

出國報告（出國類別：實習）

數位式發電機保護電驛及定子接地 保護技術

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：張宥嫻 電機工程監

派赴國家：美國

出國期間：105 年 10 月 24 日至 105 年 11 月 2 日

報告日期：105 年 12 月 28 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：數位式發電機保護電驛及定子接地保護技術

頁數 25 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台灣電力公司/陳德隆/(02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

張宥嫻/台灣電力公司/新桃供電區營運處/電機工程監/(03)5770766 ext 768

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：105 年 10 月 24 日至 105 年 11 月 2 日 出國地區：美國

報告日期：105 年 12 月 28 日

分類號/目

關鍵詞：數位式發電機保護電驛、定子接地保護

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、發電機在電力系統中扮演著核心的角色，其對整個電力系統的可靠性及安全性起著決定性的作用，發電機一旦發生故障，電力系統則會無法正常運作且可能造成巨大的經濟損失。對發電機而言，常見的故障是定子繞組單相接地故障，定子繞組接地故障將嚴重危及定子鐵芯的安全，甚至進而造成更嚴重的相間或是匝間短路故障，因此定子接地保護技術是發電機保護系統中一重要內容，本文將針對定子接地保護技術做一深入探討。
- 二、藉由本(105)年度出國實習計畫，實地造訪美國電驛製造廠家 BECKWITH 公司實習「數位式發電機保護電驛及定子接地保護技術」，學習新型數位式發電機保護電驛應用技術、標置設定、維護技術及實際應用經驗，作為本公司未來電驛業務參考，俾利提升本公司發電機保護技術，進而提升電力系統保護系統效能和供電穩定度。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 次

數位式發電機保護電驛及定子接地保護技術

壹、目的-----	1
貳、過程-----	2
參、BECKWITH 公司數位式發電機保護電驛—M-3425A-----	3
一、M-3425A 發電機保護電驛簡介-----	3
二、M-3425A 發電機保護電驛保護功能說明-----	4
肆、發電機定子接地保護技術-----	13
一、發電機定子接地保護的基本要求-----	13
二、發電機定子接地保護方式-----	14
三、發電機定子接地保護方案-----	21
伍、心得與建議-----	23
參考資料-----	25

數位式發電機保護電驛及定子接地保護技術

壹、目的：

近年來台灣工業化持續發展及電力負載逐年增加，加上燃料價格上漲、能源短缺及核能議題等因素，我國電力系統正面臨著日漸嚴峻的挑戰；因此，如何在此嚴苛的條件下持續確保電力系統正常運作並提供用戶穩定的供電即為當前一重要課題。

發電機在電力系統中扮演著核心的角色，其對整個電力系統的可靠性及安全性起著決定性的作用，發電機一旦發生故障，電力系統則會無法正常運作且可能因長時間檢修而造成巨大的經濟損失，因此，在發電機組出現故障時，能快速及正確地檢測出故障並將其隔離和解決問題以降低損失，是非常重要的。因此，加強研究與探討發電機保護的相關議題，以提高發電機運行的穩定性和可靠性即為相當重要。對發電機而言，常見的故障是定子繞組單相接地故障，而隨著發電機容量不斷增大，接地故障電流也隨之增大的情況下，定子繞組接地故障將嚴重危及定子鐵芯的安全，甚至進而造成更嚴重的相間或是匝間短路故障，因此定子接地保護技術是發電機保護系統中一重要內容，本文將針對定子接地保護技術做一深入探討。

目前本公司採用新型數位式發電機保護電驛的新發電機組將陸續加入系統，有別於傳統發電機保護電驛的分散設計，新型數位式發電機保護電驛將發電機整體設備中各部位保護元件整合於一體，相對其應用也較複雜；藉由本(105)年度出國實習計畫，實地造訪美國電驛製造廠家 BECKWITH 公司實習「數位式發電機保護電驛及定子接地保護技術」，學習新型數位式發電機保護電驛應用技術、標置設定、維護技術及實際應用經驗，作為本公司未來電驛業務參考，俾利提升本公司發電機保護技術，進而提升電力系統保護系統效能和供電穩定度。

貳、過程：

本次出國實習數位式發電機保護電驛及定子接地保護技術，參訪對象為美國 BECKWITH 公司，地點位於美國佛羅里達州，為期 10 天，相關行程及工作紀要列示如下：

日期	起訖地點	工作紀要
105/10/24~105/10/25	台北~洛杉磯~奧蘭多	往程
105/10/26~105/10/27	BECKWITH 公司(美國)	BECKWITH 公司數位式發電機保護電驛應用技術研討(10/28~10/29 假日)。
105/10/30~105/10/31	BECKWITH 公司(美國)	發電機定子接地保護技術研討。
105/11/01~105/11/02	奧蘭多~洛杉磯~台北	返程

參、 BECKWITH 公司數位式發電機保護電驛—M-3425A

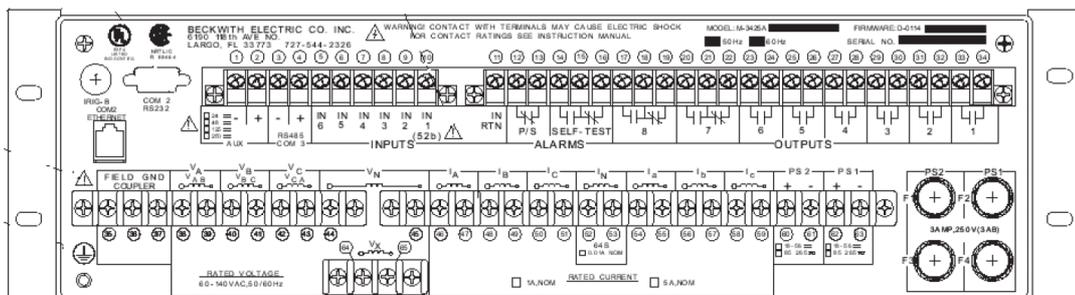
一、M-3425A 發電機保護電驛簡介

M-3425A 為 BECKWITH 公司主要生產之數位式發電機保護電驛，可提供高達 29 種發電機保護元件，能保護發電機內部繞組故障、系統故障及其它不正常運轉等情況，為一全功能之數位式發電機保護電驛，其外觀如圖一所示。



圖一 M-3425A 發電機保護電驛外觀

M-3425A 數位式發電機保護電驛共有 4 組保護群組(Setpoint)可做設定，兩組三相電流及一個中性點電流輸入，一組三相電壓、一中性點電壓及一 Open Δ 電壓輸入，具有 2 個 RS-232 及 1 個 RS-485 通訊埠，亦可選配具有 DNP 或 IEC 61850 通訊協定之 RJ45 乙太網路埠，該電驛具有六個輸入接點及八個輸出接點(基本 I/O)，其中需注意的是 M-3425A 電驛之輸入接點只能使用乾接點引接，若有外部電壓進入將可能使設備損壞，M-3425A 發電機保護電驛之背板如圖二所示。

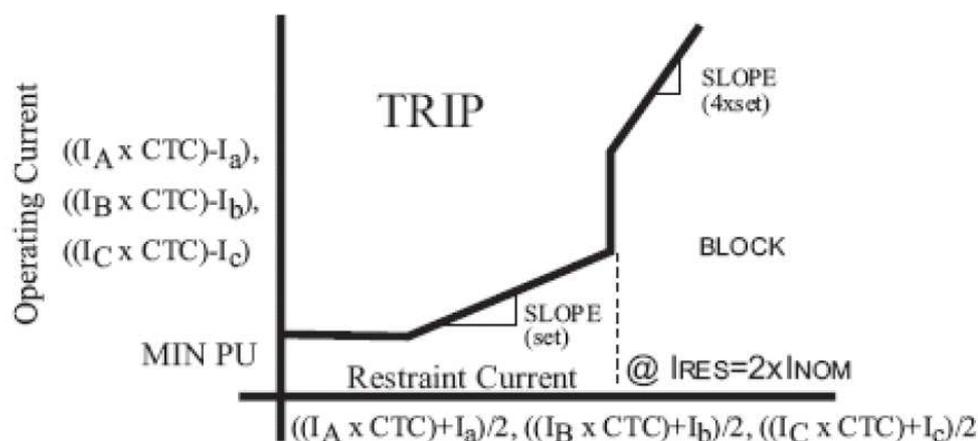


圖二 M-3425A 發電機保護電驛背板

(一) 基本保護功能

1. 差動保護(87)

M-3425A 之差動保護元件是採百分比斜率差動保護方式，為防止 CT 飽和可能造成電驛誤動作，在 2 倍標稱電流時，斜率將自動提升至第一段斜率之 4 倍，以增加電驛動作之安全性，如圖四所示。需注意的是 M-3425A 之差動保護元件計算動作電流之公式為 $|\vec{I}_A - \vec{I}_a|$ ，和其他廠家大多使用 $|\vec{I}_A + \vec{I}_a|$ 不同，因此，在保護區間內故障時，發電機線路側和中性點側兩端比流器所引接進電驛之電流應為反相，在保護區間外故障時，該兩端比流器所引接進電驛之電流應為同相，須注意比流器之極性位置。



圖四 M-3425A 之百分比斜率差動保護圖

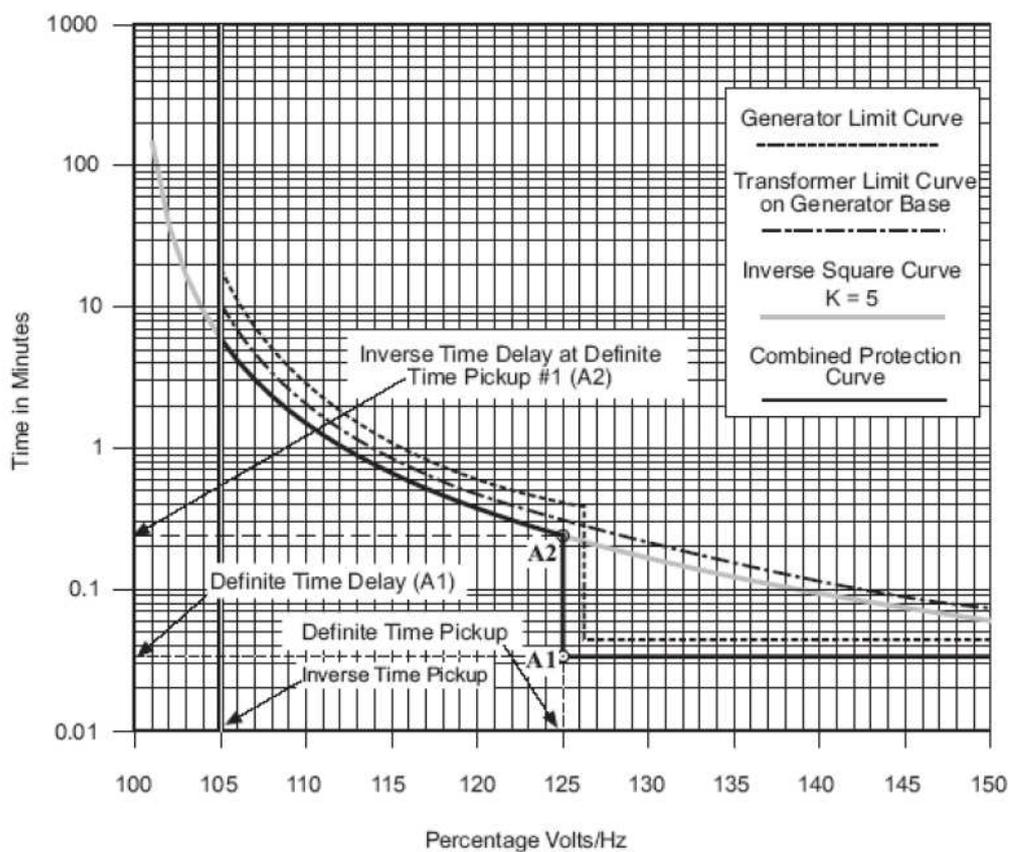
發電機之差動保護可快速隔離保護區間內之故障，但卻無法偵測發電機繞組間之匝間短路故障，因此仍需配置其他保護功能以達發電機之完整保護。

2. 接地(零相序)差動保護(87GD)

該保護適用於中性點低阻抗接地之發電機，以偵測零相序電流來隔離接地故障，其保護原理同相間差動保護。

3. 過激磁保護(V/Hz)(24)

此保護元件是藉由偵測電壓/頻率之比值來判別發電機是否發生過激磁現象(過磁通)，當電壓過高或頻率降低時，將導致通過鐵芯的磁通增大，同時勵磁電流也變大，此時即會產生過激磁現象造成機組嚴重過熱而使機組受損。以 PT 二次側線電壓 115V、系統頻率 60Hz 為例， $V_{nom}/f_{nom}=115/60=1.9=1pu$ ，當所偵測到的 $V_{mea}/f_{mea} > V_{nom}/f_{nom}$ 時，即代表有過激磁現象產生。M-3425A 電驛之過激磁保護元件中 V/f 之 Pickup 設定值若為 200% 時，即代表該元件之始動值為 2pu($2 \times 1.9=3.8$)，此時可設定為定時延時跳脫或反時性延時跳脫，而反時性延時跳脫曲線則須配合發電機之破壞曲線，如圖五過激磁保護曲線所示，該保護曲線是結合定時延時曲線和反延時曲線之保護方式，此將更能符合發電機之極限曲線特性。



圖五 過激磁保護曲線

4. 失磁保護(40)

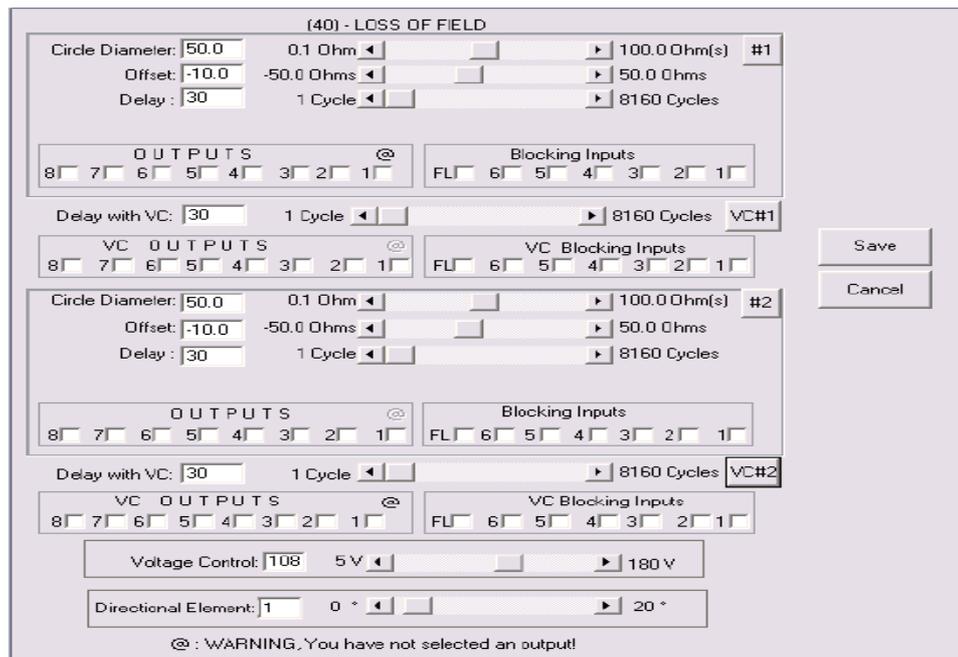
當發電機的勵磁突然全部或部分消失時，會導致發電機失磁故障，其產生原因包括有：轉子繞組故障、勵磁繞組由於長期發熱或絕緣老化損壞引起之勵磁短路、磁場斷路器意外跳脫、勵磁機故障、勵磁系統之交流電源中斷或誤操作等因素。當發電機失磁後將從系統吸收無效功率，此時同步發電機將變成感應發電機之運轉模式，將產生下列影響：

- (1) 因發電機由系統吸收了大量無效功率，為防止發電機定子繞組發生過電流現象，使得發電機所能發出之有效功率也愈少。
- (2) 因發電機由系統吸收了大量無效功率，導致系統電壓下降，將影響負載與電源間之穩定運轉，嚴重情況下可能使電壓崩潰。
- (3) 發電機之轉子及勵磁迴路將產生過熱現象。

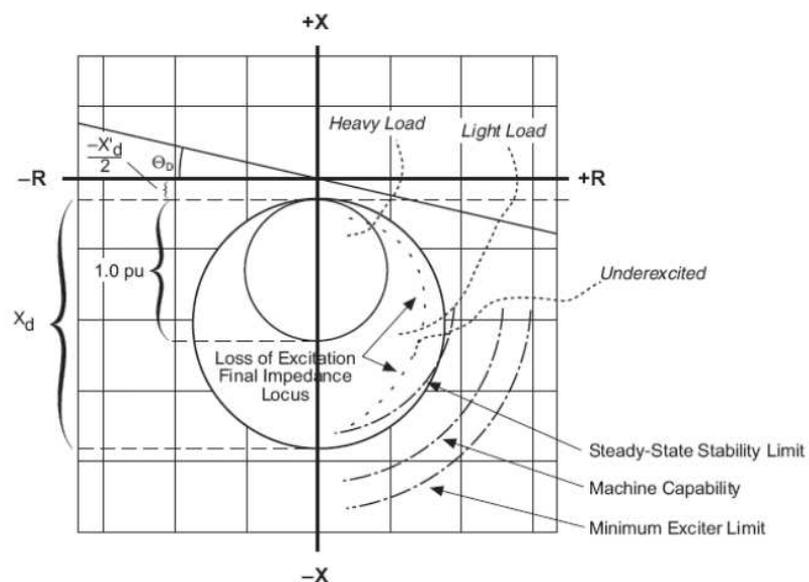
因此，為避免上述異常運轉情形發生以維護系統及發電機運轉安全，除發電機本身控制系統外，裝設失磁保護電驛是必要的。

當發電機發生失磁現象，機組輸出之有效功率和無效功率換算為阻抗值時，將由第一象限移至第四象限，其演變是漸進性的。M-3425A之失磁保護功能是由兩個偏移姆歐圓元件、一個欠電壓監視元件及一個方向性元件所構成，每一個姆歐圓元件之相關標置(直徑、偏移量、時間延時等)為個別獨立設定，而每一姆歐圓元件(每一保護區間)之標置設定範圍如下表所示：

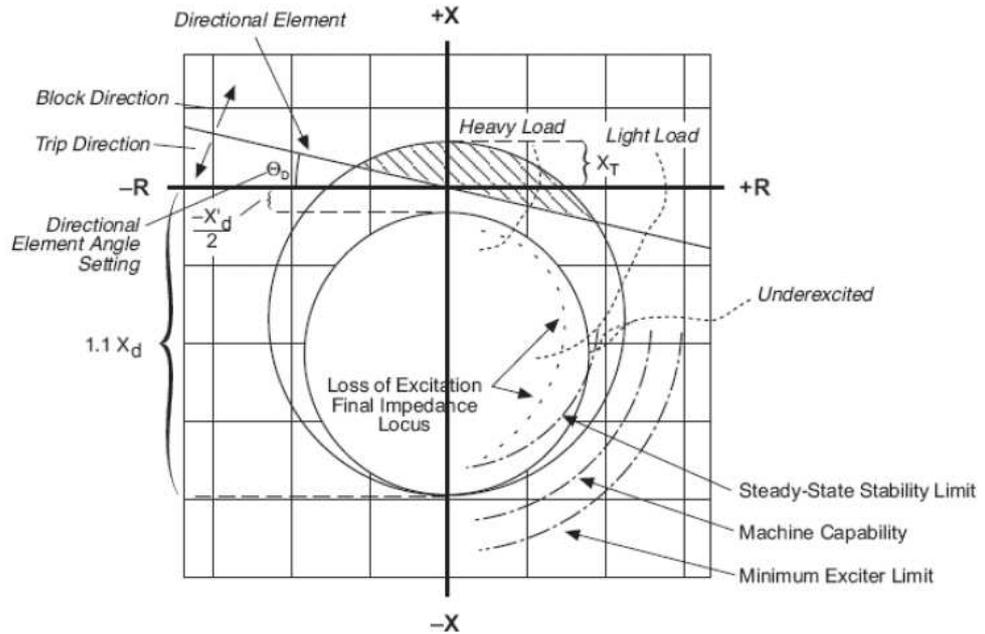
	ZONE 1	ZONE 2
Voltage Control Setting	N/A	80 to 90% of Nominal Voltage
Delay	15 Cycles	3600 Cycles
Delay with VC	Disable	60 Cycles



M-3425A 之失磁保護功能採結合 GE—兩保護區間之偏移姆歐圓(圖六)和 Westinghouse—含方向性元件之偏移姆歐圓(圖七)兩種保護方式,以和發電機之容量限制曲線達到最佳之協調。其第一個保護區間採偏移姆歐圓之失磁保護方式,圖六中較小之姆歐圓,針對嚴重發生失磁現象時快速跳脫;第二區間則採含方向性元件之阻抗圓延時跳脫,如圖七中較大之姆歐圓,該姆歐圓之設定需和發電機最小激磁限制曲線和穩態穩定度限制曲線協調,並避免在輕微欠激磁情形下動作。



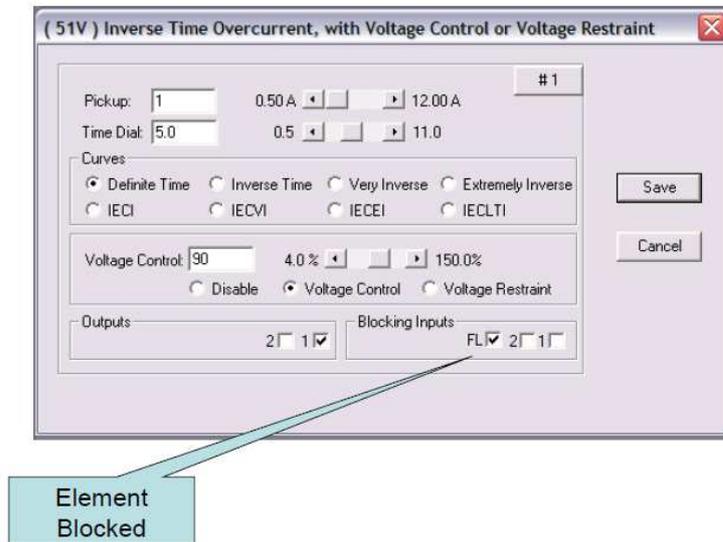
圖六 GE 之失磁保護方式



圖七 Westinghouse 之失磁保護方式

5. 比壓器異常保護(60FL-VT Fuse Loss)

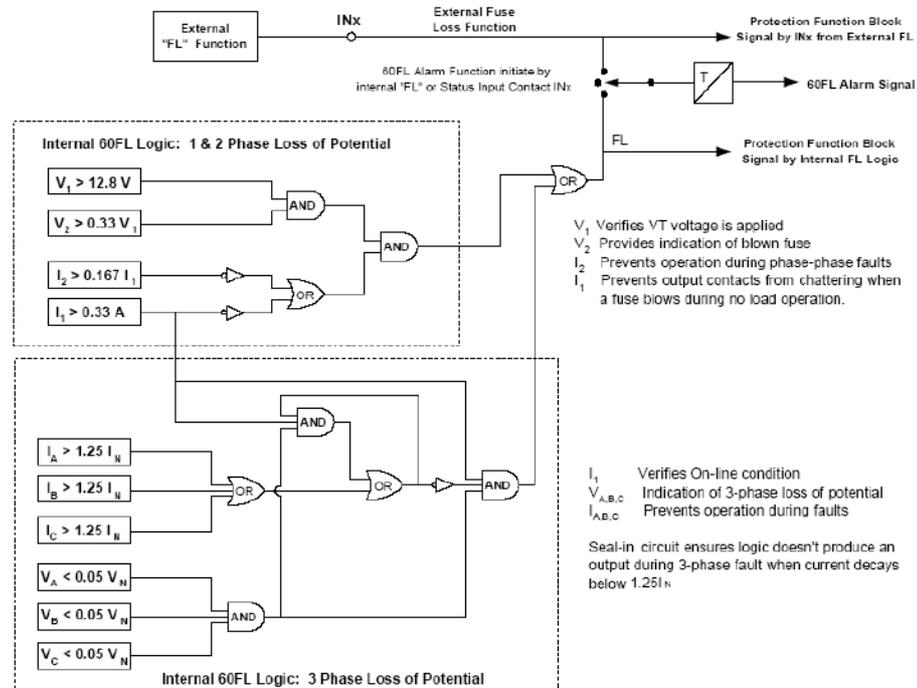
該保護元件可用於閉鎖任何電壓相關之保護元件或警報，如 51V (電壓抑制型之延時過電流保護)、21、27、32、67、78 及 81 等保護元件，如圖八所示。



圖八 FL 元件閉鎖 51V 保護元件之設定方式

一相或兩相 VT 異常可藉由比較對稱成分之電壓及電流來判別是否 VT 異常或故障，當偵測到負序電壓而無負序電流時，即代表 VT 有異常現象，若負序電壓及負序電流皆出現時，即表示有故障情形；

而三相 VT 異常則可藉由監視三相電壓及電流之變化來判別，當三相電壓及電流皆同時很小時即表示 VT 異常，但若當三相電壓降低而三相電流很大時即代表有故障情形，其判斷邏輯圖如圖九所示。



圖九 FL 判斷邏輯圖

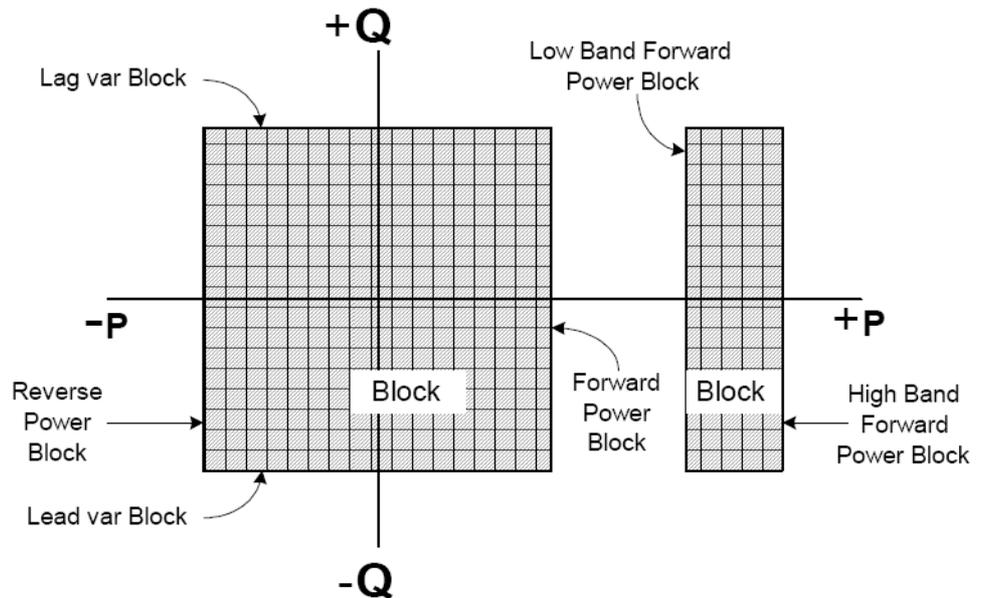
6. 中性點三次諧波欠電壓保護元件(27TN)

27TN 元件為中性點三次諧波欠電壓保護功能，可提供高阻抗接地發電機在中性點附近之定子接地故障保護。為提高 27TN 保護功能之安全性，M-3425A 電驛之 27TN 元件含兩種監視條件：其一為正序電壓欠壓元件監視功能(Pos. Seq. Voltage Block)，該功能是為了避免 27TN 元件在發電機尚未激磁或未同步運轉情況下動作；另一則是功率輸出監視功能，由於三次諧波電壓在輕載運轉情況下非常不明顯，如表一所示，三次諧波電壓隨著發電機功率輸出增大而增大。

UNIT LOAD		180 HZ RMS VOLTAGE		VOLTAGE RATIO
MW	MVAR	NEUTRAL	TERMINAL	TERMINAL/NEUTRAL
0	0	2.8	2.7	1.08
7	0	2.5	3.7	1.48
35	5	2.7	3.8	1.41
105	5	4.2	5.0	1.19
175	25	5.5	6.2	1.13
340	25	8.0	8.0	1.00

表一 三次諧波電壓和發電機輸出功率變化關係

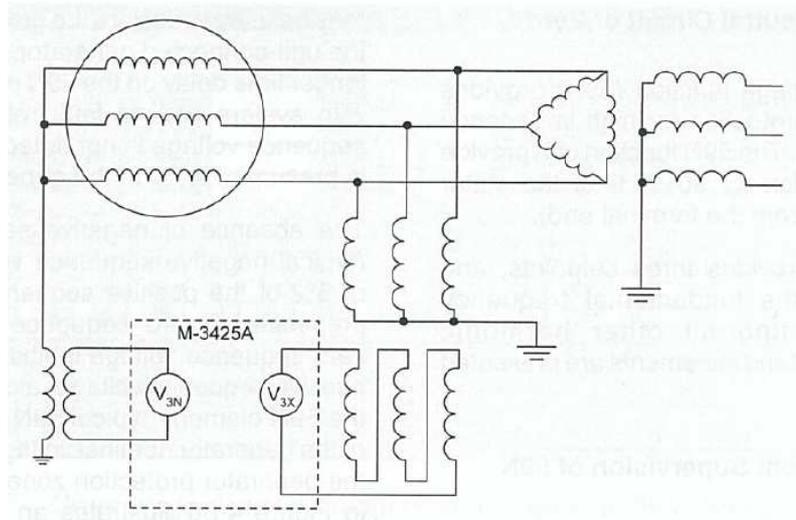
因此，為避免誤動作，亦可規劃在正向或反向低功率輸出及低功率因數時閉鎖 27TN 元件，如圖十所示。



圖十 27TN 元件閉鎖範圍

7. 三次諧波電壓比率保護元件(59D)

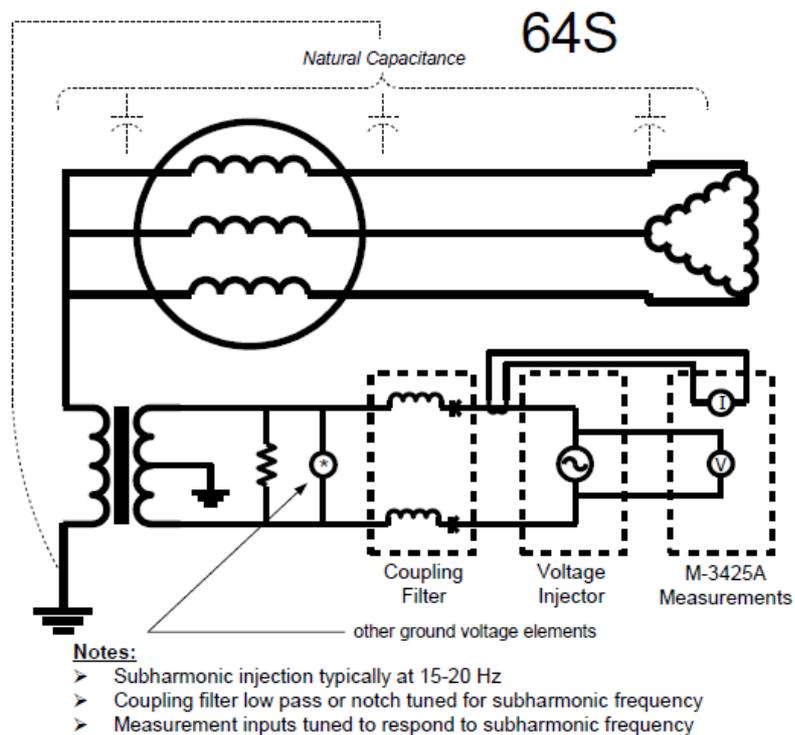
59D 為三次諧波電壓比率元件，藉由發電機端子處和中性點之三次諧波電壓比值($\frac{V_{X3rd}}{V_{N3rd}}$ 或 $\frac{3V_{03rd}}{V_{N3rd}}$)來判別定子繞阻是否發生故障，如圖十一所示，相關保護原理請詳參本文第肆章節所述。



圖十一 59D 元件保護接線圖

(二) 可選配性的保護功能—100%定子接地故障保護(64S)

M-3425A 之 64S 保護元件是外加電源型定子接地保護，藉由外部注入低頻交流電壓源(20Hz)的方式，偵測範圍包括發電機中性點在內的 100%定子繞組接地故障，當發電機定子繞阻中任何一處發生接地故障時，20 Hz 之電流將會上升，其保護方式及原理請詳參本文第肆章節，應用方式如圖十二所示，應用該保護功能則需加購三個配件，包括 20 Hz 信號產生器(430-00426)、帶通濾波器(430-00427)及 20 Hz 比流器(430-00428)。



圖十二 64S 元件保護應用圖

肆、發電機定子接地保護技術

隨著電力負載成長，發電機單機容量愈大，發電機組的角色也愈顯重要，它的安全運行與否直接影響到整個電力系統的穩定性，且大型發電機組結構較為複雜，一旦遭受損壞即需要長時間修復，將可能造成巨大的經濟損失。

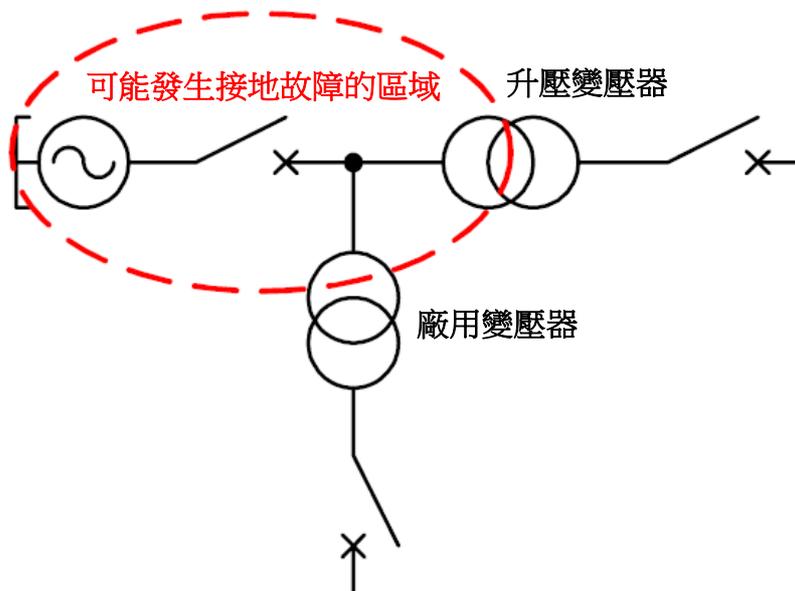
對發電機保護而言，發電機定子繞組單相接地故障是發電機最常見的一種故障，且往往是相間或是匝間短路故障的前兆。正常運轉情況下，發電機繞組對地是絕緣的，且為了確保發電機的安全，發電機的外殼及鐵芯都要接地，因此，當定子繞阻絕緣損壞時，就形成了單相接地故障。一般情況下，為抑制接地故障電流，發電機中性點大都採用高阻抗接地或不接地的方式，而隨著發電機容量不斷增大，定子繞阻的對地電容也隨之增加的情況下，當定子繞阻絕緣一點遭到損壞時，接地故障電流也相應隨之增大，此時，故障點的電弧將擴大機組絕緣損壞的範圍，可能會導致更嚴重的相間或是匝間短路故障，此將嚴重危及定子鐵芯的安全，因此，若能儘速偵測到定子繞組單相接地故障並迅速判斷出故障點，可大大降低更為嚴重的內部短路故障發生機率，同時減少停機時間，進而減少故障造成的經濟損失。因此，發電機保護系統之一重要任務即是擁有靈敏度較高的定子繞阻接地保護，能偵測到發電機定子繞阻 100%保護範圍的接地故障以減少對電力系統的衝擊，這也使得定子接地保護技術愈來愈重要。

一、發電機定子接地保護的基本要求

應用發電機定子接地保護時，應滿足下列三項基本要求：

- (一) 接地故障點電流不應超過規定的允許電流值，以確保定子鐵芯的安全。發電機的額定電壓愈大，安全電流愈小。
- (二) 保護區應函蓋整個定子繞組，且保護區內任一點接地都應有足夠高的靈敏度，即經一定阻值的過渡電阻接地，保護仍能正確地動作。
- (三) 暫態過電壓和工頻傳遞過電壓的數值不可威脅到發電機的安全運行。

圖十三為發電廠典型一次接線圖及發電機定子繞組可能發生接地故障的區域。



圖十三 發電廠典型一次接線圖

二、發電機定子接地保護方式

目前國內外現有的定子接地故障保護方法中，被實際廣泛應用的包括有零序電流型、基波零序電壓型、三次諧波電壓型及外加電源型定子接地保護等，其動作原理及保護方式分述如下：

(一) 零序電流型定子接地保護

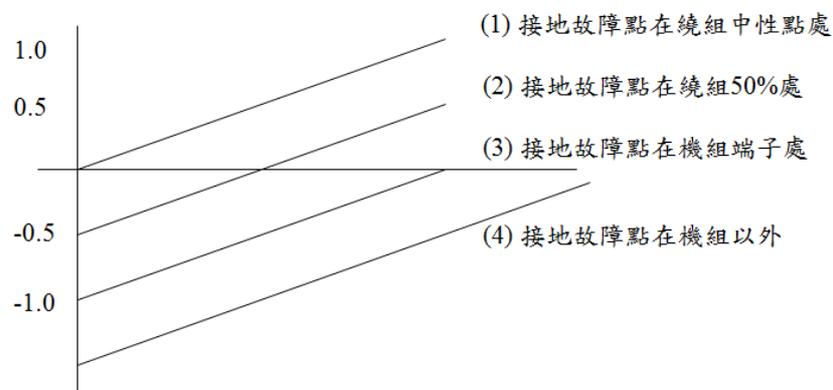
零序電流型定子接地保護是利用定子繞組單相接地故障時出現的零序電流來判別接地故障。應用該保護方式時，動作電流之設定值需能避開外部單相接地故障時所產生的過電流及發電機的電容電流，以及正常運轉時之不平衡電流值。然而，若單相接地故障是發生在發電機中性點附近時，因零序電流很小，此將出現保護死區而無法偵測到故障。

(二) 基波零序電壓型定子接地保護

基波零序電壓型定子接地保護是利用發電機端子處或繞組中性點處之零序電壓變化來偵測故障，其保護基本原理為發電機定子繞組發生接地故障時，機組端子處或繞組中性點處對地將產生零序電壓，保護裝置即是利用此零序電壓值的變化來偵測機組的接地故障。該保護方式可藉由發電機端子處之電壓互感

器開口三角形繞組接線引入零序電壓，但考量端子處電壓互感器一次側斷線和外部故障時端子處開口三角形繞組會產生零序電壓，該保護方式宜採用繞組中性點電壓互感器或中性點配電變壓器二次側的零序電壓來實現。

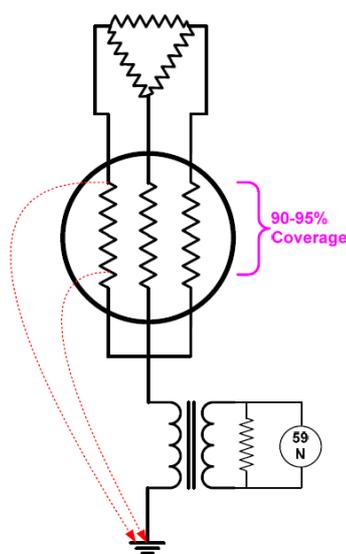
此種接地保護方式接線單純，容易執行，唯定子繞組發生接地故障時，所產生的零序電壓值會隨接地故障點而有所不同，當接地故障點發生在繞組中性點處時，繞組中性點之零序電壓值為 0 pu；而當故障點發生在機組端子處時，繞組中性點之零序電壓值則為 -1.0 pu，如圖十四所示。



故障地點	繞組中性點處零相電壓值(pu)	機組端子處零相電壓值(pu)
繞組中性點	0	1.0
繞組50%處	-0.5	0.5
機組端子	-1.0	0
外部接地故障	低於負值	負值

圖十四 定子繞組接地故障時零序電壓值與接地故障點之關係

因此，為了此種保護方式的可靠性與選擇性，該保護設備的動作電壓設定值除因需避開在正常運轉情況下之不平衡電壓(發電機三相繞組對地電容不完全對稱，正常時中性點即存在著位移電壓)，以及變壓器高壓側接地時在發電機端子處通過電容耦合所產生的零序電壓，亦受限於接地故障發生於繞組中性點處時，零相序電壓不明顯之影響，該保護方式將無法有效地保護到靠近中性點附近的繞組，故基波零序電壓型定子接地保護僅能保護發電機 90%~95%的定子繞組單相接地故障，如圖十五所示。

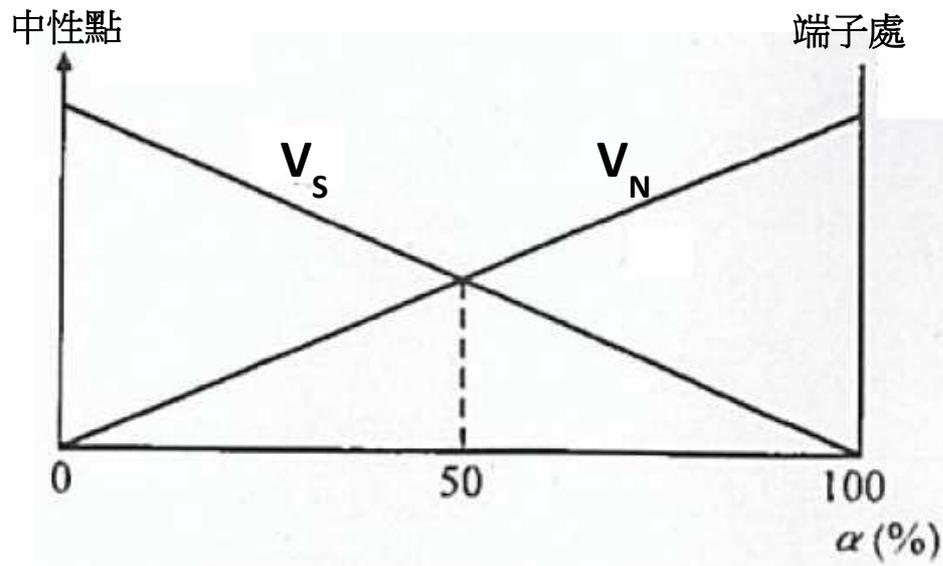


圖十五 零序電壓型定子接地保護範圍

(三) 三次諧波電壓型定子接地保護

三次諧波電壓型定子接地保護是利用定子繞組接地故障前後發電機端子處與定子繞組中性點處三次諧波電壓變化特點不同所構成的保護。由於發電機轉子氣隙磁場非正弦分佈，定子繞組感應的電壓除基波分量外，亦含有其它高次諧波，主要以三、五、七次諧波為主，但因這些高次諧波成分將使發電機三相電壓偏離正弦波形，因此發電機在製作過程中會使用各種方法來抑制這些諧波成分，而大部分情況下因三次諧波成分影響不大而不優先考量抑制，因此在發電機三相電壓的實測數據中，仍存在著或大或小的三次諧波成分。

在正常運轉情況下，發電機端子處的三次諧波電壓(V_S)小於中性點側的三次諧波電壓(V_N)，即 $V_S/V_N < 1$ ，且其兩側之三次諧波電壓相位角接近一致；而當發電機中性點附近發生接地故障時，端子處的三次諧波電壓(V_S)將增大，中性點三次諧波電壓(V_N)減小，此時 $V_S/V_N > 1$ ，其變化關係曲線如圖十六所示。圖中如依端子處的三次諧波電壓大於中性點三次諧波電壓時為動作條件，則理論上，該保護方式應可保護 50% 定子繞組，即保護區域為中性點側至線圈中部，可補償基波零序電壓型定子接地保護中 5%~10% 的保護死區。



圖十六 發電機定子繞組接地故障時中性點及端子處三次諧波電壓關係圖

此種依據發電機三次諧波電壓的特點所構成的保護方式在實際應用上仍存在下列幾項缺點：

1. 靈敏度不高：

此種保護方式的基本原理是藉由三次諧波電壓比值來做分析判斷，而三次諧波的產生，主要是由發電機內部結構所形成的，為發電機固有特性。然而隨著發電機製造技術的進步，三次諧波成份也隨著大幅降低，在電壓品質提高的同時，此種保護方式亦受到大大限制。

2. 僅能在發電機組運轉情況下發揮保護效果：

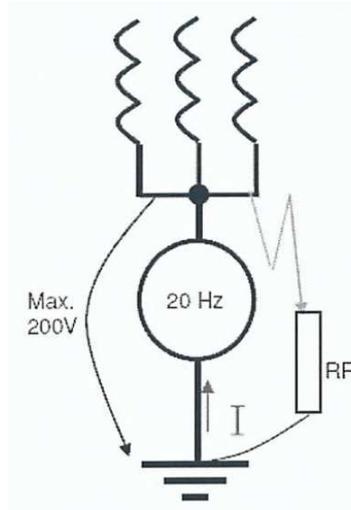
此問題仍是因此種保護方式需利用三次諧波的電壓值來做分析判斷，然而發電機組停機時，無三次諧波可做參考，因此無法對發電機定子繞組的絕緣情況進行即時偵測，此可能導致機組開始運轉後才發現絕緣不良的被動情況。

3. 顯示數據無法直接判斷：

在機組正常運轉情況下，僅藉由機組端子處和中性點的三次諧波是無法反映出定子繞組的絕緣狀態和變化趨勢，然而，對維護檢修工程師而言，一個明顯的變化數據卻是一項重要的參考資料。

(四) 外加電源型定子接地保護—20Hz 電壓注入式 100%定子接地保護

外加電源型定子接地保護是採用外部注入低頻交流電壓源(15~25Hz)的方式，偵測範圍包括發電機中性點在內的 100%定子繞組接地故障，圖十七為本保護之基本原理圖。



圖十七 外加電源型定子接地保護基本原理圖

圖十七中可瞭解外加電源型定子接地保護原理是在發電機定子繞組中性點和對地之間外加一 20Hz 的交流電壓源，該電壓幅值最大約為發電機額定電壓的 1%，當定子繞組中性點處發生接地故障時，20Hz 之交流電壓信號通過接地電阻將形成閉合環路產生 20Hz 的故障電流，保護裝置即藉由測量二次迴路的驅動電壓和故障電流，計算出接地迴路的電阻。

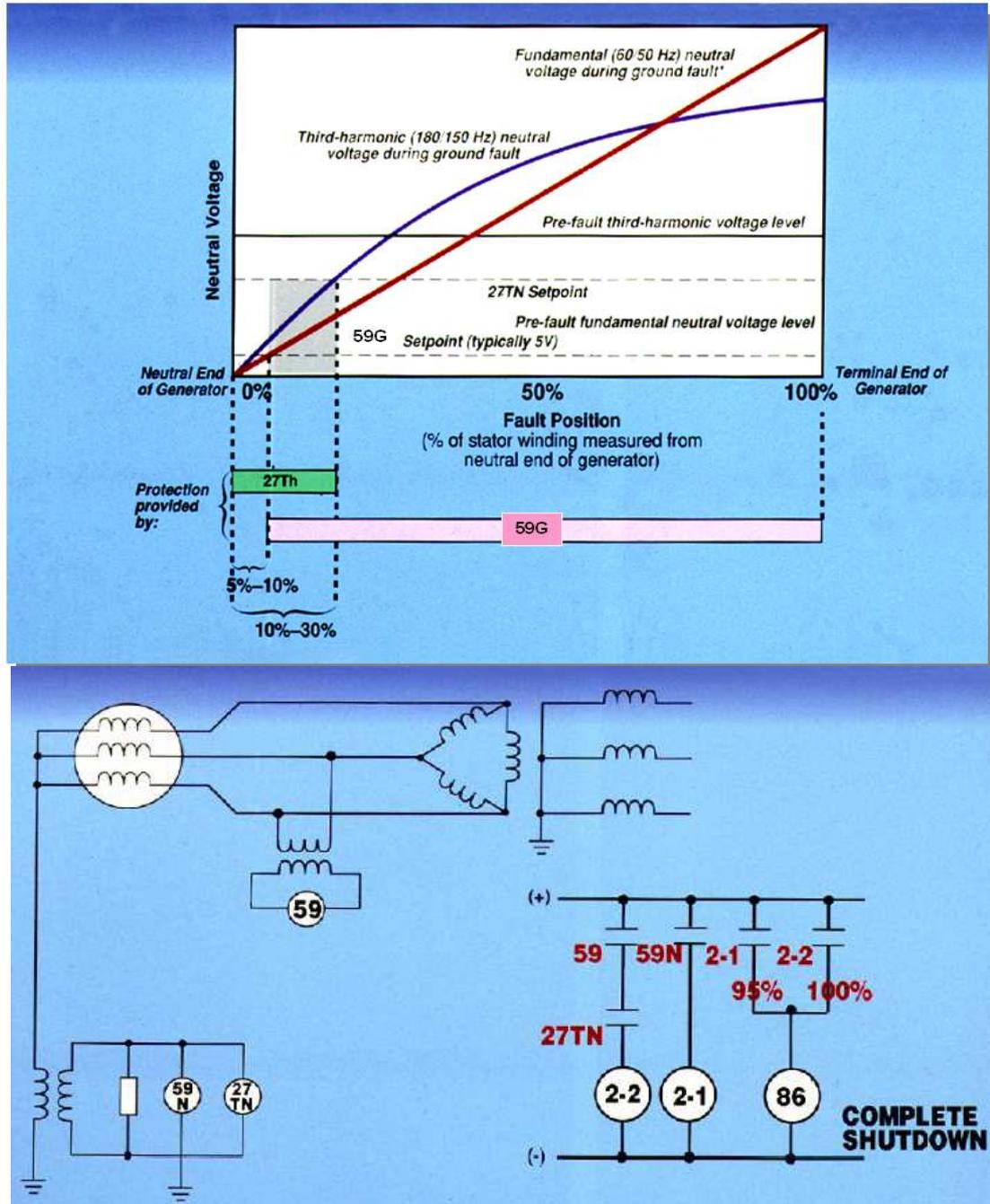
要實現此種保護方式需外加輔助設備，如圖十八所示。圖中可看出此種保護方式是藉由 20Hz 交流電壓源產生一方波電壓，通過帶通濾波器後，方波電壓注入到接地變壓器或中性點變壓器的二次側負載電阻。此帶通濾波器之作用是

綜上所述，外加電源型定子接地保護方式具有下列幾項特點：

1. 保護範圍為 100% 定子繞組。
2. 不受限於定子繞組接地故障位置，定子繞組各處皆具有相同的保護靈敏度。
3. 機組正常運行或震盪異常時皆不會影響接地故障電阻值的計算。保護不受發電機運行狀況影響，亦即在發電機靜止、起停過程、空載或併網運轉等各種情況下，此種保護均能正常工作。
4. 可監視定子繞阻絕緣的緩慢變化。

三、發電機定子接地保護方案

傳統一般 100%定子接地保護方案大都採用「基波零序電壓(59N 或 59G)+三次諧波電壓(27TN)」之保護方式，如圖十九所示。



圖十九 「基波零序電壓(59N)+三次諧波電壓(27TN)」之 100%定子接地保護方式

該保護方案中「基波零序電壓(59N)」可實現 90%~95%定子繞阻接地故障，「三次諧波電壓(27TN)」則可偵測發電機中性點附近 5%~10%定子繞阻接地故障，兩者保

護方式結合將可構成 100%定子接地故障保護。而該傳統 100%定子接地故障保護方式目前技術雖已成熟且易於實現，但仍存在些許不足之處，包括有：

- (一) 發電機靜止或未加勵磁狀態下，無法實現此種保護方式。
- (二) 三次諧波電壓受發電機運轉狀況影響，存在一定波動範圍，影響了保護靈敏度。
- (三) 發電機組因受設計、製造或安裝等因素影響，正常運轉情況時，定子繞阻的三次諧波很小，使得三次諧波型定子接地保護的靈敏度和可靠性受到影響。

而隨著近年來電力負載逐年增加，大型機組不斷湧現，加上為能達到發電機在無勵磁狀態下仍具有定子絕緣檢測功能，上述傳統 100%定子接地保護已未能滿足要求，因此，外加電源型定子接地保護方式即開始在國內外推廣應用，但外加電源型定子接地保護的靈敏度與發電機中性點接地設備的參數密切相關，一次設備的參數若設置不當，將會影響外加電源型定子接地保護功能，兩者存在著配合問題。舉例而言，當電源輸出端接到配電變壓器負載電阻時，負載電阻阻值若太小，電源輸出端近似短路，外加電源之輸入測量信號也相對變得非常小，將達不到保護精度之要求，而影響到外加電源型定子接地保護之實現。除此之外，外加電源型定子接地保護為確保電流信號能準確量測，必須採用高性能之硬體設備及補償技術，以減少測量誤差影響保護功能。

綜上所述，在實際規劃發電機定子接地保護方案時，我們可採兩套保護方式，一套為外加電源型定子接地保護方式，一套為傳統定子接地保護(基波零序電壓+三次諧波電壓)。外加電源型定子接地保護可彌補傳統保護方式無法在發電機靜止或起停機時監测定子繞阻絕緣狀態的不足；而當發電機運轉時，亦可藉由不同保護原理(外加電源式、基波、三次諧波)相互印證，且即使在外加電源型定子接地保護的輔助電源異常時，定子繞阻仍具有 80%左右範圍之雙重化接地保護功能。

伍、心得與建議：

心得：

感謝公司長官給予此次出國研習之機會，除了可實地造訪美國 BECKWITH 公司，與其工程師當面研討及交流發電機保護應用技術外，更可深入了解其發電機保護電驛(M-3425A)之應用方式及其電驛產品製造流程，並感受不同國家工程師文化之差異，深信此行對未來在工作及生活上都有很大的助益，我也很樂意將此行所見所學，與公司各位長官及同仁分享。

由於發電機受機械結構、內部參數等影響，機電暫態過程和電磁暫態過程複雜，加上各種故障類型多，相較於其它電力設備而言，發電機相關保護原理及應用也較為不易。因此，身為工程師的我們，必須先能深入瞭解發電機之構造、特性及原理，才能對症下藥，規劃出完善的保護方案，並需依每一發電機之特性、容量曲線及相關參數等進行保護電驛規劃設計及標置設定計算，使發電機發生故障時，能快速及正確地檢測出故障並將其隔離和解決問題，達到最佳保護效能。傳統電磁式發電機保護電驛的設計，多為單一功能性，而現今新型數位式發電機保護電驛則為多功能性，能將發電機整體設備中各部位保護元件整合於一體，並可結合通訊及網路功能，隨著發電機本身製造技術及發電機保護相關應用技術不斷精進改良下，吸收各國不同發電機保護應用技術和學習不同廠家之數位式發電機保護電驛則為一重要課題。

建議：

- 1). 隨著發電機保護電驛陸續汰換為數位式保護電驛後，可藉由數位式電驛事故波形紀錄及表計等附加功能，將保護電驛之運行

紀錄和事故波形數據結合，累積及分析發電機正常運轉、短路試驗、異常和故障等各種情況之電壓、電流等資訊，適時依實際運轉情形進一步調整保護電驛標置設定值，以提高相應保護元件動作之選擇性、可靠性及靈敏性。

- 2). 發電機保護應用技術日新月異，各國廠家生產之保護電驛亦各有其可取學習之處，期望公司能繼續派員出國參加相關保護電驛技術研討會及赴電驛廠家製造廠學習觀摩，並與各國工程師互相交流技術意見，俾利台電供電系統更加穩定安全可靠。

參考資料

- [1] M-3425A Generator Protection Instruction Book.
- [2] “20Hz 外加電源式 100% 定子接地保護在 600MW 機組上的應用” 趙鈞儒
- [3] “淺析發電機定子接地保護動作的原因及處理” 王立文
- [4] “大型發電機組定子和轉子的靈敏接地保護技術” 高迪軍
- [5] 中國電機工程學報 “基於接地電流的大型發電機定子接地保護及精確定位方法” 王育學、尹項根、張哲、李振興、袁藝