

汽電共生系統電力品質改善

Power Quality Enhancement for Cogeneration Systems

陳朝順 李奕德

C. S. Chen Y. D. Lee

國立中山大學 電機工程學系
台灣 高雄市

Department of Electrical Engineering
National Sun Yat-Sen University
Kaohsiung, TAIWAN.

許振廷

C. T. Hsu

南台科技大學 電機工程學系
台灣 台南市

Department of Electrical Engineering
Southern Taiwan University
Tainan, TAIWAN.

丁德樹

D. S. Ting

中國鋼鐵公司
台灣 高雄市

China Steel Corporation
Kaohsiung, TAIWAN.

沈正杰

C. C. Shen

摘要

本文針對汽電共生廠設計低電壓保護電驛，用以避免廠內重要負載因系統電壓降而跳脫，改善汽電共生系統負載用電品質。首先依據台電系統故障實例，定義工廠對電壓降敏感的重要負載，再找出其電壓容忍曲線，並將此負載遷移至故障電壓較高之發電機匯流排，當系統再發生故障或造成電壓降時，於工廠電力系統與台電系統的聯結線跳脫前，快速作動廠內子供電系統之低電壓保護電驛，並且以子系統的汽電共生機組來維持重要負載用電，使工廠內部子供電系統穩定獨自運轉，待系統電壓恢復正常時再與台電系統併聯運轉。此外利用電力系統暫態穩定度分析台電系統故障，決定汽電共生系統與台電系統的解聯時機，並設定聯結線上的低電壓保護電驛，於台電系統主保護動作之後及其後衛保護動作之前跳脫工廠與台電系統聯結線，並啟動卸載系統，切除廠內不重要之負載，避免台電系統因暫態穩定度問題而導致工廠供電不穩定，並確保廠內其它重要負載用電，降低汽電共生廠對系統電壓擾動之負載跳電損失。
關鍵詞：電力品質、暫態穩定度、汽電共生。

Abstract

This paper presents the design of under voltage relay settings for an industrial plant with cogeneration units to prevent critical loads from tripping due to voltage sags. The critical loads sensitive to voltage sags in the plant have been identified from actual system fault contingencies. The power quality of these loads is enhanced by quickly islanding the subsystem with cogeneration units before tripping of the tie line with external Taipower system. According to the transient stability analysis of the rest of the industrial power system nearby Taipower network, the critical loads non-sensitive to voltage sags are isolated from external system faults in time to restore the system stability with the execution of proper load shedding. To ensure the normal operation of critical voltage sensitive load by considering the voltage tolerance curves, the proper relay settings for tie line tripping of the internal subsystem has been determined. In this way, the critical loads and cogeneration units in the industrial power systems can be survived from system faults to mitigate the production loss of industrial customers.

Keywords: Power quality, transient stability, cogeneration systems.

I. 前言

由於國內汽電共生廠之電力系統均與台電系統併

聯運轉，若廠內所產生的電力不足以負載用電，則可由台電系統供應，當汽電共生機組的發電量足夠供應廠內負載用電時，仍可將多餘的電力售給台電[1]。但當台電系統發生故障時，系統的電壓及頻率將會發生擾動，且往往引響汽電共生廠的用電品質，導致工廠負載短暫跳電，使工廠生產製程設備跳機，甚至造成發電機組跳脫而使全廠大停電，為了避免工廠重要生產設備及汽電共生機組因台電系統故障而跳機，因此於工廠及台電系統聯結線上裝設主要解聯卸載系統，且為了避免此解聯系統無法正確的動作，通常於工廠內部子供電系統亦設置子解聯卸載系統，作為主要解聯卸載系統之後衛保護，以確保廠內汽電共生機組正常運轉。

依據廠內負載調查，電壓驟降所跳脫的用電設備可視為電壓敏感性負載，此負載又分為重要負載及非重要負載，而不會嚴重影響工廠生產製程的設備用電作為非重要負載，因此通常將此設備用電列為卸載之優先考量；反之，動力發電場汽電共生機組之輔機系統如原動機軸承潤滑油壓泵、公用系統如氧氣場之空氣壓縮機及廢氣處理設備則均屬於工廠之重要設備，當這些設備因電壓降而跳脫時，將會使得發電機組停機，且甚至會造成汽電共生系統製程不平衡，進而影響鍋爐使用安全及造成環境污染等問題，然而大部份汽電共生廠內部子供電系統與廠內其餘電力系統之內部聯結線上的解聯致動原件僅以低頻保護電驛動作來跳脫聯結線，用以保護子系統內的發電機組及其負載用電，但電力系統故障時除了可能造成系統頻率變動之外，於故障期間1秒內大多會造成系統電壓驟降，雖然於工廠與台電系統外部聯結線上亦裝設低電壓保護電驛，當汽電共生廠自發電量佔負載用電量低時，工廠大部份用電仍必須向台電購買，表示廠內大部份負載用電仍會受台電系統故障而干擾，因此亦可考量於工廠內部子供電系統加裝低電壓保護電驛，快速作動廠內子供電系統之低電壓保護電驛，使重要負載供電電壓高於其容忍曲線，並且以子系統的汽電共生機組來維持重要負載用電，使工廠內部子供電系統穩定獨自運轉。然而針對台電系統較輕微的故障，台電亦有能力快速將之清除隔離，使系統迅速恢復正常運轉，因此汽電共生廠之重要負載仍可維持正常運轉，若工廠低電壓解聯電驛設定太過靈敏，工廠電力系統則將容易受系統電壓擾動而解聯獨自運轉，並執行卸載而切離負載用電，造成工廠的損失，反之，若低電壓電驛動作時間延遲太遲緩，重要負載亦有可能因系統發生較嚴重的故障而跳脫，因此為了維持廠內汽電共生機組及重要負載穩定運轉，除了依據台電系統之暫態穩定度分析之外亦同時考量重要負載之電壓降容忍曲線來設計低電壓解聯電驛。

II. 敏感性負載之電壓容忍曲線

電力系統負載的電壓容忍曲線代表負載能否維持穩定運轉的條件[2]，此曲線可藉由供應負載端各種不同測試電壓求得，以可調速變頻器為例，其典型的電壓容忍曲線如圖1所示，當變頻器供應端電壓下降至 V_A 且延時超過 T_A ；或電壓為 V_B 且時間延遲超過 T_B ，均會導致變頻器因低電壓或過電流自動保護而停止運作，造成變頻器所驅動的負載運轉不正常或跳脫，因此當變頻器供應端電壓下降至低於其電壓容忍曲線，將使得變頻器負載無法穩定運轉。然而當電力系統發生故障時，系統電壓通常會迅速下降，且持續至系統故障清除後，電壓亦不一定立即恢復正常，因此系統電壓降的大小及時間延遲則可考量負載電壓容忍曲線來定義[3]，本文所提出改善電壓敏感性負載電力品質的方式，即利用分散式電源系統來維持負載端電壓，設定低電壓保護電驛，當系統發生嚴重故障後，為了避免分散型電源跳機，並且於敏感性負載跳脫之前，及時作動此電驛，使分散式電源形成一微電網系統，調整其電壓及輸出功率，以供應此獨立系統電壓敏感的重要負載用電，以降低系統故障後負載跳電的損失，藉由低電壓的保護，此微電網供應電壓的響應如圖曲線1、2、3，其電壓降大小以最低電壓來表示分別為 V_A 、 V_R 及 V_D ，其時間延遲為 T_A 、 T_B 及 T_C ，由於實際電壓降曲線 V_1 比測試電壓 V_A 小，且電壓降持續時間小於 T_A ，依據負載電壓容忍曲線定義，變頻器將可維持正常運轉；當系統電壓降延時超過 T_C 如曲線3，則此變頻器將無法持續運轉。若系統故障電壓下降至 V_R ，且時間延遲介於 T_A 與 T_C 之間如曲線2，即使故障電壓面積 OPQ 小於 RBQ ，亦無法藉由變頻器的電壓容忍曲線定義來判斷負載能否正常運轉，若要確保變頻器負載穩定運轉，其供應端電壓不可下降至低於電壓容忍曲線的下方，因此可以設定低電壓保護電驛，快速隔離系統故障，以分散型發電之微電網系統來維持電壓敏感性負載用電。

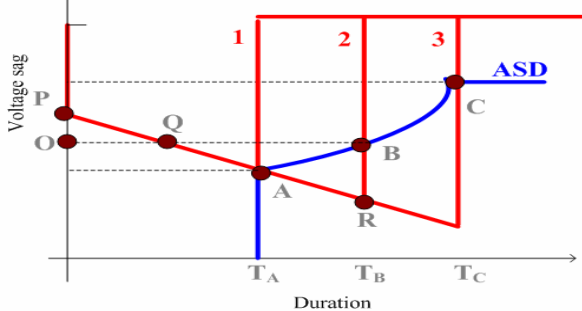


圖1：典型可調速變頻器(ASD)電壓降容忍曲線

台電系統161kV大型工業用電戶中，大部份馬達負載均使用電磁開關來激磁送電，且利用交直流轉換器或變頻器等電力電子設備驅動馬達轉速，而這些電磁開關、電力電子設備及可程式邏輯控制器的負載將會對系統電壓降特別敏感[4-7]，因此針對裝設此電壓敏感設備的重要性負載，當工廠外部電力系統發生短路故障時，此重要性負載將可能因瞬間電壓降而跳脫，導致重要生產設備跳機，甚至造成工廠經濟嚴重損失及環境污染等事件。一般改善此電壓敏感性負載跳脫的方式如下：

1. 在電力電子轉換器的直流匯流排加裝電容器
2. 裝設不斷電系統
3. 增設發電機組
4. 在系統供電端與發電機組裝設變壓器

若在工廠既有的電力設備增設如上述裝置，將會花上一筆龐大經費，因此本文提出以低電壓保護方式來改善電壓敏感性負載用電品質，亦可應用在大型工業負載用電戶上，考量工廠內重要負載之電壓容忍曲線，設計內部子供電系統解聯電驛，在外部聯結線跳脫前，快速作動低電壓電驛，使內部子供電系統與工廠其它電力系統解聯獨自運轉，利用子系統的汽電共生機組來維持較重要且敏感性負載的端電壓；此外，針對電壓降較不敏感的重要性負載，亦有必要利用暫態穩定度分析鄰近台電系統故障臨界清除時間[8-9]，設定連結線的低電壓解聯電驛，於台電系統故障主保護動作之後，並於台電後衛保護系統作動前，隔離台電系統故障，使工廠供電電壓迅速恢復正常，以降低負載跳電損失。圖3即為改善台電大型工業用戶之電力品質的流程說明如下：

考量工廠實際電力系統的運轉，若要利用電壓測試方式找出敏感性負載的電壓容忍曲線是無法實現的，但針對台電系統較嚴重的短路故障，除了故障點鄰近電壓降的較低易使電壓敏感性負載跳脫，且台電故障主保護可能未能及時動作而使系統故障持續幾百毫秒如圖 V_F 所示，當故障清除後，系統極可能發生暫態穩定度的問題，造成系統電力潮流搖擺及電壓振盪等現象，即使工廠許多對電壓較不敏感的負載亦有可能因故障持續太久，且供電電壓不穩定而相繼跳脫，因此首先蒐集裝設有電力電子設備的電壓敏感性負載，針對台電系統所發生的故障事例，調查工廠因電壓降所跳脫的重要負載，並紀錄其供應端電壓響應，藉由此方式找出敏感性負載的電壓容忍曲線如圖2，接著建立工廠及其鄰近台電系統網路架構，並執行短路故障分析，找出廠內殘餘電壓較高的發電機匯流排，再將上述敏感性的重要負載重新移至此子供電系統，並且其供電容量大於此負載量，以改善這些負載用電的品質，為了確保所有電壓敏感的負載在故障期間皆能正常運轉，內部系統的低電壓解聯電驛設定必須在所有負載的電壓容忍曲線上方，並可設計三段不同電壓及較短的時間延遲如曲線Int，以快速隔離系統故障，若考量斷路器動作時間及現階段數位式電驛偵測時間(1/2週波)，因此第一段低電壓時間設定不延時。

此外，針對台電161kV大型工業負載用電戶而言，當工廠向台電購買愈多電力，其電力系統及廠內更多負載用電將受台電系統擾動而影響，當系統發生短路故障時，若工廠電力系統未能於適當時機與台電系統解聯，亦會造成許多非敏感性負載因系統電壓降而跳脫，為了降低廠內負載跳電損失，因此以電力系統暫態穩定度分析工廠鄰近台電系統的故障臨界清除時間如圖曲線CCT，設定聯結線的低電壓保護電驛如曲線Ext，以隔離工廠其餘的電力系統，使工廠電力系統不隨外部系統電壓振盪，並依據工廠卸載策略，切除廠內不重要的負載[10]，如此將可確保工廠系統電壓立即恢復至1.0標么及避免重要負載跳脫。

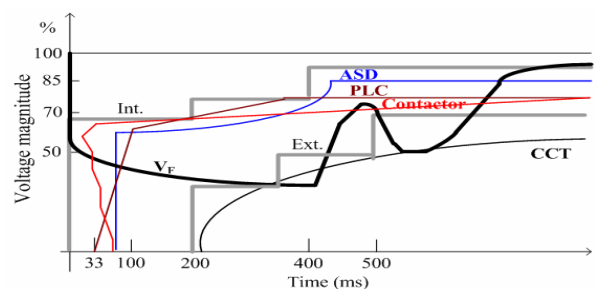


圖2：電壓敏感性負載保護策略

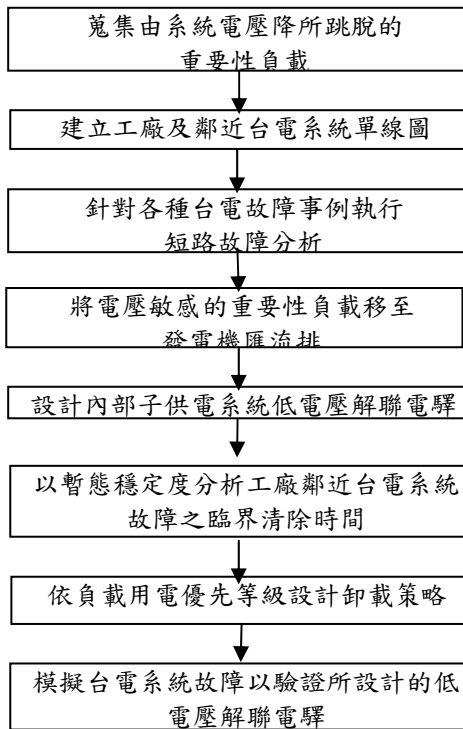


圖 3：汽電共生系統電力品質改善流程圖

III. 汽電共生系統

本文以中鋼電力系統做為研究對象，中鋼為一大型汽電共生廠[11]，其系統單線架構包括三座主變電站(MS1、MS2及MS3)、七個區域子供電系統及14部發電機組如圖3所示，由於冷軋及熱軋工場負載變動大，全廠系統總負載量最低為530MW、最高730MW，而動力一場系統(匯流排 2KA及2KB)主要供應TG1、TG2、TG3及TG8發電機所需之輔助動力用電，動力二場(匯流排 BKA、BKB及BKC)則供應TG4、TG5、TG6及TG7之輔助負載用電，當這些負載跳電時將會影響汽電共生機組運轉，因此可將此負載視為工廠重要負載用電之一，此外還包括其它重要負載，如公用系統之氧氣一、二、三場用電(匯流排 CKA、CKB、CKC及CKD)。依據發電機組維修排程，廠內汽電共生系統最小及最大輸出電力分別約為250MW及430MW，則廠內至少不足電力100MW仍須由台電系統來供應，因此工廠161kV聯結線上的低電壓保護電驛將不可設定太過靈敏，但針對較嚴重之台電系統故障，又可能未能及時跳脫聯結線而導致廠內重要負載跳脫，造成汽電共生系統跳機等更嚴重經濟損失，因此有必要於廠內子區域供電系統加裝低電壓電驛用以保護重要負載用電及發電機組正常運轉。

IV. 台電系統故障實例

此台電故障實例於鳳農變電所 161kV 匯流排發生三相接地故障，且嚴重干擾中鋼電力系統，並造成生產設備停機。為了分析此台電故障事例，首先建立中鋼鄰近台電系統如圖 5 所示，當台電系統 161kV 匯流排或輸電線路故障，台電主保護電驛均設計在 6 週波內立即動作將故障清除，而針對此鳳農事故，由於圖 5 中的#1510 斷路器未能夠有效的開啟，因此作動台電後衛保護系統，並於故障發生 24 週波(0.4 秒)後跳脫高港#1850 斷路器及五甲#1860 斷路器，此時台電系統才與鳳農匯流排的故障隔離。由於故障持續時間太長，當故障清除後，台電系統發生暫態不穩定，系統電壓並未立即恢復正常，且於大林發電廠及高港變電站間出現電力搖擺現象，並持續 3.5 秒以上，造成大林廠三部火力發電機組 G1、G2 及 G3 分別於事故發生 3.4 秒、4.4 秒及 9.4 秒後相繼跳脫，圖 6 為中鋼 161kV 系統匯流排電壓的暫態響應，當故障發生時，電壓降至 0.38p.u，並持續下跌至最低 0.24p.u，當台電系統啟動後衛保護經 0.4 秒將故障清除後，中鋼系統電壓於 0.5p.u 及 0.9p.u 之間振盪，由於中鋼聯結線之低電壓保護電驛設定為 0.7p.u，且時間延時 0.5 秒，因此中鋼電力系統並未能及時與台電系統解聯，造成廠內許多負載跳脫，其中包含動力二場及氧氣工場等重要負載，由於動力二場的發電機原動機軸承潤滑油壓因電壓振盪而下降，致使得中鋼汽電共生機組 TG4、TG6 及 TG7 及其鍋爐跳脫，此外，TG5 發電機則因過磁飽和而使得電壓/頻率(V/Hz)保護電驛動作跳機，因此將上述負載列為此故障事例之電壓敏感及重要性負載。反之動力一場之發電機組軸承潤滑油壓由原動機主軸帶動，即使發生電壓驟降，其潤滑油壓仍可維持原動機正常運轉，所以動力一場的負載可視為非電壓降敏感性之重要負載。

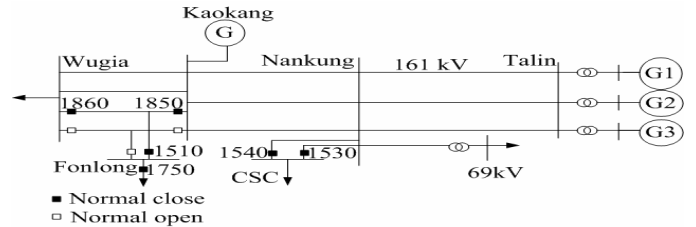


圖 5：中鋼鄰近台電系統

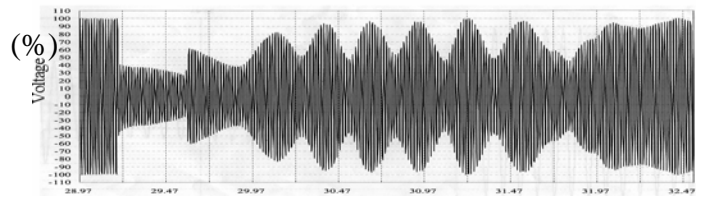


圖 6：中鋼 161kV 匯流排電壓暫態響應 時間 (秒)

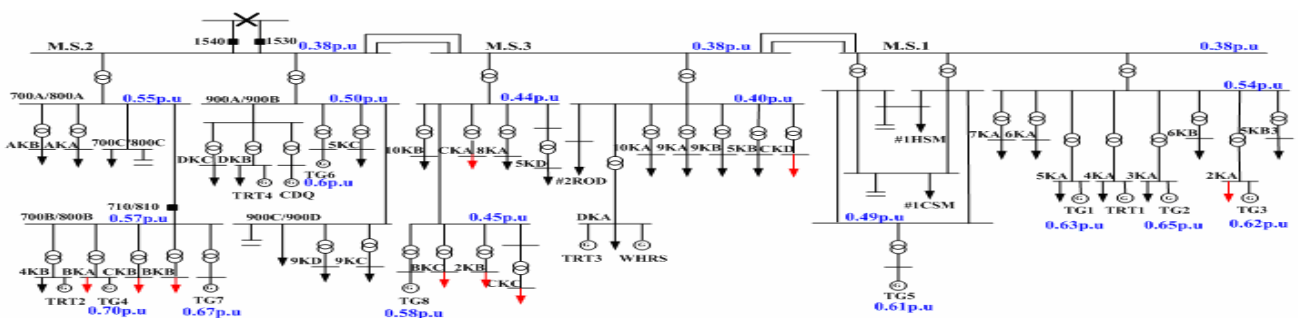


圖 4：中鋼電力系統架構

V. 外部與內部聯結線保護電驛設定

針對上述台電系統故障，為了降低中鋼汽電共生系統的損失，依本文所提出的電力品質改善流程，考量工廠重要負載之電壓容忍曲線，於內部子供電系統聯結線上設定低電壓保護電驛，快速將內部子系統獨立運轉，此外經由台電系統之暫態穩定度分析，決定工廠與台電系統外部聯結線的解聯時機，避免廠內更多電壓敏感性負載因系統電壓不穩定而跳脫。

圖 7 實線方塊內為中鋼全廠 161kV 系統與台電系統聯結線上既有的解聯卸載策略，其解聯的保護電驛包括高、低頻電驛(81H、81L)及低電壓串聯方向性過電流電驛(27+67)，當這些電驛因台電系統發生故障而動作時，將會作動閉鎖電驛(86-1)來跳脫工廠與台電系統 161kV 的聯結線，並同時執行第一段卸載以維持工廠電力系統獨自運轉，除此之外，工廠所有 33kV 內部子供電系統僅以低頻電驛做為外部 161kV 聯結線上電驛的後衛保護。依據台電系統暫態穩定度分析，外部聯結線的 81H 頻率及延時設定為 62.5Hz 及 0.8 秒，81L 之頻率及延時設定為 58.5Hz 及 0.5 秒，且內部聯結線上的 81L 則設定為 57.8Hz 及 0.6 秒，然而由於工廠 161kV 聯結線上的低電壓保護電驛設定並未考量系統電壓穩定度及負載電壓敏感度問題，因此當中鋼鄰近台電系統發生較嚴重短路故障時，工廠 161kV 聯結線的低電壓電驛將無法作動，且汽電共生系統電壓隨台電系統電壓變動，如此會造成公用系統、動力廠之重要輔機負載及發電機跳脫。為了解決此一問題，首先針對台電鳳凰匯流排故障，利用短路故障分析廠內 161kV 匯流排、內部子供電系統 33kV 匯流排及發電機匯流排的故障殘餘電壓如圖 4 所示，其中子系統 33kV 匯流排 700B/800B 的故障電壓為最高 0.57p.u，而 TG4 及 TG7 發電機匯流排的故障電壓則分別為 0.7p.u 及 0.67p.u，此亦比廠內其他發電機匯流排之故障電壓高。

當 TG4 與 TG7 皆正常運轉時，總發電量可達 85MW，除了供應本身子系統的負載用電外，多餘的電力仍可提供至工廠其他負載，所以可選擇此子供電系統來維持工廠重要負載用電，因此將匯流排 BKC 的動力二場輔機負載移至 TG4 匯流排，依據短路故障電壓變動及子系統內所有重要負載的電壓容忍曲線，於子系統 33kV 聯結線上加裝三段延時較短的低電壓保護電驛如圖 8 虛線方塊內所示，且必須與 161kV 聯結線上的方向性過電流電驛串聯，以判斷廠外之台電系統故障，並快速與工廠其它電力系統隔離，依據負載的重要性，工廠其它電壓敏感性的負載亦可移至其它內部子供電系統來供電，以改善重要負載之用電品質。此外，當系統發生較嚴重故障如系統電壓降得太低或故障持續太久時，如此於故障清除後，台電系統可能無法立即恢復正常供電，且系統電壓將因電壓穩定度問題而振盪，經由電力系統暫態穩定度分析工廠 161kV 之故障臨界清除時間，於工廠與台電系統 161kV 聯結線上加裝兩段低電壓保護電驛並設定如圖 7 虛線方塊，則汽電共生系統可於適當時機與台電系統解聯，避免廠內之電壓敏感性負載跳脫。

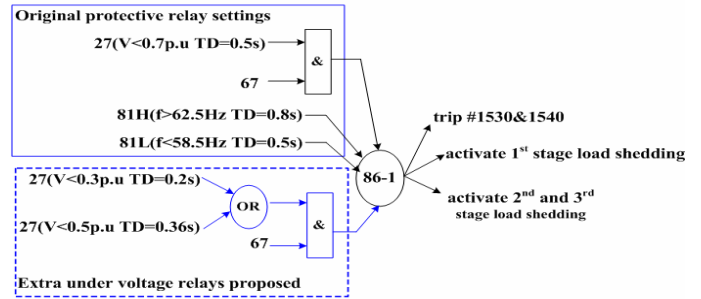


圖 7：161kV 系統解聯卸載電驛設定

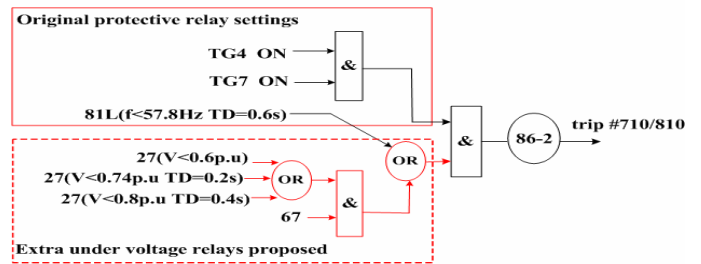


圖 8：33kV 子供電系統 700B/800B 解聯電驛設定

VI. 暫態穩定度分析

為了驗證上述所設計的低電壓解聯保護電驛是否能夠正確的作動，依據台電系統鳳凰變電所故障事例，利用電力系統暫態穩定度程式[12]模擬中鋼汽電共生系統的暫態響應，圖 9 及圖 10 分別為中鋼 161kV 匯流排及工廠內部子供電系統 33kV 匯流排(Bus700B/800B)的電壓響應，曲線 1 為此事故之中鋼系統實際暫態響應；曲線 2 則代表經由低電壓保護電驛動作後之系統電壓響應。經由暫態穩定度分析結果，當中鋼 161kV 匯流排的故障電壓為 0.4p.u 時，其故障臨界清除時間為 0.36 秒，由於台電系統故障持續 0.4 秒後才清除，因此當故障清除後，台電大林發電機組產生電力搖擺，若中鋼系統仍與台電系統併聯運轉，則工廠系統匯流排電壓則會隨著台電系統搖擺而振盪，造成廠內電壓敏感性負載及重要負載相繼跳脫，此外，為了調查發電機組 TG5 跳脫的原因，除了模擬所有發電機匯流排的電壓及頻率響應，並分別計算其電壓/頻率(V/Hz)，其中 TG4 及 TG5 匯流排的 V/Hz 變動如圖 11 所示，由於發電機組的 V/Hz 保護電驛設定為 1.2p.u 且延時 2 秒，因此 TG5 於台電系統發生電力搖擺期間而跳脫。若採用本文所提出汽電共生系統電力品質改善的方法，考量電壓敏感性及重要負載的電壓容忍曲線，設計工廠內部子供電系統聯結線上的低電壓保護電驛，當 33kV 匯流排電壓下降至 0.6p.u 時，系統內的發電機 TG4 匯流排電壓仍高於 0.7p.u，此時快速跳脫內部聯結線，使內部子供電系統獨立運轉，其 33kV 匯流排的電壓將可立即恢復至 1.0p.u 如圖 10 之曲線 2，如此可確保動力二場重要輔機負載供應端電壓高於其電壓容忍曲線，並且可維持汽電共生機組 TG4、TG5、TG6 及 TG7 正常運轉。此外，為了避免中鋼系統供電電壓亦隨台電系統搖擺，則工廠必須於台電故障臨界清除時間前，跳脫中鋼系統與台電系統的聯結線，同時執行卸載策略，切離廠內不重要的負載，則中鋼 161kV 匯流排電壓可在故障隔離後 0.5 秒內恢復至 0.9p.u 以上，且經由發電機組調速器的控制，中鋼內部子供電系統及其它整個供電系統頻率均可迴復至 60Hz，如圖 11 所示，使工廠子系統各別獨立穩定運轉。

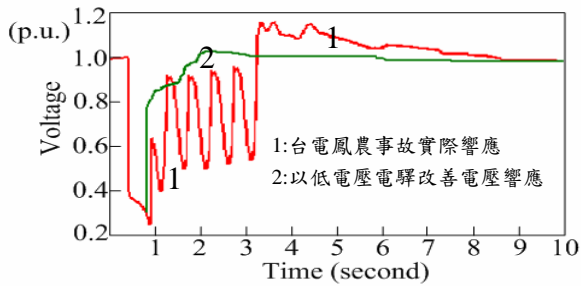


圖 9：汽電共生系統 161kV 匯流排電壓響應

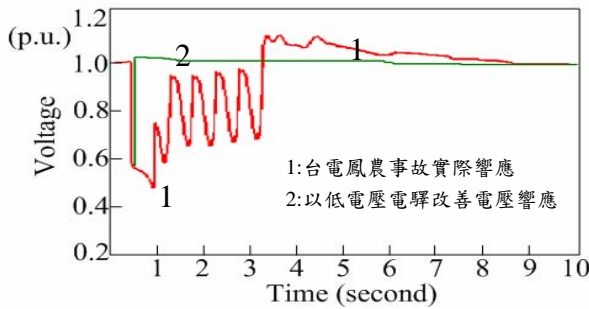


圖 10：汽電共生系統 33kV 匯流排電壓響應

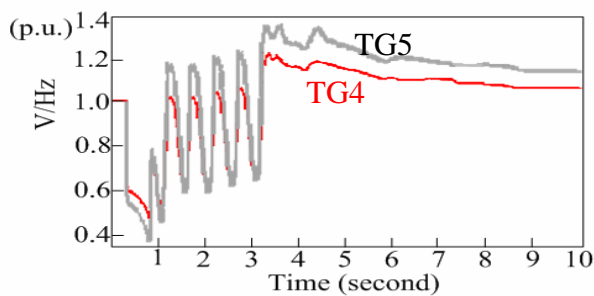


圖 11：發電機 TG4 與 TG5 電壓/頻率(V/Hz)暫態響應

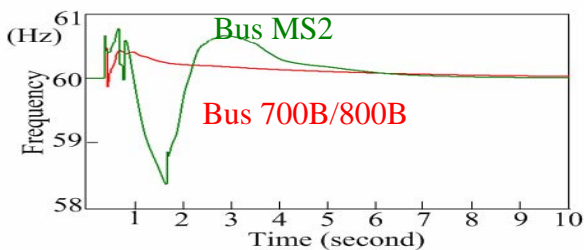


圖 12：161kV 匯流排及子供電系統頻率響應

VII. 結論

當台電系統發生嚴重故障，導致系統電壓過低，且時間持續過長，於台電故障清除後有可能造成系統電壓搖擺的現象，若汽電共生系統仍與台電系統併聯，可能造成廠內重要負載及發電機組跳脫，因此將重要負載移至發電機匯流排供電，並考量其電壓容忍曲線，利用電力系統暫態穩定度分析，設計低電壓保護電驛，快速跳脫廠內子供電系統聯結線，以子系統的汽電共生機組來維持重要負載用電，使工廠內部子供電系統穩定獨自運轉，將可改善汽電共生系統負載供電品質。然而，由於

類似鳳農事故發生的機會不大(台電系統主保護未正常動作)，故工廠電力系統亦可不需要與台電系統解聯，只針對重要負載的跳脫問題來改善如 1.加裝不斷電系統、2.放寬其低電壓保護電驛的動作時間。若在汽電廠外部主解聯系統上的低電壓電驛設定較靈敏，工廠電力系統可能容易受台電系統干擾而解聯，當工廠所有發電量遠小於負載需求，任何外部解聯的動作即會同時啟動卸載系統，造成工廠不必要的斷電損失，設備停機。此外，考量工廠實際電力系統的運轉，敏感性負載的電壓容忍曲線是不容易找出的，雖然內部子系統 700B/800B 低電壓電驛的設定較靈敏，其發電機與重要負載可因此而繼續維持運轉，但如何避免此獨立系統的重要負載在解聯前，即因電壓驟降而跳脫亦是相當重要的考量因素，且幾個子系統解聯後的運轉與再併聯問題，對工廠操作人員亦是一大挑戰。

VIII. 誌謝

感謝中鋼公司研究計畫「中鋼電力卸載系統修訂」及提供研究經費，並提供汽電共生系統相關資料。

參考文獻

- [1] C. T. Hsu, C. S. Chen, J. K. Chen, "The Load Shedding Scheme Design for an Integrated Steelmaking Cogeneration Facility," IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol. 33, No. 3, May 1997, pp. 586-592.
- [2] M. H. J. Bollen, *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, ser. Series on Power Engineering. New York: IEEE Press, 2000.
- [3] D. J. Won, S. J. Ahn, S. I. Moon, "A Modified Sag Characterization Using Voltage Curve for Power Quality Diagnosis," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 20, No. 4, October 2005, pp. 2638-2643.
- [4] Sa'sa ~ Z. Djokic', Jovica V. Milanovic', and Daniel S. Kirschen, "Sensitivity of AC Coil Contactors to Voltage Sags, Short Interruptions, and Undervoltage Transients," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 19, No. 3, July 2004, pp. 1299-1307.
- [5] Sa'sa ~ Z. Djokic', Jovica V. Milanovic', and Daniel S. Kirschen, "Sensitivity of AC Adjustable Speed Drives to Voltage Sags and Short Interruptions," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, January 2005, pp. 494-504.
- [6] Sa'sa ~ Z. Djokic', Jovica V. Milanovic', and Daniel S. Kirschen, "Sensitivity of Personal Computers to Voltage Sags and Short Interruptions," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, January 2005, pp. 375-383.
- [7] Jos'e Luis, Dur'an-G'omez, Prasad N. Enjeti, and Byeong Ok Woo, "Effect of Voltage Sags on Adjustable-Speed Drives: A Critical Evaluation and an Approach to Improve Performance," IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol. 35, No. 6, Nov. / Dec. 1999, pp. 1440-1449.
- [8] C. T. Hsu, "Cogeneration System Design for a High-Tech Science-Based Industrial Park," IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol. 39, No. 5, Sep. / Oct. 2003, pp. 1486-1492.
- [9] J. C. Das, "Transient Stability of Small Plant Generators Connected to a Weak Utility System-A Case Study," IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol. 41, No. 1, Jan. / Feb. 2005, pp. 155-162.
- [10] Chuvychin, V.N., Gurov, N.S., Venkata, S.S., and Brown, R.E. "An Adaptive Approach to Load Shedding and Spinning Reserve Control during Underfrequency Conditions", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 4, November 1996, pp. 1805-1810.
- [11] 陳朝順, 許振廷, 林嘉宏, 「中鋼電力卸載系統修訂研究」期末報告, 2006年8月
- [12] *CYMSTAB User Guide*, CYME International Inc., Canada, 1997.