

台電 345kV 輸電系統電驛數位化後對系統規劃之影響

台電系統規劃處 莊政宏 白一凡 洪永輝 張忠良

壹、前言

配合政府經濟建設計畫、並應付台灣地區高度經濟成長與竹科、中科與南科等高科技園區的用電需求，台電過去 60 幾年來不斷地開發電源、輸電系統及配電系統，以滿足各行業用電需求。有鑑於此，台電公司自民國 61 年起，分別擬定輸變電計畫，迄今正執行第六輸變電計畫及正編擬第七輸變電計畫，以建設健全電網滿足系統負載成長需求。預估近期第六輸變電計畫執行至 98 年完成後，其系統總裝置容量將從今年的 38563MW 成長至 42657MW。

由於系統持續成長、擴張，致使系統電網結構日益複雜，甚至造成部分輸、變電設備有潮流過載、故障電流過大及暫態穩定度弱化等問題。為能滿足系統短、中、長期系統規劃，台電公司除在輸變電計畫中擬訂相關計畫改善系統中、長期瓶頸之外，亦隨時配合近期供電需求隨時進行滾動式檢討，以滿足系統短、中、長期需求，符合規劃準則。

雖然系統暫態穩定度問題沒有比一般判斷輸電線電力潮流有無過載現象，或故障電流是否超過斷路器額定啟斷容量來的容易、直接，但確為評估系統是否穩定的一項重要依據之一，而評估之指標便是臨界故障清除時間(Critical Clearing Time, CCT)。

也由於台灣特殊之地理、地形限制及施工因素，致使系統部分地區不免有輸電線及電源過於集中之現象，比如台電

345kV 龍潭 E/S 匯集了 14 回線輸電線路，未來將陸續有大潭電廠及核四電廠電源線的引入；中寮 345kV 開關場亦匯集了 20 回線輸電線路及大觀二廠、明潭、塑化及中火等大型水、火力電廠電源線路引入。因此，相關區域之系統暫態穩定度，亦可預期較差。依目前台電輸電系統規劃準則規定，當線路發生三相短路事故時(超高壓幹線及超高壓變電所引出線均考慮 N-2 準則)，故障端之臨界清除時間需在 5.5 週波以上才可符合準則。因此，倘若未來系統某區域發生事故後，其臨界故障清除時間無法在 5.5 週波以上時，則需於該區域進行相關改善工程，以符合準則規定。

為能使 345kV 系統滿足 $CCT \geq 5.5$ 週波規定，系統通常需配合進行改善工程，增加投資成本以達到符合準則規定。拜科技進步所賜，台電公司近幾年來已陸續完成 345kV 輸電系統保護電驛汰換為數位保護電驛工程，不僅故障機率較傳統電驛降低，且其所需動作時間亦更縮短；若數位電驛的採用能縮短隔離故障所需的時間，則對系統而言可容許較短的臨界故障清除時間。

本文將先行初略介紹相關傳統電驛與數位電驛的差異，而後並評估縮短 CCT 時間對系統的影響分析，以提供輸電網路規劃的參考。

貳、保護電驛的演進

一、電驛之任務

電驛的任務不在於防止事故的發生，其在電力系統中所扮演之最主要任務與目標是在系統發生事故時，能儘速的隔離系統與故障點間之聯繫，防止事故範圍擴大俾避免人員與設備的損害，並使非故障系統部分能正常運作，維持良好供電品質。因此，當電力設備發生故障時，保護電驛應在最短時間及最小停電區間內，把故障點從系統中隔離。

二、電驛的演進

隨著科技進步，台電 345kV 系統的電驛演進概可分為三期；第一期自民國 63 年起板橋 E/S、天輪 E/S、龍潭 E/S、核一 G/S、核二 G/S、核三 G/S 及興達 G/S 等 345kV 變電站加入系統時，線路保護方式即採用傳統靜態型與電磁型三區間載波電驛兩套作為系統保護。而當時靜態型電驛及載波機組，仍以使用電晶體元件為主。第二期，隨科技之進步以 IC 為主的保護電驛陸續使用，並應用於頂湖 E/S 及大觀二廠等加入系統。通訊方面亦以採用微波音頻的控制方式為主，來增加電驛動作可靠度。至第三期則為數位電驛的採用。

由於第一、二期傳統電磁式(Electro Mechanical, E/M)或靜態型(Solid State, S/S)保護電驛並未具有自我檢測或狀態監測功能，所以傳統電驛發生問題時僅能從定期維護測試或電驛誤動作時才會被檢視出來。然電驛誤動作所造成之後果都極為嚴重；且因傳統電驛易受突波(Surge)、射頻(RFI)及電磁干擾(EMI)等問題影響。為了改善上述缺點，並使保護電驛設備具備更大的工作溫度範圍、縮短保護協調所需時間間隔及更佳頻率響應特性，故以採用數位電驛為主要保護設備。也由於數位電驛的進步，台電自 74 年首度於板橋~龍潭線上採用

日本東芝公司之方向比較載波閉鎖式數位電驛，其亦均能在 5.5 週波內正常跳脫。

為確保台電 345kV 幹線送電穩定及提高可靠度，台電公司自 90 年起配合數位電驛技術的日益成熟，及複合光纖地線(OPGW)光傳輸訊號的搭配應用，決定全面性將傳統電驛更新為數位電驛，使用範圍包括核一、核二、核三、協和、中火、興達、天輪、大觀二廠、明潭等 9 所電廠及中寮等 18 所超高壓變電所，合計 27 所 75 回線的更新工程。同時並規劃每回線兩端採用兩套主保護電驛，第一套主保護為數位差流電驛，採用光纖通訊；第二套主保護為允許越區傳訊跳脫方式之數位測距電驛，搭配音頻機組採用微波通訊。93 年 5 月 26 日完成全部汰換工程，加入系統運轉。

三、電驛動作時間

由於系統故障發生時需藉由斷路器啟斷以隔離故障，且為滿足故障端臨界清除時間在 5.5 週波以上之準則規定，斷路器在系統發生事故後至斷路器跳脫之動作時間需在 5.5 週波內完成才可滿足要求。而斷路器故障清除時間如圖 1 及式(1)所示。

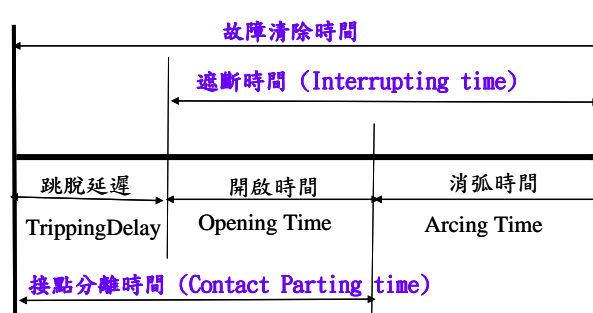


圖 1 斷路器故障清除時間圖

$$FCT=TD+IT \quad (1)$$

其中：

FCT(Fault Clearing Time)=故障清除時間

TD (Tripping Delay)=跳脫延遲時間

IT(Interrupting Time)=遮斷時間

由於式(1)僅考量故障時斷路器本身所需之清除時間，然若考量非對稱接地事故(Grounded Asymmetrical Faults)時，依 IEEE C37.010-1999 5.7 節內容可知，最後啟斷相之遮斷時間需再延遲約 0.3 週波估算。故若考量上述非對稱接地事故時，則式(1)需修正如式(2)所示。

$$FCT=TD+IT+0.3 \quad (2)$$

以目前台電公司保護系統之規範，有關 345kV 設備部分，其斷路器遮斷時間為 2 週波，345kV 線路保護電驛反應時間為 1.5 週波，345kV/161kV/33kV ATR 主保護電驛反應時間為 2 週波，若同時考量非對稱接地事故時，最後啟斷相之遮斷時間延遲 0.3 週波估算。則當發生線路事故時，清除故障時間共需 3.8 週波；若發生 ATR 主變故障時，故障清除時間為 4.3 週波，依結果顯示皆可在 5.5 週波(現有規劃準則規範)內完成。以系統 345kV 斷路器過往故障清除之實績如：90 年 8 月汐止#4 ATR、94 年 7 月鳳林 E/S 線路事故、95 年 4 月龍崎 E/S 線路事故及 95 年 11 月板橋 E/S 線路等事故，故障清除時間皆可在 3 週波內完成。

綜而言之，採用數位電驛後除可將跳脫延遲時間(TD)從以往傳統電驛的 2.5 週波縮短至 1~2 週波之外；另搭配光纖通訊後亦可再將電驛通訊時間由原先音頻(Voice Frequency, VF)設備的 15~20ms 縮短至 5ms。

因此，由於數位電驛的進步及光纖通訊的採用，其電驛的動作時間(包含斷路器遮斷時間)皆可在 4.5 週波內完成。亦即若系統發生事故後，數位電驛可將隔離故障所需的時間由 5.5 週波縮短至 4.5 週波，則目前台電輸電系統規劃準則規定中，對於 CCT 需在 5.5 週波以上之要求亦可配合

縮短至 4.5 週波。如此對系統整體規劃而言將有助益，不僅可減少電力設備投資及亦可增加系統供電可靠度。以下將以台電 345kV 系統作為範例，說明相關臨界故障清除時間 CCT 對系統的影響，並以經濟指標評估縮短 CCT 的益處。

參、系統檢討範例

由於電力系統裝置容量日益增加，部分地區電源過度集中且輸電線路不足，致使系統暫態穩定度較差，甚至在某些事故下，其臨界故障清除時間 CCT 恐無法符合 5.5 週波之規定，以下亦就以 5.5 週波或 4.5 週波之比較探討。

一、採準則 CCT 為 5.5 週波

為瞭解此狀況之衝擊影響，以目前 96 年尖載系統及未來 100 年尖載系統中寮(南)E/S 為例來說明。

(一)國 96 年系統模擬

中寮(南)E/S 位屬台電系統中部地區，目前共有 9 回線引入該變電所，此 9 回線除包括南北幹線外，還有明潭水力電廠(共 6 部機組，裝置容量共 160 萬瓩)及中火電廠(南開關場共引接 5 部機組，裝置容量共 275 萬瓩)引入及 161kV 之星彰 IPP 電廠效應，如圖 2 所示。

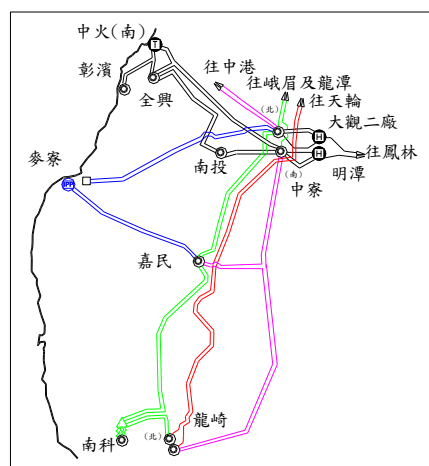


圖 2 96年中寮(南)系統圖

倘若中火(南)5部機組滿載發電(淨尖峰出力 262.5 萬瓩)，及明潭 6 部水力機組淨尖峰出力 144.5 萬瓩情況下，模擬中寮(南)周圍地區暫態穩定度，結果皆可滿足規劃準則 $CCT \geq 5.5$ 週波之規定，如表 1 所示。

表 1 96年中寮(南)E/S 周圍暫態穩定度檢討結果

事故點	跳脫線路	CCT(週波)
中寮(南)	中寮(南)~龍潭(北)	≥ 5.5
	中寮(南)~嘉民	
	中寮(南)~龍潭(北)	≥ 5.5
	中寮(南)~龍崎(南)	
	中寮(南)~嘉民	≥ 5.5
	中寮(南)~龍崎(南)	

倘若考量中火(南)5部機組同樣滿載發電，及考量系統在某些特殊情況下時，需靠運轉方式將明潭 6 部水力機組淨尖峰出力超過 156 萬瓩情況下，則表 1 中之事故情況暫態穩定度 CCT 將不能符合 5.5 週波規定。

(二)民國 100 年系統模擬

中寮(南)E/S 鄰近電源除既有的中火電廠(#6~#10)與明潭(#1~#6)之外，另周圍還有新設之 161kV 星元 IPP 電廠(淨尖峰出力 48.8 萬瓩)，如圖 3 所示。

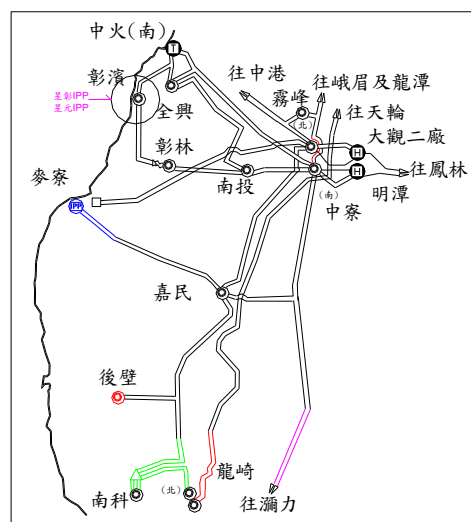


圖 3 100年中寮(南)系統圖

同樣模擬中寮(南)周圍地區暫態穩定度並考量明潭 6 部水力機組淨尖峰出力 156 萬瓩情況下，則有兩項事故情況，其暫態穩定度 CCT 無法符合 5.5 週波規定，如表 2 所示。

表 2 100年中寮(南)E/S 周圍暫態穩定度檢討結果

事故點	跳脫線路	CCT(週波)
中寮(南)	中寮(南)~龍潭(北)	4.5
	中寮(南)~嘉民	
	中寮(南)~龍潭(北)	5.0
	中寮(南)~龍崎(南)	
	中寮(南)~嘉民	5.5
	中寮(南)~龍崎(南)	

(三)系統改善措施

1.因應方案

為改善中寮(南)E/S 周圍系統暫態穩定度 CCT 不符合 5.5 週波問題，則需於該區域進行相關改善工程，以滿足準則規定。有鑒於此，擬定兩個改善方案：

方案一：霧峰~中寮(北)線改接至中寮(南)，如圖 4。

方案二：嘉民 E/S 引接方式改為雙 T 於中寮南~瀾力線上，如圖 5。

將上述方案一與方案二同樣模擬 100 年中寮(南)周圍地區暫態穩定度，則模擬結果其各事故之臨界故障清除

時間 CCT 皆可符合規劃準則 ≥ 5.5 週波規定，如表 3 所示。

表 3 事故點中寮(南)之方案一與方案二 CCT 模擬結果

跳脫線路	方案一 (週波)	方案二 (週波)
中寮(南)~龍潭(北) 中寮(南)~嘉民	≥ 9	-
中寮(南)~龍潭(北) 中寮(南)~龍崎(南)	≥ 9	-
中寮(南)~嘉民 中寮(南)~龍崎(南)	≥ 9	-
中寮(南)~瀾力分歧嘉民二 回線	-	6
中寮(南)~龍潭北 中寮(南)~瀾力分歧嘉民	-	6.5

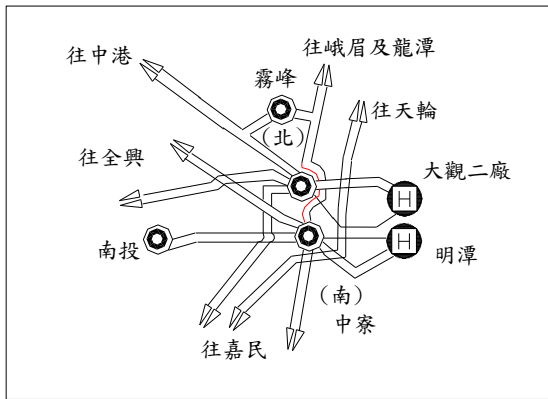


圖 4 霧峰~中寮(北)線改接至中寮(南)

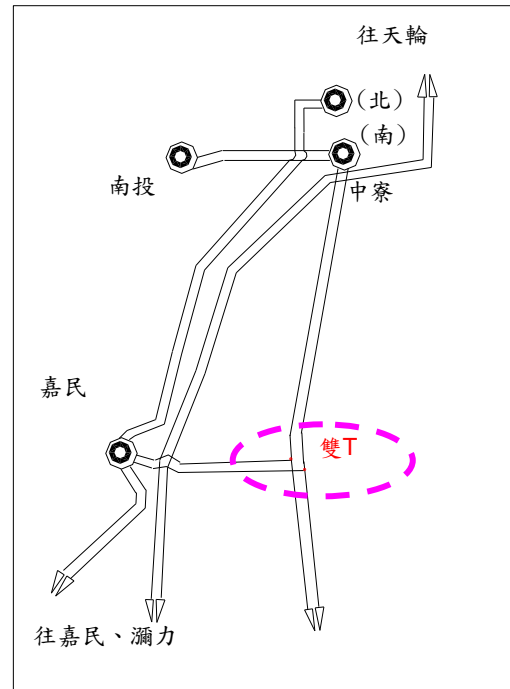


圖 5 嘉民 E/S 雙 T 於中寮南~瀾力線上

2. 工程項目費用概估

為符合準則規定，系統需額外進行相關工程(如方案一或方案二)才可滿足系統需求。其工程項目初步評估後，方案一需增加一套 345kV 終端設備及部分中寮(北)改接至中寮(南)之線路費用；而方案二則需新建一座 345kV 雙 T 鐵塔，相關費用如表 4 所示。

表 4 方案一與方案二所需工程費用概估表

	工程項目	概估費用 (萬元)	
方案一	345kV 終端設備一套 及改接線路費用	8,000~10,000	
方案二	345kV 鐵塔	2,000	合計 6,000
	土地(30M×30M)	1,000	
	土建	2,000	
	礙子及運輸裝載	1,000	

而不論採取方案一或方案二之改

善工程，皆會增加系統投資成本(初估將達數千萬元)。

二、CCT 採 4.5 週波

準則中系統臨界故障清除時間 CCT 能配合數位電驛的進步縮短至 4.5 週波，則由表 2 模擬 100 年統結果可知，各事故之臨界故障清除時間 CCT 皆可滿足 ≥ 4.5 週波。

亦即，若數位電驛動作時間較傳統電驛縮短後，使得故障清除時間能確保在 4.5 週波內完成，並配合修訂「台電輸電系統規劃準則」CCT 為 4.5 週波，則相關提升系統暫態穩定度能力之改善工程需求就較不急迫。

肆、結 論

自從台電公司從 90 年起陸續將傳統電驛汰換為數位電驛後，其實績統計保護系統動作時間大多可在 4.5 週波內完成將事故點與系統切離。因此，若能藉由數位保護電驛的技術成熟，並配合修訂規劃準則內的相關條文來搭配，則對系統規劃人員在規劃系統輸變電發展時，將可避免過多的工程投資。

有鑑於此，近期台電公司已積極著手

進行相關評估，並經台電公司各單位仔細評估後，一致認同將系統臨界故障清除時間 CCT 由原先 5.5 週波縮短至 4.5 週波為可行方案，近期台電公司將進行修正「台電公司輸電系統規劃準則」內相關條文，並應用於未來台電公司第七輸變電工程計畫的實施。

伍、參考文獻

- [1]台電公司「輸電系統規劃準則」,民國 94 年 10 月。
- [2]台電公司「電力系統保護電驛規劃準則」,民國 94 年 10 月。
- [3]IEEE STD C37.010-1999,“IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical current Basis,”p23。
- [4]Gerhard Ziegler, ”Numerical Distance Protection Principle and Application,”SIEMENS,1999.
- [4]盧光常, ”淺談數位式電驛, ”中華民國電驛協會會刊第十期, 民國 88 年 12 月。
- [5]李國楨, ”電驛數位化, ”台電月刊第 515 期。