

出國報告（出國類別：實習）

發電機組模型參數量測與確認

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：胡澄讚 儀電課長

派赴國家：加拿大

出國期間：97/08/20 – 97/09/03

報告日期：97/10/

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：發電機組模型參數量測與確認研習

頁數 60 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台灣電力公司/陳德隆/(02) 23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

胡澄讚/台灣電力公司/電力修護處/儀電課長/(02) 27853199ext207

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：97/08/20-97/09/03 出國地區：加拿大

報告日期：97年10月21日

分類號/目

關鍵詞：PSS(電力系統穩定器)

內容摘要：(二百至三百字)

本公司五十萬仟瓦以下水、火力發電機組之勵磁系統，大都由本處進行研發更新，當勵磁系統更新後，必須提供新設系統之模型參數予於系統規劃處，建入 PSS/E 分析程式，以進行發電機組勵磁控制系統動態模擬測試。由於建置 PSS/E 發電機組模型參數，均使用廠家所提供之數值，而無原廠資料之機組，僅能以內建典型值替代。近年來因勵磁控制系統更新，皆以數位化控制為導向，又不一定是由原廠家更新，要求提供符合 PSS/E 能執行之模型參數有其困難，更新後僅能提供當前之控制模型參數值，甚難應用於目前分析程式。希望藉由本出國計畫，引進發電機組模型參數量測與確認技術，藉以建立正確之發電機組模型參數，提高本公司模擬系統與實際系統的相似性。

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

壹. 國外公務之目的與過程:-----	2
貳. 國外公務之心得與感想:-----	5
參. 出國期間所遭遇之困難與特殊事項:-----	30
肆. 對公司之具體建議:-----	30
伍. 附件-----	31

壹、國外公務之目的與過程：

一.出國任務：

發電機組模型參數量測與確認研習。

二.說明(目的與過程)：

1. 目的：

本公司水、火力發電機組之勵磁系統 正陸續更新中，當勵磁系統更新後，先前以 PSS/E 建立之發電機組模型參數已不再適用，必須提供新設系統之模型參數予於系統規劃處，建入 PSS/E 分析程式，以進行發電機組勵磁控制系統動態模擬分析，因此必須研習發電機組模型參數量測與確認之技術，藉以建立符合 PSS/E 能執行之模型參數，應用於勵磁系統更新時，提供發電機系統模型參數值建立之方法，藉以獲得正確之發電機組模型參數，以供模擬程式分析系統穩定度，提高本公司模擬系統與實際系統的相似準確性。

實施要領：

- (1). 研習發電機組測試認證標準。
- (2). 研習發電機組模型測試步驟，現場無載有載特性測試。
- (3). 研習現場量測資料推導發電機組模型參數。

預期成果：

- (1). 訂定發電機組無載和有載模型測試步驟。
- (2). 依據現場量測資料推導發電機組模型參數。
- (3) 建立發電機組量測平台，提供模型參數予模擬程式分析。

2. 過程

研習課程如下所列

NERC/WECC 發電機測試

動機

必須遵守的要求

完成的案例

基本的電力系統

電力系統的運作

有效和無效功率的控制

電壓和頻率的控制

同步發電機

同步發電機和能量轉換

發電機端電壓特性

無載和有載運作

無效功率容量曲線

決定發電機參數的測試

勵磁控制系統

發電機和電力系統賦予勵磁系統的必要條件

基本設計型式-

靜態勵磁匯流排電壓回饋，旋轉 dc 勵磁系統，旋轉 ac 整流勵磁系統

電壓調整器和無效電流補償

勵磁限制器對應於相關發電機和系統的容量曲線

勵磁限制器和保護電驛的協調

測試勵磁系統用以確認細勵磁系統性能和模型建立

電力系統穩定器

電力系統穩定器的種類

勵磁系統對於穩定性的影響

發電機的振動穩定度

一般穩定器的基本設計

電力系統穩定器的測試與調整

原動機

多種原動機的基本原件

水輪機

汽輪機

氣輪機

調速機

多種發電機組的速度調整

機械式液壓控制調速機

電氣式液壓控制調速機

永恆低垂和不動帶

自動發電控制

性能測試和模型建立

模型確認研究練習

利用實際測試資料動手研究模型確認

問題與討論

利用 Tabula 量測系統量測發電機組模型參數

綜觀 Tabula 資料蒐集系統

Tabula 配件，A/D 選項，PT' s，CT' s，位置感測器，電纜等

實驗室參訪

Tabula 量測系統軟體操作

Tabula 量測系統展示

三. 出國行程:

1. 行程: 97 年 8 月 20 日~ 97 年 9 月 3 日。
2. 地點: 加拿大。

貳、國外公務之心得與感想

一、發電機組模型參數量測與確認的必要性

北美西部電力協調諮詢委員會(WECC)，起始於 1997 年 7 月 2 日電壓不穩定和 8 月 10 日系統振盪不穩定的兩次主要系統擾動，這兩次擾動事件中顯示出模擬系統模型和實際的系統特性有著很大的差異。模擬系統模型指示出電力系統可以忍受這兩次事件的擾動，不會造成大區域的跳脫停電。停電本身確認模擬系統的模型是不正確的，需要有較好的發電機組系統元件來代表，例如調速機、渦輪機、勵磁機、電力系統穩定器和其他的系統設備等，透過發電機組模型參數量測與確認，將可有效地改善發電機、勵磁系統、渦輪機調速系統、電力系統穩定器和勵磁限制器等模型資料的品質，甚至得到較好參數調整的勵磁控制系統。因此電廠的操作人員也可知道更多有關於機組容量曲線的資訊，電力系統工程師對模型的資料也將更有信心，可以利用這些模型資料來完成不同的系統研究分析，模擬的模型系統和實際系統也有較佳的對應性。

二、北美西部電力協調諮詢委員會(WECC)建議發電機組量測的政策

單機 > 10MVA 或

發電設備 > 20MVA 或

聯結在 69kV 或更高的輸電系統上

- 1、全部基本測試(設備生命週期中的一次全測試)
 - 已經裝置發電未曾測試過的發電機組
 - 新裝置的發電機組
 - 主要設備有更新過的發電機組
 - 經識別發電機組與模型系統有著不同的響應
- 2、模型性能確認(每 5 年)
 - 確認勵磁系統的響應
 - 擾動監視或
 - 電壓暫態試驗或
 - 頻率掃描分析
 - 確認調速機系統的響應
 - 從觀察機組的響應到電網的頻率變化
 - 驗證發電機組無效電力的容量

三、NERC 可靠度標準

驗證發電機的淨有效功率容量

確認發電機的精確資訊，有效地提供穩態模型參數，用來做為電力系統近似容量的可靠

度。

模型參數驗證可被接受的方法

- 1、試運轉資料。
- 2、特性趨勢圖。
- 3、設計安裝工程分析資料。
- 4、現場測試。

驗證發電機勵磁系統的模型參數

確認發電機勵磁系統功能的精確資訊，包括電壓調整器控制、限制器、補償器和電力系統穩定器，有效地供給模型使用，用來做為發電力系統近似容量的可靠度。

模型參數驗證可被接受的方法

- 1、原廠資料。
- 2、試運轉資料。
- 3、特性趨勢圖。
- 4、設計安裝工程分析資料。
- 5、設備設定現場確認。
- 6、現場測試。
- 7、模擬系統與測試結果或擾動監視資料的比對。

驗證發電機組的頻率響應

提供發電機組頻率響應(不同於 AGC)的驗證，用來作為模型參數可靠度的研究。

模型參數驗證可被接受的方法

- 1、原廠資料。
- 2、試運轉資料。
- 3、特性趨勢圖。
- 4、設計安裝工程分析資料。
- 5、設備設定現場確認。
- 6、現場測試。
- 7、模擬系統與測試結果或擾動監視資料的比對。

發電機測試的好處

電廠設備問題的驗證

- (一). 例如：無效電力保護/控制設備設定的不適當，或沒有功效。
- (二). 例如：PSS 沒有動作。

量測主要的意義是可以用來推導更好的模型參數

1. 例如：預測機組和系統的性能，驗證操作上的問題。
2. 例如：是否有偶發性的機組間或者區域間的系統振盪。

系統設計

1. 例如：負載遮蔽範圍的設計，慣性/調速機的邊際。
2. 例如：穩定度限制接近的範圍和新設備驗證的須要。

嚴重事故的後續研究

控制的調整可使機組/系統的性能最佳化

1. 例如：經由適當的控制參數調整、保護系統的正常工工作，可獲得機組的最大輸出。

2. 例如：在區域要求的某些特別現象，可透過勵磁系統和電力系統穩定器來允許最大電力潮流轉移。
3. 例如：提供最強健的系統來穩定系統的擾動要求，當所有控制參數都適當地設定時。

四、量測參數的重要性

參數將影響機組/系統的性能及所有的動態特性，有些特別的影響將反應在某些現象上，例如

動態現象	重要參數
暫態穩定度	發電機，慣性，勵磁機
小信號（振盪穩定度）	勵磁機和電力系統穩定器
電壓穩定度和控制	無效功率限制, 控制和保護系統
頻率穩定度和控制	慣性，調速機

量測參數的分級

Level A參數：這些被認為是必要的參數，例如，機組的慣性、發電機同步阻抗、開回路時間常數和調速機低垂設定等。

Level B參數：這些被認為是非常重要的參數，例如，發電機次暫態阻抗和時間常數、勵磁機飽和因數、調速機和渦輪機時間常數。

Level C參數：這些被認為是有用的但不是必要的參數，例如，發電機負相序、零相序阻抗和感抗，和渦輪阻尼。

Equipment	Level A	Level B	Level C
Generator	X_d d-axis reactance X_q q-axis reactance T_{do} d-axis transient time H inertia constant $S_{1.0}$ saturation factor $S_{1.2}$ saturation factor	X'_{d} d-axis subtr reactance X'_{q} q-axis subtr reactance X_d d-axis trans. reactance X_q q-axis trans. reactance X_l leakage reactance T'_{do} q-axis transient time T_{do} d-axis subtran time T_{qo} q-axis subtran time	R_a stator resistance X_2 neg. seq reactance R_0 zero seq X_0 resistance ... zero seq reactance ...
Exciter	$E_{fd\max}$ max field voltage $S_e(E)$ dc exciter saturation K_e exciter field constant T_e exciter field time ...	K_P potential source gain K_I current source gain X_L coupling reactance θ source phase angle K_c rectifier factor K_d exciter factor ...	$S_e(E)$ ac exciter saturation ...
AVR & Limiters	K_a regulator gain T_a regulator time $V_{r\max}$ max control output X_{comp} compensator setting T_b/T_c gain reduction time K_f/T_f rate feed gain/time ... OEL Limiter type/setting UEL Limiter type/setting V/Hz Limiter type/setting	...	T_r filter time constant ...

Equipment	Level A	Level B	Level C
PSS	I signal type K_{pss} stabilizer gain T_w washout time $T_{1\sim2}$ lead/lag time $T_{3\sim4}$ lead/lag time $T_{5\sim6}$ lead/lag time V_{st} output limit ...	$T_{8/9}$ tracking filter n/m filter orders ...	$A_{1\sim6}$ filter time ...
Turbine	K_{turb} turbine gain (hydro) $K_{1\sim6}$ power fractions P_{max} max turbine output Q_{nl} no-load flow ...	T_w Water time const $T_{1\sim4}$ turbine time constants. ...	D turbine damping ...
Governor ¹	R permanent droop E_{db} frequency dead band U_o/U_c valve open/close rate K_{pgov} proportional gain K_{igov} integral gain K_{dgo} derivative gain T_{dgo} derivative time const. ...	r temporary droop T_r dashpot time

發電機測試的目標

發展或確認發電機組模型適合於系統的動態模擬(暫態穩定度和小信號分析)或電力潮流分析，特別是針對 Level A 和 Level B 的參數，通常包含：

- ◆ 發電機 D 和 Q 軸參數
- ◆ 勵磁系統動態模型(勵磁機和 AVR)
- ◆ 渦輪機和調速機動態模型
- ◆ 電力系統穩定器模型
- ◆ 勵磁限制器模型或設定(OEL, UEL, V/Hz, etc)
- ◆ 機組反應限制

發電機的測試步驟

- ◆ 閱讀電廠機組的文件
 1. 單線圖(斷路器,場電壓供給,CT 和 PT' s 等)
 2. 發電機,渦輪機,勵磁機等名牌資料
 3. 製造廠家資料和曲線圖(發電機阻抗,時間常數,繞組阻抗,飽和容量曲線)
 4. 無刷式勵磁機(無載和有載)特性曲線圖
 5. 勵磁機和電壓調整器圖資和設定
 6. 渦輪機輪廓,調速機控制邏輯和設定
 7. 勵磁機和調速機模型(若原廠有提供)
 8. 機組或電廠運轉限制條件
- ◆ 擬定詳細的測試計畫
 - 確認量測信號

1. 發電機定子電壓： V_{AB} , V_{BC} 和 V_{CA} (PT ratio)
2. 發電機定子電流： I_A , I_B 和 I_C (CT ratio)
3. 磁場電壓(發電機/無刷式勵磁機) V_F (範圍)
4. 磁場電流(發電機/無刷式勵磁機) I_F (shunt ratio)
5. 負載/速度設定點和參考值(若有提供)
6. 導翼,針閥,反射板,葉片角度和位置(水力)
7. 渦輪機廢氣溫度(GT)
8. 燃料進口閥位置(GT)
9. 調速機控制和遮斷閥位置(ST)
10. 其他信號

詳細的測試步驟至少應規範如下

1. 機組運轉的條件(FSNL, MW, MVar, Vt)
2. 勵磁機和調速機控制模型(AVR, FCR, PSS, Droop)
3. 部份控制或保護電驛須要被失能，如逆功率電驛。
4. 測試動作，例如打開發電機斷路器，調查磁場電壓，或者加步階信號等。
5. 測試時須注意和關心設備的安全。

◆ 掌控預測模擬系統

1. 預期機組和控制行為在每個計劃測試
2. 確保執行 MW 卸載試驗時，機組過速的大小是適當的，並可被機組接受。
3. 計劃無效功率卸載 D 軸測試和壓降補償測試是電廠可忍受的，當斷路器打開後不會引起過電壓。

◆ 執行現場測試

1. 發電機參數測試
2. 勵磁系統參數測試
3. 電力系統穩定器測試
4. 渦輪機和調速機參數測試
5. 無效功率容量測試

◆ 開發或確認機組模型

◆ 報告編輯

測試和建立模型的必要工具

測試設備

- ◆ Tabula Data Acquisition System(硬體和軟體)
- ◆ 或高解析度記錄器，可將測試檔案儲存成*.text 或*.csv。

模擬工具

- ◆ 電力潮流和短路分析(PSAT)
- ◆ 時域分析(TSAT)
- ◆ 特徵值分析(SSAT)
- ◆ PSS 調整參數工具(CDT)
- ◆ MATLAB/Simulink 控制系統分析

五、發電機組模型參數量測的方法

發電機參數量測

(一). 開回路特性(飽和)測試

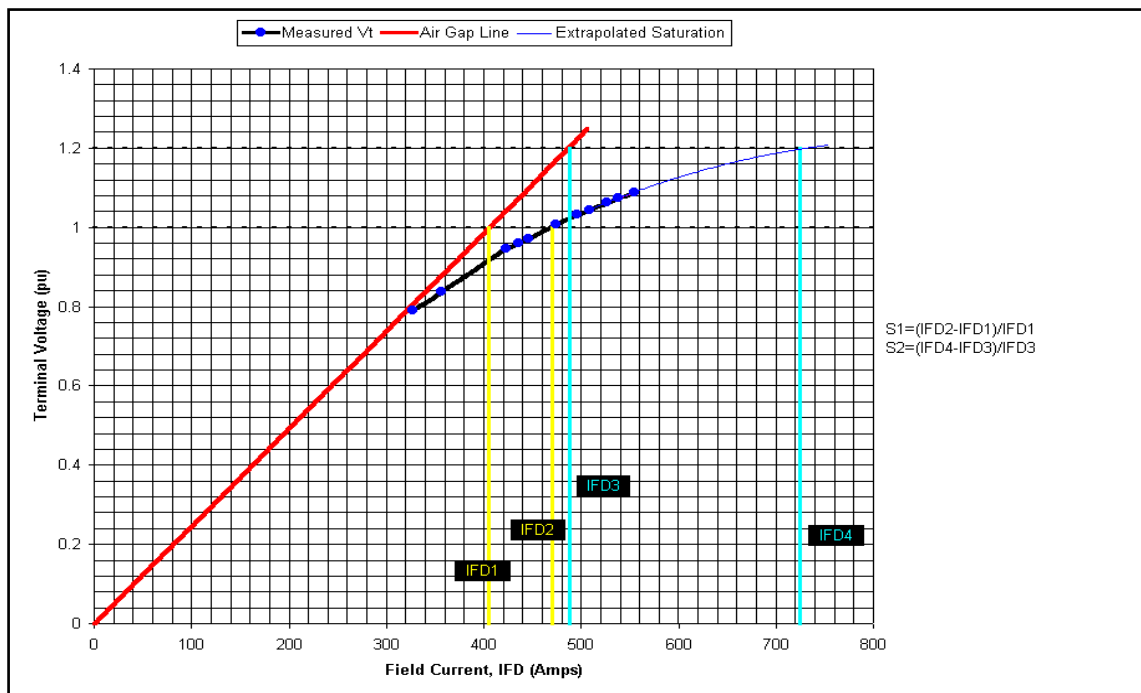
機組必須運轉在額定轉速沒有負載(主斷路器開路)，若為靜態勵磁系統磁場閃激後電壓可能高於額定電壓的 30%，可藉由調低機組磁場電壓，使發電機端電壓降至額定電壓的 30%，然後機組磁場電壓可以向前調昇，使發電機端電壓逐步上升(每個步階約 1000V)，直到機組最大的容忍極限，如圖一所示。

測試步驟

1. 機組運轉在額定速度。
2. 發電機斷路器開路。
3. 發電機遞昇加壓從 30%至 120%(若不允許可加至 105%)。
4. 記錄 $V_t, I_{fd}, E_{fd}, f(\text{Hz})$ 。

實際問題

1. 可以調整 AVR/MAN 控制範圍，勵磁系統必須至於 MAN。
2. V/Hz 限制器保護設定通常限制要提高，讓測試可以順利進行。
3. 靜態勵磁機磁場閃激後降至額定電壓的 30%
4. 經由試驗求出飽和參數 $S1, S2$ 。



(二). 機組並聯量測

現場測試期間在不同的負載情況下(遲相、進相和功率因數為 1) 進行量測，量測結果將被用來決定發電機同步阻抗 X_d 和 X_q ，甚至是閥/導翼的非線性特性。這些量測沒有特別的測試時間配置，假如情況許可，可以把他們包含在其它的測試建議中一起進

行。

(三). 磁場短路(T'_{d0})測試

機組必須運轉在額定轉速沒有負載(主斷路器開路)，在 100%額定發電機端電壓時，打開磁場斷路器移除機組之勵磁電壓，機組磁場繞組被切換至去磁回路，因去磁電阻值小繞組形同短路。 T'_{d0} 時間常數經由磁場短路試驗來求得，方法是依據放電電阻的 V-I 特性和轉子繞組溫度決定，如圖二所示。但是這個試驗只能在有刷式勵磁系統量測，無刷式勵磁系統無法進行量測。

測試步驟

1. 機組運轉在額定速度。
2. 發電機斷路器開路。
3. 在 100%額定發電機端電壓時，打開磁場斷路器。
4. 記錄 $V_t, I_{fd}, E_{fd}, f(\text{Hz})$ 。

實際問題

1. 此測試方法無法應用於無刷式勵磁系統。
2. 非線性放電電阻器或電壓抑制器加在去磁回路中，會影響測試準確度。
3. 利用手動控制勵磁，加一步階信號至發電機磁場，同樣也可達到量測目的。

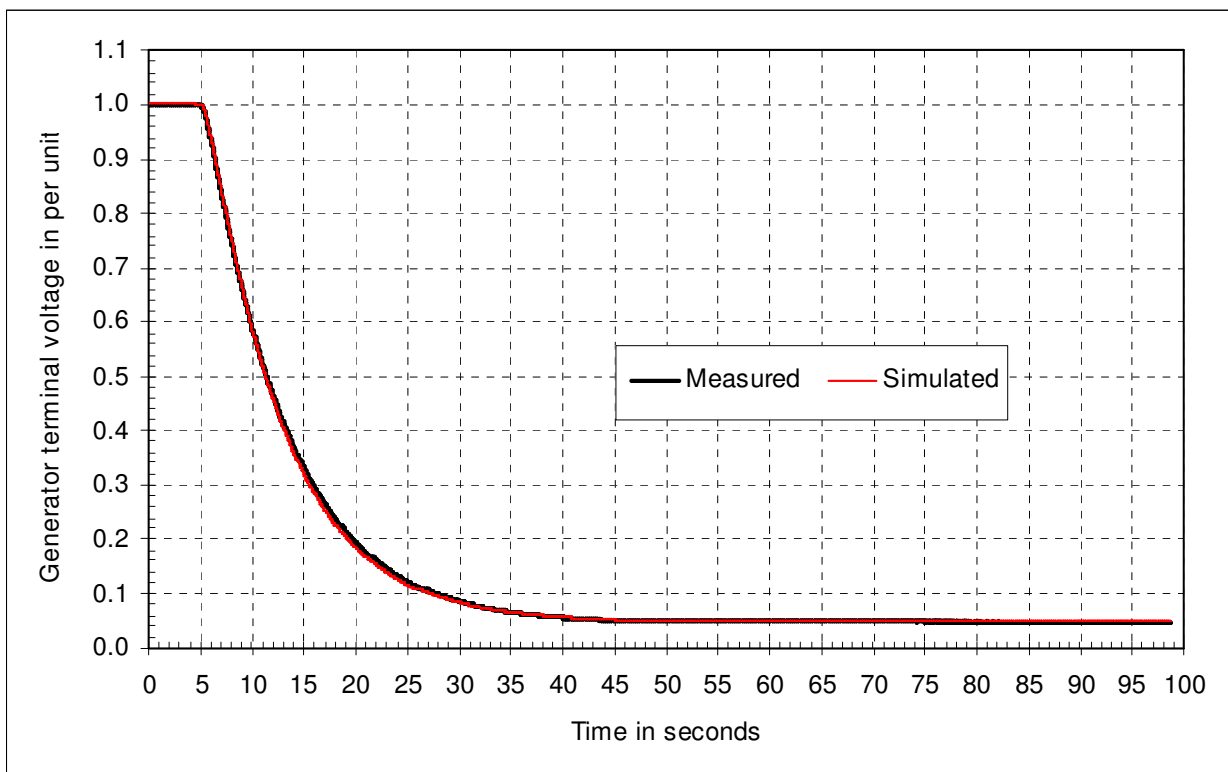
$$T'_{d0} = T'_{d0R} (R_{fd} + R_D) / R_{fds} \text{ Seconds}$$

T'_{d0R} ：測試得到的時間常數，包含放電電阻器。

R_{fd} ：量測磁場電阻。

R_{fds} ：特定溫度下之磁場電阻。

R_D ：量測的放電電阻。



圖二 範例磁場短路(T'_{d0})測試

(四). d 軸參數測試(MVar 卸載試驗)

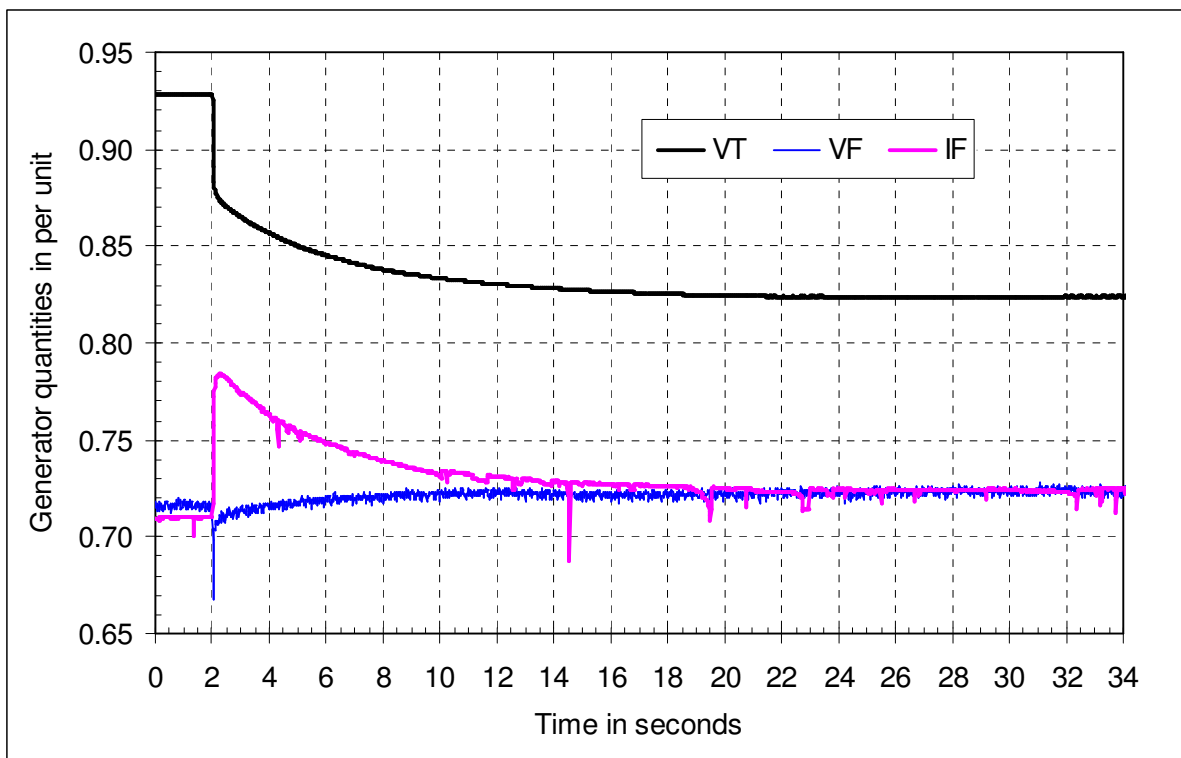
機組要並聯入電力系統，調整有效功率輸出為 0 MW，並且大約輸入 30%額定進相超前無效功率，勵磁系統使用手動控制模式，然後機組斷路器將被打開，無效功率負載跳脫，這個測試結果將被用來推導 d 軸的暫態、次暫態阻抗和時間常數，如圖三和四所示。

測試步驟

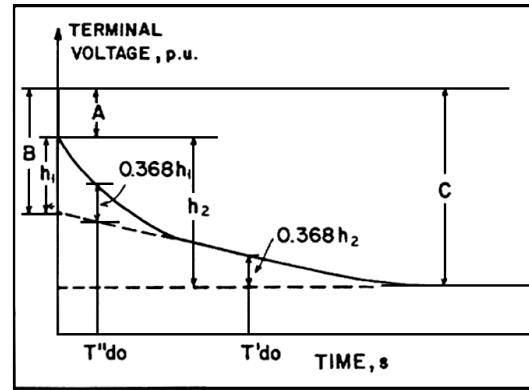
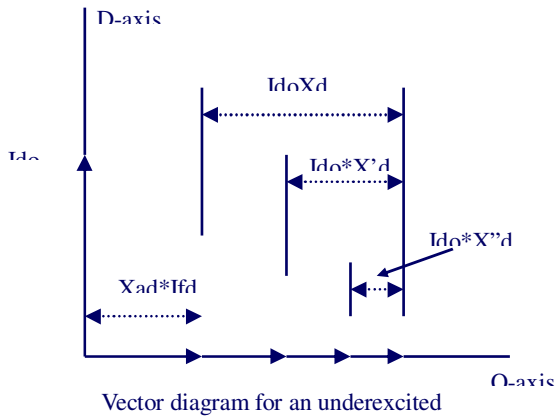
1. 機組運轉在 0 MW 和 -30% 額定 MVar。
2. 勵磁機使用手動控制維持磁場電壓不變。
3. 調速機最低負載限制應設定為 0 MW。
4. 記錄 V_t, I_{fd}, E_{fd} 。
5. 打開發電機斷路器，無效功率卸載試驗。

實際問題

1. 自激式靜態勵磁系統的場電壓供應來至發電機端電壓，磁場電壓無法固定，因此必須改為它激勵磁才不會影響測試。
2. 手動電壓若有最低預設值必須暫時失能。
3. 逆功率保護電驛必須暫時失能。



圖三 範例 d 軸參數測試



$$V(t) = X_{ad} I_{fd} + I_{d0} (X_d - X'_d) \exp(-t/T''_{d0}) + I_{d0} (X'_d - X''_d) \exp(-t/T'_{d0})$$

$$h_1 = I_{d0}(X'_d - X''_d)$$

$$X_d = C / I_{d0}$$

$$h_2 = I_{d0}(X_d - X'_d)$$

$$X'_d = B / I_{d0}$$

$$X''_d = A / I_{d0}$$

圖四 範例 d 軸參數說明

(五). q 軸參數測試(部份 MW 卸載試驗 1)

機組並聯入電力系統，首先調整有效功率輸出為 20% rated MW，並且在欠激情況下，勵磁系統使用手動控制模式，調速機設定在 speed droop 控制，量測轉子角度(rotor angle)與負載角度(load angle)是否相同，若不相同則可調整磁場電壓使之相同，此時發電機電樞電流和轉子 q 軸連成一線，機組斷路器必須在此特定情況下打開，完成卸載試驗，這個測試結果將被用來推導 q 軸發電機參數，如圖五和六所示。

測試步驟

1. 機組運轉在 20% MW 和進相超前-Mvar 情況下。
2. 勵磁機使用手動控制，調整磁場電壓使轉子角度與負載角度相同(定子電流與轉子 q 軸在同一線上)。
3. 調速機設定為 speed droop 控制。
4. 記錄 V_t, I_{fd}, E_{fd} 。
5. 打開發電機斷路器，完成卸載試驗。

實際問題

1. 自激式靜態勵磁系統的場電壓供應來至發電機端電壓，磁場電壓無法固定，因此必須改為它激勵磁才不會影響測試。
2. 在旋轉勵磁系統過速度會引起磁場電壓改變。
3. 手動電壓若有最低預設值必須暫時失能。
4. 轉速慢的機組轉子角度與負載角度對相不易。
5. 發電機斷路器開起信號，輸入調速機控制器必須暫時失能，防止機組速度回到預設值。

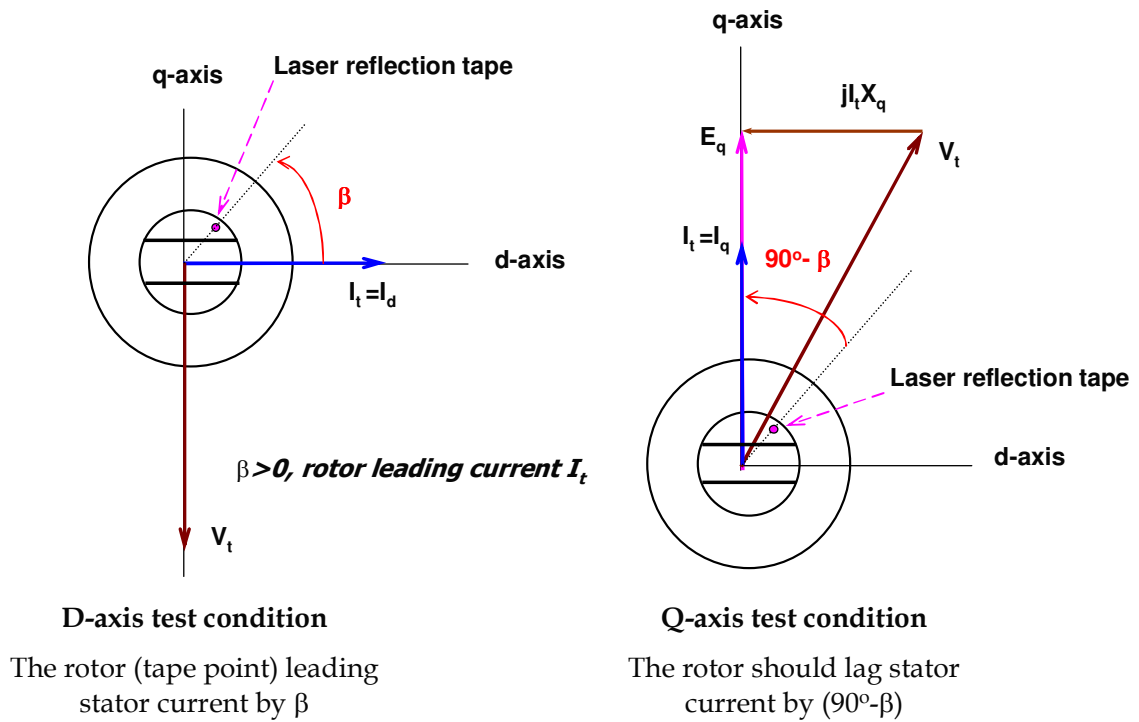
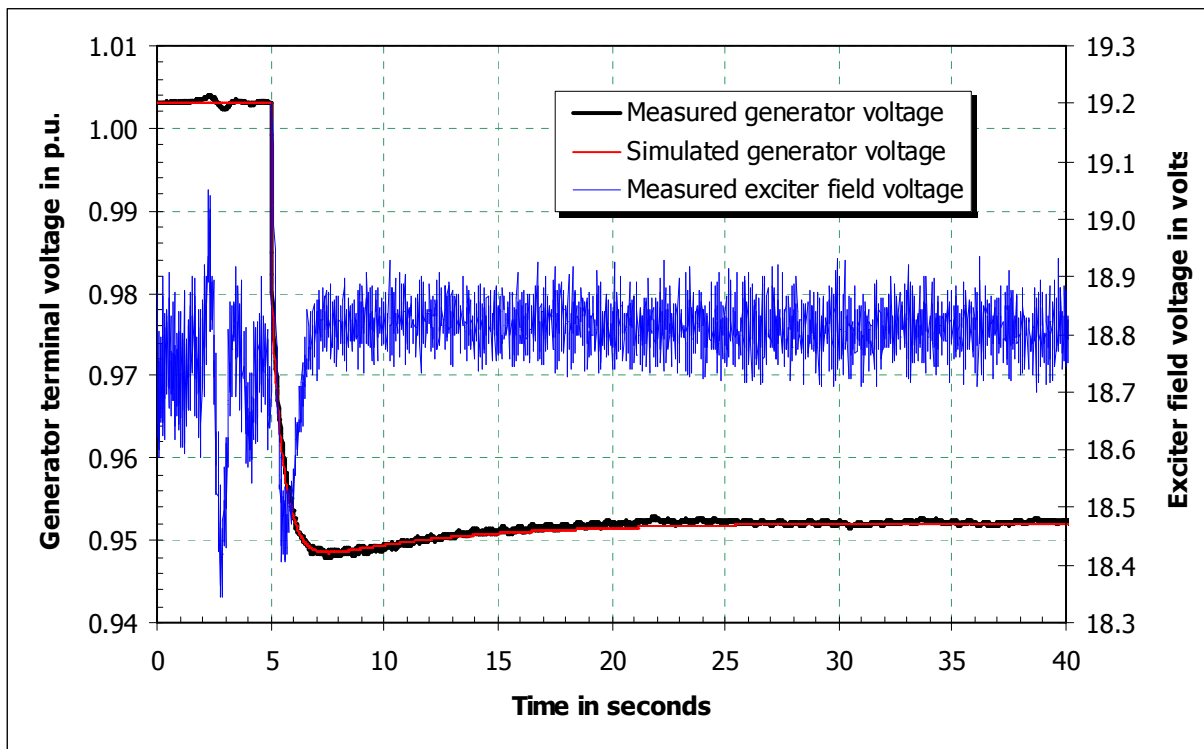


Illustration of Rotor Positions in D- & Q-axis Tests

圖五 範例 q 軸參數說明-1



Q-axis Test Results for a 115.5 MVA Generator with a Brushless Exciter

圖六 範例 q 軸參數說明-2

(六). 部份負載卸載試驗 2

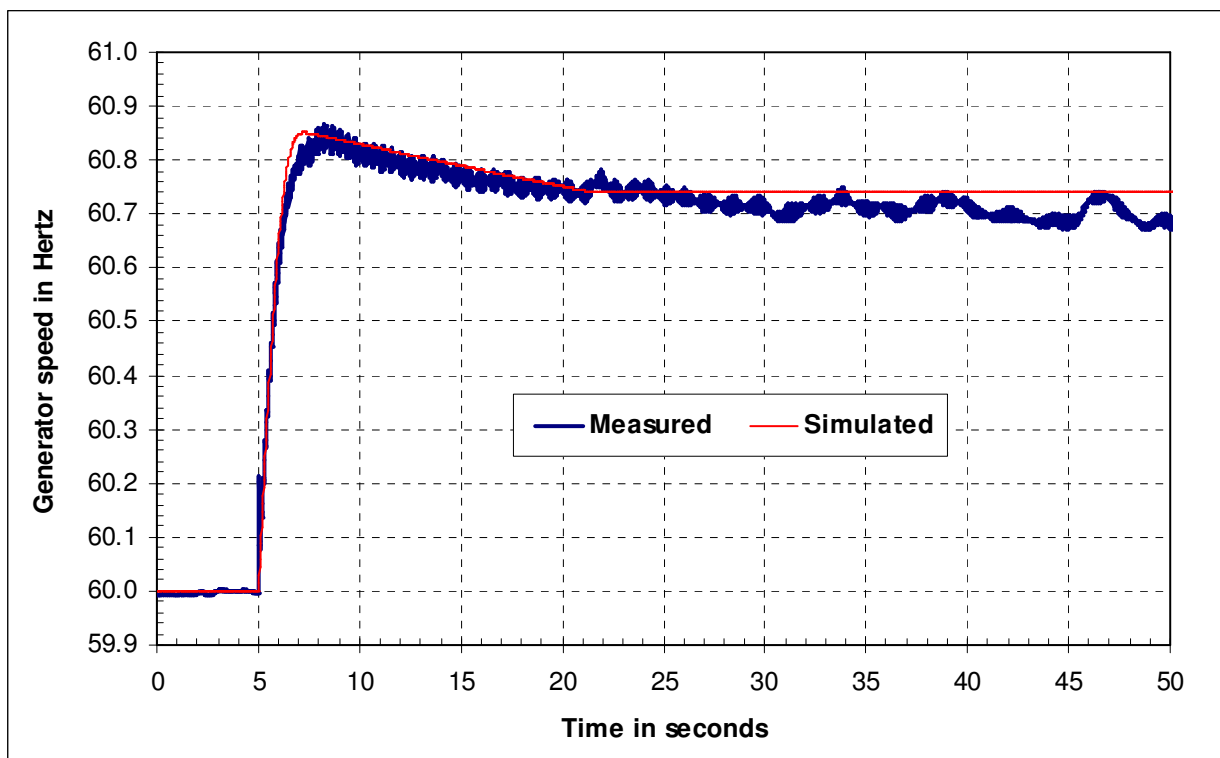
機組並聯入電力系統，首先調整有效功率輸出為大約 10%~20% rated MW，並且在欠激情況下，勵磁系統使用自動電壓調整(AVR)模式，調速機設定在 speed droop 控制，然後機組斷路器在此情況下打開，完成卸載試驗，這個測試結果可以推導出(1)渦輪機和發電機之慣性(inertia)常數，(2)調速機模型參數包括速度低垂(speed droop)百分比，如圖七所示。

測試步驟

1. 機組運轉在 10%~20% MW 和進相超前-10%Mvar 情況下。
2. 勵磁機使用自動電壓調整(AVR)模式。
3. 調速機設定為 speed droop 控制。
4. 記錄 $V_t, I_{fd}, E_{fd}, f(\text{Hz}), \text{gate position}$ 。
5. 打開發電機斷路器，完成卸載試驗。

實際問題

1. 發電機斷路器開起信號，輸入調速機控制器必須暫時失能，防止機組速度回到預設值。
2. 要確保卸載後無動態煞車動作產生。



Validation of Unit Inertia and Governor Model from the Same Q-axis Test

圖七 範例 inertia 參數測試說明

勵磁系統測試

(七). 電壓調整器步階響應測試

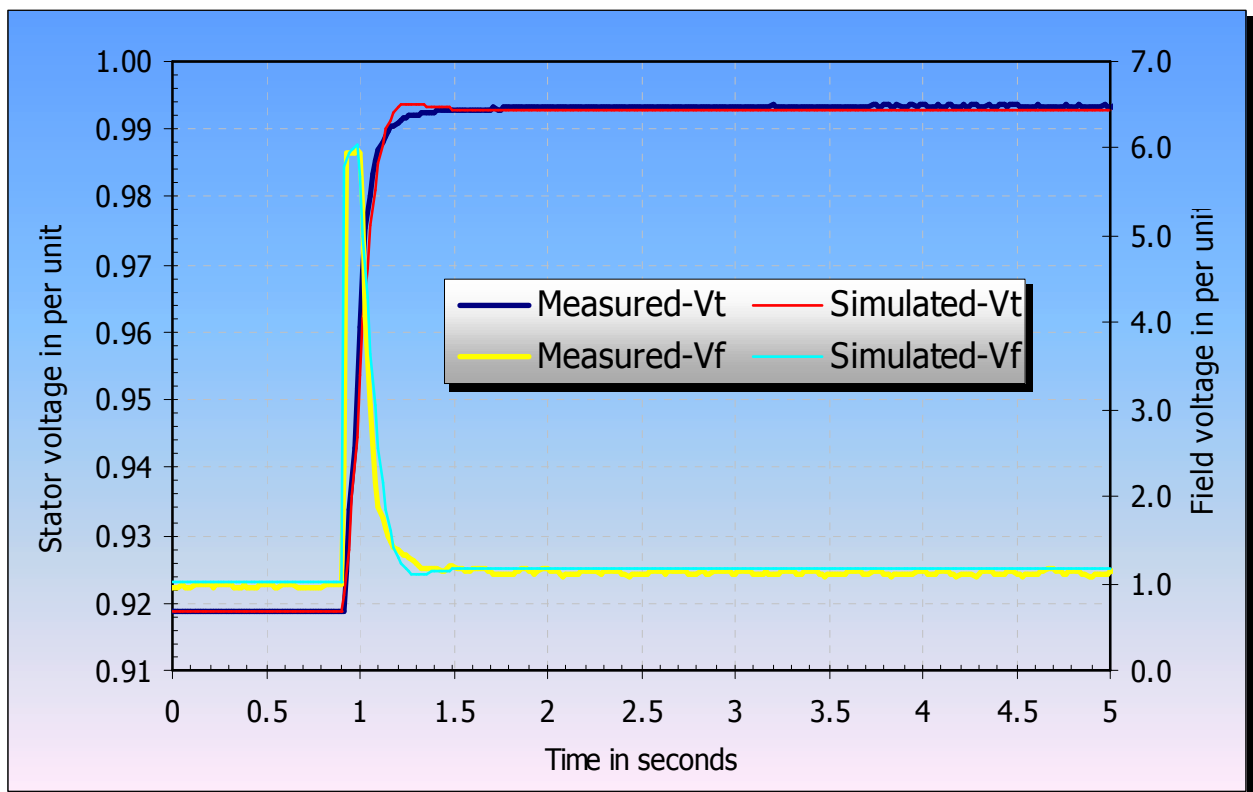
機組運轉在額定轉速無載(主斷路器開啓)，勵磁機必須設定在 AVR 控制(auto mode) 額定電壓情況下，個別加入 5%和 10%的步階信號到 AVR 的參考設定點，此時發電機對應電壓分別為 100%和 95%額定電壓，這個試驗是爲了確認勵磁機的模型參數，如圖八和九所示。

測試步驟

1. 機組運轉在額定速度(AVR mode)。
2. 發電機斷路器開路。
3. 在 100%額定發電機端電壓時，加入 5%步階信號。
4. 重複在 95%額定發電機端電壓時，加入 10%步階信號，測出極頂電壓和最低電壓。
5. 試驗時記錄 $V_t, I_{fd}, E_{fd}, \text{Step signal}, \text{AVR 輸出點}$ 和可以量測到的點。

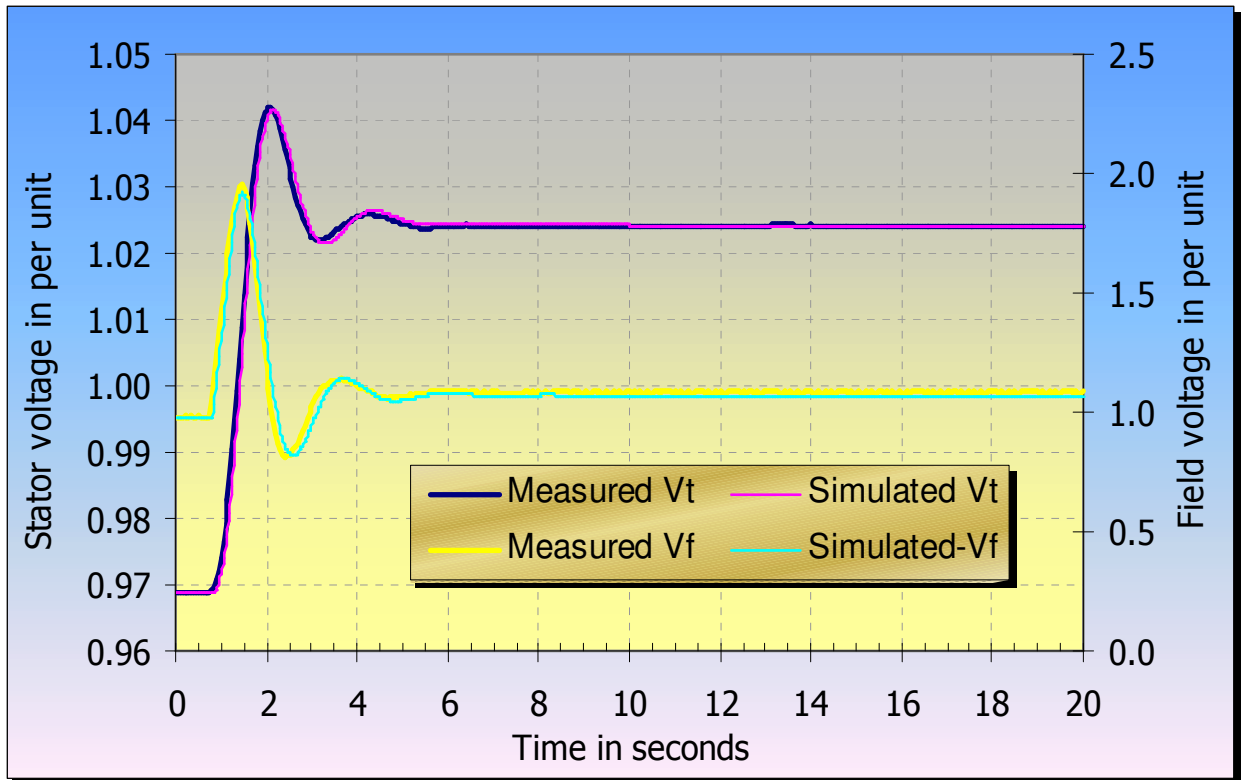
實際問題

1. 確認試驗不受勵磁限制器如 V/Hz 和 OEL 等干擾(限制器功能暫時失效)。



AVR Step Test Results for a Potential-Source Static Excitation System

圖八 範例步階響應測試說明-1



Step Test Results for a 80 MVA Hydro Generator with a dc Exciter (Sample)

圖九 範例步階響應測試說明-2

(八). 無效功率電流補償(電壓低垂,線路壓降補償)測試

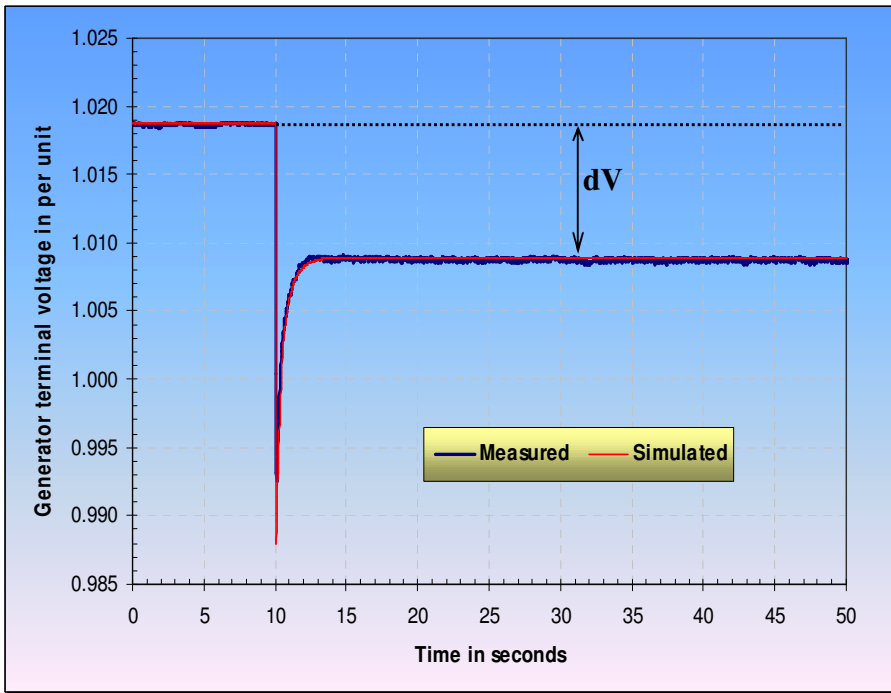
機組要並聯入電力系統，調整有效功率輸出為 0 MW，並且大約輸入 30%額定 MVar 進相超前無效功率，勵磁系統使用 AVR 模式，然後機組斷路器將被打開，無效功率負載跳脫，這個測試是爲了驗證電流補償設定和勵磁系統模型參數，包含 AVR 增益 KA，如圖十所示。

測試步驟

1. 機組運轉在 0 MW 和 -30% 額定 MVar。
2. 勵磁機使用 AVR 控制模式。
3. 調速機最低負載限制應設定爲 0 MW。
4. 記錄 V_t , I_{fd} , E_{fd} 。
5. 打開發電機斷路器，無效功率卸載試驗。

實際問題

1. AVR 電壓設定器預設值和發電機對線路電壓自動追隨調整器必須暫時失能。
2. 逆功率保護電驛必須暫時失能。
3. 另一選擇方法爲勵磁系統暫態測試，亦可驗證勵磁控制系統模型參數。



$$X_e = dV/I_S$$

dV : stator voltage difference (p.u.)

I_S : Stator current interrupted (p.u.)

Therefore,

$$X_e = (1.019 - 1.008) / (785 / 4838) = 0.06$$

Note that this approximation is only valid for system with very high AVR gain (KA)

RCC Test Results for a 151 MVA Unit (785A Reactive Current Interrupted)

圖十 範例無效功率電流補償(電壓低垂,線路壓降補償)測試說明

(九). V/Hz 限制器測試

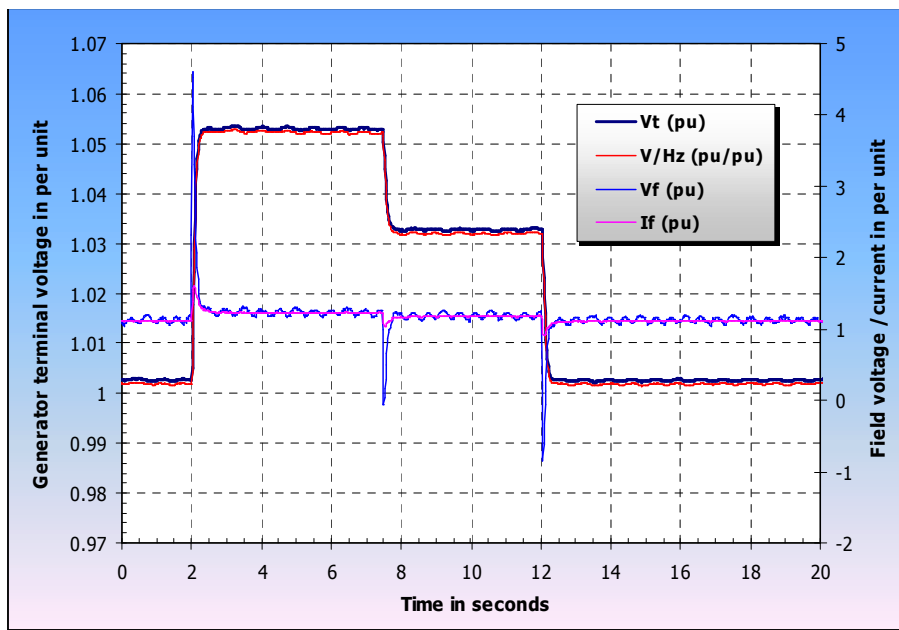
機組運轉在額定轉速無載(主斷路器開啓),勵磁機必須設定在 AVR 控制(auto mode) 額定電壓情況下,加入 10%的步階信號到 AVR 的參考設定點,時間要比限制器延時動作時間長,這樣可以監視 V/Hz 限制器動作反應是否正確,如圖十一所示。

測試步驟

1. 機組運轉在額定速度(AVR mode)。
2. 發電機斷路器開路。
3. 在 100%額定發電機端電壓時,加入 10%步階信號。
4. 加入 10%步階信號,時間要比限制器延時動作時間長。
5. 試驗時記錄 $V_t, I_{fd}, E_{fd}, f(\text{Hz}), \text{Step signal}$ 輸出點和可以量測到的點。

實際問題

1. 為確保設備安全,可降低限制器設定值,來完成測試驗證 V/Hz 功能。
2. 也可不加步階信號至 AVR,而以降低機組轉速來進行此項測試。



Test Setup

5% AVR step applied for 10 seconds.

VHz limiter setting Reduced to 1.03 pu/pu.

Unit speed was 60.06 Hz

V/Hz Limiter Dynamic Test Results (Sample)

圖十一 範例 V/Hz 限制器功能測試說明

(十). 最低勵磁限制器(Under(Minimum) Excitation Limiter)測試

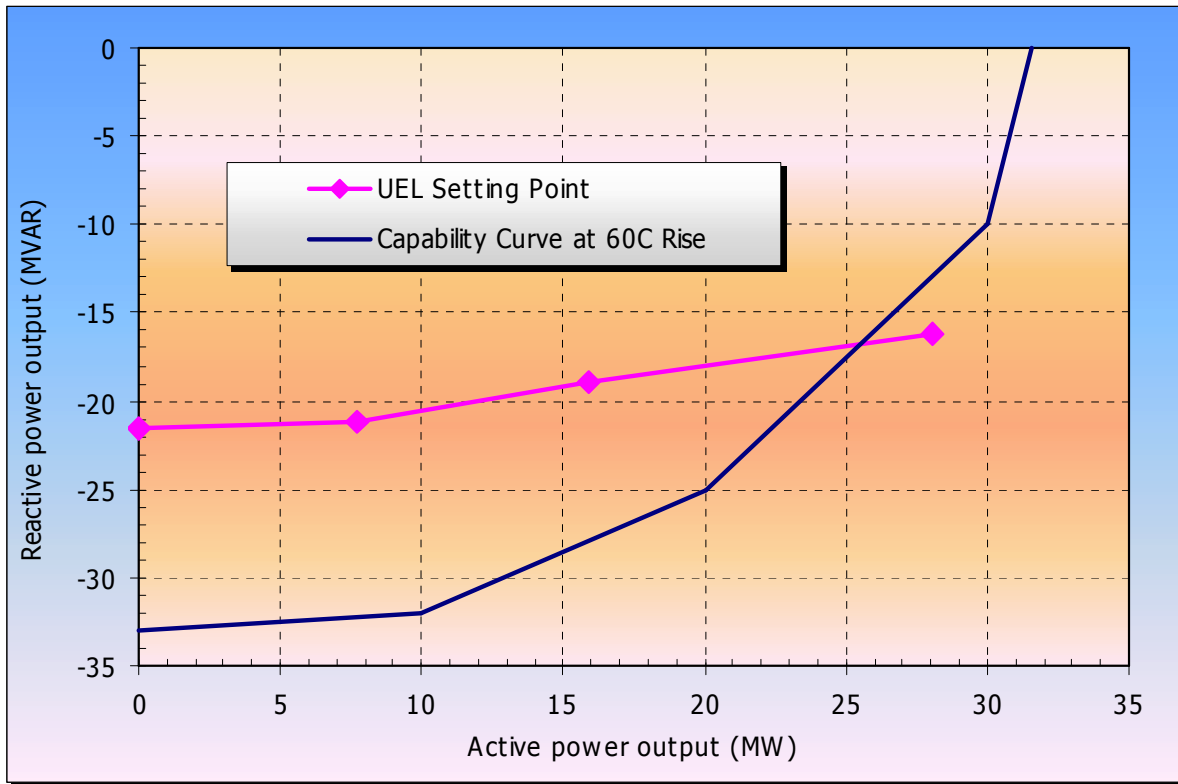
最低勵磁限制器測試時機組並聯入電力系統，機組調整有效功率輸出分別為 0%, 25%, 50, 75%和 100% MW 負載，並且逐漸減少發電機磁場電壓直到 UEL 限制器動作，亦可在每個設定的負載情況下，加入一個負電壓步階信號到 AVR 的參考設定點，來檢驗 UEL 的動態功能，如圖十二所示。

測試步驟

1. 機組運轉在 0%, 25%, 50, 75%和 100% MW 負載。
2. 勵磁機使用 AVR 控制模式。
3. 根據 1 不同負載，調降勵磁電壓直到 UEL 動作。
4. 記錄 V_t , I_{fd} , E_{fd} , MW, MVar。

實際問題

1. 若運轉上限制，可由保護電驛測試設備輸出模擬發電機電壓電流至限制器，達到 UEL 靜態特性設定測試。



Under Excitation Limiter Test Results (31.58 MVA Hydro Generator)

圖十二 範例 UEL 限制器功能測試說明

(十一). 最高勵磁限制器(Over(Maximum) Excitation Limiter)測試

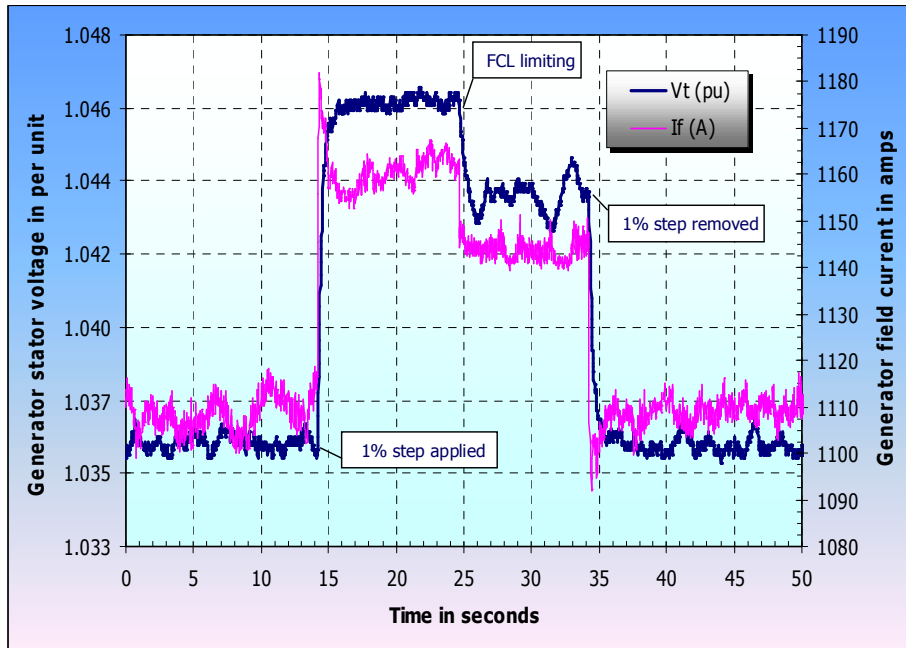
最高勵磁限制器測試時機組並聯入電力系統，機組調整有效功率輸出分別為 0%, 25%, 50, 75%和 100% MW 負載，並且逐漸增加發電機磁場電壓直到 OEL 限制器動作，亦可在每個設定的負載情況下，加入一個步階信號到 AVR 的參考設定點，來檢驗 OEL 的動態功能，如圖十三所示。

測試步驟

1. 機組運轉在 0%, 25%, 50, 75%和 100% MW 負載。
2. 勵磁機使用 AVR 控制模式。
3. 根據 1 不同負載，調升勵磁電壓直到 UEL 動作。
4. 記錄 V_t , I_{fd} , E_{fd} , MW, MVar。

實際問題

1. 爲了避免機組跳脫，測試最大 MW 與最大 MVar 時，可將 OEL 設定值暫時降低。



Test Setup:

1% AVR step applied for 20 seconds.

FCL limiter setting changed to 1140 Amps With 10 Sec delay

Over Excitation (Field Current) Limiter Test Results (76.4 MVA Generator)

圖十三 範例 OEL 限制器功能測試說明

(十二). 電力系統穩定器(Power System Stabilizer)測試

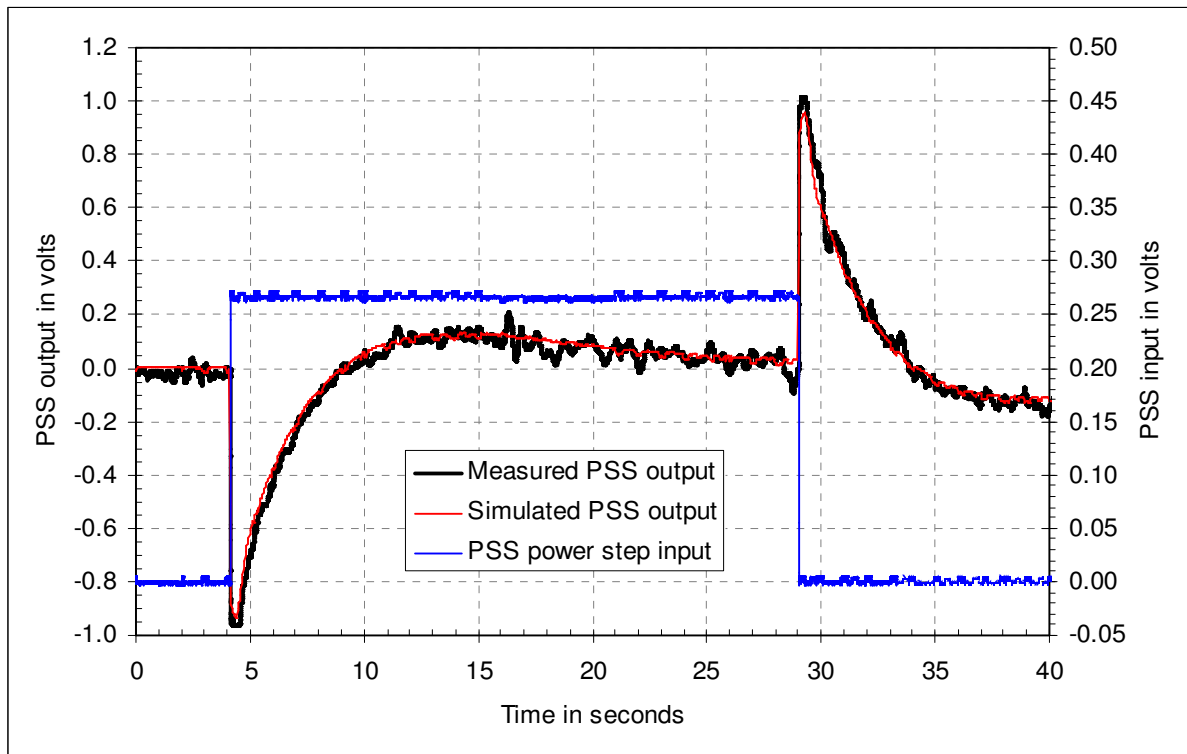
對數位式的 PSS 而言，頻率響應測試並不是必要的測試，但是從 PSS 輸入端加入步階信號測試其暫態時間響應則是必要的，最後機組並聯入電力系統，在滿載時測試其動態特性，檢驗 PSS 對小信號穩定度(系統低頻振盪)的貢獻，如圖十四和十五所示。

測試步驟

1. 機組運轉在 100% MW 負載。
2. 勵磁機使用 AVR 控制模式。
3. AVR 輸入端加入 3%的步階信號，觀察機組與系統的擾動。
4. 當 PSS OFF 和 ON 時，個別記錄 $V_t, I_{fd}, E_{fd}, MW, MVar$ 。

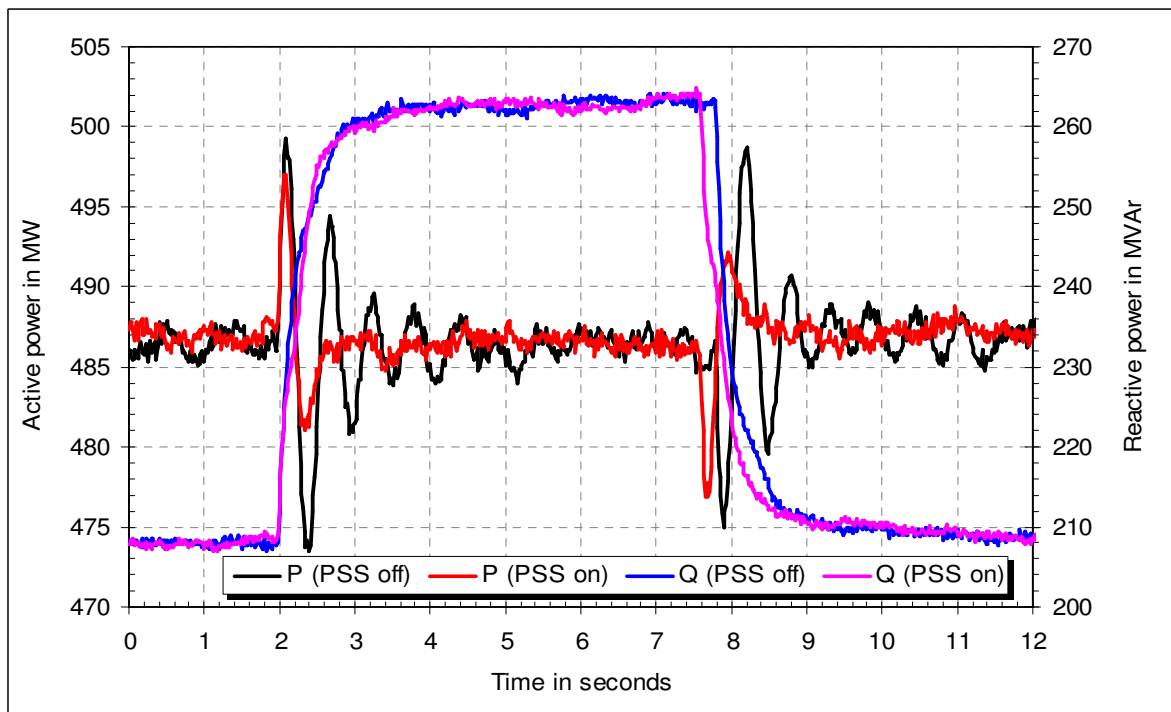
實際問題

1. 因系統之擾動(低頻振盪)無法預期何時會發生，因此僅能模擬機組本身振動，來檢驗 PSS 的功能，藉以達到調整模型參數之目的。



Digital PSS2A Step Response (Power Input)

圖十四 範例 PSS 暫態功能測試說明-1



PSS Performance Test on 586 MVA Steam Unit (Static Exciter + Digital Controller)

圖十五 範例 PSS 動態功能測試說明-2

渦輪與調速機測試

(十三). 部份負載卸載試驗(同發電機參數量測，但記錄不同參數信號)

機組並聯入電力系統，首先調整有效功率輸出為大約 10%~20% rated MW，並且在欠激情況下，勵磁系統使用自動電壓調整(AVR)模式，調速機設定在 speed droop 控制，然後機組斷路器在此情況下打開，完成卸載試驗，這個測試結果可以推導出(1)渦輪機和發電機之慣性(inertia)常數，(2)調速機模型參數包括速度低垂(speed droop)百分比，用以確認調速機模型參數，如圖十六和十七所示。

測試步驟

1. 機組運轉在 10%~20% MW 和進相超前-10%Mvar 情況下。
2. 勵磁機使用自動電壓調整(AVR)模式。
3. 調速機設定為 speed droop 控制。
4. 記錄 $V_t, I_{fd}, E_{fd}, f(\text{Hz}), \text{gate position}$ 。
5. 打開發電機斷路器，完成卸載試驗。

實際問題

1. 發電機斷路器開起信號，輸入調速機控制器必須暫時失能，防止機組速度回到預設值。
2. 要確保卸載後無動態煞車動作產生。

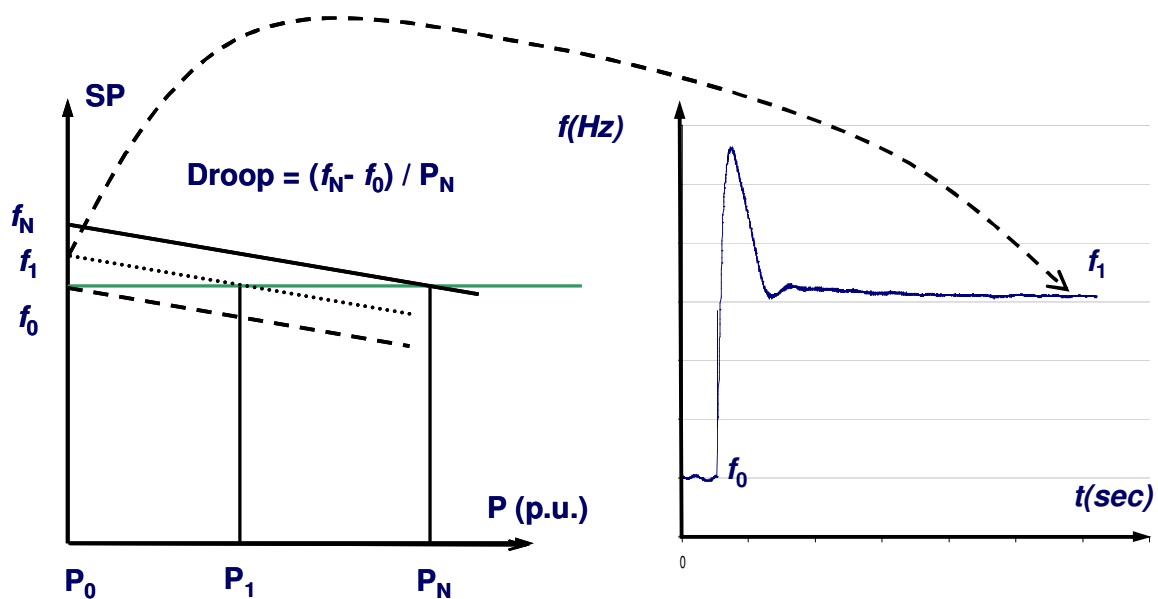
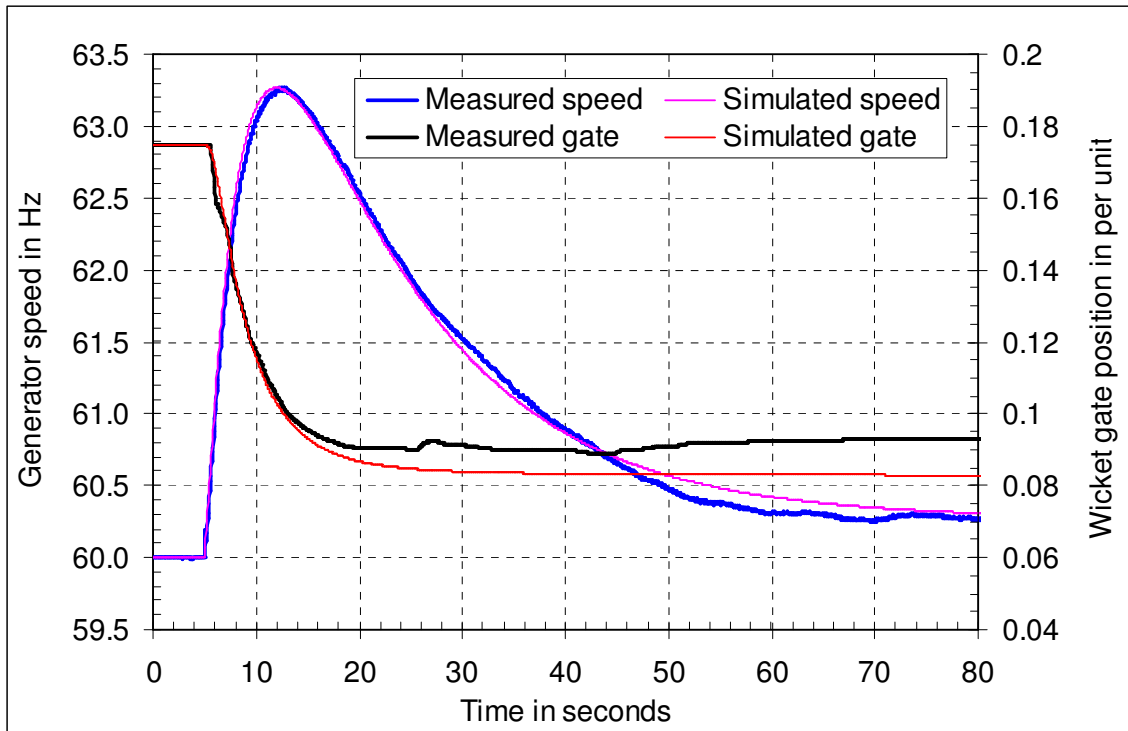


Illustration of Expected Unit Speed in a Load Rejection Test

圖十六 範例部份負載卸載測試說明-1



4.1 MW Load Rejection Test on a 37.5MVA Hydro Unit

圖十七 範例部份負載卸載測試說明-2

(十四). 調速機步階響應測試

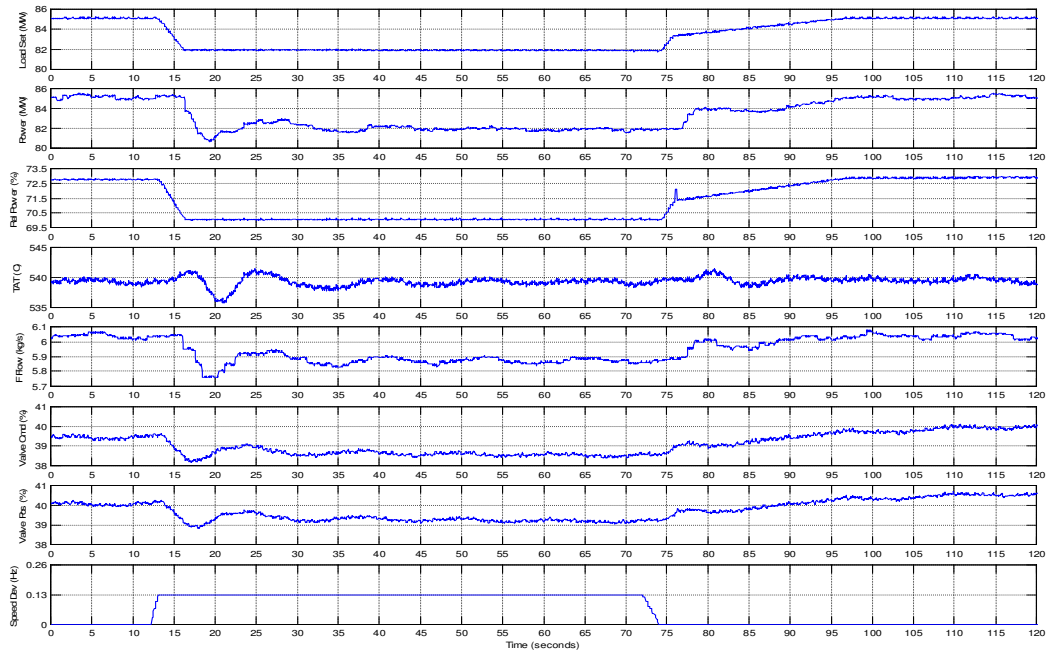
機組並聯入電力系統，首先調整有效功率輸出為大約 80% rated MW，勵磁系統使用自動電壓調整(AVR)模式，調速機設定在 speed droop 控制，加入頻率步階信號至調速機控制器速度參考點，藉由測試決定不動帶(dead band)、速度調整和控制範圍，這個測試結果可以檢查出調速機速度調整設定，並且建立調速機模型參數，如圖十八所示。

測試步驟

1. 機組運轉在 80% MW。
2. 勵磁機使用自動電壓調整(AVR)模式。
3. 調速機設定為 speed droop 控制。
4. 測試不同大小的步階信號至調速機控制器速度參考點，決定不動帶(dead band)、速度(droop)調整和其它參數。
5. 試驗同時記錄 MW, speed, flow, f(Hz), gate position 和負載設定。

實際問題

1. 大部份的條調速機很難進行頻率步階響應測試。



0.13 Hz Frequency Step Response Test - 145 MVA Gas Turbine
(Governor Static Dead band: $\pm 0.06\text{Hz}$)

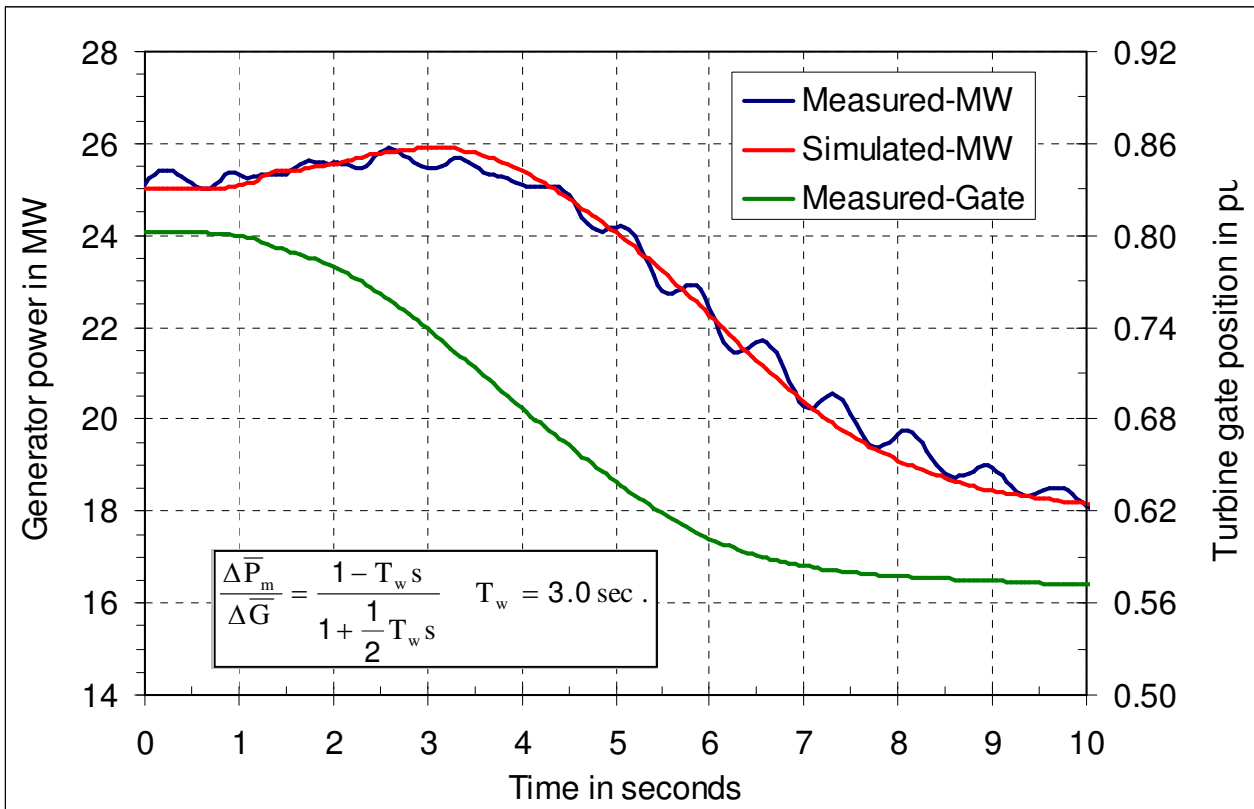
圖十八 範例調速機頻率步階響應測試說明

(十五). 水始動時間測試(只有水力機組適用)

機組並聯入電力系統，首先調整有效功率輸出為大約 80% rated MW，無效功率輸出相對並不重要，測試時機組負載瞬間由導翼限制器降至 50%，機組穩定後再由導翼限制器調升至 65%，從這個測試可以決定水的時間常數和調速機系統的不動帶(dead band)，如圖十九所示。

測試步驟

1. 機組運轉在 80% MW。
2. 快速將導翼限制器降負載至 50%。
3. 試驗同時記錄 MW, speed, flow, f(Hz), gate position 和緩衝壺(dashpot)連桿位移。



Water Starting Time Constant Test for the 37.5MVA Hydro Unit

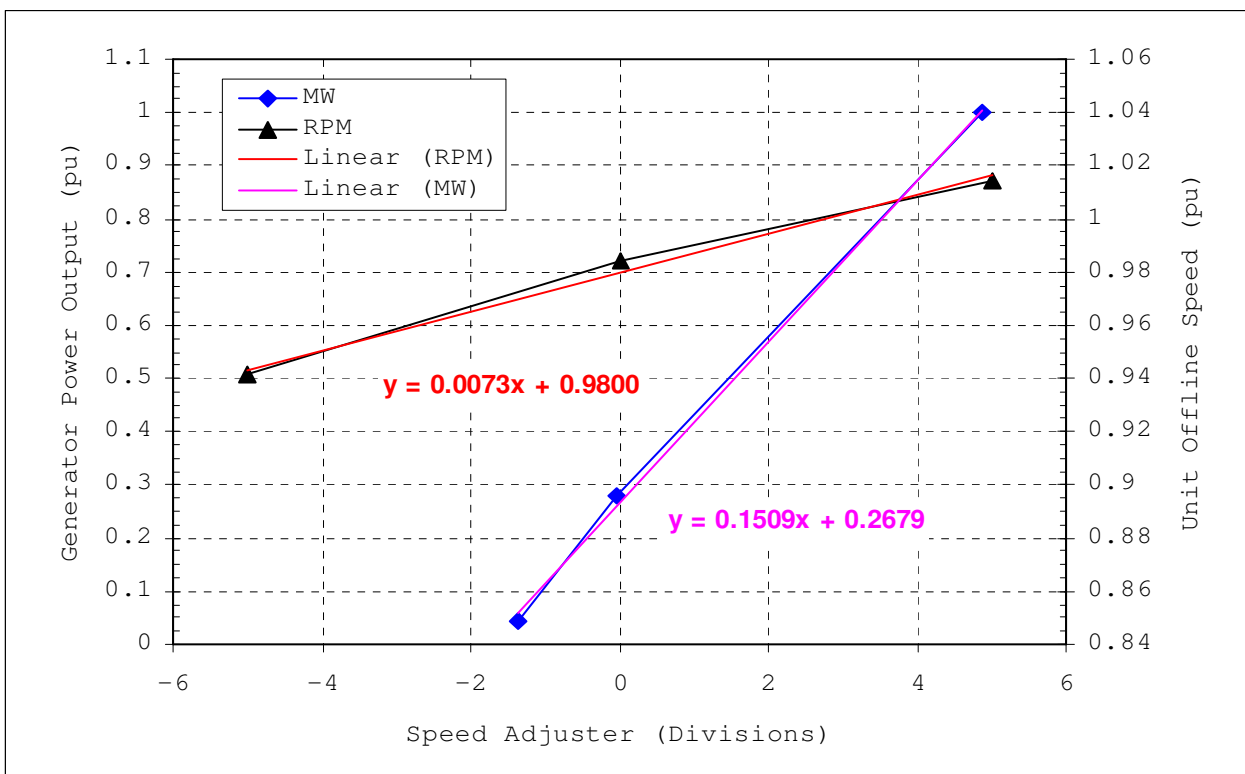
圖十九 範例水始動時間測試說明

(十六). 調速機速度低垂(droop)測試(僅適用於水力機組)

調速機速度調整器之操作可得到導翼位置和負載的對應關係，和導翼位置和機組速度的特性，這兩組特性互相連結，可以決定整個調速機操作範圍速度低垂(droop)百分比的設定，如圖二十所示。

測試步驟

1. 依據不同型式調速機實際驗證。
2. 並聯量測機組出力和速度參考值(例如氣渦輪機組)。
3. 量測油壓設定點和機組無載速度及量測油壓設定點和機組負載輸出之對應關係(例如汽渦輪機組)。
4. 量測速度調整器和機組無載速度及量測速度調整器和機組負載輸出之對應關係(例如水輪機組)。



$$\text{Speed Regulation} = \Delta f (\text{pu}) / \Delta p (\text{pu}) = 0.0073 / 0.1509 = 0.0484 (4.84\%)$$

85 MVA Hydraulic Unit with Mechanical Governor

圖二十 範例水輪機組速度低垂(droop)測試說明

(十七). 緩衝壺(Dashpot)時間常數測試(僅適用於水力機組)

機組運轉在無載額定速度，藉由導翼限制器增加/減少將機組速度快速改變，同時記錄緩衝壺連桿和導翼的位移。

測試步驟

1. 依據不同型式調速機實際驗證。
2. 量測記錄緩衝壺連桿位移、翼連桿位移和時間之對應關係。

(十八). 蒸氣室(Steam chest)時間常數測試(僅適用於汽渦輪機組)

機組並聯入電力系統，首先調整有效功率輸出為大約 80% rated MW，無效功率輸出相對並不重要，機組負載瞬間由蒸氣閥開度限制器降至 75%，當穩定之後，再由蒸氣閥開度限制器將負載提升至 80%，從這個測試可以決定蒸氣室的時間常數。

測試步驟

1. 機組運轉在 80% MW。
2. 快速將蒸氣閥開度限制器降至 75%負載，穩定後再提升至 80%負載。
3. 試驗同時記錄蒸氣閥開度和時間之對應關係。
- 4.

發電機組容量測試

(十九). 無效功率容量測試

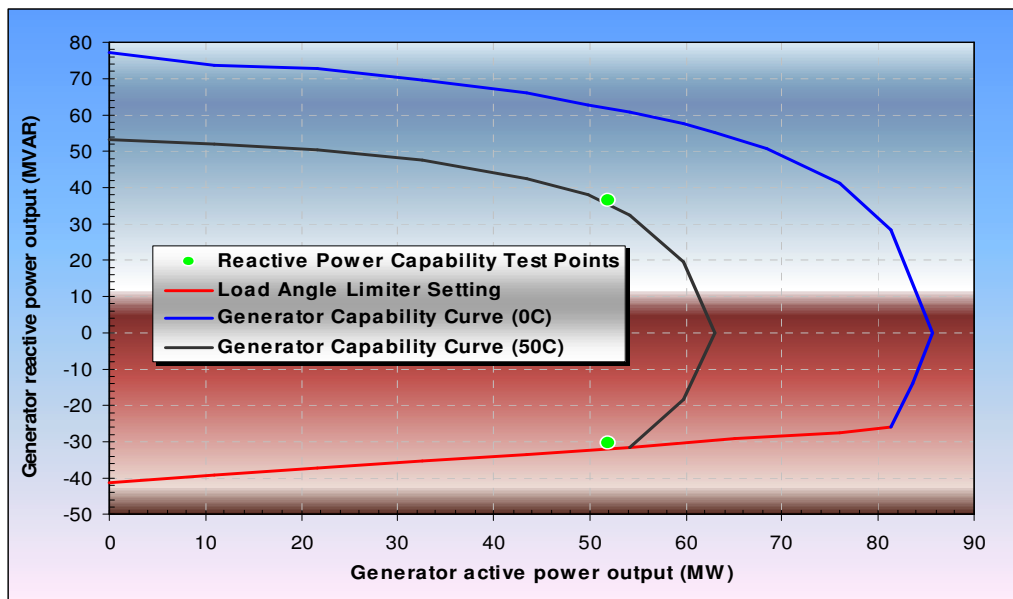
將機組負載有效功率輸出分別調整在 0%, 25%, 50, 75% 和 100% MW 負載，在每一個負載情況下，逐漸地增加磁場電流決定機組提供系統無效功率的容量，相同地逐漸減少磁場電流決定機組吸收系統無效功率的容量。機組在每一個負載階段的測試點必須維持 15 分鐘(不能保護跳脫)，確保最大的正無效功率容量和最大的負無效功率容量可以被維持，而且沒有設備過熱所引起的警報，如圖二十一所示，無效功率容量測試時必須告知調度中心。

測試步驟

1. 機組運轉在 0%, 25%, 50, 75% 和 100% MW 等負載情況下。
2. 勵磁機使用 AVR 控制模式。
3. 根據 1 不同負載，調升磁場電流直到決定之正無效功率容量，相同地調降磁場電流直到決定之負無效功率容量，但不可超出動態穩定曲線。
4. 記錄 V_t , I_{fd} , E_{fd} , MW, MVar。

實際問題

1. 操作時可能會在不適當的勵磁控制範圍，必須暫時解除 MEL、OEL 和 V/Hz 等限制器。
2. 過高或過低的發電機電壓可能影響廠內用電，例如 MCC 等設備。



圖二十一 範例無效功率容量測試說明

六、發電機組模型參數確認的方法

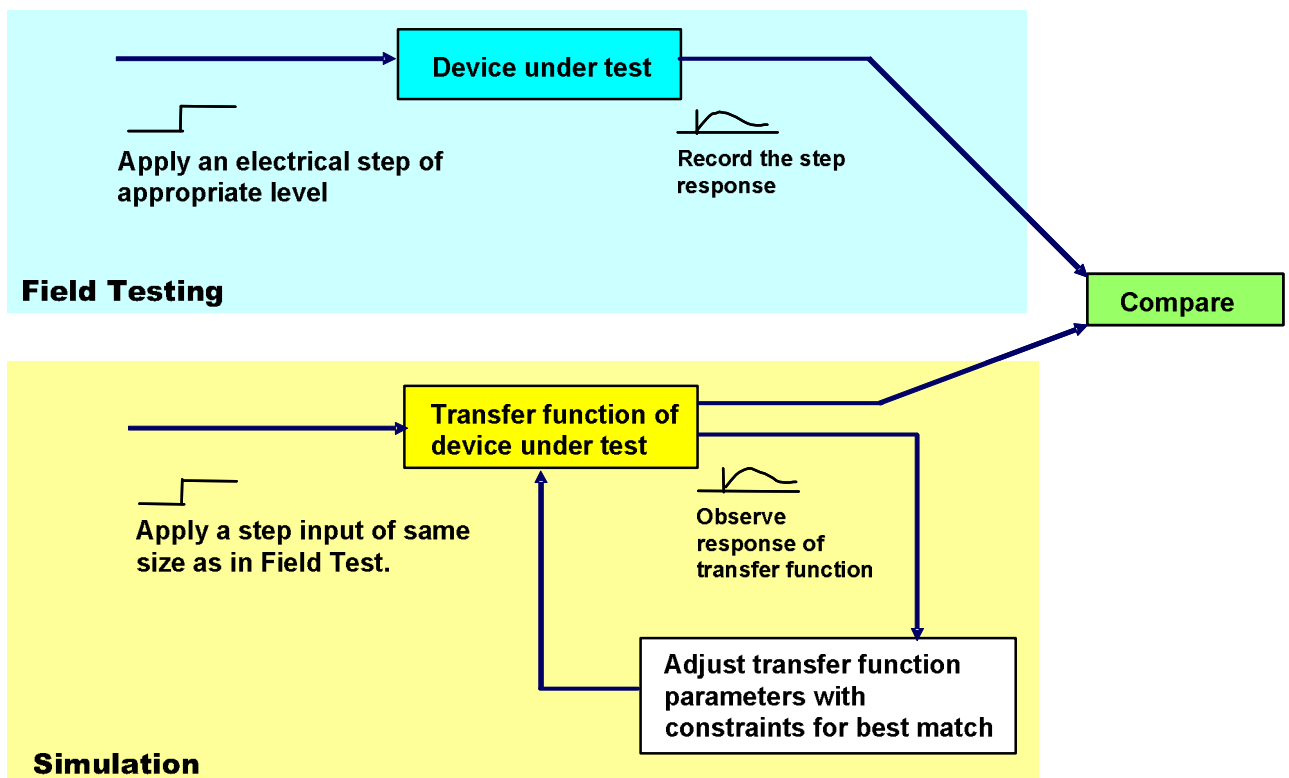
- (一). 模型的確認通常是在現場量測資料取得後才進行，相對於現場測試，模型確認必須花更多的時間。
- (二). 模型確認必須廣泛的使用電力系統和控制模擬工具。
- (三). 經常用在電力系統研究的模擬程式，可以被用來作為模型確認，因為不同的程式可

以處理發電機非線性的特性和不同的控制限制。

- (四). 有些參數可直接由現場測試資料計算取得，不須使用模擬工具，例如，調速機導翼關閉速度，勵磁機極頂電壓，調速機速度低垂(droop)和調整等。
- (五). 現場測試完成之後，模型確認應選擇適當的標準模型，假如有必要也可建立由使用者定義的模型，並且根據下列現場測試程序來進行模擬，如圖二十二一般模型驗證的方法所示，這是獲得正確確認結果很重要的方法。

現場測試程序

- 1)開回路特性(飽和)測試
- 2)並聯測試確認 X_d
- 3)D 軸參數測試(MVar 卸載試驗)
- 4)磁場短路(T'_{d0})測試
- 5)q 軸參數測試(部份 MW 卸載試驗 1)
- 6)電壓調整器步階響應測試
- 7)無效功率電流補償(電壓低垂,線路壓降補償)測試
- 8)調速機步階響應測試
- 9)調速機速度低垂(droop)測試(僅適用於水力機組)
- 10)水始動時間測試(只有水力機組適用)
- 11)部份負載卸載試驗(同發電機參數量測，但記錄不同參數信號)
- 12)電力系統穩定器(Power System Stabilizer)測試
- 13)其他



圖二十二 一般模型驗證的方法

參、 出國期間所遭遇之困難及特殊事項:

無。

肆、 對公司的具體建議

在本公司中符合必須量測與確認條件者，計有各中大型水火力與核能電廠發電機組，其中水力機組約 50 部以上，火力機組(汽輪機約 26 部+氣渦輪機約 6 部+複循環機組約 60 部)，核能機組 6 部(未含核四)，未來兩年必須計畫先行購置量測系統和分析軟體，執行量測分析的人力，也應一併即早規劃籌組。

綜合研究所為此研究計畫主持者，相關單位有電力調度處、系統規劃處、電力修護處和各電廠，因綜研所只負責計畫研究，此研究案完成後，必須有專責單位執行量測與確認工作，各相關單位應事先溝通協調，擇定專責單位統籌辦理，參與綜研所後續量測系統和模擬分析軟體之建置，才能落實技術轉移，並提升本公司在此方面的人力資源。

發電機組模型參數量測與確認，對電力系統而言是非常重要的，模擬系統的正確與否，對於往後電力規劃和保護設備投資評估是否得當，有著決定性的影響。因此計畫勢在必行在，所以執行現場參數量測之前，相關單位與各電廠應擬定各測試項目之可行性評估，事前決定測試項目與機組保護措施，藉以節省量測時間和維護機組安全。

伍、 附錄

發電機組模型參數量測與確認的報告撰寫，應包含 1.量測計畫介紹。2.發電機組的詳細資料，如同步發電機、勵磁系統、渦輪機和調速系統等原廠家資料。3.發電機基本參考值。4.機組的模型參數和容量。5.發電機量測和模型確認。等內容並建立標準的書面文件如下列範例所示：

一. 量測計畫介紹

內容應詳細介紹機組 設備及其更新之歷史，勵磁控制系統和電力系統穩定器之動作特性 1) open-circuit response; 2) small-signal performance; 3) large-signal or transient performance.，現場測試方法和步驟(詳述於第貳章第五節)。

1. Open-circuit saturation test
2. Field short-circuit test
3. Direct-axis test
4. Quadrature-axis test
5. Exciter step response tests
6. Volts per hertz limiter test
7. Under excitation limiter test
8. Over excitation limiter test
9. PSS step and frequency response tests
10. PSS tuning tests including the gain margin test and performance test
11. Reactive power capability test

二. 發電機組的資料(範例僅供格式參考，不提供完整資料)

1 同步發電機

Manufacturer *****
Type Direct-Hydrogen Cooled Rotor-Water Cooled Stator Winding
kVA ***,000
kW ***,000
Volts **,000
Voltage Range +/- 5%
Amps **,943
Excitation Volts 440
Excitation Amps *,410
Rating Continuous
Speed 3,600 rpm
Power Factor 0.9
Phase 3
Connection Y
Rated Gas Pressure 60 psig
Standard ANSIC 50
Insulation Class B
Maximum Inlet Gas 115 °F
Date of Manufacture ****

2 勵磁系統

Manufacturer *****
Type Static Excitation System
Control *****
Model *****
Main Supply Generator Terminals
Auxiliary Supply Station Battery (125 V) for Field Flashing
Excitation Transformer 3 Phases, HV / LV **,000 V : **0 V

Max. Cont. System Current *,*00 A
 Ceiling Current *,*50 A
 Application Time of Ceil:..... 20 Sec.
 Positive Ceiling Voltage..... *,*35 V

3 渦輪機

Manufacturer *****
 Type ***** , Single-Reheat
 Rated Output..... *** MW
 Rated Speed 3,600 rpm
 Inlet Steam Pressure..... 2365 psia
 Inlet Steam Temperature..... 1000 °F
 Reheat temperature 1000 °F
 Back Pressure..... 3.0” Hg
 Stages..... HP, IP, LP1, LP2
 Dates ****

4 調速系統

Manufacturer *****
 Type..... Mechanical – Hydraulic Full Arc Control

三. 發電機基準值(標么值)

基準值被用於機組標么值計算，發電機磁場基準值由開路飽和曲線測試來決定，磁場電流基準值的定義為：在額定轉速下，提供之磁場電流，可以在氣隙間產生額定端電壓。磁場電壓基準值的定義為：磁場電流基準值乘以磁場繞組 75°C 時之電阻值，此值亦可根據原廠提供數值換算得到。

Table 三-1: Generator Base Values

Power (MVA)	Stator Voltage (kV)	Stator Current (Amps)	Field Voltage (Volts)	Field Current (Amps)
***.0	20	**,943	148.6	1600.4

四. 機組模型參數和容量

此部份在確認機組發電機、調速機、勵磁系統和電力系統穩定器的模型參數及無效電力的容量，根據現場的測試資料來驗證模型參數，可將報告規範如下：

1 發電機參數

The synchronous generator model parameters were revalidated based on the test results from the following tests:

- Open-circuit saturation test
- Field short-circuit test
- Direct-axis test
- Quadrature-axis test

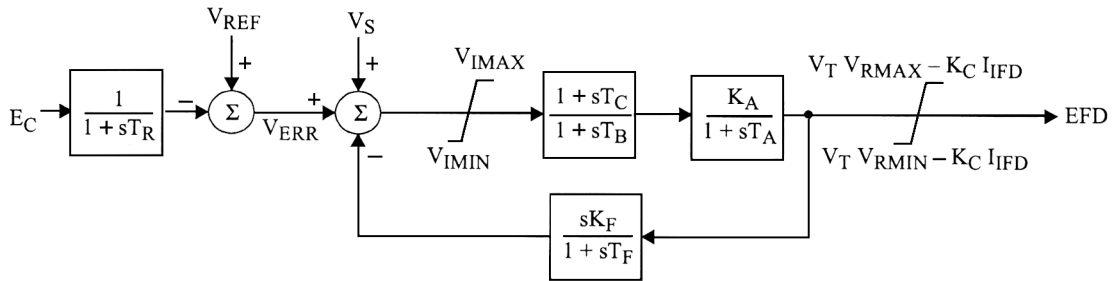
Table 四-1: Synchronous Generator Parameters

Parameters (Model GENROU)	Description	Existing Value ⁽¹⁾	Revalidated Value ⁽²⁾
X_d (unsaturated)	D-axis synchronous reactance, p.u.	1.**	1.8*
X'_d (unsaturated)	D-axis transient reactance, p.u.	0.**	0.3*
X''_d (unsaturated)	D-axis sub-transient reactance, p.u.	0.**	0.2*
X_q (unsaturated)	Q-axis synchronous reactance, p.u.	1.**	1.8*
X'_q (unsaturated)	Q-axis transient reactance, p.u.	0.**	0.5*
X_l (unsaturated)	Stator leakage reactance, p.u.	0.**	0.1*
T'_{do}	D-axis transient open-circuit time constant, sec.	3.**	4.4*
T''_{do}	D-axis sub-transient open-circuit time constant, sec.	0.**	0.0*
T'_{qo}	Q-axis transient open-circuit time constant, sec.	0.**	0.8*
T''_{qo}	Q-axis sub-transient open-circuit time constant, sec.	0.**	0.0*
H	Gen. and turbine combined inertia, MW• sec/MVA	2.**	3.2* ⁽³⁾
D	Damping factor, p.u.	0.0**	0.1*
$S_{1.0}$	Saturation factor at 1 p.u. flux	0.0**	0.04*
$S_{1.2}$	Saturation factor at 1 p.u. flux	0.**	0.2**
R_a	Stator resistance, p.u.	0.0**	0.00*
R_{comp}	Compounding R for voltage control, p.u.	0.0	0.*
X_{comp}	Compounding X for voltage control, p.u.	0.0	0.*

2 勵磁系統參數

定義出與實際勵磁系統相似的模型，或延用 PSS/E 型式的勵磁系統模型(範例為 PSS/E type

EXST1 model), 近一步將藉由勵磁機的步階暫態響應來驗證勵磁系統的參數, 參數的調整, 則可經由開路飽和試驗、小信號特性試驗和大小信號特性試驗, 觀察其響應和特性, 確保電壓調整器可以滿足穩態和暫態干擾情況下之運轉。範例如下所示



$$V_S = V_{OTHSG} + V_{UEL} + V_{OEL}$$

Figure 四-1: Type EXST1 Excitation System Model

Table 四-2: AVR Settings within Unitrol-P

Parameter	Description	Setting
AVR-T _a	Voltage regulator setting time constant, millisecond	5**
AVR-T _b	Voltage regulator setting time constant, millisecond	1*
AVR-V _o	Voltage regulator static gain, pu	7**
AVR-V _{oo}	Voltage regulator high-frequency gain, pu	7*
AVR-V _p	Voltage regulator intermediate-frequency gain, pu	7*
AVR P-static	Voltage regulator active power compensating factor, %	0.*
AVR Q-static	Voltage regulator reactive power compensating factor, %	0.*

Table 四-3: Excitation System Parameters

Parameters (Model EXST1)	Description	Validated Value ⁽¹⁾
T_R	Voltage transducer time constant, seconds	0.0*
V_{IMAX}	Maximum control error, p.u.	1*
V_{IMIN}	Minimum control error, p.u.	-1*
T_C	Lead time constant of transient gain reduction, seconds	0.5**
T_B	Lag time constant of transient gain reduction, seconds	5.**
K_A	Voltage regulator gain, p.u.	7**
T_A	Voltage regulator time constant, seconds	0.0**
V_{RMAX}	Maximum voltage regulator output, p.u.	8.*
V_{RMIN}	Minimum voltage regulator output, p.u.	-7.*
K_C	Excitation system regulation factor, p.u.	0.0*
K_F	Rate feedback gain, p.u.	0.*
T_F	Rate feedback time constant, seconds	1.*

Note: (1) Calculated based on the AVR settings and further validated from the field tests.

3 電力系統穩定器參數

一般數位式電力系統穩定器已整合設計在勵磁控制器中，現場的參數調整根據 NERC PSS 設計和特性標準，PSS 的規劃是參照 IEEE 雙輸入模型架構，有效功率和轉速作為穩定器的輸入，如圖 4-2。PSS 參數設定在控制軟體和模型資料驗證的範圍，作為系統的研究如表 4-4，PSS 的特性是在現場測試來驗證，測試時機組要在滿載的情形下進行。

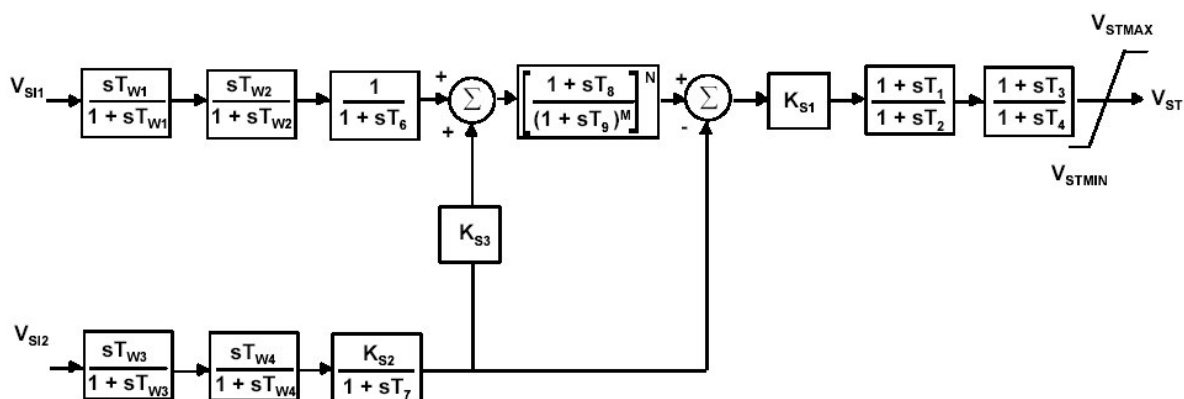


Figure 四-2: Type PSS2A Dual Input PSS model

4 渦輪-調速機參數

範例圖 4-3 代表 GEC 汽輪機和機械液壓式調速機模型，它對應於 IEEEG1 模型，同時也應用於 PSS/E 和 GE PSLF 模擬軟體。調速機增益可由部份負載卸載試驗推導，由於現場限制和實際量測的困難，其他模型參數不能被驗證，表 4-5 顯示汽輪調速機系統模型參數。

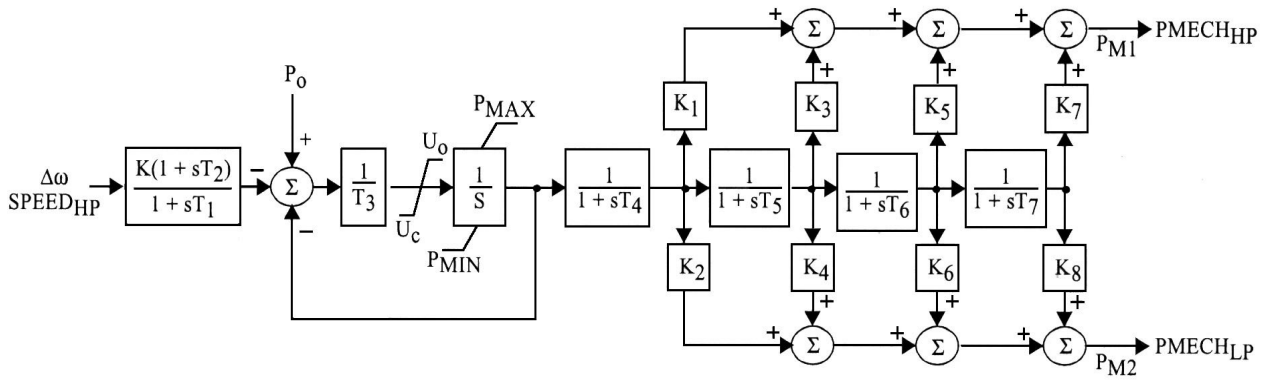


Figure 四-3: Type IEEEG1 Turbine Governor Model

Table 四-4: Power System Stabilizer Parameters

Parameters (Model PSS2A)	Software Setting ⁽¹⁾	Validated Value ⁽²⁾
ICS1	1	*
REMBUS1	0	0
ICS2	*	*
REMBUS2	*	0
M	5	*
N	*	1
T _{w1}	4.*****	5.**
T _{w2}	4.*****	5.**
T ₆	0.0	0.**
T _{w3}	4.*****	5.**
T _{w4}	0.0	0.**
T ₇	5.0	5.**
K _{S2} (=T ₇ /2H)	0.7***** ⁾	0.*****
K _{S3}	1.0	1.**
T ₈	0.5	0.**
T ₉	0.1	0.**
K _{S1}	3.*****	4.***
T ₁	0.0*****	0.****
T ₂	0.02	0.***
T ₃	0.0*****	0.***
T ₄	0.02	0.**
V _{STMAX}	0.0*****	0.*****
V _{STMIN}	-0.04*****	-0.0***

Table 四-5: Turbine Governor Parameters

Parameters (Model IEEE1)	Planning Data ⁽¹⁾		Revalidated Data ⁽²⁾	
K	25		*	***
T ₁	0.1		0.	***
T ₂	0.0		0.	***
T ₃	0.1		0.	***
U ₀	0.0853		0.0	***
U _C	-0.853		0.	***
P _{max}	1.0		1.	***
P _{min}	0.0		0.	***
T ₄	0.1		0.	***
K ₁	0.275		0.	***
K ₂	0.0		0.	**
T ₅	2.5		2.	**
K ₃	0.417		0.	***
K ₄	0.0		0.	**
T ₆	0.256		0.	***
K ₅	0.308		0.	***
K ₆	0.0		0.	***
T ₇	0.0		0.	***
K ₇	0.0		0.	***
K ₈	0.0		0.	***

Notes:

- (1) Validated in the 1998 NERC generator testing (on the base of***.*** MVA)
- (2) Revalidated after the turbine HP, IP & LP stages retrofitted (on the base of *** MVA)
- (3) Derived from the load rejection test.

5 無效電力容量

機組無效功率容量是由機組穩態無效功率限制特性測試決定，結果表示為表 4-6。最大無效功率輸出受限制於系統匯流排允許運作範圍，發電機容量曲線(額定磁場電)達到時，同時最大無效功率的吸收也受限於欠勵磁限制器。

Table 四-6: Reactive Power Capabilities

Q (MVar)		Test Conditions					
		P (MW)	V _{terminal} (kV)	I _{stator} (kA)	I _{field} (A)	T _{field} (°C)	V ₂₄₀ (kV)
Max	180	***	2*.*	12.*	4200	62.5	26*.*
Min	-53	***	1*.*	12.*	3086	55.0	261

五. 發電機組量測與模型確認

這部份是展現現場測試和模型確認的成果，也就是針對第參章第五節詳述的測試結果，以第參章第六節介紹之方法，將現場量測值讀進模擬系統，並利用模擬系統建立之模型，以現場測試之方法，讓模擬系統產生相同之測試，再進行現場和模擬系統之模型參數值比對確認，藉以獲得正確之參數，以下僅就某發電機組模型參數確認結果最為範例。

1 Open-Circuit Saturation Test

Table 五-1: Open-circuit Saturation Data

Field Voltage (V)	Field Current (A)	Terminal Voltage (kV)	Unit Speed (Hz)
78.*	9**.*	11.**	60.**
90.*	10**.*	13.**	60.**
97.*	11**.*	14.**	60.**
105.*	12**.*	16.**	60.**
11*.*	13**.*	16.**	60.**
11*.*	14**.*	17.**	60.**
11*.*	14**.*	18.**	60.**
12*.*	14**.*	18.**	60.**
12*.*	15**.*	18.**	60.**
13*.*	16**.*	19.**	60.**
13*.*	16**.*	19.**	60.**
14*.*	17**.*	20.**	60.**
14*.*	18**.*	21.**	60.**
15*.*	18**.*	21.**	60.**
16*.*	19**.*	22.**	60.**

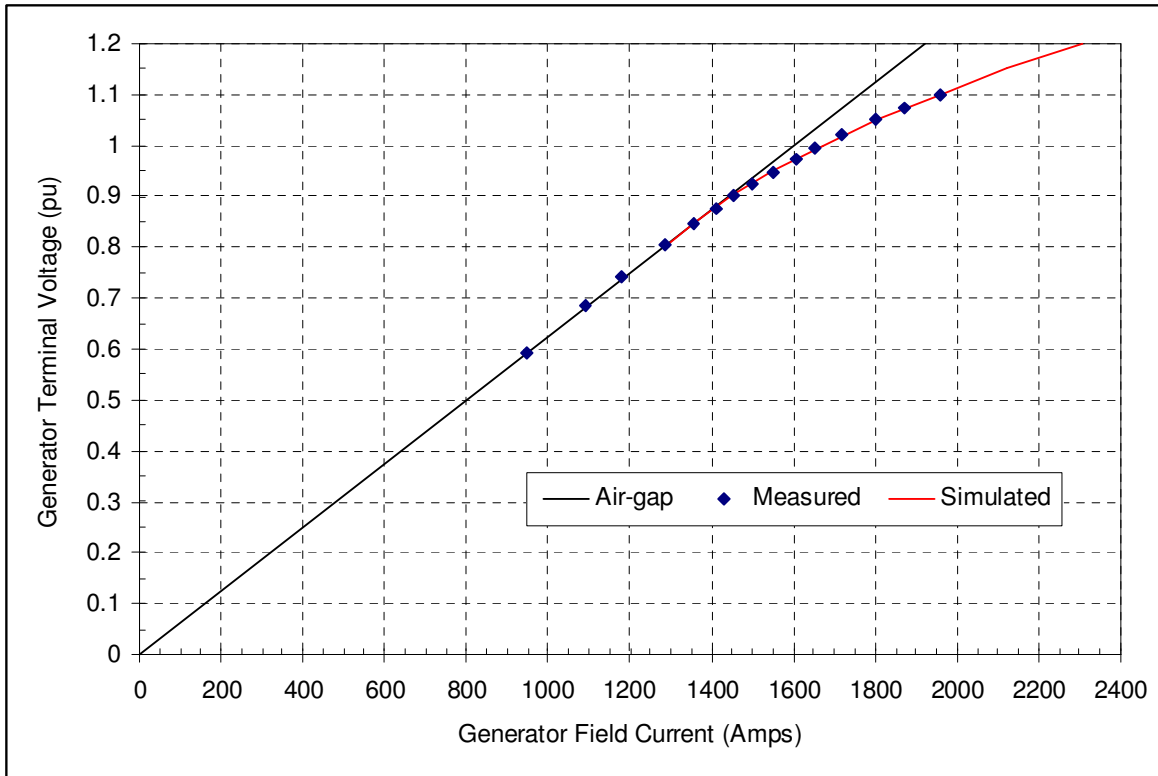


Figure 5-1: Generator Open-circuit Characteristic

2 Field Short-circuit Test

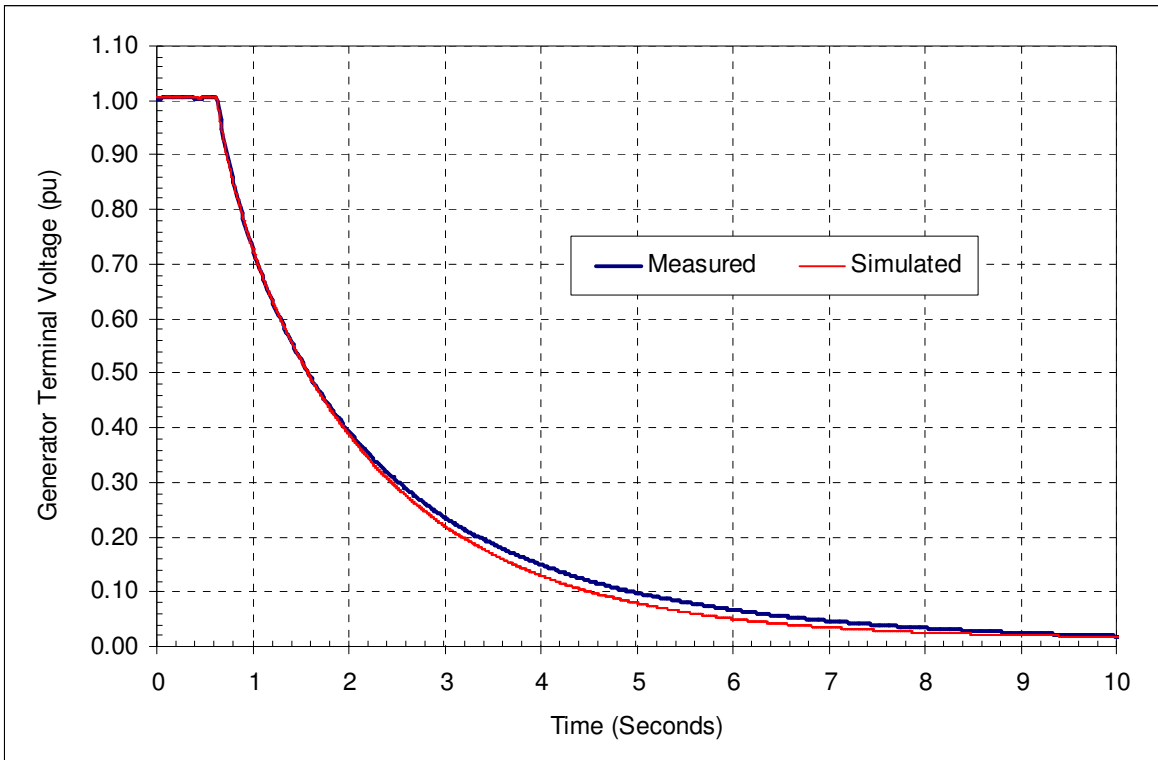


Figure 5-2: Generator Voltage in Field Breaker Opening Test

3 Direct-axis Test

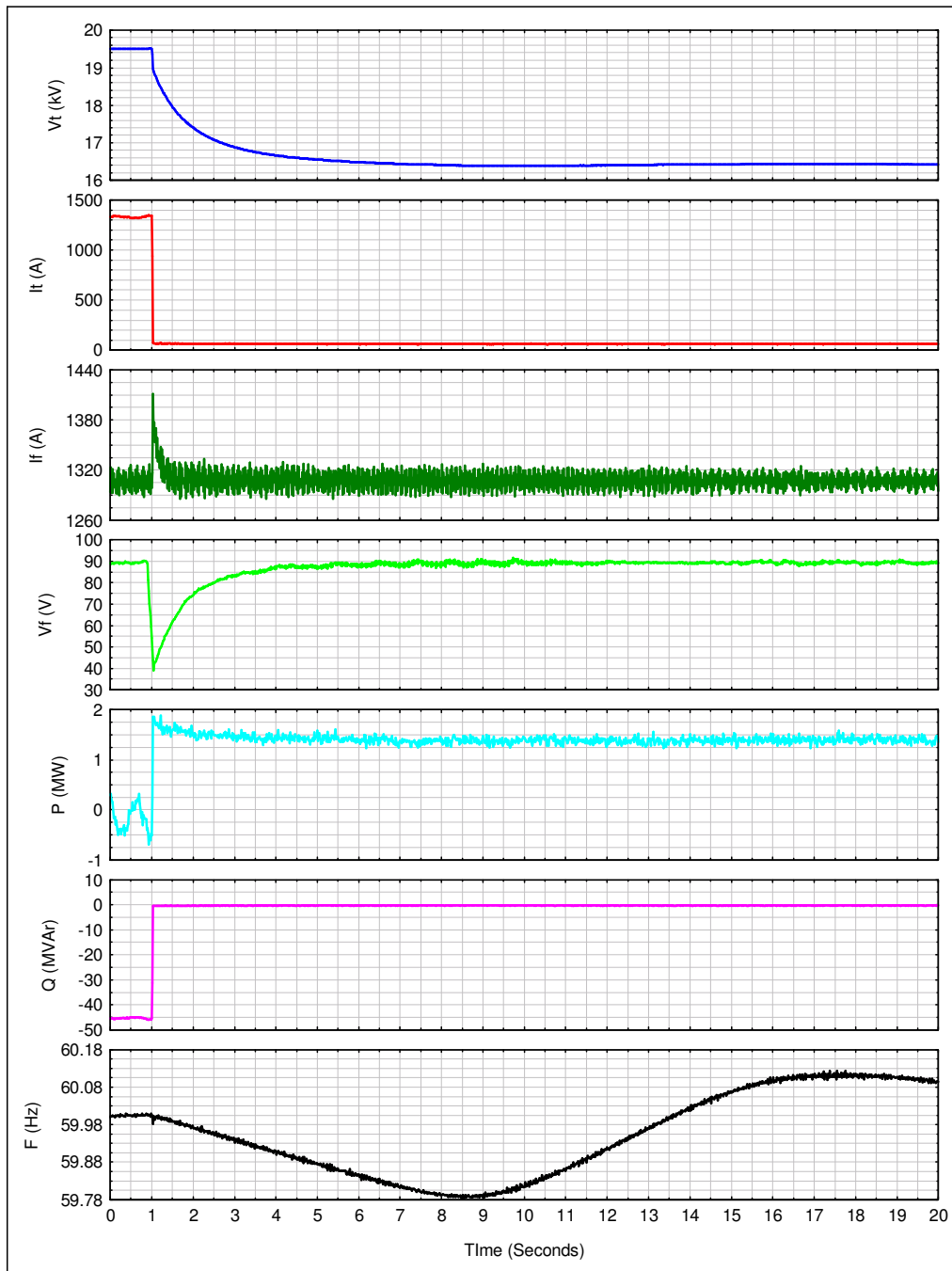


Figure 5-3: Measurements in Direct-axis Test

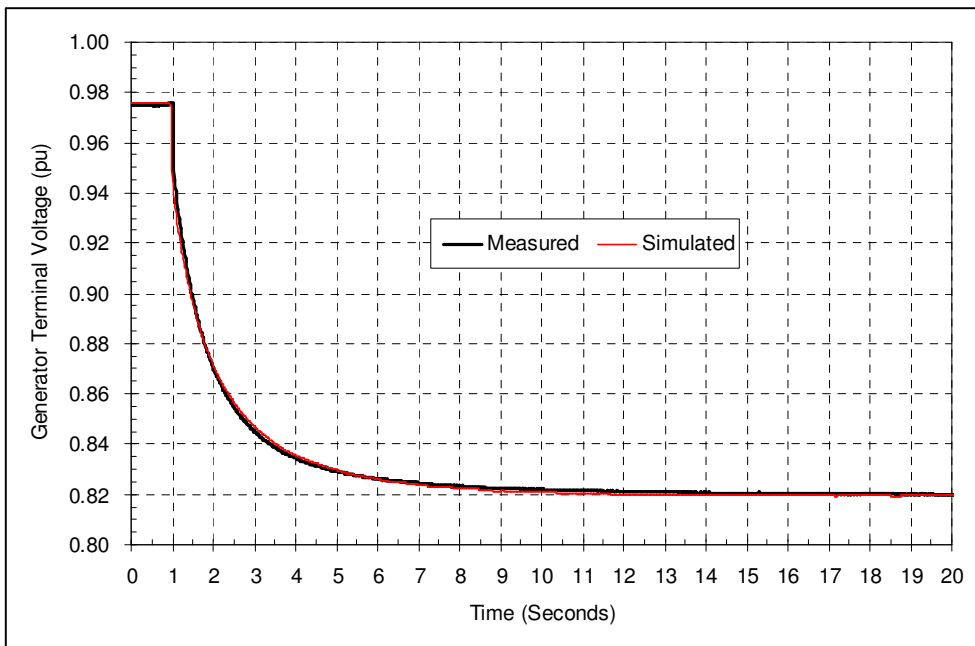


Figure 五-4: Generator Voltage in Direct-axis Test

4 Quadrature-axis Test

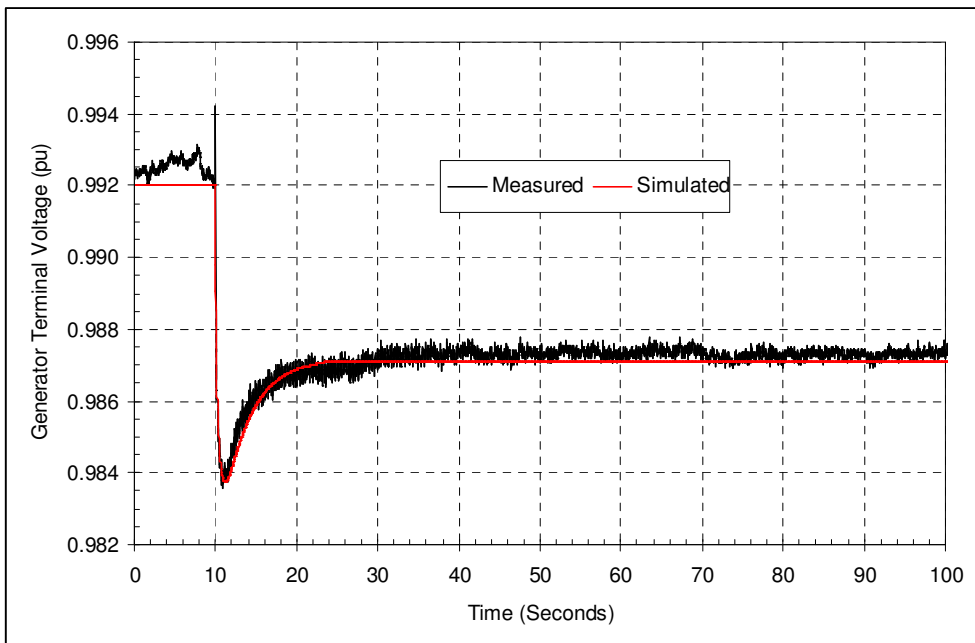


Figure 五-5: Generator Voltage in Quadrature-axis Test

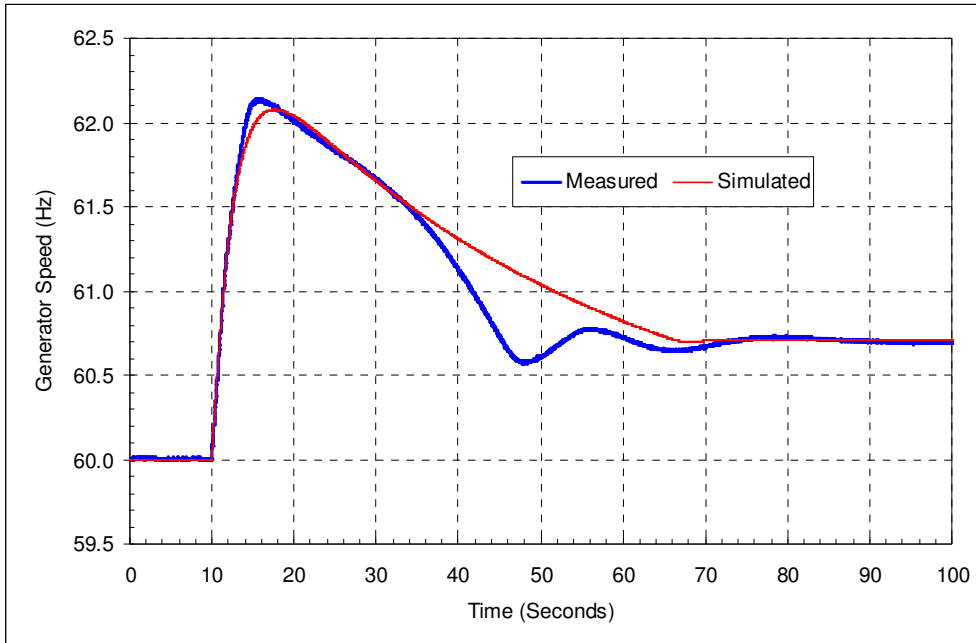


Figure 五-6: Generator Speed in 40.3 MW Load Rejection

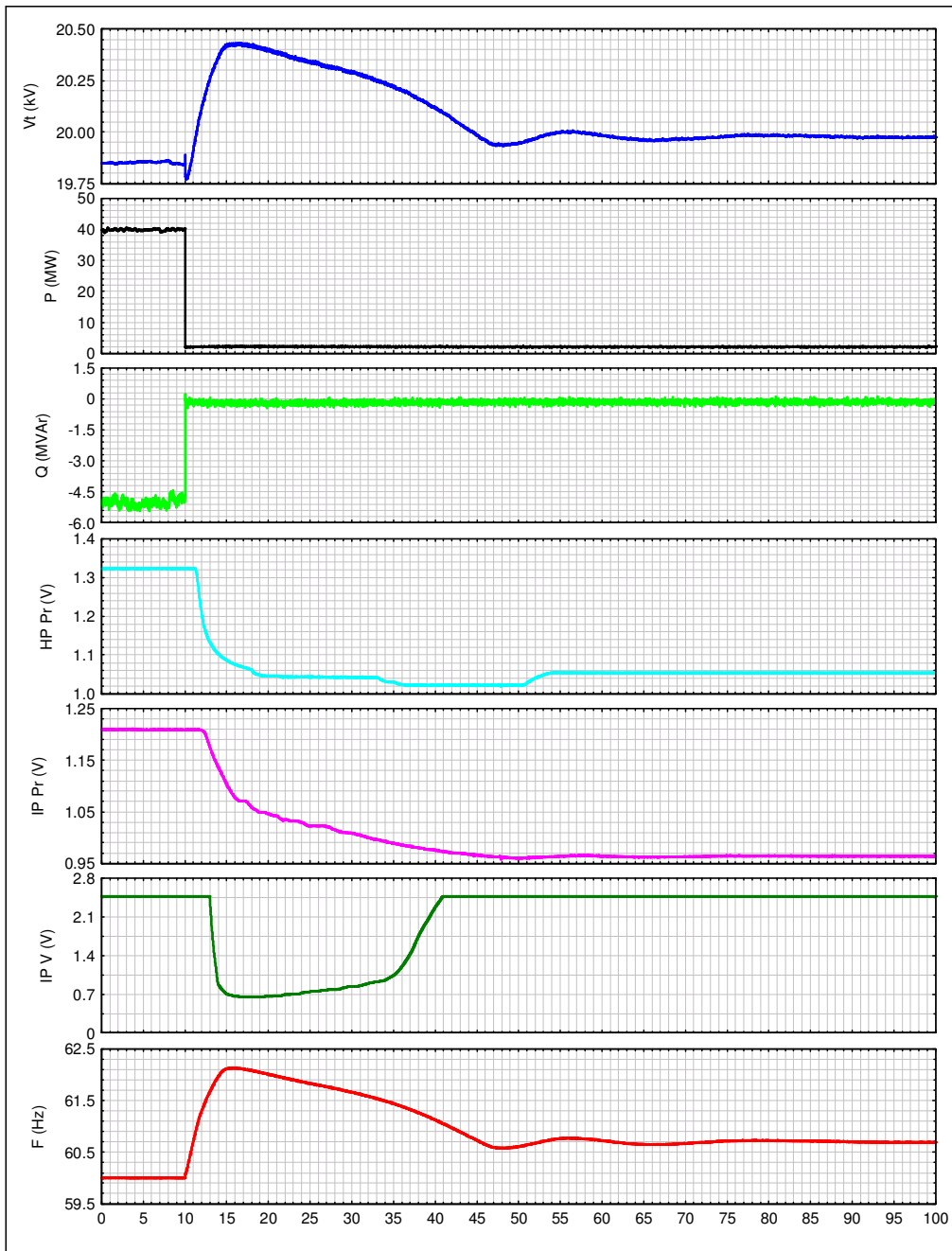


Figure 5-7: Selected Measurements in 40.3 MW Load Rejection

5 Exciter Step Response Test

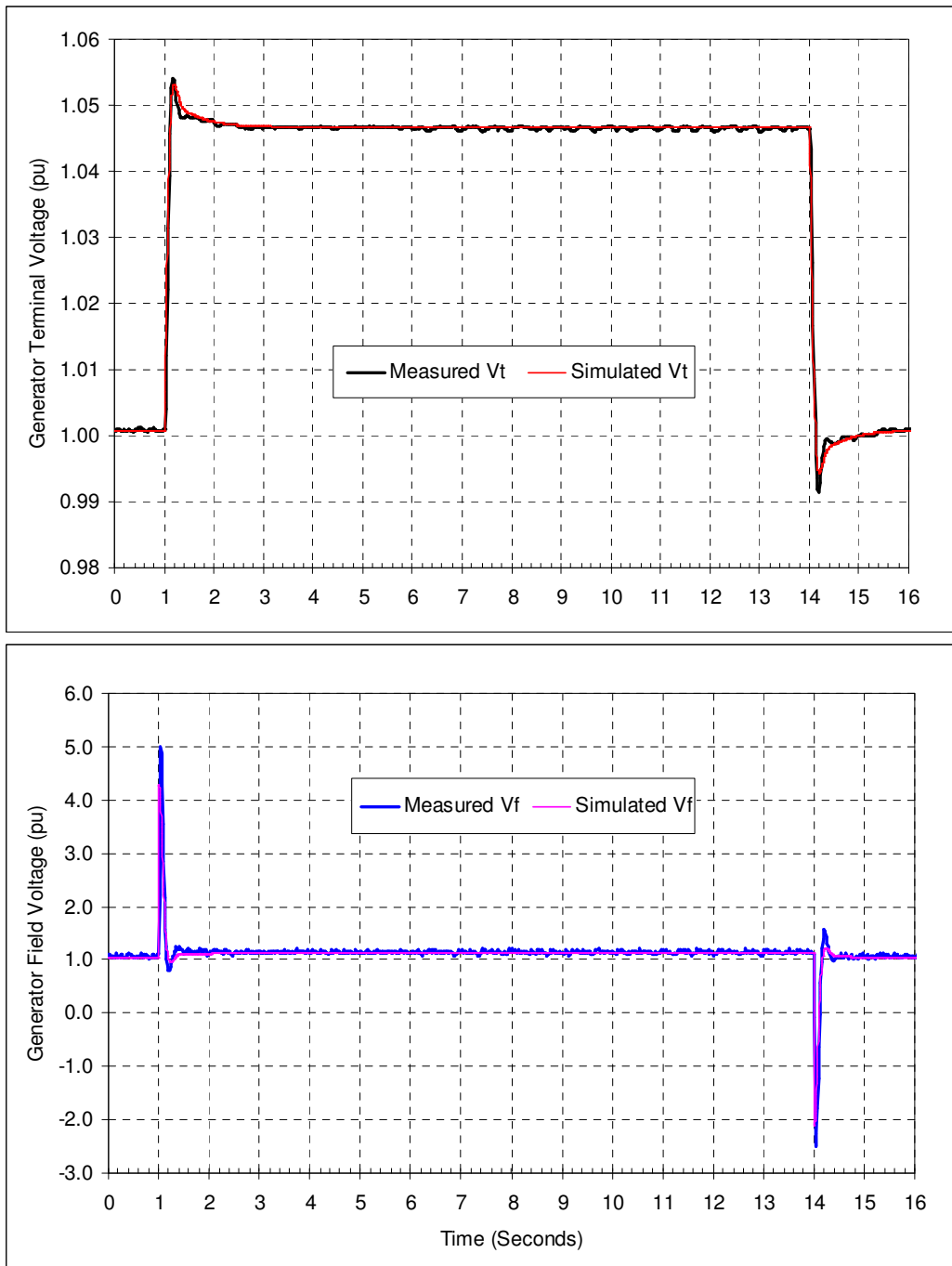


Figure 五-8 : 4.6% Exciter Step Response Test

6 Volts per Hertz Limiter (V/Hz) Test

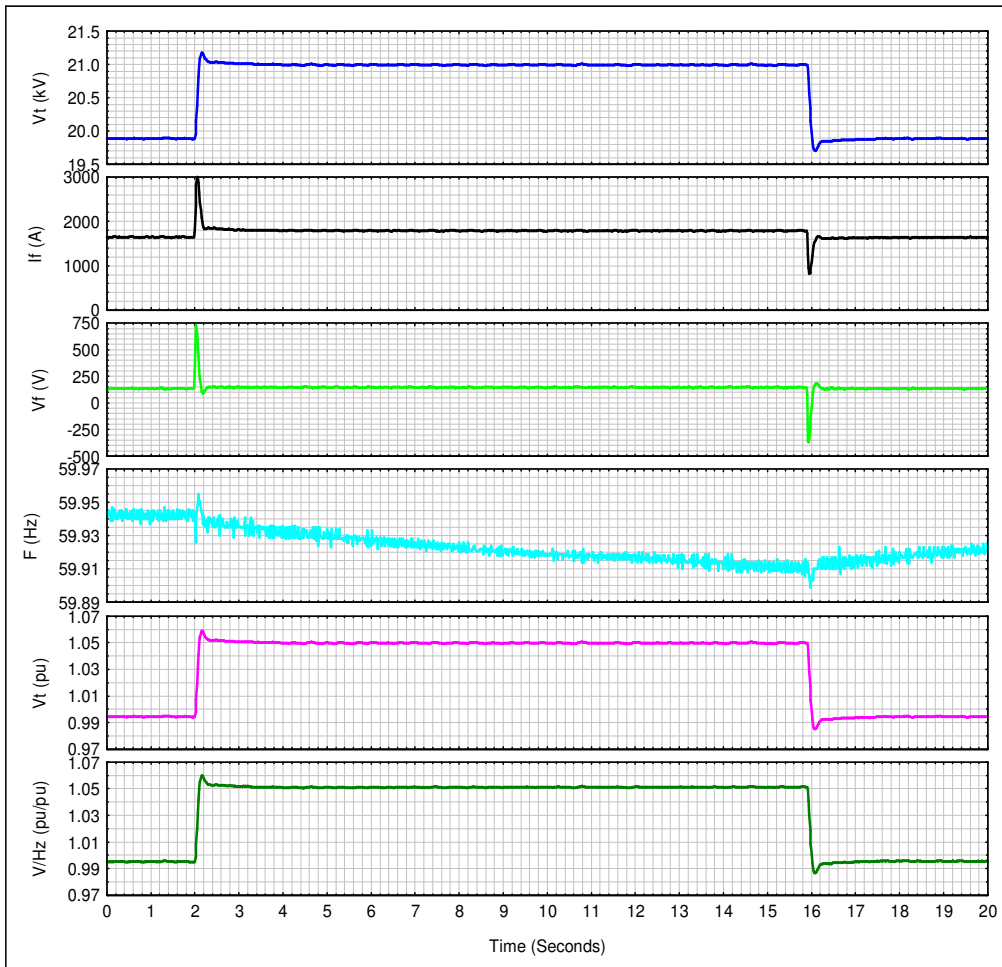


Figure 五-9: Volts per Hertz Limiter Operational Test

7 Under Excitation Limiter (UEL) Test

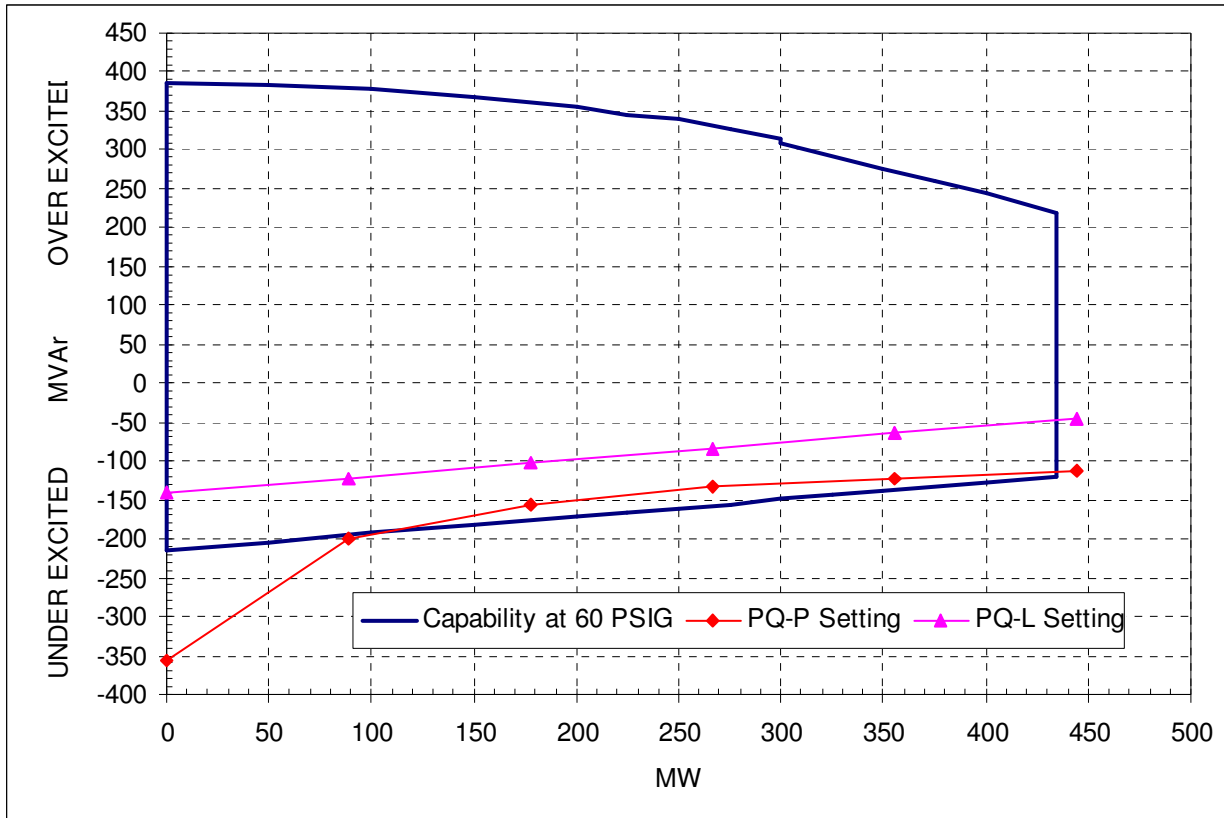


Figure 五-10: Under Excitation Limiter Setting Characteristics

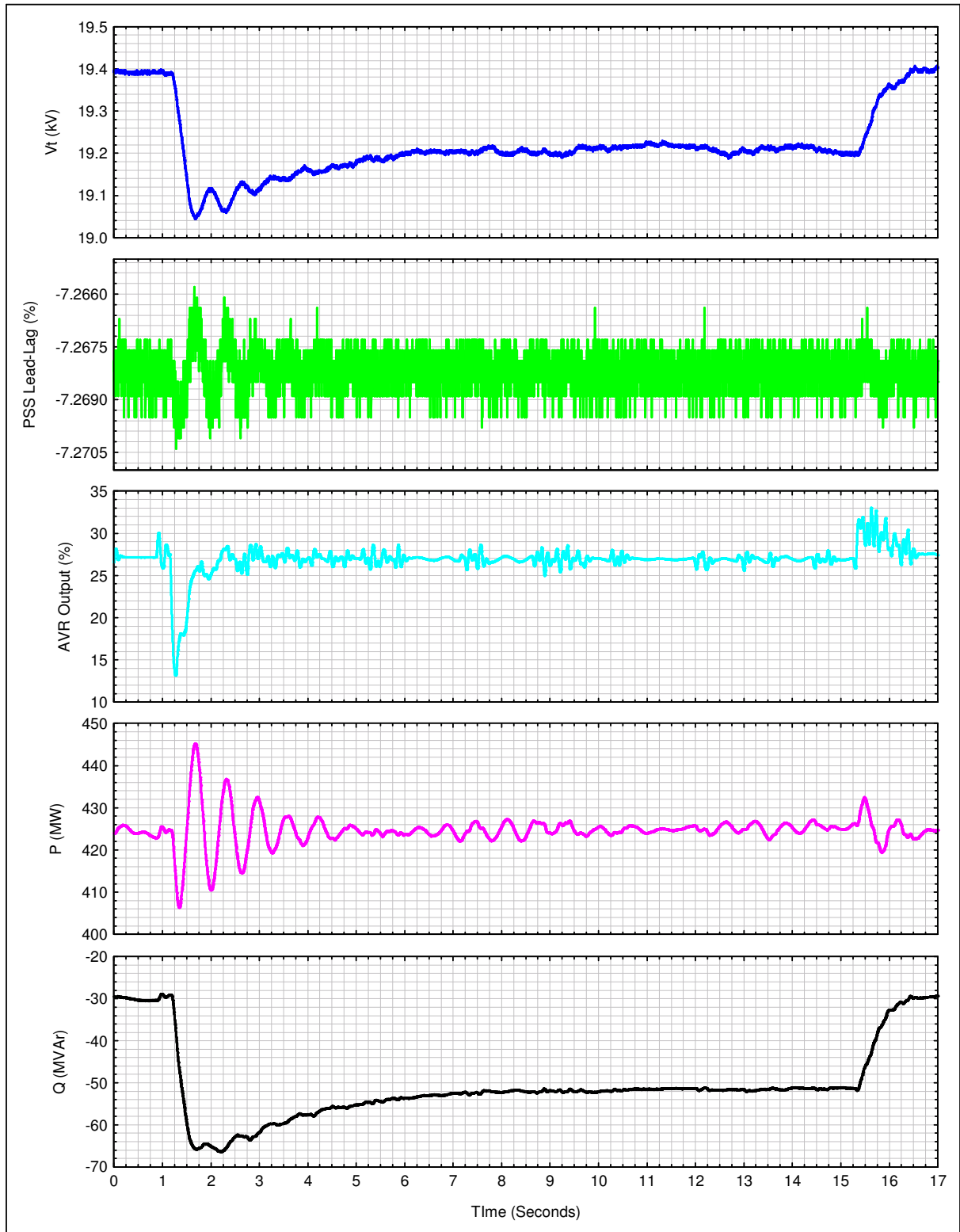


Figure 5-11: UEL Dynamic Response Test (PSS on)

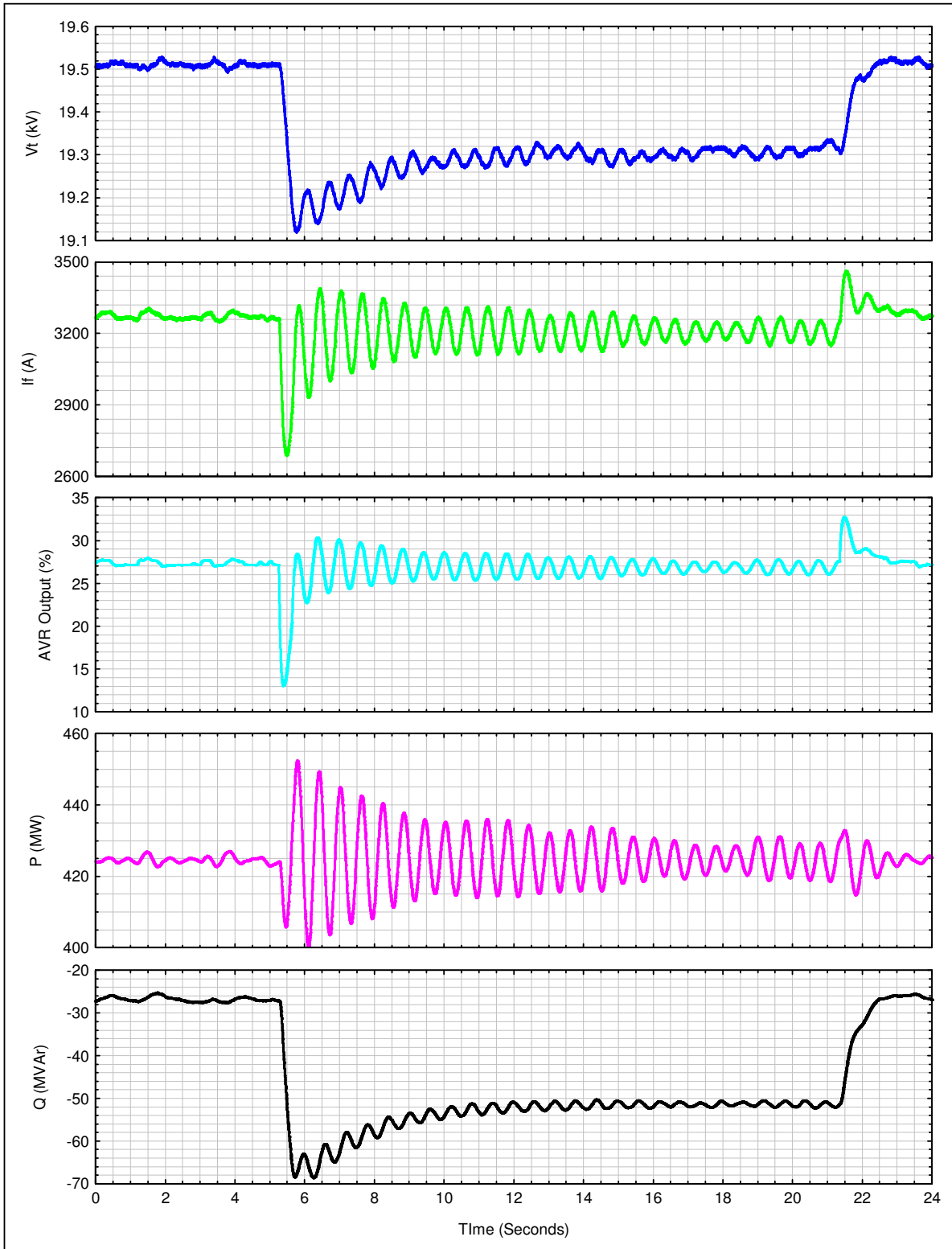


Figure 5.12: UEL Dynamic Response Test (PSS off)

8 Over Excitation Limiter (OEL) Test

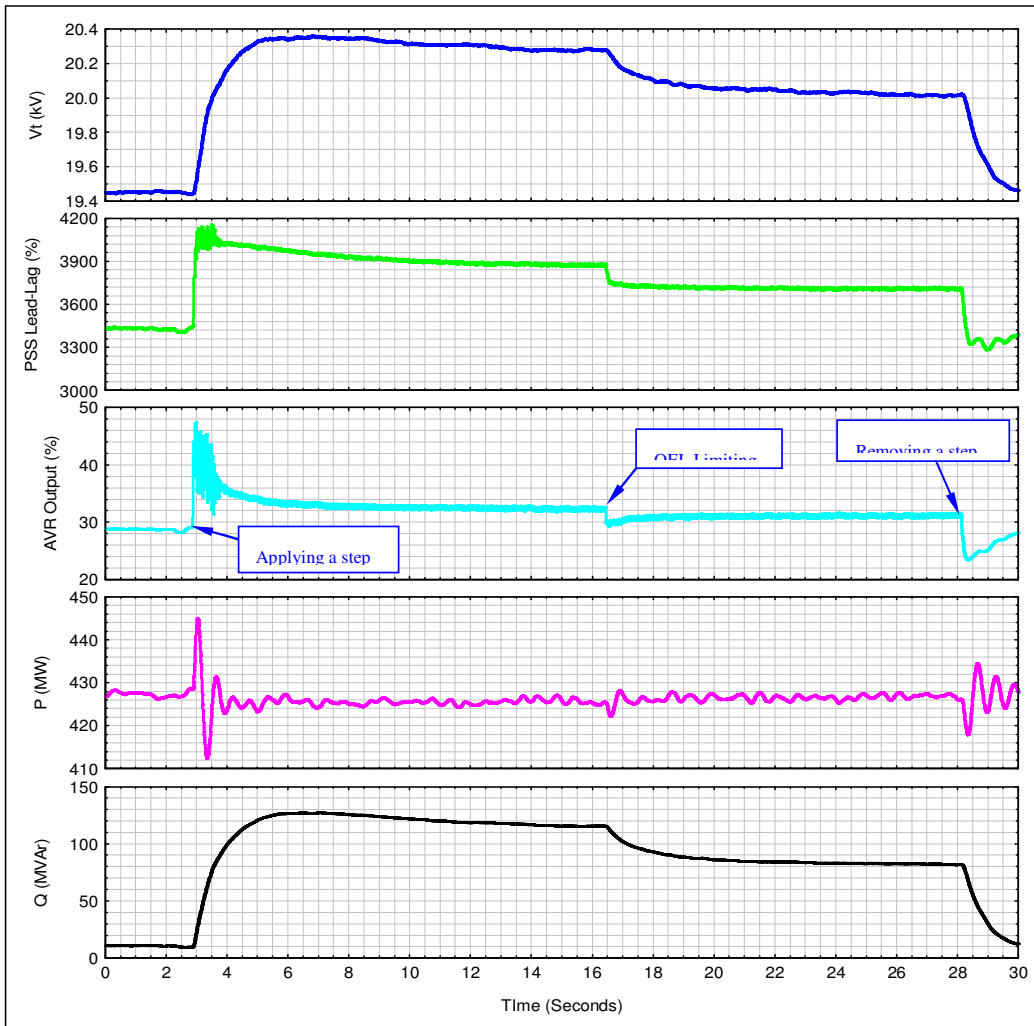


Figure 5-13 shows the selected quantities recorded in the UEL limiter test, which demonstrates the OEL was functioning as designed. Note that the PSS was enabled in the limiter test.

Figure 5-13: OEL Functional Test (Reduced Setting)

9 Power System Stabilizer (PSS) Tuning Test

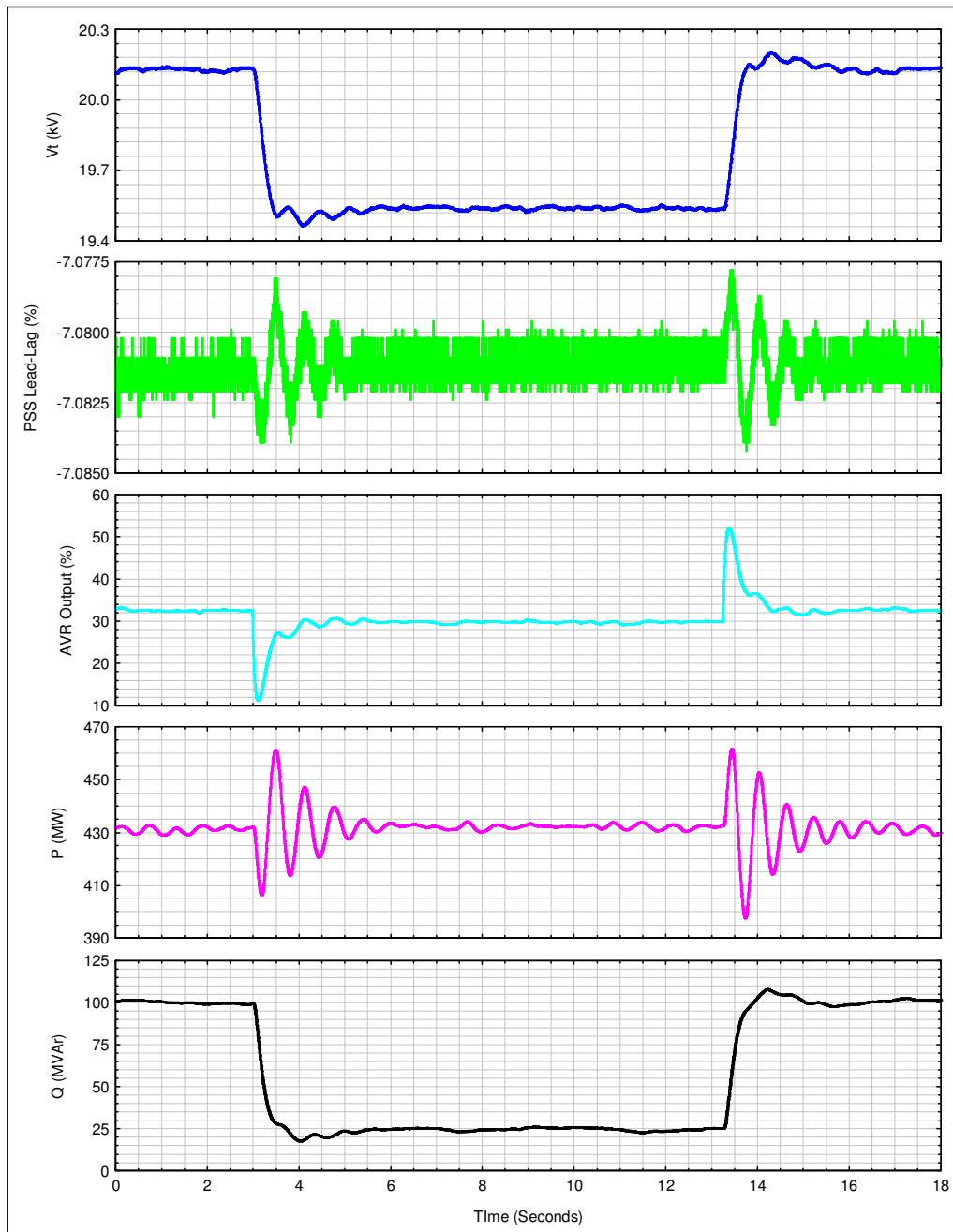


Figure 5-14: 3% Exciter Step Online Test (PSS off)

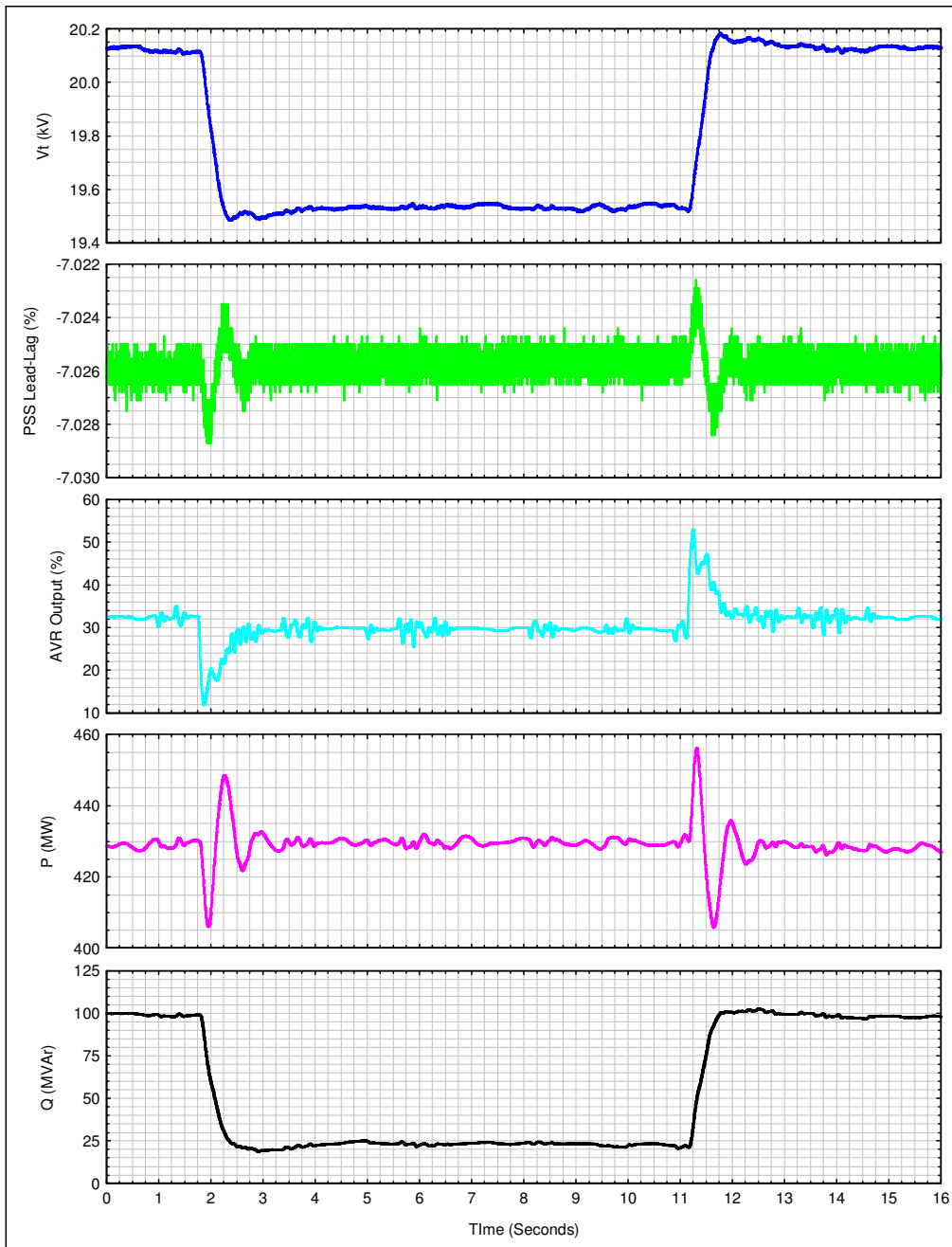


Figure 五-15: 3% Exciter Step Online Test (PSS on)

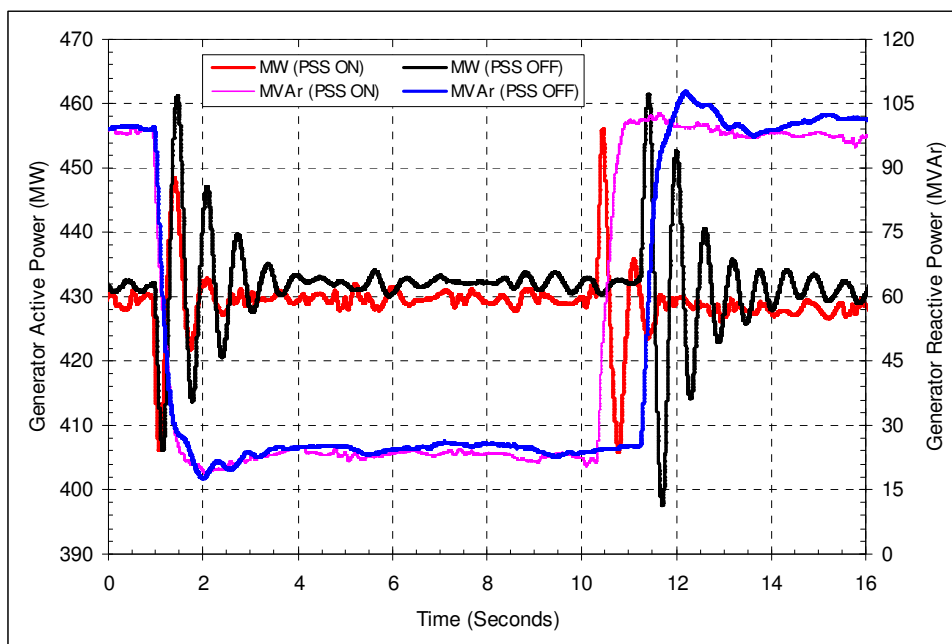


Figure 5-16: PSS

performance Test (3% Exciter Step)

Figure 5-17: Uncompensated, Compensated and PSS Frequency Response

10 Reactive Power Capability Test

The tests were performed to establish reactive power limits that the unit can continuously supply to and absorb from the grid under full load and steady-state operating conditions.

The test was executed when the unit was loaded up to 430 MW. The generator and system voltages were then in turn adjusted to appropriate levels to maximize the generator reactive power output and absorption to/from the system. The maximum reactive power output and absorption at these voltage levels were then recorded after generator temperatures stabilized as required by the *NERC Synchronous Machine Reactive Limits Verification Guidelines*¹. In the maximum reactive power output test, all other generators within the plant were dispatched to the minimum reactive power outputs, and no equipment alarming or overheating was observed. The reactive power limits thus determined for the unit are reported in Table 4-6.

The tests identified that the permissible 240 kV system bus voltage, or the generator field current rating (4200 A) imposed the constraints onto the unit maximum reactive power supply capability, while the under excitation limiter setting dictated the unit reactive power absorption capability.

¹ Western Systems Coordinating Council, "Synchronous Machine Reactive Limits Verification", November 25, 1996.

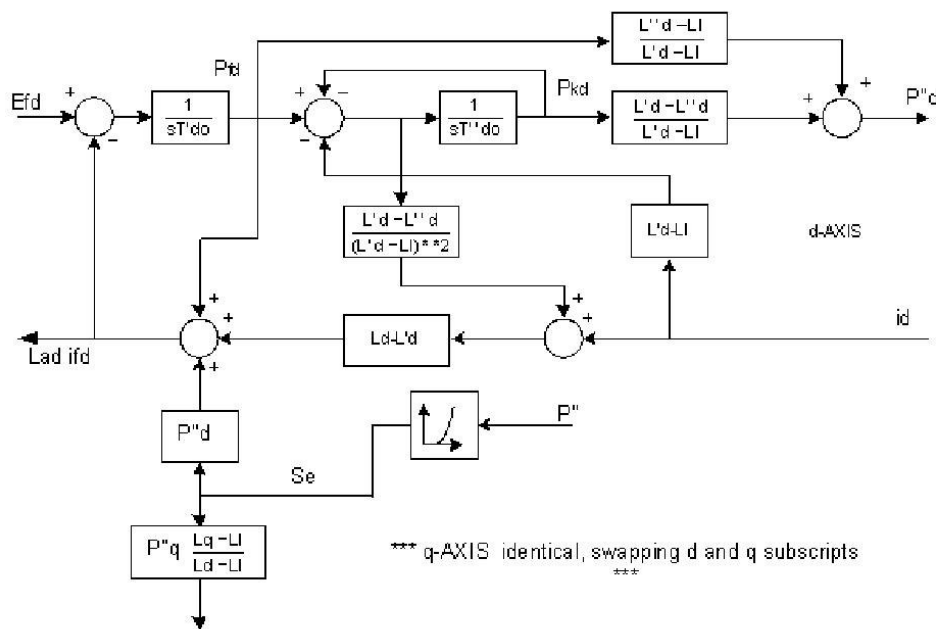
六. DATA FROM TESTS

The testing data are also provided with this report. The data files contain the recorded data for the following tests conducted on the unit:

- (1) Open-circuit saturation test
- (2) Field short-circuit test
- (3) Direct-axis test
- (4) Quadrature-axis test
- (5) 5% and 10% exciter step response tests
- (6) Volts per hertz limiter test
- (7) Under excitation limiter test
- (8) Over excitation limiter test
- (9) PSS frequency and step response tests
- (10) PSS performance test
- (11) Reactive power capability tests

七. APPENDIX A – GE PSLF Model Data

The following pages provide the validated model data for the *** Unit 4 in the GE PSLF program format to fulfill the MISO/NERC data submission requirement. Both steady-state data and dynamic



models are included.

Figure 七-1: GE PSLF Generator Model ([genrou](#))

Table 七-1: Generator Model using GE PSLF Model genrou

Model Parameters	Validated Data
MVA	***
Tpdo	4.**
Tppdo	0.**
Tpqo	0.**
Tppqo	0.**
H	*.**
D	0.**
Ld	1.**
Lq	1.**
Lpd	0.**
Lpq	0.**
Lppd	0.**
L1	0.**
S1.0	0.0**
S1.2	0.**
Ra	0.0**
Rcomp	0.0
Xcomp	0.0

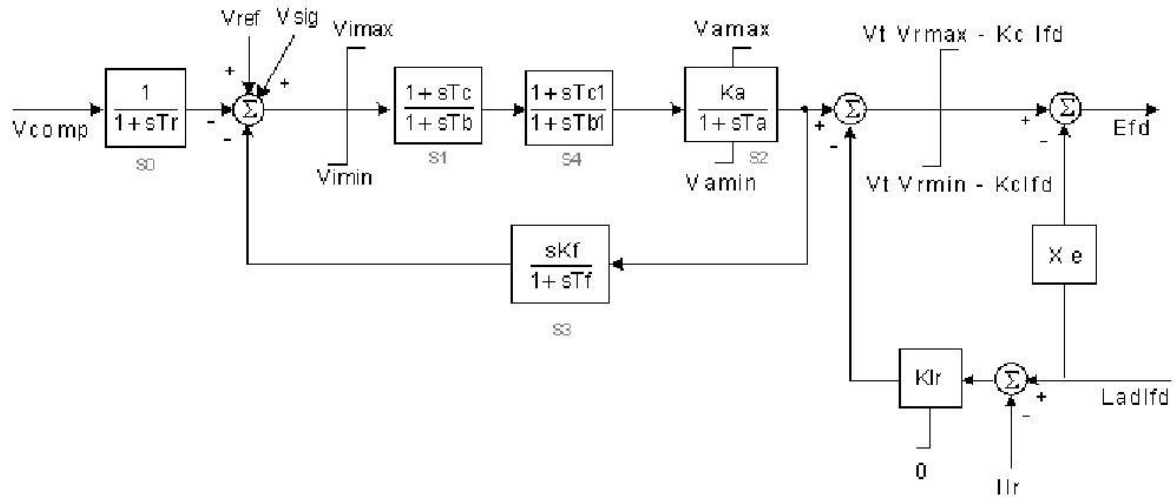


Figure 7-2: GE PSLF Exciter Model (exst1)

Table 7-2: Exciter Model using GE PSLF Model exst1

Model Parameters	Validated Data
Tr	0.**
Vimax	1*.0
Vimin	-1*.0
Tc	0.5**
Tb	5.**
Ka	***
Ta	0.***
Vrmax	*.0
Vrmin	-.0
Kc	0.**
Kf	0.*
Tf	*.0
Tc1	0.*
Tb1	0.*
Vamax	**0
Vamin	-**0
Xe	*.*
Ilr	**0
Klr	*.*

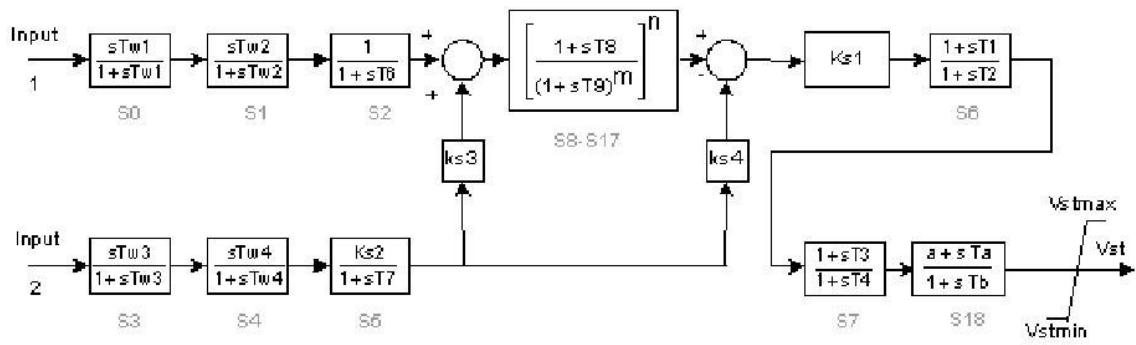


Figure 七-3: GE PSLF PSS Model (pss2a)

Table 七-3: Stabilizer Model using GE PSLF Model pss2a

Model Parameters	Validated Data
J1	1
K1	0
J2	3
K2	0
T _{w1}	*
T _{w2}	*
T _{w3}	*
T _{w4}	0
T ₆	0
T ₇	*
K _{s2}	0.***
K _{s3}	1.0
K _{s4}	1.0
T ₈	0.*
T ₉	0.1
N	1
M	*
K _{s1}	4.0
T ₁	0.**
T ₂	0.**
T ₃	0.**
T ₄	0.**
V _{stmax}	0.*
V _{stmin}	-0.**
A	1.0
T _a	0.0
T _b	0.0

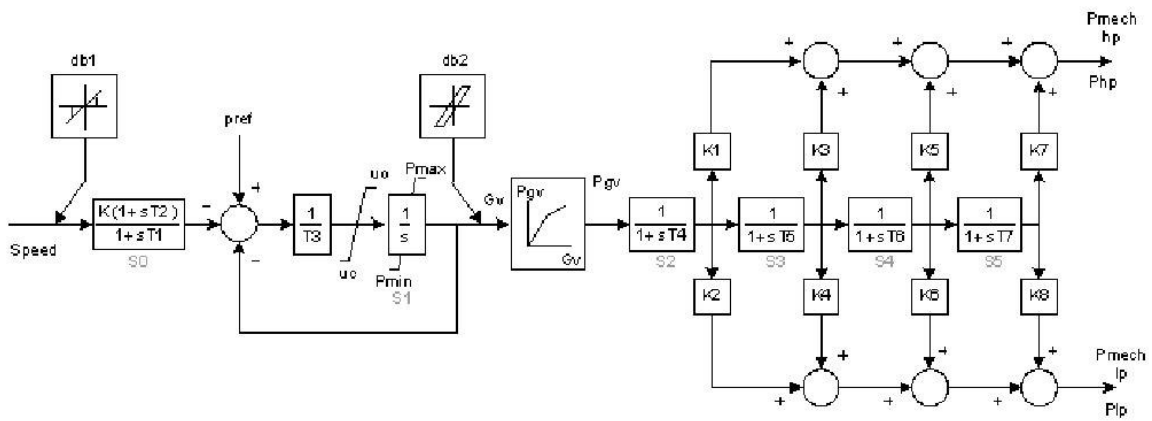


Figure 七-4: GE PSLF Governor Model (ieeg1)

Table 七-4: Governor Model using GE PSLF Model ieeg1

Model Parameters	Validated Data	Model Parameters	Validated Data
K	*.*	Db1	0.0
T1	0.*	Eps	0.0
T2	0.0	Db2	0.0
T3	0.*	GV1	0.0
Uo	0.0***	Pgv1	0.0
Uc	-0.0**	GV2	0.*
Pmax	*.*	Pgv2	0.***
Pmin	0.0	GV3	0.*
T4	0.*	Pgv3	0.***
K1	0.***	GV4	0.*
K2	0.0	Pgv4	0.***
T5	2.*	GV5	0.*
K3	0.***	Pgv5	0.***
K4	0.0	GV6	1.*
T6	0.***	Pgv6	0.***
K5	0.***		
K6	0.***		
T7	0.*		
K7	0.*		
K8	0.*		

DATA REPORTING FORM FOR REACTIVE POWER LIMITS TESTS

Reporting Entity: *****

Plant Name: *** Generating Station

Generator Up-rated Rating:

MVA Rating: *** MVA Rated Voltage: **.0 kV Power Factor: 0.90

Generator Base Values:

Power (MVA)	Stator Voltage (kV)	Stator Current (Amps)	Field Voltage (Volts)	Field Current (Amps)
***	*0	1*,***	14*.*	16**.*

Reactive Power Limits:

	Test Results at Maximum MVA _r Output							
	Gross Power (MW)	Gross Power (MVA _r)	Stator Voltage (kV)	Stator Current (kA)	Field Voltage (Volt)	Field Current (Amp)	Tested Power Factor	Tested MVA
Actual	***	1**	**9	1*.*	364	4,***	0.92	***
PU	0.89	0.37	1.05	0.92	2.45	2.62	0.92	0.97
	Test Results at Minimum MVA _r Output							
	Gross Power (MW)	Gross Power (MVA _r)	Stator Voltage (kV)	Stator Current (Amp)	Field Voltage (Volt)	Field Current (Amp)	Tested Power Factor	Tested MVA
Actual	***	_**	**3	1*.*	261	3***	0.99	***
PU	0.89	-0.11	0.97	0.91	1.76	1.93	0.99	0.90

Notes:

- 1) Values reported meet NERC test specifications documented in "Synchronous Machine Reactive Limits Verification" dated March **, ***, unless otherwise noted.
- 2) The maximum lagging reactive power was limited by the machine capability curve imposed by the rating of generator field current.
- 3) The maximum leading reactive power was limited by the under excitation limiter.
- 4) All excitation limiters (UEL, OEL and V/Hz) are present and functioning as designed.

5) The testing of the unit reported in this submission took place on November **, ****.

Figure A-2: Exciter Open Circuit and Loaded Characteristics (Manufacturer provided)