + 5\% &= 19\% \end{aligned}$$

8. 變壓器其它保護功能

RET541 變壓器保護電驛又提供了 CO/LCO 保護，CO/LCO 是變壓器保護之後衛保護，所以對使用者來說，可以減少安裝 CO/LCO 之空間及保護電驛所花費之費用與對整體規劃之整合性來說較有效益，此外，也提供 27/59/81H/81L/59V0 之多種功能之保

護。

9. RET541 -87T 設定

除了上述之始動比值“Start Ratio : Slope of the second line of the operation characteristics”設定外，還有基本設定“Basic Setting : the lowest ration of the differential and nominal currents to cause a trip”、第二轉折點“Turn-Point 2 : turn-point between the second and the third line of the operation characteristics”、瞬時值設定“Inst.Setting : Trip value of the instantaneous stage”、二次諧波抑制比值“Ratio I2f/I1f>”、五次諧波抑制比值“Ratio I5f/I1f>”、五次諧波瞬時抑制比值“Ratio I5f/I1f>>”、二次諧波閉鎖“2.harm.block”、五次諧波閉鎖“5.harm.block”。

9.1 Basic Setting : 如圖 24 所示，Basic Setting 對差動保護電驛元件動作之區域有畫分，可以從下列而得到，Basic Setting = 0.5 x start ratio + P' ; 其中 P' = no-load losses of transformer at maximum voltage，一般是以 10% 來做為計算；因此，以上述之 Start Ratio = 19% 來計算，可以算出 Basic Setting 值。

$$\begin{aligned} \text{Basic Setting} &= 0.5 \times 19\% + 10\% \\ &= 19.5\% \end{aligned}$$

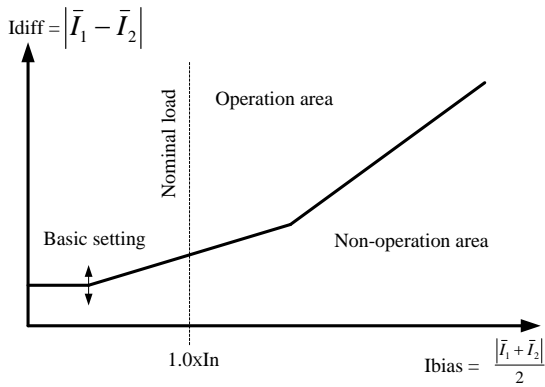


圖 24 Basic Setting 對 Relay 動作之特性圖

9.2 Turn-point 2：第二轉折點是從 Basic Setting 及一個 100% slope 兩者之間影響而來，如圖 25 所示。

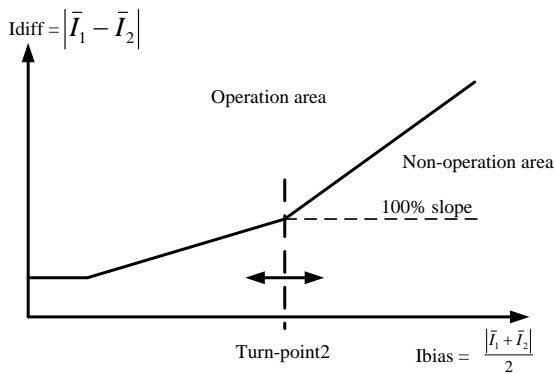


圖 25 Turn- Point2 對 Relay 動作之特性圖

第二轉折點較小，對差動保護電驛來說就是“More Stable” and “Less Sensitive”，反之，第二轉折點較大，對差動保護電驛來說就是“More Sensitive” and “Less Stable”；一般來說，第二轉折點通常是選擇在 1.5 ~ 2 之間，對第二轉折點設為 1.5 來說，保護對非故障區較 Stable，而對第二轉折點設為 2 來說，對故障區是提供較 Sensitive 保護。

9.3 Inst.Setting：差動保護電驛

Instantaneous 功能不會受諧波而被閉鎖住，它提供較快速之保護，在變壓器保護上，一般都是以 6~10 In 之範圍來做設定。

9.4 Ratio I_{2f}/I_{1f} ：以二次諧波對基本波之比率來驅動二次諧波閉鎖差動保護電驛功能，用於變壓器激磁電流及 CT 飽和所造成之外部故障閉鎖差動保護電驛元件動作。

9.5 Ratio I_{5f}/I_{1f} ：以五次諧波對基本波之比率來驅動五次諧波閉鎖差動保護電驛功能，用於變壓器過激磁 (Overexcitation)，防止差動保護電驛元件動作。

9.6 Ratio $I_{5f}/I_{1f} >>$ ：以五次諧波對基本波之比率來移除五次諧波閉鎖差動保護電驛功能，主要是防止當變壓器發生嚴重之過激磁 (Overexcitation) 現象，此時不要去閉鎖差動保護電驛元件動作，來保護變壓器。

9.7 2.harm.block：參考前三.2.節之序述。

9.8 5.harm.block：參考前三.2.節之序述。

對於 RET541 變壓器來說，可以利用 RET541 之差動保護電驛功能元件來分析了解差動保護電驛輸出動作情形，如圖 26 所示。

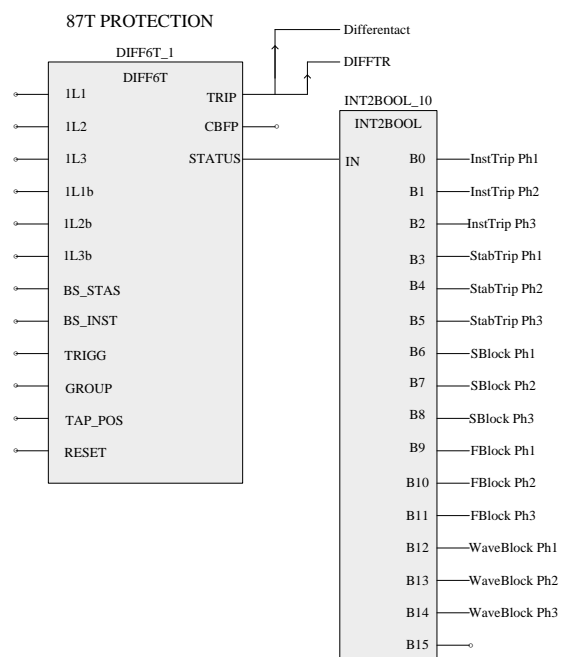


圖 26 87T 元件輸出狀態解碼示意圖

我們可以依照差動保護電驛輸出狀態去了解每個位元所代表之意，如圖 27 所示，對使用者來說更是方便。

Bit number	Meaning of the bit
O(LSB)	Instantaneous stage trip in phase 1
1	Instantaneous stage trip in phase 2
2	Instantaneous stage trip in phase 3
3	Stabilized stage trip in phase 1
4	Stabilized stage trip in phase 2
5	Stabilized stage trip in phase 3
6	Second harmonic block in phase 1
7	Second harmonic block in phase 2
8	Second harmonic block in phase 3
9	Fifth harmonic block in phase 1
10	Fifth harmonic block in phase 2
11	Fifth harmonic block in phase 3
12	Waveform based block in phase 1
13	Waveform based block in phase 2
14(MSB)	Waveform based block in phase 3

圖 27 87T 元件輸出解碼位元其意

四、變壓器差動保護三繞組之應用

通常變壓器均以兩繞組之保護方式，但因為有容量之考量及系統之運用而有三繞組之變壓器保護方式。因此針對三繞組之變壓器，由於 RET541 沒有具有九個電流通道，但 RET541 也可以用來提供變壓器設備之差動保護。

三繞組之變壓器保護，如圖 28 所

示，變壓器之高壓側有一繞組，變壓器之低壓側有兩個繞組。依變壓器原理之應用，三繞組之變壓器會有三組 CT 使用，有 9 相電流通道進保護電驛進行差動監視保護，保護電驛會提供至少 9 個電流通道來引接三組 CT；低壓側之兩個 CT 具有相同之比值，相同之電壓等級，可以將低壓側之兩組 CT 併接成為一個 R.S.T 相，如圖 28 所示，此時低壓側就只具有 R.S.T 三相與高壓側之 R.S.T 三相在 RET541 進行差動電驛之差動比較，如果低壓側所用之比流器比值不同，會有不同的解決方式。

如圖 29 所示，此時低壓側之主要之一比流器比值為 $500/5=100$ ，所以另一個比流器比值也需等於 100，因低壓側兩個比流器比值不同，所以在較低之比流器比值側加裝一個 CT (Interposing CT) 來匹配比流器比值等於 100 之方式；因另一個比流器比值是 $100/5=20$ ，因此此 Interposing CT Ratio 就須等於 $100/20 = 5$ ，例如 $25A/5A$ ，如此一來，低壓側兩邊 CT Ratio 就相同，就可以併接 R.S.T 三相電流進入 RET541 進行差動電驛判斷。

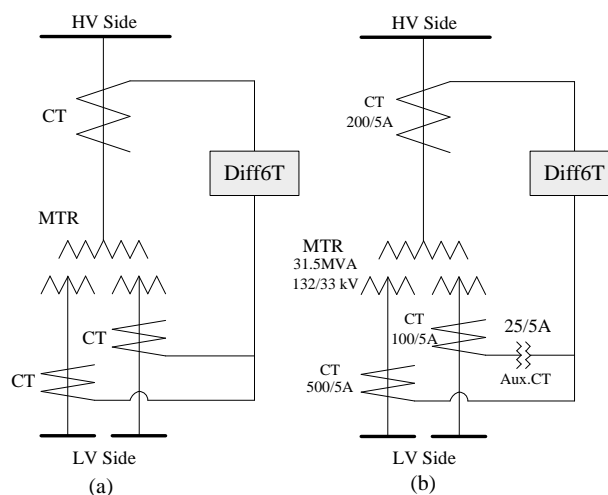


圖 28(a),29(b) 變壓器三繞組之保護方式

例 3：變壓器容量為 31.5MVA，132/33 kV，高壓側 CT Ratio = 200/5，低壓側 CT Ratio = 500/5 及 100/5，如圖 29 所示。

HV 之 Scaling 之計算為：

$$I_{nT,HV} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_{n,HV}} = \frac{31.5MVA}{\sqrt{3} \times 132KV} = 137.8A$$

$$Scaling = \frac{I_{P,HV}}{I_{nT,HV}} = \frac{200A}{137.8A} \approx 1.451$$

LV 之 Scaling 之計算為：

$$I_{nT,LV} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_{n,LV}} = \frac{31.5MVA}{\sqrt{3} \times 33KV} = 551.1A$$

$$Scaling = \frac{I_{P,LV}}{I_{nT,LV}} = \frac{500A}{551.1A} \approx 0.907$$

五、變壓器差動保護測試

數位式變壓器差動保護電驛主要功能是在驗證差動保護電驛動作特性是否正確，所以電驛測試項目要做電驛特性試驗、接線試驗、跳脫試驗及直流電壓檢驗等，下列試驗方式是確保保護電驛動作曲線是否正常。

5.1 先確認 RET541 變壓器保護電驛接線方式是否無誤，再認變壓器接線方式，並依照變壓器接線方式來看 RET541 是否有無補償。先假設變壓器接法是 YnD11，依照圖 12 及 13 之判斷方式，可以模擬比流器接線方式，並依照 RET541 之 TYPE I 及 TYPE II 之判斷方式來讓 RET541 進行對變壓器因 Y-Δ 接所產生之 30° 偏移，而比流器接法是 Y-Y 接之接線方式進行 30° 偏移之校正。

5.2 由圖 31 及 32 中，此種比流器接法是

不管變壓器繞組為 Y 或 Delta 接，比流器的標準接線為 Y 之接線方式，並且是讓高壓側及低壓側電流角度差互為相差 180°，此種電流流入保護電驛之方向為 1 進 1 出，表是 TYPE I 之選用模式。

5.3 依據變壓器差動電驛接法匹配對照表顯示 YnD11 是低壓側領先高壓側 30°，如圖 33 所示。

5.4 將接線方式依圖 16 所示填選在 RET541 設定表格中。

CT connection : TYPE I，HV connection : Yn，LV connection : D，Clock number : 11

5.5 將 RET541 87T 設定值依需求來填寫，參考上述之“8.RET541 - 87T 設定”說明，假設設定值是 Basic setting : 20%，Starting ratio : 30%，Turnpoint2 : 1.5 x In，Inst.setting : 10.0 x In。

5.6 利用六相電流產生儀器，將高/低壓側之電流值及角度值依次輸入，如輸入 HV-side : 1.05A，LV-side : 0 A，（假設 RET541 current terminal HV and LV sides : 5A 且 HV and LV 之 scaling =1），是用來驗證 Ib =0~0.5 之動作特性。

5.7 依照 RET541 之計算方式，差動值=0.21，因為動作點(Operation Point)落在動作區間，此時就要動作，如圖 34 所示。

5.8 同理，在 HV 側 R.S.T 各加 3.7 A ∠0°，3.7A ∠240°，3.7A ∠120°，LV 側加 2.3A ∠210°，2.3A ∠90°，2.3A ∠330° 來驗證 Ib =0.5~1.5 之動作特性，如圖 35 所

示。

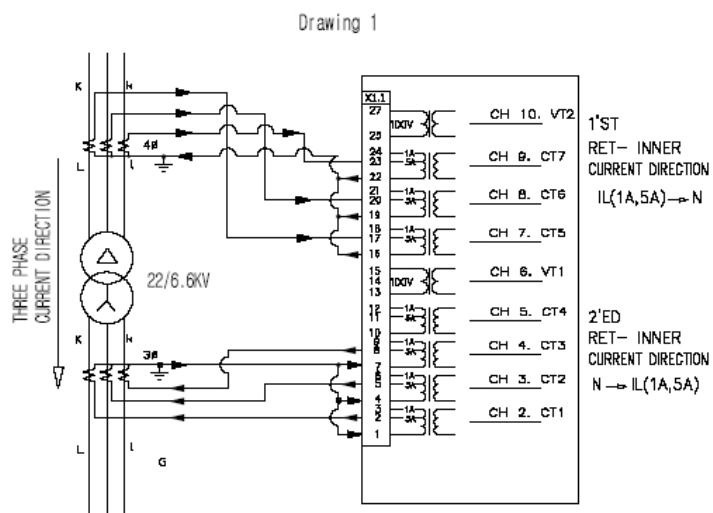


圖 31 RET541 CT 接法方式

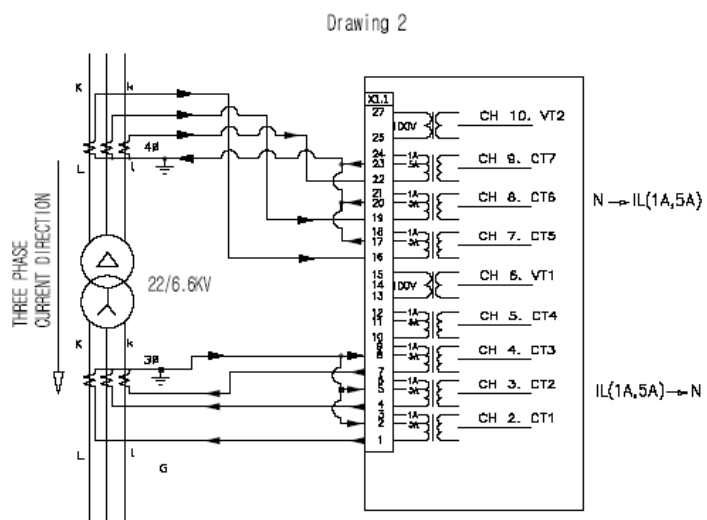


圖 32 RET541 CT 接法方式

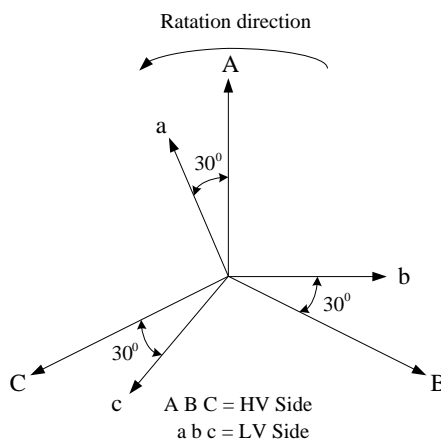


圖 33 Clock number 11 判斷 之方式

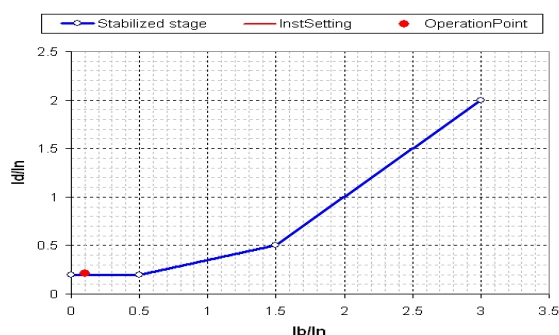


圖 34 動作點動作區域顯示

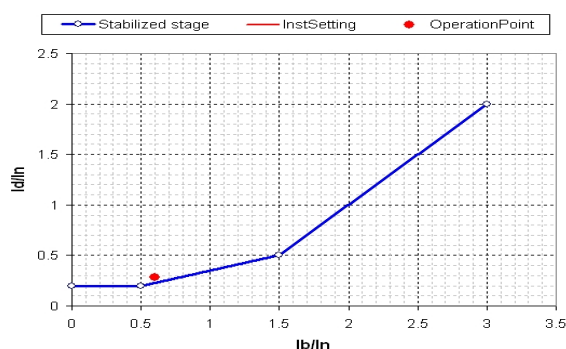


圖 35 第二區段動作點動作區域顯示

5.9 調整第二轉折點設定來測試第二轉折點之動作特性，因考慮測試儀器無法供應太大電流量(>10A)，所以調整第二轉折點設定值來降低輸入電流之大小。除了調整 Turn-point2 : $1 \times I_n$ 之設定值外，其餘設定值都不變，並在 HV 側加 4.3 A，LV 側加 6.5A 來驗證 $I_b = 1 \sim 3$ 之動作特性(假設: Max I_b/I_n for the curve plotting = $3 \times I_n$)，圖 36 所示。

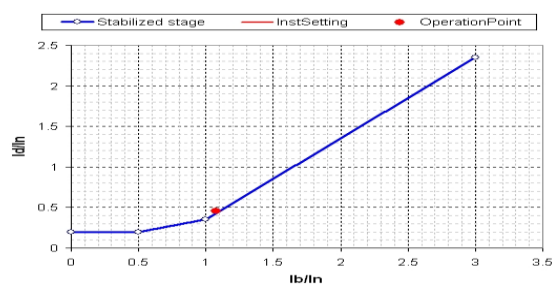


圖 36 第二區段動作點動作區域顯示圖

5.10 如果接線是為 TYPE II 方式，由圖 37 及 38 中，TYPE II 方式此種 CT 是以 Y-Y 之接線方式，此種電流流入保護電驛之方向為同時進同時出，高壓側及低壓側電流角度差互為 0° ，表是 TYPE II 之選用模式。

六、結論

數位型保護電驛已廣泛成熟的使用在輸配電系統，如線路保護、變壓器保護、匯流排保護、發電機保護等。變壓器是廠內用電之心臟，若變壓器一故障，將造成整廠停電或致使變壓器損壞而無法修護，非一日或數日可以搶修完成，這樣的損失是難以估計的。因此，對於重要變壓器保護來說，也有更新型之數位式保護電驛來針對變壓器做保護，除提供變壓器差動保護功能外，也針對變壓器經升壓或降壓之電力傳輸線路提供過電流保護，所以饋線保護電驛之過電流保護功能也含括在此變壓器保護電驛中，但是需注意到，如以同一顆變壓器保護電驛來計算過電流保護之計算，是要以變壓器保護電驛修正後之比流器比值來做保護協調計算。RET541 為一集合式多功能保護電驛，應用於變壓器保護，除保護外另有控制、量測、通訊、狀態監視、事故波形記錄及可程式邏輯功能等，應用廣泛靈敏度極高，確保運轉中之變壓器均能安全可靠，用電於無慮。

參考文獻

- [1] 許文興，特高壓電力系統保護規劃協調與變壓器結線原理技術。
- [2] 李宏任，「實用保護電驛」，全華科技圖書。

[3] ABB RET54_ 保護電驛說明書 料

[4] ABB Finland RET54_ 保護電驛參考資

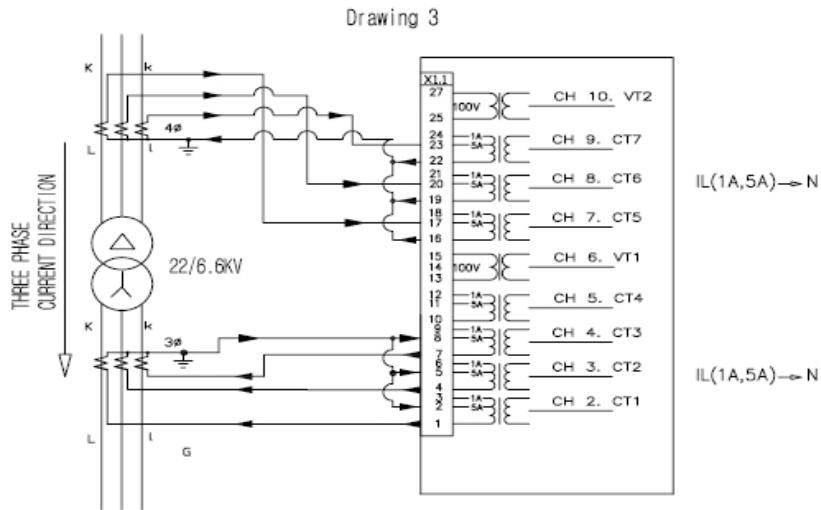


圖 37 RET541 CT 接法方式

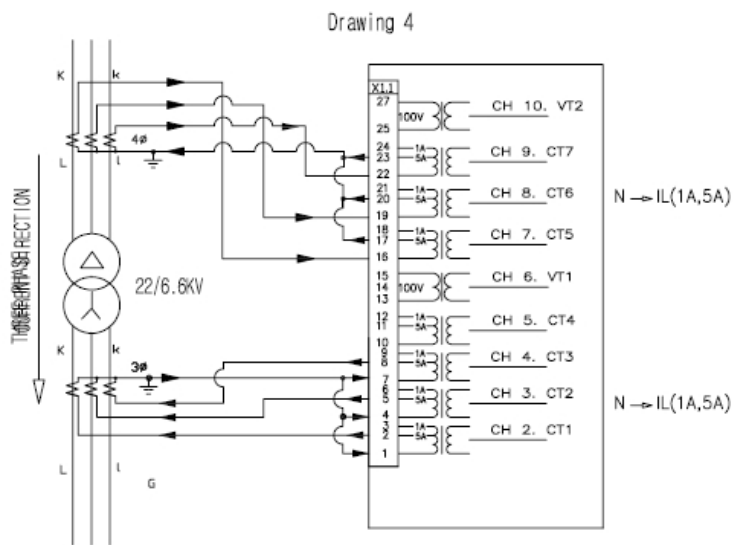


圖 38 RET541 CT 接法方式