

談比流器暫態效應及其對保護電驛品質可靠之影響

台電供電處 李國楨

壹、序言

保護電驛的研發係為因應電力系統設備運轉突發異常狀況時，在電力設備可容許最大故障電流及持續時間，仍能保有設備安全之前提考量下，在有限時空緊急執行跳脫功能，意圖將電力系統之健全區間與故障區間加以區隔，使前者按既定供電方式持續運轉，不因事故影響而失控或脫序，而後者則以停電方式靜候處理。

然而保護電驛既植基於電力系統理論並歷經千百回測試，其性能品質理應相當可靠，因此在加入電力系統運作期間，當面臨各式各樣突如其來的故障衝擊時，其保護性能表現是否顯現正常？對電力系統安全運轉潛藏一股關鍵性之影響，尤以突發重大事故大停電新聞，經常廣受社會輿論關切的主題，電驛保護之重要性於此不言可喻。

保護電驛性能失靈鮮少為本身設計上之問題，大多深受外在周邊設備提供信號偏差而失準，例如比流器飽和效應、通信信號消失、直流電源異常…等均能導致電驛行為偏離原有設計之本質理念，因此面臨電力系統事故而電驛保護跳脫發生重大疑點時，上述外在因素實難脫干係，因此電驛工作人員應慎思明辨外在因素可能造成因果差異性之認知。囿限於篇幅本文僅論述比流器飽和效應對保護電驛品質可靠之影響。

電力系統發生非對稱性成份故障電流，有些時候會引起比流器某種程度飽和現象，輸入飽和電流至電驛系統，此時電

驛受飽和電流失真影響，其保護性能亦將跟隨設計等級順應承受相當程度的影響。本文引薦時間到飽和(time-to-saturation)概念，指比流器自忠實反應至飽和所需時間，此時間可能由於鐵芯殘留剩磁而短暫，亦可能使用氣隙鐵芯而導致趨緩。

貳、比流器飽和暫態效應

在近年來高壓或超高壓系統愈來愈聚焦於保護系統比流器忠實性，此係著眼於：

- (1) 電力系統不斷擴充，故障電流幅度趨向增值。
- (2) 非對稱性成份故障電流中之時間常數趨向增值。
- (3) 故障清除時間要求更快速。
- (4) 嚴謹保護的可信賴度被要求轉趨嚴格。

這些因素已深遠影響到保護電驛於故障電流暫態存續時，被壓縮時間迅速作出動作與否之決定，為滿足此項需求保護電驛必須具備更高速感測能力及更低的比流器設備負擔，以規避比流器過度飽和所帶來的遲鈍的、失真的、誤判的後遺症。至於問題密切關聯的主因乃一次側系統故障電流含有依指數性衰減的直流成份，此類成份影響比流器鐵芯磁通量變動，導致比流器二次側感應電流產生誤差。

其次，由於比流器鐵芯富含強磁性的特性，故可能保留未知量之殘餘磁通，此殘留量可歸諸多項因素肇致，例如故障電流嚴重的直流偏移、電力系統受到大地磁氣場感應直流或在比流器二次側不當的連

續使用直流試驗方式。至於殘磁於比流器後續響應究係增磁抑或減磁？則取決於殘磁與磁通變量之方向是否一致而定。

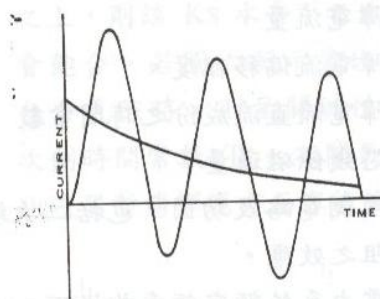
目前釐訂電驛比流器確切標準精準度，僅限在穩態、頻率額定之電流而不適宜定義在暫態情況下。但為了適度估算及評比各種比流器暫態性能在不同的電路及負荷下，電驛工程人員高度期待應用一套共同的分析方法，如果務實可行仍應符合簡便且易受理解接納，統由比流器製造廠家彙整一套即時實用手冊。本文擬引薦估算比流器二次側忠實反應出一次側電流時，其時間到飽和 (time-to-saturation)，意即自非飽和區進入飽和區所需時間，此方法仍適用於包含殘餘鐵芯磁通量。雖然本方法(指時間到飽和)之後續變化無法突顯電流波形失真程度，但使用者可揣測其隨後的失真將更形嚴重，因其時間到飽和是偏向短縮趨勢。

一、系統故障期間比流器之性能示現

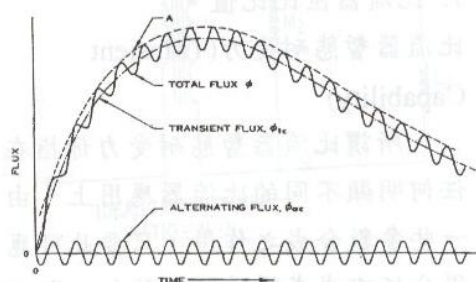
無論何時一旦比流器鐵芯磁通密度進入飽和區情境時，其輸出電流就開始失真，實質影響比流器鐵芯磁通密度有一些物理參數，諸如一次側電流幅度及波形、持續期間、比流器二次側繞組負擔等。過量的對稱性故障電流會產生鐵芯飽和，但低量的且偏移的非對稱性故障電流也會產生鐵芯飽和，在探討比流器暫態響應情節時，後者尤重於前者。

如圖一故障電流全部偏移被強加在比流器一次側上，通常直流成份偏移現象會導引鐵芯內磁通量提昇放大數倍需要變換之 60Hz 電流成份。圖二說明當某一完全偏移電流加在連結電阻性負荷時，比流器鐵

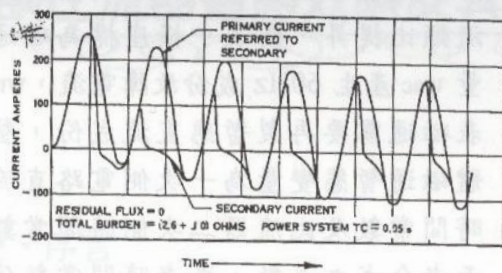
芯磁通量跟隨提昇，二次側輸出電流類比提昇，圖表中橫座標為磁通量 ψ_{ac} 產生 60Hz 成份故障電流， ψ_{tc} 表磁通需要再製暫態直流成份，整體磁通暫態變量為一次側電路直流時間常數及比流器二次側時間常數兩者合成之函數，後者時間常數係比流器二次側繞組電阻及其所負擔之電阻、電感、磁化阻抗，圖中總磁通量 ψ 所產製偏移電流遠大於所應產生之對稱性電流。通常比流器之飽和磁通密度介於 1.9~2.0teslas(相當於 20,000 高斯)，假如感應遠超出飽和磁通密度，則比流器可能輸出嚴重失真電流，如圖三所示。



圖一 一次電流波形



圖二 比流器鐵芯磁通上昇



圖三 比流器飽和二次側電流失真

在很多案例顯示比流器應有能力於開始飽和之前，精確地產出偏移電流數個周波。然而探討比流器飽和現象在某些情勢下係無可避免的結果，二次側仍輸出失真電流。

比流器之時間到飽和可由下列參數決定：

1. 故障電流量。
2. 故障電流偏移程度。
3. 故障電流直流成份之時間常數。
4. 鐵芯殘餘磁通量。
5. 二次側電路及功因，包括二次繞組電阻之效應。
6. 在電力系統額定頻率前提下，比流器二次激磁阻抗等效值(從標準激磁電流量取)。
7. 比流器匝比比值。

二、比流器暫態耐受力(Transient Capability)

所謂比流器暫態耐受力係指在任何明顯不同的比流器應用上，由一些參數合成之作用，只要此可應用分析方式求得時間到飽和，即可視為該情況下比流器暫態耐受力，因此一系列類似曲線遂自被發展，作為提供任何比流器廣泛用途之設計參考。時間到飽和曲線族群係針對某一不對稱的一次側故障電流引

發鐵芯磁通密度升高，從基本方程式導出式子為：

$$k_s = V_x N_2 / I_1 R_2 = (\omega T_1 T_2 / T_2 - T_1) (e^{-\omega T_2} - e^{-\omega T_1}) + 1 \dots (1)$$

式中 k_s 為比流器飽和因子

(saturation factor)

V_x 為飽和電壓，均方根值 rms

N_2 為比流器二次繞組匝數

I_1 為比流器一次電路交流電流

R_2 為比流器二次負荷電阻總和(繞組加上外部電阻)

ω 為電力系統角頻率

T_1 為電力系統故障電流暫態成份之時間常數

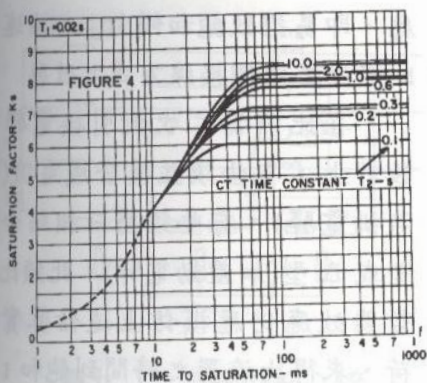
T_2 為比流器二次側之時間常數

上述導式假設條件如下：

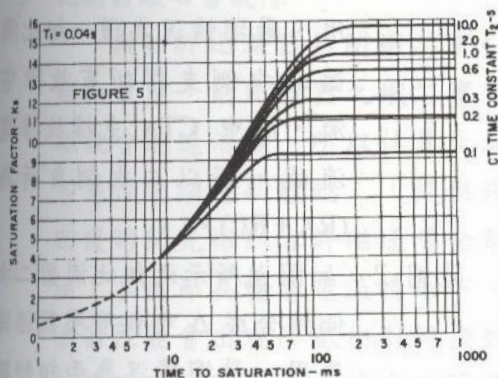
1. 比流器二次側磁路沒有洩漏電抗，此為一則理想的假設對二次繞組分流電路保持完美且始終如一。
2. 比流器一次繞組假想為只有一匝(one-turn)；導體間彼此互感效應忽略不計。
3. 比流器一次電流完全地偏移——最罕見且最壞狀況案例。
4. 電阻性負荷。

如圖所示橫座標為已知的時間到飽和以毫秒計且 60Hz 系統頻率。

這些曲線族群解釋時間到飽和磁通密度係比流器和系統時間常數所構成之作用；相反地欲求出某一理想的時間到飽和值，在已知 T_1 、 I_1 條件下，應用曲線族群及所需求比流器參數 $k_s = V_x N_2 / I_1 R_2$ 則 T_2 值可由式(1)求出，儘管 K_s 已被定義忽略掉負荷電感及殘留磁性效應，但經進一步分析導論其差異性顯然有限。

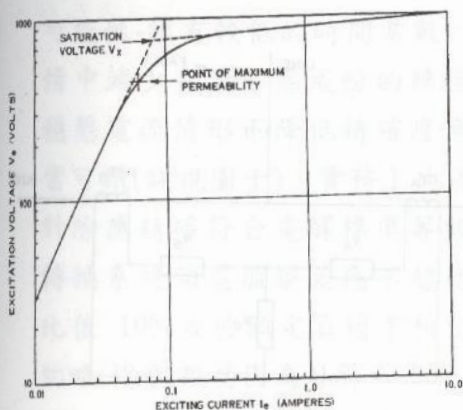


圖四



圖五

如圖六所示比流器二次激磁曲線之非飽和區段與飽和區段之延伸線相交點，即為飽和電壓 V_x ，圖中起始點鐵芯已保留殘磁，替代殘磁為零通過原點之 45° 斜率直線。

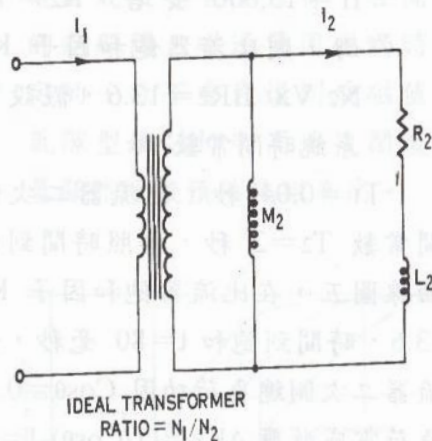


圖六 二次激磁曲線 230KV 比流器
匝比：1200/5 安培 頻率：60Hz

三、時間到飽和曲線族群之應用

1. 選擇適宜的時間到飽和曲線以符合電力系統時間常數 $T1 = \omega X1 / R1$ ，
2. 查時間到飽和曲線交叉點 Vx 之縱座標對應值 Ks ，
3. 再求出比流器二次側時間常數 $T2$ (近似磁路電感量除以總電阻量)。

以傳統封閉式鐵芯(closed- steel-core)運轉於額定匝比 1000/5 而言， $T2$ 通常為 2 秒或稍大，其計算式為 $T2 = Ve / (Ie R2\omega)$ ，式中 Ve 、 Ie 各自代表在標準二次激磁曲線上某點之激磁電壓與激磁電流， $R2$ 為二次側負荷總電阻量，包括比流器在內，但忽略圖七中負荷電感 $L2$ 及互感量 $M2$ 。假如 Ks 值位於所選擇曲線水平之上，則該 Ks 水平下之比流器將不會飽和。若圖六所示當比流器鐵芯包含氣隙時，則呈關鍵性地降低二次側時間常數 $T2$ ，有關氣隙效应在比流器暫態響應方面容後論述。



圖七 比流器之等效電路

四、負荷電感效應

假如比流器二次側引接機電(磁)式電驛，負荷電感增加交流鐵芯磁通量，即 $\cos\theta$ 功因降低，但在非對

稱性成份之磁通效應上可予以忽略，此項論述被分析導論證實：

「對所提供比流器組及電力系統參數而言，增加比流器二次側交流鐵芯磁通量，將產生降低其時間到飽和值之效應，即易招致飽和傾向」，其差值 $\Delta K_s = (1/\cos\theta) - 1$ 此處 θ 為負荷功因，比流器二次側繞組之電阻被計入 $\cos\theta$ 內。

五、部份偏移故障電流

由於電力系統故障電流完全偏移相當罕見，故找尋比流器之時間到飽和值最單純且符合大多數適宜的方法，就是 50% 幅度偏移。

經修正後式(1)變為 $k_s = V_x N_2 / (\text{pu offset}) I_1 R_2$ ，其中 pu offset 為直流偏移程度以標么值表示，如偏移估計為 50% 或稍大時，此項結果雖是粗估但應可接受；至於偏移低於 50% 時，上式仍可修正適用。

範例：N₂ = 240 匝，V_x = 850 伏特，
I₁ = 15,000 安培，R₂ = 1 歐姆，則比流器飽和因子 K_s = N₂ V_x / I₁ R₂ = 13.6，假設電力系統時間常數

T₁ = 0.04 秒，比流器二次側時間常數 T₂ = 2 秒，參照時間到飽和曲線圖五，在比流器飽和因子 K_s = 13.6，時間到飽和 t = 80 毫秒，如比流器二次側總負荷功因 $\cos\theta = 0.5$ 則負荷電感效應 $\Delta K_s = (1/\cos\theta) - 1 = 1$

因此比流器飽和因子修正為 $K_s \Delta K_s = 13.6 - 1 = 12.6$ 再回查前述時間到飽和曲線圖五，比流器之時間到飽和 t = 63 毫秒，略合前述推斷「增加比流器二次側交流鐵芯磁通量，將產生降低其時間到飽和值之效

應，即易招致飽和傾向」之論述。

六、比流器二次側接線方式之效應

在比流器二次側引接電驛回路設計上，有些須並接合成電流(如匯流排電驛)，有些須將三相結合成星型或 Δ 型(如差動電驛)，此類比流器暫態效應仍應模仿上述估算實際負荷，求得比流器之時間到飽和 t 值。

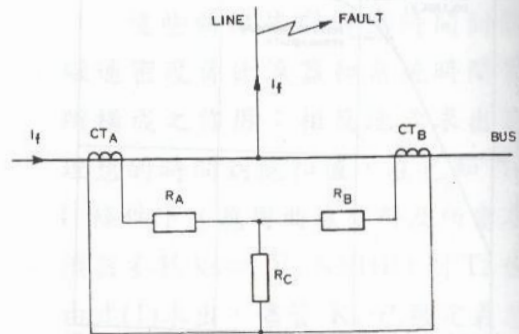
範例 1：如圖八所示兩組比流器二次側並接供線路保護電驛應用，最壞情況為僅一組比流器二次側支撐所有故障電流，圖中 CTA 支撐故障電流故，所以二次側負荷為 (R_A + R_C)。

範例 2：如圖九所示兩組比流器二次側結合成 Δ 型供變壓器保護應用，最壞情況為兩相短路故障，則二次側負荷為 $3(R_r + R_0) + R_W$ 此處

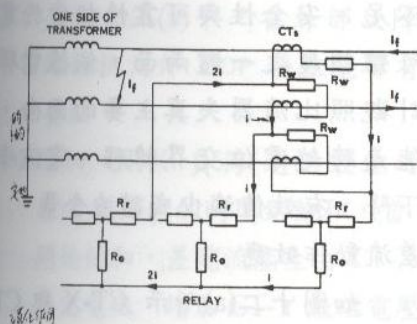
R_W 為比流器二次側繞組之電阻加上 Δ 型接線導體部份之電阻

R_r 差動電驛抑制線圈電阻加上引線至 Δ 型接頭之導體部份電阻

R₀ 差動電驛動作線圈電阻



圖八 比流器外部接線圈(並接)



圖九 比流器外部 Δ 接

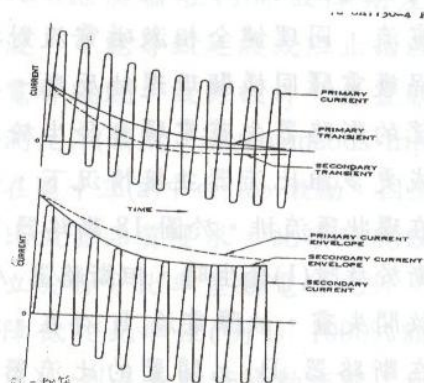
七、比流器鐵心含氣隙

假如於比流器封閉鐵芯中引入微細氣隙，則比流器之鐵芯實質殘磁就會迅速消褪，所以估算比流器暫態性能須重新體認：「提供殘磁回復時間充裕到容許磁通量全部衰退，本情節在穩態電流情形下，比流器性能會出現降低相對轉換效應之精確度，同時亦會減少故障電流中直流暫態成份的轉換。」

比流器一次側直流暫態成份的複製成效，轉換到二次側電驛電路是件非刻意所求之事，所以藉由加鐵芯大氣隙來體現，時間到飽和能被實質地遞延，以及限縮比流器分流阻抗(shunt impedance)及時間常數。時間到飽和曲線已說明其改善可能性-須有較低的时间常數，本案情中減少直流暫態成份的轉換，但穩態電流情形下降低精確度應是相當可議(詳視圖十)，實務上比流器設計除應精確符合電驛標準等級，且轉換系統頻電流誤差應不超過匝數比值 10%或於額定負擔下相位角差約略 3° (假設功因為 0.5)。

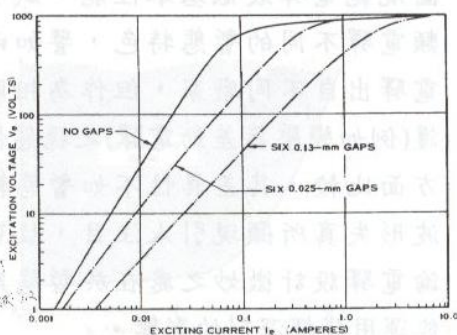
隨著電驛製造結構數位化，負荷電阻轉趨低於額定值且相位角趨小，值得確認的是氣隙鐵芯由於更

高激磁電流在 20 倍額定值以下的電流準位，誤差近乎匝數比值 10%或相位角約略 3° ，此情節也可能會發生超越從 1~20 倍額定電流範圍。



圖十 對應低時間常數比流器的偏移電流波封轉換

圖十一顯示激磁曲線包括封閉鐵芯及兩不同氣隙鐵芯，典型的小型氣隙為 0.0001pu 鐵芯磁路長度，大型氣隙長度至少為此數之五倍，前者其殘磁可減少到 6%或更低，而後者幾乎完全不殘存。在高速復閉的剎那間，磁通量因衰竭時間係固定的，故不會衰退到殘磁值，因此氣隙型鐵芯抑制高速復閉後之磁通量顯然地較預估殘磁為高。



圖十一 激磁曲線 1200/5, 2.5L800

直徑: 500mm, 鐵芯面積 $\approx 78\text{cm}^2$ 60Hz
材質: 0.3mm GRAIN-ORIENTED 矽鋼片

由於氣隙產生更高的激磁電流，導致比流器緩衝飽和擴散效應是可想而知的，譬如匯流排差動電驛於內部故障時會轉變遲鈍，係受到引進匯流排之比流器不貢獻差動電流，同理健全相激磁電流對接地保護電驛同樣顯現遲鈍反應。非渴望的斷路器失靈電驛會發生於兩組或更多組比流器並接情況下，譬如在環狀匯流排。於圖 18 斷路器 B 啟斷於故障(1)發生時，但斷路器 A 則啟開失靈，故障電流 I_f 存在，激發在斷路器 B 上閒置的比流器(idle CTs)， I_e 可能足以啟動或恢復 50BF-B 電流偵測元件，形成模擬斷路器 B 失靈。

參、比流器輸出波形失真對電驛特性之效應

一、概述

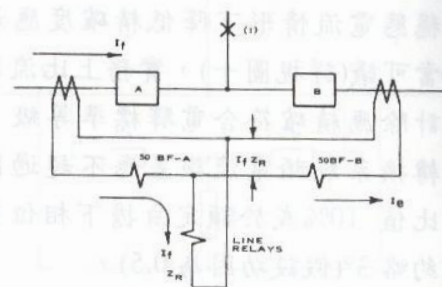
保護電驛設計者認知上應建立某些理念，即電驛必須忍受比流器輸出波形會有某些程度失真，同樣地比流器設計者認知上亦應有如是觀，即比流器必須提供某些最低限度的完善輸出，雙方應充分溝通相容性，另使用者與電驛廠商亦應試圖規範電驛最低基本性能。賦予各類電驛不同的暫態特色，譬如兩種電驛出自不同廠家，但作為相同保護(例如變壓器差動電驛)之穩態性能方面比較，其差異性不如暫態輸出波形失真所顯現引人注目，故可定論電驛設計微妙之處在於暫態期間能運用發揮深刻的影響。

比流器輸出波形失真可能引起相關電驛安全性(不應動作卻動作)降低及可靠性(動作失效或過度延緩)

不足。安全性與可靠性相當於電驛可信賴度之一體兩面，依據電驛設計觀照比流器失真主要的面向，可能是跨越零位交界轉移、電流峰值下降、有效值減少或諧波含量。

二、差流動作效應

如圖十二(a)所示 CT-X 與 CT-Y 是相同等級的，則 I_{op} 幾乎為零，除非發生內部事故，然而由於殘磁及製造耐受力的差異，即使名義上可匹配比流器可能產生謬誤的動作電流。圖 19(b)限定必要的動作電流，當此特性曲線僅限用於穩態基本波、沒有相位差移轉情況，此規範在暫態誤差電流程度上具有某些洞察力，即電驛將會忍隱非必要動作，注意抑制量 $(I_x+I_y)/2$ 如何鈍化電驛在更高的電流程度，此處基本的失真係被預估的，故 CT-X 及 CT-Y 飽和因素是相當不一致，設計人員可以依據時間延緩來協助克服兩組比流器“時間到飽和”間隔，應注意過長的時間常數，即使低故障電流拖延過度，上述兩組比流器之時間到飽和差異轉變過度延遞以致斷喪原始效益，基於此因穩定阻抗效應應扮演關鍵且務實的角色。



圖十二 斷路器 A 失靈延遲清除故障(1)，激磁電流 I_e 可能模仿斷路器 B 故障

圖十三(a)中，在外部故障動作回路組抗元件 ZOP 穩住電驛有下列三要點：

1. 增加 CT-X 負荷(選用最佳之比流器)，縮短它的時間到飽和，當 CT-Y 開始飽和，差電流產生由 CT-X 流進穩定電阻，增加 CT-Y 激磁電壓。
2. 減少 CT-Y 負荷，延緩其從部份至全部飽和時間的過渡時間，或適度的反制鐵芯磁通量提升。隨著 CT-Y 部分飽和，CT-X 產生一穩定電阻壓降，其方向在減少 CT-Y 激磁電壓。
3. 強迫 CT-X 某些不平衡電流流經 CT-Y 激磁阻抗分路，減少非必要動作電流，當 CT-Y 失真增加，減少激磁阻抗，以提高此“穩定”效應。

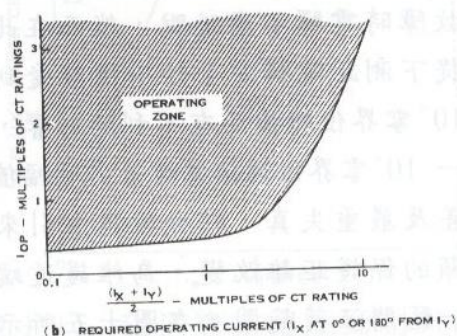
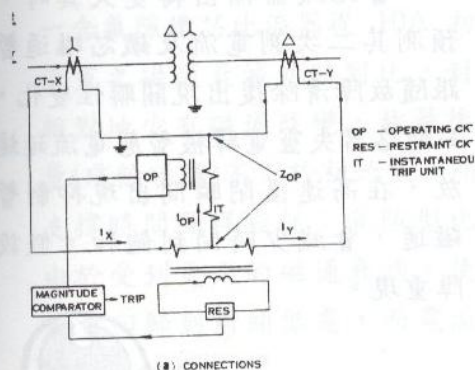
每一種設計均有其特殊的組合，百分比差動特性、延時功能、動作回路阻抗等，都可提供隱不同比流器飽和因子。

電力變壓器暫態激磁電流(涌流)傾向觀似一內部故障，如不計波形失真，某些電驛雖具有諧波抑制電路由圖十三(a)中 I_{op} 激勵，發揮抑制或緩遲差動電驛內部實質諧波出現，譬如假想諧波含量超過 15% 基

本波，二次諧波含量可抑制電驛，此抑制能協助閉鎖電驛動作於外部故障期間，當比流器失真產生充足的諧波。

比流器在內部故障期產生諧波，可能導致延緩或阻止諧波抑制電驛跳脫，故另設計一低靈敏度檢測元件(瞬跳“instantaneous trip”)，在圖十三(a)中由 I_{op} 激勵，因應於低比流器品質要求，此項跳脫設計獨立於百分比差動電驛元件。如故障低於此準位(例如 1000% 額定電流)，則在差動電驛動作前，比流器應不至於飽和(譬如 40ms 最小時間到飽和)。

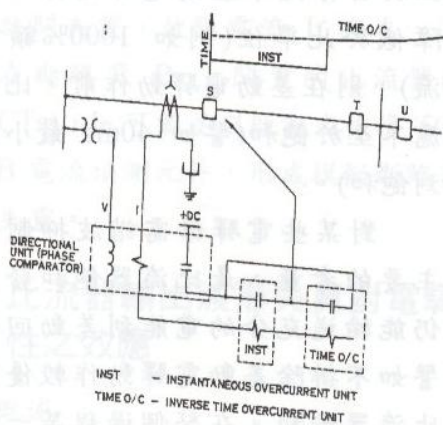
對某些電驛母需諧波抑制大概主要的考量，是比流器飽和發生後仍能輸送充分的電能到差動回路，譬如不排除差動電驛動作較優先於比流器飽和。在整個過程某一部分裏，比流器恢復從飽和到驅動 I_{op} 電流經過差動回路，而該回路阻抗越高則比流器所需電壓耐受力也越大。另經驗顯示：在最大外部對稱的故障期間，比流器不會飽和，故可提供可靠的保護。



圖十三 百分比差動保護案例(a)接線圖、(b)所需動作電流(I_x 在 0° 或 180° 對 I_y)

三、方向性區間效應

圖十四說明一方向性過流電驛跳脫斷路器 S 於 S-T 線路故障，圖中電驛保護方向為故障電流由左朝右流動。其動作要素為充足極化電壓 V 與充足量線路電流 I 作用相角，如圖 RR 直線表界限定位動作區間與非動作區間；POP 直線表內部故障動作區間，QOQ 表外部故障非動作區間，由於比流器失真可能引

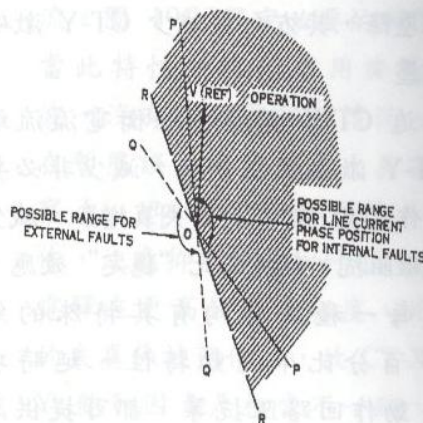


圖十四 方向性過電流保護

圖十五所示係測距電驛保護方向由左向右遞延，第一區間保護僅到達平衡點 (Blance Point; BP) 設計瞬時跳脫。測距電驛仍保有如圖 24 之方向性特徵，其非跳脫區面向大於 180° 須要被處理掉，亦即線路後方故障時電驛不應跳脫，然而在此前提下測距電驛安全性不應該受到 10° 零界位轉換而有不利的影響，此一 10° 零界位轉換意味著尖峰幅值誤差及嚴重失真，綜合效應會引來明顯的保護距離改變。為維護近端第一區間涵蓋範圍，在圖十五所示平衡點故障比流器失真必須為很小，假設線路 S-T 很長則前述故障電流

來電流相角變化 10° ，此與電驛可信度有關但可忽略。

方向性接地過流電驛則選擇接地故障之殘餘電流 I_0 與殘餘電壓 V_0 作用相角，如使用 3ϕ 比流器具有不同的暫態性能，則事故時引來不真實的殘餘電流 I_0 ，加上接地故障含有三次諧波及小量基本波總合成殘餘電壓 V_0 ，在此嚴重失衡條件下 I_0 、 V_0 兩者之相位角是不可靠的。

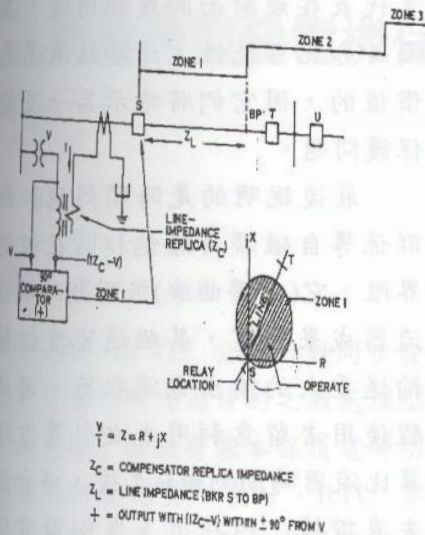


小，即使影響比流器失真程度亦不太嚴重，依此推論線路短程應配置較高級品質之比流器，以規避比流器嚴重失真之後遺症。

四、故障後暫態消退效應

當比流器輸出轉變失真時，可預測其二次測電流及鐵芯磁通暫態跟隨故障清除後出現關聯性變化，例如斷路器失靈電驛被暫態電流延緩釋放，在高速復閉瞬間出現抑制暫態磁通，會減少時間到飽和，假設故障重現。





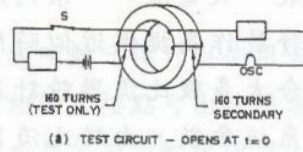
圖十五 測距保護案例

如圖十六(a)所示在 $t=0$ 時投入 S 開關，10A dc 流入 160 匝試驗繞阻，代表在故障清除時抑制 10A dc 激磁電流，二次測電流被繪製於圖十六(b)，其類型為(1)封閉型、(2)0.0001pu 氣隙、(3)0.0005pu 氣隙。比較圖十六(b)與圖十六(c)可觀察出二次測增加電阻性負荷時，阻尼(damping)效應益加明顯，同時留意氣隙緩和電流衰退，封閉型在飽和區改變磁通量是最少，如同電流衰減一般。

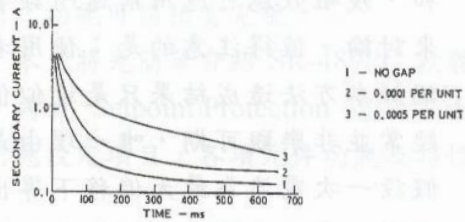
圖十七顯示一封閉型比流器與一含氣隙鐵芯比流器從 10A 初始電流直之磁通衰減軌跡對比，封閉型相對地少有磁通改變，故最後磁通量(殘餘磁通)不下於初始值，而電流支撐時間顯得短促；氣隙型比流器由於受到更大的磁通衰減，使得殘餘量回歸到前頭低處，而電流支撐時間則較長。

氣隙鐵芯特別地在復閉剎那間抑制磁通變化，明顯地更高於殘

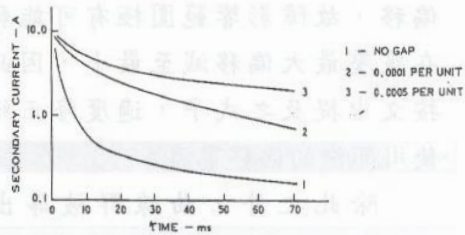
磁，係緣於它的衰減時間是固定，於是時間到飽和跟隨復閉之後可能轉趨短促。



(b) TEST CIRCUIT - OPENS AT $t=0$

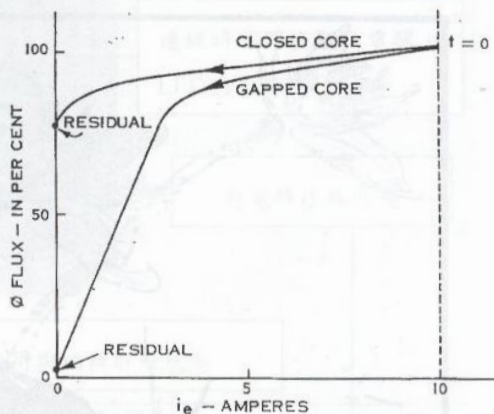


(b) RESISTIVE BURDEN - 0.46 OHM



(c) RESISTIVE BURDEN - 1.4 OHMS

圖十六 靜態電流試驗結果 (GRAIN ORIENTED SILICON STEEL, 8"ID, 10"OD, 2" HIGH)



圖十七 磁通衰減跟隨抑制激磁電流 10A

本文提出估算大多數環狀鐵芯比流器轉換偏移電流的一則簡化方法，該法係尋求一種時間到飽和方式，該段時間代表比流器二次電流忠實複製一次電流，一系列廣義的曲線被發展作為提供近似時間到飽和，適合大多數比流器設計及廣泛負荷與系統參數。由於比流器鐵芯殘磁值得矚目的是會減少時間到飽和，殘磁效應可應用前述所談要素來討論。值得注意的是：使用者應認知本方法造成結果只是近似值且經常並非樂觀可期，唯一理由是：假設一次電流為最大偏移下導出曲線群，當一次電流不可能全部電流偏移，故障影響範圍極有可能發生在電壓最大偏移減至最小，因此可按文中提及之式子，適度修正給予使用部份的偏移電流。

除此之外，曲線群被導出自於：假設某一磁通波形對應於圖 2 磁通曲線瞬間值上端的波封 A 曲線，通常假想給予一時間到飽和低於實際值，誤差可能高達半周波，

其代表在最前面的幾個周波，占有高百分比可能性，這些結果還是有價值的，因它們將暗示某一可能的保護問題。

最後說明的是時間到飽和曲線群係導自磁滯曲線飽和區在較低下界限，它(磁滯曲線)很明顯的取自比流器成果數據，其磁通密度仍舊在輸送重大的輸出電流狀態。因此提醒使用者留意利用本文引薦方法計算比流器時間到飽和之後，將會顯現失真證據，但在很多案例對電驛用途將會滿意，惟本方法無法指出失真程度，至於前述方法之價值評估主要在於應用測試發現疑難問題。

伍、參考資料

TRANSIENT RESPONSE OF CURRENT TRANSFORMERS REPORT SPONSORED BY THE POWER SYSTEMS RELAYING COMMITTEE OF THE IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY

