

由921事故經驗探討電力系統合聯技術

藍宏偉、莊雄誠

壹、前言

電力系統發生大區域全停電之機率甚低，自民國 65 年 1 月 6 日台灣發生系統全停電以來，迄今已 24 年，因此無論發電廠、變電所之值班人員、甚至地方及中央調度員均缺乏此運轉經驗。近年來幾次如 84 年 5 月 24 日高屏地區全停電及 84 年 8 月 5 日龍潭以北全停電，部分值班人員才有些許不算大之區域停電運轉經驗。

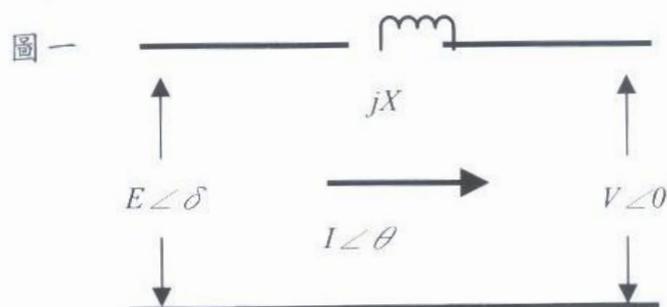
因此去年（88 年）發生 729 及 921 兩次大區域全停電事故，導致對全系統值班人員衝擊相當大，尤其 921 事故在南投縣國姓鄉南港村九份二山，發生芮氏規模 7.3 大地震，台灣中部靠山附近城鎮遭受空前大災難，本公司位於中部地區之電力設施亦不能倖免，使中寮、天輪、谷關、霧峰、萬大、南投、明潭、觀(二)、觀(一)、鉅工等廠所，連外輸電線路全部中斷，致南投、中寮以北之電力系統全部崩潰，僅南部系統存活。

系統在震災後，中部地區之輸電網路嚴重受創，臺灣電力系統 345kv & 161kv 輸電幹線，被攔腰截斷；系統在大區域全停電時，水力機組原是擔任全黑起動任務，理應可迅速提供大型火力電廠之起動電源，但震災後，中部地區濁水溪、大甲溪兩大電廠全部停擺。北部地區全黑起動機組，僅存 161kv 之石門、通霄、翡翠及部分 69kv 小水力電廠等。

當水力全黑機組起動建立小系統後，各系統間馬上面臨兩系統間合聯的問題。執行合聯操作時，斷路器投入的瞬間是否完美，操作過程是否有改善空間；抑或跟本與原理相違背，斷路器不應冒險投入。經由以下探討可提升調度員的合聯技術。

貳、基本原理

一個電力系統中的兩端點間之輸電線，其輸送功率與功率角之間的關係，可由【圖一】及以下公式推導得知：



$$P_o = VI \cos \theta$$

$$I = \frac{E \angle \delta - V \angle 0}{jX} = \frac{E \angle \delta - V \angle 0}{X \angle 90}$$

$$\text{Re}[I] = I \cos \theta$$

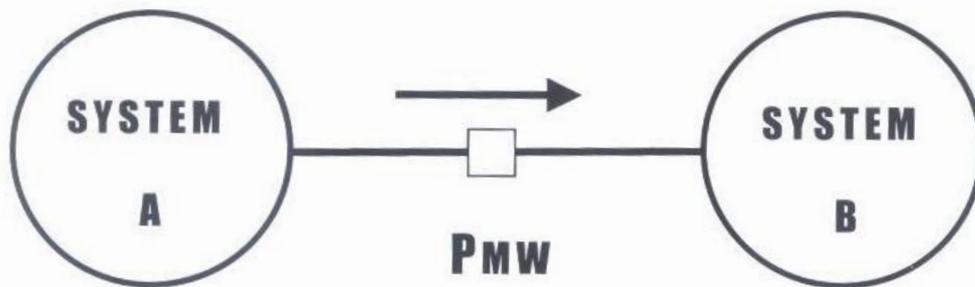
$$\begin{aligned} &= \frac{E}{X} \cos(\delta - 90) - \frac{V}{X} \cos(-90) \\ &= \frac{E}{X} \sin \delta \end{aligned}$$

$$P_o = VI \cos \theta = \frac{EV}{X} \sin \delta$$

由上述公式可知有效功率傳輸方向，係由功率角 δ 較大的節點，往功率角較小的節點，且傳輸功率大小與兩節點間功率角相對大小成正比。

同理兩電力系統間的電力傳輸，亦如上述，由功率角較大的系統往功率角較小的系統流動。如【圖二】所示之 A、B 兩互聯系統，欲將有效功率由系統 A 輸出功率，則增加系統 A 所屬發電機組之原動機機械出力，以增加系統 A 之功率角；或減少系統 B 所屬發電機組之原動機機械出力，以減少系統 B 之功率角。

圖二



參、發電機併聯或兩獨立電力系統合聯

(一) 併聯或合聯條件

無論發電機與電力系統併聯；或兩獨立電力系統間合聯之條件均須滿足下列三條件：

1、相序相同

2、頻率相同 (f)

3、電壓大小與相位一致 ($V \angle \delta$)

相序與接線有關係，因此新設備加入必須執行相序試驗，以確認相序正確，否則須更改接線，因此通常運轉中或事故後復電中之電力系統，由於接線未變更，因此其相序不須再確認。但如 921 震災，原中港～中寮（北）一路及峨嵋～中寮（北）二路，部分線段已損壞，改以臨時線經中寮（北）跳接；跳接之超高壓線路，線路名稱改為中港（一）～經中寮（北）跳接～峨嵋（二），因更改接線，因此執行系統合聯之前，必須先執行相序測試。

頻率與原動機轉速有關，因此頻率不同時，須配合發電機之調速機調整。

電壓大小與發電機之激磁有關，因此電壓大小不同時，須配合發電機之場激磁調整；而電壓相位不同時，則須配合調速機調整。

若在上述條件都滿足時（即相序、頻率、電壓大小及相位都相同），投入斷路器，則該斷路器將不會有電流通過。

(二) 同步儀的功能

因同步儀之信號來源，只取單相來比較，因此同步儀僅可顯示 A 系統與 B 系統間，速度差，即兩系統間頻率差 ($f_A - f_B$) 和其相對電壓相位差，即兩系統間功率角大小 ($\angle \delta_A - \delta_B$)。

(三) 同步儀顯示之狀態說明

如【圖二】所示，欲執行 A、B 兩系統合聯時，各狀態描述如下（假設同步儀指針顯示 A 系統狀態）：

1、同步儀指針往 FAST 或 SLOW 旋轉，表示兩系統速度（即頻率）不相同，旋轉的越快代表速度差（即頻率差）越大。

當指針往 FAST 旋轉，表示 A 系統比被 B 系統快；反之，當指針往 SLOW 旋轉，表示 A 系統比 B 系統慢。

同步儀 指針 顯示	同步儀 旋轉方向	頻率差 ($f_A - f_B$)	合聯後 A系統之 功率狀態
	往 FAST 旋轉	$f_A > f_B$	送 P
	往 SLOW 旋轉	$f_A < f_B$	吃 P

2、 同步儀指針在 12 點鐘位置外，任一定點停留，表示兩系統速度（即頻率）相同，但電壓相位不同，即功率角差存在；指針偏移 12 點鐘位置愈大，表示功率角差愈大；指針右偏靜止，表示 $\delta_A > \delta_B$ ；反之，指針左偏靜止，表示 $\delta_A < \delta_B$ 。

同步儀 指針顯 示	同步儀 旋轉方 向	功率角差 ($\delta_A - \delta_B$)	合聯後 A系統之 功率狀態
	靜止	$\delta_A > \delta_B$	送 P
	靜止	$\delta_A < \delta_B$	吃 P

3、 同步儀指針在 12 點鐘位置停留，表示兩系統速度（即頻率）相同，且無功率角差。

同步儀 指針顯示	同步儀 旋轉方向	合聯後 A系統之 功率狀態
	靜止	不送 P 不吃 P

4、 同步儀之前置量操作

在第3狀態下，投入斷路器是最佳狀態，但系統狀態是動態的，頻率亦隨時變化，因此併聯操作，須考慮按鈕操作與斷路器接點實際接觸之時間差。若同步儀指針往FAST緩慢旋轉時，其前置量約為57分；反之，若同步儀指針往SLOW緩慢旋轉時，其前置量約為03分，即在前置量時按鈕操作，當指針達12點鐘位置時，斷路器同時閉合，對系統衝擊最小。

5、 同步儀指針在12點鐘位置停留，表示兩系統速度（即頻率）相同，電壓相位（即功率角）亦相同，但若電壓大小不同，則藉由電壓表可測得，通常系統合聯前，兩系統間之電壓大小已幾乎調至接近；若此時投入斷路器，雖不會有有效功率通過斷路器；但仍會有無效功率通過斷路器，如電壓大小相差太大時，對斷路器會有傷害。

同步儀 指針顯示	同步儀 旋轉方向	電壓大小差 ($V_A - V_B$)	合聯後 A系統之 功率狀態
	靜止	$V_A > V_B$	送Q
	靜止	$V_A < V_B$	吃Q

如【圖二】所示，欲對A、B兩系統執行合聯時，若同步儀往FAST旋轉，則代表A系統的速度比外部系統快。在合聯後，A系統裡的發電機組會被減速，即會產生反轉矩，若反轉矩太大可能會使轉子受傷；而B系統的速度比外部系統慢，因此B系統裡的發電機組會被加速，即會產生正轉矩。

當同步儀往FAST或SLOW旋轉很快狀態下，應避免執行合聯操作；因在斷路器閉合瞬間電流太大，對兩系統及該斷路器衝擊甚大。

總而言之：兩電力系統合聯時，大系統應比小系統快，因大系統其能量大，在合聯的瞬間提供能量至小系統，雖大系統裡發電機會產生反轉矩，但其受衝擊能力較小系統大；若由小系統提供能量至大系統，則小系統裡的發電機組均產生反轉矩，容易使發電機組受傷害。因此兩系統合聯，首先須確定A和B兩系統那個比較大？若A系統的發電量比B系統大，則A系統為大系統；相對地，B系統為小系統。

參、921 實際案例探討

一、9月21日05時25分石門系統與翡翠系統在台北變電所合聯

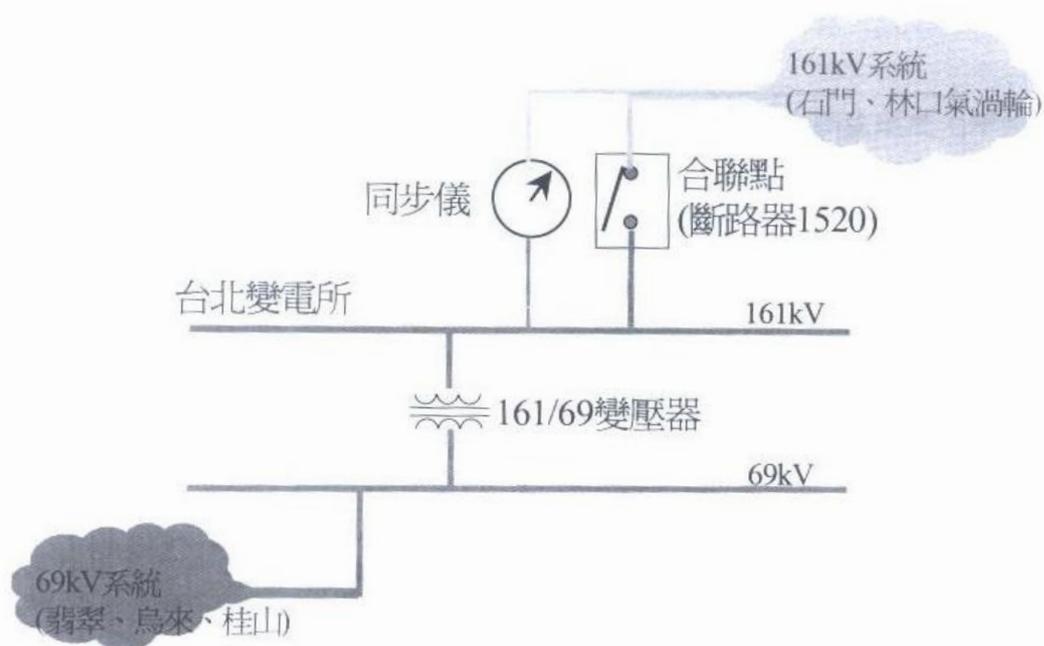
161KV石門水力機組和林口氣渦輪機組之系統，加壓至台北變電所161KV線路端；另69KV翡翠、烏來、桂山等水力機組之系統，也加壓至台北變電所69KV匯流排，並經161/69KV變壓器升壓至161KV匯流排，兩系統準備在161KV匯流排合聯。如【圖三】所示。

在變電所同步儀指針代表匯流排之信號，此時為161KV匯流排之信號，即代表

69KV 翡翠、烏來、桂山等水力機組之系統。

因 161KV 石門水力機組和林口氣渦輪機組之系統約 350MW，而 69KV 翡翠、烏來、桂山等水力機組之系統約 80MW，69KV 系統顯然比 161KV 系統小。因此待指針往 SLOW 方向緩慢旋轉，在接近 03 分範圍內時，儘速投入斷路器，使電力潮流由 161KV 系統流向 69KV 系統，可使 161KV 大系統提供能量至 69KV 小系統，使之加速至同步速率合聯。

圖三



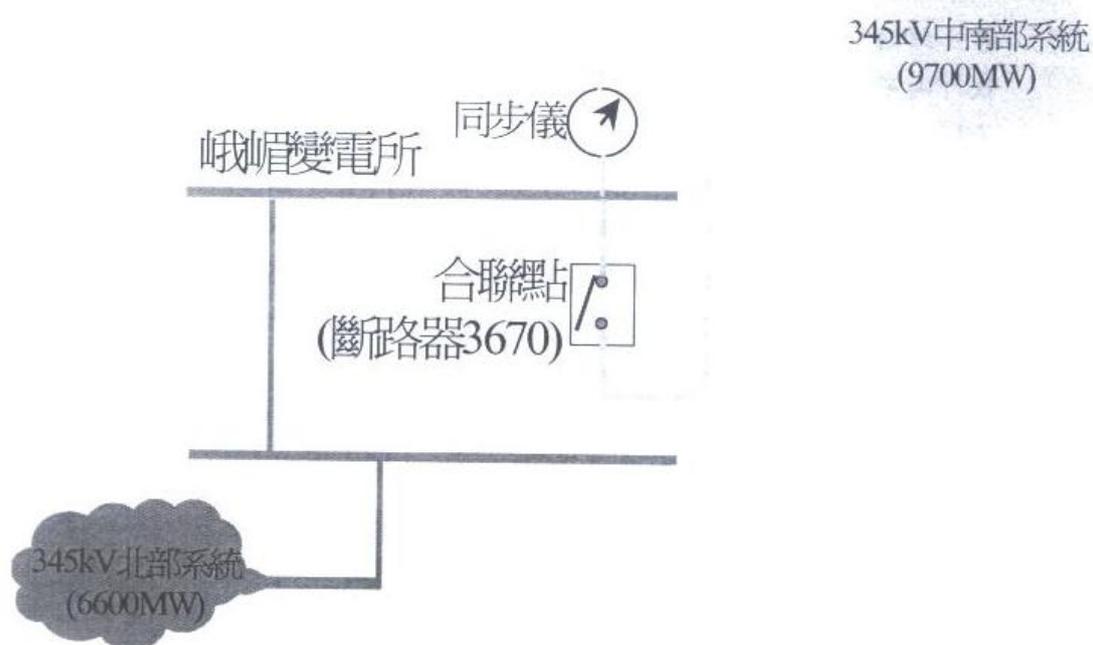
若在 69KV 斷路器執行合聯操作時，此時同步儀指針代表 161KV 石門水力機組和林口氣渦輪機組之系統，則須待指針往 FAST 方向緩慢旋轉，在接近 57 分範圍內時，儘速投入斷路器。

二、10 月 03 日晚上 10 時 03 分

中部、南部系統與北部系統在峨嵋 3670 合聯

中部、南部系統約 9700MW，北部系統約 6600MW，北部系統較小，如【圖四】所示。因此同步儀指針代表北部系統，須待指針往 SLOW 方向緩慢旋轉，在接近 03 分範圍內時，儘速投入斷路器，使中部、南部大系統提供能量至北部小系統，使之加速至同步速率合聯。

圖四



三、水力電廠併聯

發電機組之同步儀，其輸入信號一端為發電機組、一端為匯流排；而同步儀指針則代表機組本身之速度及功率角。理論上，機組對系統而言其機械慣性均小得多，而水力機組除大型機組外，少有最低發電量之限制，因此在起動機組後，使機組運轉接近至同步速度，待指針往 SLOW 方向緩慢旋轉，在接近 03 分範圍內時，儘速投入斷路器。

四、火力電廠併聯。

火力機組併聯瞬間，須儘速提升發電量，才不至於有機械方面的 Minimum Load 限制，使保護電驛動作造成機組跳脫。因此通常機組併聯時均以同步儀指針往 FAST 方向緩慢旋轉，在接近 57 分範圍內時，儘速投入斷路器。

上述併聯技巧是否兩害相權取其輕之策略？但是若能突破機組 Minimum Load 限制，以同步儀指針往 SLOW 的方式，執行機組併聯，使機組在併聯的瞬間能取得

正轉矩，被系統自然地帶起來，加速接近同步速度以併入系統。這種方式是否仍有盲點，可能也是值得研究的。

肆、結論

執行兩電力系統合聯技術歸納如下：

- (1) 首先判斷兩系統之大小？
- (2) 確認同步儀指針代表那個系統？
- (3) 聯絡兩系統中之發電機組協助調整頻率，確認合聯前，兩電力系統之頻率均穩定，若不穩定，必要時應採取配合停電措施以免危及系統合聯操作。

例如：921大地震致電力系統分裂成北、中、南三大區域，9月26日中部小系統與南部大系統正在準備合聯操作，須維持兩系統頻率穩定才能進行該項作業。南部某鋼鐵公司用電變化量超過會議協商之結論，影響系統合聯與安全至鉅，因此先採取配合停電措施，再執行合聯操作。

- (4) 配合同步儀指示操作，決定應往 FAST 或 SLOW 旋轉，並取適當前置量，當指針緩慢接近 12 點鐘位置時，儘速執行合聯操作。

系統正常時，同步儀均採自動併聯方式；因此值班人員對同步儀之運用難免生疏。若有本篇之觀念且平時併聯機組或小系統分裂合聯操作時，值班人員能細心體會，當電力系統崩潰在復電過程中，同步儀往往須改手動較容易併聯時，值班人員在操作上自然能得心應手。

伍、誌謝

本文得以順利完成，首先感謝發電廠、變電所、電氣試驗所、輸工處相關同仁及麥寮電廠趙廠長等之協助。

陸、參考文獻

- 1、Robert H. Miller & James H. Malinowski, "Power system operation," McGraw-Hill Internation Editions.
- 2、Bergen, "Power Systems Analysis"
- 3、A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, JR. Alexander Kusko, "Electric Machinery"