

# 母線電驛汰換工作實例

台電電力調度處

張永榮

## 壹、前言

花蓮地區共有大小水力發電廠計十座，受到河川短小峻急特色的影響，故平均發電量僅及九萬瓩。近些年來，由於人口增加，工商業發達，每到夏季，轄區供電尖峰負載節節攀升，用電量需求已高達 27 萬瓩，可見供電情況嚴重不足。雖有南迴 161KV 輸電線路的補給，但東部系統供電還是無法滿足，就像走在鋼索上非常危險。幸好 345KV 東西幹線的超高壓輸電線路即時完成，分別由西部的大觀及明潭發電廠送到東部的鳳林超高壓變電所，解決東部系統供電上的窘境。但在提高供電能力的同時，如何加強電驛保護功能，提高電驛品質也是非常重要的課題。因此，對於系統上一些老舊的電驛，必須予以汰舊換新，以利系統正常保護是件

刻不容緩的事。

銅門發電廠原使用母線電驛的型式為 CD-EBD 6，是日本東芝公司製造，屬於差動過電流電驛，因使用年代已久，就成為我們這次優先考慮汰換的目標。該電驛裝設在空間狹小的電驛室內，要進行電驛汰舊換新，是件困難又吃重的工作。所以事前的工程規劃、磋商是有必要的。在不影響供電安全的需求情況下，母線電驛不能閉鎖太久，更要求在零事故、零傷害的條件下，將工作圓滿達成，這必須要靠大家共同的努力。

## 貳、環境介紹

秀林鄉是花蓮縣境內最大的一個鄉鎮，以出產大理石而聞名，東西橫貫公路與蘇花公路就從本鄉經過。我們沿台九號公路南

下，離花蓮市約 12 公里處，來到仁壽橋頭。是吉安、秀林、和壽豐三鄉的交會處，橫跨在木瓜溪上，榕樹和初英發電廠就在橋頭邊。再沿公路南下，看到鯉魚山下的鯉魚潭，湖水清澈見底，可划船、戲水、垂釣和露營，並有環湖公路環繞四周，附近商店林立，是最佳的旅遊勝地。由仁壽橋頭往右手邊前行約四公里，就可來到銅門發電廠，這是本次進行母線電驛汰換的地方。

銅門電廠是早期台灣東西部輸電線路聯絡樞紐，目前有三部發電機組，裝置容量各為七瓩，在民國 44 年先後重建完成併聯運轉。該廠母線設計為單母線排列，構造簡單、成本低廉、故障機率較小以及維護容易等為其最大優點。但唯一缺點就是運轉較不靈活，這是魚與熊掌不可兼得的緣故。依目前電廠設備而言，平日最大負載約為 23MW，銅門電廠主變壓器使用 30 歐姆電抗接地方式。對設備單相接地及三相短路故障電流大小資料的收集，可提供母線電驛保護設計參考，對母線電驛操作和運轉有很大幫助。

### 參、母線電驛動作探討

銅門電廠近些年來母線電驛動作情況如下：

- 一、民國 74 年 8 月 14 日雷雨交加，引起母線電驛動作事故。
- 二、民國 83 年 7 月 10 日颱風，疑似瞬間外物碰觸，引起銅門電廠母線電驛動作。經查比流器及電纜絕緣電阻測試均屬正常，有關電驛功能測試亦屬正常。
- 三、民國 84 年 4 月 8 日因萬大與銅門間線路事故，引起銅門電廠母線電驛誤動作，依當時事故研判，可能發生的原因有下面三點：

1. 疑是線路故障時，引起比流起器飽和現象，造成母線電驛誤動作。

改善方法為：儘量將比流器繞組全部納入使用範圍（To use full tap winding），將可減少飽和（Saturation）方面問題。故 CT 比值從原來使用的 400/5，提高為 1200/5（最大匝比），所有繞組全部納入使用。

2. 經查#680（清流線）母線保護電驛所用的比流器是與資訊設備共用同一組比流器，這對比流器而言，將增加不必要負荷(Burden)。

改善方法為：將母線電驛與資訊設備分開使用個別比流器。

3. #610 萬大甲線、#620 萬大乙線、#660 清水線所使用的母線 CT 組，由於其比

值不匹配，故加裝補助比流器來達成。

改善方法為：直接選用所需要的 CT 比流器相配合，儘量減少使用補助 CT。

經過以上三點的改善，對母線電驛保護的提昇將有莫大助益。

#### 肆、匯流排設備

匯流排簡稱為母線(BUS)，它是電力進出(集散)的所在，連接電源、電網、負載於一點，在發變電設備中佔有極重要角色。一般把它放置在開關場，其良莠將直接影響供電的可靠性。通常母線使用銅(Cu)或鋁(Al)做為材質。應用其電阻最小的特性，做為傳導電流線路上的連接。銅的優點在導電率高，機械力強，耐腐性佳。不過近年來電力公司常用鋁管來做母線材質，其優點為價格低廉，弛張度大，不容易產生電暈現象，運轉和維護較為方便，重量也較輕。

現將兩者材質在 20°C 時來做一比較，銅的體積電阻係數為  $1.72 \mu \Omega \text{cm}$ 。鋁的體積電阻係數為  $2.75 \mu \Omega \text{cm}$ 。其值均遠低於其它金屬係數。匯流排導體的構成，一般以絞線、帶、管、棒為最常見。通常匯流排配置方式，可以區分為下面七種型態：

1.單匯流排 (Single Bus)：適用於線路較

少的小型發電廠、變電所。

2.主副匯流排 (Main and Transfer Bus)：一側裝斷路器屬主匯流排，另側裝空斷開關屬副匯流排。平常供電置於主匯流排，遇特殊送電狀況置於副匯流排。

3.雙匯流排 (Double Bus)：匯流排無主副之分，可並聯、分開或互換運轉操作。

4.雙匯流排雙斷路器 (Double Bus Double Breaker)：操作靈活、維護容易。

5.雙匯流排一個半斷路器 (Breaker-and-a-half Bus)：兼具雙匯流排雙斷路器優點，可減少斷路器數量。

6.曲折匯流排 (Zig Zag Bus)：適用於線路較多的重要發電廠、變電所。

7.環狀匯流排 (Ring Bus)：由多個斷路器分隔成數段匯流排。

我們對匯流排的選擇與在設備中應注意事項說明如下：

1.當點檢、維護、或故障時，對設備的使用與隔離，以選擇較容易和方便為主要考慮。

2.匯流排配置應盡量力求簡單化，

3.選擇可縮短停電時間，以確保系統安全與可靠的匯流排裝置。

4.有互換性，運轉操作較靈活的匯流排。

5.經濟效率的考量。

## 伍、母線保護原理

發電機、變壓器、母線、線路等的差動保護方式，其基本概念是相同的，但在保護上各具其特色。當母線事故時，其影響是深遠而長久，母線電驛必須瞬間將所有連接在母線上的斷路器全部予以跳脫，以有效隔離故障點。但母線電驛也有脆弱的一面，母線電驛用比流器比值要相同，特性要一致，其位置不能距離太遠等，否則會造成電阻值的不相匹配，甚而引起漏電電流所產生的誤差，造成母線電驛誤動作。

母線保護不同與其它電驛保護，其主要特色說明如下：

- 1.母線為系統的主要組成，各電力設備進出的中繼站。
- 2.由於進出數目多，所產生的影響也大。
- 3.各回路母線所用的 CT 比值要一致。
- 4.當母線發生故障時，容易引起重大電力事故。
- 5.最怕誤動作發生，是其最大致命傷。

依圖一所示，這是最簡單的匯流排差動電驛保護單線圖，假設所有 CT 比值均相同，極性亦相同，且是理想的 CT 組， $I_5$  與  $I_6$  表示流進母線的電流， $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_4$ 、 $I_7$  為流出母線的電流，依據差動電驛保護原理所

知，在正常情況下就母線而言，流入與流出的電流應相等，無差電流產生，故母線電驛不會動作。

依公式表示：

$$\text{流入電流} = I_5 + I_6 = 500 + 600 = 1100\text{A}$$

$$\begin{aligned} \text{流出電流} &= I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_7 \\ &= 100 + 200 + 300 + 400 + 100 = 1100\text{A} \end{aligned}$$

當匯流排上發生故障時，這時所有電流均流向故障點，進出電流不再保持平衡。當通過母線故障電流，達到電驛所設定的標置 (Tap) 時，母線電驛立即動作，並跳脫所有在匯流排上的斷路器，用以將事故做迅速隔離。

## 陸、汰換更新工作

由母線三相短路故障電流計算得知，當 161KV 母線故障時，短路容量若超過 40KA 時，會產生 CT 飽和問題，易引起母線電驛誤動作現象。

同理在 69KV 母線電驛保護亦會發生。故解決之道是將母線電驛改用 PVD 型電驛，已克服比流器飽和的問題。

我們建議銅門電廠改採美國 GE 公司出廠之 PVD 21 型電驛，是屬於一種高阻抗型差動電驛(High Impedance Differential Relay)，

爲一單相設計、高速度、高阻抗的電壓工作電驛，其阻抗值爲 1500 歐姆。它將可解決因外部事故時，比流器飽和所產生的問題。由保護電驛內部圖(如圖二所示)觀察，其組成元件包括：高阻抗元件、過電流元件、濾波器和過電壓抑制器，我們可由下面公式加以應用之。

$$V_R = KI_f (R_S + R_L)$$

$V_R$  表示電壓元件的設定值

$K$  表示係數

$R_S$  表示 CT 二次側繞組值

$R_L$  表示連結點與最遠距離 CT 間的電阻值

$I_f$  表示最大外部故障電流

### 柒、工程進行及困難克服

記得民國 84 年 4 月於台中火力發電廠，在分割 1 號和 3 號母線時，因承包商施工不慎，誤觸正常供電中的 2 號和 4 號母線，使得該廠母線保護電驛動作，引起電廠發電機組全部跳脫的“慘劇”，系統忽然間短少 200 萬瓩，全省 50 萬用戶受到波及。由於有前車之鑑，故只要提到母線保護電驛工作，大家就顯得格外小心謹慎。

這件汰換工程，比起 20 多年前的連體

嬰忠仁、忠義分割手術還要困難，主要原因在銅門電廠設備老舊，電驛室空間狹窄，無法容納新盤面，所以只好就地更換電驛（亦即舊盤面換裝新電驛使用），施工起來格外困難。因爲母線電驛屬重要系統保護，不能閉鎖太久，需要在極短時間內將它完成。

電驛在拆卸的過程中，要顧慮運轉保護功能。老電廠舊圖面，控制盤接線圖僅能提供參考用，所有接線與盤面間往來，需親自動手釐清其間關係，一切以人機安全爲首要考慮，絲毫大意不得。每位施工者皆全心投入積極參與，因爲這是一件辛苦又具挑戰性的工作。

### 一、準備工作

1. 首先將新、舊圖面做一比較，進行一番瞭解。
2. 將導線標籤、線色及線號記錄下來，以利工作進行。
3. PVD 單體電驛特性試驗，可事先將其完成。
4. 有關母線電驛操作和相關工作程序書，可事前書寫妥當。
5. 母線在未改接前，先完成舊有設備負載值測試，並留一份存底，以利往後工作時的研判。

### 二、施工進行

1. 將母線電驛用 43L.S 閉鎖，並將電驛之 Plug 抽出。
2. 將母線電驛用之 PK-2 全部抽出（共 8 回路），主要目的使 CT 一次側電流在 PK-2 前端被短路，不會有電流進入到母線電驛側，以利電驛汰換工作可以在不停電情況下順利的進行。
3. 將連接到現場斷路器的跳脫回路“T”（Trip CKT）拆除（參看圖三所示）。
4. 母線電驛所用的 DC 電源，需由 NFB（無熔絲斷路器）獨立提供。
5. 原僅由 # 640 銅花乙線並聯提供之“P”電源，如今改由各回路提供本身之“P”電源（參看圖四所示）。
6. 拆除舊有電驛箱體（Case），另測量尺寸大小，鑽孔、配線、施工換裝為新電驛箱體。
7. 完成電驛各點的 CT 回路配線工作。
8. 完成電驛各點的 DC 回路配線工作。
9. 詳細校核各點接線，並將導線標籤貼妥。

## 捌、各項功能測試

### 一、CT 回路測試（視工作需要進行）

#### 1. 母線電驛需閉鎖。

2. 將母線用之 CT 接線拆除。
3. 利用 DC 500V 之高阻計測量各回路母線電驛用之 CT'S，開路時對地絕緣值應在  $1M\Omega$  以上始正常。
4. 測量各回路 CT'S 之短路值，應在  $5\Omega$  以下正常（該值隨使用線徑、距離遠近有關）。
5. 測試完畢後，將拆除中的接線復原。
6. 母線電驛之 CT 二次測僅在電驛盤面處一點接地，不能有兩點接地存在。
7. 測試 CT 回路對地之感應電壓值，可列為維護時參考用。

## 二、特性試驗

### 1. 電驛標置

CT：1200/5；電壓 75V；電流 3A。

請按照廠商所提供說明書指示，將標置放置妥當。

A. 在電驛中央靠左處，為 87L Voltage Range Selection（參看圖五所示、87L 位置圖）其 Link position：

若置 High 處，為 200V 至 500V Voltages Range；若置 Low 處，為 75V 至 200V Voltages Range。今電驛標置值為 75V，故接線應置於左邊 Low 處。

B. 在電驛中央靠右處，為 87H Current Range Selection（參看圖六所示、87H

位置圖)其 Link position: 若置 High 處, 為 10 至 50 Amperes Range (50Amp 為 Max); 若置 Low 處, 為 2 至 10 Amperes Range (2Amp 為 Min)。

今電驛標置提供值為 3A, 故接線應置放在下邊 Low 處。

## 2. 電流特性試驗

參看(圖二 PVD 內部接線圖)所示, 電流接線為 3 腳與 4 腳, 電驛動作接點在 9 腳與 10 腳, 另將 5 腳與 6 腳連接起來完成測試回路。即 87H 為 5-6 Jump,  $I_{3-4} = 3A$  (Low Setting), ICS 置於 2 處。

## 3. 電壓特性試驗

參看(圖二 PVD 內部接線圖)所示, 電壓接線為 5 腳與 6 腳, 電驛動作接點在 1 腳與 2 腳。即 87L 為  $V_{5-6} = 75v$  (Low Setting)。

## 4. 如何調整電流和電壓大小

參看(圖七電壓與電流調整位置), 在圖右上角處有一個螺柱型, 可調整電流大小。圖中間處有個黑色旋鈕, 可做為電壓大小調整。依電驛標置, 我們適時做一正確調整, 可得到所需要的電驛標置值。

## 三、模擬負載和跳脫試驗

1. 到現場斷路器之“T”拆除(共 8 回路), 並測試各回路 CB 投入時, 由現場回來之“T”點電壓(如圖八所示、各點 DC 對地電壓值)。
2. 由各回路提供之“P”電源, 並測試各回路之“P”電壓值(如圖九所示各點 DC 對地電壓值)。
3. 圖十與圖十一、分別為外部 AC 及 DC 連接圖。
4. 使用儀器, 提供 1A 電流, 由 CT 之 PK-2 上方端子分別加入 R、S、T 相(當時所有 CT 母線電驛用之 PK-2 均在抽出狀態)。
5. 43 L.S 置於 ON 處, 使用鉤表測試 PVD 電驛之 R、S、T 各相電流, 均有 1A 電流出現。
6. 使用儀器提供 3A 以上電流(超過電驛設定標置值), 由 CT 之 PK-2 上方端子分別加入 R 相。(S 相、T 相試驗方法相同)。
  - A. PVD 電驛動作(當 43 L.S ON 時), 動作 86 Aux Ry, 測得到現場斷路器之 T 點有“+”電壓, 如圖三所示(當時到現場斷路器之“T”回路拆除中)。
  - B. 測量拆除中之“T”電壓為負”

值，如圖八所示。

7.以上模擬負載試驗和跳脫回路均屬正常。

#### 四、負載試驗

1.需將 PVD 電驛用之 Plug 抽出，43 L.S 置於 ON 位置處。

(參考圖十所示)

2.母線電驛汰換工作完成後，需做下面三種情況的負載試驗 (Load Test)。

Case I :

PK-2 only ON ,CT 比值=1200/5

BRK	線路名稱	R $\phi$	S $\phi$	T $\phi$	Load (A)
610	萬大甲	0.25 <sup>a</sup> $\angle 224^\circ$	0.25 <sup>a</sup> $\angle 104^\circ$	0.26 <sup>a</sup> $\angle 344^\circ$	60
620	萬大乙	0.22 <sup>a</sup> $\angle 224^\circ$	0.22 <sup>a</sup> $\angle 105^\circ$	0.24 <sup>a</sup> $\angle 344^\circ$	53
630	花蓮甲	0.48 <sup>a</sup> $\angle 46^\circ$	0.46 <sup>a</sup> $\angle 286^\circ$	0.46 <sup>a</sup> $\angle 166^\circ$	118
640	花蓮乙	0.46 <sup>a</sup> $\angle 51^\circ$	0.46 <sup>a</sup> $\angle 291^\circ$	0.45 <sup>a</sup> $\angle 170^\circ$	118
650	銅門	0.64 <sup>a</sup> $\angle 244^\circ$	0.65 <sup>a</sup> $\angle 124^\circ$	0.63 <sup>a</sup> $\angle 4^\circ$	160
660	清水	0.18 <sup>a</sup> $\angle 235^\circ$	0.18 <sup>a</sup> $\angle 116^\circ$	0.19 <sup>a</sup> $\angle 356^\circ$	45
670	花東	0.41 <sup>a</sup> $\angle 78^\circ$	0.41 <sup>a</sup> $\angle 320^\circ$	0.41 <sup>a</sup> $\angle 200^\circ$	98
680	清流	0.1 <sup>a</sup> $\angle 204^\circ$	0.1 <sup>a</sup> $\angle 85^\circ$	0.1 <sup>a</sup> $\angle 325^\circ$	24

Case II :

PK-2 only OFF CT 比值=1200/5

C.B.	線路名稱	R $\phi$	S $\phi$	T $\phi$	Load (A)
610	萬大甲	0.2a $\angle 43^\circ$	0.2a $\angle 283^\circ$	0.2a $\angle 164^\circ$	48
620	萬大乙	0.2a $\angle 43^\circ$	0.2a $\angle 282^\circ$	0.2a $\angle 163^\circ$	52
630	花蓮甲	0.49a $\angle 226^\circ$	0.48a $\angle 105^\circ$	0.49a $\angle 346^\circ$	118
640	花蓮乙	0.49a $\angle 230^\circ$	0.48a $\angle 110^\circ$	0.49a $\angle 350^\circ$	118
650	銅門	0.67a $\angle 65^\circ$	0.67a $\angle 303^\circ$	0.65a $\angle 183^\circ$	160
660	清水	0.18a $\angle 55^\circ$	0.18a $\angle 296^\circ$	0.19a $\angle 176^\circ$	45
670	花東	0.41a $\angle 258^\circ$	0.4a $\angle 141^\circ$	0.41a $\angle 21^\circ$	98
680	清流	0.1a $\angle 24^\circ$	0.1a $\angle 264^\circ$	0.1a $\angle 144^\circ$	24

Case III: PK-2 All ON

相別	R $\phi$	S $\phi$	T $\phi$
電流	0	0	0

3.母線用 CT 比值為 1200/5，實際負載與實測電流值的相互校正，是否正確。例如：萬大甲線 # 610，當時實際負載由電錶盤指示為 60A，則  $R \phi = \text{實際負載} / \text{CT 比值} = 60 / 1200 / 5 = 0.25 \text{ A}$ ，與實測之電流值相同。



4.通常變電所在 161KV 及 69 KV 採用雙匯流排，即 #1 和 #2 母線用 Tie 斷路器做為連絡，故一段匯流排用一組母線保護，其基本原理與單匯流排母線保護相同。我們舉一反三對母線的保護當可運用自如。

#### 五、復原工作

- 1.將原先拆除的“T”回路，全部復原使用。
- 2.將母線用 PK-2 全部插入，用迴紋針插入洞孔使其固定。
- 3.電驛盒蓋（case）蓋上，查看電驛指示器，不要有掉牌出現，否則須復歸。
- 4.母線電驛在操作程序上，有很嚴格規定。如何施工、運轉、維護，在調度規則中均有詳細記載。故母線汰換工程完成後需會同值班主任共同巡視一遍，將所完成工作做一清楚的說明與交代。

最後請值班主任將 43 L.S 正式復原使用。

#### 玖、心得與感想

今年 729 龍崎至嘉民超高壓的鐵塔倒塌，造成全省大停電的陰影還未退除。緊接著又發生 921 大地震，為台灣百年來最大天

中華民國八十八年十二月

然災害。天搖地動破壞全台供電系統，帶給台灣科技產業一次重大打擊，在搶修的過程中，歷經斷電、跳電、缺電、限電、使民眾生活頗感不便。

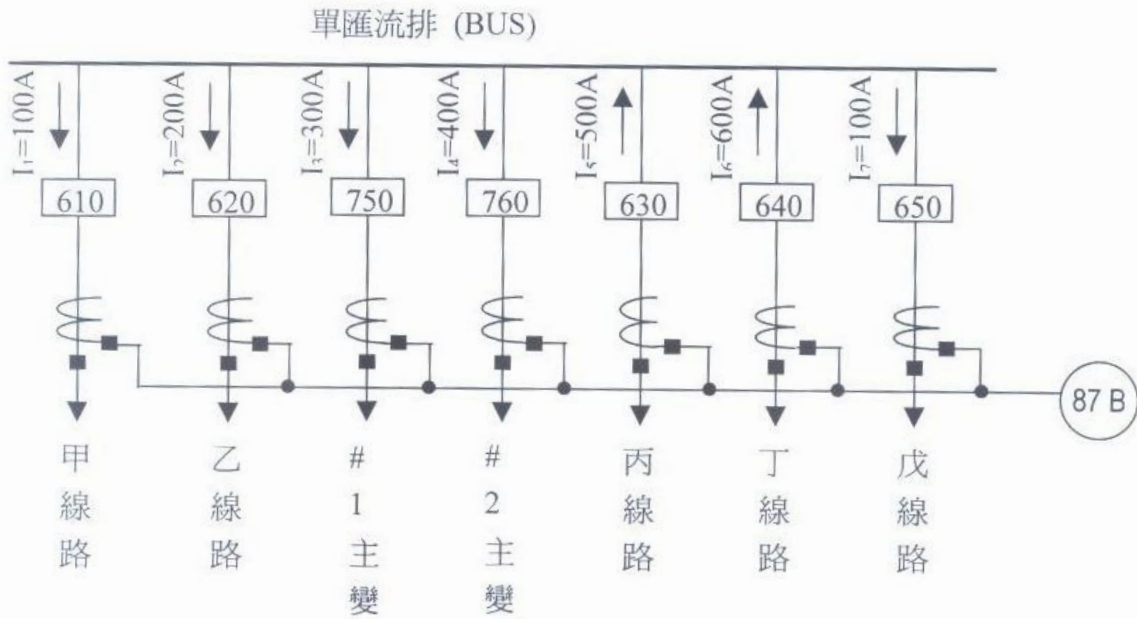
台電設備損失初估就超過百億元以上，療傷期可達數年之久，對電力事業將造成無法彌補的傷痛。

從這次的母線汰換工程，我們學習到一次最寶貴的經驗，值得提出來與大家分享。對未來災後重建工作，不論是保護電驛的汰換、新增、擴建、改善，將會有莫大助益。

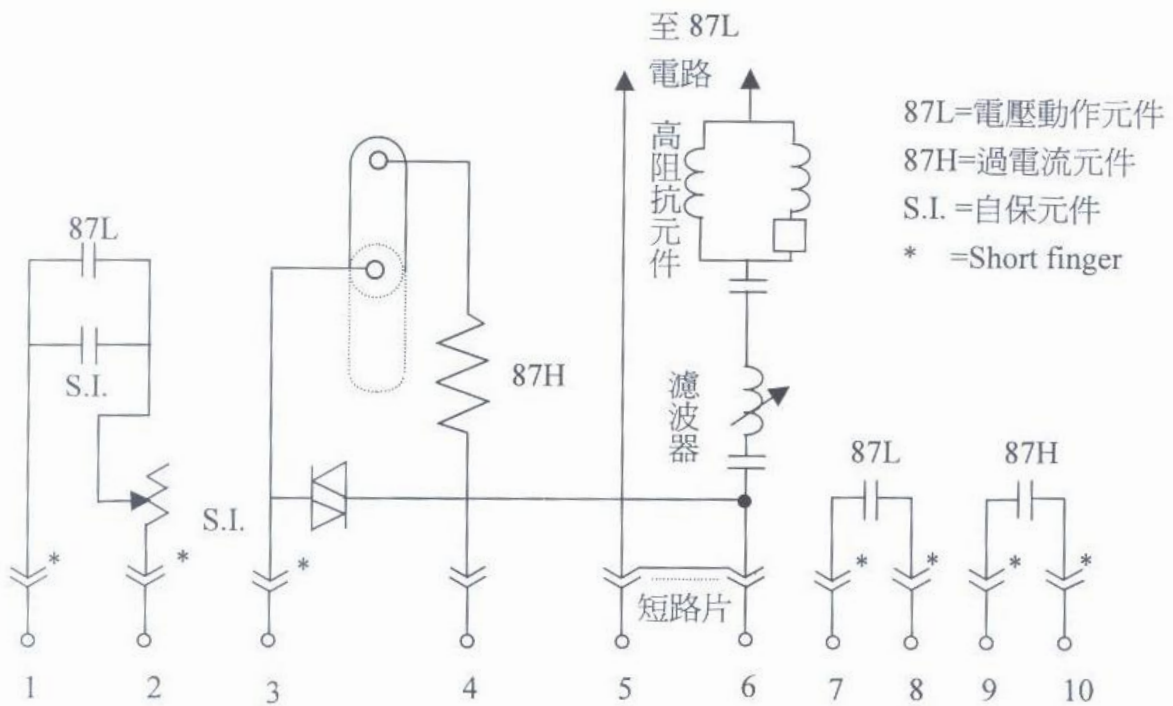
最後要感謝電力調度處和東部發電處各位同仁，對這次母線汰換工程從開始請料、採購、工程圖面繪製，到施工進行、試驗完成，都有他們辛苦的血汗，再次致上最誠摯的謝意。

#### 拾、參考文獻

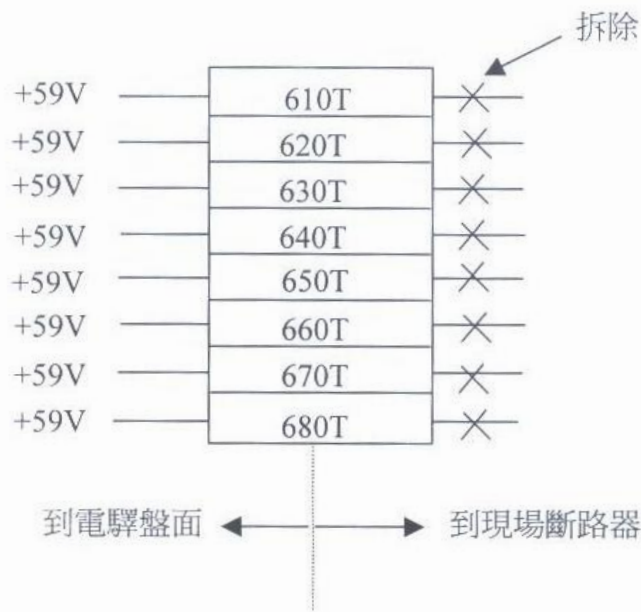
1. GE Instruction Book (Type PVD)
2. Protective Relaying Principles And Application  
(J.Lewis Blackburn)
3. 電機設備保護 李宏任編著
4. 中華民國電驛協會會刊
5. Protective Relaying Course For Electric Utility Engineers WH Training。



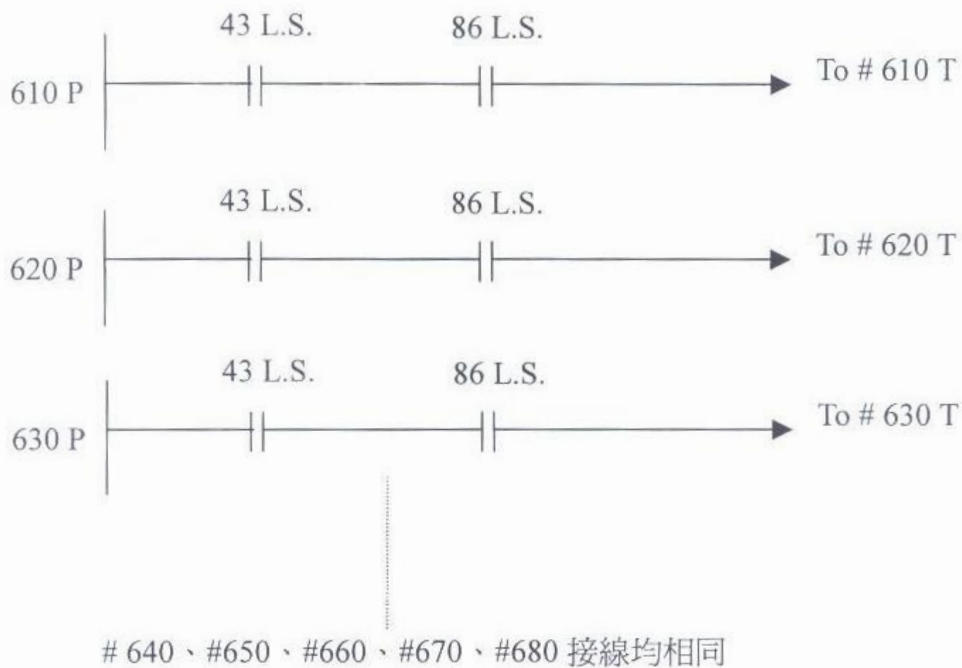
圖一、單一匯流排母線保護 (single Bus Arrangement)



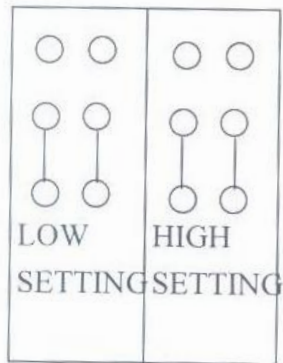
圖二、PVD 內部接線圖



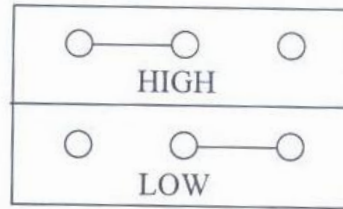
圖三、電驛端子板“T”接線到電驛盤面各點電壓值



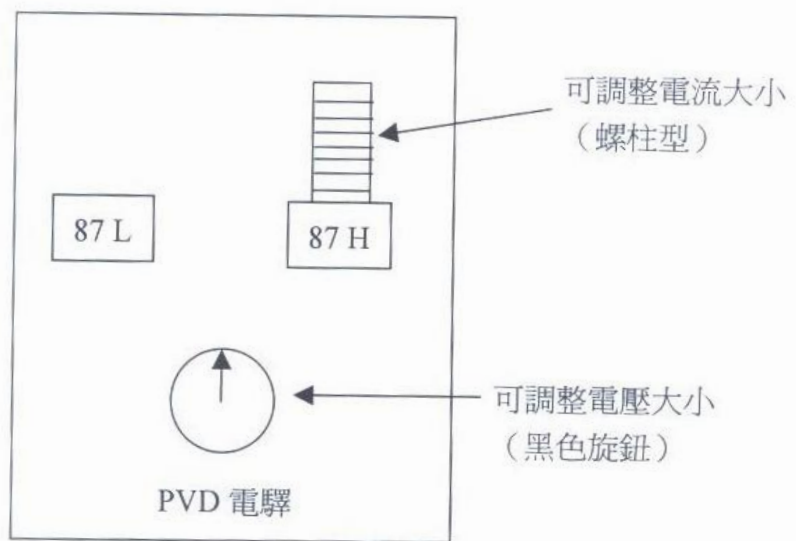
圖四、跳脫回路圖



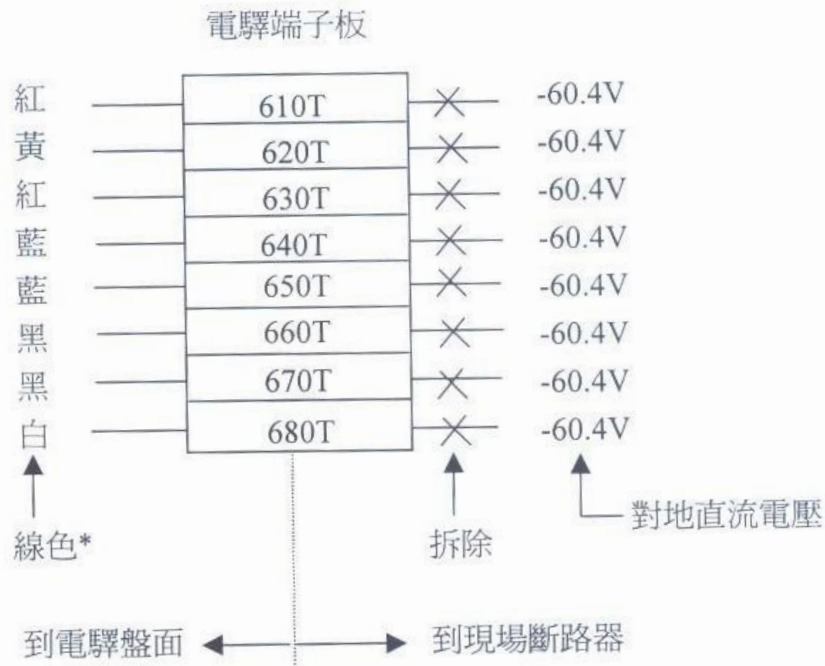
圖五、87L 位置選擇圖



圖六、87H 位置選擇圖

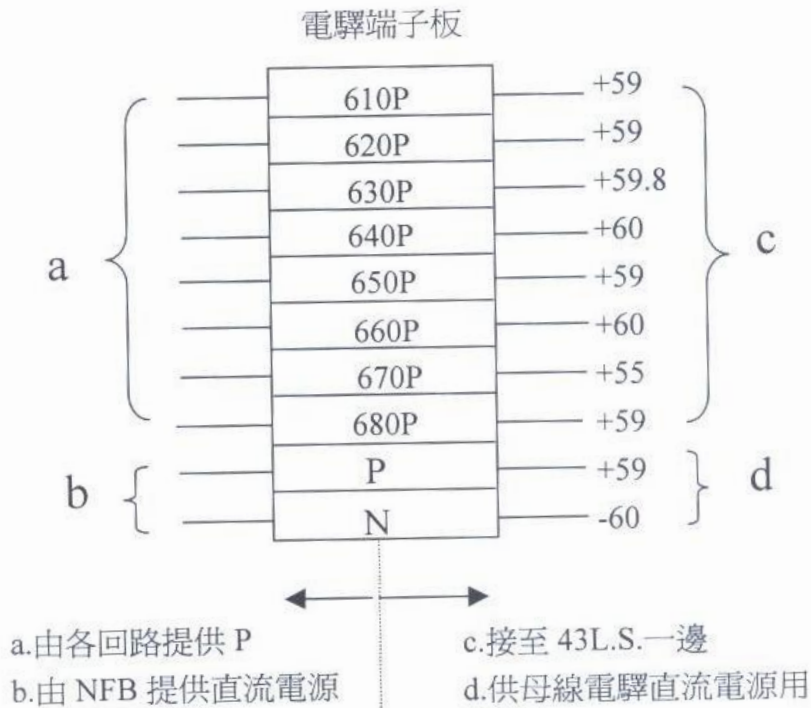


圖七、PVD 電驛電壓與電流調整位置

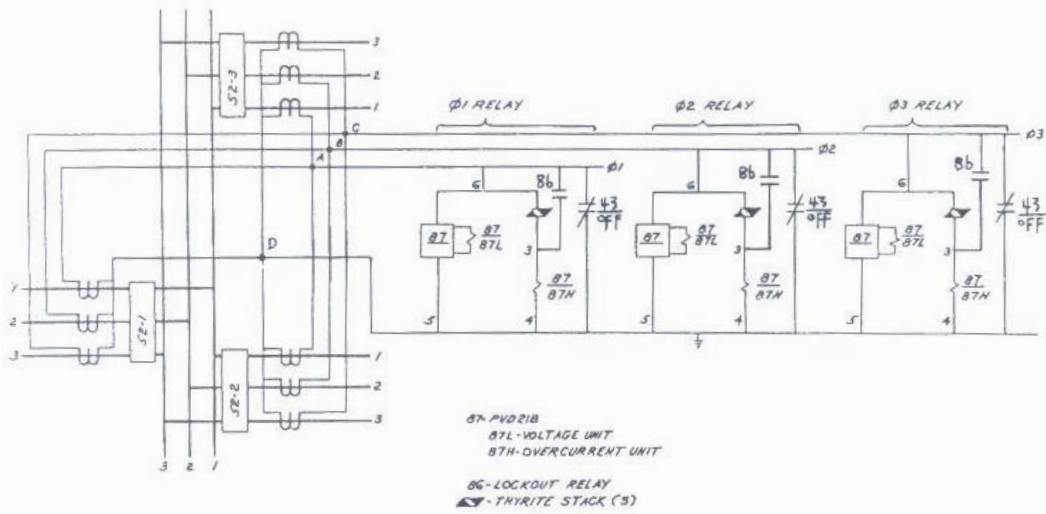


\*因屬 40 年老舊盤面，故線色並不統一。

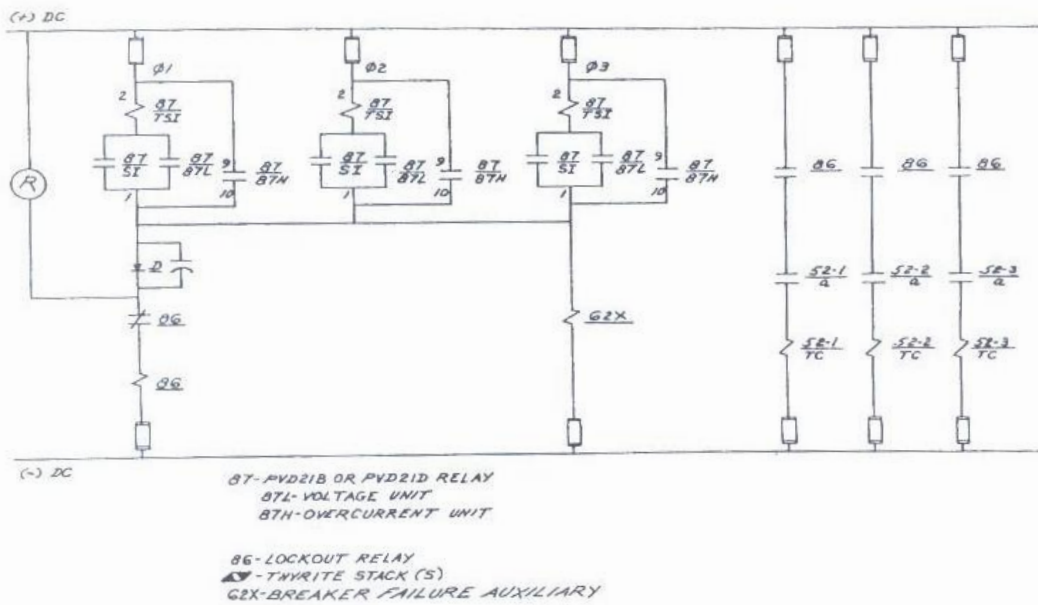
圖八、電驛端子板”T”接線到現場各點電壓值



圖九、電驛端子板”P”接線



圖十、 PVD 外部 AC 連線圖



圖十一、 PVD 外部 DC 連線圖