

# 匯流排事故之電力系統穩態 電壓安全性分析

郭寒菁<sup>1</sup> 任宏哲<sup>2</sup>

1. 國立宜蘭技術學院電機系副教授
2. 國立宜蘭技術學院電機系學生

## 摘要

本文針對匯流排事故後之電力系統穩態電壓安全性進行評估；一般偶發事故分析主要考慮單一跳線 / 跳機事故後電力系統是否能夠維持安全運轉，透過分析國際上電力系統崩潰案例，本文提出如匯流排事故等地理位置相近的電力設備多重偶發事故應優先列入偶發事故選單以評估其可能風險；本文將每一匯流排事故視為多重跳線 / 跳機 / 卸載的合成事故，並以完整電力潮流分析程式模擬事故後系統狀態，常用來快速估算事故後系統狀態的牛頓及快速解耦負載潮流分析的一次疊代近似法在估算匯流排事故後系統狀態的準確性一併列入考慮；模擬結果顯示匯流排事故經常造成其他匯流排電壓違限、甚至使系統不穩定，而快速估算事故後系統狀態的近似求解技巧在處理匯流排事故時有一定程度的誤差。

**關鍵詞：** 電力系統，穩態電壓安全性，匯流排事故，多重偶發事故，地理位置

# Static Voltage Security Assessment under Bus Contingencies

**Han-Ching Kuo<sup>1</sup> and Hung-Che Jen<sup>2</sup>**

Associate Professor<sup>1</sup>, Dept. of Electrical Engineering, National I\_Lan Institute of Technology  
College Student<sup>2</sup>, Dept. of Electrical Engineering, National I\_Lan Institute of Technology

## Abstract

Static voltage security assessments under bus outages are discussed in this paper. Instead of considering single-contingency only, multi-apparatus outages contingencies within a nearby area are mentioned in particular. Examining the historical power systems blackout reports we find that simultaneous power apparatus outages within a nearby area might cause serious effects. The bus outage contingencies are chosen for assessing static power system security under multi-apparatus outages contingencies within a nearby area. The full load flow methods are used to evaluate the post-contingent status of the power system. To examine the effectiveness of the approximation methods which are often used in contingency selection, first iteration of fast decoupled and Newton-Raphson load flow methods are also used to evaluate the post-contingent status. Simulation results show that bus outages usually cause voltage violations, some of the bus outages even cause serious voltage problems. The bus outage contingencies should be carefully considered for power system security analysis.

**Key Words:** Power system, Static voltage security, Bus outage, Multi-contingency, Geographical position

## 一、簡介

維持系統安全為電力系統運轉的基本要件，而電力系統穩態安全性分析主要在評估電力系統穩態工作點以及發生所考慮的偶發事故後整個電力系統是否仍能維持安全穩定運轉[1,2,3]。

偶發事故指電力系統上任何可能發生的事故，考慮計算所需時間及偶發事故可能發生的機率，一般僅考慮單一(N1)的電力設備事故，如單一的跳線/跳機偶發事故等；但是，觀察國際上重大電力系統崩潰事件[4,5,6]，我們可以很清楚的看出僅考慮單一偶發事故是不夠的；也因此，紐約電力公司提出全面考慮雙重(N2)偶發事故的作法[7]，加拿大魁北克電力公司則耗資 13 億加幣建構極度偶發事故防衛系統[8]。但是擴大偶發事故分析至雙重(N2)是否足夠？計算所需成本、時間如何兼顧？除了另外架設偶發事故防衛系統之外，還有無其他可能的電力系統安全性防衛機制？

從國際上重大電力系統崩潰事件，從以色列 1995/6/8 的系統崩潰 [5]，到台灣的 729、921 大停電[6]，我們發現地理位置相近的電力設施相繼故障可能導致整個電力系統崩潰！從這個觀點來看，應將地理位置相近的電力設施同時故障列入偶發事故選單(contingency list)以進行電力系統安全性分析，並將分析結果運用在電力系統規劃、設計、運轉等各個層面。

我們選擇匯流排事故作為地理位置相近電力設施同時故障的代表，進行電力系統穩態電壓安全性分析；每一個匯流排事故被視為多重跳機/跳線/卸載的組合，運用完整電力潮流分析程式評估匯流排事故後電力系統狀態，並進行電壓安全性分析；為評估常用以快速估算偶發事故後系統狀態的電力系統安全性分析方式，快速解耦負載潮流分析以及牛頓法的一次疊代法亦用來估算匯流排事故後電力系統狀態。

從分析結果顯示，匯流排事故經常造成其他匯流排電壓違限，部分事故甚至造成系統無解；這對電力系統工作點的選定、執行預防性控制、擬定預防性控制策略、乃至整體電力系統的規劃、設計來說都是非常重要的資訊。而快速估算偶發事故後系統狀態的快速解耦負載潮流分析法在處理匯流排事故時有相當程度的誤差，相較之下牛頓法一次疊代的誤差略小於快速解耦負載潮流分析的一次疊代。

## 二、穩態安全性

一個安全的電力系統工作點需在所考慮的偶發事故發生前、後接能滿足下述三組方程式：1.各個匯流排上的電力供需平衡，也就是電力潮流方程式要能成立；2.所有電力設備無過載；3.所有匯流排電壓無違限；

$$S_{Gj} - S_{Dj} = \sum_{k=1}^n V_j V_k^* Y_{jk}^* \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$Q_{Gj}^{\min} \leq Q_{Gj} \leq Q_{Gj}^{\max} \quad j = 2, 3, \dots, m$$

$$S_i \leq S_i^{\max} \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

$$|1 - V_k| \leq \Delta V_k^{\max} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

其中

$S_{Gj}$ 、 $S_{Dj}$ ：第 j 個匯流排發電機總輸出複功率、負載總用電複功率

$Q_{Gj}$ 、 $Q_{Gj}^{\max}$ 、 $Q_{Gj}^{\min}$ ：第 j 台發電機輸出虛功率及其上下限

$S_i$ 、 $S_i^{\max}$ ：第 i 個電力設備的負載量及其上限

$V_j$ 、 $V_k$ ：第 j、k 個匯流排的電壓相量

$\Delta V_k^{\max}$ ：第 k 個匯流排電壓變動上限

方程式(2)、(3)又被稱為軟性限制(soft constraints)，這類限制在特殊情形下容許一定程度的違限。

而電力系統穩態電壓安全性分析主要在評估偶發事故發生後(1)、(3)這兩組方程式能否被滿足；典型的評估方式分為兩大類[2]；本文採用完整電力潮流分析法，計算匯流排事故後電力系統狀態，以評估其電壓安全性。

### 三、匯流排事故(Bus Contingency)

我們以 IEEE 57-bus[9]電力系統來模擬、分析匯流排事故所可能造成的影響，系統單線圖如圖一；模擬結果如表一、圖二所列。每個匯流排事故定義為所有與該事故匯流排連接的電力設備皆須被切離系統，事故後系統狀態以調整電力潮流分析程式輸入資料的方式來評估；以圖一所示電力系統匯流排 3 發生事故為例，與匯流排 2 連接的所有電力設備，包含：輸電線 TL231、輸電線 TL232、輸電線 TL21、以及發電機、負載等皆被切離系統。

### 四、討論

從表一及表二的結果統計表之中，我們可以發現：

1. 57 個匯流排中的 35 個匯流排事故會導致其他匯流排電壓違限，其中的 16 個匯流排事故將造成 10% 以上的違限電壓。
2. 在這 16 個將造成 10% 以上違限電壓的匯流排事故當中的兩個事故造成電力潮流分析程式無法收斂，亦即系統可能無穩態工作點存在。

這 16 個事故牛頓法一次疊代近似找出 10 件，FDLF 一次疊代僅找出 4 件。

綜上所列，我們可得到下述初步結論：

1. 匯流排事故對此系統的影響相當嚴重，預設的工作點相當不安全。
2. 不同的匯流排事故對系統安全性的影響不盡相同，有輕有重。
3. 對於匯流排事故後系統狀態變化較大的事件，事故後系統狀態近似求解法有相當大的誤差。

### 五、結論

不同於一般偶發事故分析主要考慮單一跳線/跳機事故後電力系統是否能夠維持安全運轉，本文提出如匯流排事故等地理位置相近的電力設備多重偶發事故，應優先列入偶發事故選單以評估其可能風險，並針對匯流排事故進行電力系統穩態電壓安全性進行評估；這個構想來自發現國際上多起電力系統崩潰案例的發生與地理位置相近的電力設備相繼事故有關。

本文將每一匯流排事故視為多重跳線/跳機/卸載的合成事故，並以完整電力潮流分析程式、牛頓及快速解耦負載潮流(FDLF)分析的一次疊代近似法模擬事故後系統狀態；模擬結果顯示匯流排事故經常造成其他匯流排電壓違限、甚至使系統不穩定，而快速估算事故後系統狀態的近似求解技巧在處理匯流排事故時有一定程度的誤差。

### 六、參考文獻

1. Wood, A. J. and B. F. Wollenberg (1984), *Power Generation Operation & Control*, John Wiley & Sons.
2. Hsu, Yuan-Yih and Han-Ching Kuo (Aug. 1992), "Fuzzy-set based contingency ranking," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.7, pp 1189-1196.
3. N. Balu, T. Bertram, A. Bose, V. Brandwajn, G. Cauley, D. Curtice, A. Fouad, L. Fink, M.G. Lauby, B. F. Wollenberg, J. N. Wrubel (Feb. 1992), "On-line power system security analysis," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 80, pp. 262-282.
4. System dynamic performance subcommittee of IEEE/PES (1990), *Voltage Stability of Power Systems: Concepts, Analytical Tools, and Industrial Experience*. IEEE Press.
5. Y. Hain and I. Schweiter (Nov. 1997), "Analysis of the power blackout of June 8, 1995 in the Israel Electric Corporation," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.12, pp1752~1758.

6. 蔡利郎 (2000), 「九二一震撼調度」, 台電工程月刊, 第 618 期, 89.2, 第 54-66 頁。
7. Pereira, L. and D. DeBerry (Feb. 2000), "Double contingency transmission outages in a generation and reactive power deficient area," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.15, pp. 416-420.
8. Trudel, Gilles, Serge. Bernard, Scott. Guy (1999), "Hydro-Quebec's defense plan against extreme contingencies," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.14, pp. 958-965.
9. Liu, Hang, A. Bose, V. Venkatasubramanian (Aug. 2000), "A fast voltage security assessment method using adaptive bounding," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.15, pp.1137-1141.
10. <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/index.htm>.

91 年 09 月 02 日投稿

91 年 09 月 20 日接受

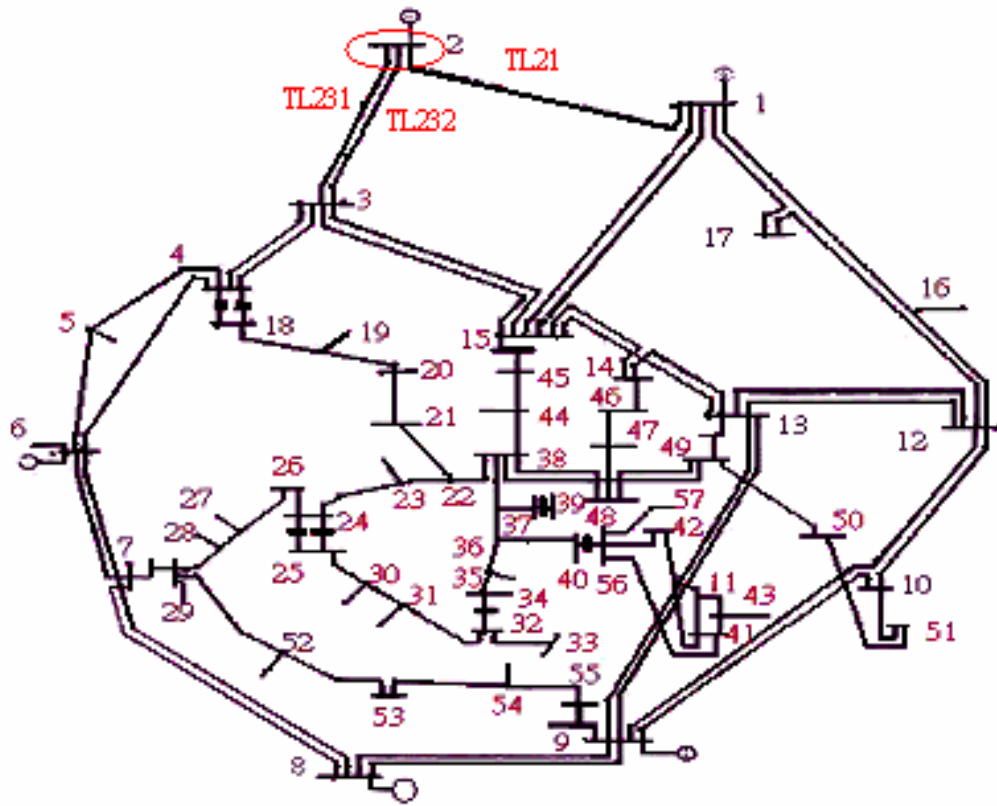


圖 1 IEEE 57-bus 電力系統

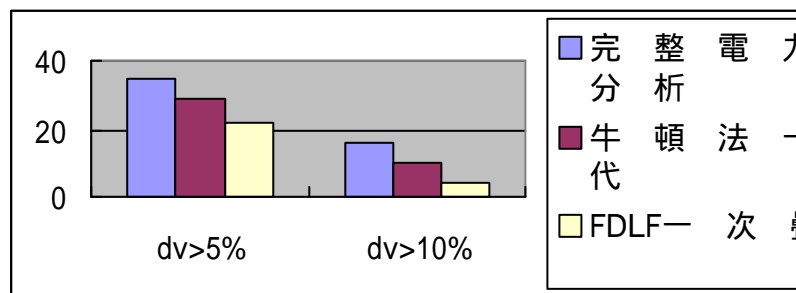


圖 2 匯流排事故造成電壓違限檢出能力統計

表一 匯流排事故模擬解果

事故 匯流排	完整電力潮流分析			FDLF 一次疊代		牛頓法一次疊代	
	疊代 圈數	電壓違限 匯流排個數		電壓違限 檢出能力		電壓違限 檢出能力	
		>5%	>10%	>5%	>10%	>5%	>10%
4	41	INF	INF	1	0	1	1
7	9	25	8	1	0	1	1
8	10	31	1	0	0	0	0
9	4	6	3	1	0	1	1
10	9	10	1	1	0	1	1
11	5	15	9	1	1	1	1
12	10	15	0	1	0	1	0
13	5	17	0	1	0	1	0
14	9	21	1	1	0	1	0
15	10	28	8	1	0	0	0
18	9	2	0	1	0	1	0
21	9	1	0	1	0	0	0
22	9	2	0	1	0	0	0
24	9	15	6	1	1	1	0
25	9	3	0	0	0	1	0
27	9	1	0	1	0	0	0
28	9	5	1	1	0	0	0
29	7	17	5	1	0	1	1
31	9	1	0	0	0	1	0
34	9	2	0	1	0	0	0
35	4	3	1	0	0	0	0
36	41	INF	INF	1	1	1	1
37	9	12	10	1	1	1	1
38	9	23	12	1	0	1	1
39	9	1	0	1	0	1	0
40	9	3	0	1	0	1	0
41	4	7	2	1	0	1	1
43	9	1	0	0	0	0	0
45	9	2	0	0	0	0	0
46	4	5	0	1	0	0	0
47	3	1	0	1	0	1	0
48	9	1	0	0	0	0	0
52	9	1	0	1	0	0	0
54	3	1	0	1	0	1	0
55	9	3	0	1	0	1	0
(30)	9	0	0			1	

INF：電力潮流分析未收斂；0：未偵測出電壓違限；1：有偵測出電壓違限。

表二 匯流排事故造成電壓違反檢出能力統計 (檢出事故件數)

	dv>5%	dv>10%
完整電力潮流分析	35	16
牛頓法一次疊代	29	10
FDLF 一次疊代	22 (+1)	4



