

出國報告(出國類別：實習)

實習電力系統動態安全分析程式之技術
與
參加電力系統動態安全分析程式使用者
年會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：蕭純育 副中央調度監

石連柱 主管特殊保護

派赴國家：美國、加拿大

出國期間：98年9月8日至20日

報告日期：98年10月30日

出國報告審核表

出國報告名稱：實習電力系統動態安全分析程式之技術與參加電力系統動態安全分析程式使用者年會

出國人姓名	職稱	服務單位
蕭純育、石連柱	副調度監、主管特殊保護	電力調度處


出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____（例如國際會議、國際比賽、業務接洽等）
------	---

出國期間：98年9月8日至98年9月20日 報告繳交日期：98年10月30日

出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9..本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：
--------------	--

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人	 	審核人		單位 主管	 代呈剛啟 2	主管處 主管		總經理 副總經理	
-----	--	-----	---	----------	---	-----------	--	-------------	---

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：實習電力系統動態安全分析程式之技術與參加電力系統動態安全分析程式使用者年會

頁數 53 含附件 是 否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話：臺灣電力公司／陳德隆／02-23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話：

蕭純育	台灣電力公司	電力調度處	副調度監	07-311-3695
石連柱		電力調度處	主管特殊保護	02-2366-8536

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他：

出國期間：98年9月8日至98年9月20日 出國地區：美國、加拿大

報告日期：98年10月30日

分類號／目

關鍵詞：特殊保護系統(SPS)、動態安全分析程式、DSA Tools 分析軟體、電壓穩定度、暫態穩定度、即時(On-Line)、離線(Off-Line)。

內容摘要：

藉由特殊保護系統(Special Protection Systems, SPS)之智慧型動作保護機制有助於防範電力系統發生大範圍之停電。而透過電力系統動態安全分析(Dynamic Security Assessment, DSA)則可以找出對系統產生嚴重的電壓或暫態不穩定之狀況，進而依相關條件設計出一套智慧型的特殊保護系統以解除可能發生的系統不穩定問題。本報告介紹出席加拿大 PLI (Powertech Labs Inc. , PLI)公司電力系統動態安全分析程式(DSA Tools)使用者年會之活動內容與互動情形，及分析工具中電壓穩定度分析軟體與暫態穩定度軟體之功能與應用，以爲本公司日後進行電力系統動態安全分析及特殊保護系統設置檢討時之參考。

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

實習電力系統動態安全分析程式之技術與參加電力系統動態安全分析程式使用者年會

目 錄

	<u>頁次</u>
壹、出國目的	1
貳、出國行程	2
參、參加電力系統動態安全分析程式使用者年會紀要	2
肆、電力系統動態安全分析程式(DSAT Tools)介紹	14
伍、電壓安全分析程式(VSAT)案例應用	27
陸、暫態安全分析程式(TSAT)案例應用	36
柒、台電 99 年特殊保護系統檢討	51
捌、心得與建議	52

實習電力系統動態安全分析程式之技術與參加電力系統動態安全分析程式使用者年會

壹、出國目的

近年來包含美加、歐洲與亞洲地區等世界著名電網相繼發生大停電事件，波及數千萬人，咸認可能為大量電力交易使用既有輸電網路，致電力系統分析技術複雜度及難度升高所致。此時若能利用所謂的電力系統動態安全分析程式（Dynamic Security Assessment, DSA），縝密分析系統暫態穩定、電壓穩定及小信號穩定等，則能減低電力公司發生大停電機率。本公司為防止大停電發生所建置之特殊保護系統（Special Protection System, SPS），其先期之系統分析、保護動作設計與動作決策表（Look-up Table）即使用此 DSA 程式。由於本公司需定期分析系統之動態穩定度問題並在發現問題之後，視需要設計 SPS 以防範系統發生大範圍之停電問題，故派員學習此程式使用技術以提昇本公司之電力分析技術並利益相關業務之推動。

本項出國計畫原訂於 98 年上半年參加加拿大 PLI 公司所開辦之 DSA Tools 訓練班，共 4 門課程，惟當時因 H1N1 新流感流行，加拿大被列為流行疫區，相關出國計畫暫緩辦理，因此未派員前往，後因國際間 H1N1 新流感疫情已趨溫和，且此實習對本公司有關特殊保護設備之分析與決策表之製作甚為重要，因此決議於九月繼續派員前往實習。

加拿大 PLI 公司 DSA Tools 訓練班之課程下半年因只開辦 2 門課程，故除派員參加外，另增加出席其於美國 Boston 舉行之 DSA Tools 使用者年會，期與其他電力公司之 DSA Tools 使用者進行 SPS 運用之經驗交流與分享，以提昇本公司相關業務之使用技術與運用績效。另亦安排於課程結束後與 PLI 公司之技術人員研討本公司 99 年特殊保護設備之設計內容，並請其提供意見以為日後特殊保護設備分析與設計之參考。

貳、出國行程

本出國計畫，自 98 年 9 月 8 日起，至 98 年 9 月 20 日止，詳細行程如下表所示。

日期	起訖地點	工作紀要
98.9.8~98.9.9	台北—舊金山—波士頓	往程
98.9.10~98.9.11	波士頓	參加電力系統動態安全分析程式使用者年會
98.9.12~98.9.13	波士頓—溫哥華	行程(含假日)
98.9.14~98.9.17	加拿大 PLI 公司	參加電力系統動態安全分析程式訓練
98.9.18	加拿大 PLI 公司	研討台電 99 年特殊保護系統設置
98.9.19~98.9.20	溫哥華—台北	返程

叁、參加電力系統動態安全分析程式使用者年會紀要

2009 年 DSA Tools 使用者年會，於 9 月 10 日至 11 日在美國波士頓舉行，共有來自愛爾蘭、美國、加拿大、台灣、韓國等地 DSA Tools 使用者之代表前來參加，總計 17 個單位，其代表之公司，依英文字母排序如下：

1. AEP (Canada)
2. ArevaT&D (US)
3. ATC (US)
4. California ISO (US)
5. CenterPointEnergy (US)

6. Eirgrid(Ireland)
7. IESO (Canada)
8. ISO New England (US)
9. KESRI (Korea)
10. National Grid USA Inc (US)
11. NSTAR (US)
12. PJM (US)
13. PowerGEM(US)
14. San Diego Gas & Electric (US)
15. Southern California Edison (US)
16. Southern Company Services (US)
17. Taiwan Power Company (Taiwan)

本年度 DSA Tools 使用者年會之議題包括：

- 一、 DSA Tools 之新功能介紹以及 DSA Tools 在即時系統上之應用。
- 二、 DSA Tools 之新功能演示。
- 三、 使用者之經驗分享，包括來自愛爾蘭 Eirgrid、加拿大 IESO、美國 PJM 與 AREV 公司等有關 DSA Tools 在即時系統(On-Line)之使用經驗分享。
- 四、 未來新功能計劃之討論。
- 五、 對現有產品與技術支援之使用者意見。
- 六、 對新功能、產品與服務之使用者意見。

DSA Tools 是一套包含電力潮流分析(PSAT)、電壓穩定度分析(VSAT)、暫態穩定度分析(TSAT)與小訊號穩定度分析(SSAT)之電力系統動態穩定度安全分析工具，其友善之室窗界面與強大之功能使其廣受世界各電力公司之青睞與使用，特別的是，每當其有新功能增加或昇級之後，使用者可以免費的更新，勿需再付任任何費用，並且提供非常完善的技術

支援，因此在電力系統分析工具之市場佔用率方面逐年的增加。而年度使用者年會之召開主要是在於介紹給使用者本年度新增之功能及與使用者之經驗交流與問題解決。

DSA Tools 版本之更新一般在每年之春季，目前最新版本為 9.0 版，與上一版本之比較，新增功能如下：

◆電力潮流分析(PSAT)

電力潮流模型與求解方式之更新

- 增加三繞組變壓器之單獨繞組控制功能
- 每一繞組可控制不同或相同之變數(電壓、MW 潮流、MVAR 潮流)
- 二繞組或三繞組變壓器電壓控制之求解選項合併成一個選項
- 新求解之選項增加忽略參考匯流排(Swing bus)之 MVAR 限制選項
- 修改低阻抗之求解方式

單線圖繪圖功能之更新

- 增加界面潮流之多項潮流複合功能(相關資料可以從 VSAT 輸入)
- 增加匯流排分開功能
- 增加 VSAT 中匯流排打開之動作記錄於巨集指令中之功能
- 增加選擇含有內容表之鄰近匯流排功能
- 增加元件之資料項目數量功能

◆電壓穩定度分析(VSAT)

➤ 增加可依據發電裕度調整發電機群組發電量之功能

➤ 增加三繞組變壓器模型

➤ 增加事故種類：

--匯流排打開

--於事故中取消 SPS 動作

--於事故中閉鎖使用者指定之 ULTC

--於事故中應用 PSAT 巨集指令

--於次系統中調整負載/發電機/併聯電容量

➤ 在事故篩選功能中增加過載之篩選

➤ 增加事故前與事故後 ULTC 之求解

➤ 增加複循環發電機組之模型

➤ 增加在所有穩定度極限點之模態分析

➤ 在調整發電之發電機群組中增加個別的發電機組

➤ 增加參考匯流排允許忽略 MVAR 限制之選項

➤ 增加發電機發電能力圖支援負發電之功能

➤ SPS 模型中增加閘門(Gate)之功能

➤ 增加事件(Scenario)與事件之比較功能

◆ 暫態穩定度分析(TSAT)

➤ 增加多項新的模型

- CIGRE 複循環機組調速機模型
- UCBGT, UHRSG, UCCPSS 模型
- 更新 IEEE PSS 之 PSS2B 模型
- WECC 接受之 J 型發電機模型
- Gentpj 模型
- 全整流型(Full-converter)之風力汽輪機模型
- 編號 8 型之 PQW 與 DFM 方塊模型
- 支持 16 字元之匯流排名稱

◆輸出分析(DSAOA)

- 傳輸限制之圖表增加傳輸界面之電力潮流量
- 輸出結果表列化

以往電力界在使用 DSA Tools 方面以使用在離線(Off-Line)電力系統分析為主，隨著用戶之需求與技術之演進，目前在全世界主要電力公司中已有約 29 名用戶使用即時(On-Line)之 DSA Tools，詳圖 1.1，並以使用其中之電壓穩定度分析(VSAT)與暫態穩定度分析(TSAT)為主。

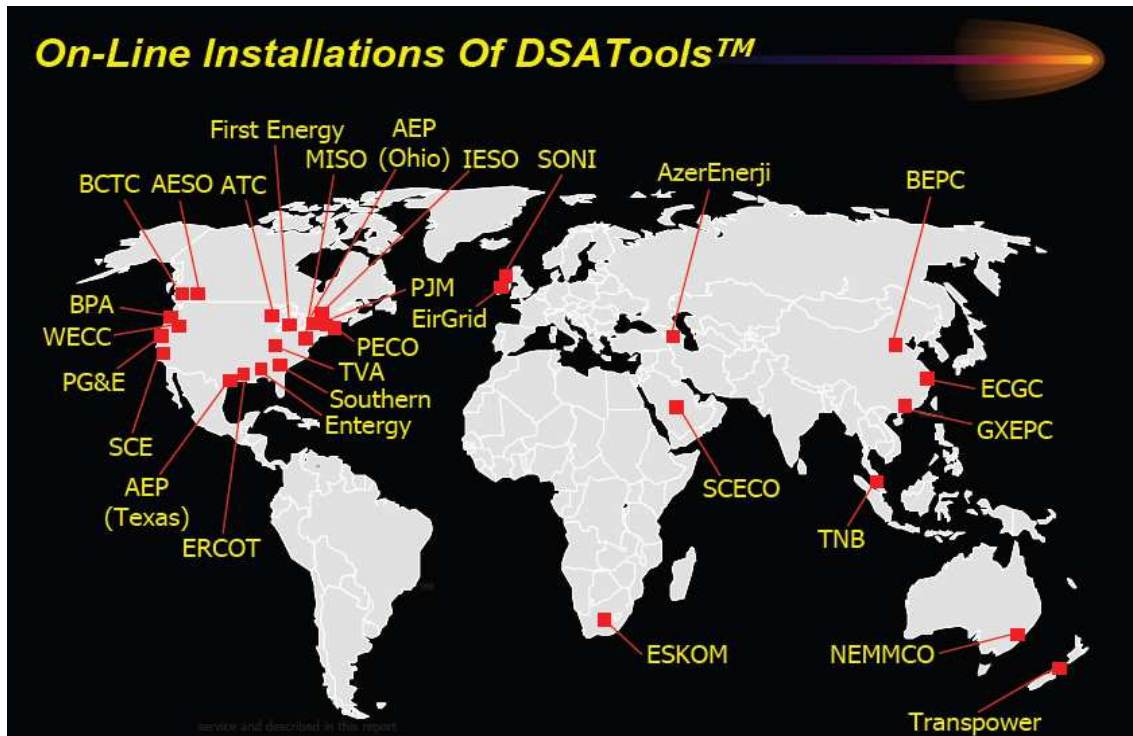


圖 1.1 DSA Tools 全球使用者分佈圖

即時(On-Line) DSA Tools 之主要架構分成硬體，軟體與模型等三大部分。詳圖 1.2。硬體部分，有其最低要求，另可依使用者之需求，例如：可靠度與計算速度，而增加硬體設備。基本上至少需要一部多核心之伺服器，以執行所有 DSA Tools 的應用軟體，資料則可存放在一般電腦之硬碟，但此架構無備用與故障切換之功能。在此基本架構上，使用者可以再增加，DSA 用戶端伺服器(Client Server)、計算伺服器(Computation Server)與資料伺服器(Data Server)。用戶端伺服器在於作為 DSA Tools 管理等功能之備用(backup)。計算伺服器則是以分散型之計算方式來提高 DSA Tools 之計算能力與速度。資料伺服器則是以提高資料存放之可靠度為目的。整個硬體之架構圖，詳圖 1.3。

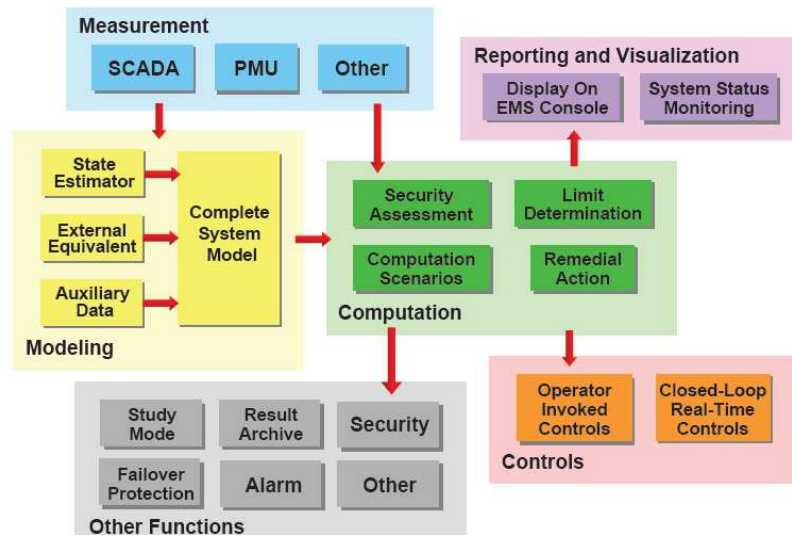


圖 1.2 DSA Tools 架構

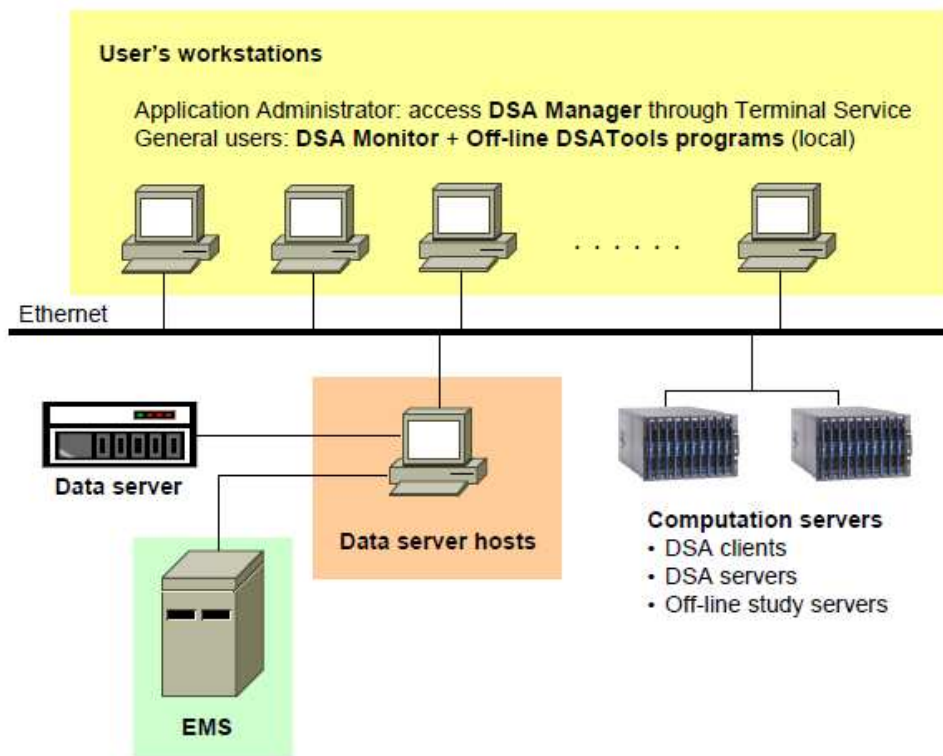
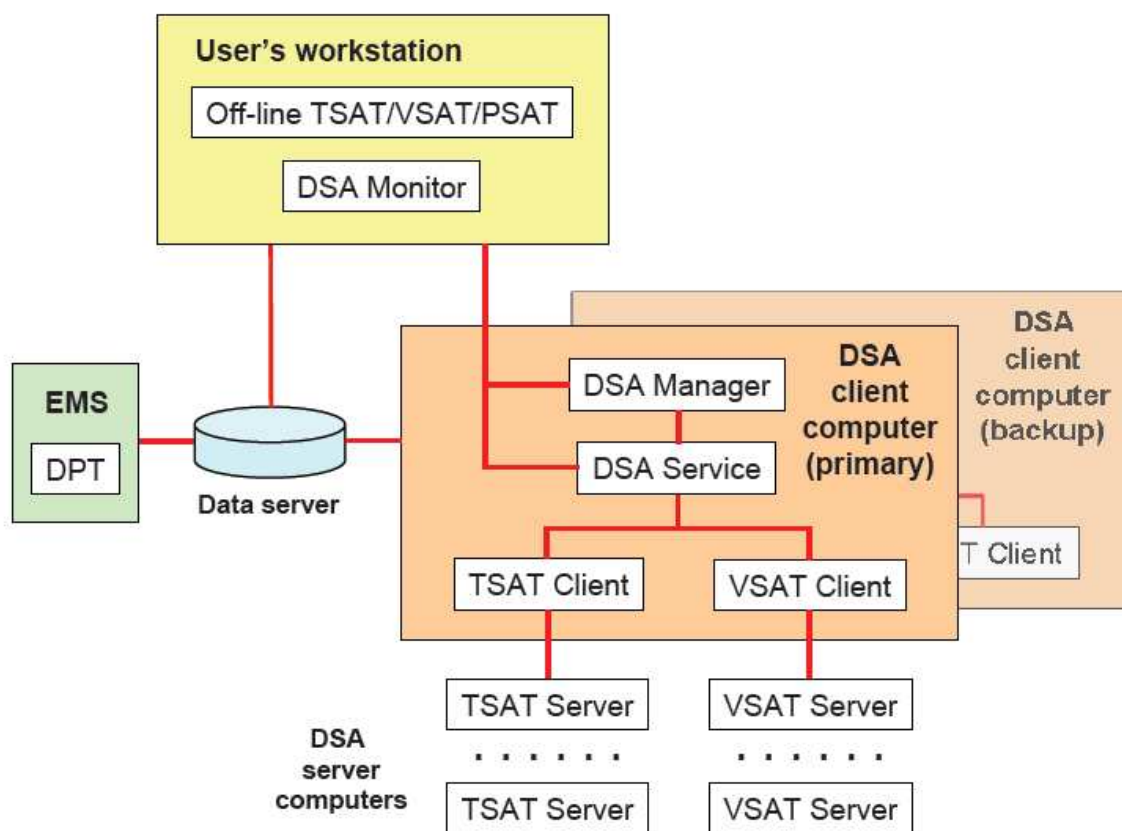


圖 1.3 DSA Tools 硬體架構

即時(On-Line) DSA Tools 是一個獨立於即時電能管理系統(EMS)外的應用工具，因此在資料處理部分必須由即時電能管理系統提供之後，再依據不同的需求(VSAT/TSAT)做進一步之計算與結果顯示。基本上，即時電能管理系統(EMS)的即時資料先送到資料伺服器，

再送到 DSDA Tools 使用端伺服器做相關之應用，相關流程詳圖 1.4。



21

圖 1.4 DSA Tools 軟體架構

DSA Tools 所需的資料共有兩種，一是由即時電能管理系統(EMS)上名為 DPT 的界面所傳送過來的即時資料(Real Time Data)，包含電力潮流資料、設備名稱表及點資料與匯流排資料對照表；另一個是在 DSA Tools 管理系統內準備的固定資料(Fixed Data)，包括事故、線路額定值、監控資料、AGC 動作表計算參數等。資料類型上有必要與選擇性資料兩種，依檢討之需要而定，詳圖 1.5。DSA Tools 再依據相關之資料做進一步之電壓穩定度分析或暫態穩定度分析，最後再將結果送到顯示界面上供使用者參考。

	VSAT		TSAT
Real-time data	Powerflow Equipment name table Node-bus mapping table	These data sets are shared between VSAT and TSAT	Powerflow Equipment name table Node-bus mapping table
Real-time and/or Fixed data	Transfer Interface Generator capability curves Combined-cycle unit models Master equipment name table Contingency Special protection system Branch rating		Transfer Interface Generator capability curve Combined-cycle unit models Master equipment name table Contingency Dynamics Special protection system
Fixed data	Monitor Load conversion ULTC control mode AGC action Modal analysis parameters Remedial control Criteria Computation parameters Computation scenario definition		Monitor Powerflow solution parameters Computation parameters Computation scenario definition
Red indicates mandatory data			

圖 1.5 DSA Tools 資料分類表

本次使用者年會中共有加拿大的 IESO、愛爾蘭的 Irgrid 與美國的 PJM 等三家電力業者分享他們在即時系統上使用 DSA Tools 於系統電壓穩定度與暫態穩定度分析的應用經驗，本報告中茲以愛爾蘭 Irgrid 使用經驗為列，做一介紹。

根據 Dr. Ivan Dudurych 的介紹，詳圖 1.6，愛爾蘭 Irgrid 電力公司之發電機裝置容量為 6,450MW(不含風力發電)，風力發電則有 1,080MW，並逐年增加當中。尖離峰負載約在 1,735MW 與 5,042MW 之間。愛爾蘭 Irgrid 的即時電力動態安全分析稱為 WSAT(Online Tool for Assessment of Secure Level of Wind Generation on the System)，是一套評估風力發電對系統安全分析之即使應用工具。

基於環境與經濟的理由，愛爾蘭對風力發電的需求愈來愈高，依照歐盟議會的要求，

2010 年愛爾蘭風力發電須佔全發電量的 15%，2020 年則需佔 40%，然而風力發電非可控發電，影響電力系統之安全與可靠度甚鉅，詳圖 1.7，風力發電對系統頻率之影響，愛爾蘭 Irgid 因此決議於其電能管理系統中增加所謂的 WSAT 來評估風力發電的最大電壓與暫態穩定度極限。



圖 1.6 Dr. Ivan Dudurych

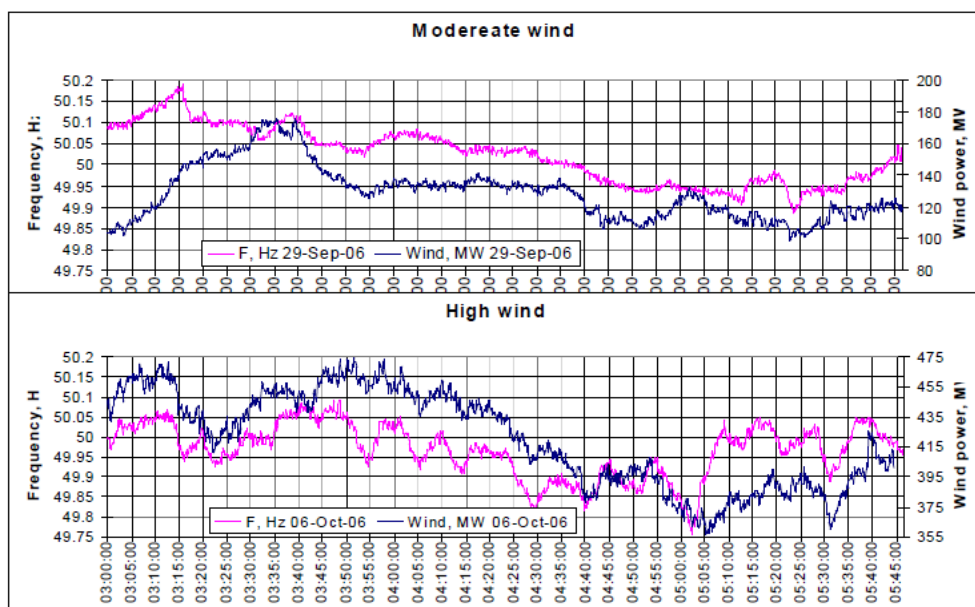


圖 1.7 風力發電對系統頻率之影響

Dr. Ivan Dudurych 表示由於風力發電力之預測不易，此套 WSAT 中共使用了 7 種不同的預測方式，以期提供最準確之資料供系統做分析。WSAT 之資料來自電能管理系統中一套名為即時資料準備應用程式(RTDCP, real time data case preparation)，它將即時的電力潮流資料擷取之後，透過 ftp 的方式送到一特定位置供 WSAT 中的 DSA Manager 讀取使用。DSA Manager 整合相關系統資料(事故、機組、界面潮流資料等)之後，送到 VSAT 與 TSAT 的分析引擎進行計算，最後將結果送至螢幕中供調度員參考。由於 WSAT 是針對風力發電對系統的影響而設計的，因此輸出結果中，以風力的最大可發電量做為電壓與暫態穩定度的監測值，同時在輸出中，WSAT 把所有不穩定的事件，包括電壓與暫態全部整理在一表格上，詳圖 1.8，而非分開在不同的視窗中呈現，對於調度員而言是非常好的參考訊息。

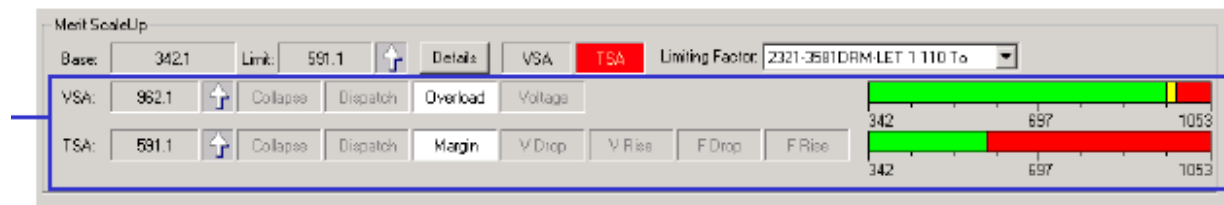


圖 1.8 WSAT 輸出畫面(一)

調度員可以點選畫面上的”Details”指令，進入另一個視窗，查看包括電源調度的情形，以及如果有安全問題時的預防動作建議，詳圖 1.9。

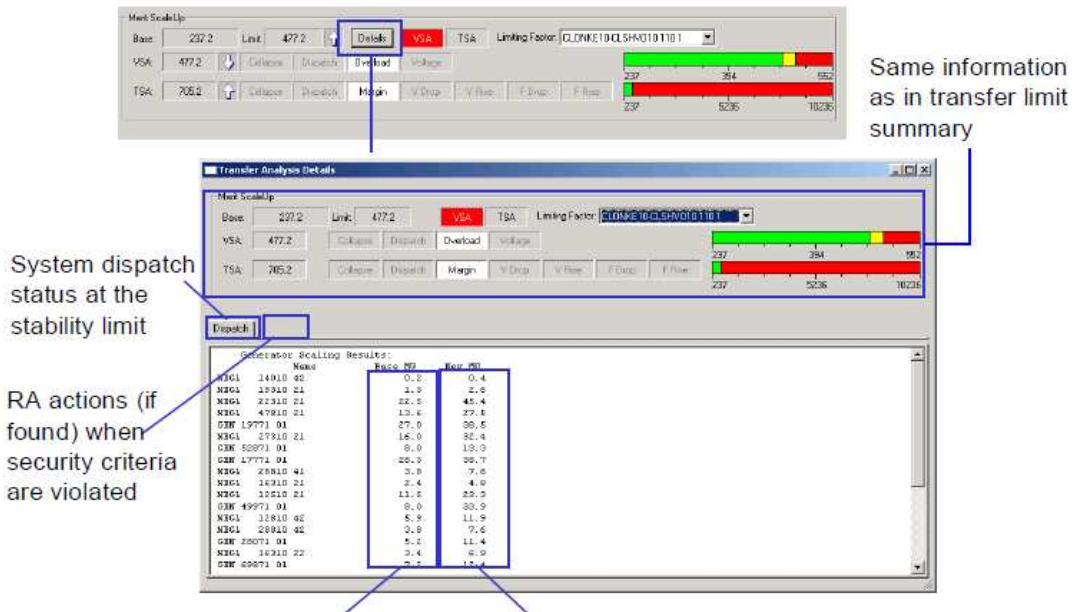


圖 1.9 WSAT 輸出畫面(二)

此外，調度員還可以去查看各個經過詳細分析的情境(Scenario)結果，詳圖 1.10 與圖 1.11，以充分了解在事故情況下，各種參數的變化情形，以為運轉調度及分析檢討時之參考。

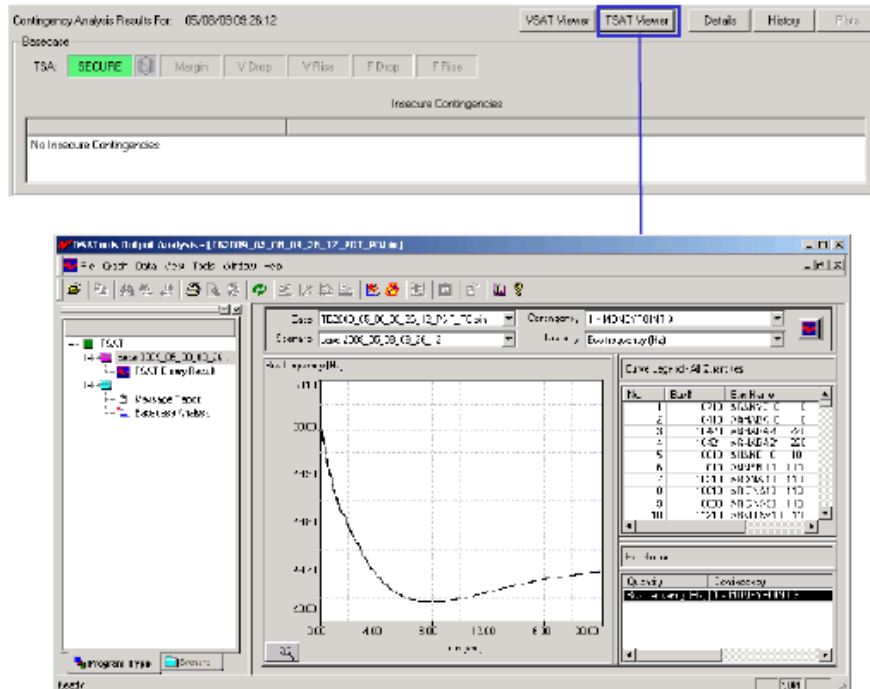


圖 1.10 WSAT 中有關 TSAT 之輸出畫面

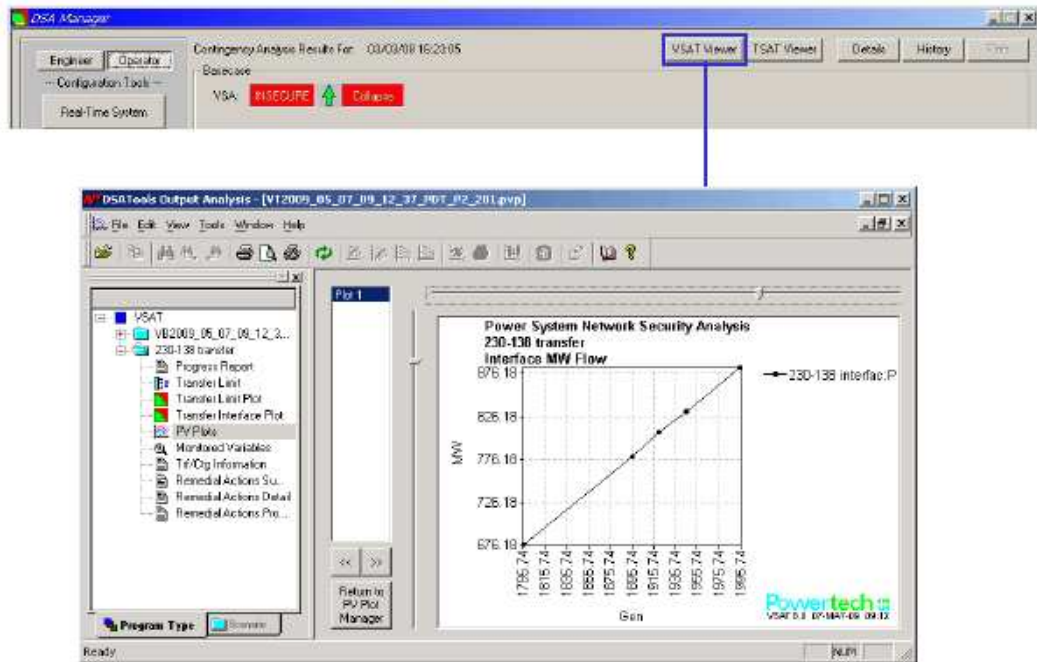


圖 1.11 WSAT 中有關 VSAT 之輸出畫面

肆、電力系統動態安全分析程式(DSAT Tools)介紹

電力系統動態安全分析程式 DSA Tools (Dynamic Security Assessment Tools)，分析包括電壓、頻率及角度等穩定度相關問題。由國際著名電力專家 Kundur 博士，於 1995 年帶領研究團隊 PLI (Powertech Labs Inc.)開始發展。可以整合成爲電能管理系統(EMS)之先進功能，執行線上(On-Line)動態安全評估，輔助調度運轉人員，瞭解電力系統狀態、預知風險。其友善之視窗界面與強大之功能已漸被世界各國電業或 ISO 接受而廣泛採用！

PLI 公司原爲 B.C. Hydro 研究部門，與本公司綜合研究所性質相似，於 1990 年由 B.C. Hydro 分離獨立，並百分之百轉投資，目前 PLI 位於大溫哥華地區之辦公地點，係向 B.C. Hydro 承租。PLI 組織架構上分爲七大部門，包括電力系統分析(Power System Studies)、電

機技術(Electrical Technologies)、電力工程實驗室(Power Engineering Labs)、土木基礎建設暨替代能源技術(Civil Infrastructures and Alternative Energy Technologies)、天然氣系統工程(Gas Systems Engineering)、材料工程(Materials Engineering)及應用化學(Applied Chemistry)等,本次出國任務之一即參加電力系統分析部門舉辦之 VSAT 及 TSAT 各 2 天的訓練課程。其中 VSAT 於 9/14~15 舉行,參加受訓人員除本公司 2 人及 PLI 新進員工 1 人外,其餘均為 BC 輸電公司(BCTC)人員。而 TSAT 於 9/16~17 舉行,參加受訓人員僅本公司 2 人及 PLI 新進員工 1 人。

DSA Tools 具備完整電力系統分析功能,從一般電力潮流及短路電流分析,到暫態、小信號及電壓穩定度安全評估等,使分析人員應用一套資料及程式即可分析各種問題,加上圖形界面之使用友善化,故使用者越來越多,本公司第一次建置之 2005 年特殊保護系統決策表(SPS Look-up Table),即由 PLI 承接以 DSA Tools 進行廣泛精進的分析,後續並將決策表更新技術轉移給本公司。目前本處已利用該程式進行相關電力系統分析,感覺其功能與目前使用之 PTI PSS/E 分析軟體類似,然而在使用者介面、圖形界面、不同情境系統分析,特別是 SPS Look-up Table 之建立功能上,均較 PSS/E 完整且容易。

套裝軟體 DSA Tools 包括下列 4 個主要分析工具：

- PSAT (Powerflow & Short-circuit Analysis Tool)：電力潮流和短路分析工具
- VSAT (Voltage Security Assessment Tool)：電壓安全分析工具

➤ TSAT (Transient Security Assessment Tool)：暫態安全分析工具

➤ SSAT (Small Signal Analysis Tool)：小信號穩定分析工具

DSA Tools 除上述 4 個主要分析工具外，尚有下列 3 個應用模組：

➤ DSA Manager：線上 DSA 管理工具

➤ DSAOA(DSA Output Analysis)：輸出結果分析工具

➤ UDM(User-defined model) Editor：使用者自定義模型編輯程式

➤ CDT(Control design toolbox)：電力系統穩定器(PSS)設計及參數調整工具

DSA Tools 主要可應用於下列領域：

➤ 電力系統中長期規劃

➤ 電力系統短期運轉模式規劃、分析及檢討

➤ 電力系統線上安全分析，包括 SPS 系統決策表線上更新及驗證

➤ 各類電力設備之模型建立及分析

➤ 各種控制措施及控制單元之設計及分析

➤ 事故的重現模擬及分析

➤ 科學、技術研究及教學

DSA Tools 核心技術及功能包括：

➤ 採用業界普遍接受的分析方法

--電力潮流：牛頓-拉弗森法、快速去耦法（兼具故障電流分析）

--電壓安全：P-V 曲線分析、V-Q 曲線分析

- 暫態安全：時域模擬

- 小信號穩定：特徵值分析

- 靈活考慮多種電力系統安全性指標

- 過載、穩態電壓、及無效功率裕度

- 電壓穩定、暫態穩定、低頻振盪阻尼裕度

- 暫態電壓及頻率限制

- 電驛裕度

- 自動產生事故案例

- 多重故障綜合分析

- 事故前可改變 Basecase 條件

- 各種穩定度傳輸極限值計算

- 預防及矯正改善措施指引

- 臨界清除時間(CCT)計算

- 設備模型參數驗證

- 所有分析可用全圖形化介面或整批處理進行

- 可以利用遠端多台電腦同步進行分佈式計算

- 和 PSS/E，PSLF，BPA，IEEE 等程式使用之數據格式兼容

- 能儲存成 WinZip 檔並直接開啓應用

- 線上即時(On-Line)應用

- 支援以下各種模型
 - 使用者自定義模型(UDM)
 - 風力發電系統模型
 - 控制系統模型(標準及用戶自定義模型)
 - 中長期電壓穩定分析模型
 - 不對稱故障及非全相運轉分析模型

◆電壓穩定度安全分析功能

電壓穩定度分析主要分析系統於正常或異常事故後，各匯流排電壓能否回復穩定可接受之安全範圍，系統是否會發生電壓崩潰，以作為系統無效電力補償設備之規劃參考，並可提供調度運轉人員參考。

VSAT 以靜態分析為基礎，主要分析功能包括：

- P-V Curve 計算
- 連續電力潮流(Continuation powerflow)
- 組態分析(Modal analysis)
- 矯正措施(Remedial action)計算
- V-Q Curve 計算

P-V Curve 計算係以電力潮流基本運轉點為主，逐步調整兩個(或多個)區域發電或負載

之增減，即發電量、負載量或傳輸量變化時，系統各 Bus 電壓大小隨之變化，直到電力潮流無法收斂(崩潰點)為止。如圖 4.1 所示 P_0 為基本運轉點， P_m 為沒有事故之最大傳輸量，

P_{cm} 為事故 X 之最大傳輸量，則運轉裕度(Operation Margin, OM)百分比如下：

$$OM(\text{無事故}) = (P_m - P_0) / P_0 \times 100\%$$

$$OM(\text{事故X}) = (P_{cm} - P_0) / P_0 \times 100\%$$

若運用連續電力潮流(Continuation powerflow)技術，可將整個 P-V Curve 之下半部不穩定區域繪出而獲得完整之 Nose Curve，如圖 4.2 所示。

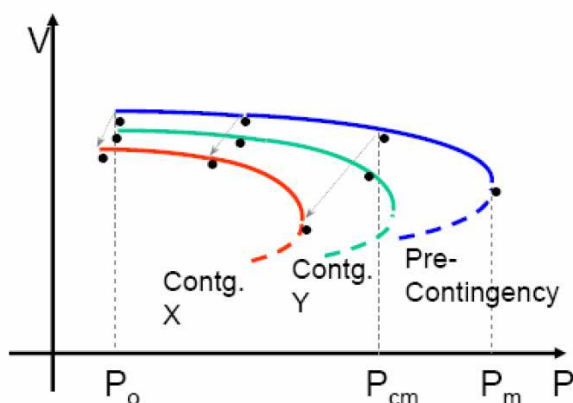


圖 4.1 P-V Curve

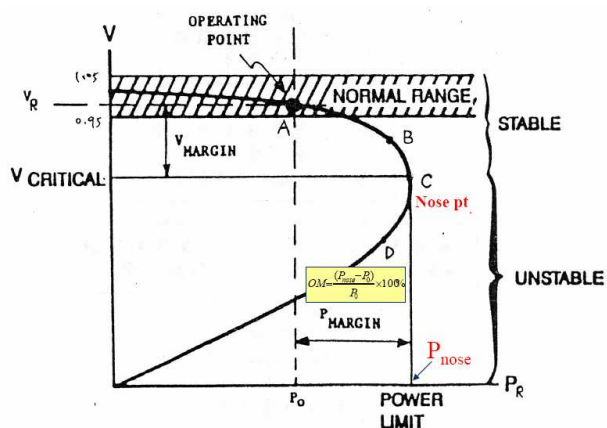


圖 4.2 Nose Curve

組態分析(Modal analysis)係將電力潮流方程式線性化，並求解特徵方程式，由特徵值之正負判斷系統是否穩定，其步驟如下：

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\Theta} & J_{PV} \\ J_{Q\Theta} & J_{QV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\Theta \\ \Delta V \end{bmatrix}$$

Let $\Delta P=0$, then

$$\begin{aligned} \Delta Q &= [J_{QV} - J_{Q\Theta} J_{P\Theta}^{-1} J_{PV}] \Delta V \\ &= [J_R] \Delta V \\ &= [\xi \Lambda \eta] \Delta V \end{aligned}$$

Rearranging,

$$\Lambda^{-1} \eta \Delta Q = \xi \Delta V$$

當最小的特徵值(eigenvalue)大於 0，則系統穩定；反之，最小的特徵值若小於等於 0，則系統不穩定。針對接近崩潰點之運轉點進行組態分析，可計算系統崩潰時，最小的特徵值組態下各電力設備的參與係數(participations)。矯正措施(Remedial action)之計算即針對系統不穩定之案例，依參與係數大小求解計算最有效之卸載或投切無效電力設備。

V-Q Curve 計算係針對系統某 Bus 電壓，設定其變動範圍，將其視為 PV Bus，求解不同電壓時需注入(injection)之無效電力量 Q，再將其圖形繪出，即可了解無效電力之裕度(MVAR Margin)，或系統在什麼電壓範圍下會發生不穩定，如圖 4.3 虛線左半邊，當電壓逐步下降至無效電力注入量反而需增加時，即為系統發生不穩定狀況。

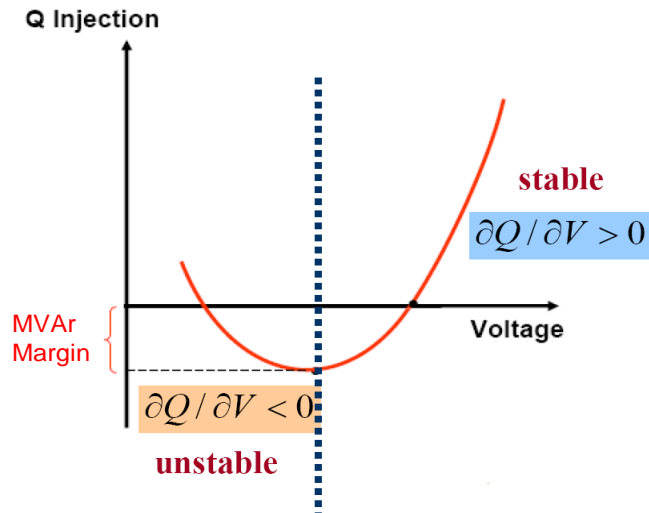


圖 4.3 V-Q Curve

VSAT 針對 Base Case 考慮 Contingencies 可視為一般系統之安全分析 SA (Security Assessment)，其分析流程如圖 4.4；而進行傳輸量(Transfer)極限值之計算流程則如圖 4.5。其中除最基本的電壓穩定度(Voltage Stability)判定外，可另外再考慮其他多種電力系統安全性指標準則(Security Criteria)，包括電壓穩定度裕度(VS Margin)、穩態電壓限制(Voltage Limits)、無效功率裕度限制(Reactive Reserve Limits)及熱容量過載限制(Thermal Limits)等。

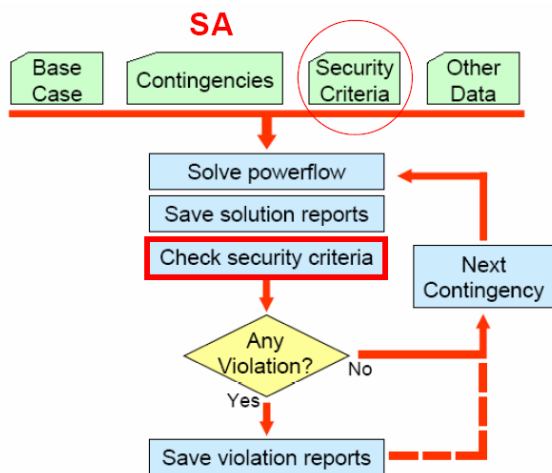


圖 4.4 SA 分析流程圖

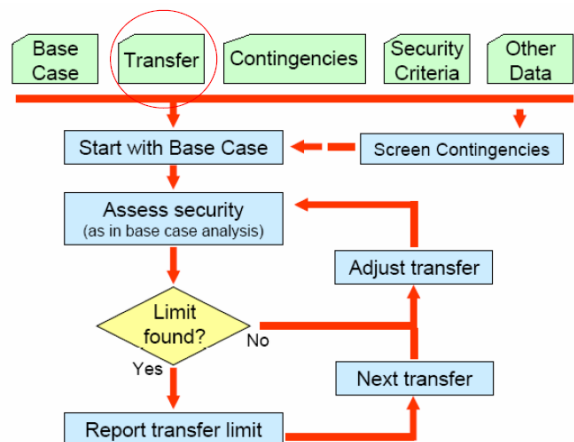


圖 4.5 傳輸量極限值分析流程圖

◆暫態穩定度安全分析功能

暫態穩定度分析主要分析系統於一正常平衡運轉狀態下，經某嚴重擾動事故(如故障、跳機、負載遽變、線路切換等)後，能否回復至另一新平衡運轉點(機組是否失步)，以提供網路穩定度資料，作為網路規劃、系統保護之設計參考，及調度運轉維護之運用參考。

TSAT 可以在不同模式下運作，包括：

- On-line mode: 與 EMS 結合
- Off-line non-distributed mode: 於單一 PC 執行計算
- Off-line distributed mode: 利用遠端多台 PC 同步進行分佈式計算
- Off-line batch mode: 以 Batch 檔執行

TSAT 與其他模組包括 PSAT、UDM、DSAOA 等均可直接互通交換資料應用，整個架構如圖 4.6。

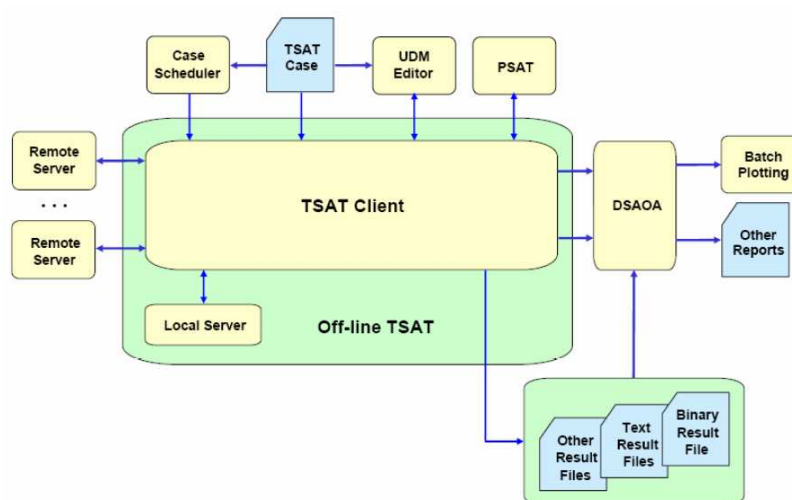


圖 4.6 TSAT 架構圖

TSAT 如同 VSAT，可進行 Base Case 及傳輸量(Transaction)之分析計算。TSAT 以動態非線性時域分析為基礎，主要分析功能包括：

- 判決系統是否暫態穩定
- 臨界清除時間(CCT)計算
- 穩定度傳輸量極限值計算
- 設備模型參數驗證
- 靈活考慮多種電力系統安全性指標

--Transient Stability Index(暫態穩定度指標)

--Damping Index(阻尼指標)

--Transient Voltage Violation Indices(暫態電壓指標)

--Transient Frequency Violation Indices(暫態頻率指標)

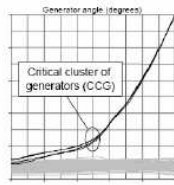
--Relay Margin Indices(電驛裕度指標)

Transient Stability Index(暫態穩定度指標)包括 Power swing-based energy margin(SM)及 Power angle-based margin(AM) 2 種指標。SM 之計算方法及其意義如圖 4.7(a)(b)；而 AM 之計算公式及其意義如圖 4.8。

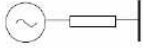
• **Power swing-based energy margin (SM):** a three-step approach

➢ **Step 1:** Identify critical cluster of generators

- This is the group of generators that become unstable or will likely become unstable at the more stressed system condition



➢ **Step 2:** Form parametric one-machine-infinite-bus (OMIB) equivalent



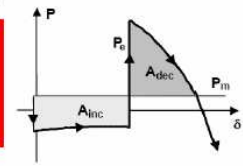
- The parameters of this equivalent are constantly updated using simulation results of the full system

➢ **Step 3:** Determine stability and compute stability margin

- The extended equal area criterion can be applied to define stability margin η

Interpretation

- $-100 \leq \eta \leq 100$
- $\eta > 0$ if the system is stable for a power swing
- $\eta \leq 0$ if the system is unstable



➢ **Note:** SM can accurately assess the stability of the system for the simulated condition; however, its value may not exhibit linear characteristics over a range of system conditions, so be cautious when extrapolating SM to predict stability

圖 4.7(a) SM 計算方法

圖 4.7(b) SM 計算方法

• **Power angle-based margin (AM)**

$$\eta = \frac{360 - \delta_{\max}}{360 + \delta_{\max}} \times 100 \quad -100 < \eta < 100$$

➢ Where δ_{\max} is the maximum generator angle separation during simulation within one AC island

➢ For the example shown,

$$\delta_{\max} = 70.4^\circ \rightarrow \eta = 67.3$$

➢ AM at selected angle separations

δ_{\max} (°)	η (%)
90	60.0
120	50.0
180	33.3
360	0.0

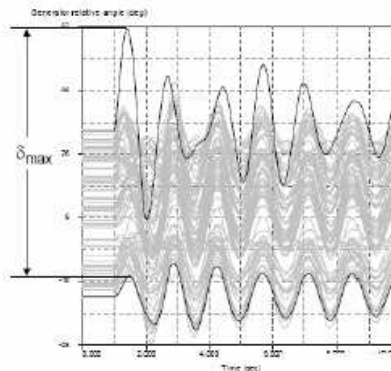


圖 4.8 AM 計算方法

Damping Index(阻尼指標)之計算係應用 Prony method 計算系統低頻振盪最差阻尼比 (damping ratio)，以評估系統是否有動態穩定度問題，其計算方法如圖 4.9。

TSAT calculates a damping index using a multi-channel **Prony method** as the estimate of the worst damping in system oscillations.

For a simulated generator relative angle signal $\delta(t_k)$, $k=1, 2, \dots, N$, the Prony method fits δ with a function of the form:

$$\bar{\delta}(t) = \sum_{i=1}^M A_i e^{\alpha_i t} \cos(\omega_i t + \phi_i)$$

where

- A_i the amplitude of the i^{th} mode
- $f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}$ the **frequency** (Hz) of the i^{th} mode
- $\sigma_i = 100 \times \frac{-\alpha_i}{\sqrt{\alpha_i^2 + \omega_i^2}}$ the **damping ratio** (%) of the i^{th} mode
- ϕ_i the phase (rad) of the i^{th} mode
- M number of modes fit from the signal

圖 4.9 阻尼指標計算方法

Transient Voltage Violation Indices(暫態電壓指標)及 Transient Frequency Violation Indices(暫態頻率指標)之計算係考慮系統在暫態期間之電壓及頻率變化是否違反安全準則，其意義及計算方法分別如圖 4.10 及 4.11 所示。

TSAT provides two transient voltage violation indices to catch critical under- and/or over-voltages in a simulation:

- Voltage drop duration index T_{Vdrop}
- Voltage rise duration index T_{Vrise}

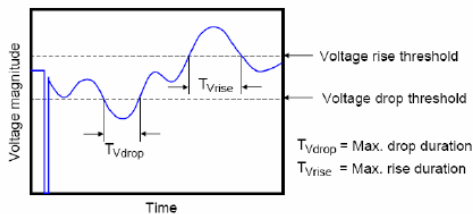


圖 4.10 暫態電壓指標計算方法

TSAT provides three transient frequency violation indices to catch critical frequency characteristics in a simulation:

- Frequency drop duration index T_{fdrop}
- Frequency rise duration index T_{fraise}
- Minimum rate of change of frequency index α

T_{fdrop} and T_{fraise} are defined similarly to the transient voltage violation indices; α is defined as:

$$\alpha = \min \left(\frac{df}{dT} \right)$$

where f is the frequency of a monitored bus or generator.

圖 4.11 暫態頻率指標計算方法

Relay Margin Indices(電驛裕度指標)主要考慮線路失步電驛(out-of-step relay)於系統暫態期間，是否會 swing 進入電驛保護區間內而引起誤跳脫，為防止此失誤，線路視在阻抗軌跡需保留適當的裕度，其意義及計算方法如圖 4.12 所示。

TSAT provides relay margin indices to indicate the likelihood of out-of-step relay operation during transients.

- Two indices are computed for all monitored lines, with different impedance reach
- The index for each impedance reach is defined as:

$$M = \begin{cases} \frac{|ST|}{|OS|} \times 100 & \text{If } |CS| \geq |CT| \\ -\frac{|ST|}{|OS|} \times 100 & \text{If } |CS| < |CT| \end{cases}$$

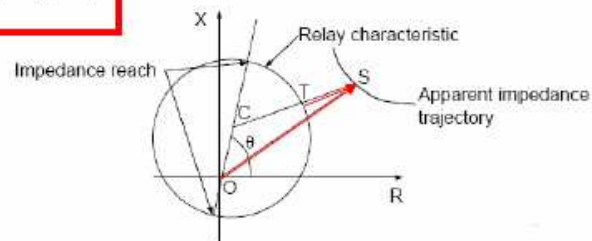


圖 4.12 電驛裕度指標計算方法

伍、電壓安全分析程式(VSAT)案例應用

• VSAT 案例應用 1: Perform Basecase Analysis

(一)分析目的：學習開啓一個新 VSAT 案例情節，並執行 Basecase 在各種事故下之電壓安全分析，系統單線圖(SLD)如圖 5.1.1。

(二)執行步驟：

(1)開啓 VSAT 軟體，系統預設檔為 VSAT.vsa。(圖 5.1.2)

(2)開啓一個新情節(Scenario)。(圖 5.1.3)

(3)設定 Parameters 檔，宣告相關分析條件。(圖 5.1.4)

(4)設定 Powerflow 檔，宣告分析之 Basecase。(圖 5.1.5)

(5)設定 Contingencies 檔，宣告分析考慮的事故案例。(圖 5.1.6)

(三)分析結果：執行結果如圖 5.1.7 所示。

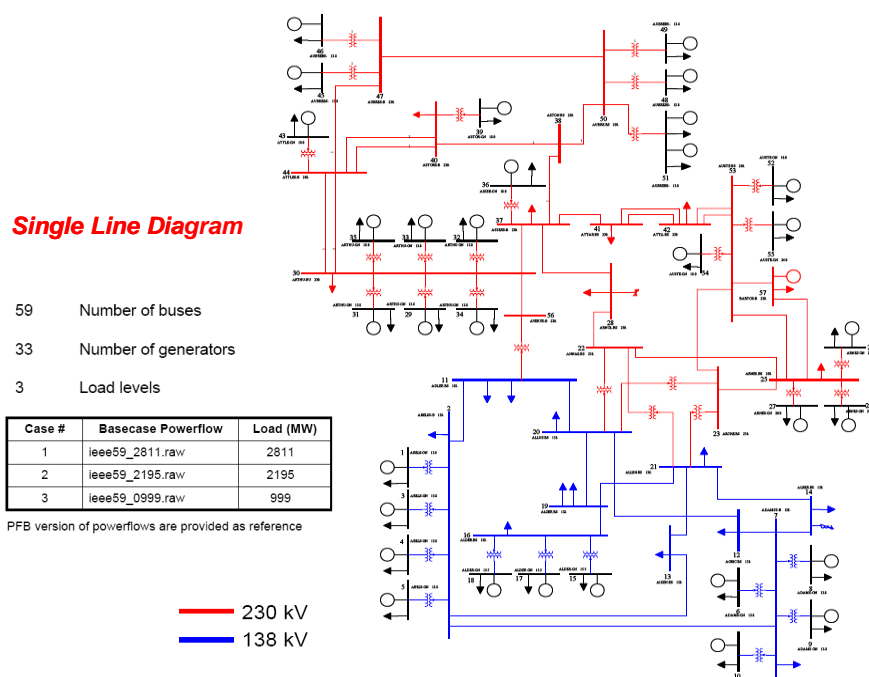


圖 5.1.1

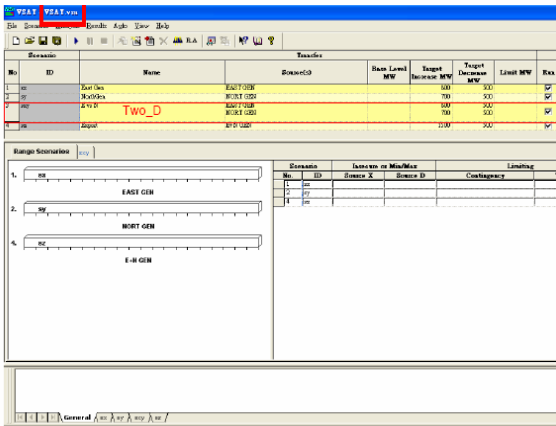


圖 5.1.2

Objective: learn the basics for creating a VSAT scenario

1. Start VSAT
2. Select Scenario → New function menu, this brings you to the Scenario Edit dialog
3. You can enter/create all data required for the scenario in this dialog
4. Let's enter the following to create a simple scenario

- Parameters
- Powerflow
- Contingencies (SA)

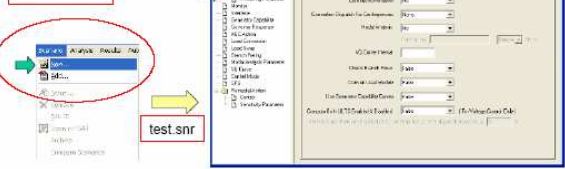


圖 5.1.3

6. Parameters

- Make sure that the options on the Functions and Flow Check panes are as shown
- Options on other panes can be left at the default

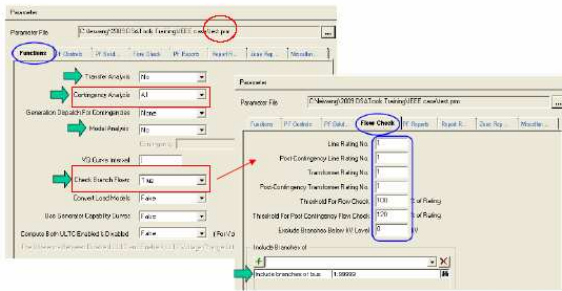


圖 5.1.4

7. Powerflow

- Open iee59_2611.pfb
- If powerflow is in a third party format, it must be converted to PFB first using the option on this dialog
- If required, you can start PSAT from this dialog to examine or edit the powerflow



圖 5.1.5

8. Contingencies

- Select the Contingency → Screened node from the data type tree
- Open contingency file iee59.ctg (refer to Session 7 on how to create contingencies)

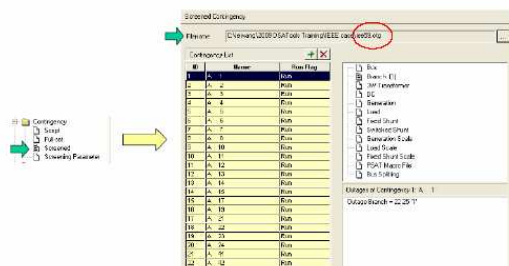


圖 5.1.6

9. Save the scenario as test.snr and save the case as test.vsa

- Run the case
- Examine the results – straightforward to understand on VSAT main window

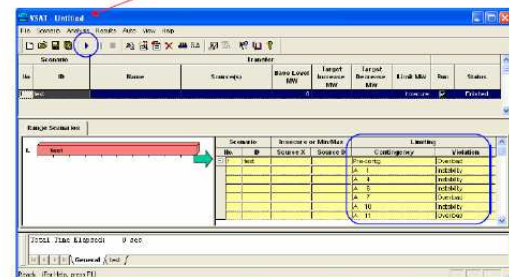


圖 5.1.7

• **VSAT 案例應用 2: Perform Transfer Analysis**

(一)分析目的：執行傳輸量增減並考慮各種事故下之電壓安全分析。

(二)執行步驟：

(1)開啓 Scenario Edit 畫面，顯示所有相關檔案樹狀圖。(圖 5.2.1)

(2)設定 Powerflow、Parameters 及 Contingencies 檔。(圖 5.2.2)

(3)設定 Transfer 檔，宣告 Source 及 Sink 區域傳輸量的增減情形。(圖 5.2.3 及 5.2.4)

(三)分析結果：執行結果如圖 5.2.5 所示。

Objective: perform a transfer analysis

1. Start VSAT and open test.vsa
2. Double clicking on the scenario to open the Scenario Edit dialog

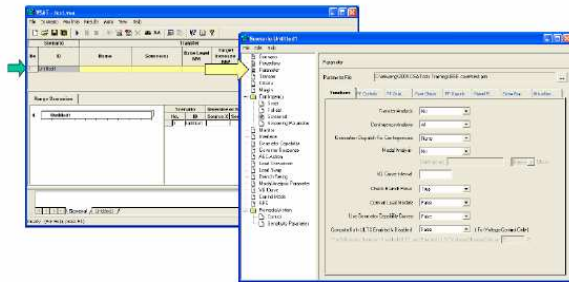


圖 5.2.1

3. **Powerflow**
 - Change the powerflow to `ieee59_2185.pfb`
4. **Parameters**
 - Enable **Transfer Analysis (To Maximum)**
 - Disable **Check Branch Flows**
5. Leave **contingency** data unchanged

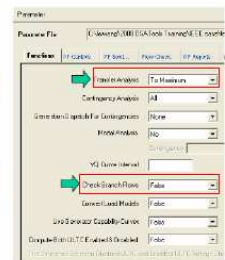
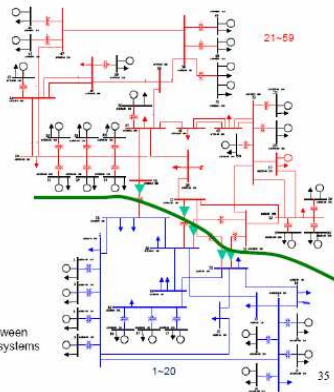


圖 5.2.2

6. Create a transfer for the following analysis:

- Determine the max power that can be transferred from 230 kV to 138 kV system
- Subject to selected **N-1 230 kV contingencies**
- **Source** – Scaling up generator output in the 230 kV subsystem (buses 21-59)
- **Sink** – Scaling down generator output in the 138 kV subsystem (buses 1-20)



▼ Interface circuits between 230 kV and 138 kV systems

圖 5.2.3

Create **transfer data** – follow steps 1-10

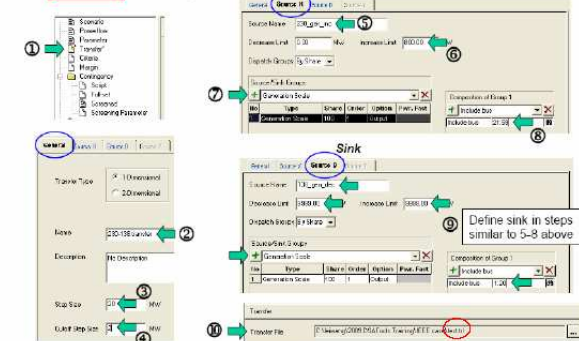


圖 5.2.4

7. The transfer analysis scenario is defined now
8. Run the scenario
 - Understand the results on VSAT main window

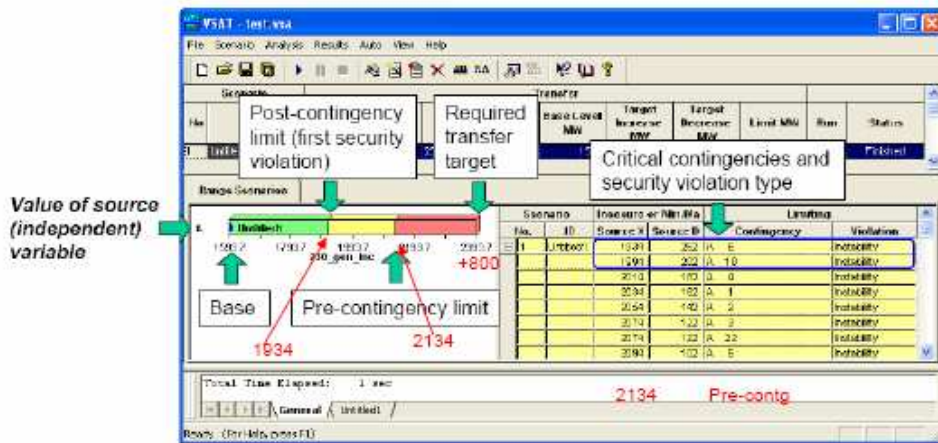


圖 5.2.5

• VSAT 案例應用3: Examine Result

(一)分析目的：利用 DSAOA 將分析結果畫成 PV 曲線。

(二)執行步驟：

(1)開啓 Scenario Edit 畫面，設定 Interface 檔(230-138kV)。(圖 5.3.1)

(2)設定 Monitor 檔，監看所有 Bus 電壓及 230-138kV 潮流。(圖 5.3.2)

(3)開啓 DSAOA 輸出分析工具，點選 Transfer Interface Plot，即可顯示 230-138kV 潮流限制值。(圖 5.3.3)

(4)點選 PV Plot，設定所要繪圖的相關資訊。(圖 5.3.4)

(5)點選 Configure，設定每張圖顯示 5 條曲線，結果如圖 5.3.5 所示。

Objective: plot PV curves and examine other results from VSAT analysis

1. Re-run the scenario created in Session 2 after adding interface and monitor data
2. In **Scenario Edit** dialog, follow steps 1-4 below to create **interface data** for 230-138 kV interface

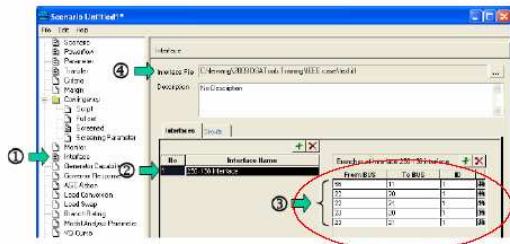


圖 5.3.1

3. In **Scenario Edit** dialog, follow steps 1-4 below to create **Monitor data**

- Monitor all buses in the system
- Monitor 230-238 kV interface MW flow

4. Run the scenario

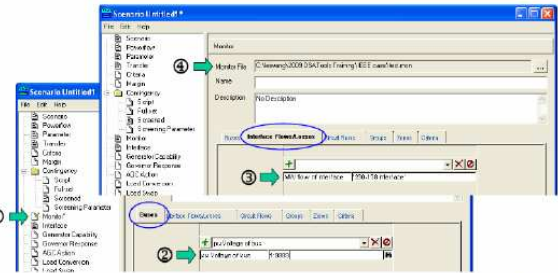


圖 5.3.2

5. Start DSAOA
6. Examine interface MW flow

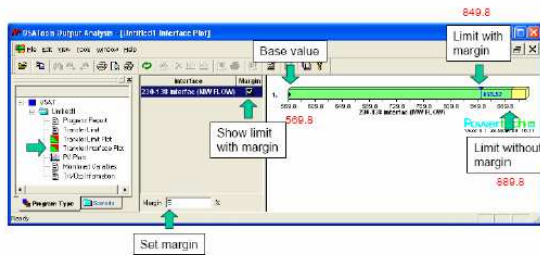


圖 5.3.3

7. Plot PV curves

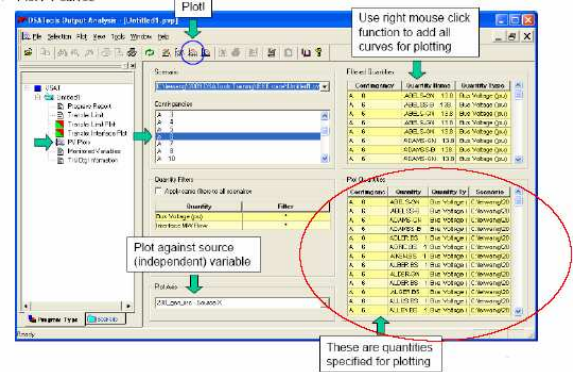
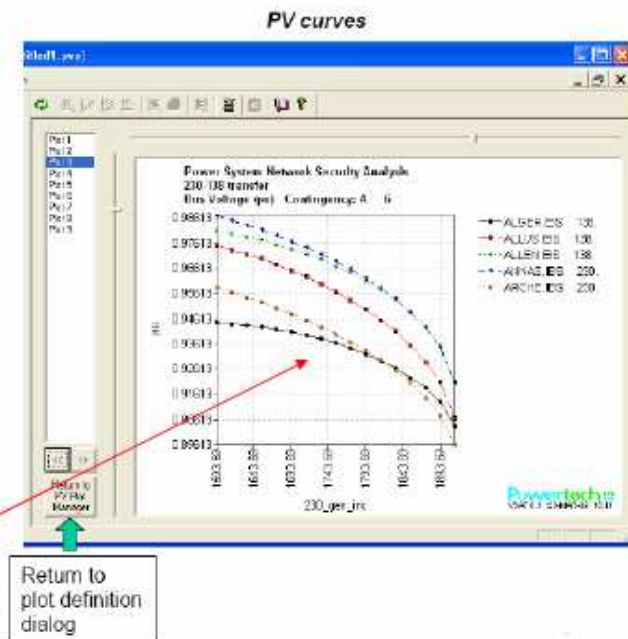
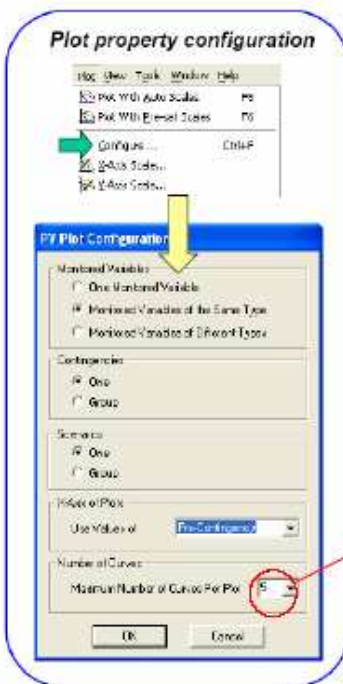


圖 5.3.4



Return to plot definition dialog

圖 5.3.5

• **VSAT 案例應用 4: Perform Modal Analysis**

(一)分析目的：針對最嚴重 PV 曲線，執行崩潰點(nose point)之組態分析。

(二)執行步驟：

(1)開啓 Scenario Edit 畫面，修改 Parameters 檔確認要執行 Modal Analysis。(圖 5.4.1)

(2)設定 Modal Analysis Parameter 檔相關參數。(圖 5.4.2)

(3)執行分析後開啓 DSAOA，點選 Modal Analysis。

(三)分析結果：

執行結果如圖 5.4.3 所示，顯示當發生 A6 事故，崩潰點之最小特徵值(eigenvalue)

為 0.001991，而主要影響的地點為 Bus 14、13、19、21 及 12。(圖 5.4.4)

Objective: perform modal analysis at the nose point of the critical PV curve

1. Open test.vsa
2. In Scenario Edit dialog, modify **Parameters**
 - Modal analysis will be performed at the nose point of the post-contingency PV curve for the most critical contingency A 6 (determined from the transfer analysis in Session 2)

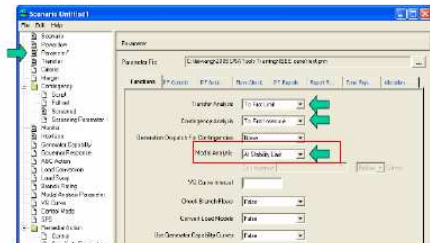


圖 5.4.1

3. In Scenario Edit dialog, create the **Modal Analysis Parameter data**
 - 3 modes will be computed, although usually only the first one is of interest

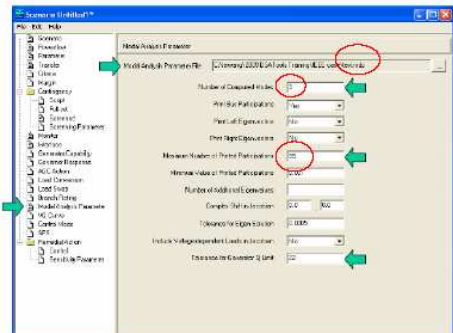


圖 5.4.2

4 Run the scenario and examine results in DSAOA

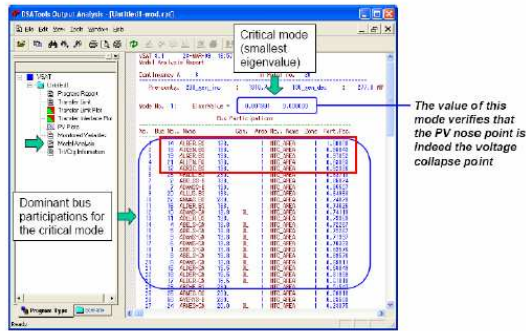


圖 5.4.3

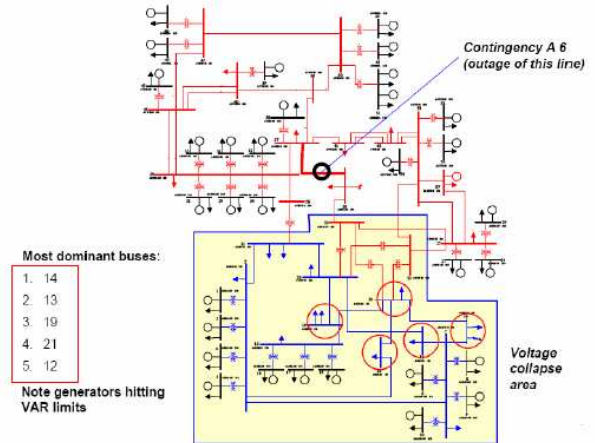


圖 5.4.4

• VSAT 案例應用5: Perform VQ Analysis

(一)分析目的：經由 VQ 分析計算電壓穩定度(或無效電力)餘裕度。

(二)執行步驟：

(1)開啓 Scenario Edit 畫面，修改 Parameters 檔確認要執行 VQ Curve Analysis。

(2)設定 VQ 檔相關參數。

(3)執行分析後開啓 DSAOA，點選 VQ Plot，設定所要繪圖的相關資訊。

(三)分析結果：

執行結果 Basecase 如圖 5.5.1 所示，nose point 如圖 5.5.2 所示。

Q margins at the base system condition for Contingency A 6

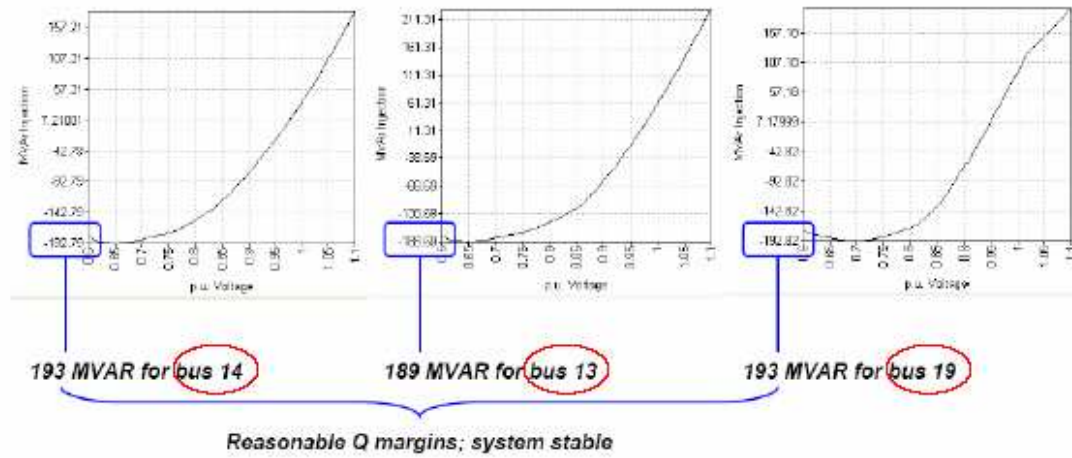


圖 5.5.1

Q margins at the PV nose point for Contingency A 6

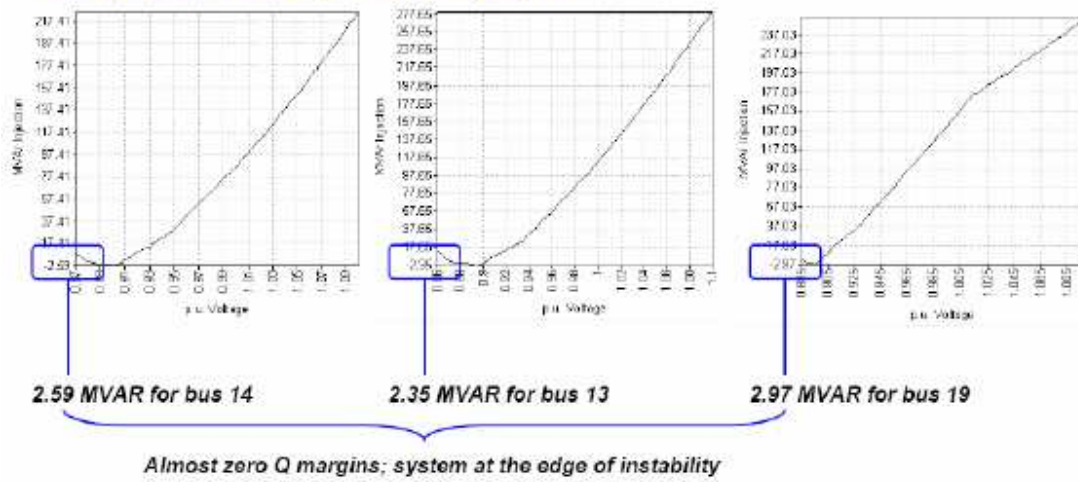


圖 5.5.2

• **VSAT 案例應用 6: Determine Remedial Actions**

(一)分析目的：利用矯正措施(Remedial action)提昇電壓穩定度傳輸量之極限值計算。

(二)執行步驟：

(1)依前執行結果考慮發生 A6 之最嚴重事故，230-138kV 潮流傳輸量限制值為

1914MW，主要影響的地點為 Bus 14、13、19、21 及 12。

(2)如欲提昇傳輸量限制值至 2000MW，且考慮之改善措施為上述地點之無效電力

設備投切或負載卸除 25%。(圖 5.6.1)

(3)執行 RA。

(三)分析結果：

執行結果如圖 5.6.2 所示。

Objective: extend VS limit by applying remedial actions

1. Open test.vsa
2. As determined in Session 2, the stability limit for the 230-138 kV transfer is **1914 MW** in terms of source (independent) variable
3. Let's see how this limit can be extended (say to **2000 MW**) by applying the following remedial actions:
 - **Switchable shunts** (preventive and corrective)
 - **Load shedding** (corrective)

These are usually the most effective controls for extending VS limit
4. This case has **one** switchable shunt at bus **14**. The possible load shedding locations are obvious: at buses **14, 13, and 19** (dominant buses identified in modal analysis)
 - Load shedding is to be performed at each of these buses with **25%** blocks

圖 5.6.1

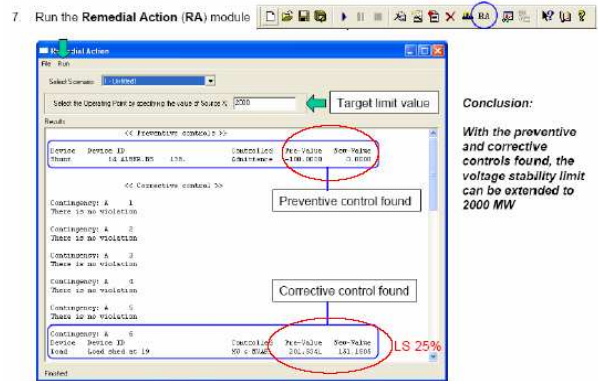


圖 5.6.2

陸、暫態安全分析程式(TSAT)案例應用

• TSAT 案例應用1: Perform a Nofault Simulation

(一)分析目的：學習開啓一個新 TSAT 案例情節，並執行無事故之模擬。

(二)執行步驟：

(1)開啓 TSAT 軟體。(圖 6.1.1)

(2)開啓一個新案例(Case)，並設定 Powerflow 檔。(圖 6.1.2)

(3)設定 Dynamic 檔，包括發電機、勵磁機、調速機及 PSS 等機組動態參數。(圖 6.1.3)

(4)設定 Monitor 檔，宣告要監視的設備及電氣量。(圖 6.1.4)

(5)設定 Contingencies 檔，開啓一個無事故的模擬。(圖 6.1.5)

(6)執行無事故之模擬，並存檔為 test.tsa。(圖 6.1.6)

(三)分析結果：執行結果如圖 6.1.7 及 6.1.8 所示。

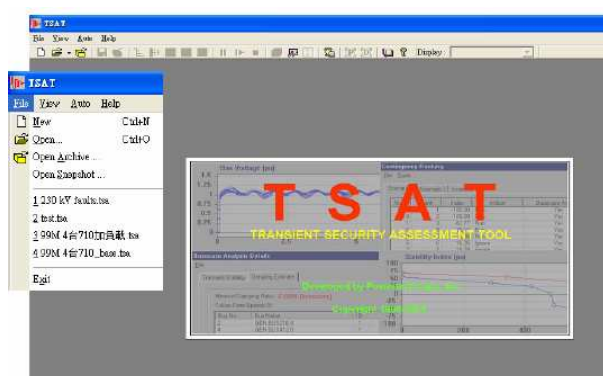


圖 6.1.1

Objective: learn the basics of creating a TSAT case

1. Start TSAT
2. Select **File** → **New**. This starts the **TSAT Case Wizard**
3. Click **Next** to continue
4. Specify **powerflow data** in **Powerflow Data** dialog:
 - Enter powerflow data file – lee59_2811.raw (may use the **Browse** function to select the file from the Study Folder)
 - Select the proper powerflow data format (**PSS/E RAW Rev. 24-26**)
 - Enable the base powerflow solution (optional)
5. Click **Next** to continue

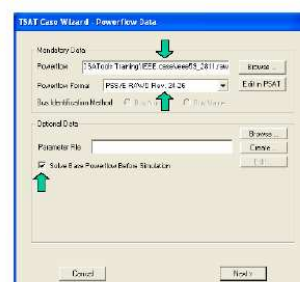


圖 6.1.2

6. Specify dynamic data in **Dynamic Data** dialog:

- Enter dynamic data file – **dynamics.dat** and **PSS.dat** (may use the **Browse** function to select the file from the Study Folder)
- Select the proper dynamic data format (**PSS/E**)

7. Click **Next** to continue

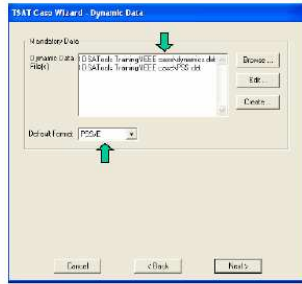


圖 6.1.3

8. Create **monitor data** in **Monitor Data Editor** dialog:

- Click **Create** to start **Monitor Data Editor**
- Select the **Generator** tab to specify generators to be monitored (details in next two slides)
- Select the **Bus** tab to specify buses to be monitored (details in next two slides)

9. Click **Next** to save the monitor data (as **test.mon**) and continue

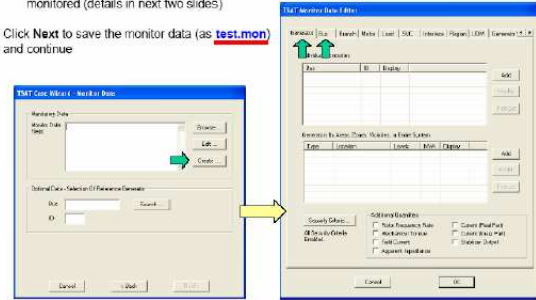


圖 6.1.4

10. Create **contingency data** in **Contingency Data** dialog:

- Click **Create** to start **Contingency Creation Wizard**
- Select "Create A Nofault Contingency" option
- Click **OK** to customize the contingency in **Contingency Editor** (details in the next slide)

11. When contingency data is created and saved, click **Next** in **Case Wizard** to continue

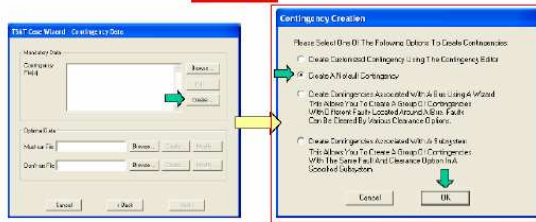


圖 6.1.5

16. The case is now loaded in TSAT and is ready to run

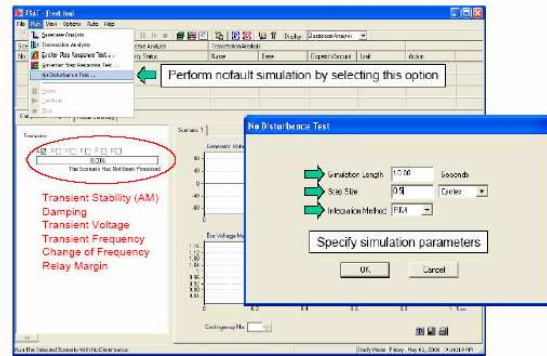


圖 6.1.6

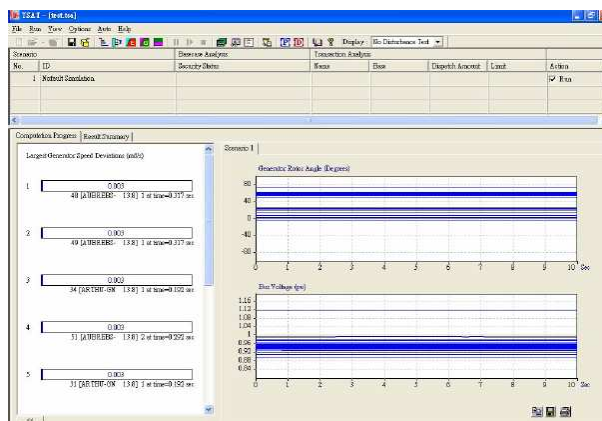


圖 6.1.7

No.	ID	Severity Class	Event	Depth Annot	Load	Action
1	1	Network Disturbance				OK

Event	Bus ID	Bus Name	Dev. ID	Value	Angle Dev. (rad/s)
1	48	AMERBBD-1	1	0.002	
2	49	AMERBBD-1	1	0.001	
3	4	JARR2-AM	1	0.001	
4	5	JARR2-GR	1	0.001	
5	45	AMERBBD-1	1	0.000	
6	46	AMERBBD-1	1	0.000	
7	51	AMERBBD-1	1	0.007	
8	52	AMERBBD-2	2	0.007	
9	53	AMERBBD-1	1	0.005	
10	57	WARR2B-6	1	0.008	

圖 6.1.8

• **TSAT 案例應用2: Create A Practical TSAT Case**

(一)分析目的：執行一個多重事故之暫態安全分析。

(二)執行步驟：

(1)開啓上節 test.tsa 檔，雙點 Scenario Edit 畫面行。(圖 6.2.1)

(2)重新設定 Contingencies 檔，模擬所有 230kV Bus 發生三相故障，於 6 週波清除故障並跳脫單一回線，模擬時間為 10 秒鐘(圖 6.2.2)，詳細設定步驟如圖 6.2.3 及 6.2.4。

(3)設定 Description 檔，加上適當的 Title 描述。(圖 6.2.5)

(4)可以另存新檔(230 kV fault.tsa)後，執行模擬分析。(圖 6.2.6)

(三)分析結果：執行結果如圖 6.2.7 所示。

Objective: create a TSAT case to assess transient security for multiple contingencies

1. Start TSAT
2. Select **File** → **Open** to open the nofault simulation case (**test.tsa**) created in session 1
3. Double click the **Nofault Simulation** scenario to start the **Case Wizard**
 - This enables the modification of the scenario data and parameters

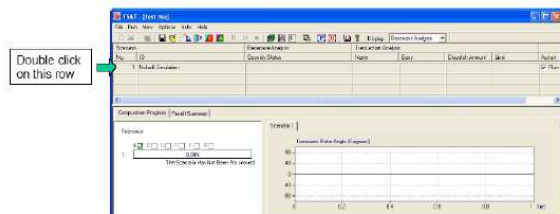


圖 6.2.1

4. In **Case Wizard**, select **Contingency Data** in the **Scenario Data** tree
5. Delete the existing contingency data (**nofault.swi**)
6. Click the **Create** button to create a new contingency data set (details in the next slide):

- Fault at every 230 kV bus, cleared by tripping a connecting 230 kV circuit
- 6 cycle fault clearance, 0.5 cycle step size, 10 second simulation length

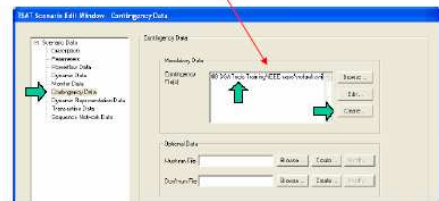


圖 6.2.2

Create the required contingency data set by following steps 1-6 on this slide and steps 1-7 on the next slide.

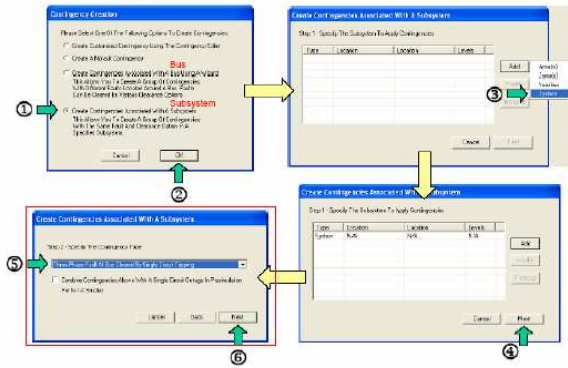


圖 6.2.3

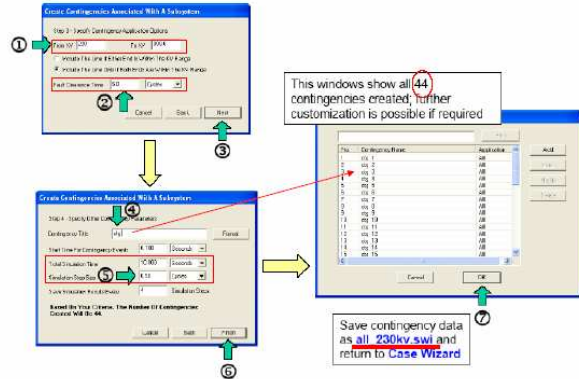


圖 6.2.4

7. In **Case Wizard**, select **Description** from the **Scenario Data** tree
8. Change the scenario title to "230 kV faults"
9. Click **OK** to accept all changes made

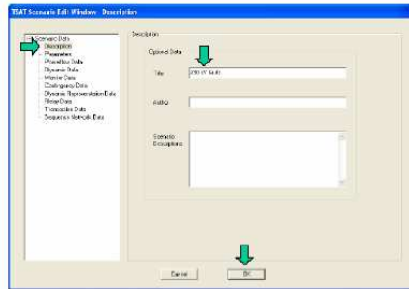


圖 6.2.5

10. It's a good idea to save the case **230 kV faults.tsa** (可以另存新檔)
11. The modified case is now ready to run
12. After the case is run, examine the program messages
13. Click on the **Result Summary** tab to see the security assessment summary (next slide)
 - Insecure contingencies can be easily identified

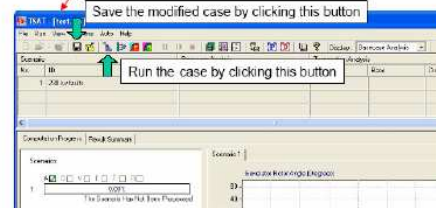


圖 6.2.6

Examine simulation result summary

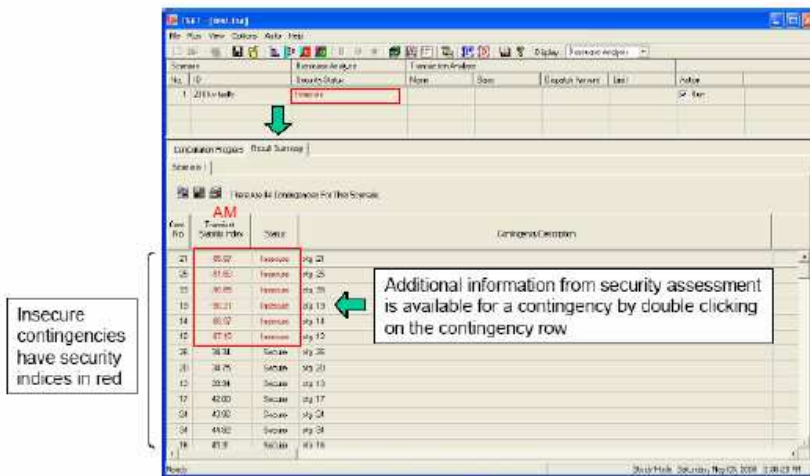


圖 6.2.7

• **TSAT 案例應用3: Work With The Output Analysis DSAOA**

(一)分析目的：利用 DSAOA 工具執行輸出結果之分析與繪圖。

(二)執行步驟：

(1)延續上節執行結果，開啓 DSAOA 分析工具。(圖 6.3.1)

(2)選定所欲繪製之 Case、Scenario、Contingency 及 Quantity 等資訊後，點選 Plot

即可將結果(例如機組角度)繪製成圖。(圖 6.3.2)

(3)改以相對角度繪製，參考機組預設為最大 MVA 機組。(圖 6.3.3)

(4)可選擇某一機組於不同事故下之轉子角度變化情形。(圖 6.3.4)

(5)可選擇不同機組於同一事故下之轉子角度變化情形。(圖 6.3.5)

(6)另可執行 Prony Analysis，也可將資料 import 或 export。(圖 6.3.6)

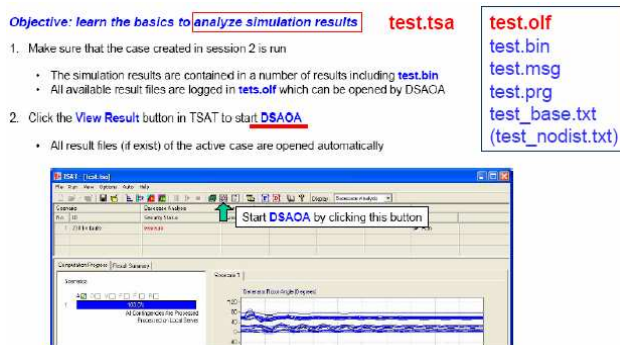


圖 6.3.1

3. To plot all curves of a specific quantity type available in the binary result file, select the result type, the associated scenario, contingency, & quantity type, and click the Plot button

All such curves are referred to as one plot buffer

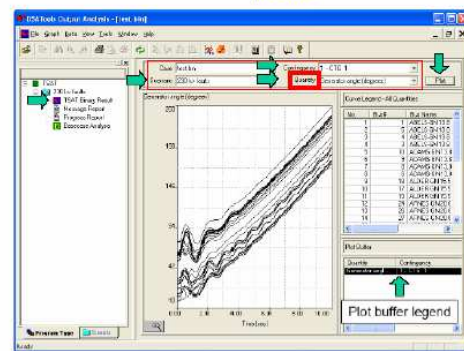


圖 6.3.2

4. To plot relative generator rotor angles, select **Graph** → **Options** → **Plot Relative Angle** menu option

- The reference generator is shown in the plot (Default: max MVA unit)
- It is possible to change the reference generator

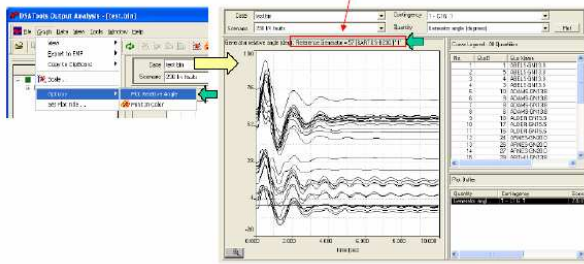


圖 6.3.3

7. To superimpose curves (quantities) from different plot buffers

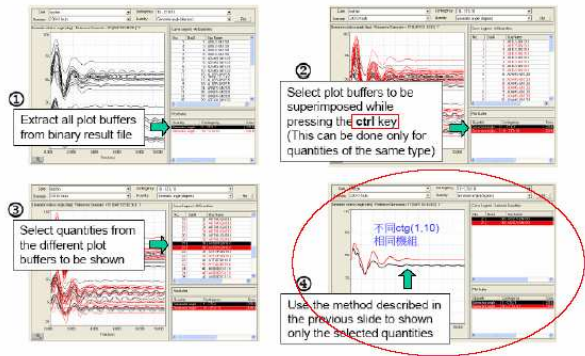


圖 6.3.4

8. To show the selected set of curves (quantities) in different colour

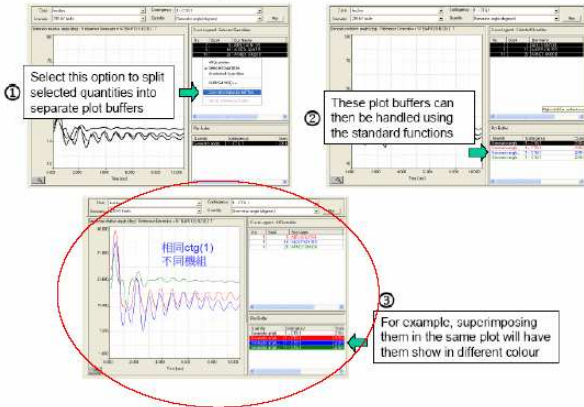


圖 6.3.5

9. Analysis functions: these can be accessed from the **Tools** menu options.

- Use of these functions are described in the **DSAOA Manual**



10. Data and plot import/export functions: these can be accessed from the **File**, **Graph**, and **Data** menu options.



圖 6.3.6

• **TSAT 案例應用 4: Use Security Analysis Options**

(一)分析目的：學習如何設定各種安全指標之選項並執行分析。

(二)執行步驟：

(1)開啓上節儲存之 230 kV fault.tsa 檔，雙點 Scenario 畫面行。(圖 6.4.1)

(2)於 Parameter 對話框分別設定 Transient Stability、Damping、Transient Voltage、

Transient Frequency 及 Relay Margin 等 Criterion 如圖 6.4.2~6.4.6。

(3)若要執行 CCT 計算則於 Transient Stability 畫面勾選 CCT Calculation。(圖 6.4.7)

(三)分析結果：

執行結果如圖 6.4.8 所示；CCT 計算結果如圖 6.4.9 所示。

Objective: understand security analysis options in TSAT

1. Start TSAT
2. Select File → Open to open the TSAT case (230 kV faults.tsa)
3. Double click the 230 kV faults scenario to start the Case Wizard to modify scenario parameters
 - In Case Wizard, select Parameters to show Parameters dialog
 - Under the Security Criteria tab, select Damping from the Security Criterion pull-down menu
 - Enable Damping Criteria
 - Change the Trim Threshold to 1.0 degree

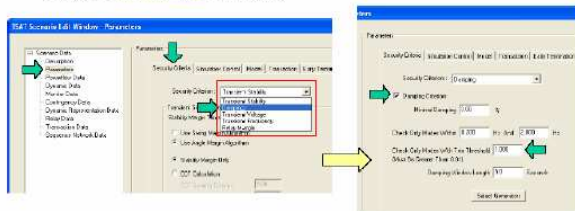


圖 6.4.1

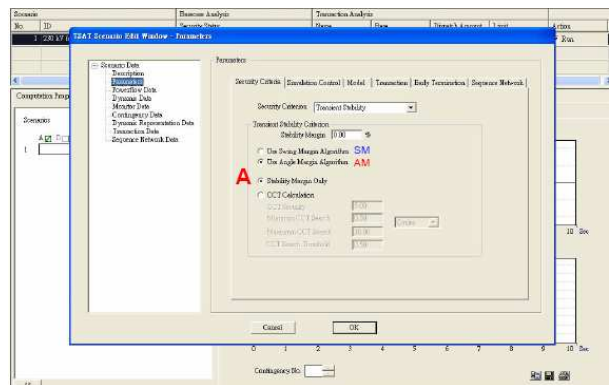


圖 6.4.2

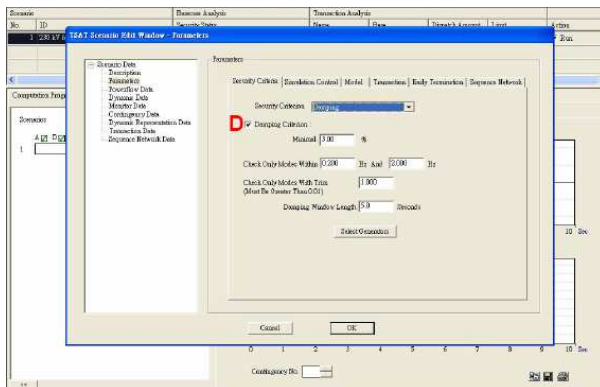


圖 6.4.3

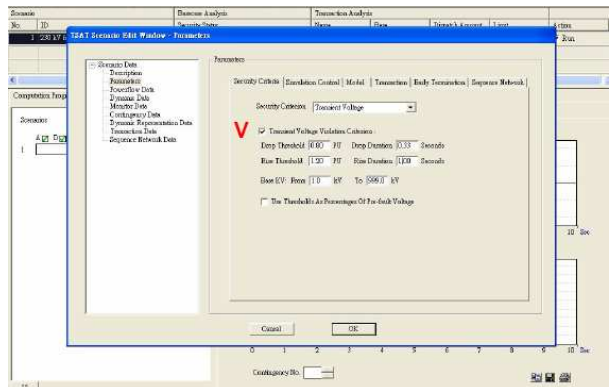


圖 6.4.4

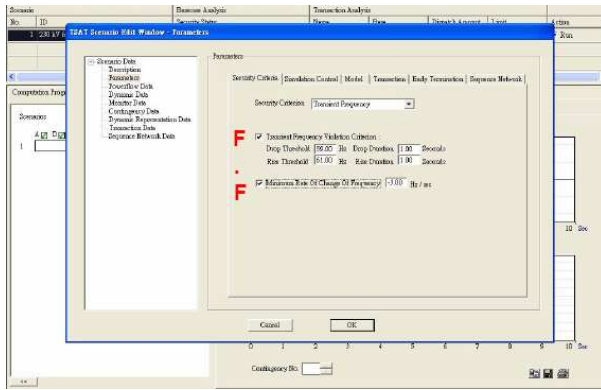


圖 6.4.5

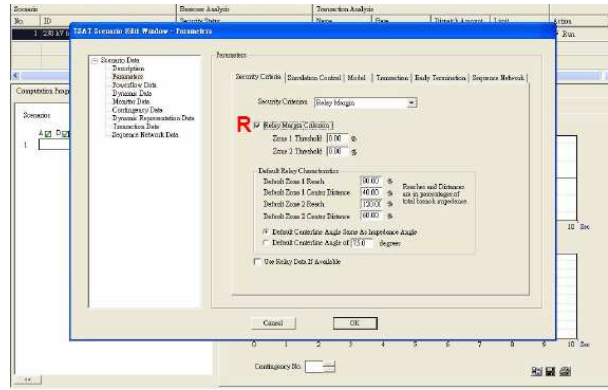


圖 6.4.6

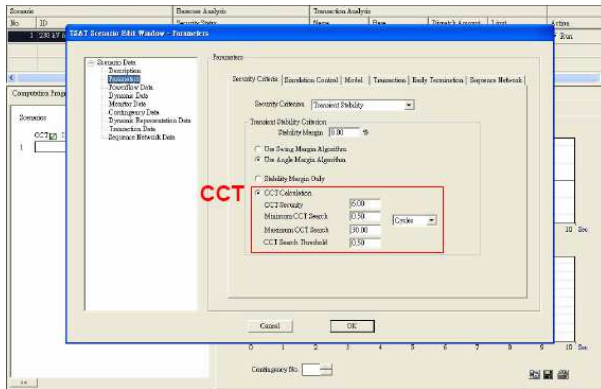


圖 6.4.7

Cont. No.	Transient Stability Index	Droop Index (%)	Voltage Deviation Index (Drop (%) / Rise (%))	Frequency Deviation Index (Drop (%) / Rise (%))	Prog. Rate Index (Hz/s)	Busbar Voltage Index Zone 1 (kV) / Zone 2 (kV)	Status				
21	-93.89	99.00	0.700	0.007	0.100	2.700	0.000	100.0	100.0	Insecure	ctg.21
25	-90.99	99.00	0.839	0.000	0.000	0.642	0.000	100.0	100.0	Insecure	ctg.25
33	-90.85	99.00	0.842	0.000	0.000	0.650	0.000	100.0	100.0	Insecure	ctg.33
12	-90.10	99.00	0.950	0.033	0.133	1.233	0.000	100.0	100.0	Insecure	ctg.12
19	-90.02	99.00	0.892	0.000	0.050	0.703	-0.229	100.0	100.0	Insecure	ctg.19
26	-88.90	99.00	0.842	0.000	0.000	0.633	-0.125	100.0	100.0	Insecure	ctg.26
14	-88.23	99.00	1.000	0.025	0.100	1.642	-0.347	100.0	100.0	Insecure	ctg.14
20	-88.08	99.00	1.025	0.033	0.150	1.217	0.000	100.0	100.0	Insecure	ctg.20
13	38.16	2.54	1.108	0.000	0.000	0.000	0.000	100.0	100.0	Insecure	ctg.13
17	40.94	1.79	0.742	0.000	0.000	0.000	0.000	100.0	100.0	Insecure	ctg.17
24	43.42	2.19	0.717	0.000	0.000	0.000	0.000	100.0	100.0	Insecure	ctg.24
34	44.22	10.49	0.025	0.000	0.000	-0.066	0.000	100.0	100.0	Secure	ctg.34
16	44.54	2.08	0.592	0.000	0.000	0.000	0.000	100.0	100.0	Insecure	ctg.16
15	45.12	2.07	0.600	0.000	0.000	0.000	-0.219	100.0	100.0	Insecure	ctg.15

圖 6.4.8

Cont. No.	Critical Clearance Time (sec)	Status	ctg.
25	3.7000	Insecure	ctg.25
31	4.1094	Insecure	ctg.21
33	4.4531	Insecure	ctg.33
19	4.7969	Insecure	ctg.19
12	5.4644	Insecure	ctg.12
20	5.8281	Insecure	ctg.20
26	5.8281	Insecure	ctg.26
14	5.8281	Insecure	ctg.14
13	6.1675	Secure	ctg.13
17	6.9375	Secure	ctg.17
22	6.9375	Secure	ctg.22
24	6.9375	Secure	ctg.24
16	7.3125	Secure	ctg.16
15	7.3125	Secure	ctg.15

Cont. No.	Transient Stability Index	Status	ctg.
21	-93.99	Insecure	ctg.21
25	-90.99	Insecure	ctg.25
33	-90.85	Insecure	ctg.33
12	-90.10	Insecure	ctg.12
19	-90.02	Insecure	ctg.19
26	-88.90	Insecure	ctg.26
14	-88.23	Insecure	ctg.14
20	-88.08	Insecure	ctg.20
13	38.16	Secure	ctg.13
17	40.94	Secure	ctg.17
24	43.42	Secure	ctg.24
34	44.22	Secure	ctg.34
16	44.54	Secure	ctg.16
15	45.12	Secure	ctg.15

圖 6.4.9

• **TSAT 案例應用5: Work With Multiple Scenario**

(一)分析目的：於同一個 Case 中設定多個 Scenario 並同時執行分析。

(二)執行步驟：

(1)選擇 File→Case Wizard→勾選 Create A New Scenario。(圖 6.5.1)

(2)如前設定 Scenario 相關資料與參數(例如選擇中載系統)。

(3)執行模擬分析。(圖 6.5.2)

(三)分析結果：

執行結果如圖 6.5.3 所示。

Objective: explore advantages of security assessment with multiple scenarios

1. Start TSAT
2. Select **File** → **Open** to open the TSAT case (**test.tsa**) used in session 2.
3. Add a second scenario to the case for the **medium** load level.
 - Note that only the powerflow data needs to be defined for the new scenario; other data in two scenarios is the same.
 - Select **File** → **Case Wizard** to open the scenario editor in **Case Wizard**
 - In the scenario editor, select **Create A New Scenario In The Active TSAT Case**
 - Click **Next** button to go to **Case Wizard** for the new scenario

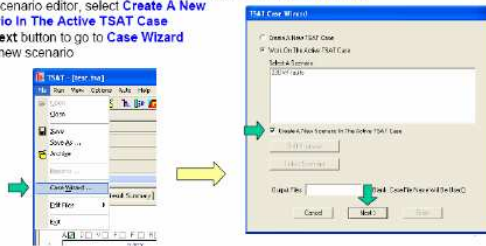


圖 6.5.1

5. A new scenario is now added to the TSAT case
6. Scenario titles may be changed to indicate the computation conditions
7. Do not save the case
8. Run the case

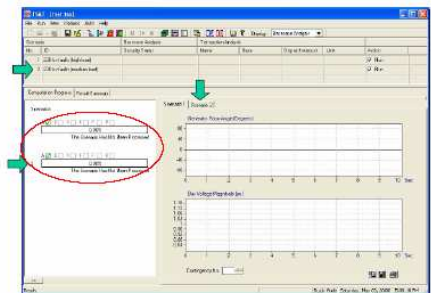


圖 6.5.2

9. Select **Result Summary** to examine the security assessment results

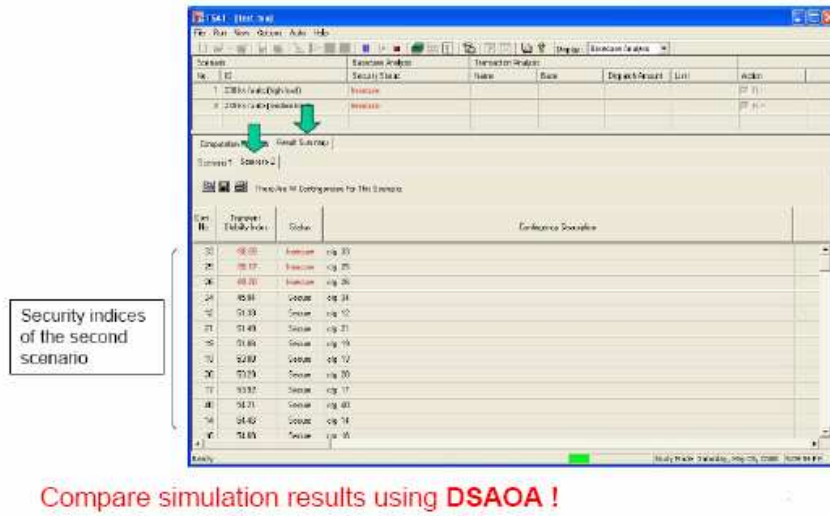


圖 6.5.3

• **TSAT 案例應用 6: Analysis Transfer Limits**

(一)分析目的：執行暫態穩定度傳輸量極限值分析。

(二)執行步驟：

(1)如同 VSAT 設定 Transfer 檔，宣告 Source 及 Sink 區域傳輸量的增減情形。(圖

6.6.1)

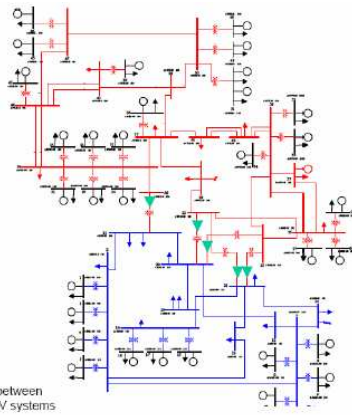
(2)執行 Transaction analysis。(圖 6.6.2)

(三)分析結果：

執行結果利用 DSAOA 輸出如圖 6.6.3 及 6.6.4 所示。

Objective: perform a stability limit analysis

- Low load condition
- Determine the max power that can be transferred from 230 kV to 138 kV system
- Subject to all N-1 230 kV contingencies
- Source – Scaling up generator output in the 230 kV subsystem (buses 21:59)
- Sink – Scaling down generator output in the 138 kV subsystem (buses 1:20)



Interface circuits between 230 kV and 138 kV systems

圖 6.6.1

9 Run the case (transaction analysis)

- Understand the change in TSAT main interface and the limit search iteration process
- Identify the stability limit found

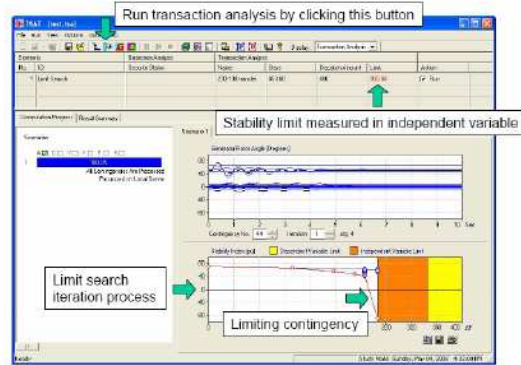


圖 6.6.2

11 Examine stability limit results in DSAOA

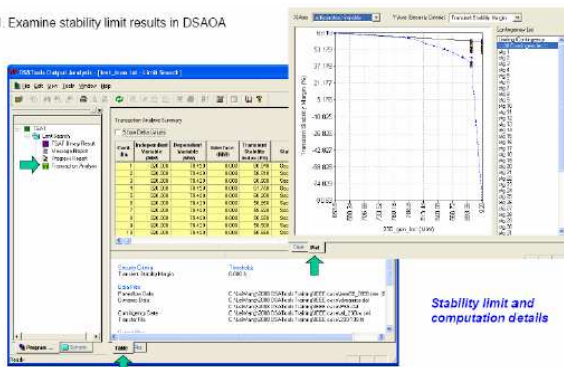


圖 6.6.3

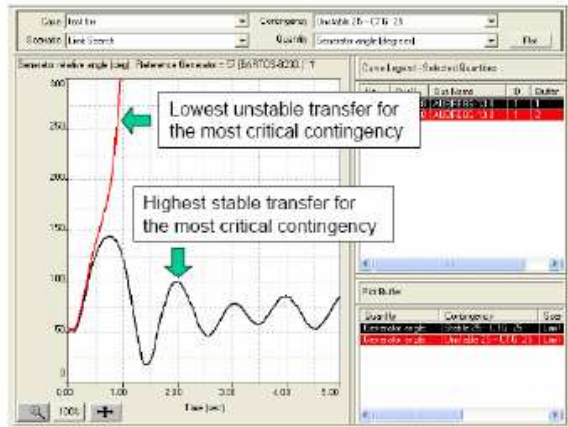


圖 6.6.4

• TSAT 案例應用7: Use Data Handling Features Of TSAT

(一)分析目的：熟悉 TSAT 相關資料處理的特性功能。

(二)執行步驟：

(1)可在 TSAT 中即時連接至 PSAT 以修改 poweflow 相關資料。(圖 6.7.1)

(2)可在 Contingency Data 即時修改一個事故案例如圖 6.7.2，詳細步驟如圖 6.7.3。

(3)事故案例之修改亦可直接以文書編輯程式直接修改後儲存。(圖 6.7.4)

(4)可將整個 Case 所有檔案資料 Archive 儲存成壓縮 zip 檔。(圖 6.7.5)

Objective: be familiar with important data handling features in TSAT

1. This session will be focused on features for handling powerflow, dynamic, contingency data, and for archiving a case
2. Start TSAT
3. Select **File** → **Open** to open the TSAT case (**test.tsa**) used in session 2
4. **Powerflow data editing using PSAT**
 - Start from main menu
 - Start from **Case Wizard**
 - Understand the difference

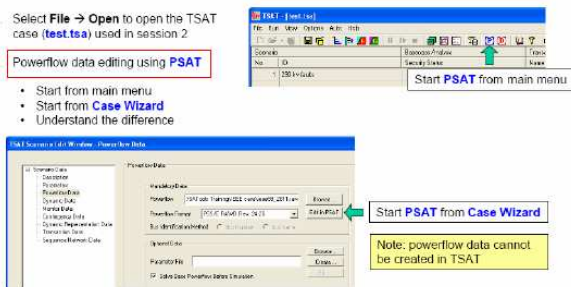


圖 6.7.1

6. Contingency data editing example:

- Focus on contingency #29 in **all_230kV.swi**
- At the fault clearance, **trip one more circuit: 41-42-2** (make this an N-2 contingency)

7. Start **Case Wizard** (same steps as practiced previously)

8. Select **Contingency Data** in the **Scenario Data** tree and click the **Edit** button

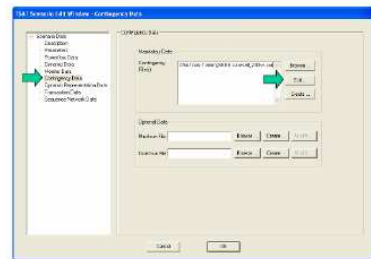


圖 6.7.2

Follow steps 1-8 to complete the changes required

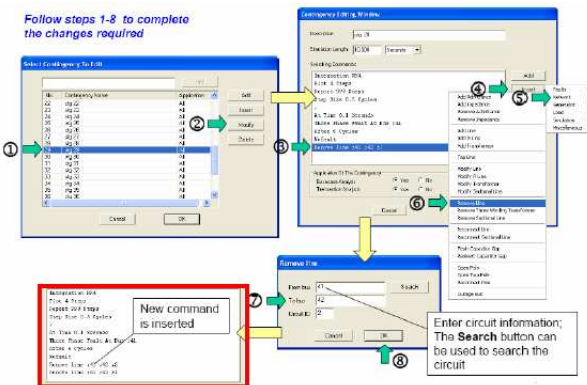


圖 6.7.3

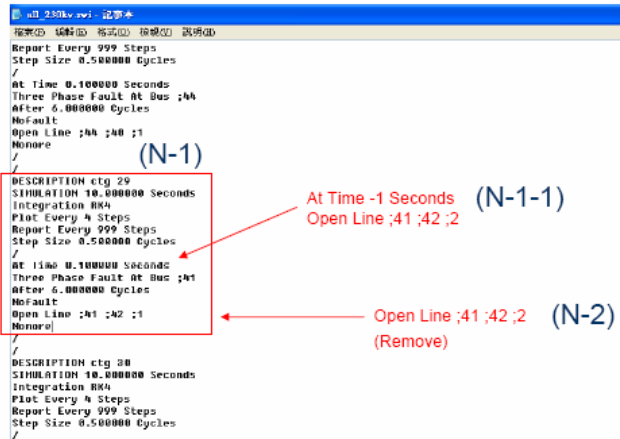


圖 6.7.4

10. Archive a TSAT case

- Select File → Archive
- The active TSAT case will be archived
- The name and location of the archive are shown in the information dialog

11. Examine the contents of the archive

- Pay attention to the archived TSAT case file

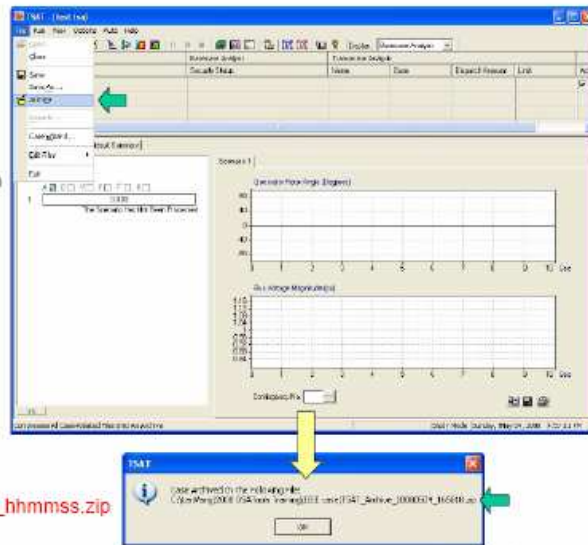


圖 6.7.5

• **TSAT 案例應用 8: Perform Other Analysis**

(一)分析目的：熟悉 TSAT 其他有用的分析功能，例如本節將執行勵磁機步階響應測試。

(二)執行步驟：

(1)開啓已存之 test.tsa 檔，選擇 Exciter Step Response Test。(圖 6.8.1)

(2)設定機組相關測試參數後執行響應測試。(圖 6.8.2)

(三)分析結果：

執行結果如圖 6.8.3，利用 DSAOA 輸出如圖 6.8.4 所示。

Objective: explore other useful analysis options available in TSAT

1. This session will (a) use exciter and governor step response analysis to examine performance of these control systems, (b) use snapshot feature in simulations
2. Start TSAT
3. Select File → Open to open the TSAT case (test.tsa) used in session 2
4. Select Run → **Exciter Step Response Test**



圖 6.8.1

5. Specify the following options in the dialog shown
 - Select all generators in the system to be included in the analysis
 - Specify a 0.05 pu step and perform a 10-second simulation
 - Set all generators at Open Circuit condition
6. Run the exciter step response test.

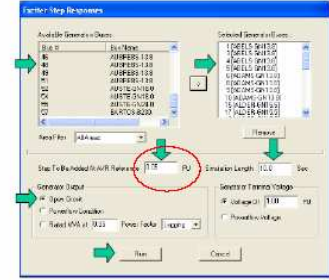


圖 6.8.2

7. Examine the results

On Result Summary page

Bus No.	Bus Name	Bus IC	Performance indices				
			Rise Time (Sec)	Settling Time (Sec)	Overshoot (%)	Dominant Mode Damp (ζ) (Pct/Sec)	
1	ABUSLGN110	1	0.192	0.254	3.70	103.00	0.0000
2	ABUSLGN110	1	0.192	0.254	3.70	103.00	0.0000
4	ABUSLGN110	1	1.151	7.874	26.05	103.00	0.0000
5	ABUSLGN110	1	1.151	7.874	26.05	103.00	0.0000
6	ADWNS GWT100	1	0.192	0.254	3.70	103.00	0.0000
8	ADWNS GWT100	1	0.192	0.254	3.70	103.00	0.0000
9	ADWNS GWT100	1	1.151	7.874	26.05	103.00	0.0000
10	ADWNS GWT100	1	1.151	7.874	26.05	103.00	0.0000
15	ADLER GWT100	1	0.955	6.954	25.90	103.00	0.0000
17	ADLER GWT100	1	0.955	6.954	25.90	103.00	0.0000
18	ADLER GWT100	1	0.955	6.954	25.90	103.00	0.0000
24	JENES GWT100	1	0.550	2.944	8.91	103.00	0.0000
25	JENES GWT100	1	0.550	2.944	8.91	103.00	0.0000
27	JENES GWT100	1	0.550	2.944	8.91	103.00	0.0000
28	ADWNS GWT100	1	0.524	1.430	3.00	103.00	0.0000

圖 6.8.3

Simulation results in DSAOA

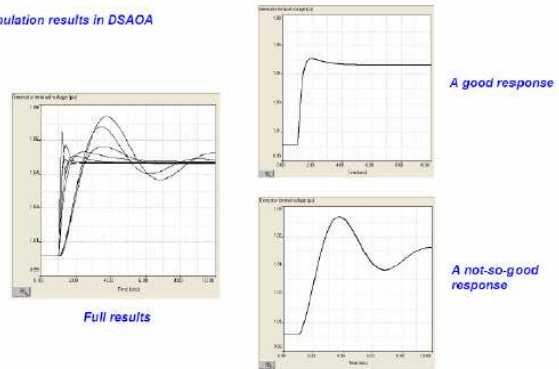


圖 6.8.4

• TSAT 案例應用9: Create User-Defined Models

(一)分析目的：學習如何利用使用者自定義模型(UDM)功能，編輯機組相關動態參數，包括特殊保護系統(SPS)動作機制。

(二)執行步驟：

(1)開啓 UDM Editor，依方塊圖逐步繪製完成模型之建立，例如本節係建立 PSS2A

PSS 模型。(圖 6.9.1)

(2) 建立一個低頻卸載(UFLS)的SPS 機制, 當系統頻率低於 59.3Hz, 即跳脫 Bus 123

負載。(圖 6.9.2)

Objective: create a user-defined model with UDM Editor

1. Generator at bus 1 ID 1 has a PSS2A PSS (a standard PSS/E model) as shown
2. We will create this model as a UDM using UDM Editor
 - Examine the UDM in TSAT dynamic data editor
3. Procedure:
 - Follow the demo
4. Include the UDM in the case and perform simulations to compare results with the standard model

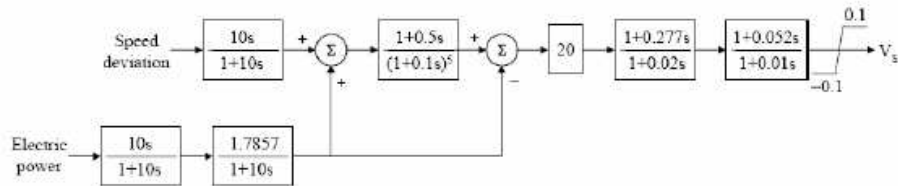
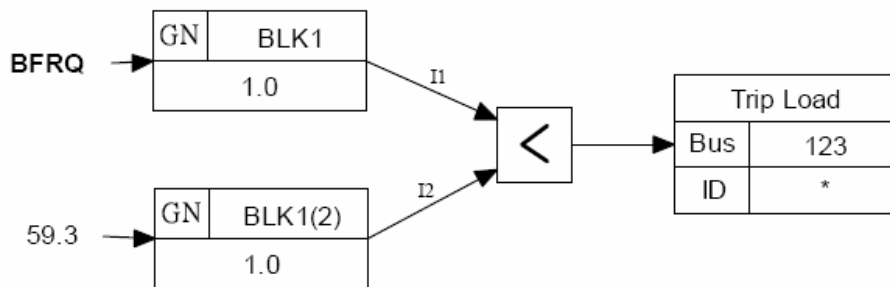


圖 6.9.1



If $f < 59.3$ Hz, then trip the load 123

圖 6.9.2

柒、台電 99 年特殊保護系統檢討

在世界各國家斷斷續續發生電壓崩潰與大停電問題之後，各電力公司紛紛在其既有或新設 EMS 上增加電力系統動態安全分析程式(DSA)，以檢討可能發生之系統大停電問題；並且採取相關的防範動作，其中之一即是在電力系統中裝設特殊保護系統(Special Protection System, SPS)，以防範系統發生大停電之情形。本公司為防止類似 88 年 729 大範圍停電事故的發生，經「電力系統穩定度與可靠度改善小組會議」定期商議討論，並汲取與會專家學者委員意見決議建置特殊保護系統，做為本公司電力系統除電驛之外的另一道防護系統。本公司第一套廣域型特殊保護系統(Wide-Area SPS)是由加拿大 PLI 公司所規劃與設計，並於 95 年完成安裝，並訂定日後由本公司自行檢討分析之計畫。從 95 至 97 年間本公司同仁在加拿大 PLI 公司的指導下，不斷的學習與研究整個特殊保護系統的檢討分析步驟，於 98 年起由本公司自行進行整個特殊保護系統的設置檢討。此一檢討中發現有七個地區可能因為 N-2 或 N-3 事故而造成區域型不穩定的現象，經呈報「電力系統穩定度與可靠度改善小組會議」中討論後，訂定相關特殊保護系統之設置時程，同時藉此出國計畫請教加拿大 PLI 公司一些使用技術與分析結果上之問題。在討論中，本公司總共提出 12 項問題，其中軟體使用技術方面有 8 題，分析檢討方面共有 4 題，討論後並請 PLI 以書面方式回覆。在此將其中具廣泛參考之 2 項問題與 PLI 之回覆，詳述如下：

1. 問：我們如何預防 SPS 發生誤動作之問題呢？

答：此為一個複雜問題，與許多人為因素有關，例如：訓練、測試與設備的維護。

技術上，可將 SPS 設成人工警戒之方式，即當系統條件與事故滿足 SPS 動作

時，才由人工方式將 SPS 設成警戒狀態。此外，在 SPS 系統正式運轉前進行合理的試運轉與模擬情境，但不真正的啟動 SPS 的動作(設備端的所有觸動與跳脫訊號均予以記錄)，此可以評估特殊保護系統的性能，特別是找出可能故障的問題。必須說，不可能有一個百分之百可靠的系統。通常使用者需要評估效益與風險之後，取得一個妥協的解決方案。

2. 問：在設計階段如何設計一個即使誤動作但仍安全的 SPS 呢？

答：參與整個過程的工程師其經驗與投入是非常重要的，同樣的，設計中使用到的資料、模型與條件也非常重要。根據我們曾多次的討論，其中一個可以有效降低系統失效機率的方案是採用即時資料，即時的自動更新動作決策表。目前已有一些電力公司使用此一設計理念，例如：加拿大的 IESO 與 BCTC。同樣的，這依舊無法達到百分之百的安全設計，所以必須取決於公司管理階層與工程師們在經過一個完善平衡的評估之後，才能做最合適的決定。

捌、心得與建議

一、規劃不定期參加 DSA 年度使用者會議，增加與其它電力業者之互動。

即時電力系統動態安全分析程式(DSA)已漸漸成爲各電力公司 EMS 中必要之系統分析工具，本次出席加拿大 PLI 公司之 DSA Tools 使用者年會，雖然只有短短的兩天，且大部分時間是上課性質，但課間之交流與交換名片，仍有助於對其他電力公司使用 DSA Tools 之了解，建議日後不定期派員參加。

二、增加拜訪其他使用即時 SPS 之電力業者，以為公司未來推動 Smart Grid 之參考。

本公司推動之 Smart Grid，其中有關 SPS 之設置，未來考慮採用 On-Line SPS，因此建議 99 年度「實習電力系統動態安全分析程式之技術」之出國計劃，增加拜會位於溫哥華之 BCTC 或與多倫多之 IESO，了解其 On-Line SPS 之設計架構與使用情形，以為本公司日後檢討之參考。

三、減少 SPS 誤動作，可考量人工警戒之方案。

本公司 SPS 之設計複雜度頗高，部分單位擔心誤動作之問題，依 PLI 公司之建議，可採取人工啟動警戒之方式，惟可能加重調度員之工作負擔，如何權衡輕重取得平衡，值得再做評估與考量。

四、電力系統分析軟體宜整合最佳應用與資源分享。

本處電力分析問題廣泛，例如：每月供電檢討、每年年度檢討、最大融通電力檢討、SPS 決策表(Look-up Table)之更新及審修作業等，需探討項目包括電力潮流、故障電流、暫態穩定度、小信號穩定度、電壓穩定度及頻率穩定度等。而可應用之分析軟體眾多，例如：PSS/E (PTI)、PSAPAC (EPRI)、DSA Tools (PLI)、Oneliner (ASPEN)、Power World Simulator 及 EMS On-line Package 等。各有其優缺點及適用範圍，如何相互應用並作資源分享，值得深入研討。