

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

電力防衛系統之研究-子計畫六：特殊保護策略之研究

The Study of Power Defense Systems—The Subproject 6 : Research of the Special Protection Schemes (I)

計畫編號：NSC 91-2213-E-002-121

執行期限：91 年 08 月 01 日至 92 年 07 月 31 日

主持人：劉志文 台灣大學電機系

Tel : (02) 23635251-243 ; E-mail : cwliu@cc.ee.ntu.edu.tw

摘要

本計畫所需之研究時間長達三年，而本年度為第一年其主要工作為校正 92 及 95 年的台電系統，電與機械方面的系統參數是否正確，以及使用 PSS/E 自建模型格式建立勵磁機模型。因目前台電公司各級研究機構目前所使用的系統模擬軟體為 Windows 版之 PSS/E，故在本計劃中也擬使用此軟體做台電系統的模擬工作，以與台電公司所使用的軟體一致；然因 PSS/E 內建的電力系統模型有限，無法包含目前全世界電力系統內各個元件的模型，而台電系統目前正在運轉中的機組，也有一些 PSS/E 未內建的元件模型，為求模擬的正確性，故這些未內建於 PSS/E 內的模型，必須由使用者利用 PSS/E 所能接受的語法，自行撰寫所需的模型；然後再利用 EPRI 所發展的 SSSP 程式做頻域分析，以驗證 PSS/E 自建模型的正確性，本計畫在第二及第三年將利用本年所建立之參數及模型，進行特殊保護策略之研擬及驗證等工作。

關鍵詞：勵磁機、電力系統穩定器、動態穩定度

ABSTRACT

The time span of this project is 3 years. This year is first year of this project. The main task of this year is the check and correction of Taiwan Power System Parameters and models of year 92 and 95 using PSS/E simulation tool. The available models in PSS/E are not

complete, so one has to develop the needed model for simulation use. In this project, we develop Min-Tang and New Tien-Lun exciter models. We also use SSSP tool developed by EPRI to conduct a cross check of exciter models of PSS/E. In the second years and the third year of the project, we will use the corrected parameter and models to develop the schemes of special protection and demonstrate them.

Keywords : exciter, power system stabilizer, dynamic stability

1. 前言

台灣電力系統北區缺電，中區及南區卻電力過剩，此種區域電力供應不平衡現象將導致大量有效電力及無效電力必須從中南部經由現有三迴路之 345kV 輸電線送到北區[1]。此種經由輸電能力有限之線路長距離輸送大量有效及無效電力之情形，極容易造成各種系統穩定度問題。例如，暫態穩定度、動態穩定度(小信號穩定度)及電壓穩定度等問題[2,3]。實際上，在 729 事件中，當龍崎 326 號超高壓鐵塔倒塌時，正有大量電力(340 萬千瓦)南電北送，在第一迴路發生事故，第二迴路因超載而跳線，進而造成中北部電力系統與南部之電力系統解聯，而形成兩個獨立的電力區域，造成全台 846 萬用戶停電事故。另外在民國八十四年夏季，因為龍潭超高壓變電所遭遇雷擊造成北區大停電事故。此兩事件均為電力系統遭受一重大干擾後，導致系統暫態不穩定。

又如台電系統在民國七十三年、七十九年、八十年及八十一年均曾因 345kV 輸電線融通電力過大，產生低頻振盪現象[4]，此為系統因阻尼不足所引發之動態不穩定。

綜合上述，所以「如何穩定台電公司電力系統」成為一重大議題。近年台電公司電力系統結構有大幅度變化，例如第三路 345kV 超高壓輸電線路已全建造完成，麥寮、長生等 IPP 加入系統，部份超高壓變電所/開關場線路/匯流排改變；遠程(至 95 年)，更有第六輪變電計畫之完成，以及大潭、核四與其它 IPP 電廠之完成。因此台電電力系統之特性，如電力潮流、穩定度、故障電流、無效功率補償等，將異於已往之系統。

由於民國 92 年及 95 年台灣電力系統，已不同於以往，系統的參數正確與否與模型的正確性，會影響動態穩定度的模擬狀況，而無法對系統的運轉狀況做出正確的決策，而影響系統的可靠度與安全性，而在探討任何問題前，系統模型參數的合理性，多少都會影響模擬的結果，所以必須對系統參數先做合理性的探討，然後再進行模擬，才能獲得較正確的結果。

在台電系統內有一些機組模型，並無內建於 PSS/E 內，對於這些模型僅能利用較相近的內建模型或其它機組模型取代，才能對整個系統進行模擬的工作，而因為實際機組模型與模擬模型略有差異，使得模擬的結果頗令人質疑，故在本計畫中，即利用 PSS/E 所提供的使用者自建模型功能，建立了新天輪及明潭電廠的勵磁機模型，並扼要說明 PSS/E 自建模型的方法。

2. 研究成果

在本計畫中，是以民國 92 及 95 年尖、中及輕載的台電系統做為研究的基準，使用到的電力系統分析工具，分別是 PTI (Power Technologies) 所發展的 PSS/E (Power System Simulator for Engineering)電力系統模擬軟體，以及由 EPRI(Electric Power Research Institute)所發展的 SSSP(Small Signal Stability Analysis Program)小訊號穩定度分析程式[5]；選用這些模擬軟體的原因，是由於它在國際上被許多著名的研究單位、電力公司及學校所採用，使用者較多並且公信力較高，而目前台電公司各級研究機構，大部分也使

用這些軟體來達成系統模擬的工作，此電力系統模擬軟體的功能也較符合目前現階段計畫所需，也可與台電公司各級研究機構相互配合。

台電系統參數合理性探討

將台電公司所提供，民國 92 年尖載電力系統參數資料，利用 PSS/E 模擬時，在計算系統初始條件時，出現了 6001 等共 12 部發電機組找不到模型，以及其它如水里(717)、新桃(9111~9113)、興達(1085~1087)機組模型有”out of limit”的警訊，以致動態模擬無法繼續。

據台電公司表示，6001 等 12 部機組目前並無機組的參數資料，為維持系統上的供需平衡，故除將上述發電機機組停機外，並分別更改 6001 /7001 /8001(供應)機組所聯接的 190Q、2480 及 2650BUS(吸收)在負載資料處將其停用；另外，將 8221 /8252 /8441 /8500 /8600 /8710 /8712 這幾部機組的發電機，將其 Pgen 及 Qgen 之值加到各個 BUS data 中的 GL 及 BL 並加”-”用以代表”供應功率”，來取代這些發電機在系統中之發電量；而 8732 機組因無發電量，故可直接停用。

新桃 9111~9113，由初始條件得知其輸出功率為 151.6，而其發電機模型的 MVA base 為 100，由氣輪機模型知”Vmax”限定在 $100 \text{ (MVA base)} \times 0.863 = 86.3$ ，遠小於所需的 151.6；另外，其模型資料中的 load limit 亦同，設定為 $0.664 \times 100 = 66.4$ 也小於 151.6；在 9114 BUS 方面，雖然所使用的模型不同，但也有相同的問題，在此問題經由台電公司的協助下，查證了 9111~9114 機組參數資料，找到發電機的 MVA base 其值有誤，9111~9113 由原來的 100 改為 234；另外，9114 由原來的 100 改為 330。

在興達 1085~1087 機組方面，其機組參數並未有誤；所以可修改在系統參數資料檔中興達機組的 Pgen，由原來的 272.6 向下修正成 270.0。水里 717 機組勵磁機模型輸出值(EFD)其初始條件為 1.5030，而其模型內的最

小值參數值為 1.70，故 EFD 值比所能允許輸出的最小值還小，調整 717BUS 電壓標么值，將原 0.98 改為 1.0 即可解決此問題。

若系統中每部機組的各項參數值範圍，沒有落於 PSS/E 所指定的範圍內時，PSS/E 即認定此參數的數值可能有問題，由於硬體的製造廠家不同，以及所應用的地點不同，所以某些參數有可能會超出手冊中所提的範圍，但有些基本量的大小關係還是維持不變，如：發電機中的直軸及交軸電抗需滿足下列關係[6]。

$$X_d > X'_d > X''_d > X_L$$

$$X_q > X'_q > X''_q > X_L$$

$$X'_q > X'_d$$

$$X''_q > \text{or} = X''_d$$

$$X_d > X_q$$

在通霄電廠的 601 /603 /607 /612，這幾台複循環機組中的 $X'_d > X'_q$ ，與正常關係有異，由台電公司在民國 86 年度與台灣大學所合作的研究計畫“串聯補償與穩定器技術之協調應用以改善台電系統動態特性”[3]在完成報告中，已將這些機組的 X'_d 值由目前的 0.443 修正為 0.398，而 X'_q 值則維持 0.411 不變，在此我們依照之前的修正值，將尖峰/中載/離峰時通霄機組的 X'_d 值由目前的 0.443 修正為 0.398。

當利用 SSSP 檢查其參數合理性時，223 等 17 部機組因其 X_q'' (或 X_d'') 小於或等於 X_L ，因台電公司截至目前為止，尚無法得到正確的數值，所以目前就以 SSSP 所建議的 0.75 倍 X_q'' 來替代 X_L ；另外，221 機組其勵磁機的飽和參數值，SE1(1.0)=SE2(1.2)在同一點，也為不合理之參數值，SSSP 將其視為線性(即無飽和狀態)。

95 年系統因屬未來所規劃的台電系統，其新增機組仍屬規劃中的作業，故 92 年以後新增機組及線路部分的參數，以系規處所提供的為準，而舊機組部分，則以實際運轉單位調度處所提供的 92 年機組資料為準，而就舊機組的部分與 92 年互相比對後，約有 50 多部機組其機械參數與 92 年不一致，業已修

正完成。另外，在 92 年的機組資料中，有些基載及氣輪機組的發電機，因調度上的考量，將機組內之調速機(Governor)關閉，在實際上亦可如此，故在 95 年也遵循這些調度原則，將這些機組的調速機關閉，即在不可自動調整的狀態。

9111(新桃)等 11 部機組使用勵磁機的使用者自建模型“URST4B”，此模型是台電委託 PTI 公司撰寫的；因為此模型在加入系統模擬時，當系統中有擾動發生時，其輸出端 EFD 並不會變動(維持一條水平線)，如圖 2.1 所示，而在經過多方摸索尋找問題來源後，已將該問題順利解決，目前已經能依系統狀況而調整勵磁機輸出的 EFD 值，如圖 2.2 所示；但因從 PSS/E 27 版以後已有提供 ESST4B 的內建勵磁機模型，故將所有使用者自建模型的 URST4B 模型，以內建的 ESST4B 模型取代，而此 ESST4B 模型經過測試後，動作一切正常。

PSS/E 的使用者自建模型建立

(1)模型撰寫工具

在 PSS/E 的使用者自建模型，是利用 FORTRAN 及 FLECS 兩種語法來完成的，其中 FLECS 語法是 FORTRAN 的延伸，它增加了一些控制結構，這些控制結構使得程式設計師在利用 FORTRAN 語法寫程式時變的更容易，因為它去除掉了一些原本需要許多繁雜步驟才能達成的工作，改用一個簡單的架構來完成，這也增加了程式的可讀性[7]。

(2)模型撰寫方法

在 PSS/E 做動態模擬時，每一種模型皆有一些參數變數，如放大倍率、時間常數、狀態變數、輸入變數及輸出變數等，這些與模型有關的參數型態，共分為四大類，常數(Constants)、狀態變數(State Variables)、代數變數(Algebraic Variables)以及輸入變數(Input Variables)。

PSS/E 分別規劃給這四類參數個別的陣

列(ARRAYS)，常數參數為 CON(J)，狀態變數為 STATE(K)，代數變數為 VAR(L)，輸入變數為 ICON(I)；所以模型內若有這四種變數，則必須給予對等的變數名稱以代表該變數[6]。

(3)各種模式簡介

PSS/E 的機組模型共分為八種模式來運作，PSS/E 它沒有內建任何控制方塊，必須使用者自行用 FORTRAN 及 FLECS 語言撰寫，而模型本身與 PSS/E 互相溝通的方式，就是利用這八個模式，茲將此八個模式簡介如下[8]：

MODE 1：設定模型內各變數的初始值，它會根據系統網路所得的值來設定模型內的所有變數值。

MODE 2：計算所有狀態變數對時間的微分，且將結果放在 DSTATE 陣列內，所有穩定器的輸出值必需計算出來，並且將其放在 VOTHSG 陣列內；每一個勵磁機的極小值及極大值限制器的輸出值必須計算出來，並分別放置在 VUEL 及 VOEL 陣列內。

MODE 3：所有穩定器的輸出值計算出來，並且放在 VOTHSG 陣列內；每一個勵磁機的極小值及極大值限制器的輸出值必須計算出來，並分別放置在 VUEL 及 VOEL 陣列內，若模型為勵磁機時必須計算出其輸出電壓標么值，並將其結果放在 EFD 陣列內，若為汽輪機的調速器模型，則必須計算出其輸出的機械功率，並將結果放在 PMECH 陣列內，若為其它的模型就不需要此模式。

MODE 4：模型必需更新最大被使用到的狀態變數值，放入變數 NINTEG 內。

MODE 5：當執行 " DOCU " 的列表指令時，會呼叫此模式，在此模式下，必須將此模型的一些參數列印出

來，" DOCU " 這個指令會將所選擇機組的全部模型參數列出，列出內容包含模型名稱、所使用的狀態變數其陣列編號範圍、常數參數陣列編號範圍，以及各模型所用到的參數名稱及其內含值。

MODE 6：當執行 " DYDA " 的指令時，會呼叫此模式，並且列出此模型的一些參數記錄，" DYDA " 這個指令會將所選擇機組的全部模型參數列出，列出內容包含模型名稱，以及各模型所用模型的常數參數值。

MODE 7：當執行 " DOCU " 的檢查指令時，會呼叫此模式，在此模式下，必需檢查所有常數參數值，是否超出定義的範圍，若有超出時，則會將結果列於各模型的最上方。

MODE 8：當執行 " Add/Edit Constants " 指令時，會呼叫此模式，方便的讓使用者能夠直接在動態模擬前，以列表方式修改常數參數值，而不必從機械參數檔案中修改。

新天輪電廠的勵磁機模型建立

新天輪發電廠原始的勵磁機模型方塊圖如圖 2.3 所示，在此圖中前面的 VD 方塊是將電壓訊號的標么值轉為真實值，最後面的 GEN 方塊是表示發電機的方塊圖，由於在 PSS/E 內在勵磁機的輸入及輸出端，都是用標么值表示，故此模型的輸入及輸出端也必需為標么值。

由圖 2.3 可算出勵磁機的場電壓範圍為 +5.519~-5.519PU。而 " 90R " 這個輸入點，為參考電壓的設定點，此參考電壓必需隨著系統網路的結構及負載的狀況而改變，PSS/E 在解完系統的負載潮流後，系統中所有匯流排的有效功率、無效功率、電壓大小及電壓相角皆為已知，PSS/E 必需利用這些穩態解，以及每個模型的 MODE 1 及 MODE 2 計

算式，來解出該模型內各種參數變數的初始值。

由以上的討論可知，當系統解完電力潮流後，在本模型內勵磁機的輸入端(ECOMP)及輸出端(EFD)兩個值為已知，而我們可利用這兩個值，解出在穩態時此勵磁機模型內的各個變數值，其中也包含了 VREF(即原始資料圖中的 90R)，模型內的各個變數值，在不同的系統網路架構下，將有不同的初始值，且必需靠 MODE 1 及 MODE 2 去計算出來。

在做動態模擬時，從 0 秒到 0.5 秒為穩態(未發生擾動時)部分，在 0.5 秒時模擬系統發生三相短路故障在峨眉(2000)匯流排，歷經四個週期後(即在 0.5667 秒時)清除故障，然後再繼續執行到 3 秒。92 年尖載時新天輪電廠勵磁機輸出 EFD 的動態響應情形，如圖 2.4 所示。

圖 2.4 未發生故障前，勵磁機的輸出端，會維持在一個定值，發生故障時，因峨眉匯流排在新天輪電廠附近，故所受到的影響很大，勵磁機會輸出最大電壓來因應電壓的掉落；故障清除後，可看到新天輪(811)匯流排的電壓大小(即勵磁機的輸入端 ECOMP 訊號)在搖擺中，而勵磁機的輸出端 EFD 會補償電壓的搖擺行為，而最後使端電壓趨向穩定於一個定值，由 SSSP 對各模式阻尼比的分析亦可獲得相同的結論。

明潭電廠的勵磁機模型建立

明潭發電廠的原始勵磁機模型方塊圖如圖 2.5 所示，在圖中此模型包含了兩部分，一個是勵磁機的部分，另一個是電力系統穩定器(PSS)的部分，此勵磁機部分為 IEEE 標準的 ETSA 模型，故在此直接將勵磁機部分命名成 "ETSA"。

在 PSS 的部分，在 PSS/E 內已有內建模型，"IEEEST" 故可直接套用。在勵磁機的部分，有些增益參數在原始資料中有參考範圍，其中 KU 值為 5.0~75，KA 值為 5.0~55，KF 值為 0.0~20；利用這些資料可以在 MODE

7 中，利用 DOCU 的檢查功能，檢查出來上述參數值是否在參考範圍內。

92 年尖 中載時約在 10 秒後即達穩態，輕載時振盪較為劇烈，其動態響應圖，如圖 2.6 所示，由 SSSP 頻率分析中，在 0.15Hz 附近也有-0.137 的阻尼比出現，推究其原因為 PSS 的增益過大，若將其增益值調至 10 以下，則輕載時即無振盪現象發生；95 年的情況與 92 年大致相同。

3. 結論及建議事項

在 92 年及 95 年的台電系統中，由於有一些新電廠及新機組加入，使得台電系統的狀況有些變化，尤其是在新機組的模型參數最好能完整的取得及正確的輸入，以確保穩態及動態模擬的可靠性。

本計畫內說明了一些參數的檢查及判斷正確與否的方法，可提供參考，若發生機組參數值有懷疑時，多半可利用這些方法來解決，當利用 PSS/E 執行初始值計算時亦同時檢查系統參數合理性，務必使初始條件的計算能順利完成，以後系統的動態響應才能正確的呈現出來，因為若有機組在執行初始運算時其狀態變數的微分不是零(或很接近零)，則再進行動態模擬時，可去觀察該機組的輸出，通常在穩態運轉時不會是一條直線，有可能會振盪收斂或發散，而影響動態模擬的正確性。

當將系統資料放入 PSS/E 進行負載潮流模擬時，發電機匯流排上的有效功率及電壓大小的設定值，決定了此部發電機在系統中所需輸出的有效及無效功率，當執行初始條件計算指令後，其所列的初始條件，包含原動機的輸出實功率(Power)或勵磁機的輸出電壓(EFD)，若有 "OUT OF LIMITS" 的警告訊息出現時，必需先確定所輸入的機械資料無誤後，即可調整電力系統資料中的發電機資料部分，先判斷 OUT OF LIMIT 的原因，是超過所允許的最大值或是小於最小值，視情況所需將發電機的實功率或端電壓

做有效的調整，調整後，必需再次觀察初始條件的值是否已經排除此問題，若一直無法解決此問題時，則必需詢問原製造廠家，其參數值是否有誤，一般來說依此方式調整即可將初始條件的問題慢慢排除。

當獲得一個使用者自建模型時，必需做動態模擬的檢查動作，以確保該模型的正確性；另外，在 92 年及 95 年系統中少部分匯流排編號及匯流排名稱建議能夠統一，以防止往後會產生認知上的問題。

本計畫中也利用 PSS/E 的使用者自建模型方式，建立了新天輪及明潭電廠兩個勵磁機的模型；另外，在 PSS/E 27 版以後的版本，有新增一些內建模型，所以在 95 年使用 "URST4B" 勵磁機模型的機組，可改為 PSS/E 所內建的 "ESST4B" 模型，時域模擬出來的結果會較為正確。

PSS/E 的使用者自建模型共由八個 MODE 組成，每個 MODE 各有不同的功能，使用者自建模型用此八個 MODE 與外界溝通，這些 MODE 的撰寫方式，在 PSS/E 的操作手冊第九章內有一簡單的例子可以參考；另外，由台電委託 PTI 所寫的使用者自建模型 "URST4B" 也可參考，但 URST4B 模型，在 Windows 版 PSS/E 執行時，因先前所提的問題，所以 EFD 無法正確的輸出，而以上所提這些問題已找到錯誤並獲解決，故 URST4B 模型，已能正確的依系統的情況而做出相應的動作。

95 年及 92 年輕載系統，在明潭電廠電力系統穩定器及匯流排電壓有振盪的現象，其原因為穩定器的參數不適當，需要再調整，由 SSSP 的分析中也可看到有這個負阻尼的振盪頻率存在。

台電系統參數問題積時已久，因運轉較久的機組參數從加入商轉至今從未重測，以及某些機組製造商最初所給予的某些參數資料就不合理，所以模擬出來的結果，僅是接近實際狀況而非實際狀況。

4. 成果自評

本計畫研究內容與原計畫書相符，並達成預期目標，研究結果兼具實用及學術價值。

參考資料

- [1] 許源浴，"電力系統穩定度，" 國科會整合型計畫報告，1990.
- [2] 劉志文，"電力系統穩定度與控制，" 國科會整合型計畫報告，2001.
- [3] 許源浴、郭宗益、鄭林合、羅天賜、江怡詔、王勝寬、陳以彥、林建廷、黃瓊誼，"串聯補償與穩定器技術之協調應用以改善台電系統動態特性，" 完成報告，1997.
- [4] 陳南鳴，「電力系統可靠度之研究」，能源委員會計畫報告，民國 89 年。
- [5] P. Kundur, "Power System Stability and Control," McGraw-Hill, 1994.
- [6] P.M. Anderson, A.A. Fouad, "Power System Control and Stability," 1977.
- [7] PTI. "PSS/E 27 Installation Manuals for Windows," December 2000.
- [8] PTI. "PSS/E 27 Volum I : Program Operation Manual, "

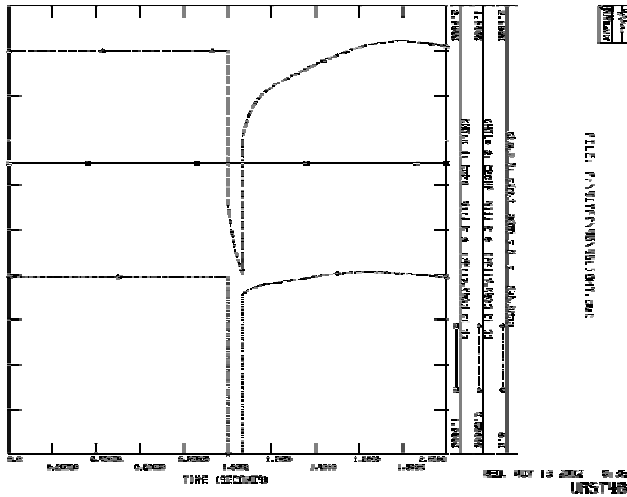


圖 2.1 未修正前 URST4B 輸出端 EFD 的情形

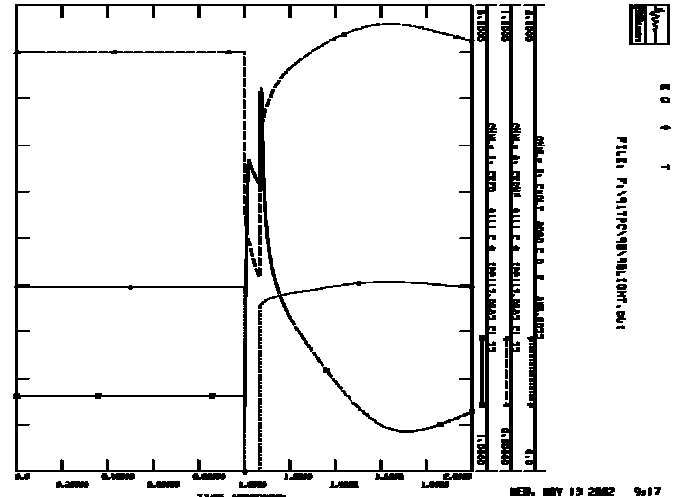


圖 2.2 修正後 URST4B 輸出端 EFD 的情形

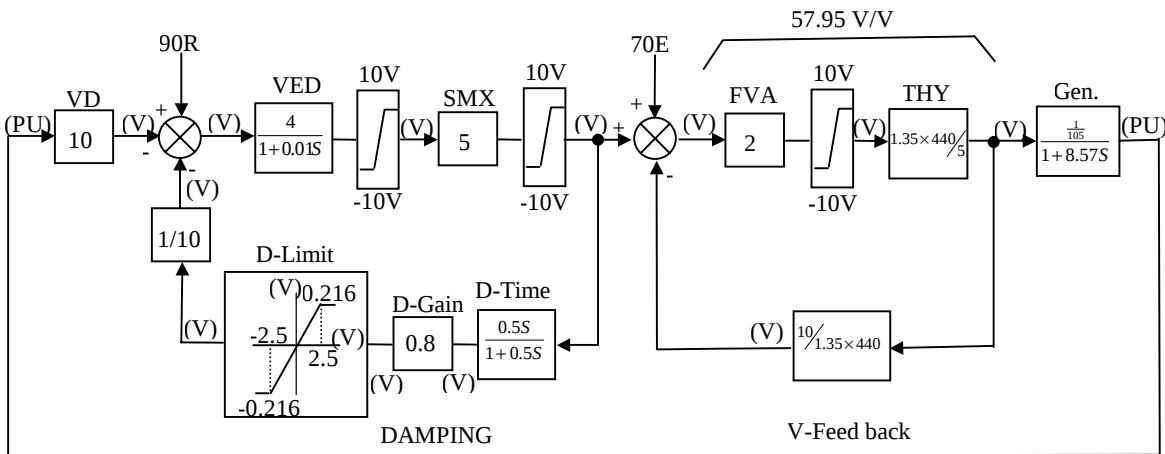


圖 2.3 新天輪發電廠勵磁機控制方塊圖

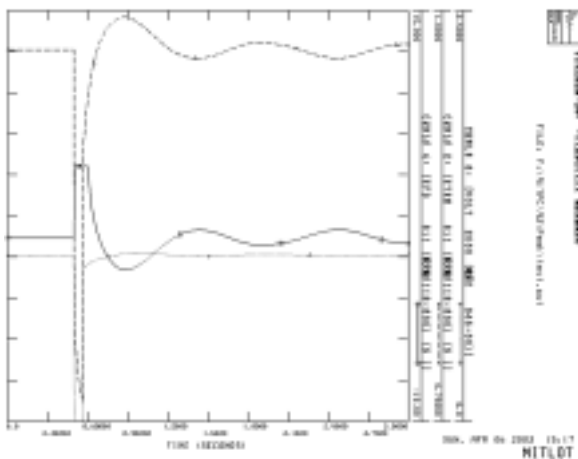


圖 2.4 MITLOT 92 年尖載動態響應圖

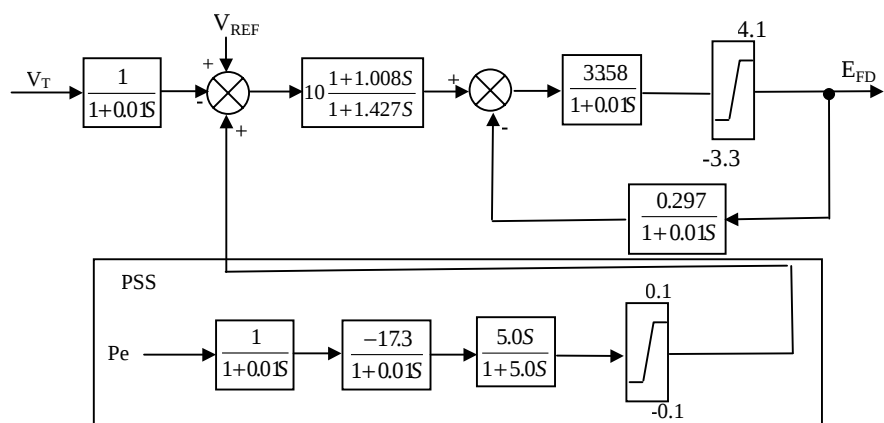
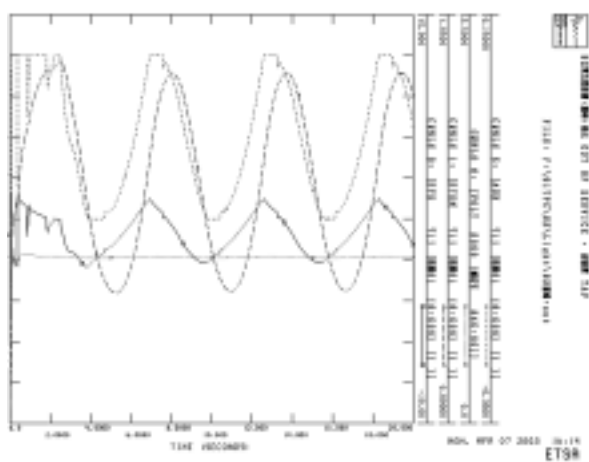


圖 2.5 明潭勵磁機的控制方塊圖



——EFD ----ECOMP峨眉山 E 匯流排電壓PSS

圖 2.6 ETSA 92 年輕載動態響應圖