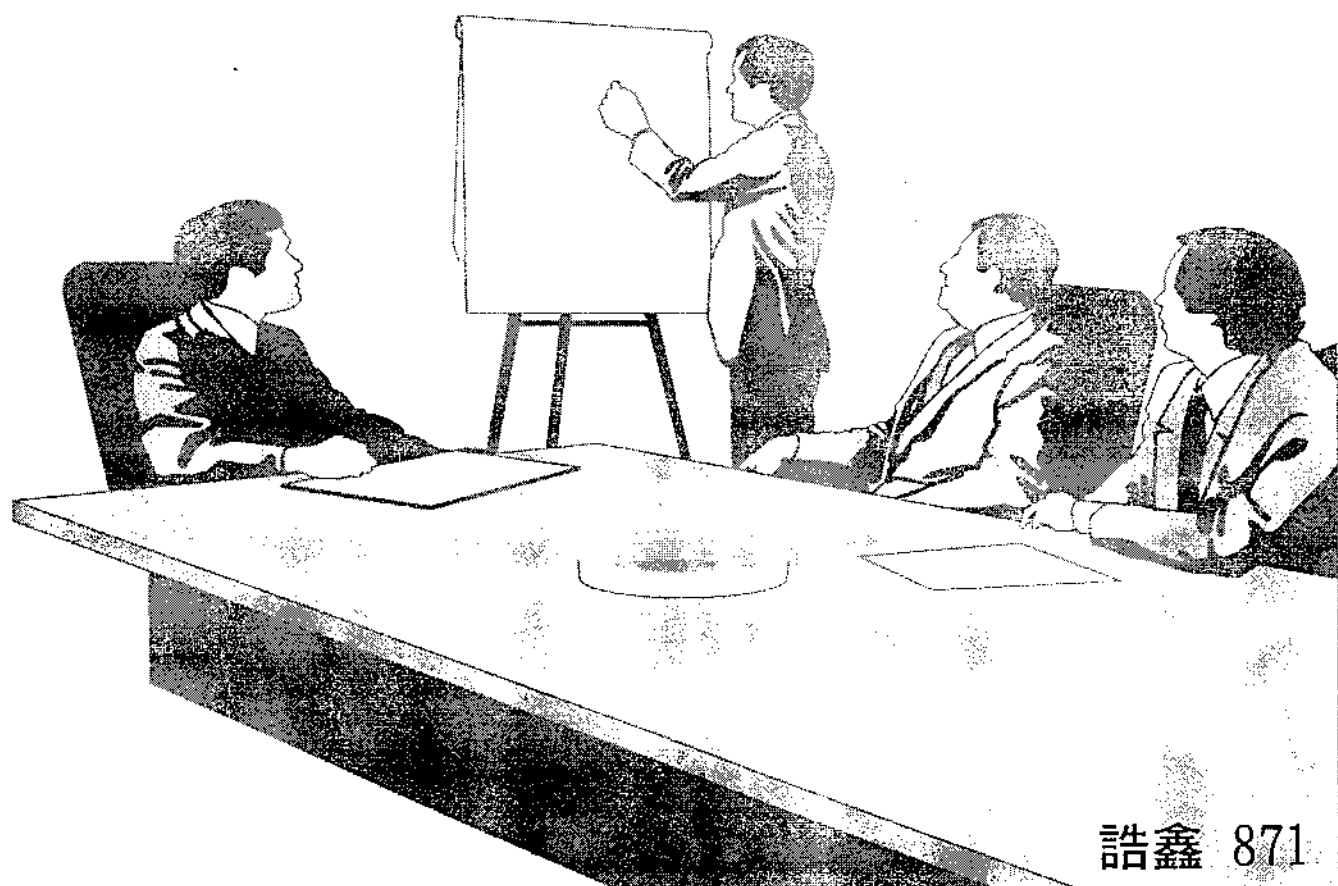


BASLER

保護電機



誥鑫 871

- 講習資料 -

發電機過電流及接地故障保護

本章中，我們將探討一些發生於發電機系統之故障狀況及對應每一情況需使用何種電驛做保護，並說明每一電驛有關其在單一或多個電力構成系統中之用途。對應各種不同情況，將有很多電驛可以做保護使用，其主要保護使不造成發電機及其原動機損壞，其同時並做外部電源系統及其供電設備之保護。

我們必需衡量去加裝一專門電驛以保護發電機不受損所增加之成本，也許有人認為發電機損壞其並無啥麼大不了，因其僅佔設備投資中之一極小百分率，唯，必需考慮到常無法維持運轉及負載供應時之衝擊影響，要知道當無法持續運轉及生產時，其損失將比發電機組來得多，對於百萬瓦額定之機組而言，其並無一決定之標準。

對稱成份

在討論主要話題之前，先說明幾個對於所有電驛回路均成立之基本觀念，要分析三相電源系統中之電流對稱成份時，其牽涉到數學技術，雖然我們不做細節討論，但了解其大概將會很有幫助，因為許多電驛都是設計去偵測對稱之相序成份。

於三相電源中，其由三個不同之成份組成；即正序，負序，及零序，於平衡之三相電源，其各相電流及電壓均相等並各相隔 120 度以及相序為 123，於此情況，其電流如圖 1 所示全部為正相序。

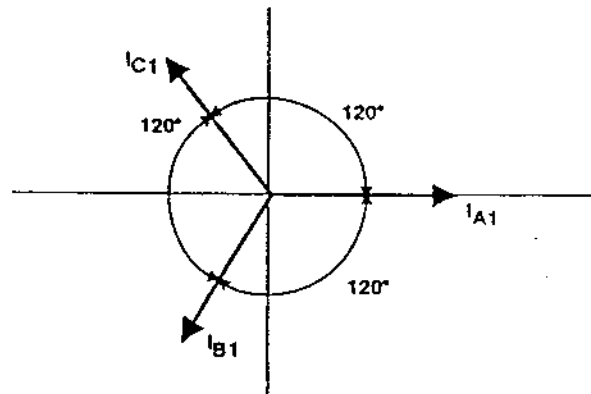


圖 1：平衡之三相系統

如為不平衡負載或發生故障時，其將含有負序，零序及正序電流，其負序成份如圖 2 所示，可看到其電流為等距間隔 120 度及大小相等但相序為 321，負序電流對於旋轉機械會造成損害，於平衡之系統，正常不會出現這些電流，必須使用電驛去偵測這些不良之電流去採取適當措施。

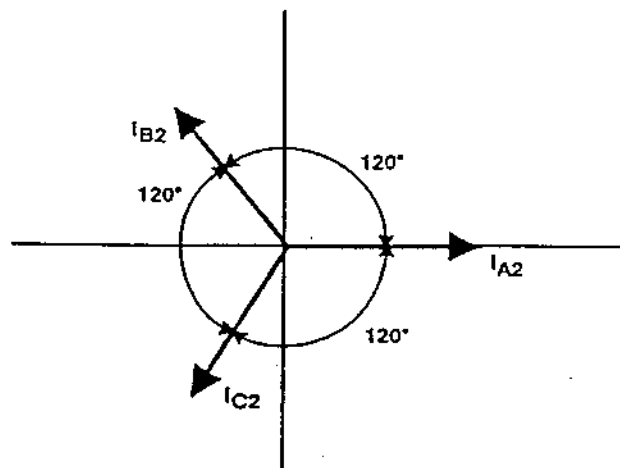


圖 2：負序電流成份

最後一個電流成份為零序電流。於 Y 接系統中，我們常稱此電流成份為接地或中性點電流。圖 3 表示零序電流成份，其彼此間為同相及大小均相等。電驛使用接地保護措施測量零序電流。於平衡之系統，其電流全部為正序電流。當系統有不平衡時，則全部三個相序電流成份均會存在。

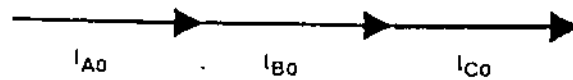


圖 3: 零序電流

儀表變比器

大多數之保護電驛其為偵測電力系統之電流、電壓之一或兩者。通常會使用電位及電流變比器去隔離電力線路之高電壓及同時供應電驛一值其比例縮小於電路值以使電驛可以做成極小及減低成本。標準之儀表變比器其有一相同之二次輸出，如此電驛可以做成標準。大部份的美國保護電驛其連續額定為接受 5 安培及 120 伏 60 周。而歐洲版本則為額定 1 安培及 120 伏 50 周。

儀表變比器其重要性高於保護電驛。如儀表變比器未給予正確輸入，則電驛即不能正確檢出。很不幸的，於故障發生時，其最困難點即為維持精確度去反映一次側之實際波形使提供精確的二次側信號給電驛。故一個好的儀表變比器等級要比一個好的保護電驛等級重要。

圖 4 舉一簡單變比器之圖形做說明。圖中之變比器為使用黑點去表示變比器之極性。即如輸入為交流信號，其黑點之意思為當變比器之一次電壓極性記號處為正極時，其二次極性記號處之電壓也將為正極。

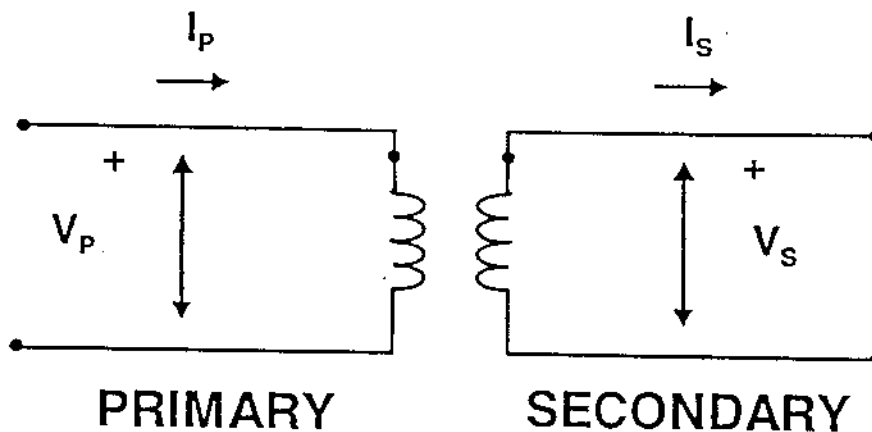


圖 4: 簡單變比器

一電位變比器，有時或稱電壓變比器，為設計去將分電電路之一次電壓轉變降低成大小 120 伏左右之二次電壓，如此才可供應給電驛及電表回路使用。其經常以 PT 及 VT 做代號。

每一變比器有其固定之轉換比。例如，一分電回路之 VT 其為使用於一次額定 7200 伏及二次為 120 伏。則其操作電壓名稱為“7200 比 120”，或說成 60 比 1。(60:1)表示其匝數比。

VT 之銘板也註明其伏-安額定。表示此 VT 可以接受而不會影響其精度之負載量或稱“負擔”。於檢測回路中之每一電表或電驛都會多少增加 VT 所需提供之負擔。如 VT 提供過多之負擔時，則其電壓降低以及 VT 之熱積量都將超過所允許範圍。

電流變比器為用來將一次側之大電流值轉換成電驛及電表可使用之範圍。電流變比器之標稱比值為其一次側電流和二次側電流之比值。或稱其為 CT 之最大連續電流額定。例如，標稱比值為 1200:5 表示其一次側有 1200 安培時，則其二次側將為 5 安培。這也是該比流器之最大連續額定值。

電流變比器之等級為電驛工程師所面臨之最重要考慮之一。如我們所知，於正常電流值時，CT 之性能將非常精確。但，於大的故障電流值時，CT 則會變成飽合使二次電流停於低值，造成電驛不會動作。圖 5 為 600:5 多比值 CT，等級 C100 之二次側激磁特性。CT 等級為表示 CT 可工作之能力範圍。如 CT 工作於曲線之“膝蓋點”左方時，其可維持精準度。但如 CT 操作於膝蓋點之右方，則 CT 即會因其二次側激磁電流過大產生飽合，造成 CT 之精確度偏離很大。於飽合之 CT，其產生之二次側電流將總是較少於應有之值，及有時會低到造成電驛在系統異常時無法動作。

C100 表示該 CT 於 20 倍之額定電流(100 安培)時，產生 100 伏電壓內，其誤差可維持在 10% 以內。

C400 則表示 CT 其於 20 倍額定電流(100 安培)時，產生 400 伏電壓內，其誤差可在 10% 以內，等等。CT 等級較高，則較不會產生飽合。但較高等級之 CT 其較貴，所以不能老是選用最高等級之 CT。

可以依計算去檢查 CT 等級是否足夠使用。圖 6 為 CT 供應一單一電驛線圈之說明。假設我們使用圖 5 之 CT 取其 100:5 比值。則如一次電流為 100 安培時，其二次電流應為 5 安培。此二次電流將流經都會有一小值電阻之電驛，導線，及 CT。當電流流過電阻時，其會造成壓降。如電壓降大過 CT 之能力時，其將造成 CT 飽合及使 CT 無法產生所要之二次電流。

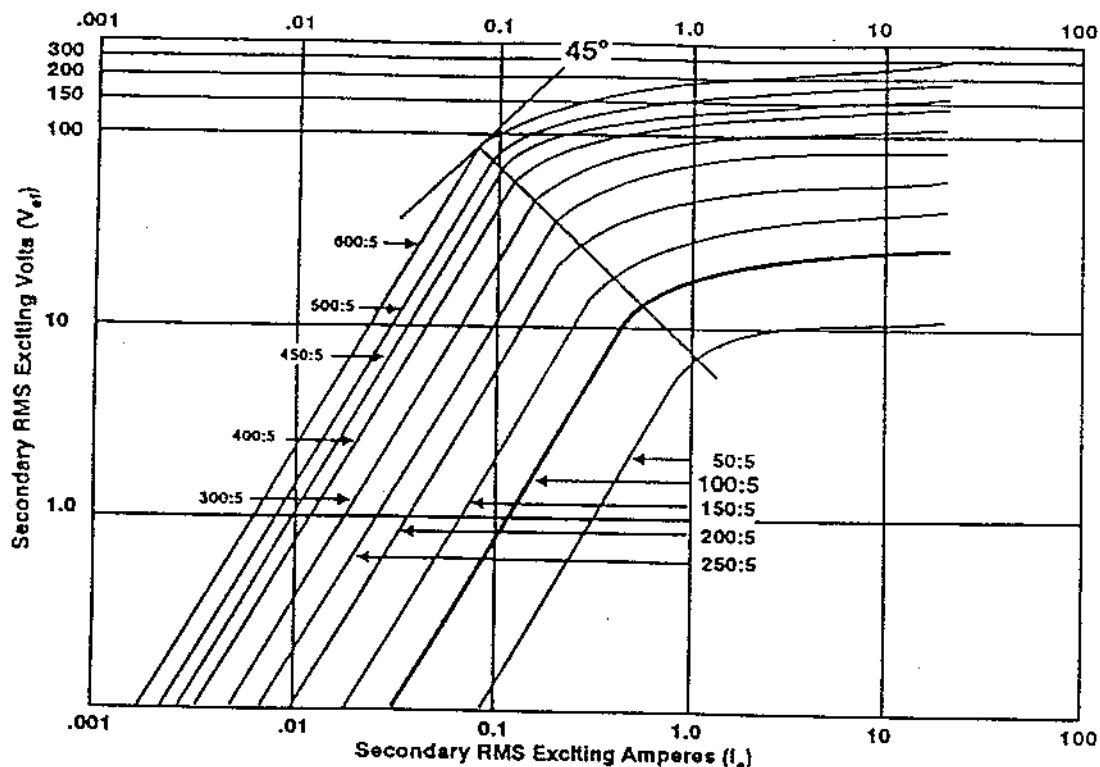


圖 5: 於 600:5 多比值之等級 E100 比流器，其典型之激磁曲線

於二次電流 5 安培之 CT, 我們已知以下數據:

電驛負擔= 0.106 歐姆

導線電阻= 0.40 歐姆

CT 二次電阻= 0.082 歐姆

則 CT 二次側之總電阻= 0.588 歐姆

則要驅動 5 安培之電流, 其二次側之電壓需為 $5 \times 0.588 = 2.94$ 伏。從圖 5 得知, 此 CT 在到達飽合之前, 可以產生 12-15 伏電壓, 故表示於 5 安培之負載電流其性能將保持良好。

現在, 我們計算當故障電流值為 2500 安培時之 CT 性能。其二次電流將變成 125 安培。即二次負擔為:

電驛負擔= 0.058 歐姆

導線電阻= 0.40 歐姆

CT 二次電阻= 0.082 歐姆

總電阻於 CT 二次側= 0.540 歐姆

要使 125 安培電流通過電驛, 其所需電壓將為 $125 \times 0.54 = 67.5$ 伏。從圖 5 中, 可看到此時之 CT 將過份飽合。如此對保護電驛言, 即將不能被接受。

此問題可以經由選擇另一不同比值之 CT, 或較高等級之 CT, 或降低 CT 之負擔來修正。一般機電式電驛其負擔通常會較大, 尤其在電流值較高時。如電流回路中含有兩或三個電驛時, 則要考慮之問題會更多。選用固態靜止型電驛, 因其負擔非常低, 對於改善許多 CT 飽合之問題為一有效之方法。

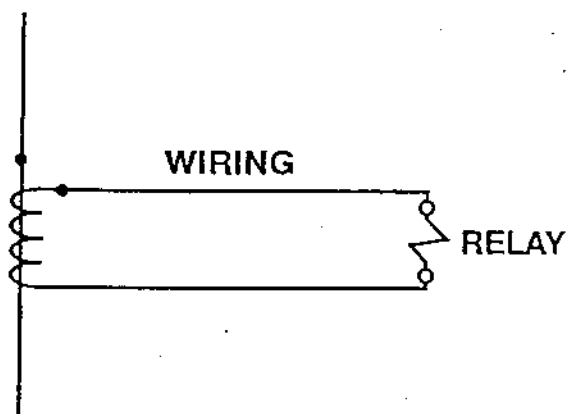


圖 6: 電驛接線圖

接地故障保護

首先幾個例子為具有三個不同阻抗值之接地方式; 低, 中及高。其阻抗值為依不同用途而有不同。發電機中性點或變壓器之接地位置也會影響到保護之方式。後面我們會說明使用於小機器和大機器間之不同。

接地故障於發電機繞組內之位置, 及接地阻抗值, 將決定此故障電流之值。此值為比例於接地故障點之故障發生前之電壓, 即圖 7 之 V_{fg} 。假設其產生之電壓沿著繞線之各段均相同, 其電流值為直接比例於其點至發電機中性點之距離。於距中性點之 10% 故障時, 其將產生當故障發生於發電機出口線端子之故障電流之 10%。於接近中性點時, 其電流值也減小至趨近零, 其絕緣之應力也減小, 使得接近中性點處會發生故障之可能性變得很小。

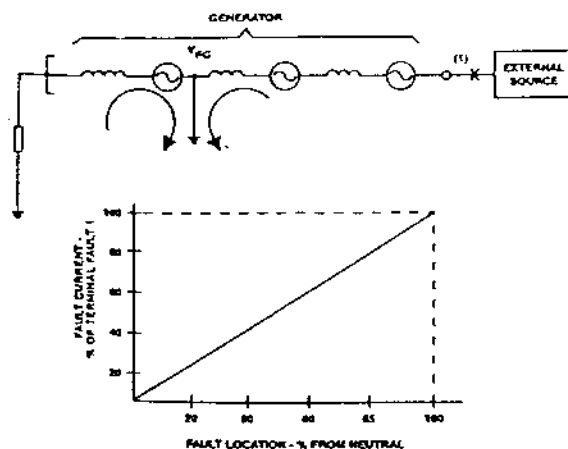


圖 7：發電機繞組內之故障位置決定故障電流值

如圖 8, 使用差動電驛(87G)即足夠靈敏去偵測一做低阻抗接地之發電機繞組之接地故障。如一情況, 其發電機出口線端子完全接地故障時, 其故障電流為超過額定電流之 100% 以上。於 BASLER 之 87G 電驛, 其差動電驛動作值之百分率可調設定範圍為從 0.1-1.6A; 建議動作值要設定較低時, 其需選用較高品質之比流器(例如 C400)以及 CT 的吻合度要很好(例如精度等級相同及其負擔相等)。於小的發電機一般之設定建議值為 0.4A。

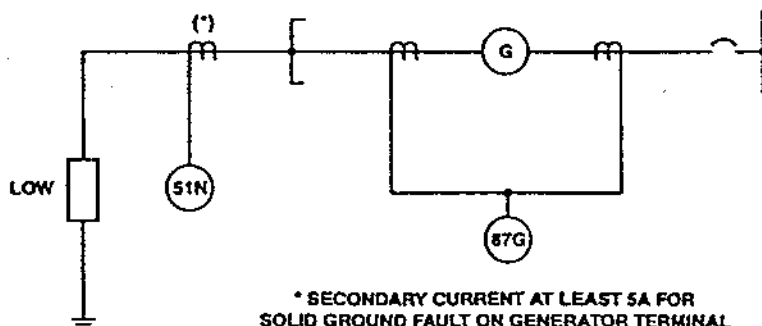


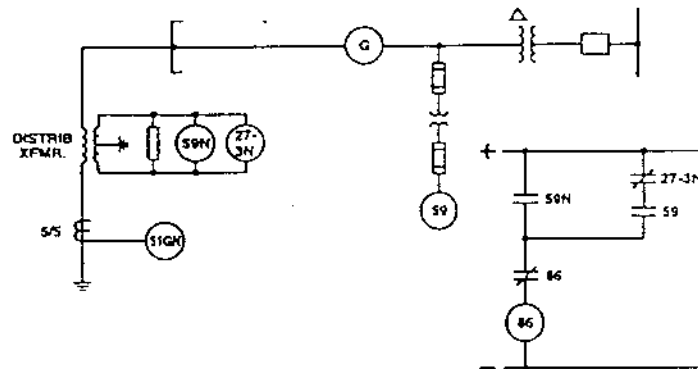
圖 8：接地故障電驛-使用於低阻抗接地之發電機系統

87G 電驛之配置如圖 8 所示, 其中之 51N 電驛為做 87G 及外部電驛之二道保護。如 87G 未裝上或於接地故障其不夠靈敏時, 則 51N 可做為發電機之主要保護。87G 的優點為其不需要有延遲去和外部電驛做保護協調, 而 51N 則需要做延遲。

中性點 CT 之選擇為於發電機出口線端子完全接地故障時, 其需最少產生 5A 之二次電流, 以使接近發電機中性點之故障能有足夠之電流產生。例如, 於出口線端子故障時, 其發電機接地電流為 1000A, 則中性點 CT 之比值不能選超過 1000/5 者。於距中性點 10% 處發生故障時, 如 CT 為 1000/5A, 其 51N 之電流將為 0.5A。

圖 9 為一做高電阻接地之裝置直結系統(其發電機及昇壓變壓器為直接做連接而低壓側不附斷路器)。其電阻及電壓檢測電驛為連接於分電變壓器之二次側。其分電變壓器之一次側電壓額定為相等於, 或大於, 發電機之額定相電壓, 而其二次側額定為 240V 或 120V。而電阻則跨接於變壓器之二次側。其經由變壓器反映至一次側時, 於效果上形成一高電阻。

R_p = 效果上之一次電阻值
 R_s = 實際之二次電阻值
 N = 分電變壓器之匝數比



以分電變壓器及二次電阻做高阻抗接地時，其發生於發電機出口線端子之單相對地故障電流即可大大的降低。典型上，其電阻器之值為選擇限制中性點故障電流為 5-10A。分電變壓器之作用為將保護回路和系統隔離及降低電壓至可使用之值。

圖 9 為由 59N 過電壓電驛及一 27-3N 之三次諧波低電壓電驛組成之保護回路配置。於正常操作時, 59N 電驛對於三次諧波電壓不會產生反應(參圖 10)。此 59N 元素可保護至約發電機中性點之 90%(參圖 7), 但於故障點接近至中性點時, 因產生之故障電流減低, 使其無法動作。但於此故障時, 故障發生前流經發電機接地之三次諧波會被中斷, 使得 27-3N 變成復歸狀態。27-3N 除了做接地故障之偵測功能外, 其還做一很有價值之監視功能; 即如系統之接地有短路或開路發生時, 則 27-3N 會被復歸。圖 9 之 59 過電壓電驛為管制 27-3N 電驛用, 如此於發電機無運轉時, 其 86 閉鎖電驛即可做復歸; 否則無法供應磁場電源。於磁場供電後, 59 電驛動作, 27-3N 即開始做保護。59 電驛應該設定為約額定電壓之 90%。或可使用於主斷路器之 "a" 輔助接點去取代 59 電驛做 27-3N 跳脫之管制。即, 於磁場供電到電壓達同步後(發電裝置可投入於電源線), 59 電驛才准許 27-3N 去提供保護。

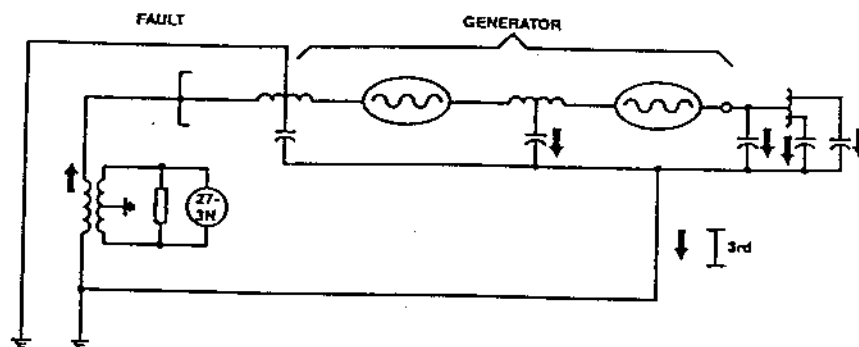


圖 10: 於接近發電機中性點發生接地故障,其流經發電機系統接地之三次諧波電流將減低,使得 27-3N 成為復歸狀態。

如有 Y-Y 變壓器連接於機器之接線端子，其二次側之 VT 中性點不可做接地，以免於其二次側有接地故障時，59N 會動作。反而，必需在其三相導線中之一做接地。如此才可避免其發生二次側接地故障時，59N 電驛會跨有電壓。

Basler 之 59N 電驛同時包含有過電壓(59N)及低電壓(27-3N)檢測。其連續額定為 360V 及具有濾波器可去除至少 40 分貝(100:1)於過電壓元素之第三諧波。此濾波器防止於發電機及其相接公共電源及變壓器之對地電容之三次諧波流動造成電驛跳脫。第三諧波元素(27-3N)為保護於發電機定子繞組接近中性點末端之故障。此元素之基本波頻率摒除為最少 40 分貝(100:1)。

圖 9 之 51GN 電驛為檢測定子接地故障之第二個方法。如定子有接地故障而沒有發覺時，其將造成很大災害，最後會造成多相短路之高故障電流流動，所以多追加一個保護是合理的。51GN 為一延時過電流電驛，其動作值設定需在其正常諧波電流以上。其設定值約為 1 安培。

圖 11 為供給電源線和發電機公共電源線連接之情形。其需加強措施去保護這個接地電阻低於裝置直結系統很多之系統。其需選擇較低之電阻接地以減小於電弧故障時所產生之瞬間過電壓。

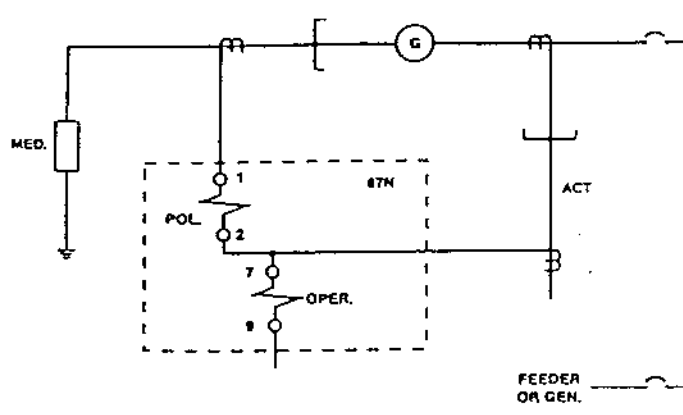


圖 11: 中電阻接地時之 67N 接地差動保護電驛

圖 11 中之接地電阻為選擇使在發電機出口線端發生接地故障時之電流最少為額定電流之 5% 以上。其標識為 67N 保護，但實際使用 Basler 之 67N 電驛。於發電機內部故障時，發電機之中性點電流供應為電驛之“極化”電流及使電驛動作。如為外部故障時，由於相 CT 之飽合度不相同會使電驛產生一些操作電流。於此情況下，如至故障點間之導線阻抗均相等則 60HZ 發電機之中性點電流將為零，使得 67N 電驛因為無“極化”電流而不會去動作。

於小型發電機，其偵測接地故障最簡單及最靈敏之方法為圖 12 所示之接地檢測方式。其接地檢測為使發電機之相導線通過窗口型比流器。此接地檢測 CT 為於同一時間測量所有三相之電流及將其合成後輸出為 CT 不平衡或稱中性點電流。此檢測方式之優點為其成本低及不會有因 CT 不同產生不相同飽合特性之情形。其主要受限於可通過 CT 窗口之物理尺寸。其發電機之接地線不可通過 CT 窗口因如此會抵消相導線之不平衡。其中之 50/51GS 電驛為一般之延時及瞬時過電流電驛。

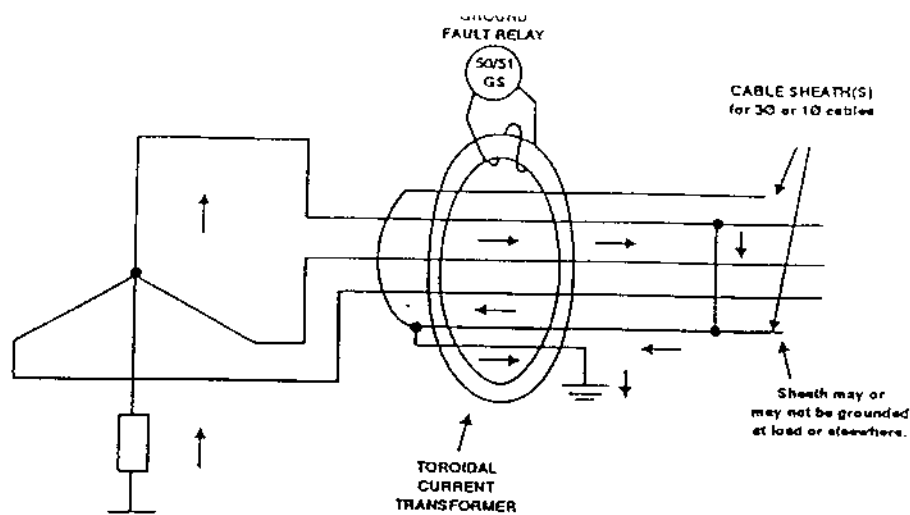


圖 12: 窗口型 CT 使用於金屬遮蔽導體做接地故障保護時之典型應用

如發電機對接地檢測 CT 而言過大時,則需如圖 13 所示使用分開之相 CT。其接地過電流電驛為位於三相電流變比器之回程路徑側。此殘餘接線為將三相電流加總使僅有接地電流通過電驛。此檢測方式因其使用不相同之比流器故其不如接地檢測 CT 方式來得靈敏及精確。於故障發生時,CT 將於不同點產生飽合,造成有不要之電流流經電驛。要改進此狀況可使用較高等級之 CT,或可提高 50/51 電驛之設定值去解決此問題。

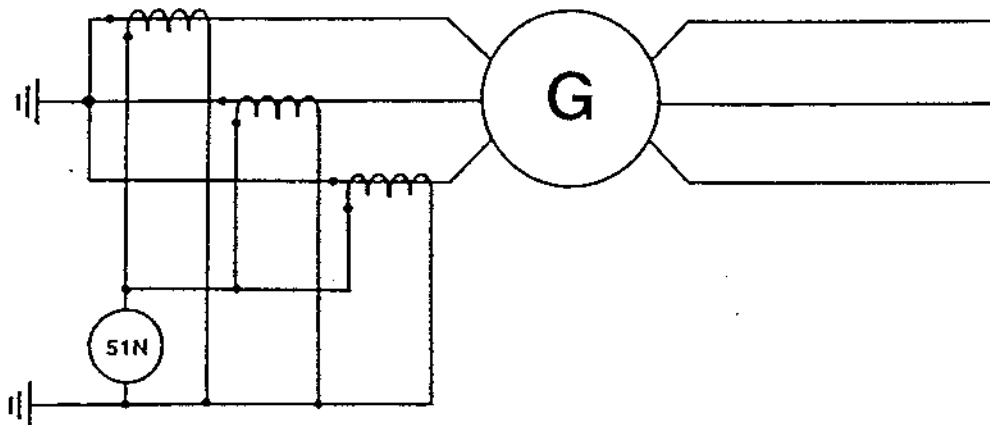


圖 13: 分開 CT 之方式

圖 14 表示有追加相過電流電驛時之相同接線。如有使用相過電流電驛時,我們可以利用相同之 CT 去同時做接地故障保護。其使用條件為和圖 13 相同。

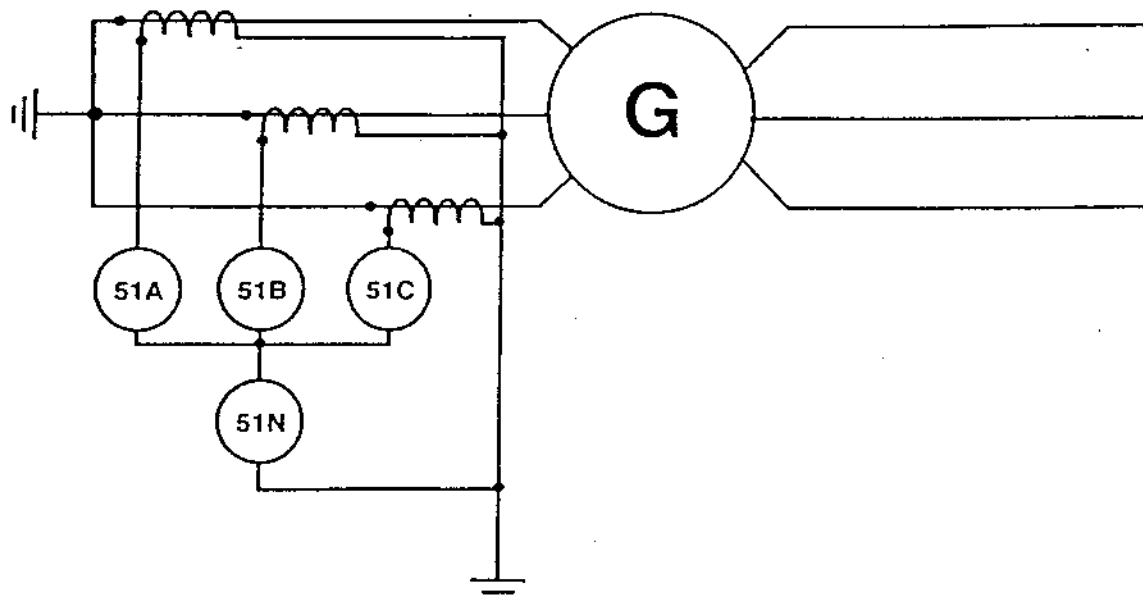


圖 14: 過電流電驛

發電機之過電流保護

圖 14 之過電流電驛(51A, 51B, 51C)主要做為小型發電機之相故障保護。於大型發電機,他們被當做為二道保護。此電驛為延時過電流電驛,其需連接至發電機中性點側之 CT。如將此延時過電流電驛裝於發電機之高電位端時,則可能無法偵測到於機器內靠近中性點末端之繞線發生之相短路故障。

當接近發電機之出口線端發生多相故障時,其端電壓會降低。其衰減速率為根據機器之衰減特性及其電壓調整器之反應。其電流輸出將如圖 15 所示,很自然的,直接跟著電壓降低。如延時過電流電驛(元件 51)要有用,則其必需在電流衰變到電驛動作值以下之前即需動作。不幸的,其定子可能會有因端電壓不足,而致其故障電流在發電機滿載能力以下之情形。要解決此問題,可以於延時過電流電驛中加入一電壓元素。此電壓元素並可分為電壓限制或電壓控制型兩種。此元件於 Basler 之電驛編碼為 51/27C(電壓控制)及 51/27R(電壓限制)。

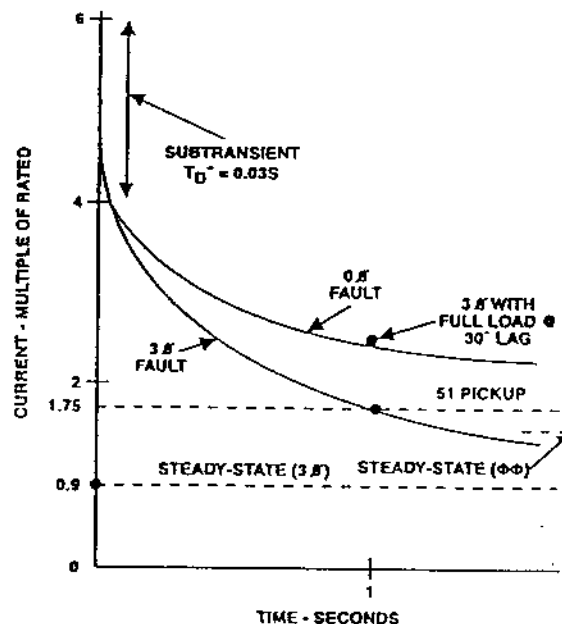


圖 15: 典型之發電機遞減曲線

電壓控制過電流電驛(51/27C),其電壓元素會產生一電壓抑制信號去阻止電驛動作,直到其檢測之電壓低到預設極限值以下時,如圖 16 所示。有電壓控制之過電流電驛為於預計故障電流會低於滿載電流值並且發電機之電壓會低於電壓監視回路之電壓抑制設定值以下時,使用去提供靈敏之保護。

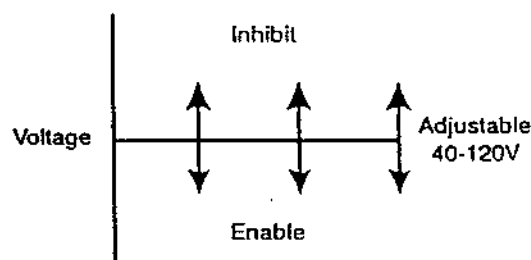


圖 16: 電壓控制之動作

於單機之發電機系統應用中,其常會有如圖 17 所示之馬達起動時之偶然電壓下沉情形。此時其電壓抑制調整需設定足夠低以避免電驛於電壓下沉可恢復時被動作及設定足夠高去准許電驛在電流跌落至電驛動作點以下之前去動作。

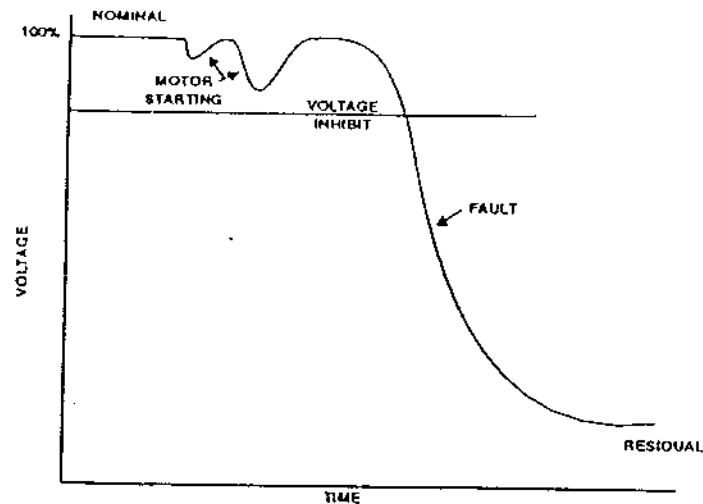


圖 17: 馬達起動時之電壓下沉情形

電壓抑制型延時過電流電驛(51/27R)其依檢測電壓值去調整電流之動作點。如圖 18 所示,當監視之電壓跌至正常值以下時,其延時過電流之動作值即依比例下降。由降低電壓之抑制值去使電流動作值下降,於效果上即為增加"電流動作值之倍數"。如此會往標準延時特性曲線之右側轉移,即為減小跳脫前之延時計時。對於接近高電流之故障,其經常會於延時過電流電驛加裝瞬間過電流元素以提供追加之保護。

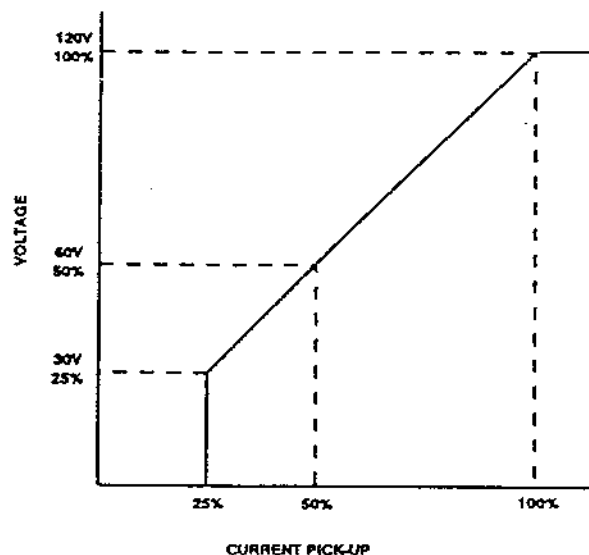


圖 18: 延時過電流電驛具有電壓抑制時之電壓/電流關係

可調整百分率之差動電驛

差動電驛為最常選擇之方式去保護交流電力系統之個體或區域之故障。已有各種不同動作之差動電驛及電驛系統,各具有其差動原理之優點。差動電驛之動作選擇力是依據電驛其分辨內部故障(在保護區之內)及外部故障(在保護區之外)之能力。圖 19 為差動電驛之 AC 接線。如於發電機之內或於兩個 CT 之間任何位置有故障發生時,電驛即會動作。如故障為發生在區域外時,則電驛將不會動作。於外部故障時,其電流進入保護區仍然相等於電流流出保護區,故對於其平衡之影響很小。因此,於比較保護區兩邊之電流及偵測到電流有不相等時,差動電驛即動作去將個體或區域從系統中隔離。

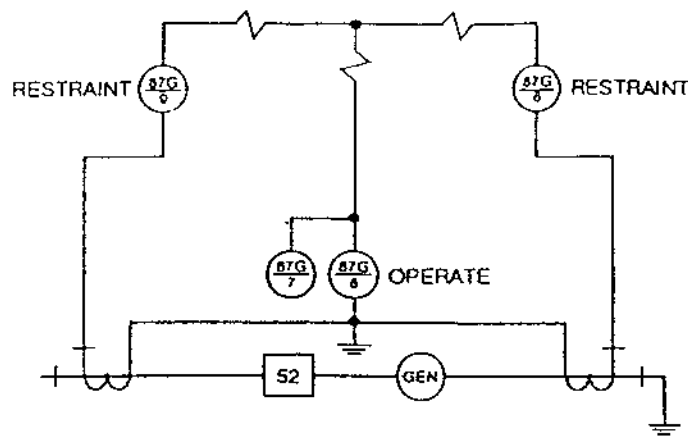


圖 19: 單相之差動保護

於區域內發生重故障,其將有大的故障電流會流經差動回路之兩 CT. 因為每個 CT 均會有些微不同之飽合特性,故會有些微之電流不平衡產生. 百分率差動電驛其必需於此高電流狀況時,減小其靈敏度如此其才不會去誤動作.

圖 20 為兩種基本型式百分率差動電驛之特性說明. 一為固定百分率電驛(其一有 10%斜度,及另一為 25%). Basler 之 87G 電驛則具有比各種百分率都好之特性,可增強其靈敏度及安全性.

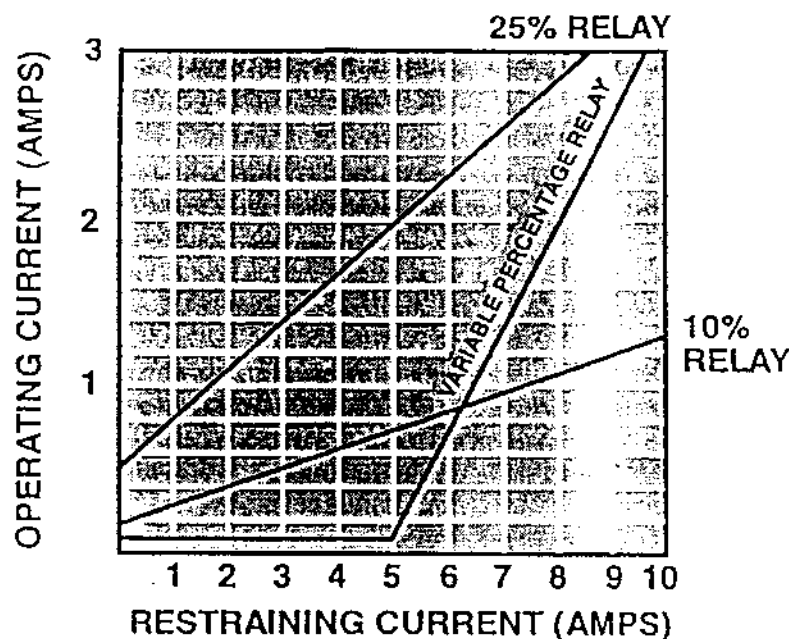


圖 20: 固定百分率及變動百分率

於固定之百分率電驛,其需要去使電驛動作之電流為流動於抑制線圈之百分率電流. 如提高百分率斜度,則電驛之靈敏度即降低. 如和 Basler 之 87G 比較,其特性為根據抑制電流(I_r)之值,將總操作範圍定義成兩個區域. 當抑制電流在 5 安培以下時,如其差動電流超過電驛之設定(I_s)值,則電驛做跳脫. 但如抑制電流大於 5 安培時,則其總靈敏度為由面板之設定值及抑制電流值來決定. 如此於較低電流值時,可使電驛較靈敏,例如於機器發生匝對匝故障時,但如於高電流會使 CT 產生飽合時,則將電驛轉為較不靈敏.

即 $I_o = I_s$ 當 I_r 低於 5 安培時,
及 $I_o = I_s + 0.5(I_r - 5)$ 當 I_r 大於 5 安培時

可變百分率差動電驛為正常使用於高電壓及較大型機組時，因為其需要 6 個高吻合等級比流器及三相電驛，成本較高之原故。新型之固態電驛其需要極低之負擔，故可准許 CT 做共用，因此使用此具選擇力之電驛可減輕所增加之成本。

自我平衡差動保護

自我平衡差動保護如圖 21 所示，其具有百分率差動系統之許多優點，但比較簡單及成本較低。此型電驛其使用相同於早些於接地電驛保護所提之“窗口型”CT。將發電機之公共電源側及中性點側之導線經過每一相 CT 之“窗口”。於正常時，這些電流為相等及流動方向不同。其由 CT 所看到之合成電流將為零。如在發電機內產生故障，則兩個電流將無法加總為零及將使過電流電驛動作。

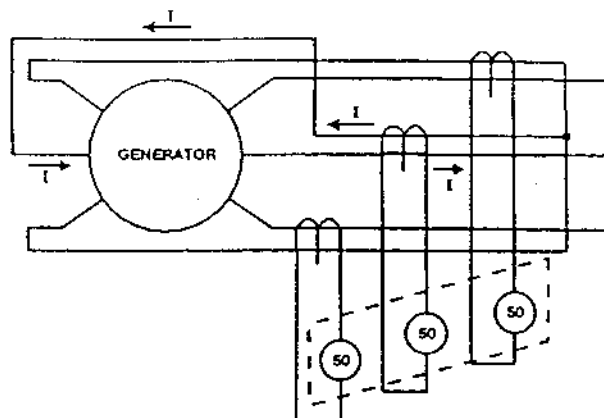


圖 21：自我平衡差動保護

此保護方式一般常見於較小型機組，因其發電機之出口線一定可以通過 CT。此配置可除去存在於百分率差動接線之 CT 飽合問題。以及其過電流電驛可以設定為非常靈敏及快速。

失磁保護電驛

發電機之另一狀況為部份或完全失磁時之保護。雖然失磁不屬於過電流故障狀況，但失磁可以造成發電機發熱，失去同步，或甚至嚴重損壞機器。許多新的激磁系統其裝有最小激磁限制器以防止發生欠激，但是，此保護電驛仍需提供去做所謂自動控制之二道保護。

圖 22 為發電機之能力限制特性，其稱為能力曲線。其實際以三個曲線去規範使用範圍，如發電機操作於範圍內則將不會有損害。其曲線為衍自三個各別時間函數關係之加熱效應，即定子鐵心末端，定子繞組，及轉子繞組之溫度超過延時特性。這些曲線為畫在以實功當水平軸及虛功當垂直軸之電力向量平面上。此種能力曲線為由發電機製造廠所提供。

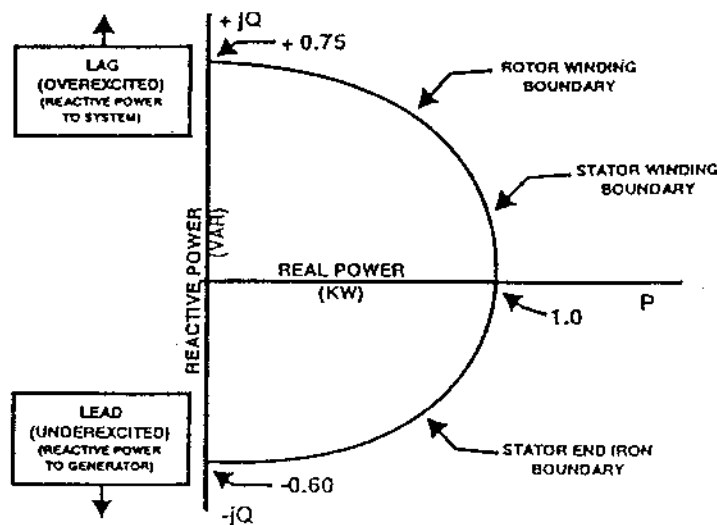


圖 22：典型之發電機能力曲線

除能力曲線外,其尚有另一限制. 圖 23 為此另一之穩態穩定度限制(SSSL). 如超過 SSSL 時則會造成發電機脫離同步. 圖 24 為指出發電機在所有四個極限內之適當操作範圍.

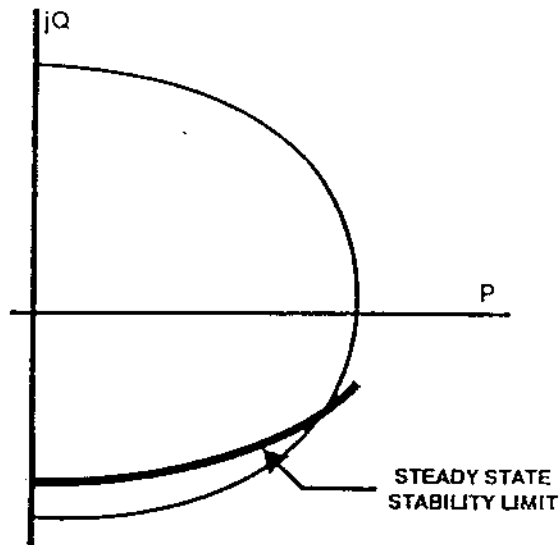


圖 23: 穩態穩定度

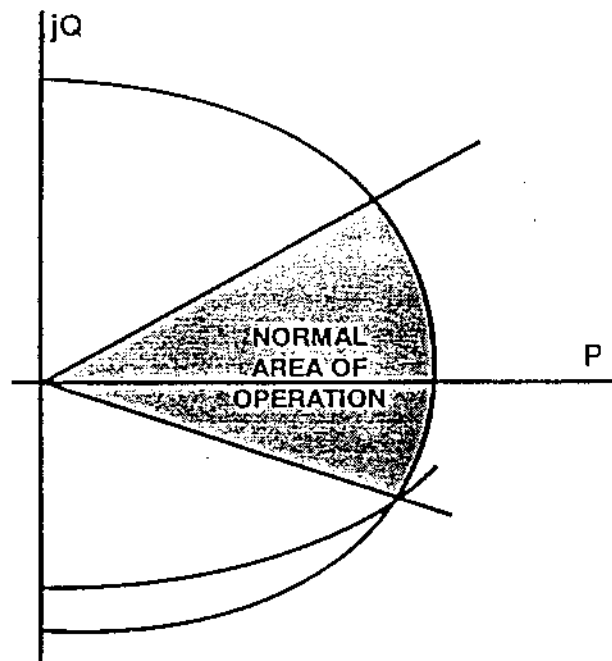


圖 24: 發電機之正常操作範圍

其有二個方法去做失磁檢出. 姆歐型之電驛,其為使用一能夠測量阻抗及具有如圖 25 所示之圓型特性之電驛. 其正常為使用兩個測量元素,並平行偏移原點,其較小圓之時間延遲設定很小或無時間延遲而較大之圓則做一些延時,以幫助電驛躲過瞬間狀況. 其圓圈大小之設定則為吻合發電機之能力曲線.

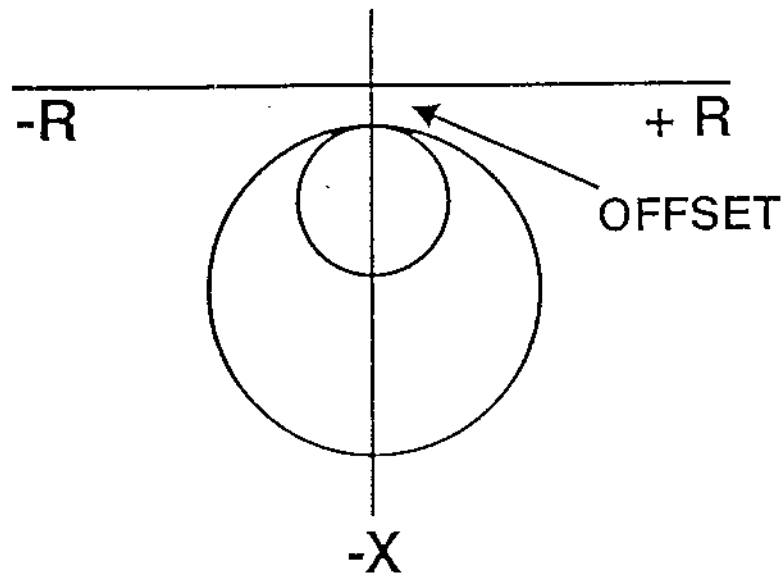


圖 25: 姆歐型電驛

第二方法則為使用 Basler 之 BE1-40Q 電驛, 其特性說明於圖 26. 此型之電驛為做成一特性為和水平成 8 度角之一直線之乏檢出電驛. 此電驛之動作值為剛好設定在能力曲線和垂直軸交點之最大限制極限點之上. 如在特性直線之下範圍操作時, 即會使電驛跳脫.

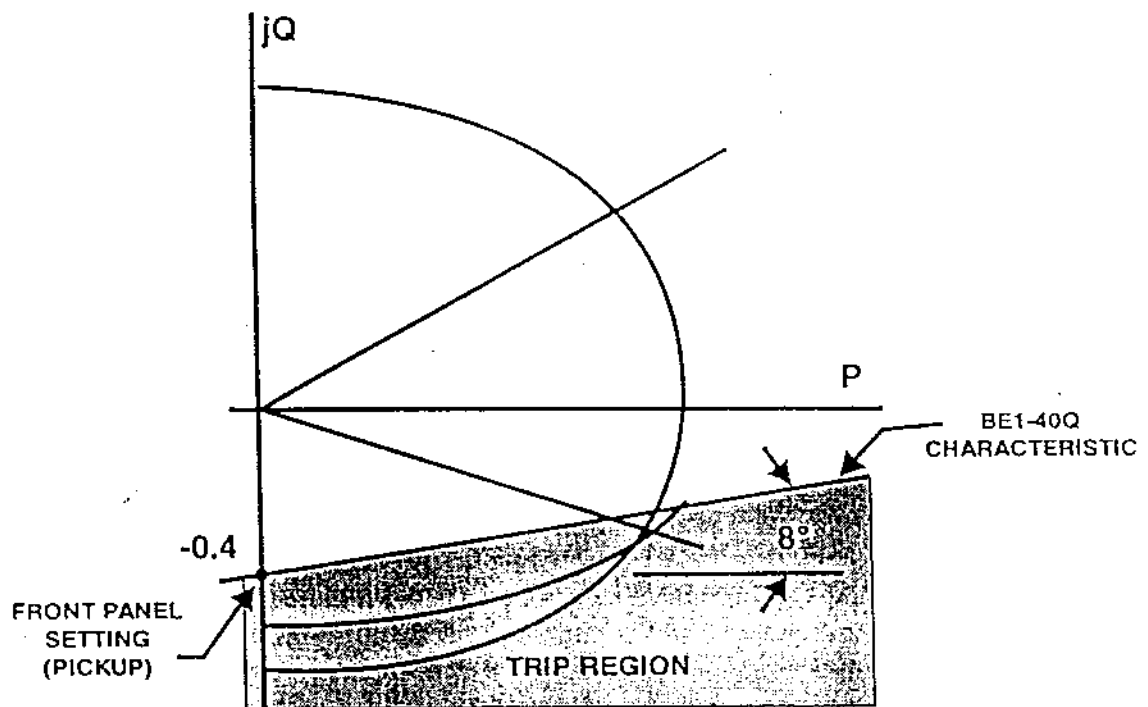


圖 26: BE1-40Q 之操作特性