

保護電驛與比流器運用

台電電力調度處

李河樟

一、前言

比流器對於保護電驛而言，是電流訊號來源的一種必要配備，當電力設備發生事故時，相關的保護電驛是否應動作，以及如何動作？都必須由比流器將故障電流的信息傳遞給電驛，電驛再據以判斷。因此，比流器性能的好壞直接影響到保護電驛動作的功能。近來電驛運用工程師對於比流器的使用存有一些見仁見智的看法，尤其是對於比流器比值以及準確度等級的選用，更是各有不同的見解。當然站在不同的角度來衡量，本來就會有不同的結論。本文的主要目的在於闡述應用於保護電驛的比流器之特性及其等級區分，以及比流器二次側輸出電流失真對電驛的影響，以幫助電驛運用工程師正確選擇適當的比流器來配合保護電驛之應用。此

立足點是以保護電驛能充分發揮其功能為優先考量。若與考慮設備成本或所佔空間之觀點，可能會有某種程度的差異。

二、名詞說明

在詳細討論比流器性能之前，有一些較常出現的名詞必須先加以解釋，藉由對於這些專有術語的了解，將有助於對比流器的正確運用。

1. 準確度 (accuracy)：比流器一次側電流與所產生的二次側電流之比例，超出銘牌所標示比值的程度，以及一次側與二次側電流相位偏移的程度。
2. 電驛用準確度等級：以百分比表示的容許的誤差範圍。
3. 電驛用準確度額定：電驛用準確度等級

以一英文字母表示，用以區分此比流器之準確度是經由測試（T）獲得或是可由計算（C）而獲得，並隨著以數目字表示二次側在一標準負擔下可產生 20 倍額定電流而其誤差不會超過電驛運用準確度等級（一般為 10%）時之最小端電壓。

4.負擔（電驛等）：電驛輸入回路加之於比流器二次側的阻抗，在特定條件下以歐姆及相角表示。

5.電流連續耐熱定數（RF）：比流器一次側額定電流乘以一特定乘數即為該比流器一次側容許連續流過的最大電流。此一特定乘數稱為比流器連續耐熱定數。

6.膝點電壓（knee-point voltage）（C 級比流器）：對於沒有氣隙的 C 級比流器，在其激磁曲線上（excitation curve）的一點，其切線對於橫座標的斜率為 45° ，此點相對於縱座標上的電壓值即為膝點電壓；對於有氣隙的 C 級比流器，則其切線對於橫座標的斜率為 30° 。所謂膝點電壓是在比流器二次側端點加以一額定頻率的正弦波電壓，未加壓端子則全部開路，當電壓值在此一膝點電壓以上時，電壓每增加 10% 就會導致激磁電流增加 50%。

7.極性（polarity）：指示在每一半周波內電流流入一次側及離開二次側端點電流瞬間的相對方向。幾乎在任一半周波內的瞬間，當電流進入一次側標示有極性記號的端子，則電流將從二次側標示有極性的端子流出，稱該一次側及二次側端點的電流具有相同的極性。

8.飽和因數（ K_s ）（saturation factor）：比流器飽和電壓與激磁電壓的比值。飽和因數是顯示比流器應用在何種飽和程度的一種指標。

9.飽和電壓（ V_x ）：跨接在比流器二次側線圈的對稱電壓，其峰值感應剛好超過飽和磁通密度。其圖解方法是在比流器的對數座標激磁曲線上，將曲線水平部分直線延伸至縱座標，此一交點所表示的電壓值即為飽和電壓。

10.飽和時間：比流器二次側電流尚能真實反映一次側電流的時間（比流器從發生暫態現象到飽和所需的時間）。

三、比流器特性

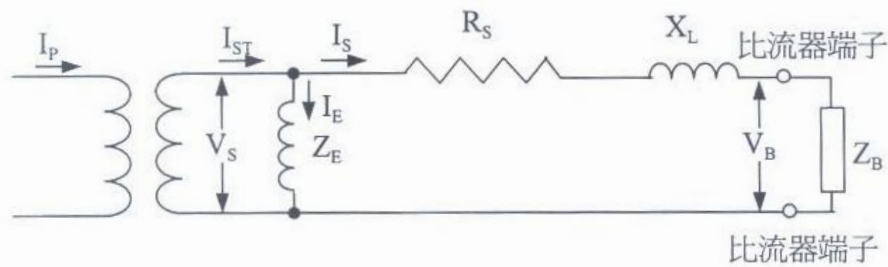
電力系統發生事故將引起系統上的電流產生暫態現象，這將改變比流器的穩態現象。因此，當檢驗比流器特性時，不管是暫

態或是穩態情況都必須考慮。爲了方便分析比流器的性能，必須知道其二次側所接的負擔，而所需要的基本工具是比流器的等效電路圖，若要更進一步分析，則更須藉助於相

量圖。茲簡要說明於如下：

1 比流器等效電路及相量圖

1.1 比流器等效電路



- V_s 比流器二次側激磁電壓
- V_B 比流器二次側負載端電壓
- I_p 比流器一次側電流
- Z_E 比流器激磁阻抗
- I_{ST} 比流器二次側總電流
- R_s 比流器二次側電阻
- I_s 比流器二次側負載端電流
- X_L 比流器洩漏電抗（C 級比流器此電抗可忽略）
- I_E 比流器激磁電流
- $N_2:N_1$ 比流器匝比
- Z_B 比流器二次側負載阻抗（包含二次側所有設備及引線）

圖一、理想比流器等效電路圖

圖一是比流器二次側連接負擔的簡單等效回路，一次側洩漏電抗及二次側引線電抗部分，實際上並不影響計算結果，因而在檢討比流器性能時常常被省略。

1.2 比流器加負載時的相量圖

爲了詳細分析比流器在穩態或暫態情況下的性能，必須建立比流器的相量圖，如圖二所示。其步驟爲：

- a. 參考圖一，從二次側負載電流 I_s 開始。
- b. 畫出二次側電壓降： $I_s \times R_s$ 及 $I_s \times X_L$ ，

並將兩向量相加得到 V_L 。

- c. 將 V_B 加上 V_L 得到二次側激磁電壓 V_S 。
- d. 當得到二次側激磁電壓 V_S 之後，畫出磁通相量落後 V_S 90° ，激磁電流 I_E 是由在比流器線圈內產生磁通所需的磁化電流 I_M 以及因磁滯現象及渦電流損耗所造成的電流損失 I_{LOSS} 之向量和。
- e. 畫出磁化電流 I_M 落後 V_S 90° ，畫出與

二次側激磁電壓 V_S 同相位的電流損失

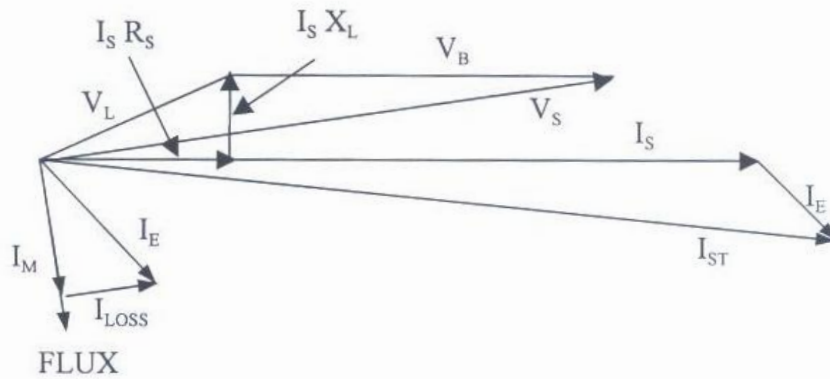
I_{LOSS} ，畫出其向量和，如圖二所示。

$$I_M + I_{LOSS} = I_E$$

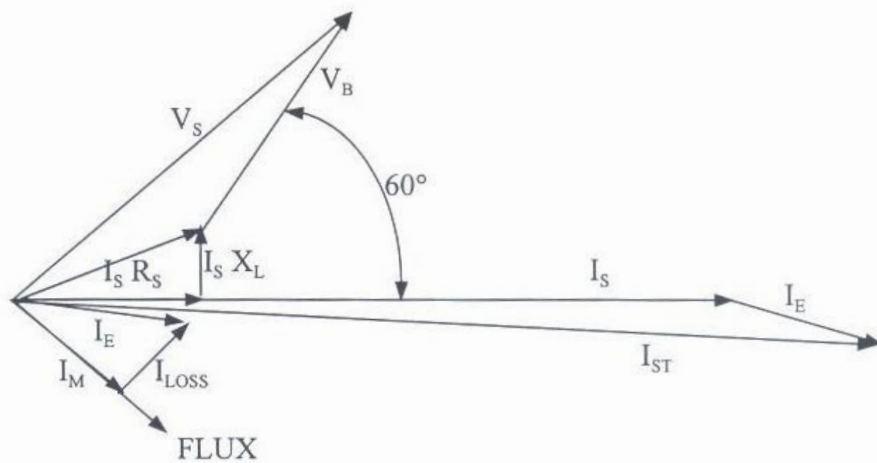
$$I_{ST} = I_S + I_E$$

$$I_P = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) (I_S + I_E)$$

N_2/N_1 為比流器匝比。



圖二.1 比流器二次側為電阻性負擔之相量圖



圖二.2 比流器二次側為標準負擔（功因 0.5）之相量圖

2 比流器二次側激磁特性

當電流通過比流器二次側負擔所產生的壓降較低時，其激磁電流也就較小，二次側電流的波形將不會有顯著的失真現象；但當負擔增加或是電流提高而使得跨接於比流器二次側的電壓升高時，將導致比流器鐵芯的磁通量增加，結果是比流器激磁電流非線性的快速增加，比流器鐵芯將進入磁飽和區域。如果比流器運轉在此一區域，則比流器的比值誤差將嚴重惡化，且二次側電流波形也會嚴重失真。這將會影響保護電驛的正常動作。

通常比流器的運轉情形是以其激磁曲線來描述，此一曲線顯示二次側激磁電壓 (V_s) 與其激磁電流 (I_E) 的關係，典型的 C 等級比流器激磁曲線如圖三所示。一般比流器的激磁曲線是實際測試得到的一序列數據，再將測試所得的數據描繪於對數座標紙上而得到的。測試時，一次側線圈必須維持開路。

3 比流器的膝點電壓 (Knee-point voltage)

一組無氣隙鐵芯的比流器，其膝點電壓是指在激磁曲線上最大導磁率的一點，在曲

線上經過此點的切線與橫座標成 45° 之夾角。超過此點，則比流器二次側端電壓每增加 10% 則其激磁電流將增加 50%。比流器二次側如果運轉於此一電壓值以上，則很容易造成二次側電流的失真現象，應儘量避免此種運用情況。

四、比流器準確度等級

比流器準確度等級一般可以分為兩大類，第一類係針對計器用比流器，第二類為保護電驛用比流器。計器用比流器著重在平常的負載電流，強調的重點為精密度；保護電驛用比流器則著重於發生事故時的暫態電流，考慮的重點在於其過電流能力，包括耐熱能力、飽和電壓、誤差程度及電流波形是否失真等。

比流器準確度等級的標示方法有很多種，有美國的國家標準、日本的國家標準，另外也有國際通用的標準。根據該標示內容，很容易就可以了解該比流器的相關性能。例如美國有 ANSI (或 IEEE)、日本有 JES、英國有 BS... 等等，一般較常用的為 IEC (國際標準) 或 ANSI。僅以 ANSI 標準說明如下：

ANSI 比流器準確度等級的區分是以一英文字母（如 T, C：T 表示其準確度等級可經由測試得之；C 表示其準確度等級可經由計算得之）在前頭，隨後以阿拉伯數目字來表示二次側額定端電壓（如 50, 100, 200, … 等），此種表示方式可以清楚的描述比流器的穩態性能。二次側額定端電壓是指：比流器接用於標準負擔（功因=0.5）且通過 20 倍的二次側額定電流時，比流器二次側的端電壓只要不超過此數值，則其比值誤差就不會超過 10%。

更進一步來解釋，在標準負擔或低於標準負擔的情況下，如果二次側的電流為額定值的 1 到 20 倍之任何電流，其誤差將可確定在 10% 以內。特別要注意的是此一額定電壓僅適用於使用滿匝比時的情況，假設使用多重匝比的比流器，則使用其中任一分接頭時，其額定電壓將與所使用的比值與滿匝比的比值之比例有直接關係。茲舉例說明如下：有一組多重匝比之比流器其等級為 C400，滿匝比為 2000/5，二次側標準負擔 4 歐姆。如果選用 2000/5 的比值，則其額定電壓為 400 伏特；如果選用 1000/5 的比值，則現在該比流器的額定電壓將為 $400 \times (1000/2000) = 200$ 伏特，額定電壓降為滿匝比時的一半。

此外我們所想要知道的是比流器額定電壓是如何訂定的？一般 C 級比流器的額定電壓是由其試驗所得的激磁曲線來判定。以圖一的理想比流器等效電路圖來說明，二次側繞組的電阻為 R_s ，負擔為 Z_B ，激磁電流為 I_E ，流過負擔之二次側負載電流為 I_s 。設 $I_E / I_s = 0.1$ 為 10% 誤差（前提為假設 I_E 與 I_s 同相位），如圖三比流器比值為 1200/5，在 $I_s = 100$ 安培（20 倍的二次側額定電流）時，則 $I_E = 10$ 安培，誤差不會超過 10%。再看二次側激磁電壓，於使用滿匝比時，當 $I_E = 10$ 安培，從圖三可得到 $V_s = 500V$ 。雖然實際的負擔應包含功因角的因素，但是簡便的純數學計算方式（假設在最壞的情況），所得到的二次側端電壓 V_B 應可作為比流器分級的依據。在二次側為 5 安培的比流器其標準額定電壓值分別為：10V，20V，50V，100V，200V，400V 或 800V 等。

$$\text{從圖一來看：} V_B = V_s - (I_s \times R_s) \\ (X_L \text{ 可以忽略})$$

$$V_s = 500V$$

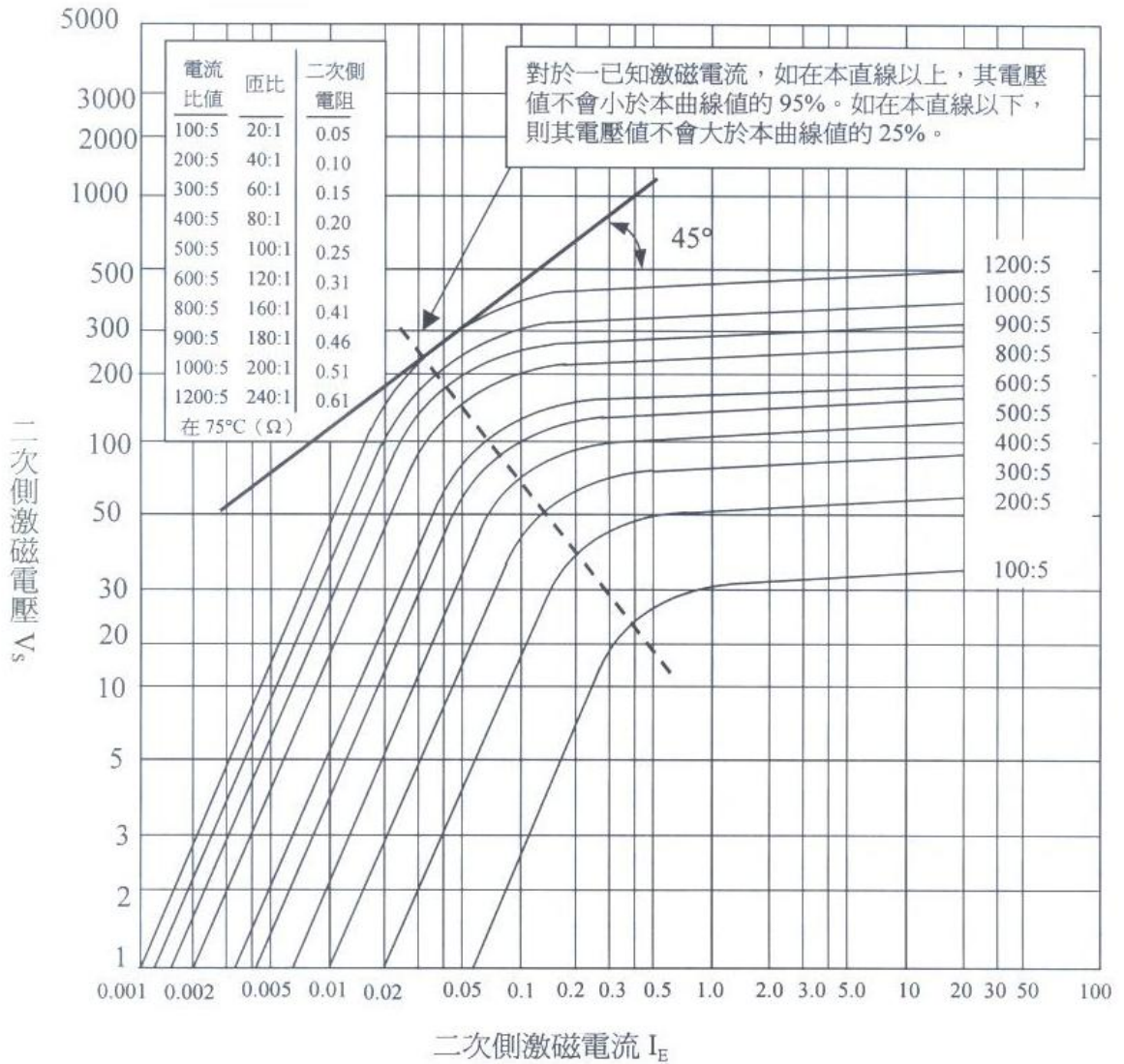
$$R_s = 0.61\Omega \text{ (圖三比流器繞組電阻值)}$$

$$I_s \times R_s = 100 \times 0.61 = 61V$$

$$\therefore V_B = 500 - 61 = 439V$$

選用較 439V 低但最接近的分級電壓值，作為該比流器的額定電壓，即此

比流器等級為 C400。



圖三、典型的多重匝比 C 級比流器激磁電流曲線

五、比流器的動態特性

當電力系統發生事故時，所產生的不對稱電流中含有直流成分，此電流流經比流

器一次側，會大量的增加比流器鐵芯的磁通量。當直流偏移量達到最大時，比流器的磁通可能增加到正弦波或沒有直流偏移時的 $1 + X/R$ 倍， R 與 X 分別為比流器一次側系統到故障點的電阻與電抗值。有無直流偏移的主要影響在於比流器飽和的程度，直流偏移越嚴重，二次側電流波形失真就會越嚴重，亦即飽和程度越嚴重。另外，比流器鐵芯內磁通的變化並非瞬時即可完成，所以比流器的飽和現象也不是瞬間發生，而是要經過一段時間的醞釀才會達到飽和，此一達到飽和所經過的時間即為比流器的飽和時間。

比流器飽和會使二次側電流波形嚴重失真，且電流誤差會超出預期範圍，當然會影響到保護電驛性能的正確發揮，因此如何避免比流器飽和仍為電驛運用的一大挑戰。以下有一些方法如果可行的話，應該可以避免比流器發生飽和現象：(1)要避免交流引起的飽和，則比流器二次側的飽和電壓 V_x 必須大於 $I_s \times Z_s$ ， I_s 是一次側電流除以比流器匝比， Z_s 是比流器二次側總負擔 ($R_s + X_L + Z_B$)。(2)要避免一次側電流直流成分所引起的飽和，則在純電阻負擔下，所需要的比流器飽和電壓 V_x 必須大於 $I_s \times Z_s (1 + X/R)$ 。如果二次側負擔含有感抗成分，則所需要的比流器飽和電壓 V_x 必須大於

$$I_s \times Z_s \left(1 + \frac{X}{R} \times \frac{R_s + R_B}{Z_s} \right)。$$

上述這些方法在理論上都是很好的改善方案，但在實際運用上，可能會造成比流器鐵芯大到超乎實用價值。因此，要減少飽和效應對保護電驛運用的影響，必須採取某些補救措施。例如，採用一些快速電驛，可以在比流器達到飽和之前完成動作。

一般在比流器運用上還有一常使用到的名詞—飽和因數，即飽和電壓與激磁電壓的比值 $K_s = V_x / V_s$ ，是比流器在指定運用狀態下飽和程度的指標。此值越高表示比流器在該運用條件下越不容易飽和，其準確度就會較好。此一因數又可用來在做為計算暫態情況下，比流器達到飽和所需要的時間—飽和時間 (Time-to-Saturation)。

什麼叫飽和時間？它是比流器在暫態情況下，其鐵芯進入失真區域運轉之前的一周波或兩週波。飽和時間在保護電驛規劃與運用上極為重要，比流器通常應該具有將飽和之前的一到二週波的一次側電流精確的轉換為二次側電流的能力。影響比流器飽和時間的因素為：

1.故障電流中直流偏移程度：此與故障點到系統的 X/R 值有關，也與故障時的故障入侵角度有關，而直流偏移程度越嚴重比流器

飽和時間也越短。

2.故障電流大小：對於相同的直流偏移程度的故障電流而言，故障電流越大飽和時間越短。

3.比流器鐵芯殘留磁通：比流器鐵芯殘留磁通與其他設備所產生的磁通可能相加也可能相減，完全取決於相對極性。當鐵芯殘留磁通是增加的效應時，則在極高的殘留磁通時，比流器將很有可能在故障電流一開始產生時就飽和，這對於保護電驛的運用會產生極大的困擾。殘留磁通最麻煩的一點是，一旦它產生就會持續存在，直到由外部進行去磁動作。

4.比流器二次側阻抗：如果其他條件一樣的話，比流器二次側負擔（相同功因）越大其飽和時間越短。

5.比流器飽和電壓：比流器二次側激磁阻抗是由鐵心的材質與數量來決定，鐵心的截面積越大，要達到飽和所需的磁通越多，因此飽和電壓也就越高，如果其他條件一樣的話，其飽和時間就越長。

6.比流器匝比：基本上衡量比流器是否飽和，是看其磁通飽和密度是否超過飽和磁通密度。對於一既定的鐵芯面積及一次側電流，提高比流器比值將降低磁通量，因此也使得磁通密度減低。這可由以下效應看出：

(1)由於 $E = n \times d\Phi/dt$ ，所以對於在二次側產生相同的 EMF，增加匝比將可降低磁通量。換言之，當二次側繞組數目增加時，其飽和電壓成比例提高。(2)對於相同的一次側電流，當匝比增加時二次側電流將比例降低，假設二次側電阻性負擔維持不變，則二次側所需電壓將同樣與匝比反比例關係降低。當然在實際運用上，二次側電阻性負擔將會隨著匝比的提高而有某些程度的增加。例如：匝數增加則繞組的阻抗必定會隨著增加，或是使用電磁式電驛時，匝比增加二次側電流降低，爲了提高電驛靈敏度，可能會採用較高負擔的電驛（低能量電驛），也可能降低電驛的電流設定分接頭（將使負擔提昇）。因此當考慮採用低二次側電流的綜合總效果時，一般可以採用較低的二次側額定電壓，但到底二次側額定電壓可以低到什麼程度，則必須針對個別情況詳細檢討。

當選購比流器時，要注意的是我們的規範要求是電壓而非磁通，因此比流器製造廠家爲了節省空間與成本，對於相同的二次側電壓，可能會以提高比流器比值來降低鐵芯大小，但是對於鐵芯截面積較小之比流器，則較容易趨於飽和。爲了避免陷入此一兩難的局面，比流器的準確度等級寧可使用更高的等級或是採用 C800 等級的比流器，以避

免一些意想不到的麻煩。一般要減低比流器飽和現象所產生的影響，最可靠的方法是選用比流器額定電壓為最大外部對稱故障電流於二次側負擔所產生電壓值的兩倍。

上述已提及比流器的飽和時間可能影響到保護電驛的運用，下列有一公式可做為計算比流器之飽和時間，以協助保護電驛的規劃：

$$T_s = -T_1 \ln \left(1 - \frac{K_s - 1}{R} X \right)$$

$$T_1 = \frac{X}{\omega R}$$

此處

ln：自然對數

T_s ：飽和時間

T_1 ：一次側系統的時間長數

K_s ：飽和因數 V_x / V_s ， V_x 是比流器的飽和電壓， V_s 則定義為 $V_s = I_s (R_s + R_B)$

ω ： $2\pi f$ ， f 為電力系統額定運轉頻率

X ：一次側系統到故障點的電抗

R ：一次側系統到故障點的電阻

六、保護電驛與比流器的應用

在理想情況下，不管電流多大，比流器二次側的電流應該依所設定的比例，忠實

的反應其一次側電流的大小、波形。然而當比流器發生飽和現象時，二次側電流波形再也不是純正弦波，而會產生一些失真的現象，這將會讓電驛誤判事故之情況，而發生不可預期的動作(或延遲動作甚至該動作而不動作)。造成比流器失真，影響比流器性能的因素大體上有：比流器二次側負擔、一次側電流、一次側不對稱電流及比流器鐵芯殘留磁通。對於這些因素，在保護電驛運用上有些是可以藉由事先的檢討而加以改善，有些則是選定了比流器之後即無從改變了。因此適當選用比流器相關規格，對於保護電驛的規劃是極為重要的事情，如果等到比流器都已經完成裝設之後，再來檢討比流器相關性能，可能為時已晚。

事實上，為區分比流器等級所訂定的準確度等級(如 C400)，只是為了方便指定比流器為了輸出二次側電流，所必須產生的穩態電壓的簡便方法，並非是建議比流器必須運轉於此一電壓，如果保護電驛用比流器規劃運轉於飽和電壓，則肯定是自找麻煩。通常在比流器運用上較為有用的參數為膝點電壓 V_k 。 V_k 值必須由比流器激磁曲線決定。當比流器二次側端電壓值在此一膝點電壓以上時，電壓每增加 10% 就會導致激磁電流增加 50%。

一般保護電驛用比流器主要考慮方向是，比流器最好運轉於膝點電壓以下，當然也要顧慮可能流過的最大故障電流時的耐熱能力。茲將可能影響比流器性能的運用方式說明如下：

1.比流器負擔

對於既定的二次側電流，如果比流器的負擔較高則必須有更高的激磁電壓，而磁通密度是正比於此一電壓與時間的累積。當比流器的鐵芯達到飽和時，將有顯著的電流分流至比流器的激磁回路，這將導致流經二次側負擔（如電驛等）的電流減少並產生失真現象。所以比流器二次側較高的電阻性負擔，將使得鐵芯飽和程度較為嚴重，二次側的電流誤差將更大。因此，為確保比流器不超出準確度限制，二次側負擔的計算是必須的。

比流器二次側總負擔包括比流器繞組的電阻、連接引線(或電纜)的電阻、任何補助比流器的阻抗及連接的電驛與電表等之阻抗和。當計算比流器二次側負擔時，連接於補助比流器二次側的阻抗必須正確反應至一次側（補助比流器匝比的平方）。

在開始計算比流器負擔時，一般實用上

是將個別的負擔以數學方法相加而非向量方式，此一方式在很多情況下已經是非常準確，特別是比流器繞組及導線的電阻佔二次側負擔的絕大部分時。但是如果發現以此方式得到的結果，顯示比流器的性能將會有問題，且二次側負擔有更詳細的資料可利用時（如功因資料），則上述較為保守的計算方式，可以改採較複雜但準確的向量方法重新評估。如果比流器性能還是有問題時，則必須採取可能的改善措施。包括比值的改變、電驛負擔降低、二次側電纜線徑換粗等，甚至需要考慮採用較高等級的比流器。

2.比值選定

一般而言，比流器比值的選定必須配合最大負載電流及最大對稱故障電流。也就是說，比流器比值的運用原則是，在可能的最大負載電流時，不可以超過比流器一次側的額定電流。比流器比值越高，二次側電流相對的會降低，通常可以減低其在引線上產生的負擔，而獲致較好的比流器性能。比流器比值應大到足以使其在一次側最大對稱故障電流時，其二次側電流不會超過額定電流的二十倍。在低額定電流的回路上，通常都會採用較低比值的比流器，當故障電流非常大

時，將發生比流器容量不足的問題，也可能因二次側出現非常大的電流而導致比流器產生嚴重飽和的現象。

其實這些現象都可藉由選用較高的比流器比值，並配合採用低動作電流的電驛將其影響降至最低。如果故障電流超過比流器額定電流的 20 倍，則必須額外增設一組更高比值的比流器及瞬時過電流電驛，以快速動作隔離故障切斷此大電流。

3. 比流器短時及長時熱額定 (thermal ratings)

比流器比值的選定另外要考慮的因素，在最大一次側負載電流時，二次側產生的電流不會超過連接於其二次側回路上任何設備的連續熱額定值。大部分的比流器其二次側標示的連續額定電流值為 5 安培，當然如果需要也可以要求較高的額定值，此一特別的額定值是一般標準額定值再乘以一定數，此一定數其值為 1.0, 1.33, 1.5, 2.0, 3.0 及 4.0 (參考 IEEE std C57.13-1993,6.5)。

比流器二次側電纜及引接線通常會考慮其他因素來決定線徑的大小，這使得電纜及引接線的耐熱額定值大於比流器二次側的熱額定值。因此在考慮耐熱額定時，一般僅考慮比流器本身即可。

對於保護電驛用比流器的選擇以如上述各節所述，茲以以下例子作為補充說明。

例題：已知一線路之保護電驛方式為延時過電流附瞬時元件，可能最大故障電流為 23000 安培，比流器為多重匝比，最大比值為 1200/5，比流器接法採電驛端 Y 接，詳如圖四所示。延時過電流設定為 5 安培，瞬時元件設定為 30 安培。請問二次側額定電流為 5 安培之比流器比值應選用多少？比流器準確度等級如選用 C400 其性能是否有問題？假設比流器二次側到電驛所使用之電纜為 3.5mm^2 ，長度為 300 公尺。(3.5mm^2 電纜之阻抗為 $5.32\Omega/\text{公尺}$ ，延時電驛在 20 倍額定電流時之阻抗為 0.049Ω ，瞬時電驛則為 0.007Ω)

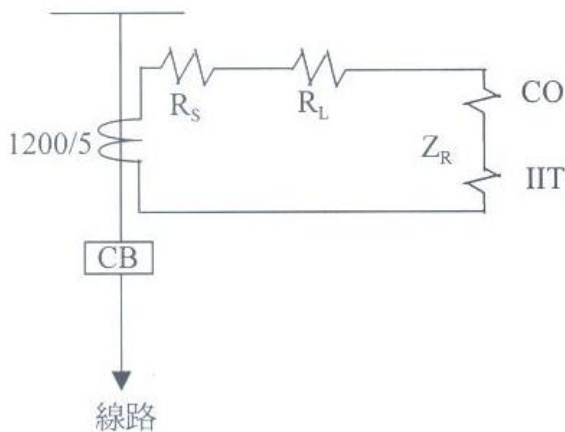
解：

比流器比值選定應使二次側最大電流不超出其額定值的 20 倍 (100 安培)，現在一次側最大故障電流為 23000 安培， $23000/100=230$ ，故比流器比值最小應選用 230/1 即 1150/5，最接近之可用比值應為 1200/5，故比流器比值選定為 1200/5。

接著檢討比流器性能，首先要計算比流器二次側的總負擔，因為這是三相比流器，其負擔與電流流經的路徑有關，電纜線的阻抗是計算單次或計算來回或其他算法，這與比流器的接法及故障類別有關，詳如表一：

表一：比流器二次側負擔與故障類別

| 比流器接法 | 故障類別 | |
|--------------|-------------------------|-------------------------|
| | 3Φ或Φ-Φ | 單相接地 |
| Y (比流器端接成 Y) | $Z = R_S + R_L + Z_R$ | $Z = R_S + 2R_L + Z_R$ |
| Y (電驛端接成 Y) | $Z = R_S + 2R_L + Z_R$ | $Z = R_S + 2R_L + Z_R$ |
| Δ (電驛端接成 Δ) | $Z = R_S + 2R_L + 3Z_R$ | $Z = R_S + 2R_L + 2Z_R$ |
| Δ (比流器端接成 Δ) | $Z = R_S + 3R_L + 3Z_R$ | $Z = R_S + 2R_L + 2Z_R$ |



圖四、比流器二次側負擔計算簡圖

考慮最大故障電流一般多為三相短路事

故，又比流器係採電驛端 Y 接，故二次側引線負擔的計算方式為 $Z = R_S + 2R_L + Z_R$

從圖三激磁曲線圖上得知，當比值選用 1200/5 時， $R_S = 0.61\Omega$ ，電纜阻抗值為 $2R_L = 2(5.32\Omega \times 0.3) = 3.192\Omega$

考慮最大故障電流 23000 安培已經很接近 20 倍的額定電流，所以電一的阻抗值為 $Z_R = 0.049\Omega + 0.007\Omega = 0.056\Omega$

比流器二次側總負擔為

$$Z = R_S + 2R_L + Z_R = 0.61\Omega + 3.192\Omega + 0.056\Omega = 3.309\Omega$$

比流器在最大故障電流經過時，其二次側端電壓為：

$$3.309\Omega \times (23000 \div 1200/5) = 317V$$

從圖三可知，此一電壓已遠大於比流器的膝點電壓，所以此種比流器運用方式，雖然還不至於達到飽和程度，但仍不是很好的運用方式，充其量僅能算是免強運用而已。

本例可以考慮將比流器二次側電纜改用較大線徑者，如採用 5.5 mm^2 ，長度仍為 300 公尺 (5.5 mm^2 電纜之阻抗為 $3.52\Omega/\text{公尺}$)。重新計算二次側負擔：

$$2R_L = 2(3.52\Omega \times 0.3) = 2.112\Omega$$

比值仍為 1200/5， R_S 還是 0.61Ω

電一的設定不需改變，其負擔仍為

$$Z_R = 0.049\Omega + 0.007\Omega = 0.056\Omega$$

比流器二次側總負擔為

$$\begin{aligned} Z &= R_s + 2R_L + Z_R \\ &= 0.061\Omega + 2.112\Omega + 0.056\Omega = 2.229\Omega \end{aligned}$$

比流器在最大故障電流經過時其二次側端電壓為：

$$2.229\Omega \times (23000 \div 1200/5) = 214V$$

從圖三可知，此一電壓已低於比流器的膝點電壓，再電驛運用上應無問題。但如果能使比流器二次側端電壓小於飽和電壓的一半，則在保護電驛運用上更為可靠。可能的話提高比流器比值，以降低二次側電流，則在抑低二次側端電壓的效果將更為顯著。當然此時必須顧慮到電驛的靈敏度，

七、結論

通常在電力設備保的規劃初期，很容易忽略了保護電驛及其相關設備，等到一切都已經定案之後，才想到保護電驛相關事項，包括保護方式、保護電驛類別、比流器規格、斷路器跳脫方式、控制電源等等。如果一切都可配合妥當，倒也無所謂；但萬一經過檢討之後，發現問題重重，則為時已晚。有時為了趕著用電時程，往往會被迫作某些妥協與犧牲，這往往隱藏著一些潛在危機。

保護電驛及比流器的設置成本跟投資

成本相比，應該是微不足道。只要事先在規劃用電或供電系統時做好必要的評估，相信所有問題都可迎刃而解。保護電驛用比流器比值的選定，當然事先要有故障電流分析結果，選用時才不至於造成設備發生故障時，最大故障電流超過比流器額定電流的 20 倍，當然也要知道可能的最大負載電流，選用時才能避免負載電流超過一次側額定電流。

比流器的動態性能對保護電驛的運用更為重要，尤其是考慮故障電流中直流成分的影響，而此一直流成分卻很難確實估計，而隨著電力電纜的大量使用，此一直流成分會越來越趨嚴重。因此，比流器等級的選用寧可區於保守，不要免強運用。