

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

錯誤容忍、信號分析與可靠度控制

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2212-E-009-037-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學電機與控制工程學系

計畫主持人：梁耀文

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 91 - 2212 - E - 009 - 037

執行期限：91 年 08 月 01 日至 92 年 07 月 31 日

主持人：梁耀文 國立交通大學電機與控制工程學系副教授

一、中文摘要

近年來，航太工業之發展一日千里，提供給人類快捷及舒適之交通便利。然而，由於其工作環境之特殊及高危險性，它對安全、可靠及效率之要求也特別高。而其中提供給系統之電力品質更被要求必須具有高效率及高穩定性之特性。然而，由於航太載具具有承載重量的限制，系統所能提供給載具使用的電力相當有限，備用電力容量也不可能太大。因此，當部分電力突然失效或負載突然變化時，極有可能導致系統供電失衡，甚至引發重大災難。有鑑於此，如何有效的安排電力供應，提供系統穩定可靠的電力品質，是一個相當實際且重要的研究課題。基於在有限電力供應下考慮電力系統必須能承受較大干擾訊號及大負載變化之需求，在本研究計畫裡，我們除了建立電力電子系統之系統分析模型外，我們也進行負載估測。同時，我們也針對整個電力系統發展錯誤偵測與診斷之技術，使工程師能掌控是否已發生異常現象、發生地點及其嚴重程度。更進一步能隨當時掌控到的狀況作最合理的電力調配及最佳的控制策略。

關鍵詞：電力電子系統、負載估測、錯誤偵測與診斷。

Abstract

As the space vehicle technology developing, the vehicle is designed more and more complicated. Although the space technology provides the human being a rapid and comfortable transportation, the space missions are still potentially highly dangerous. Due to the potentially highly dangerous feature, the space vehicles are inevitably required to be more reliable, safe and efficient than other missions in land and sea. Among the many reliable requirements

of the space missions, the power supply quality, which is one of fundamental and important demands, must be stable and efficient. However, due to the space vehicle has a limitation on its total weight, it's power supply system can provide only a limited power. Under this finite power restriction, the space system might exhibit undesirable phenomena such as bifurcation, chaos and sub-harmonic oscillation if the following situations occur: some of the power generators outage, system underwent a large disturbing signal or experienced a large load variation. Therefore, it is an important issue to study a power distribution strategy so that the power electric system can provide a stable and efficient power quality in spite of the outage of some of the power generators, large disturbing signals and large load variations. In addition to studying the reliable control issue and building a model to be analyzed, in this project, we are also about to estimating load variation and investigating the fault detection and diagnosis issues. The objective of the fault detection and diagnosis issue is to monitor the power electric system and to detect the occurrence of undesirable phenomena. Once an undesirable phenomenon is detected, a warning signal and the recognition of where and what faults have occurred will be provided so that the engineer can take an appropriate control strategy to recover or prevent the system from occurring these undesirable phenomena.

Keywords: power electronic systems, load, estimation, fault detection and diagnosis.

二、緣由與目的

1、背景說明及計畫重要性

近年來，航太工業之發展一日千里，提供給人類快捷及舒適之交通便利。然而，由於其工作環境之特殊及高危險性，它對安全、可靠及效率之要求也特別高。而其中提供給系統之電力品質更被要求必須具有高效率及高穩定性之特性。然而，由於航太載具具有承載重量的限制，系統所能提供給載具使用的電力相當有限，備用電力容量也不可能太大。因此，當部分電力突然失效或負載突然變化時，極有可能導致系統供電失衡，甚至引發重大災難。有鑑於此，如何有效的安排電力供應，提供系統穩定可靠的電力品質，是一個相當實際且重要的研究課題。另一方面，由於台灣科技產業快速發展，民生及工業用電量與日俱增，但由於人民環保意識高漲以及台灣地理環境的限制，常使得島內供電量吃緊、南北供電不均以及輸配電系統脆弱造成電力品質不佳，近年來曾發生高壓電塔倒塌事件造成全國大停電。科技重鎮新竹科學園區也經常飽受停電之苦，損失慘重，皆為台灣電力系統不穩定的最佳證明。再加上九二一地震後，山區地質不穩、土石流頻傳、核四爭議等等問題均為電力系統穩定度產生相當大的變數。其次，在美國也曾發生過數次的大停電，造成同時間好幾州數佰萬人無電可用。據調查，有一次大停電之原因甚至是因為一些大樹木隔斷了某些電力傳輸所造成的。相關電力公司及美國能源部正積極研究如何改進電力傳輸與控制架構，以避免相同大停電的情況再度發生。另外，美國海軍由於新一代戰艦的需求，其海軍研究室 (office of Naval Research) 在 1995 年提出一套新的網路型電力系統的構想。此一構想，是由一些所謂的 PEBB (Power Electronic Building Blocks) 以網路連接方式所組成。每一個 PEBB 皆假設具有內建濾波器、半導體切換電路及智慧型穩定控制器。有些 PEBB 可能作為 DC-to-DC、AC-to-DC、DC-to-AC 或 AC-to-AC 之電力轉換，而此一 PEBB 系統正好可提出區域性電力系統一個穩定的架構與可行方法。依據

美國海軍研究室提出的研發構想，PEBB 不只包括在軍事應用上，也將應用在一般商用的電力電子系統上，例如：電動車、冷氣系統、一般家電及電力輸配系統等。在這構想下，美國海軍研究室從 1996 年 8 月起以每年 140 萬美元的經費和 University of Maryland 與 Virginia Polytechnic Institute 在內的五所大學和民間兩家公司合作研究此一技術。其中 PEBB 的研究經費就約佔有三分之一左右。由此可見，其對 PEBB 研發及潛力之重視。由於航太系統有著有限電力供應的特性以及台灣的特殊地理環境，這些都提供了區域性電力系統最佳的發展條件。

2、研究目的

基於航太系統對於安全，效率及可靠性的嚴苛要求，其電力供應品質必須具有高效率及高穩定性的特性，因此。本計劃之研究目的是希望在系統有限電力供應下有效利用錯誤偵測與診斷機制和可靠度控制器來對系統進行監控，使系統具有容錯能力及高可靠性。更進一步，我們希望將此機制模組化，以便日後方便對整個系統進行監控及維修。藉由這次計劃之執行，我們希望能對電力電子相關之關鍵技術進一步的了解與掌控，同時經由研發過程，培養相關之研究人才。相信藉由研究成果與技術的累積能對國內航太工業之發展有所助益。

三、結果與討論

在本計畫中，我們所採用的模型為 Dobson and Chiang 所提出的電力系統模型 [1]，如圖一，其模型和狀態方程式如下所示：

$$\dot{\delta}_m = \omega_m \quad (1)$$

$$M \dot{\omega}_m = -D \omega_m + P_m + E_m Y_m V \sin(\delta_m - \delta_m^0) + E_m^2 Y_m \sin \delta_m \quad (2)$$

$$K_{qv} \dot{V} = -K_{qv} V^2 + E_0^0 V^0 \cos \delta_0 + E_m Y_m V \cos(\delta_m - \delta_m^0) + Y_0^0 \cos \delta_0 + Y_m \cos \delta_m \quad V^2 + Q_0 + Q_1 \quad (3)$$

$$TK_{qw}K_{pv}Q = K_{pw}K_{qv}V^2 + K_{pw}K_{qv} \hat{a} K_{qw}K_{pv} \hat{a} V$$

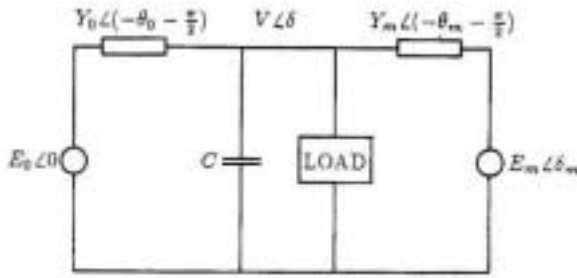
$$+ \sqrt{K_{qw}^2 + K_{pw}^2} \hat{a} E_0^0 V_0 \cos \hat{i} + \hat{o}_0 \hat{a} \hat{n}$$

$$\hat{a} E_m Y_m V \cos(\hat{i} \hat{a} \hat{i}_m + \hat{o}_m \hat{a} \hat{n})$$

$$+ \sqrt{Y_0^0 \cos \hat{o}_0 \hat{a} \hat{n} + Y_m \cos(\hat{o}_m \hat{a} \hat{n})} V^2$$

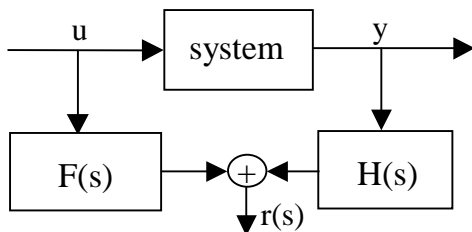
$$\hat{a} K_{qw}(P_0 + P_1) + K_{pw}(Q_0 + Q_1) \quad (4)$$

其中 $\hat{n} = \tan^{-1} \frac{K_{pw}}{K_{qw}}$



圖一：電力系統模型

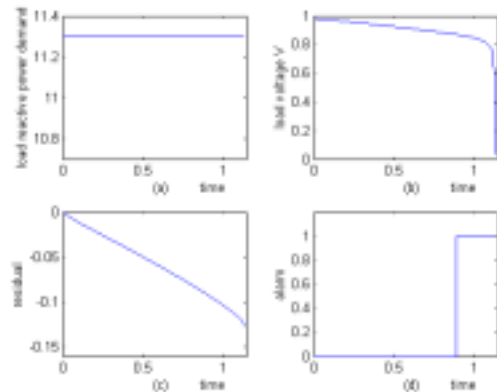
在此模型中，我們假設負載電壓V為可以量測到的系統狀態，我們針對此一模型進行電力系統發生電壓崩潰現象之偵測與診斷工作。在本計畫中，我們先以模式為基礎之偵測方法來進行電力系統發生電壓崩潰現象之偵測與診斷工作，之後再採用以訊號為基礎之偵測方法直接對獲得之殘量訊號作處理，並將兩者的結果做個比較。在以模型為基礎之偵測方法中我們採用 Fault Identification Filter (FIDF) 方法，此方法已被驗證為相當有效的一種偵測方法[2,3,4]。FIDF 之架構如下圖二所示：



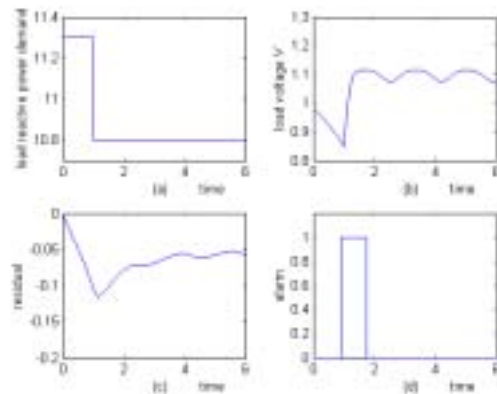
圖二：FIDF 架構

FIDF 偵測法之步驟可簡述如下：首先我們將量測到的系統輸出訊號及輸入訊號經由所設計之 FIDF 濾波器 H1(s) 及 H2(s) 之處理[2]以獲得殘量訊號(Residual)，依據此殘量訊號及選取之適當臨界值(Threshold)來決定是否需要發佈警告訊號(詳[9])。

圖三及圖四為二個典型的偵測結果：在這些模擬結果中，圖三及圖四(a)描述負載之虛功需求、(b)描述負載電壓之變化狀況、(c)為 FIDF 所產生的殘量訊號 (d)為利用 FIDF 方法所得到的警告訊號。由圖三(b)顯示系統確實發生了電壓崩潰的現象，此現象也可由(c)及(d)之偵測結果明顯分辨出。在圖四中，當 FIDF 偵測出系統即將發生電壓崩潰時，適時的減低系統的負載，由圖三(b)及(c)顯示系統確實可防止電壓崩潰的發生。此意謂著若能適時的偵測出系統即將發生電壓崩潰的不穩定現象時，採取適當的控制策略確實有機會使系統免於進入不穩性狀況。



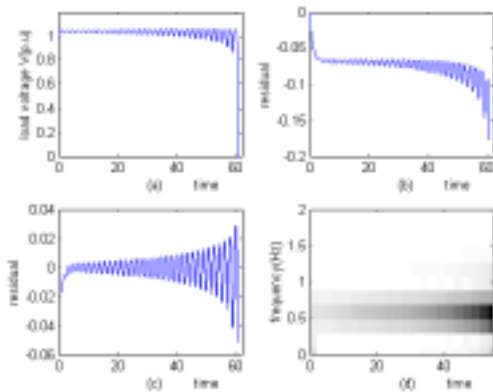
圖三：(a) 負載變化 (b) 負載電壓 (c) 殘量訊號 (d) 警告訊號



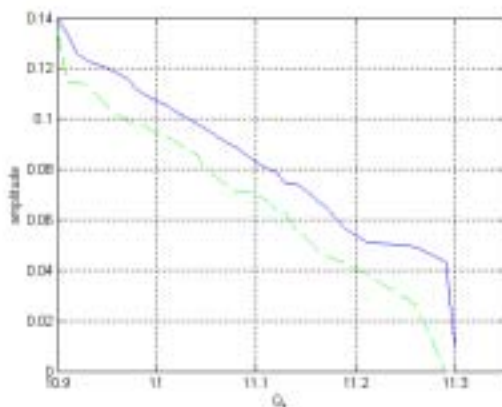
圖四：(a) 負載變化 (b) 負載電壓 (c) 殘量訊號 (d) 警告訊號

接下來我們採用以訊號為基礎之偵測方法來進行電力系統發生電壓崩潰現象之偵測與診斷工作[7,8]。首先，我們觀察到電壓崩潰前夕系統會呈現出某一特殊頻率且振幅漸增之振動現象。這現象引發了我們利用 Short Time Fourier Transform

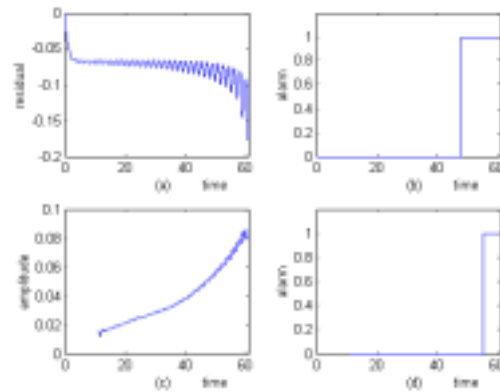
(STFT)去監測系統此一振動頻率之振幅作為電壓崩潰之判斷依據。圖五(a)為電壓崩潰前夕典型之負載電壓振動狀況，(b)為殘餘訊號，(c)為殘量訊號經過平均的程序用以去掉 DC 部分影響的訊號，(d)為(c)之時頻圖(spectrogram)。由圖五(d)可看出此一受監測之頻率之振幅明顯漸增。圖六實線部分顯示在不同負載 Q_1 時電壓崩潰時監測頻率之振幅，虛線為前五秒監測頻率之振幅。偵測與診斷結果列於圖七中。圖七(a)顯示殘餘訊號之變化狀況，(b)顯示 FIDF 偵測法之警告訊號，(c)顯示監測頻率之振幅變化，(d)展示第二偵測法之警告訊號。由於我們在第二偵測法中使用電壓崩潰前五秒之振幅作為門檻值，因此警報約在 $t=54$ 時發出。



圖五：(a) $Q_1 \bar{n}$ 11:1時之負載電壓 (b) 殘量訊號 (c) residual signal after averaging (d) spectrogram



圖六：不同 Q_1 時電壓崩潰前監測頻率之振幅(虛線為前五秒監測頻率之振幅)



圖七：(a) $Q_1 \bar{n}$ 11:1時之殘量訊號 (b) FIDF 之警告訊號 (c) 監測頻率之振幅變化 (d) 訊號偵測法之警告訊號

由模擬的結果可以看出本計畫所採用之二種偵測方法均可以成功的偵測出電壓崩潰現象的發生。在實際應用上，此研究可以提供早期警告訊號，使工程師可以根據診斷出的不穩定現象，建構出適當的控制法則來防止系統發生不穩定現象。

四、計畫成果自評

本計畫的主要目的是針對電力電子系統進行不穩定現象之偵測與診斷工作，探討電壓崩潰前之信號特徵及特徵之提取。就計畫而言，我們已達到預期的理論成果，相信可以為以後的研究奠定良好的基礎。然而，此結果在實際系統驗證上仍有待進行，這些是我們將來後續研究努力的重點。所獲得的成果以整理投稿至 2003 年中國航空太空學會/中華民用航空學會學術研討會。

五、參考文獻

- [1] Dobson, I., Chiang, H. D., Thomas, R. J., Thorp, J. S., Fekih-Ahmed, L., "On voltage collapse in electric power systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 5, 1990, pp. 601-611.
- [2] Chang, S. K., Hsu, P. L., "Design the fault identification filter via a simplified transfer matrix approach," *Proceeding of the American Control Conference*, 1992, pp. 2119-2120.

- [3] Ding, X., Frank, P.M., "Fault detection via factorization approach," *Systems and Control Letters*, Vol. 14, 1990, pp. 431-436.
- [4] Liang, Y. W., Liaw, D. C., "Detection of surge and stall in compression systems: an example study," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 46, No. 10, 2001, pp. 1609-1613.
- [5] Abed, E. H., Hamdan, A. M. A., Lee, H. C., Parlos, A. G., "On bifurcations in power system models and voltage collapse," *Proceedings of the 29th IEEE Conference on Decision and Control*, Vol. 6, Dec. 1990, pp.3014-3015.
- [6] 方冠勳, 電力系統加入電壓調整器之分叉特性分析與控制, 國立交通大學, 碩士論文, 1995.
- [7] 劉百恩, 壓縮機系統不穩定現象之偵測, 國立交通大學, 碩士論文, 2001.
- [8] 顏志霖, 壓縮機系統不穩定現象之偵測: 結合模型與信號為基礎之技術, 國立交通大學, 碩士論文, 2002.
- [9] Liang, Y.-W., Liu, H.-Y., Lin, S.-J., "Detection of voltage collapse in power systems," Submitted to 2003 年中國航空太空學會 / 中華民用航空學會學術研討會.

