

中華民國電驛協會會刊

中華民國八十四年五月二十日創刊
中華民國一〇四年一月一日出版

發行者：李群
 高等顧問：李河樟 許萬寶 張重湖 簡文通
 羅隆和
 顧問：周南焜 許邦福 趙基弘 陳勇蒼
 法律顧問：吳仲立 游文華 賴青鵬
 編輯委員會：主任委員 黃慶林
 副主任委員 李錦槍
 編輯委員：白雲年 吳立成 洪世宇 洪敏捷
 林安志 李金鐘 范建誼 郭麟瑛
 陳來進 陳炳基 陳順斌 許文興
 許宸源 張偉荃 黃英龍 黃惟雄
 黃德華 潘明路 謝建賢
 （依照姓氏筆劃順序）
 廣告組：周瑞年 謝璧如
 地址：台北市羅斯福路三段 244 巷
 9 弄 1 號 2 樓
 E-mail : relayaso@ms68.hinet.net
 服務電話：(02) 2362-3993
 傳真：(02) 2363-0860
 印刷者：文山打字印刷有限公司
 地址：台北市杭州南路二段 25 巷 13 號

本刊物為對內刊物、不對外發售

※版權所有※

◎本刊物圖文非經同意不得轉載◎

目錄索引

☆24 電驛協會紀念 20 周年慶祝大會活動
略誌-----李國楨

☆28 69kV 輸電線路保護測距電驛標置自
動計算之應用-----李坤洲、許文興

☆52 地下電纜部分放電應用理論技術
-----鄭強、王瑋民、陳建富

☆63 花東轄區 69kV 輸電線路 POTT 保護
建置及使用情形-----余承和

電驛協會紀念 20 周年慶祝大會活動略誌

常務監事 李國楨

壹、緒言

本協會創始於 1994 年 7 月間，今（2014）年恰屆滿 20 周年。由於今年 1 月 18 日召開本屆會員代表第三次大會時，黃監事召集人慶林先生已備案「籌畫 20 周年慶祝活動計畫」，經全體會員代表熱烈掌聲無異議通過，興之所至當場隨即成立籌備委員會，公推黃監事召集人為籌備主任委員，隨即啟動邀約 3 月 7 日召開第一次籌備會議，由理事長李群率領兩位副理事長李錦槍、唐進材及三位高等顧問李河樟、張重湖、許萬寶，及常務理事賴木生和監事莊忠勇擔任籌備委員，秘書長周瑞年兼任總幹事，陣容壯大堅強，可謂上乘之選。

貳、歷經五次籌備會議築夢踏實

3 月 7 日第一次籌備會議結論概要如下：

1. 針對本協會團體會員、個別理監事及其他會員寄送募款單，預定籌募 100 萬元專款專用，如有餘額移轉為「業務發展基金」。
2. 20 周年慶祝活動日期確定 8 月 16(六)、17(日)兩天舉行，地點選定足夠容納 300 人活動之會議廳。
3. 提供紀念品(500cc 台灣精品保溫杯)分送出席貴賓及會員，另外本會會員尚可參加摸彩活動。
4. 為提升慶祝盛況，又擬配合舉辦 4 項活動，以激發全體會員參與感，其中會員

高爾夫球賽提前一周(8/9)舉行，球賽成績優良者，於 8/16 慶祝大會頒發獎盃，其餘 3 項活動將於翌日(8/17)舉辦。

5. 選訂 5 月 9 日召開第二次籌備會議。

第二次籌備會議討論決議如下：

1. 為壯大出席貴賓陣容，擬議邀請經濟部沈次長、能源局蘇組長、北科大姚校長、電機系陳主任、台電公司黃董事長、朱總經理等貴賓，同時敦聘台電公司董事長為榮譽理事長。
2. 除 500cc 台灣精品保溫杯紀念品外，針對歷屆卸任理事長、秘書長及本屆理監事或本次捐募金額 2 萬元(含)以上者，加贈 350cc 台灣精品保溫杯乙個及精美鴨舌帽乙頂。
3. 為營造慶祝活動盛況空前，廣邀各營運區處處長，電驛經理、課長出席。
4. 秘書組自即日起發出邀請函、並進行訂製工作人員胸章、貴賓胸花、會場名牌等前置性雜項事務。
5. 為維護娛樂水準，晚會節目聘請具專業性之樂團、主持人及攝影小組。
6. 正式行文總統府及立法院。
7. 選定 6 月 27 日、7 月 18 日及 8 月 4 日為第 3、4、5 次籌備會議日程。
8. 增加成立資訊組，廣泛蒐集保護電驛 20 年來，由傳統機電式到數位式之演進歷程，尤其是目前在智慧電網時代，數位式電驛更能發揮資通訊共享之功能。
9. 截至 5 月 9 日止，已募集得款 92 萬餘元，尚未達到預定目標，仍請諸位理監

事持續力邀會員共襄盛舉。

10. 邀請台電公司新桃供電區「太鼓」提供表演節目。
11. 8月16日大會慶祝活動場地確定在新北市新店區豪鼎大飯店豪宴廳舉辦，實地勘查足供容納300人活動空間及佈置規劃已大略成竹在胸。
12. 依照實際需求，成立下列任務編組，協助推動大會活動順利進行：
 - (1) 禮品採購組、(2) 會場布置組、
 - (3) 資訊組、(4) 接待組、(5) 秘書組、(6) 大會主持人等。
13. 訂定大會活動進程序表。

往後第三次6月27日、第四次7月18日、第五次8月4日均如期舉行，惟所研討內容大致不離上述議題，只祈如何「精緻化、迅捷化」進行細部調整。而當天服務人員則指定電驛部門之同仁傾巢而出，係考量絕大部分會員平時在電驛會務活動，於公於私彼此間已建立淵遠深厚的人際關係。

參、20周年慶祝大會活動略誌

8月16日下午1點先行舉辦本屆第五次理監事聯席會議，按既定程序開會討論，並落實於下午2點半散會。於理監事聯席會議期間另安排會員眷屬參訪士林官邸，該觀光景點前身為中華民國總統蔣中正之官邸，於1996年8月正式對外開放，提供民眾一處休閒活動及園藝觀賞之場所。內館有蘭花園、外館有玫瑰園，另有中式庭園與歐式庭園之造景。中式庭園建造拱橋、曲池、流水、假山、奇石及涼亭，古色古香，洋洋大觀，詩情畫意，典雅古樸；歐式庭園建造噴泉、毛氈花壇廣植花卉，到處洋溢著鳥語花香、浪漫氣息，招引熱戀情侶想取景拍攝婚紗，幻化少女情

懷總是詩的寫意。

下午3點半揭開電驛協會20周年慶祝大會序幕，盛邀貴賓魚貫入席，出席者有台電公司朱總經理文成、北科大電機系陳主任昭榮、中華民國電機技師公會彭理事長繼傳、台灣區用電設備檢驗維護工程工業同業公會黃理事長慶林、中華民國機電安全保護協會賴理事長木生、台電公司蘇發言人惠群、台電公司相關處長諸如調度處籃處長宏偉、系統規劃處李處長清雲、供電處李處長河樟、新桃供電區營運處謝處長建賢、花東供電區營運處蘇處長正我、前任調度處張處長標盛、前任調度處張副處長文雄等嘉賓由服務人員熱忱引領就座，其他一般會員也陸陸續續報到領取大會資料與紀念品，此時整個會場進入空前盛況熱絡喧嘩狀態。本協會諸多會員散佈於北、中、南部地區，平時各自忙碌於自身週邊事務，疏於問候致意。欣逢20周年慶祝活動大場面，自然難掩心中歡欣喜悅，情緒興奮high到極點，大有人生難得幾回見，幾時情誼交流再奔放。

大會宣布開始，由新桃供電區「太鼓」表演「鼓韻祈福」及「天可樂」兩段節目，鼓舞人心波動盪漾，扣人心弦共振和鳴。其後主席致詞略以：「協會成立20年來，會務開展績效有目共睹者。其一：成立獎助學金辦法用資獎勵大學院校青年選修保護電驛課程，且學習成績優良者。其二：辦理保護電驛專業檢測團體認證規範及認證，提升國內民營機電業者在保護電驛工程技術水準。其三：與台北科技大學電機工程系簽署合作備忘錄，結合知識與技能教學相長，樹立學界與產業合作之典範。其四：協會半年期電驛會刊提供會員，也贈送各大學院校分享心得作品，並提供相關廠商產品行銷或工程技術服務之廣告平台。其五：架構電驛協會網站作為會員與

會友間專業知能交流互動之平台。其次談到電驛百年來演進歷程，從 1910 年磁電機械式電驛進化到目前的數位式電驛，直到研發 IEC-61850 通信標準發行後，全球不同廠家之電驛可以彼此間相互操作，相互交換訊息，更輕易地達到相容整合成一體系。隨著智慧電網(Smart Grid)的發展，電驛保護設定範圍可兼顧監測大地區的超高壓輸電系統之穩定性與安全性，採用同步向量量測元件技術(synchroPhasor Measure Unit；PMU) + 智慧電網，相信不久將會普及應用。依據行政院 101 年 9 月 3 日核定之「智慧電網總體方案」(Master Plan)，規畫由 2011-2030 年分短、中、長期三階段推動「智慧發電與調度」、「智慧輸電」、「智慧配電」、「智慧用戶」、「智慧電網產業」及「環境建構」等六個構面，而數位式電驛在智慧電網中佔有一席之地，展望電驛協會在未來 16 (2014~2030) 年間服務會員潛在商機無限。」

籌備會主任黃監事召集人慶林報告：「保護電驛是電力系統安全穩定運轉不可或缺的一環，除須具備電驛知識與技能外，尚須要有電力系統運用方面的經驗。電驛協會諸多成員在此領域具足這些條件，因此創立 20 年以來，一直能吸引廠商參與電驛科技產品研習會或電驛工程技術認證各項專業試驗課程，也奠定無可取代之地位。電驛協會一直以來堅守分際，以無私的奉獻扮演政府、民營企業雙方資訊互通的橋樑，增進彼此間良性發展。今逢 20 周年慶祝大會，貴賓滿座、會員座無虛席，歡慶大會圓滿成功，祝福會員健康安樂。」

台電公司朱總經理代表貴賓致詞：「保護電驛是電力系統相當專業的技術與學識，但國內各大學院校卻很少開設保護

電驛的課程，幸好有中華民國電驛協會每年均辦理各種訓練課程，教導並推廣保護電驛相關知識與運用，每半年出版電驛新知技術會刊，免費寄送各大學院校圖書館，讓電驛從業人員發表最新電驛科技新知與實務經驗。此外，電驛協會還提供獎學金，鼓舞學生選修電驛學科之意願。總之，對台灣電驛產業之技術提升與台灣地區大用戶之供電安全及品質穩定實在功不可沒。」

20 周年慶祝大會頒發獎項如下：

一、持續贊助協會會刊廣告 20 年紀念獎：

1. 飛領電機顧問股份有限公司
2. 全城電業顧問有限公司
3. 勇帥電氣技術顧問(股)公司
4. 盈昇有限公司
5. 春源機電技術顧問有限公司

二、「20 周年」會員高爾夫球賽：

8 月 9 日已於台北高爾夫球場舉辦「電驛協會 20 周年會員高爾夫球賽」，報名參賽會員有黃慶林等 31 人。

比賽優勝成績名單如下：

1. 總桿冠軍：洪永輝
2. 淨桿冠軍：張基德
- 亞軍：林志慶
- 季軍：李慶元

最後敦請台電公司蘇惠群發言人專題演講「台電經營改善與核能議題」，內容精彩生動，引來歡聲雷動。台電針對未來業務營運，擬採分割事業群體因應，各事業群體改善效益，以公司治理決勝大未來，再創事業群總體競爭力提升。

歡樂聚餐加上 Karaoke 伴唱娛興節目，又穿插摸彩活動，吃喝玩唱樂享受，洋溢歡欣到極點，本次獎品耗資約 25 萬元，詳列如下：

1. 特獎：Sony 42 吋電視機 * 1

2. 頭獎：HTC one max (5.9 吋) * 2
3. 貳獎：Dyson 無葉風扇 * 2
4. 參獎：ASUS 10 吋平板電腦 * 2
5. 肆獎：雀巢膠囊咖啡機 * 2
6. 伍獎：Philips 藍芽/DVD 組合音響 * 2
7. 陸獎：GPS 行車紀錄器 * 3
8. 柒獎：Sony 行動電源(10000mAh) * 8
9. 捌獎：Philips 數位無線電話 * 7
10. 玖獎：Electrolux 手持調理棒-單件式 * 6
11. 拾獎：精品男用側背包 * 10
12. 普獎：大樂透彩券 1 張

肆、興辦休憩活動強身體健略誌

8 月 17 日興辦兩類休閒活動：

1. 參訪台北動物園，順道觀賞 2013 年出生小貓熊一圓仔。貓熊為世界級珍貴保育類動物，首次在台灣地區養殖成功且能繁殖生育是相當難得的世界紀錄，這有助於我們國家，在國際上被愛好保育類動物組織重視，進而發表成果增加提升國際能見度。我們實踐瀕臨滅種動物得以延續生存於地球，加入保護物種繁衍生命的行動，已是不爭的事實。
2. 貓空、指南宮健行：從動物園搭纜車站，沿途經過動物園內站、指南宮，貓空共 3 個景點。

「貓空」地名，傳說於當地河川沖刷岩礁造成「壺穴」地貌，外觀上皺摺頗類似貓爪痕跡，閩南語稱謂「皺空」，近似國語語音「貓空」。「貓空」位於台北盆地邊緣，在天氣晴朗時，可從山上瞭望整個台北，俯瞰台北府城一覽無遺。「貓空」也是鐵觀音茶種生產區，區內開設許多家茶莊，是一處廣受觀光、喝茶休憩的景點。

指南宮又名仙公廟，地理位置鍾靈毓秀，於 1890 年初建本殿主祀「孚佑帝君」，

即是傳統民俗八仙中之「呂洞賓」，呂仙祖為濟世度人傳授「人生指南」，故名為「指南宮」。其後 1966 年 12 月增建落成「凌霄寶殿」供奉道教玉皇大帝、三清大帝、三官大帝。1984 年 11 月增建落成「大雄寶殿」供奉佛教釋迦如來佛祖及泰國捐贈的釋迦牟尼金佛一尊，以九種金屬礦質精工鑄製。1991 年本殿因年久破舊重修，後山增建「大成殿」供奉孔子、孟子，子思等。從此指南宮成為供奉儒、道、釋三教合一的廟宇，象徵宗教信仰平等觀。由於主祀「孚佑帝君」是道教神祇，故被歸屬為道教聖地之一。

伍、結語

時光奔馳眨眼間 20 年消逝，塵封往事隨著時間巨輪轉動逐漸被人淡忘，本次紀念 20 周年慶祝大會提供許多資深會員，在一場難得 200 多人的盛會場面，新知故舊交流聯誼會上惺惺相惜，人生如夢相見歡，回頭又是數十載。有感於本次紀念活動可說是空前，但不知是否絕後，故本協會整理本次活動始末紀錄，體驗「凡走過必留痕跡」，略為誌記以分享來者回味無窮。

最後所要表示誌謝的有：首先要感謝默默奉獻、熱忱協助的籌備委員會的全體委員，集思廣益、擘畫藍圖；其次要感謝共襄盛舉的會員們，傾力資助促成電驛協會「紀念 20 周年慶祝大會與興辦活動」，留下完美無憾的歷史紀頁；最後還要感謝出席盛會的貴賓與會員，在沒有預先彩排下，主配角合力自然演出，完成一齣「不可能任務」的時代劇。總之，懷抱感恩、惜福滿足，但願會員日後能不忘發心護持，熱心灌溉電驛協會園地，將滿庭芳香發散，永久分享飄逸花香。

69kV 輸電線路保護測距電驛標置自動計算之應用

嘉南供電區營運處 李坤洲、許文興

壹、前言

輸電線路的功能是將電力潮流由一端傳送至另一端之設備，一般輸電線路之長度均以公里計，且經常曝露在外，事故的機率以 69kV 輸電線路為最高，有鑒於此，為提高供電可靠度，大處將 69kV 系統輸電線路保護規劃為主保護採用全線段快速差流跳脫保護方式(87L)及後衛保護採用多區間測距方式(21/21N)與方向性延時過流方式(67/67N)保護。

保護電驛的標置協調設定計算是耗時又費力的工作。目前標置計算方式用 Excel 標置試算表計算，計算時須先上網下載最新線路常數值及變壓器阻抗值，依據 69kV 標置原則以人工方式篩選核對各區間(Z1~Z3)之正序及零序阻抗值，再經歐姆值單位換算與加總後再填入 Excel 標置試算表格內，才完成輸入計算，確實繁瑣且重複多次計算之困擾。

為減少繁瑣重複計算之困擾，利用 VB (Visual Basic)或 VBA (Visual Basic for Applications)程式撰寫，使測距保護電驛標置計算之阻抗參數，利用嵌入式的軟體應用將線路之電抗、感抗、阻抗、線路長度、比流器匝比及比壓器倍率等參數，透過撰寫之 VB 程式順序自動將資料匯入，自動計算出所需之線路參數，避免人為計算及填值輸入錯誤，可提升標置計算正確性與信賴度。

貳、輸電線保護

輸電線保護電驛包含了過電流電驛、方向性過電流電驛、測距電驛、副線電驛及差流電驛，根據保護設備的電壓等

級以及送電用戶的重要性來決定不同功能性的輸電線保護電驛。

以前利用差動原理設計的副線電驛尚未普遍時，擁有部分線段快速動作的測距電驛，成為當時 69kV 電壓等級以上的主要保護電驛。而自從利用差動原理的副線電驛加入後，其可以在輸電線事故時全線段快速跳脫的特點，取代了當時的測距電驛保護，大量運用在 69kV 及 161kV 輸電線上，測距電驛保護則退居為後衛保護的地位。但多年後因受限於副線電驛所用的金屬副導體的長度不能過長以及感應電壓的影響，再加上微波及載波通訊設備的添購，讓原本只能部分線段快速跳脫的測距電驛，搖身一變成為全段快速跳脫的主要保護電驛。

時代變遷智慧電網的興起，台電將傳統的電磁式保護電驛逐一汰換成數位式保護電驛，並且為了滿足主保護電驛快速跳脫的原則，將易因為感應電壓造成誤動作的副線電驛，全面汰換成利用光纖通訊方式的數位式差流電驛，但由於 69kV 輸電線在建置過程中，多處輸電線的採木製的電桿，或者地下電纜無管路可用，導致許多 OPGW 光纖電纜無法敷設至每一所二次變電所，面對保護協調不易的 69kV 輸電線，具有測距保護電驛功能的數位式電驛成為目前最主要的保護電驛。

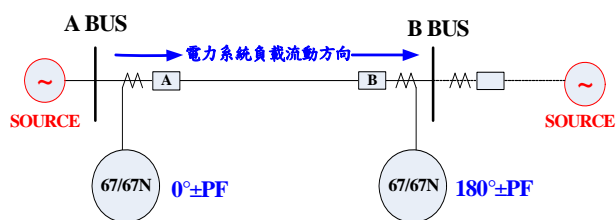
一、輸電線保護原理

輸電線設備主要的故障原因有雷擊、異物碰觸以及鹽霧害所造成的絕緣破壞，為了避免事故後擴大停電範圍，輸電線保護電驛依其功能加以保護與事故抑制。

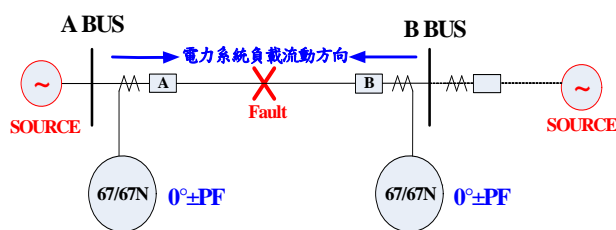
(一)方向性保護原理

由於變電所連接變電所或者用戶設備的輸電線，因地理位置或輸電線的配置，在規劃上常以環狀相連的供電方式，面對這樣的輸電線設備，在保護則須透過一組方向性元件來判斷故障的位置，藉此準確的隔離故障線路，以避免故障範圍擴大。

所謂的「方向性」指的是輸電線上之電壓及電流的角度，如圖 1 所示。當系統正常電流由 A 端流向 B 端，則 A 端 67/67N 方向性元件的電壓電流角度應該是 $0^\circ \pm PF$ (功率因數角)，而 B 端則是 $180^\circ \pm PF$ 。若於 F 的位置發生輸電線事故，其故障電流則會往故障點流入，於 A 端電壓電流角度不變，B 端則從 $180^\circ \pm PF$ 轉變成 $0^\circ \pm PF$ ，由此便可以決定方向性元件的動作條件，再加上時間差的保護協調，便可將方向性電驛規劃應用在環路供電的輸電線系統中。



(a) 電力系統正常情況方向性原理圖



(b) 電力系統保護區間故障方向性原理圖
圖 1 方向性保護原理說明圖

(二)測距保護原理

所謂「測距」指的是量測輸電線的距離，根據歐姆定律，輸電線的阻抗與電壓電流相除所得的歐姆值成正比，因此可透過故障時保護電驛所取得的電壓電流值，經換算來判定該事故點的位置，提供保護電驛的動作條件依據，若是在本保護線段則快速動作清除，若不是在保護區段的事，則透過延時電驛加以分割，避免誤動作，如圖 2、表 1 所示。

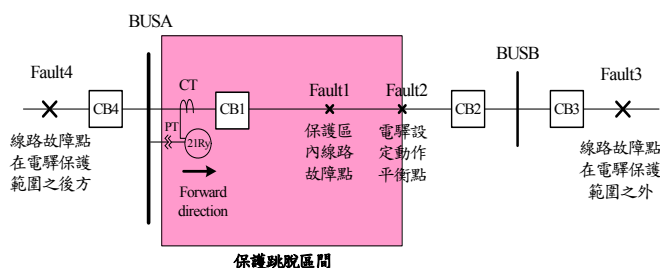


圖 2 測距電驛故障保護區間圖

表 1 測距電驛動作情況區分表

功能原因	若本線段內發生故障時(Fault 1)	若本線段臨界點發生故障時(Fault 2)	若本線段外發生故障時(Fault 3)
模擬信號	$V_{RY} / I_{RY} = Z_{Fault} < Z_{Set}$ $V_{RY} < I_{RY} * Z_{Set}$	$V_{RY} / I_{RY} = Z_{Fault} = Z_{Set}$ $V_{RY} = I_{RY} * Z_{Set}$	$V_{RY} / I_{RY} = Z_{Fault} > Z_{Set}$ $V_{RY} > I_{RY} * Z_{Set}$
情況	內部故障	平衡點故障	外部故障
結果	保護電驛動作	保護電驛動作或保護電驛不動作	保護電驛不動作

輸電線路依測距保護電驛不同的阻抗值加以區分成三個區間，分別稱作第一區間(Zone1)、第二區間(Zone2)及第三區間(Zone3)。對設置在 A 端的測距元件而言，此三個區間其保護的區段則分別為第一區間：取 Bus1 端到 Bus2 端線段的 80~85%。第二區間：取 Bus1 端到 Bus2 端全線段，再加上 Bus2 端到 Bus3 端線段的 50%。第三區間：取 Bus1 端到 Bus3 端全線段，再加上 Bus3 端到 Bus4 端線段的 25%。在每區間用延時電驛加以區分動作時間，以台電 161kV 輸電線為例，第一區間採用瞬時動作，第二區間設定 20 週波動作，第三區間設定為 30 週波動作，如圖 3 所示。

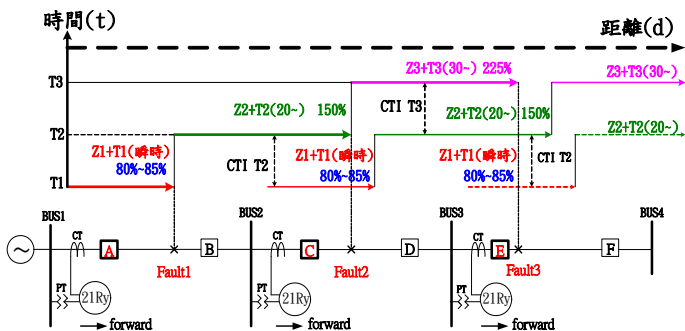


圖 3 測距電驛區間動作說明圖

在測距電驛的應用方面，對於某些放射狀系統而言，協調時間延遲型過電流電驛之動作並不易達成，特別是如果有太多放射狀電力線及匯流排，則對於靠近電源的斷路器之時間延遲將極容易過長，因此採方向性電驛可解決放射狀雙電源系統之協調問題。

二、數位式測距電驛功能說明

由於傳統保護電驛無法儲存事故資料，往往導致許多事故的原因無法立即判定及排除，降低供電品質，為提升供電可靠與穩定，台電推行智慧電網將傳統電驛汰換成數位式電驛。數位式電驛基本架構具有多種元素單元，如圖 4 所示。數位式保護電驛基本功能單元分述為： a.輸入/輸出單元(Input / Output Unit)。 b.類比/數位轉換單元(A/D Converter Unit)。 c.中央處理單元 Center Processor Unit 簡稱 CPU。 d.記憶體 RAM/ROM。 e.邏輯單元 Logic Unit。 f.顯示器 Display。 g.通訊介面 Communication Interface。 h.時間同步單元 GPS。

因此具有事故資料儲存功能的數位式保護電驛將取代原有傳統電驛，除了協助事故分析外，測距電驛還具有故障距離偵測的功能，對於輸電線事故後，故障點的尋找提供一個很好的依據。

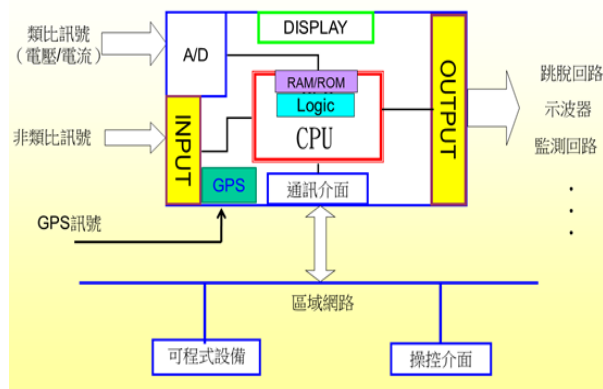


圖 4 數位保護電驛基本架構圖

加上新式數位電驛皆具有乙太網路之功能，大幅度縮短電驛人員至現場下載事故資料的時間，並且可以透過此功能做遠距離的標置變更或電驛的基本維護，另外保護電驛所使用的多功能測試儀器，可提升整體的工作效率，縮短測試時間，對於新的數位電驛建置及加入系統前的測試提供相當大的助益。

參、69kV 輸電線路保護電驛標置協調策略

為了改善 69kV 輸電線路保護，提高供電品質與可靠度，將目前運轉中以方向性延時過流電驛規劃為主要保護設備，改為測距保護加上方向性延時過流保護及差流電驛，對輸電線路整體規劃保護會更加周全。當輸電線路發生故障時，不但可快速排除故障，還可運用故障測距功能，檢驗出相關故障點，對加速復電確實有很大助益。

如何減少標置計算時間，同時提高電驛標置正確性，也是當前重要課題。運用 EXECL 巨集功能，取得線路常數資料，同時判斷測距電驛第二區間阻抗值是否大於第三區間阻抗值，以調整計算方式，如此將可增加正確性及減少輸入時間，對提升

汰換工作及標置計算有很大幫助。

一、目前大興 P/S 電力系統

大興 P/S 161kV/69kV 由三台主變壓器容量 200MVA×3 及 13 所二次變電所與 4 家大用戶組成系統網路，其中系統網路連接它所處設分界點有 M S/S #650、L S/S #610、G S/S #610 等，如圖 5 所示。

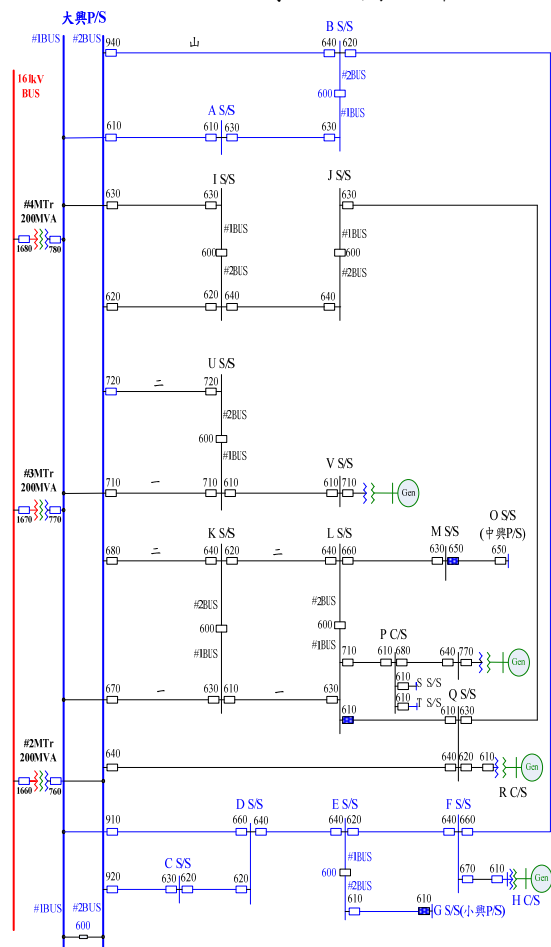


圖 5 大興 P/S 電力系統單線圖

二、69kV 輸電線路保護電驛標置協調計算與模擬

針對大興 P/S 轄區電力系統，以大興 P/S 轄區之 A S/S、B S/S、F S/S、E S/S、D S/S、C S/S、大興 P/S 為例成環模擬，做為 69kV 輸電線路保護電驛標置協調計算之相關線路之長度與系統線路常數，如圖 6 所示。

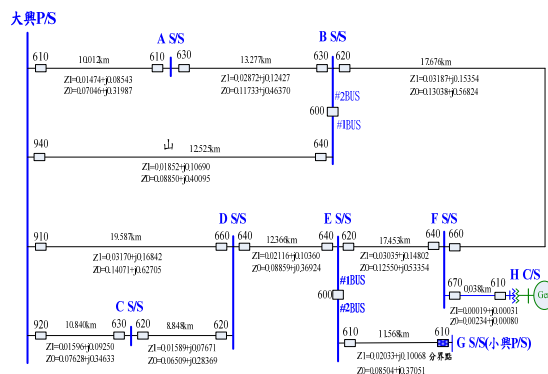


圖 6 大興 P/S 轄區電力系統 pu 單線圖

(一)大興轄區 69kV 輸電線路參數

電力系統線路常數，如表 2 所示。是提供輸電線路故障時，兩端保護電驛有效保護與偵測計算故障點，為使測距電驛偵測準確，輸入之線路常數之數據要正確，保護電驛性能要良好，確保測距電驛偵測故障動作無誤。電驛標置阻抗計算依據線路常數之數據，電驛標置設定是以各元件所要保護的範圍來設定，依每一段保護的範圍之線路常數來計算及大興轄區 69kV 主變壓器參數，如表 3 所示。

表 2 大興轄區 69kV 輸電線路參數表

編號	線路區間	電壓 (kV)	導體	長度 (KM)	正相阻抗		零相阻抗	
					$R_r(\Omega)+jX_r(\Omega)$ $R_r(\mu\Omega)+jX_r(\mu\Omega)$	$R_0(\Omega)+jX_0(\Omega)$ $R_0(\mu\Omega)+jX_0(\mu\Omega)$		
1	大興-A S/S	69	ACSR954 (pu)	10.012	0.70184+j4.06687 0.01474+j0.08543	3.35402+j15.22625 0.07046+j0.319870		
2	A S/S-B S/S	69	AACT795 XLPE1000mm ² (pu)	13.225 0.052	1.07652+j5.57698 0.29060+j0.33870 0.02872+j0.12427	4.57982+j20.31625 1.00550+j1.835800 0.11733+j0.465370		
3	大興-B S/S	69	ACSR954 XLPE1000mm ² (pu)	12.480 0.0450	0.87485+j5.06938 0.00710+j0.01920 0.01852+j0.10690	4.18080+j18.97958 0.03220+j0.105700 0.08850+j0.400950		
4	B S/S-F S/S	69	ACSR954 XLPE1000mm ² (pu)	17.6480 0.0280	1.51067+j7.29039 0.00680+j0.01820 0.03187+j0.15354	6.18562+j26.95908 0.20260+j0.089200 0.13038+j0.568240		
5	F S/S-E S/S	69	ACSR954 XLPE1000mm ² (pu)	16.5330 0.9200	1.41522+j6.82978 0.02970+j0.21610 0.03035+j0.14802	5.79482+j25.25581 0.17910+j0.140700 0.12550+j0.533540		
6	E S/S-G S/S	69	AACT795 ACSR795 XLPE1000mm ² (pu)	5.1000 6.2400 0.2280	0.41514+j2.15067 0.53414+j2.57774 0.01850+j0.06400 0.02033+j0.10068	1.76613+j7.834620 2.18712+j9.532220 0.09510+j0.269900 0.08504+j0.370510		
7	E S/S-D S/S	69	ACSR795 XLPE1000mm ² (pu)	11.4160 0.9200	0.97721+j4.71595 0.03030+j0.21560 0.02116+j0.10360	4.00131+j17.43908 0.21600+j0.136800 0.08859+j0.369240		
8	大興-D S/S	69	ACSR795 ACSR954 (pu)	8.7920 10.7950	0.75260+j3.63198 0.75673+j4.38493 0.03170+j0.16842	3.08160+j13.43066 3.61633+j16.41704 0.14071+j0.627050		
9	C S/S-D S/S	69	ACSR795 (pu)	8.8480	0.75670+j3.65180 0.01589+j0.07671	3.09842+j13.50398 0.06509+j0.283690		
10	大興-C S/S	69	ACSR954 (pu)	10.8400	0.75988+j4.40321 0.01596+j0.09250	3.63140+j16.48547 0.07628+j0.346330		

表 3 大興轄區 69kV 主變壓器參數表

序號	發變電所	編號	製造廠家	容量 (MVA)	現在使用分接頭值	接續方式	阻抗值 (%)	冷卻方式	製造日期	製造號碼	備註
1	A S/S	#1MTr.	大同	25000	69/11.95	Δ - γ	9.25	OA/FA1/FA2	1988/07	8820040	
		#2MTr.	士林	25000	69/11.95	Δ - γ	9.43	OA/FA1/FA2	1980/12	690035	
2	D S/S	#1MTr.	華城	25000	69/11.95	Δ - γ	8.8	FOA	1988/09	244181	
		#2MTr.	長興	25000	69/11.95	Δ - γ	9.25	OA/FA1/FA2	2000/04	P1527	
		#3MTr.	大同	25000	69/11.95	Δ - γ	9.17	OA/FA1/FA2	1996/05	9620030	
3	C S/S	#1MTr.	華城	25000	69/11.95	Δ - γ	8.91	OA/FA1/FA2	1985/05	231337	
		#2MTr.	士林	25000	69/11.95	Δ - γ	9.03	OA/FA1/FA2	1994/05	830012	
4	B S/S	#1MTr.	華城	25000	69/11.95	Δ - γ	9.19	OA/FA1/FA2	1992/08	268404	
		#2MTr.	士林	25000	69/11.95	Δ - γ	8.70	OA/FA1/FA2	1979/01	670050	

(二) 69kV 輸電線路保護電驛標置協調計算模擬

以大興 P/S #920 C 線方向性過流電驛為例，將計算步驟與 Aspen 軟體模擬計算標置計算。

1. 環路系統保護電驛標置協調相間接地故障(3LG)計算模擬

(1) 當 D S/S#660 N-1，模擬 D S/S#640 3LG 故障。

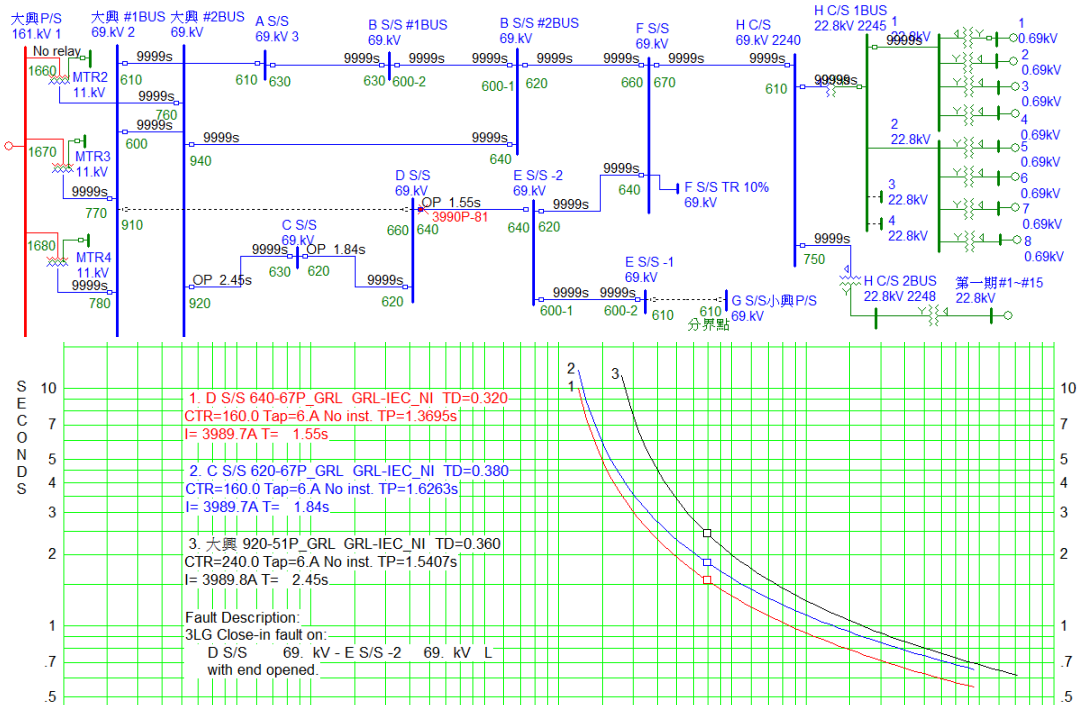
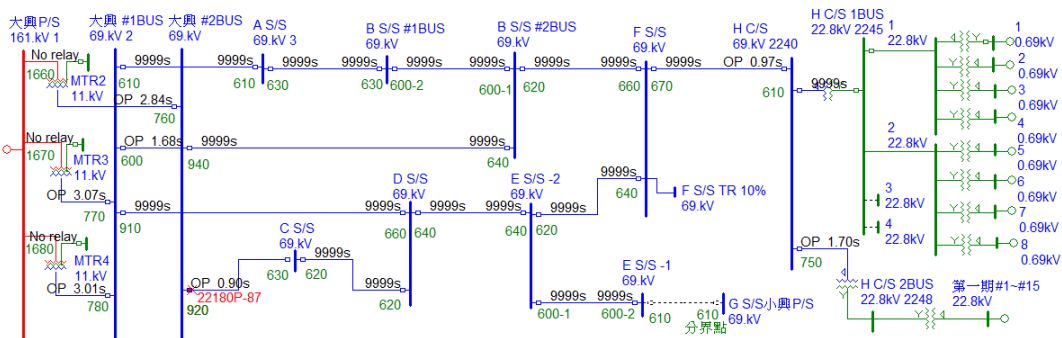


圖 7 D S/S #640 3LG 故障系統圖及模擬結果協調曲線圖

(2) 模擬出口端大興 P/S #920 3LG 故障。



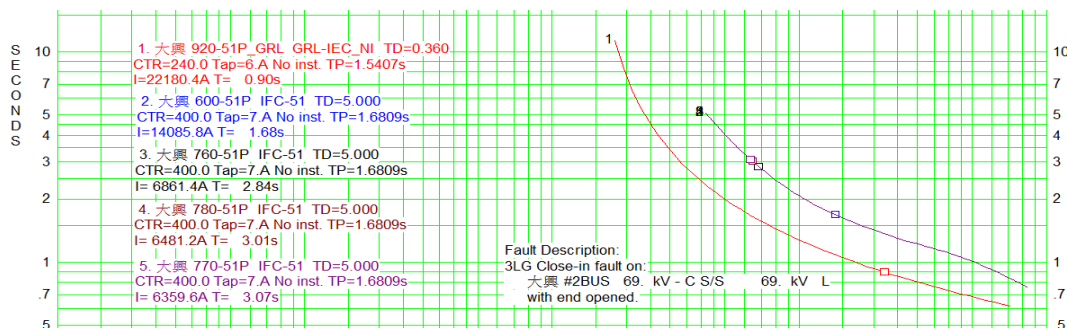


圖 8 大興 P/S #920 3LG 故障系統圖及模擬結果協調曲線圖

(3)當 D S/S#660 N-1，模擬 C S/S#630 3LG 故障。

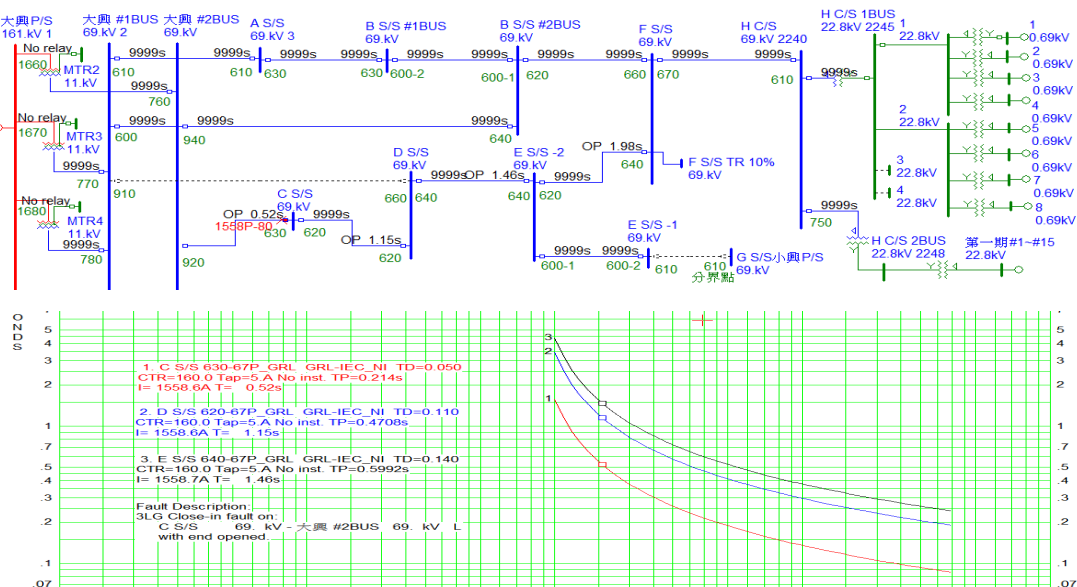


圖 9 C S/S#630 3LG 故障系統圖及模擬結果協調曲線圖

(4)當 D S/S#660 N-1，模擬 D S/S#620 3LG 故障。

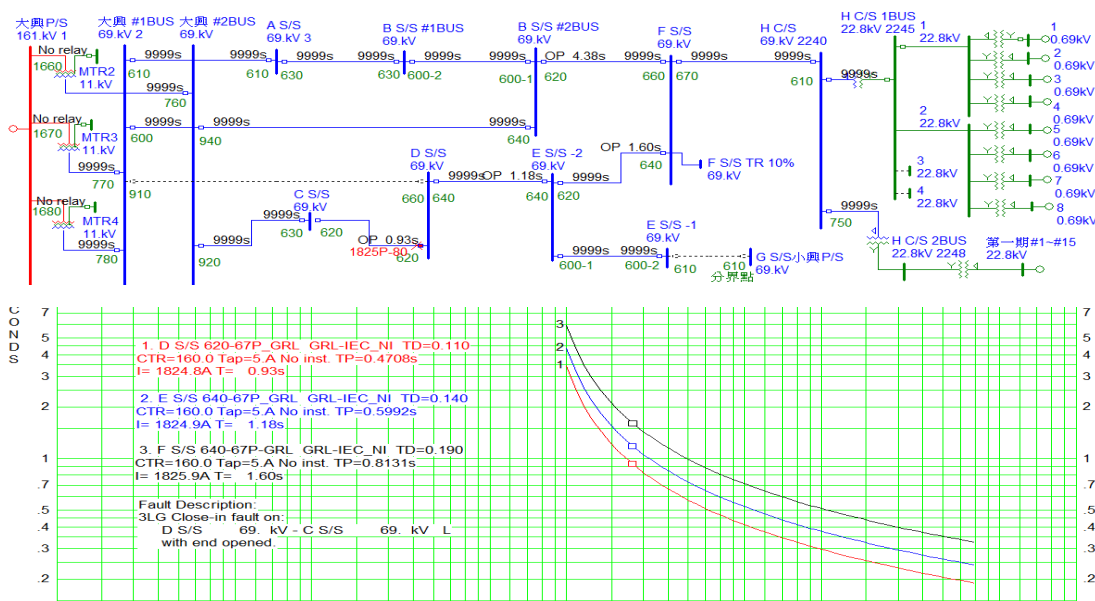


圖 10 D S/S#620 3LG 故障系統圖及模擬結果協調曲線圖

2. 環路系統保護電驛標置協調接地故障(1LG)計算模擬

(1) 當 D S/S#660 N-1，模擬 D S/S#640 1LG 故障。

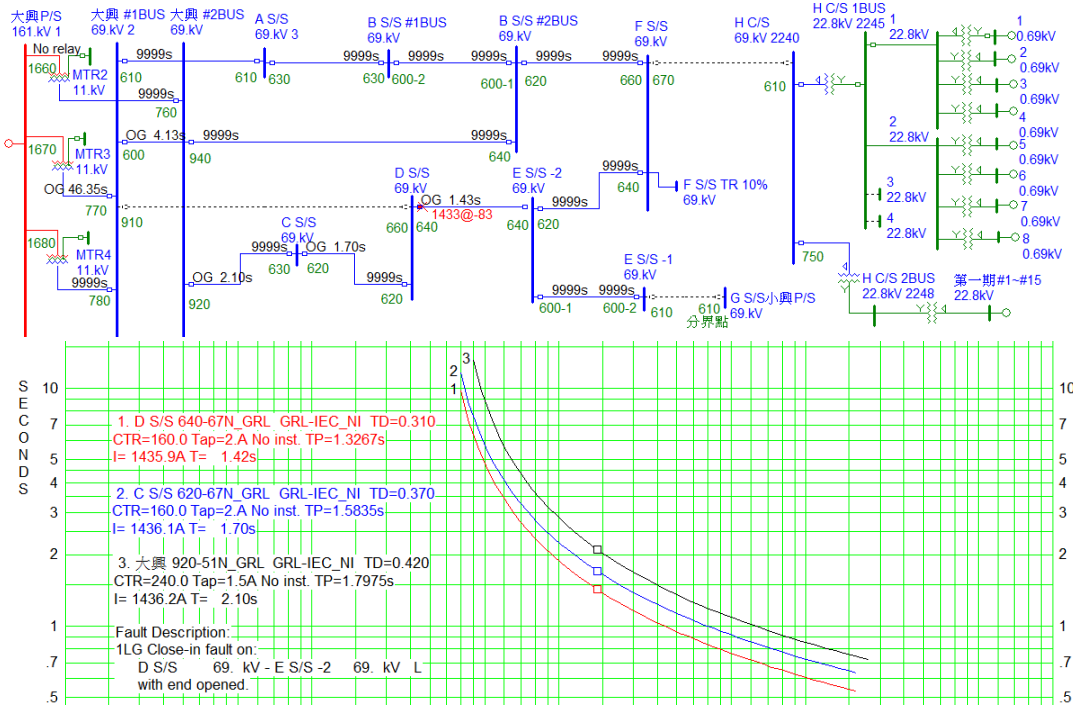


圖 11 D S/S#640 1LG 故障系統圖及模擬結果協調曲線圖

(2) 模擬出口端大興 P/S #920 1LG 故障。

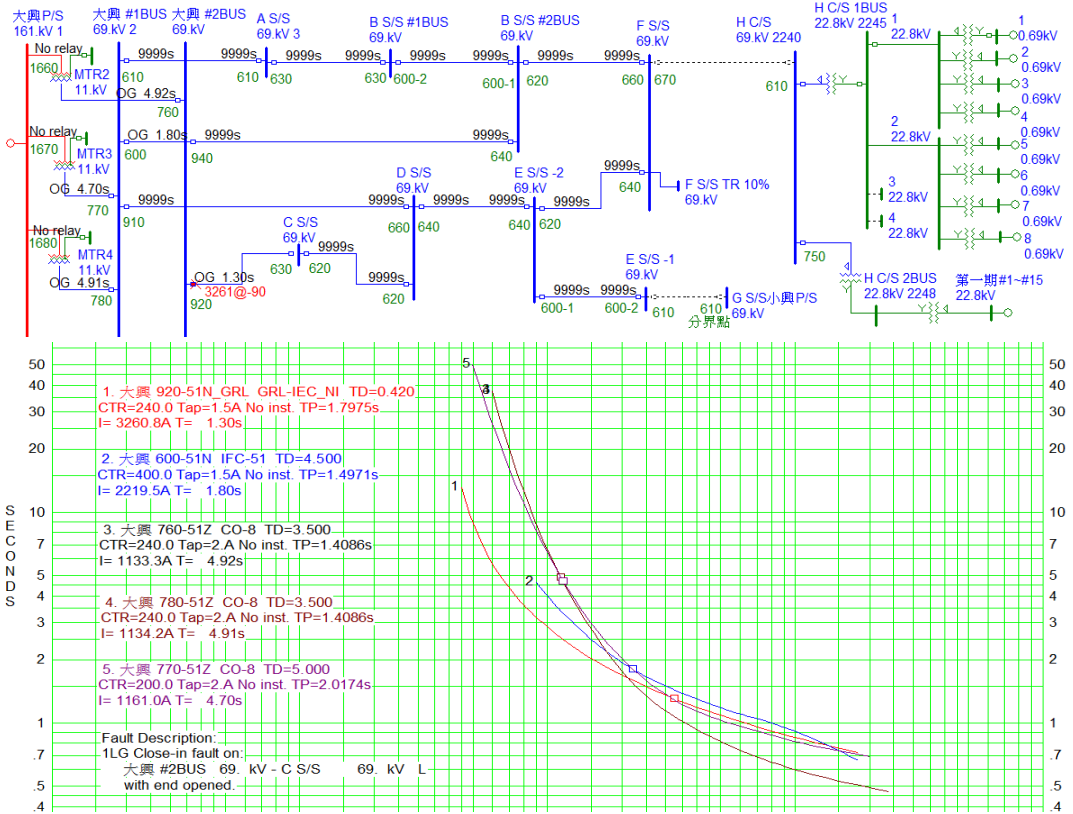


圖 12 大興 P/S #920 1LG 故障系統圖及模擬結果協調曲線圖

(3)當 D S/S#660 N-1，模擬 C S/S#630 1LG 故障。

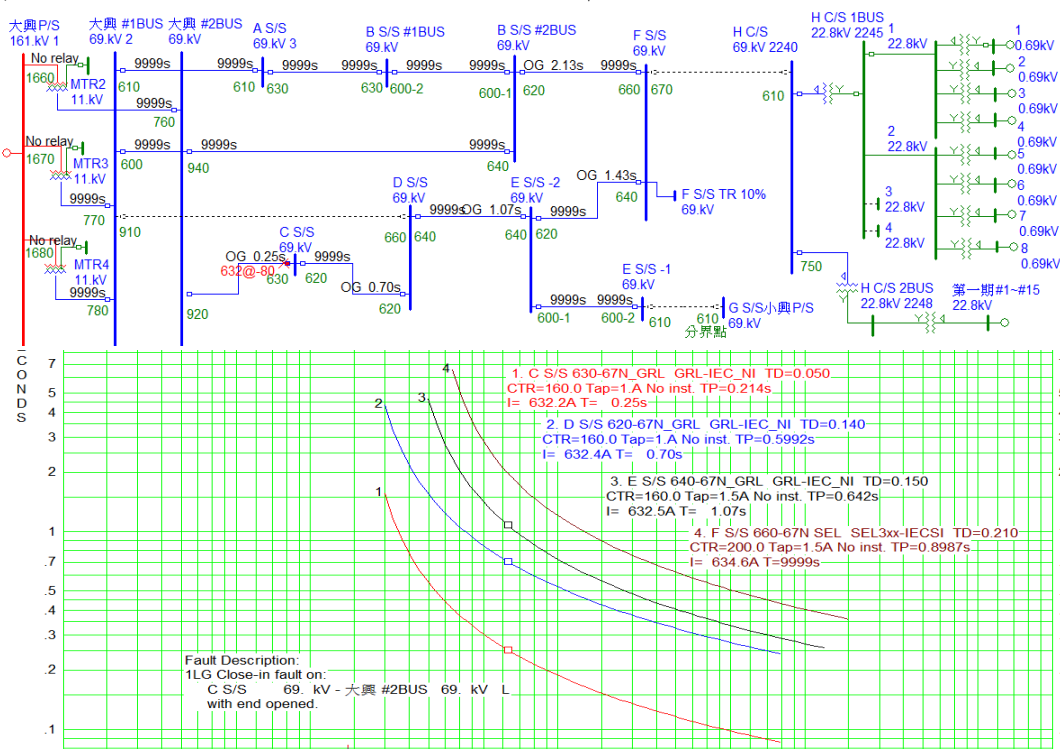


圖 13 C S/S#630 1LG 故障系統圖及模擬結果協調曲線圖

(4)當 D S/S#660 N-1，模擬 D S/S#620 1LG 故障。

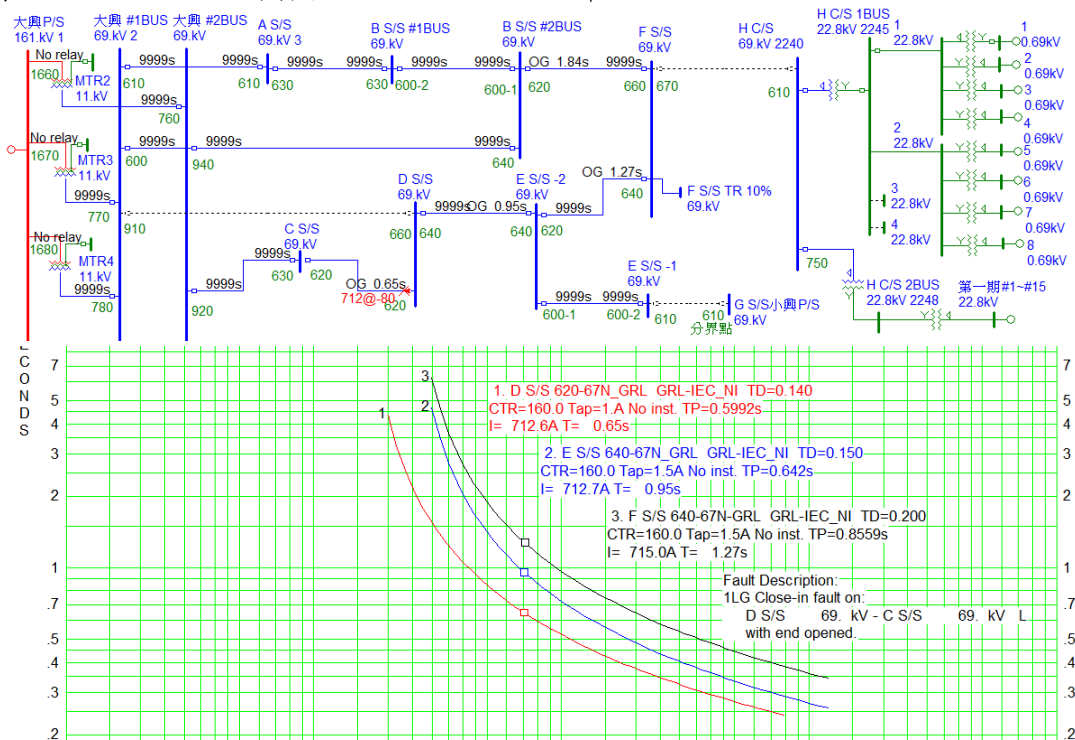


圖 14 D S/S#620 1LG 故障系統圖及模擬結果協調曲線圖

3.測距電驛標置計算步驟

以大興 P/S #920 C 線測距電驛為例，將計算步驟之計算標置單及所需參數資料填入測距電驛 EXCEL 計算程式。

- (1) 填入大興、C S/S 線路參數，如圖 15 所示。
- (2) 填入 C S/S、D S/S 第二段最小阻抗參數，如圖 15 所示。

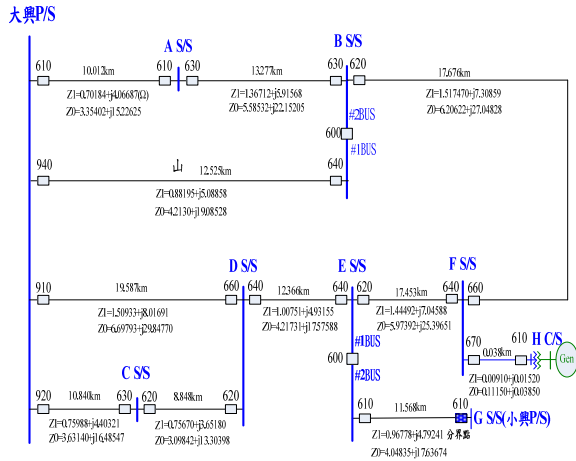


圖 15 大興 P/S 轄區電力系統阻抗單線圖

- (3) 填入 C S/S #1MTr. 阻抗值為 8.91%，主變壓器較小阻抗值 28.2803Ω 如表 4 所示。
- (4) 依據標置原則選定適當 CT 匝比填入 CTR 為 2000/5。
- (5) 線路容量檢索表，如表 4 所示大興~C S/S 額定安全電流為 1000A。安全容量 119MVA，經計算結果填入參數表單，如表 5 所示。

表4 變電所輸電線路超載之處理快速檢索表

大興 P/S 變電所輸電線路超載之處理快速檢索表

線路名稱	全線路種類及線程	額定安全電流(IR)	架空線路		地下電纜線路		
			超載110%限制值 360時/年(累計)I110	超載123%限制值 120時/年(累計)I123	短時間10小時 容許電流值I10	短時間5小時 容許電流值I5	短時間3小時 容許電流值I3
大興-K一線	ACS85ACM457	1000	1100	1230			
大興-K二線	ACS85ACM457	1000	1100	1230			
大興-L一線	ACS85ACM457	1000	1100	1230			
大興-L二線	ACS85ACM457	1000	1100	1230			
大興-L一-二線	NLPE0004	1045			1253	1363	1500
大興-L一-二線	NLPE0004	945			1110	1223	1300
大興-D S/S	ACS85ACM457	895	985	1101			
大興-C S/S	ACS85ACM457	1000	1100	1230			
大興-B S/S	ACS85ACM457	1000	1100	1230			
C S/S-D S/S	ACS85ACM457	895	985	1101			
D S/S-E S/S	ACS85ACM457	895	985	1101			

表5 測距電驛EXCEL程式計算參數表

NO	CB	CTR	MODEL	NO	CB	CTR	MODEL	RESISTANCE-OHM	REACTANCE-OHM	ITEM
1	大興920	2000/5	IRL-711P	2	CSS 630			0.7599	4.4039	1
								5.6317	16.4888	
2	CSS 620			3	D S/S 620			0.7565	3.6522	2
								3.0989	13.5065	
2	CSS 720			4	CSS 150			0	28.2803	3
								0	28.2803	

Line Length= 10.24 km 線路容量 119 MVA

4.保護測距電驛相間元件標置計算

- (1) OCF1S 監控 Z1s 用的故障安全元件設定為 CT:2000/5，則 OCF1S 設定為 5。
- (2) TZ1S 與 TZ1G 延遲元件設定為 9 週波。
- (3) OCF1G 監控 Z1G 用的故障安全元件設定

計算 50L1(OCF1G)元件設定，先將轄區內發電廠發電機 take off，如 R G/S、P G/S、V G/S、H G/S 等。模擬本線段 55% 處，模擬結果提供故障電流為 2036A，計算結果為： $50L1(OCF1G)=0.6*2036/400=3A$ ，如圖 16 所示。

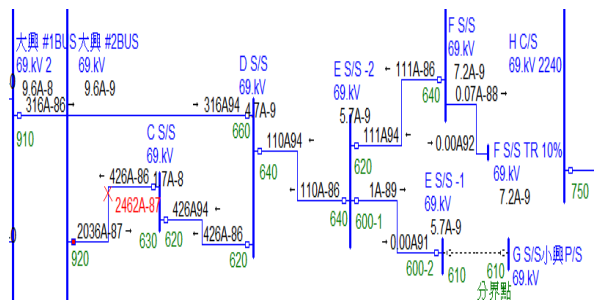


圖 16 接地測距電驛 ZONE1 模擬結果圖

5. OCF2S 監控 Z2S 用的故障安全元件設定及 TZ2S 延遲元件設定

(1) 50PP2(OCF2S)模擬計算

計算 50PP2(OCF2S)及 TZ2S 元件設定，先將轄區內發電廠發電機 take off，如 R G/S、P G/S、V G/S、H G/S 等。模擬等效第二段 50% 處，模擬結果提供故障電流為 3462A，計算結果為： $50PP2(OCF2S)=3462/400=8.655A$ ，設定為 5A，如圖 17 所示。

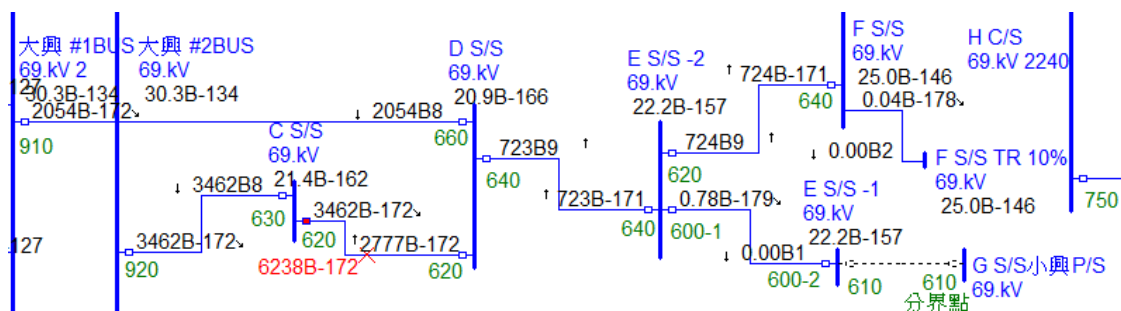
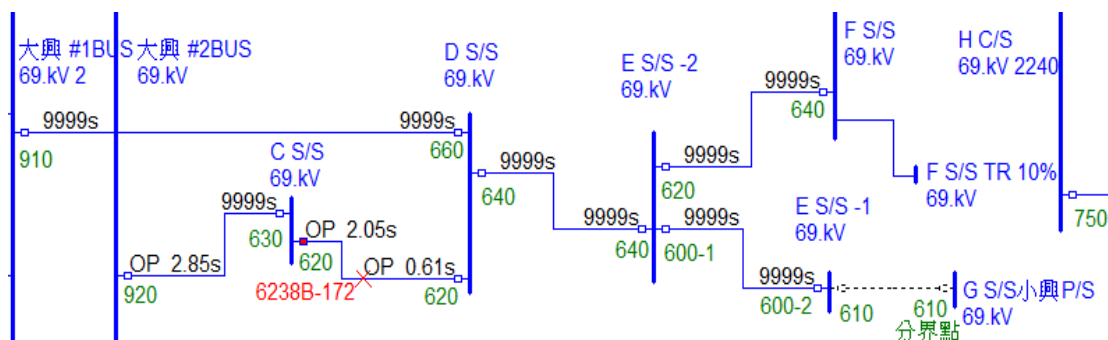


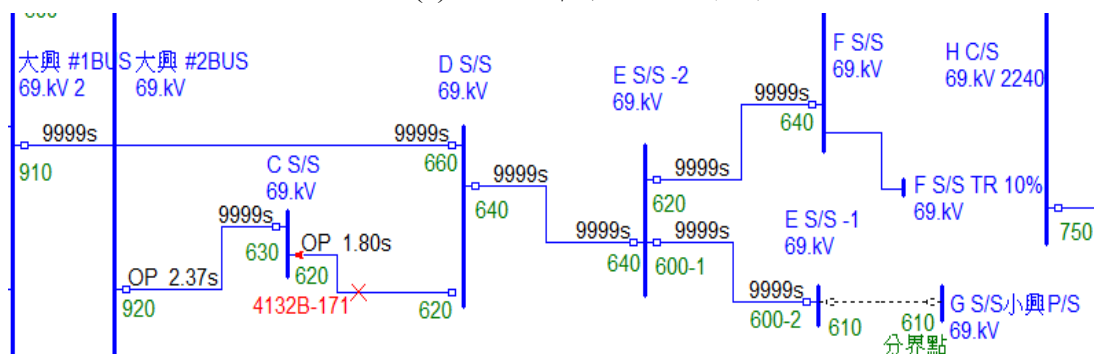
圖 17 50PP2(OCF2S)計算模擬結果圖

(2) TZ2S 模擬計算

依據標置原則，電源 A 端 2.05 秒比 B 端 0.61 秒慢，如圖 18(a)所示，應用公式跑操場，重新模擬開啟 B 端，得 C 端 1.8 秒，如圖 18(b)所示。依跑操場公式計算結果為：TZ2S=2.17 秒，故 TZ2S=2.17 秒。



(a) TZ2S 計算模擬結果圖



(b) 重新模擬開啟 B 端計算模擬結果圖

圖 18 TZ2S 計算跑操場模擬結果圖

6.OCF3S監控Z3S用的故障安全元件設定及TZ3S延遲元件設定

(1) 50PP4(OCF3S)模擬計算

計算 50PP4(OCF3S)及 TZ3S 元件設定，先將轄區內發電廠發電機 take off，如 R G/S、P G/S、V G/S、H G/S 等。模擬等效 TR10%及第二線路段等值阻抗 77.43%處，模擬結果提供故障電流為 2993A，計算結果為：50PP4(OCF3S)=2993/400=7.5A，設定為 5A，如圖 19 所示。

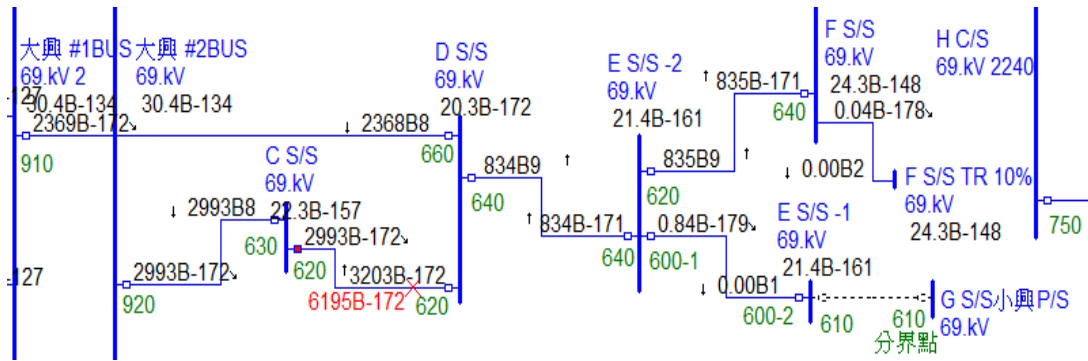
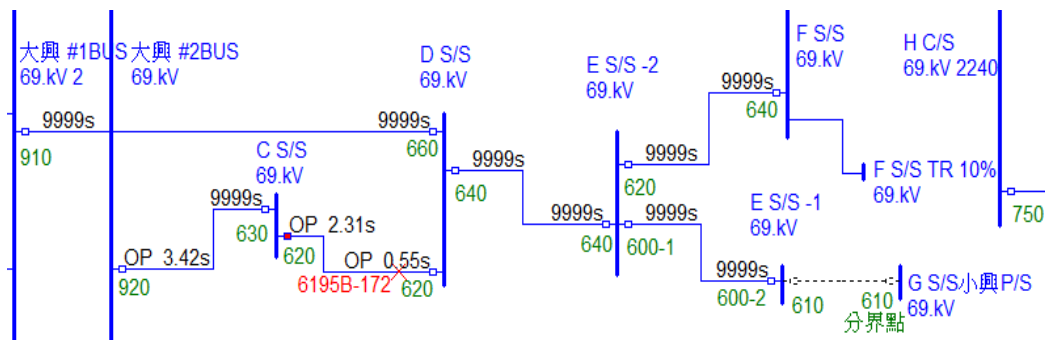


圖19 50PP4(OCF3S)計算模擬結果圖

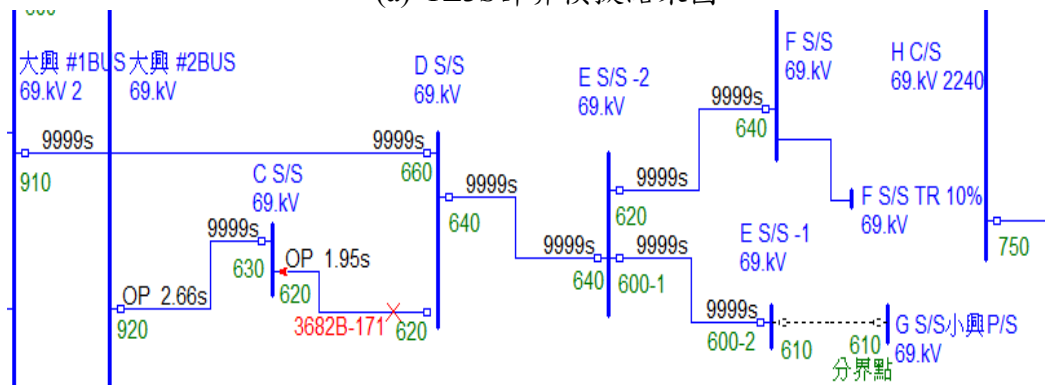
(2) TZ3S 模擬計算

依據標置原則，電源A端2.31秒比B端0.55秒慢，如圖20(a)所示，應用公式跑操場，重新模擬開啟B端，得C端1.95秒，如圖20(b)所示。依跑操場公式計算結果為：

$TZ3S=2.34$ 秒。原 $TZ3S=TZ2S+0.3=2.47$ 秒，計算結果比較取慢者，故 $TZ3S=2.47$ 秒。



(a) TZ3S計算模擬結果圖



(b) 重新模擬開啟B端計算模擬結果圖

圖20 TZ3S計算跑操場模擬結果圖

7.OCF2G監控Z2G用的故障安全元件設定及TZ2G延遲元件設定

(1) 50L2(OCF2G)模擬計算

計算 50L2(OCF2G)及 TZ2G 元件設定，先將轄區內發電廠發電機 take off，如 R G/S、P G/S、V G/S、H G/S 等。模擬等效第二段 50%處，模擬結果提供故障電流為 1162A，

計算結果為： $50L2(OCF2G)=0.6*1162/400=1.7A$ 設定為 1.7A，如圖 21 所示。

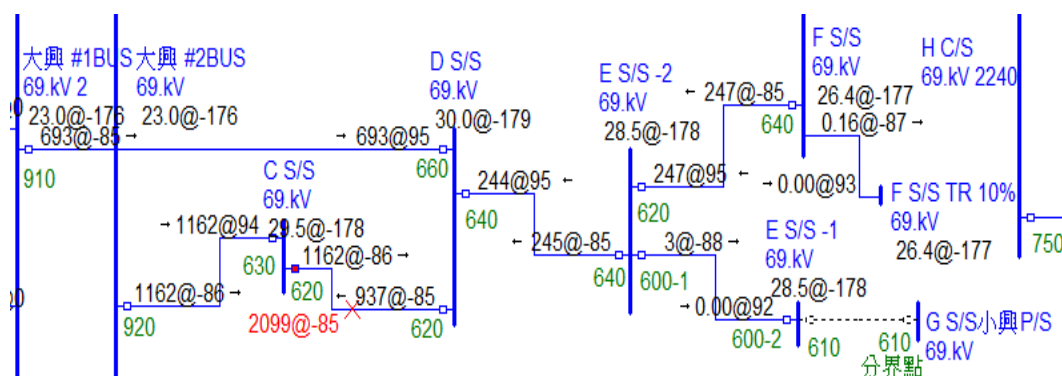
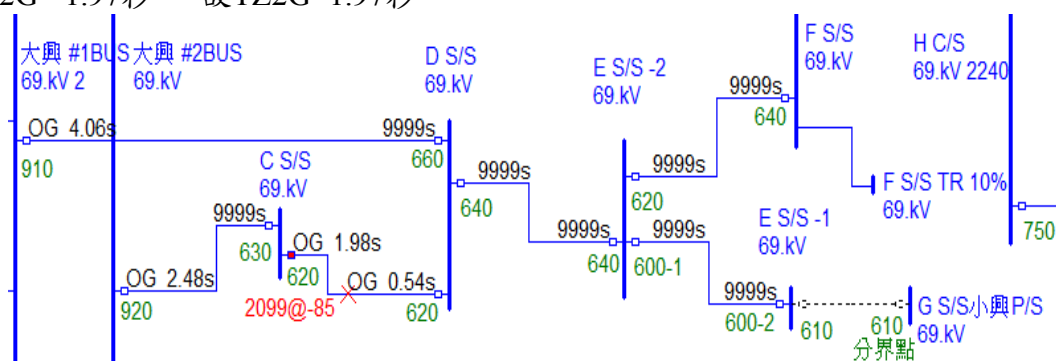


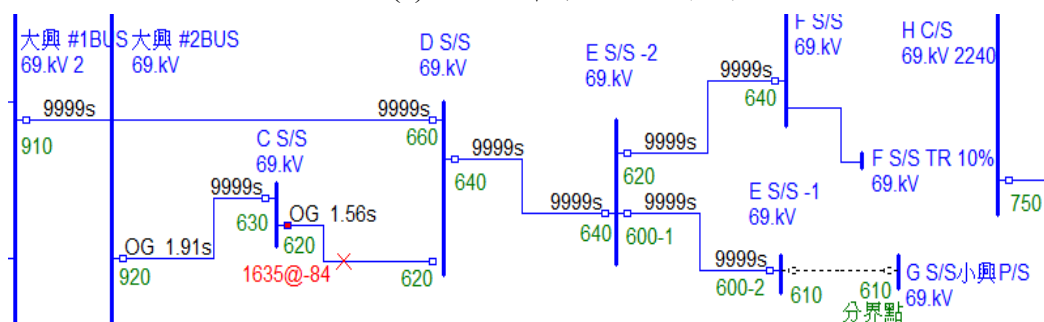
圖 21 50PP2(OCF2S)計算模擬結果圖

(2) TZ2G 模擬計算

依據標置原則，電源A端1.98秒比B端0.54秒慢，如圖22(a)所示，應用公式跑操場，重新模擬開啟B端，得C端1.56秒，如圖22(b)所示。依跑操場公式計算結果為： $TZ2G=1.97$ 秒，故 $TZ2G=1.97$ 秒。



(a) TZ2G計算模擬結果圖



(b) 重新模擬開啟B端計算模擬結果圖

圖 22 TZ2G計算跑操場模擬結果圖

8.OCF3G監控Z3G用的故障安全元件設定及TZ3G延遲元件設定

(1) 50L4(OCF3G)模擬計算

計算 50L4(OCF3G)及 TZ3G 元件設定，先將轄區內發電廠發電機 take off，如 R G/S、P G/S、V G/S、H G/S 等。模擬等效 TR10%及第二線路段等值阻抗 77.43%處，模擬結

果提供故障電流為 1010A，計算結果為：

$50L4(OCF3G) = 0.6 * 1010 / 400 = 1.5A$ ，設定為 1.5A，如圖 23 所示。

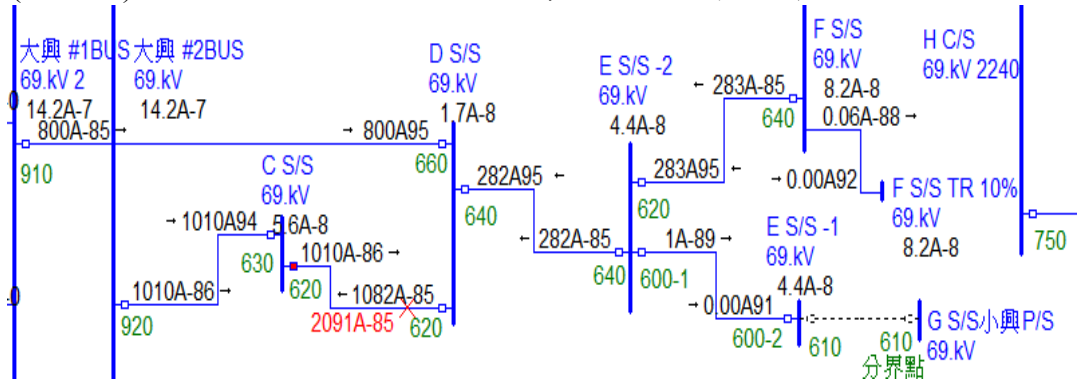
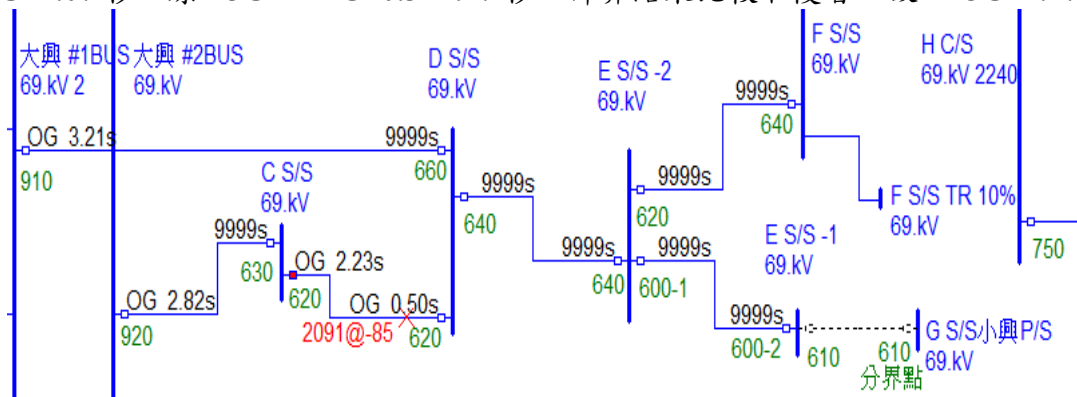


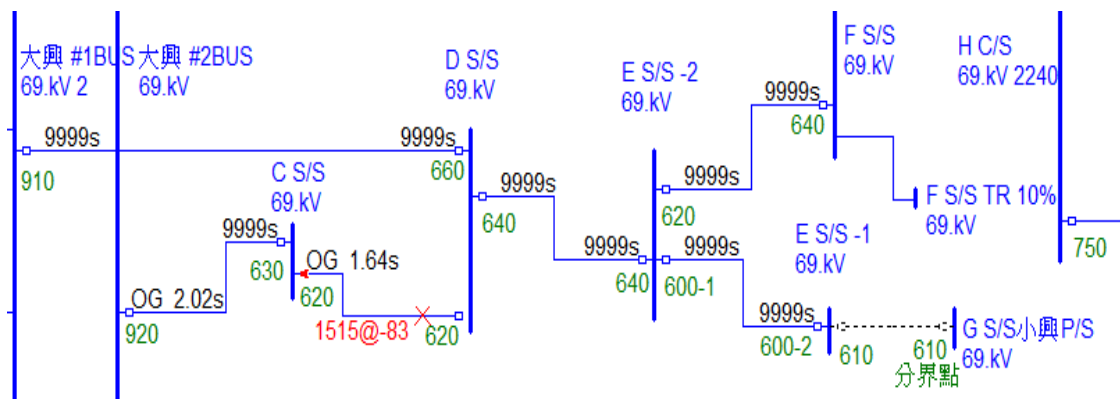
圖 23 50L4(OCF3G)計算模擬結果圖

(2) TZ3G 模擬計算

依據標置原則，電源 A 端 2.23 秒比 B 端 0.5 秒慢，如圖 24(a) 所示，應用公式跑操場，重新模擬開啟 B 端，得 C 端 1.64 秒，如圖 24(b)所示。依跑操場公式計算結果為： $TZ3G = 2.07$ 秒。原 $Z3G = TZ2G + 0.3 = 2.27$ 秒，計算結果比較取慢者，故 $TZ3G = 2.27$ 秒。



(a)TZ3G 計算模擬結果圖



(b)重新模擬開啟 B 端計算模擬結果圖

圖 24 TZ3G 計算跑操場模擬結果圖

Z2MG>Z4MG、XG2>XG4 值，如圖 27 所示。

NO	CB	CTR	MODEL	NO	CB	CTR	MODEL	RESISTANCE	REACTANCE	ITEM
1	SEL-311L	2000	SEL-311L	0	SEL-311L	2000	SEL-311L	0.28398	1.89545	1
0	SEL-311L			1	SEL-311L			1.45431	0.88176	2
0	SEL-311L			2	SEL-311L			0.34931	1.27045	3
0	SEL-311L			3	SEL-311L			1.19424	0.73949	4
3	SEL-311L			4	SEL-311L			0.51797	3.39233	5
3	SEL-311L			5	SEL-311L			1.38712	0.91088	6
3	SEL-311L			6	SEL-311L			0.51553	2.14305	7
3	SEL-311L			7	SEL-311L			0	27.814	8
3	SEL-311L			8	SEL-311L			0	27.814	9

FROM	TO	B	REARER	90	LINE	ANGLE
Z1	Z2	3.036	30.07		2.125	1.417(2)
Z1	Z3	2.987	30.7		2.077	1.417(2)
Z1	Z4	0.643	30.7		0.386	0.91(2)
Z1	Z5	3.036	30.07		1.87	1.118(2)
Z1	Z6	2.987	30.07		1.831	1.118(2)
Z1	Z7	0.643	30.07		0.354	0.41(2)
Z1	Z8	11.191	30.07		6.155	4.1(2)
Z1	Z9	5.164	6.071	30.07	8.197	5.41(2)
Z1	Z10	5.089	5.91588	30.07	8.047	5.31(2)
Z1	Z11	0.882	1.38712	30.07	1.586	1.04(2)
Z1	Z12	19.545	22.845	30.07	30.984	20.8(2)
Z1	Z13	5.164	27.814	30.07	7.899	5.21(2)
Z1	Z14	5.089	0	30.07	7.85	5.23(2)
Z1	Z15	0.882	0	30.07	0.882	0.59(2)
Z1	Z16	19.545	27.814	30.07	22.249	14.9(2)

PHASE RELAY				GROUND RELAY			
Z1P	1.02	Z1N	1.11	R01	5.33	N01	1.09
Z2P	5.47	Z2N	5.47	R02	6.87	N02	5.37
F	Z4P	7.49	Z4N	7.49	R04	10.01	N04
Z1F	20.83	Z1R	20.83	Z1MAG	2.02	Z1ANG	71.76
				Z0MAG	7.46	Z0ANG	76.93
				K0M1	0.896	K0A1	-1.1
				LL	LL	LL	12.83

圖 27 測距 EXCEL 程式計算標置表單模擬結果圖

12. 測距電驛標置 T 接計算模擬修正

(1) 第三區間阻抗值低於第二區間計算原則

模擬計算結果第三區間阻抗值低於第二區間，即 Z2P>Z4P、Z2MG>Z4MG、XG2>XG4 值，依標置原則，若第三區間(含相間及接地)設定阻抗值低於第二區間時，將採用計算原則為第三區間=第一段線路阻抗 + 第二段最小線路之全線段阻抗值，並重新驗證。

(2) B S/S~A S/S 阻抗改為 ZONE3 做變壓器阻抗計算

將 B S/S~A S/S 線路參數之正相阻抗及零相阻抗歐姆值填入測距電驛計算標置表單，且原本公式 ZONE3 為變壓器阻抗×0.1 改為第二段線路阻抗×1。

13. T 接線路測距 EXCEL 程式計算標置表單模擬結果

經以大興 P/S #940 測距電驛

(SEL-311L)為例，依步驟將阻抗參數及計算結果逐項填入 EXCEL 標置計算表單程式，模擬結果如圖 28 所示。

NO	CB	CTR	MODEL	NO	CB	CTR	MODEL	RESISTANCE	REACTANCE	ITEM
1	SEL-311L	2000	SEL-311L	0	SEL-311L	2000	SEL-311L	0.28398	1.89545	1
0	SEL-311L			1	SEL-311L			1.45431	0.88176	2
0	SEL-311L			2	SEL-311L			0.34931	1.27045	3
0	SEL-311L			3	SEL-311L			1.19424	0.73949	4
3	SEL-311L			4	SEL-311L			0.51797	3.39233	5
3	SEL-311L			5	SEL-311L			1.38712	0.91088	6
3	SEL-311L			6	SEL-311L			0.51553	2.14305	7
3	SEL-311L			7	SEL-311L			0	27.814	8
3	SEL-311L			8	SEL-311L			0	27.814	9

FROM	TO	B	REARER	90	LINE	ANGLE
Z1	Z2	3.036	30.07		2.125	1.417(2)
Z1	Z3	2.987	30.7		2.077	1.417(2)
Z1	Z4	0.643	30.7		0.386	0.91(2)
Z1	Z5	3.036	30.07		1.87	1.118(2)
Z1	Z6	2.987	30.07		1.831	1.118(2)
Z1	Z7	0.643	30.07		0.354	0.41(2)
Z1	Z8	11.191	30.07		6.155	4.1(2)
Z1	Z9	5.164	6.071	30.07	8.197	5.41(2)
Z1	Z10	5.089	5.91588	30.07	8.047	5.31(2)
Z1	Z11	0.882	1.38712	30.07	1.586	1.04(2)
Z1	Z12	19.545	22.845	30.07	30.984	20.8(2)
Z1	Z13	5.164	27.814	30.07	7.899	5.21(2)
Z1	Z14	5.089	0	30.07	7.85	5.23(2)
Z1	Z15	0.882	0	30.07	0.882	0.59(2)
Z1	Z16	19.545	27.814	30.07	22.249	14.9(2)

PHASE RELAY				GROUND RELAY			
Z1P	1.02	Z1N	1.11	R01	5.33	N01	1.09
Z2P	5.47	Z2N	5.47	R02	6.87	N02	5.37
F	Z4P	7.49	Z4N	7.49	R04	10.01	N04
Z1F	20.83	Z1R	20.83	Z1MAG	2.02	Z1ANG	71.76
				Z0MAG	7.46	Z0ANG	76.93
				K0M1	0.896	K0A1	-1.1
				LL	LL	LL	12.83

圖 28 大興~B S/S 分歧線路 Z3<Z2 修正後執行結果圖

肆、測距電驛標置自動計算程式撰寫

一、測距標置自動計算程式設計流程
測距標置自動計算程式語法的編撰架構，如圖 29 所示。

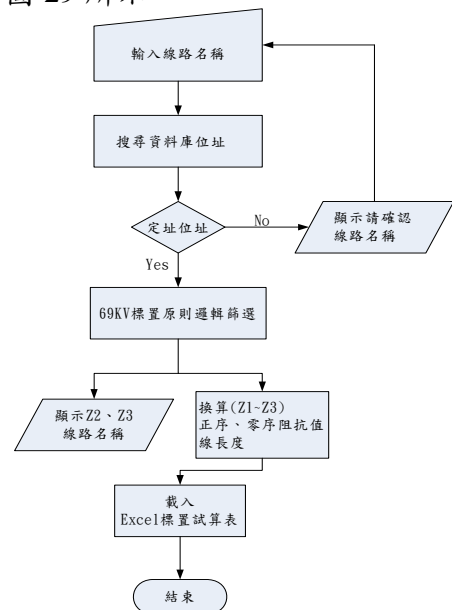


圖 29 測距標置自動計算程式設計流程圖

二、測距標置自動計算程式自訂表單規劃

測距標置自動計算程式使用介面規劃，包含輸入區塊為線路名稱、輸出區塊為顯示程式執行結果 Z2 線段與 Z3 線段、程式執行鍵與結束鍵等，如圖 30 所示。

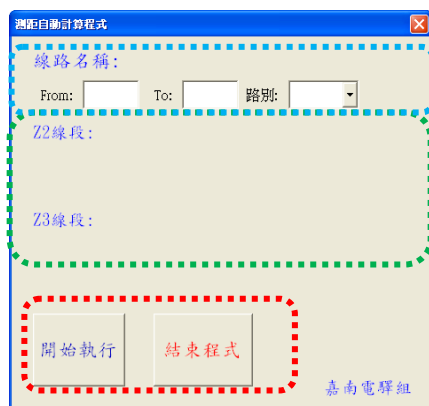


圖 30 測距標置自動計算程式使用視窗圖

三、測距標置自動計算程式 VB 程式編輯

將上述表單輸入、輸出及程式執行等區塊，以 VB 程式碼編輯，並將 69KV 標置原則之判斷邏輯寫入表單中的副程式及自訂函數中，如圖 31 所示。

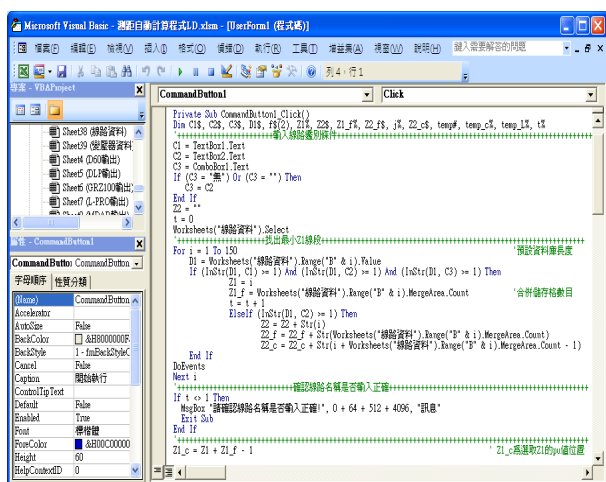


圖 31 測距標置自動計算程式 VB 程式編輯圖

四、測距標置自動計算程式訊息視窗

當使用者輸入線路名稱時有誤或線路名稱不完整時，程式搜尋資料庫無法找到使用者所需線路名稱，程式會自動顯示訊息視窗，告知使用者輸入線路名稱有誤，如圖 32 所示。另一種情況也可能造成訊息視窗的出現，乃所屬 P/S 轄區線路常數或變壓器阻抗資料載入測距標置自動計算程式資料庫不完整。

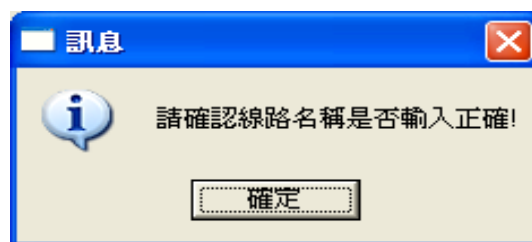


圖 32 測距標置自動計算程式訊息視窗圖

五、測距標置自動計算程式 VB 程式碼實現

經 VB、VBA 程式碼之規劃設計與研究，最後整合 VB 優越的開發程式能力與 EXECL 的強大報表功能來實現自動化報表計算功能，Excel VBA 的運用需先了解 Excel 的物件模型，便有利於程式語法撰寫與資料轉換應用，由 VBA 程式將 69KV 系統標置原則以程式碼實現，再利用 VBA 表單介面與 Excel 標置試算表作連結，自動將資料匯入，測距標置自動計算程式 VB 程式碼即可實現。測距標置自動計算程式 VB 程式碼可參考附錄一。

六、線路常數及變壓器阻抗資料載入程式資料庫方法

為使測距標置自動計算程式 VB 程式碼即可實現，首先將大興 P/S 轄區之線路常數及變壓器阻抗資料載入程式資料庫。
(一) 上網擷取系統變更所需之大興 P/S 轄區線路常數如表 7 所示。及二次變電所變壓器阻抗，如表 8 所示。

表 7 大興 P/S 轄區線路常數表

編號	線路區間	電壓 (KV)	導體	長度 (KM)	正相阻抗 Ri(Ω)+jXi(Ω) Ri(pu)+jXi(pu)	零相阻抗 R0(Ω)+jX0(Ω) R0(pu)+jX0(pu)
1	A S/S	69	ACSR954 (pu)	18.812	0.78184+j4.06687 0.01474+j0.08543	3.37482+j15.22625 0.07046+j0.319870
2	A S/S-B S/S	69	AAC795 XLPE1000mm ² (pu)	13.225	1.07652+j5.57698 0.29060+j0.33870 0.02872+j0.12427	4.57982+j20.31625 1.00550+j1.835800 0.11733+j0.465370
3	A S/S-B S/S	69	ACSR954 XLPE1000mm ² (pu)	12.480	0.87485+j5.06938 0.00710+j0.01920 0.01852+j0.10690	4.18080+j18.97958 0.03220+j0.105700 0.08850+j0.400950
4	B S/S-F S/S	69	ACSR954 XLPE1000mm ² (pu)	17.6480	1.51067+j7.29039 0.00680+j0.01820 0.03187+j0.15354	6.18562+j26.95908 0.02060+j0.089200 0.13038+j0.568240
5	F S/S-E S/S	69	ACSR954 XLPE1000mm ² (pu)	16.5330	1.41522+j6.82978 0.02970+j0.21610 0.03035+j0.14802	5.79482+j25.25581 0.17910+j0.140700 0.12550+j0.533540
6	E S/S-G S/S	69	AAC795 ACSR795 XLPE1000mm ²	5.1000 6.2400 0.2280	0.41514+j2.15067 0.53414+j2.57774 0.01850+j0.06400	1.76613+j7.834620 2.18712+j9.532220 0.09510+j0.269900

表 8 大興 P/S 轄區二次變電所變壓器常數表

序號	發變電所	編號	製造廠家	容量 (MVA)	現在使用分接抽頭	接續方式	阻抗值 (%)	冷卻方式	製造日期	製造號碼	備註
1	A S/S	#1MTr. #2MTr.	大同 士林	25000 25000	69/11.95 69/11.95	Δ-γ Δ-γ	9.25 9.43	OA/FA1/FA2 OA/FA1/FA2	1988/07 1980/12	8820040 690035	
2	D S/S	#1MTr. #2MTr. #3MTr.	華城 長興 大同	25000 25000 25000	69/11.95 69/11.95 69/11.95	Δ-γ Δ-γ Δ-γ	8.8 9.25 9.17	FOA OA/FA1/FA2 OA/FA1/FA2	1988/09 2000/04 1996/05	244181 P1527 9620030	
3	C S/S	#1MTr. #2MTr.	華城 士林	25000 25000	69/11.95 69/11.95	Δ-γ Δ-γ	8.91 9.03	OA/FA1/FA2 OA/FA1/FA2	1985/05 1994/05	231337 830012	
4	B S/S	#1MTr. #2MTr.	華城 士林	25000 25000	69/11.95 69/11.95	Δ-γ Δ-γ	9.19 8.70	OA/FA1/FA2 OA/FA1/FA2	1992/08 1979/01	268404 670050	

(二)直接全選複製分別貼入測距自動計算程式 Excel 試算表的線路資料與變壓器資料頁籤內(sheet)即可完成。貼入從 A1 儲存格貼起,如表 9、10 所示。

表 9 全選大興 P/S 轄區線路常數複製貼入頁籤內表

編號	線路區間	電壓 (KV)	導體	長度 (KM)	正相阻抗 Ri(Ω)+jXi(Ω) Ri(pu)+jXi(pu)	零相阻抗 R0(Ω)+jX0(Ω) R0(pu)+jX0(pu)
1	大興-A S/S	69	ACSR954 (pu)	10.012	0.70184+j4.06687 0.01474+j0.08543	3.35402+j15.22625 0.07046+j0.319870
2	A S/S-B S/S	69	AAC795 XLPE1000mm ² (pu)	13.225	1.07652+j5.57698 0.29060+j0.33870 0.02872+j0.12427	4.57982+j20.31625 1.00550+j1.835800 0.11733+j0.465370
3	大興-B S/S	69	ACSR954 XLPE1000mm ² (pu)	12.480	0.87485+j5.06938 0.00710+j0.01920 0.01852+j0.10690	4.18080+j18.97958 0.03220+j0.105700 0.08850+j0.400950
4	B S/S-F S/S	69	ACSR954 XLPE1000mm ² (pu)	17.6480	1.51067+j7.29039 0.00680+j0.01820 0.03187+j0.15354	6.18562+j26.95908 0.02060+j0.089200 0.13038+j0.568240
5	F S/S-E S/S	69	ACSR954 XLPE1000mm ² (pu)	16.5330	1.41522+j6.82978 0.02970+j0.21610 0.03035+j0.14802	5.79482+j25.25581 0.17910+j0.140700 0.12550+j0.533540
6	E S/S-G S/S	69	AAC795 ACSR795 XLPE1000mm ²	5.1000 6.2400 0.2280	0.41514+j2.15067 0.53414+j2.57774 0.01850+j0.06400	1.76613+j7.834620 2.18712+j9.532220 0.09510+j0.269900

表 10 全選大興 P/S 轄區變壓器常數複製貼入頁籤內表

序號	發變電所	編號	製造廠家	容量 (MVA)	現在使用分接抽頭	接續方式	阻抗值 (%)	冷卻方式	製造日期	製造號碼	備註
1	A S/S	#1MTr. #2MTr.	大同 士林	25000 25000	69/11.95 69/11.95	Δ-γ Δ-γ	9.25 9.43	OA/FA1/FA2 OA/FA1/FA2	1988/07 1980/12	8820040 690035	
2	D S/S	#1MTr. #2MTr. #3MTr.	華城 長興 大同	25000 25000 25000	69/11.95 69/11.95 69/11.95	Δ-γ Δ-γ Δ-γ	8.8 9.25 9.17	FOA OA/FA1/FA2 OA/FA1/FA2	1988/09 2000/04 1996/05	244181 P1527 9620030	
3	C S/S	#1MTr. #2MTr.	華城 士林	25000 25000	69/11.95 69/11.95	Δ-γ Δ-γ	8.91 9.03	OA/FA1/FA2 OA/FA1/FA2	1985/05 1994/05	231337 830012	
4	B S/S	#1MTr. #2MTr.	華城 士林	25000 25000	69/11.95 69/11.95	Δ-γ Δ-γ	9.19 8.70	OA/FA1/FA2 OA/FA1/FA2	1992/08 1979/01	268404 670050	

伍、測距標置自動計算程式的應用與驗證

配合智慧電網及為提高系統供電可靠性,台電 69kV 輸電線電驛陸續汰換為數位式電驛,每回線保護設備採用一套兩具多功能線路差電流電驛保護。汰換過程中除現場硬體施工與電驛測試作業外,標置協調計算更是耗時。開發測距自動計算程式替代人工計算方式,可更快速正確得到電驛標置設定值。

一、測距自動計算程式使用與驗證

依據人工方式篩選線路常數、變壓器阻抗值及核對 Z1~Z3 之正序及零序阻抗值並換算成歐姆值後填入表格內,此方式既費時又費力,以大興 P/S #920~C S/S 測距電驛為例,運用撰寫之自動程式來計算,可很快速得到驗證。

二、自動計算程式輸入線路名稱

測距自動計算程式撰寫,開啟測距自動計算程式於線路名稱欄輸入大興 P/S 與 C S/S,並按下開始執行,程式將依撰寫程式順序自動載入資料並即時顯示篩選結果,其步驟如圖 33 所示。

三、自動計算程式參數資料連結

於 Excel 標置試算表內選擇電驛 GRL 頁籤(sheet)，即可獲得電驛所需測距標置設定參數，如圖 34 所示。由此 GRL 頁籤中可知標置參數與人工篩選輸入計算結果相同，因此驗證出測距自動計算程式輸出結果正確。



(a) 測距標置設定參數表單

(c)自動計算程式參數資料連結

圖 33 測距自動計算程式使用步驟圖

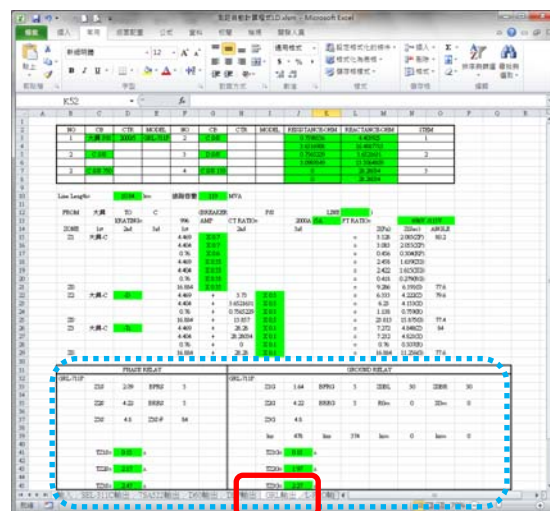
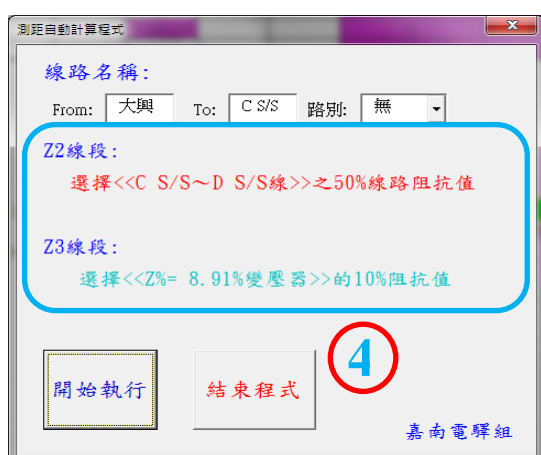


圖 34 測距自動計算程式標置設定參數輸出結果圖



(b)自動計算程式介面畫面



四、測距自動計算程式 T 分歧應用與驗證

輸電線路保護若採 T 分歧來運用，對測距保護標置計算是比較煩雜的，另持續研發測距自動計算程式適用於 T 分歧功能，其設計方式乃將目前已完成之測距自動計算程式進行規劃設計修改測試，使介面新增 T 接端輸入欄位，有助於程式執行與判斷，如圖 35 紅框標示處所示。



圖 35 T 分歧測距自動計算程式使用介面圖

由大興 P/S ~ B S/S 分歧北大線路為例，將測距自動計算程式輸入三端名稱為大興、B S/S、北大後按下即開始執行，測距自動計算程式即自動找尋相關資料比對計算，計算完成標置參數輸出結果如圖 36 所示與人工篩選輸入計算結果相同。因模擬計算結果第三區間阻抗值低於第二區間，即 $Z2P > Z4P \cdot Z2MG > Z4MG \cdot XG2 > XG4$ 值，依標置原則，重新驗證計算輸出結果如圖 37 所示與人工篩選輸入計算結果相同，如圖 28 所示。證明了測距自動計算程式應用於 T 接的可行性。

圖 36 測距自動計算程式於大興 P/S~B S/S 分歧線路執行結果圖

(a)大興 P/S~B S/S T 分歧北大線路資料輸入畫面圖

(a) 大興 P/S~B S/S T 分歧北大線路資料輸入畫面圖

(b) 大興 P/S~B S/S T 分歧北大線路執行結果圖

圖 37 大興 P/S~B S/S 分歧線路 $Z3 < Z2$ 修正執行結果圖

(b)大興 P/S~B S/S T 分歧北大線路執行結果圖

陸、結論

系統變更時原標置協調，應先將系統資料更新，再行標置協調計算，但往往系統之複雜度，因人之疏忽錯誤，都可能造成標置計算錯誤結果，致使人為工作效率隨之下降，透過自動程式計算即可節省時間，提高工作效率。

柒、參考文獻

- [1] IEEE Std C37.113-1999, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines –Description, New York, 1999.
- [2] Paul F. Mcguire Donald M. Macgregor, Russell W. Patterson, A. T. Giuliante and Glenn R. Holt, “Automated Setting of Relays for Transmission Line Pilot Protection”, CIGRE, B5-202, 2004.
- [3] SEL-311L Protection and Automation System. Instruction Manual, SEL 2011.
- [4] 台灣電力股份有限公司供電處 69kV 電驛標置原則，99 年 1 月第 6 次修正。
- [5] 台灣電力公司供電處網站電力系統保護電驛規劃準則，102 年 2 月修正。
- [6] 李宏任，「測距電驛的理論與沿革」，電機月刊第六卷第 11 期，1996 年 11 月號。

附錄一 測距標置自動計算程式 VB 程式碼

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
Dim C1$, C2$, C3$, D1$, f$(2), Z1%, Z2$, Z1_f%, Z2_f$, j%, Z2_c$, temp#, temp_c%, temp_L%, t%
```

```
'+++++++輸入線路鑑別條件
```

```
+++++++  
+++++++
```

```
C1 = TextBox1.Text
```

```
C2 = TextBox2.Text
```

```
C3 = ComboBox1.Text
```

```
If (C3 = "無") Or (C3 = "") Then
```

```
    C3 = C2
```

```
End If
```

```
Z2 = ""
```

```
t = 0
```

```
Worksheets("線路資料").Select
```

```
'+++++++找出最小 Z1 線段
```

```
+++++++  
+++++++
```

```
For i = 1 To 150
```

```
'預設資料庫長度
```

```
    D1 = Worksheets("線路資料").Range("B" & i).Value
```

```
    If (InStr(D1, C1) >= 1) And (InStr(D1, C2) >= 1) And (InStr(D1, C3) >= 1) Then
```

```
        Z1 = i
```

```
        Z1_f = Worksheets("線路資料").Range("B" & i).MergeArea.Count '合併儲存格數目
```

```
        t = t + 1
```

```
    ElseIf (InStr(D1, C2) >= 1) Then
```

```

Z2 = Z2 + Str(i)
Z2_f = Z2_f + Str(Worksheets("線路資料").Range("B" & i).MergeArea.Count)
Z2_c = Z2_c + Str(i + Worksheets("線路資料").Range("B" & i).MergeArea.Count - 1)

End If
DoEvents
Next i

'++++++++確認線路名稱是否輸入正確
+++++++
+++

If t <> 1 Then
MsgBox "請確認線路名稱是否輸入正確!", 0 + 64 + 512 + 4096, "訊息"
Exit Sub
End If

'++++++++
+++++++

Z1_c = Z1 + Z1_f - 1 'Z1_c 為選取 Z1 的 pu 值位置
Dim L As Range
Set L = Worksheets("線路資料").Range(Cells(Z1, 6), Cells(Z1_c - 1, 6))
LL = Application.WorksheetFunction.Sum(L) '本線段總長度
A = Split(LTrim(Z2)) 'Split 將字串變字串陣列
B = Split(LTrim(Z2_f)) 'ABC 為位置陣列
C = Split(LTrim(Z2_c))

'++++++++找出最小 Z2 線段
+++++++
+++++++

temp = 1
temp_c = 0
For j = LBound(C) To UBound(C)
If Val(Right((Worksheets("線路資料").Range("H" & Val(C(j))).Value), 8)) < temp Then
temp = Val(Right((Worksheets("線路資料").Range("H" & Val(C(j))).Value), 8))
temp_c = Val(C(j)) '最小 Z2 線段的位置
temp_L = Val(A(j)) '最小 Z2 線段名稱的位置
End If

```

DoEvents

Next j

```
'+++++
+++++
```

```
Label2.Caption = "選擇<<+ Trim((Worksheets("線路資料").Range("B" & temp_L).Value)) + ">>之 50%線路阻抗值"
'最小 Z2 線段的名稱顯示
```

Worksheets("輸入").Select

Worksheets("輸入").Range("D10") = LL

```
'+++++填入 Z1 資料
+++++
++
```

Worksheets("輸入").Range("J3") = Val(Left((Worksheets("線路資料").Range("G" & Z1_c).Value), 8)) * 47.61

Worksheets("輸入").Range("L3") = Val(Right((Worksheets("線路資料").Range("G" & Z1_c).Value), 8)) * 47.61

Worksheets("輸入").Range("J4") = Val(Left((Worksheets("線路資料").Range("H" & Z1_c).Value), 8)) * 47.61

Worksheets("輸入").Range("L4") = Val(Right((Worksheets("線路資料").Range("H" & Z1_c).Value), 8)) * 47.61

Worksheets("輸入").Range("C3") = C1

Worksheets("輸入").Range("G3") = C2

If C3 = C2 Then

Worksheets("輸入").Range("L16") = ""

Else

Worksheets("輸入").Range("L16") = C3

End If

```
'+++++填入 Z2 資料
+++++
+++++
```

Worksheets("輸入").Range("J5") = Val(Left((Worksheets("線路資料").Range("G" & temp_c).Value), 8)) * 47.61

Worksheets("輸入").Range("L5") = Val(Right((Worksheets("線路資料").Range("G" & temp_c).Value), 8)) * 47.61

Worksheets("輸入").Range("J6") = Val(Left((Worksheets("線路資料").Range("H" & temp_c).Value), 8)) * 47.61

Worksheets("輸入").Range("L6") = Val(Right((Worksheets("線路資料").Range("H" & temp_c).Value), 8)) * 47.61

Worksheets("輸入").Range("C5") = C2

Worksheets("輸入").Range("G5") = ""

DoEvents

```

'++++++找出最小 TR_Z%線段
                                     ++++++
                                     ++++++

Dim Z3_U%, Z3_L%, SS$, Z3_p#, MTR%
C2 = Trim(C2)
For k = 1 To 100
    SS = Trim(Worksheets("變壓器資料").Range("B" & k).Value)
    If (InStr(SS, Right(C2, 1)) >= 1) And InStr(SS, Left(C2, 1)) >= 1 Then
        Z3_U = k
        Z3_L = k + (Worksheets("變壓器資料").Range("B" & k).MergeArea.Count) - 1

    End If
    DoEvents
Next k

Worksheets("變壓器資料").Select
Dim U As Range
If Z3_U <> 0 Then
Set U = Worksheets("變壓器資料").Range(Cells(Z3_U, 8), Cells(Z3_L, 8))
Z3_p = Application.WorksheetFunction.Min(U)
MTR = Application.WorksheetFunction.Match(Z3_p, U, 0)

    Else
        Z3_p = 9                '預設 TR=9%

End If

Label3.Caption = "選擇<<Z%=" + Str(Z3_p) + "%變壓器>>的 10%阻抗值"

'++++++填入 Z3 資料
                                     ++++++
                                     ++++++

Worksheets("輸入").Select
Worksheets("輸入").Range("J7") = 0
Worksheets("輸入").Range("J8") = 0

```

```
Worksheets("輸入").Range("L7") = (Z3_p / 15) * 47.61
Worksheets("輸入").Range("L8") = (Z3_p / 15) * 47.61
If Z3_U <> 0 Then
Worksheets("輸入").Range("C7") = C2 + Str(740 + (MTR * 10))
Worksheets("輸入").Range("G7") = C2 + Str(140 + (MTR * 10))
    Else
        Worksheets("輸入").Range("C7") = " TR 750 "
        Worksheets("輸入").Range("G7") = "TR 150"
    End If
DoEvents
End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
UserForm1.Hide
Unload UserForm1
End Sub

Private Sub UserForm_Initialize()
new_item = Array("無", "一路", "二路", "紅", "白")
ComboBox1.List = new_item
End Sub
```

地下電纜部分放電應用理論技術

台電綜合研究所 鄭強
崑山科技大學 王瑋民
成功大學 陳建富

壹、前言

固體絕緣物質廣泛應用於高壓工程中，令帶電導體與其他元件間無電流流動，並於電路間產生絕緣功能。一個優良的固體絕緣物，須具備低介電損失值、高機械強度、絕緣物內不含氣體及水分等物質，並具有耐熱性及抗化學劣化性質。固體絕緣物之電壓崩潰強度，較氣體、液體介質為高。當固體介質電壓達崩潰點擊穿，將引起永久性破壞；而氣體及液體介質於崩潰後，經由停電、再送電操作程序，氣體介質即可完全地恢復絕緣性能，與液體介質可部分恢復其絕緣性能有所不同。

理想固體介質在其分子晶格結構內，沒有自由電子，介質內所有的電子，都是緊密束縛著其組成分子。介質內部之束縛力矩，用以反抗電子的無規則運動。因此以外部能量維持介質內部電場時，不產生洩漏電流，致介質的導電率為零。目前沒有一個實際的物質是理想介質，然而多數在高壓工程中所採用的介質材料，其導電率不為零，但也只是良導體的 10^{20} 分之一。當此介質置於一小於其崩潰強度的電場中，僅有一幾乎可將其忽略的微小電流流動，因而此類低導電率的材料，可以被視為理想介質。

當介質處於正常狀況時，介質內之正電荷中心與負電荷中心重合在一起，具有無規則運動方向之特徵；若該介質在電場作用下，呈現出正、負電荷對分離並形成束縛型電荷分布之極化現象；這些束縛型電荷與自由電荷不相同，束縛電荷是經由正、負電荷所產生而來，因而可藉由電通

量向量說明介質材料的極化效應。若逐漸增加電場至某一相對高的電場強度時，可將電子完全地自分子內拉出來，此時介質材料就會進入崩潰(breakdown)區域，在崩潰場強作用下的介質，其既有絕緣性質，將改變如導體般具有導電性質。介質材料在遭受電擊穿前，能夠承受最大電場值，稱為該材料的介電強度(dielectric strength)。而介電係數與介質之靜電容值大小有關，無關其介電強度值。

貳、介質崩潰強度

固體介質分子之機械崩潰現象甚為複雜，其崩潰電壓強度與加壓時間有關，例如固體介質於施加介質崩潰電壓，可於短時間令其分子結構發生電氣機械破壞(electro-mechanical)；較上述電壓稍低情況下，可產生暗流(streamer)；其次再降低電壓值，增加加壓時間，即可進入熱破壞區域中；最後化學性老化之加壓值最低，但需要更長的加壓作用時間。介質破壞分類如下：(1)離子崩潰(ionic breakdown)，(2)電氣機械崩潰(electro-mechanical breakdown)，(3)電爬及電樹(treeing, tracking)，(4)熱崩潰(thermal breakdown)，(5)電化學崩潰(electro-chemical breakdown)，(6)內部放電(internal discharge)等。

若屬同質性、無缺陷之固體高分子絕緣材料，在試驗室中，輔以適當之試驗環境，其本質崩潰強度及崩潰電壓可達 10 MV/cm；事實上應用於高壓工程中的絕緣物，其崩潰電壓遠低於此數值。電壓崩潰

多起源於電氣機械應力，當固體介質於高場強作用下，介質之靜電場應力大於其可承受的應力時，即可導致介質發生電氣擊穿故障。

固體介質之本質崩潰 (intrinsic breakdown) 於 10^{-8} 秒之加壓時間內，即可令固體介質驟然改變其固有性質之電壓強度，稱之為本質電氣強度。本質電氣強度係試驗室之結果，並未受到現場施作環境因素干擾與影響，其特性與材料結構、純度、汙染物及溫度有關。介質之電子、離子形成導電性通道後，即可產生電子崩潰。介質於關鍵性場強下，於電離聚集累積作用下，逐漸在電極之間的介質上崩解形成通道，即形成暗流崩潰 (streamer breakdown)，此一現象，於試驗室中施加多次衝擊電壓後，可逐漸形成導電性通道。固體介質之厚度與崩潰電壓值有關，但是在介質上所產生的熱，可提高電流的傳導性，當交流或直流場在介質產生的熱值，大於其散熱值時，即產生熱崩潰。經長期運轉，在絕緣物表面發展出的導電路徑，稱之為電爬 (tracking)，電爬於絕緣物表面逐漸形成崩潰路徑；電氣化學崩潰則為介質老化現象。圖 1 顯示上述介質劣化與崩潰電壓及時間之關係曲線。

若固體絕緣物內部存有空洞 (void) 或空腔 (cavity)，產生之放電現象，稱為“部分放電 (partial discharge)”。部分放電能量消散於空洞壁，並於空洞中生成氣體，其影響除降低絕緣材料壽命外，最終可導致絕緣崩潰。若更進一步調查高壓絕緣組成之缺陷與弱點，包含局部空洞、裂縫或滲入雜質等缺陷型態，而此類型介質缺陷，大多與介質老化現象無直接關聯性，亦難應用 $\tan\delta$ 消散因數之絕緣特性試驗及耐壓試驗察覺此類型缺陷。空洞、縫隙類型的微小介質缺陷，可導致

場強集中，並在絕緣材料內部發生放電現象。

在介質內部產生的放電脈衝訊號，可以幅值、相位角度、週期性圖譜呈現其特徵，放電脈衝亦可能無任何週期變化關係。介質之部分放電檢測技術，即為針對局部介質缺陷發展而出的一種絕緣劣化檢測技術，適用於電力電纜、變壓器與旋轉電機中；本文將闡述與討論電力電纜介質之局部缺陷放電特性與理論。

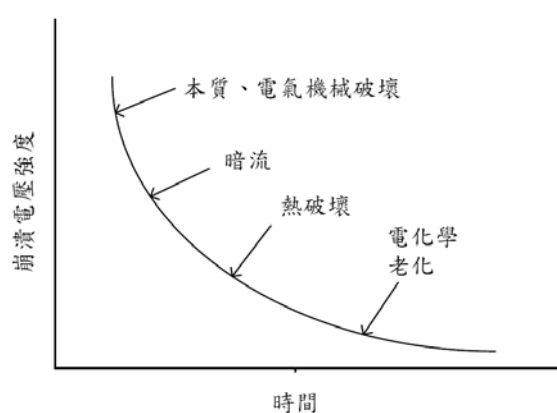


圖 1 崩潰電壓強度-時間曲線

參、電纜系統介質缺陷類型

1950年代高壓電力設備，陸續採用聚乙烯 (PE) 及環氧樹脂 (epoxy) 等新型高分子絕緣材料，聚乙烯材料多應用擠壓技術製造成型，而環氧樹脂則應用模鑄技術加以成型。採用聚乙烯及環氧樹脂材料製作之絕緣物，在其擠壓或模鑄製程中，易產生空洞缺陷。於交流加壓環境下，若高分子絕緣物中存在空洞缺陷，其介質崩潰擊穿的危險性，與存有千百個空洞缺陷之油浸紙質絕緣材料相當。通過耐壓試驗、衝擊電壓試驗之電力設備，亦須通過部分放電檢測，以保證其絕緣系統不存在空洞缺陷。參考部分放電儀器之檢測靈敏度，約略可檢

測出電纜絕緣系統 $10\times 100\ \mu\text{m}$ 大小之空洞缺陷；大海撈針諺語，足以形容電纜系統部分放電檢測技術難度與挑戰性。現代高壓絕緣工程中，部分放電檢測技術已成為不可或缺絕緣性能診斷工具之一。

擠壓成型電力電纜是以聚乙烯或是乙烯-丙烯橡膠(EPR)為主要絕緣材料，在擠壓成型各製程階段中，可能在電力電纜固體絕緣物中產生空洞缺陷。若絕緣物質原材料中含有雜質，或於製程滲入雜質，可導致絕緣介質發生缺陷與障礙。

在製程中形成的絕緣缺陷，可能均勻的分布在電纜縱斷面上，或是在橫斷面上呈現局部點狀缺陷之型態。電纜介質之空洞類型缺陷，可能位於導體與絕緣體介面間、絕緣層與屏蔽層介面上或是在絕緣體中；其次局部點狀缺陷，分布狀態具有多樣性，分布半徑亦無固定大小與特徵；例如：因製程瑕疵而產生封閉於絕緣體中的缺陷，多呈現出球狀或是橢圓狀空洞，如圖2所示；若是空洞位於擠壓成型屏蔽層介面處，多形成薄、扁平之長條狀空洞。

空洞缺陷在電場作用方向上，產生離子化的程度，與橫跨在空洞上的電位梯度、空洞中氣體成分、氣體壓力高低、空洞之厚薄或是直徑大小等因數有關。若電應力達到空洞崩潰強度時，在空洞缺陷上即可發展出部分放電。若其熄滅電壓高於運轉峰值電壓，則此種空洞缺陷，不具有立即產生絕緣劣化的威脅性；反之，部分放電現象將連續存在於空洞缺陷上，介質在火花放電作用下，將使得絕緣性能降低及介質劣化，最終可導致設備之絕緣崩潰，並發生擊穿故障。

參考文獻指出，早期以合成橡膠或是聚乙烯材料製造之電纜，在其蒸氣交連之製程中，無可避免地易在其絕緣層中產生空洞缺陷，當時部分放電檢測技術，尚於發展階段未臻成熟，因而缺少可有效檢測空洞缺陷之品管儀器，因而當時多以改善製程之源頭管控措施，藉以消除空洞之形成，降低空洞缺陷發生機率，以提升擠壓製程良率，並達成提升電纜品質的目的。

近年來擠壓成型電纜製程採乾式交連及一次壓出成型技術，已大幅改善並降低空洞缺陷之問題。現今聚乙烯、交連聚乙烯(XLPE)以及乙烯-丙烯橡膠(EPR)等電纜成品，空洞類型缺陷已相當罕見，而較不具威脅性的細微空洞，亦僅存在於鬆散或是加硫不良之半導電屏蔽層介面或是絕緣層壁面上；但亦有極少數案例顯示電纜絕緣層中，亦有出現為數眾多的空洞缺陷。早期15 kV級XLPE電纜絕緣層中的空洞缺陷，及其缺陷導致絕緣崩潰擊穿故障之切片照片，如圖3所示；依參考文獻提及之電纜事故調查，推論此一嚴重的空洞缺陷與擠壓製程管控不良有關。

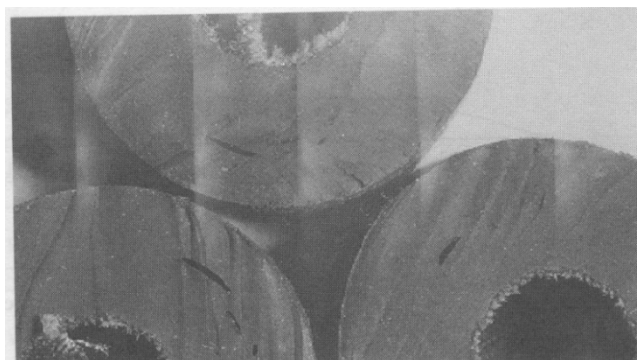


圖 2 封閉在絕緣體之橢圓狀空洞

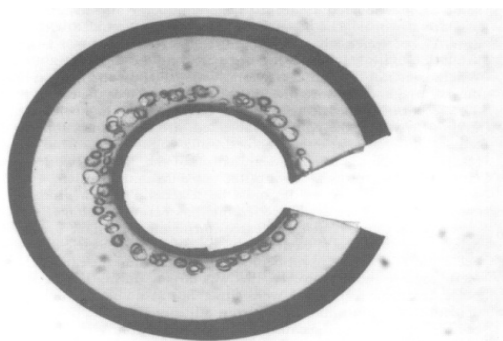


圖 3 15 kV XLPE 事故電纜及其位於內半導電層介面之空洞缺陷

若電纜系統處於潮濕環境中，溼氣可經由擴散作用進入介質空洞中，原存在於空洞中的氣體(一般為空氣)，將被替換成水份。空洞缺陷中的外來水份及其污染物，受電場與材料極化作用下，將逐漸在絕緣層中滋生水樹；水樹在發展初期，不易發生部分放電，但會提高介質消散因數值，可加速電纜系統老化速率。在電化學作用下，損失熱量可能令水樹轉換為電樹，最終導致擊穿故障。若電纜佈設環境，呈現出乾燥、潮濕週期性變化關係，則部分放電劣化絕緣與水樹老化介質兩種過程，將交替循環作用在電纜介質中，亦將縮短電纜之運轉壽命。

肆、部分放電型態

若電極與絕緣物之間，並未形成完整的放電路徑，即稱為“部分放電”；在一般情況下，絕緣缺陷係引起部分放電訊號之源頭，雖然部分放電訊號之振盪幅值相當微小，但是將導致絕緣缺陷及放電能量逐漸擴大，此一介質逐漸劣化的傾向，最終可能導致絕緣崩潰，引起接地故障及停電事故。因此應用非破壞性的部分放電線上檢測技術，及早察覺介質缺陷有其必要性。

一、部分放電類型

依介質缺陷型態及介質缺陷發生部分放電之位置，可將其分類為：(1)內部放電；(2)表面放電；(3)電暈放電；(4)電樹放電，如圖4所示；部分放電起始電壓，視空洞之電應力及其崩潰強度而定，目前空洞缺陷僅有部分形式，可應用公式計算分析其電氣應力。若是扁平狀空洞與電力線呈現垂直狀態，電氣應力將集中在空洞中，且空洞應力亦將升高至介電係數(ϵ)的倍數；扁平狀空洞形式，如圖5(a)所示；圖5(b)顯示球狀空洞，可以 $3\epsilon/(1+2\epsilon)$ 表示其應力集中的情況，若絕緣物的介電係數(ϵ)相當大，則作用在球狀空洞上的電氣應力，趨近1.5倍；若介質空洞屬狹長狀且與電力線平行，其應力約略呈現等電位分布，較不易形成電位梯度分布不均勻的情況，如圖5(c)所示；圖5(d)亦屬縱向場的空洞位置，故其場強集中情況與特徵與(a)類型相同；(a)、(b)、(c)、(d)顯示之空洞形狀雖不盡相同，但是卻具有局部應力集中的相同特徵，最終均可能導致介質發生絕緣擊穿的異常情況。介質表面放電、尖端之電暈放電及電樹放電等現象，如圖6~8所示。

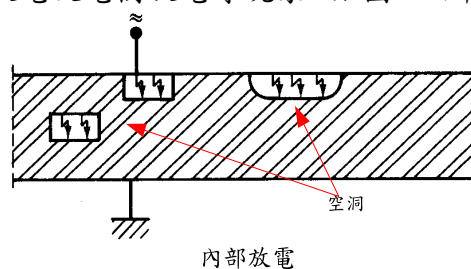
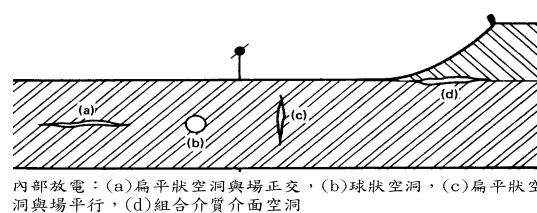


圖 4 絕緣體內部放電



內部放電：(a)扁平狀空洞與場正交，(b)球狀空洞，(c)扁平狀空洞與場平行，(d)組合介質介面空洞

圖 5 缺陷型態與內部放電

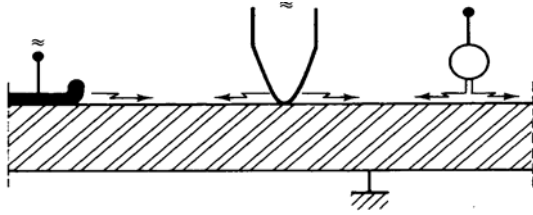


圖 6 表面放電



圖 7 電暈放電

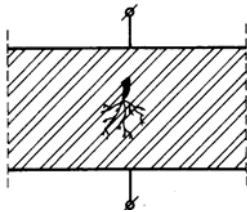


圖 8 介質內部電樹缺陷之放電

二、充滿氣體的空洞

擠壓成型之聚乙烯絕緣物、模鑄成型之樹脂介質及樹脂-紙之組合絕緣，若在其充滿氣體的空洞中發生部分放電，部分放電易對介質缺陷產生嚴重的劣化作用。在介質內部中，較為常見的空洞，依其形狀可區分為扁平狀空洞及球狀空洞兩種型態；若以作用在絕緣物上的電場等電位線為基準，扁平狀空洞缺陷發生位置，又可以與電場正交或平行之缺陷位置，將其歸類為兩種類型；其次在組合絕緣介面處，較易因製程不良產生氣穴或是因現場施工法不良而產生扁平狀空洞。

空洞尺寸大小、空洞中的氣體成分及氣體壓力等狀態，可改變介質空洞可承受電氣應力的大小，一但電氣應力大於介質耐受值時，具有破壞性

的電氣應力在部分放電作用下，將改變其固有之絕緣特性。藉由環繞在介質空洞周圍的氣體成分，以及氣體擴散理論，了解空洞中的氣體成分及其壓力的變化情形；例如在氣體擴散效應作用下，處於六氟化硫絕緣氣體中的環氧化物，在其介質空洞中的氣體成分，最終是以六氟化硫氣體為主要成分；而以聚乙烯材料製作的電力電纜，在一個大氣壓力作用下，在其介質空洞中的氣體，將是以空氣為主要成分。處於空氣中的電纜介質，在氣體擴散作用下，於空洞中的氣體壓力，可以 1 個大氣壓力為評估基準。

在空氣中的 Paschen 曲線，如圖 9 所示，圖中顯示電極間距及氣體密度條件下的最小崩潰電壓值，例如在 4 陶爾(torr)真空條件下，以及氣體壓力在 4000 陶爾(torr)時，每毫米間距之火花電壓均大於 10 kV；若將此曲線加以修改，即可藉以顯示介質空洞在特定氣體密度中的崩潰應力。

若將氣體壓力及電極間距作為崩潰電壓的變動參數，其崩潰電壓特性表示如圖 10，圖中虛線顯示變動之空氣壓力與電極間距之最小崩潰電壓值。

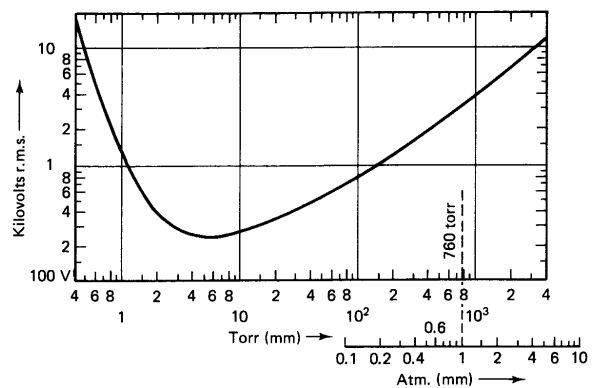


圖 9 電極間距、氣體壓力-崩潰電壓函數之 Paschen 曲線

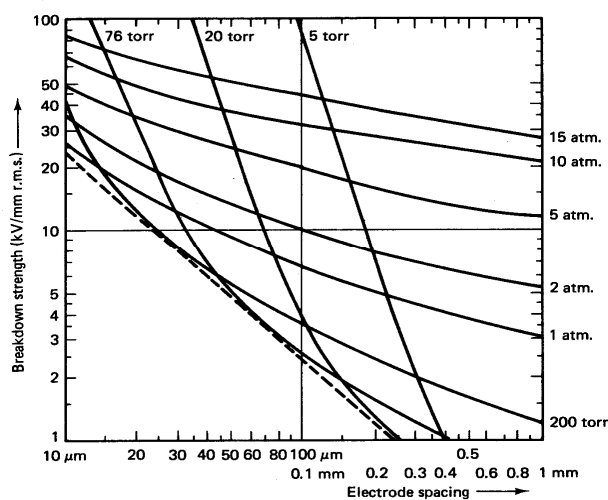


圖 10 Paschen 曲線

(在空氣中的電壓崩潰強度 kV/mm r.m.s. 為氣體壓力及氣隙距離之函數)

例如在聚乙烯介質中，其介電係數(ϵ)為 2.2，介質中存在一個 0.1 mm 扁平狀空洞，最終空洞內的氣體壓力，將達到 1 個大氣壓力，在圖 10 中，應用圖解 1 atm 之曲線，可獲得 6.8 kV/mm 之崩潰電壓值，而此介質的初始電壓應力計算如下：

$$\frac{6.8}{2.2} \approx 3 \text{ kV/mm} \quad (1)$$

此初始電壓應力值，雖然較聚乙烯絕緣材料的 3.5~7.0 kV/mm 耐壓值為低，但在充滿 1 個大氣壓力的微小的空洞中，此一結果足以引起部分放電現象，並對介質絕緣性能形成危害。

介質崩潰電壓降低的因素，如空洞之壁面可能存在靜電電荷，其次缺陷形狀或是在空洞缺陷處已形成放電，若介質缺陷在上述劣化因素作用下，約略可降低其放電起始電壓 20%。電纜系統之半導體層介面處，亦可能發生空洞缺陷，其空洞處的應力相對較高，足以導致絕緣崩潰。

三、表面放電之初始條件

若介質缺陷的形狀與電場應力平行，平行應力作用在介質表面，則可能形成表面放電，此一表面放電現象常發生於套管、電纜末端、發電機繞組等設備上，以及表面放電亦可能存在于絕緣物表面與外界之接觸部位上。發生在絕緣物沿面上的部分放電，係受到電場強度所影響，若絕緣物表面缺陷上的電場場強高於放電電壓，則放電作用將延伸至缺陷外側。

四、空氣中的放電現象

在空氣中放電之初始電壓值計算方式說明如下：在平面-平面電極結構中，含有一厚度為 d 的固體絕緣物，而位於頂部的平面電極與固體絕緣物之間有一氣隙(Δ)，固體絕緣物與空氣隙可以串聯電路視之，其結構如圖 11 所示；假設忽略異質性絕緣物的場強的因素，則此氣隙在空氣中放電電壓的初始值，表示如下式：

$$V_i = \Delta E_i + d \frac{E_i}{\epsilon} \quad (2)$$

式中：

d =固體絕緣物厚度

Δ =固體絕緣物之串聯氣隙(缺陷)

ϵ =介電係數

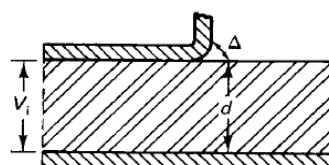


圖 11 在空氣中，空氣隙 Δ 與固體絕緣物 d 串聯電路的擊穿示意圖

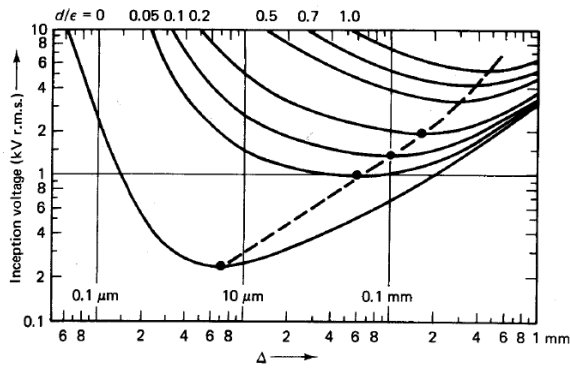


圖 12 部分放電起始電壓-介電係數-絕緣體厚度之曲線

令電極邊緣處的初始電壓 V_i 為空氣隙 Δ 之函數，以 $V_i = f(\Delta)$ 表示，若介電係數及絕緣物厚度為變數，則圖 11 所示之電極邊緣處的各個最小初始放電電壓 V_i ，可整理如圖 12 介質厚度與介電係數之比例項，與空氣隙間距對應初始崩潰電壓 (V_i) 曲線；令空氣隙之崩潰電壓為 U_i ，則可將式 2 空氣隙 (Δ) 之電場強度 E_i ，改以崩潰電壓 U_i 表示之，如式 3~4；

$$V_i = U_i + \frac{d}{\epsilon \Delta} U_i \quad (3)$$

或

$$V_i = U_i \left(1 + \frac{d}{\epsilon \Delta} \right) \quad (4)$$

上式所求得的最小值，亦可於圖 12 曲線中求得，在 Paschen 曲線中，可導出 V_i 是絕緣層厚度 d 函數的關係式，而絕緣層厚度 d 與介電係數 ϵ 的比例項，與介質表面放電之初始電壓值，亦可直接應用其相對關係求得，例如在圖中虛線線段，即顯示介質在不同情況下的氣隙崩潰電壓最小值；相關數值整理如表 1。

表 1. 表面放電之初始電壓值

絕緣層厚度/ 介電係數 (d/ϵ)	在氣隙邊緣處之表面 放電初始電壓值 (V_{rms})
$d/\epsilon \cong 0$	250 V
$d/\epsilon = 0.05$	1 kV
$d/\epsilon = 0.1$	1.4 kV

$d/\epsilon = 0.2$	2.0 kV
$d/\epsilon = 0.5$	3.5 kV
$d/\epsilon = 1.0$	5.5 kV

五、初始電暈放電

在氣體中高壓導體尖端易產生電暈放電，即使電極有相當大的距離，電場集中於尖端邊緣處，仍然導致局部電場崩潰，其次尖端邊緣位於地電位處，或是位於電極銳角處，亦可能引起電暈放電，如圖 13 所示；若放電試驗電壓高於 100 kV，電極尖端之電暈放電，係引起放電試驗干擾源之一，因此需要適當地修整高壓導體幾何形狀，以及適當地清除地面上的金屬碎屑，其次氣體絕緣設備亦須謹慎地清除氣封槽內的粉塵雜質，有助於避免電暈放電干擾現象。

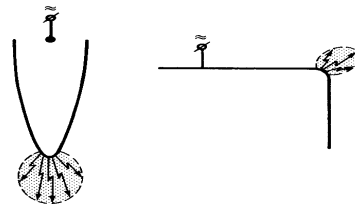


圖 13 導體尖端之電暈放電

在空氣中的電暈放電起始電壓，以半徑 r 之圓球替代相同半徑大小之導體尖端，如圖 14 所示；此外球面尖端對參考地面之距離 R ，球面中心對地之半徑亦延伸為 R ，參考 Paschen 曲線，可得到氣隙間距 Δ 處之崩潰電壓值；

若 $R \gg r$ ，則電暈初始電壓可以下式表之，

$$V = \frac{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}{\frac{1}{r} - \frac{1}{r + \Delta}} \times U_d \quad (5)$$

絕緣物在氣隙邊緣處發生表面放電初始電壓值與絕緣層厚度、介電係數之關係，整理如表 2；表 2 說明表

面放電之初始電壓與場強無直接關聯性，絕緣層厚度與介電係數之比例項，係決定表面放電初始電壓值之主要參數。若絕緣物質存有電暈放電，假以時日電暈放電亦將對絕緣物質造成破壞與擊穿之故障，因此高壓設備之絕緣設計與維護須謹慎為之。

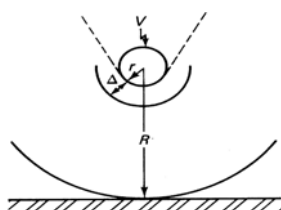


圖 14 空氣隙(Δ)之電暈放電初始電壓

表 2. 表面放電之初始電壓值

絕緣層厚度/介電係數(d/ϵ)	在氣隙邊緣處之表面放電初始電壓值(V_{rms})
$d/\epsilon \cong 0$	250 V
$d/\epsilon = 0.05$	1 kV
$d/\epsilon = 0.1$	1.4 kV
$d/\epsilon = 0.2$	2.0 kV
$d/\epsilon = 0.5$	3.5 kV
$d/\epsilon = 1.0$	5.5 kV

六、電樹放電

若介質存有空洞缺陷，假以時日在介質空洞缺陷處，即可產生具有主幹及分枝之中空狀電樹，此係電樹劣化之主要現象，亦為介質內部放電的特殊案例，其絕緣劣化過程相對地較一般介質缺陷不穩定，可能在短時間內迅速發展至擊穿故障，目前並無法準確預估電樹劣化至擊穿故障所需的發展時間；電樹及其等效電路如圖 15 所示。

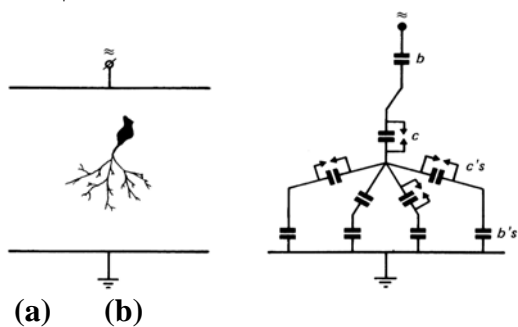


圖 15 電樹及其等效電路

伍、電纜介質空洞之等效電路

在部分放電研究領域中，以理想的電容串並聯等效電路，描繪介質空洞之電氣特性，並進行空洞部分放電現象之討論，介質空洞與等效電路如圖 16 所示；基於部分放電轉換函數，是以偶極矩的形式聚集於空洞表面電荷，以及位於鄰近電極處之感應電荷兩者相互作用的結果。

圖中 C_v 表示位於介質封閉空洞之電容， C_s 則為介質與空洞電容之間的串聯電路。在一般情況下，此一串聯電容為未知值； C_p 表示電纜介質之總電容，是為量測值， V_b 為空洞電容上的跨壓；若電纜長度僅有數米，一般以集總電容表示其等效參數；長達數百米以上的地下輸電電纜，通常又將此集總參數改以特性阻抗表之，一般電纜特性阻抗在 20~40 Ω 範圍中。

若是某一介質內部含有空洞，且施加一時變電壓在介質上，當橫跨在空洞上的電壓，達到其崩潰電壓 V_b 時，即可在空洞上產生部分放電，當電壓崩潰後，橫跨在空洞上的殘餘電壓 V_r 低於崩潰電壓臨界值，或是殘餘電壓降為零，此時在空洞中的殘餘電壓，將無法完全地維持部分放電作用，因而放電現象趨於熄滅。

考慮在時變正弦電壓作用下，理想空洞之等效崩潰電壓以及殘餘電壓，將隨著電壓變化週期，反覆出現在時變電壓正負兩個極性上；假設橫跨在空洞上的崩潰電壓為 V_b ，電壓崩潰後放電之殘餘電壓 V_r 等於 $1/3 V_b$ 值；施加於介質上的電壓波形、崩潰電壓、殘餘電壓及其放電脈衝等參數，如圖 17 所示；圖中顯示在第一個半週的峰值 θ_1 處，空洞發生初始放電；空洞於發生初始部分放電後，空洞跨壓亦將隨接踵而來的時變電壓之提高而升高，並再次抵達其崩潰電壓點，產生新的步放放電狀態，

因而其後可於每一周波產生四次部分放電訊號。

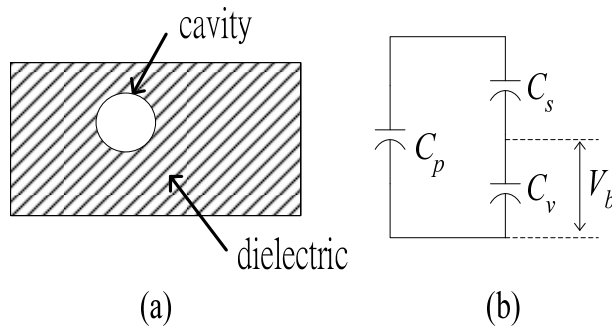


圖 16 空洞缺陷之等效電路

(a) 空洞位於介質中之示意圖，(b) 介質與空洞之等效電路

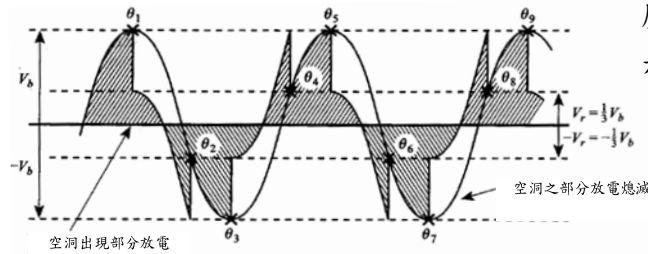


圖 17 理想空洞於正弦波電壓作用之部分放電示意圖

上述理想條件下的空洞部分放電現象，與實際之放電作用有所不同。實際的電纜系統包含電纜導體、屏蔽層導體與絕緣介質等三個組成元件；其中電纜導體與屏蔽層導體，可將其視為與介質平行之電極；在此條件下，空洞上的崩潰電壓與殘餘電壓幅值，兩者並不相等，以及在正負周波上，崩潰電壓與殘餘電壓亦不相同；因而導致空洞放電現象具有快速變動之圖譜特徵。

參考國內外研究部分放電崩潰電壓的統計資料，作用在介質上的時變壓電壓大於崩潰電壓值後，空洞才發生放電作用，此放電時間延遲即可從放電圖譜觀察之，此一放電時間延遲反應出部分放電不穩定的現象；在週期性時變電壓通過零交越點時，在空洞上的放電延遲現象益加明顯；後續之崩潰電壓有逐漸降低的傾向，在

此段過程中，放電電壓逐漸降低至零電位而趨於熄滅，此係理想放電狀態與過程。

在電極間的介質空洞，因其中之電荷聚集及其於空洞表面之抗極化電荷之交替作用，產生了複合化的放電過程，並且可於介質之各個空洞上產生放電脈衝，因此可觀察到遷移電荷及放電脈衝幅值，相對不穩定及規則性差之部分放電圖譜，此係電纜樣品所呈現出來的現象。

圖17所示之理想空洞放電率之步階增量，每週波為4，施加在介質之測試電壓為正弦波，其峰值電壓(Va)在正負周波兩極間為崩潰電壓(Vb)的整數值，假設殘餘電壓(Vr)為零的條件下，步階放電曲線可表示如下式；

$$n = N_0 \frac{\omega}{2\pi} \sum_{m=0}^j u [V_a - (m+1)V_b] \quad (6)$$

式中：m=0、1、2、j、n為每秒鐘的放電率；角頻率 $\omega = 2\pi f$ ； N_0 為每一周波發生的部分放電脈衝的初始值，此處 $N_0=4$ ；u為單位步階函數；考慮實際在電纜介質中的空洞，位於金屬導體與屏蔽層兩平行導體間，因此可將空洞假設為理想化的線性條件，而橫跨在空洞上的時變電壓降與部分放電率，亦可呈現出線性關係。

在平行電極間，空洞放電率與其氣隙跨壓間的關係，可以下式表之；

$$n = N_0 \frac{\omega}{2\pi} \left(\frac{2V_a}{V_b} - 1 \right) u (V_a - V_b) \quad (7)$$

以每週波發生2次放電脈衝，替代式6中的4次放電脈衝， $N_0=2$ ；介質表面改以平行電極取代平板電極，因而空洞於跨壓大於初始放電電壓情況下，表面發生放電的可能性大於單一電極，其次介質表面之放電率，亦隨時變電壓幅值上升而升高。一般電纜進行部分放電試驗及耐壓試驗

時，可觀察到電纜發生部分放電之初始電壓，遠高於部分放電熄滅電壓，此一現象可藉由介質中空洞缺陷之等效電路說明，介質空洞之部分放電起始電壓 V_i ，橫跨在空洞上的崩潰電壓 V_b ，空洞之電容 C_v ，介質與空洞之串聯電容 C_s ，可藉由下式說明其相互關係及現象；

$$V_i = V_b \left(1 + \frac{C_s}{C_v} \right) \quad (8)$$

而部分放電熄滅電壓 V_e ，則可藉由部分放電起始電壓 V_i 、殘餘電壓 V_r 、崩潰電壓 V_b 表示如下；

$$V_e = \frac{V_i}{2} \left(1 + \frac{V_r}{V_b} \right) \quad (9)$$

若放電過程由一連串幅值非常低疑似放電脈衝所組成，是屬部分放電檢測技術中難以研判的極端情況之一。在此情況下，若殘餘電壓 V_r 相對地大，且殘餘電壓幅值接近崩潰電壓值 V_b ，因而辨識部分放電起始點及其熄滅電壓之困難性相對地較一般情況為高；然而依電纜部分放電量測數值，可獲得電纜介質部分放電起始電壓與熄滅電壓幅值比率，約在10~30%範圍中；封閉在介質中的空洞，可應用空洞電容 C_v ，介質與空洞之串聯電容 C_s 、部分放電殘餘電壓 V_r 以及崩潰電壓 V_b 等參數，計算部分放電起始電壓 V_i 及熄滅電壓 V_e 。

發生在電力電纜介質之部分放電脈衝強度，可藉由外部檢測電路量測之部分放電崩潰電壓 V_b 及殘餘電壓 V_r 之差值辨識，若殘餘電壓 V_r 為零時，則以崩潰電壓值 V_b 辨識之；因而檢測部分放電脈衝幅值大小，係由空洞發生放電脈衝之崩潰電壓所決定。然而部分放電之電荷轉移，係崩潰電壓、殘餘電壓差以及電容

放電兩項因素共同作用的結果。以介質與空洞之等效電路可以集總電容 C_p 表示平均分布在介質上的電容值，與空洞形成串聯電路之電纜介質電容 C_s ，則遠小於集總電容($C_s \ll C_p$)。因此於空洞電壓崩潰期間之電容放電及其放電能量 ΔQ ，可以串聯電容及崩潰電壓與殘餘電壓差值表示如下，

$$\Delta Q = C_s (V_b - V_r) \quad (10)$$

若一由薄片構成之空洞，其電極表面積為 A 、絕緣體之相對介電係數為 ϵ' 、厚度為 d_s ，則可以電極表面積、介電係數及厚度求得與空洞之串聯電容 C_s ，其放電能量則表示如下，

$$\Delta Q = \frac{A\epsilon'}{d_s} (V_b - V_r) \quad (11)$$

放電電荷轉移函數顯示其表面積與放電能量成正比關係，而與空洞之串聯厚度呈現反比關係。依據Petersen et al放電理論，亦可將放電能量以複數型式表示如下，

$$\Delta Q = -\bar{\mu} \cdot \bar{\nabla} \lambda \quad (12)$$

式中 $\bar{\mu}$ 表示源自於表面電荷密度 q 之偶極矩向量，係聚集於空洞表面 S 之放電脈衝，定義如下，

$$\bar{\mu} = \int_S q r dS \quad (13)$$

式中 \bar{r} 表示在空洞表面放電脈衝 dS 之向量徑(radius vector)，式12之 λ ，表示空洞表面係數；式13顯示放電電荷，係由偶極矩 $\bar{\mu}$ 所決定；偶極矩 $\bar{\mu}$ 則與空洞尺寸幾何形狀關係密切，放電電荷並與崩潰電壓、殘餘電壓等參數決定。

陸、結論

存有空洞缺陷之介質，在介質空洞缺陷處，可產生具有主幹及分枝之中空立體狀電樹，電樹絕緣劣化過程相對地較一般介質缺陷不穩定，可能在短時間內迅速發展至擊穿故障，目前並無法準確預估電樹劣化至擊穿故障所需的發展時間。表面放電之初始電壓與場強無直接關聯性，絕緣層厚度與介電係數之比例項，係決定表面放電初始電壓值之主要參數。若絕緣物質存有電暈放電，不因其電壓幅值低而降低其影響，假以時日電暈放電亦將對絕緣物質造成破壞與擊穿之故障，因此高壓設備之絕緣設計與維護須謹慎為之。

研討固體絕緣物性質，並配合電纜缺陷型態、場應力分布、起始電壓與熄滅電壓、能量等放電理論基礎，有助於進一步將其應用於現場量測分析技術上，提升部分放電圖譜研判能力，建立電力電纜之診斷分析核心技術。

柒、參考文獻：

- [1] R. Bartnikas, Power and Communication Cables – Theory and Applications, John Wiley & Sons, IEEE Press, 1999.
- [2] Ostad I. Gilbertson, Electrical Cables for Power and Signal Transmission, John Wiley & Sons, 2000.
- [3] Willam A. Thue, Electrical Power Cable Engineering, Marcel Dekker, 1999.
- [4] IEEE Std 400.3[®] -2006.
- [5] A. Pedersen, G. C. Crichton, and I. W. McAllister, "The functional relation between partial-discharges and induced charge," IEEE Trans. Dielectrics Electrical Insulation, Vol. 2, 1995, pp. 535-543.
- [6] G. Mole, "Basic characteristics of internal discharges in cables," IEEE Underground Distribution Conference, Conf. Record Supplement 69CNPWR, Anaheim, May 12-16, 1969, pp. 198-207.

花東轄區 69kV 輸電線路 POTT 保護建置及使用情形

花東供電區營運處 余承和

壹、前言

隨著花東轄區 69kV 輸電線路保護電驛完成數位式電驛汰換後，在鳳林E/S以南地區因無光纖通訊導致數位式電驛僅能使用測距功能（21S）及方向性過流功能（67/67N）。在 69kV 系統分界點斷路器投入的情形下，僅以 67/67N 與 21S 做為 69kV 輸電線路保護方式，由於無法提供全線段快速保護，且保護協調不易，在光纖通訊未建置完成前採用 POTT 保護便是可行的方案。

經考量設備投資及往後維護成本等因素，在花東轄區的 POTT 保護動作訊號傳送非採用音頻載波方式而是使用網路方式傳送電驛動作訊息。其運用 SEL 311L 的 Mirrored Bits 功能及透過通訊轉換器在乙太網路上建立特殊頻道模式供兩變電所間 SEL 311L 的 RS-232 通訊埠連線使用，而達到 POTT 保護功能，進而達到全線段快速跳脫保護，進而提升 69kV 系統供電品質及可靠度。

貳、POTT 保護模擬驗證

花東轄區 69kV 輸電線路均使用 SEL 311L 電驛，因此，可運用 SEL 電驛的 Mirrored Bits 通訊將 POTT（Permissive Overreaching Transfer Trip）保護所需的 Key Bit 規劃入 Mirrored Bits 中，由於採用乙太網路傳送 POTT 保護功能的 Key Bit 在 SEL 公司的應用手冊[5]及說明書[4]中並未提及相關應用方式。因此，必須先確認 Key Bit 能透過通訊轉換器所建立頻道能跨網域傳送（保護電驛遠端存取系統在每個變電所均為獨立之 Class C 網段）後才

進行 POTT 保護功能驗證，並以 9 週波內動作完成為目標。經評估可行後才進行現場安裝及啟用工作，以減少系統建置成本、縮短測試時間及降低過程不確定之風險。

為驗證網路電驛動作訊息能跨網域傳送，利用備用之 SEL 311L 電驛、RS-232 To TCP/IP 通訊轉換器（SE5001-S2）、L2 Switch HUB 及 L3 Switch HUB 等設備建置如圖 1 的模擬測試網路架構。並依表 1 及表 2 內容啟用 POTT 功能與設定 SE5001-S2 轉換器後，藉由傳送 SEL 311L 之 POTT 使用及閉鎖狀態方式確認可行後，即開始 POTT 保護功能的測試。

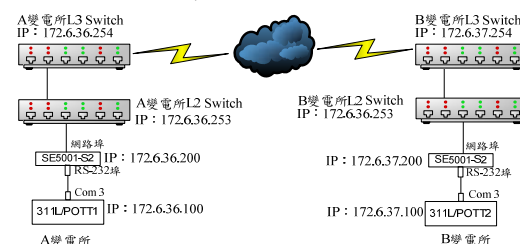


圖 1 模擬測試網路架構

表 1 RS-232 TO TCP/IP 轉換器設定

變電所	轉換器 IP	轉換器工作模式	轉換器設定參數
A 變電所	172.6.36.200	TCP Server	1. Listening port : 4660 2. RS-232 Baud Rate : 9600
B 變電所	172.6.37.200	TCP Client	1. Destination IP & port : IP: 172.6.36.200 Port: 4660 2. Connect Rule of TCP Client: 選擇 TCP Connect On Power-on 3. RS-232 Baud Rate : 9600

表 2 SEL 311L 設定參數

設定元件	POTT 保護設定 (POTT+21S+67/67N)
ECOMM	POTT
Z3RBD	5(預設)
EBLKD	10(預設)
ETDPU	2(預設)
EDURD	4(預設)

設定元件	POTT 保護設定 (POTT+21S+67/67N)
EWFC	Y(啟用 Weak-Infeed)
27PPW	92(啟用 Weak-Infeed)
59NW	23(啟用 Weak-Infeed)
EMBA	Y
RXIDA	1
TXIDA	2
TRCOMM	(M2P+Z2G)*LT2
PT1	RMB3A*!RMB4A
OUT107	RBADA
OUT309 (GDA)	(Z2G*LT2*PTRX)+TRIP*(Z1G T+Z2GT+Z4GT+51GT)+.....
OUT310 (PHA)	(M2P*LT2*PTRX)+TRIP*(M1P T+M2PT+M4PT+51PT)+.....
DP2	RBADA
TMB2A	LT2
TMB3A	KEY
TMB4A	!KEY
SER3	M1P,Z1G,M2P,Z2G,M4P,Z4G,51P, 51G,KEY,PT,PTRX,LT2
PORT3	
PROTO	MBGA
SPEED	9600
RBADPU	60(預設)
CBADPU	1000(預設)

在進行POTT保護功能驗證時，以電驛測試儀器注入SEL 311L電驛模擬故障發生時之電壓及電流，並下載電驛所記錄之波形分析。分別模擬1.線間50%相間故障、2.變電所出口端故障、3.加壓線路Echo Key功能及4.弱電源端保護等故障類型。其結果如表3。

表 3 測試 POTT 保護偵測故障時間

故障類型	A 變電所 POTT 偵測故障時間	B 變電所 POTT 偵測故障時間
線間 50% 相間故障	2.7 周波	2.5 周波
變電所出口端故障	2.6 周波	2.7 周波
Echo Key 功能	6.9 周波	2 周波
弱電源端保護	6.3 周波	2 周波

由表3結果可知，在一般情形的故障下 POTT保護的Key訊號可於3週波內完成動作訊息傳遞，即便在線路加壓及弱電源端的狀況下也能於7週波以內完成，經評估後

確定可行且符合動作時間小於9週波之目標。

參、參、現場設備安裝

在經由模擬驗證可行後，便開始現場轉換器安裝及SEL-311L內POTT相關設定。考量未來光纖通信建置完成後線路差流保護可直接啟用，在花東轄區將其POTT保護功能規劃在SEL 311L-2上，並使用Port3為Mirrored Bits通訊用，其保護電驛單線圖如圖2。

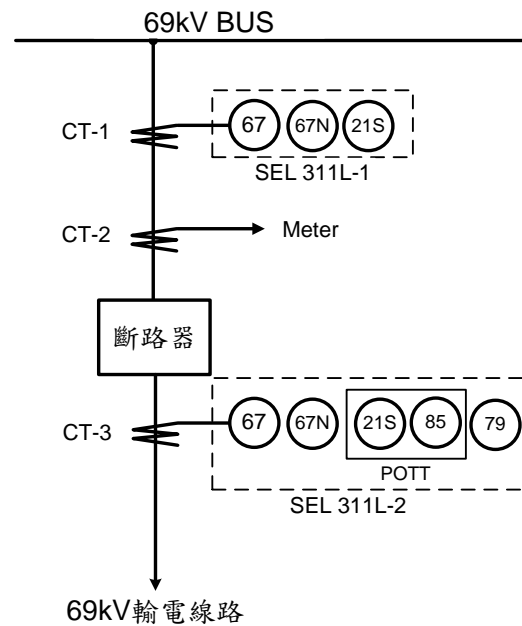


圖 2 保護電驛規劃單線圖

現場實際安裝照片如圖3所示，由於轉換器工作電源為DC 5~30V，故在現場為DC 125V的變電所採用DC125V轉24V電源供應器提供轉換器所需之工作電源。而使用DC24V的變電所因轉換器內部電源設計因素直接以現場DC24V供電時會有DC接地現象，故改以AC110V電源供應器提供所需之工作電源。



圖 3 現場安裝照片

為確保使用AC 110V電源設備之可靠度，其設備工作電源皆使用On Line式UPS輸出之AC 110V之電源，以防止所內電源切換AC電源瞬斷、事故時電壓驟降及變電全停電時導致轉換器及L2 Switch HUB無法正常運行。另因RS-232的訊號準位為DC 5V，為避免因雜訊干擾造成POTT保護誤動作，故在Mirrored Bits中使用2個位元傳送POTT保護之Key Bit，如表2中之TMB3A=KEY、TMB4A=!KEY的規劃及PT1=RMB3A*!RMB4A的邏輯設計。而在反向阻抗(Reverse Zone) Zone 3的設定則依保護電驛標置原則[7]進行設定。

肆、電驛實際動作情形

在POTT功能自102年8月份啟用迄今並經103年7月的麥德姆颱風考驗，鳳林E/S以南的69kV輸電線路因發生故障POTT保護動作情形綜整如表4。

整體而言，POTT保護本地端從發送Key Bit及收到遠端Key Bit的時間，使用通信處SDH網路的時間約2~3.5周波，而使用中華電信ADSL網路的時間約8周波，由上述結果可知POTT保護動作時間會受網路傳輸延遲及測距電驛第二區間偵測事故動作時間所影響。其中，網路傳輸延遲時間對POTT保護偵測事故時間影響成份較大。

表 4 POTT 保護動作情形彙總表

時間	線路名稱	POTT偵測事故時間	電路類型(故障類型)
102/8/18	關山~東河線	關山S/S端：9.9周波 東河S/S端：9.3周波	中華電信(單相接地)
102/9/8	鳳林~溪口線	鳳林E/S端：2.2周波 溪口G/S端：2.9周波	通信處(單相接地)
102/9/23	鳳林~溪口線	鳳林E/S端：3.5周波 溪口G/S端：3.3周波	通信處(單相接地)
102/11/8	光復~瑞穗線	光復S/S端：6.2周波 瑞穗S/S端：5.1周波	通信處(單相接地)
103/3/24	鳳林~溪口線	鳳林E/S端：3.3周波 溪口G/S端：3.5周波	通信處(單相接地)
103/4/22	光復~瑞穗線	光復S/S端：6.8周波 瑞穗S/S端：4.9周波 (瑞穗端測距未動作，由弱電功能跳脫)	通信處(單相接地)
103/7/1	鳳林~溪口線	鳳林E/S端：2.9周波 溪口G/S端：3.2周波	通信處(單相接地)
103/7/22 (麥德姆颱風)	富里~關山線	富里S/S端：2.9周波 關山S/S端：3.2周波	通信處(單相接地)
103/7/22 (麥德姆颱風) POTT動作二次)	富里~瑞穗線	富里S/S端：4.7周波及3.1周波 瑞穗S/S端：4.3周波及3.1周波	通信處(單相接地)
103/7/22 (麥德姆颱風) POTT動作三次)	富里~重安線	富里S/S端：19.6周波、19周波及20.3周波 (弱電源端保護功能動作時間為2周波)	中華電信(單相接地)
103/9/8	富里~關山線	富里S/S端：4周波 關山S/S端：4.4周波	通信處(單相接地)

由保護電驛跳脫資料分析中，因POTT保護是使用Zone 2為POTT Key Bit的動作條件，惟在部份事故動作資料中其事故時之阻抗軌跡較晚進入Zone 2而導致Key Bit較慢傳送，故可將Zone 3寫入POTT Key的動作條件中，以縮短POTT保護偵測事故時間。

伍、結論

目前，本處鳳林E/S以南的69kV輸電線路均啟用POTT保護，經實際線路事故的驗證，運用網路方式傳送POTT保護的Key Bit為可行之方案，相較原本僅使用21S與67/67N方式，更可有效快速隔離事故及大幅縮短事故清除時間。同時，也能更加活化保護電驛管理系統，增加既有設備的應用範圍。

另外，運用現有保護電驛管理系統的網路實現輸電線路POTT保護，可不需額外投資數據機及租用微波電路，可有效減少系統建置費用及後續維護成本。唯網路傳輸延遲會造成偵測事故較傳統使用音頻機（如RFL 9745）慢，對於事故清除較不嚴苛的69kV系統，仍可提供69kV輸電線全線段保護。

陸、參考資料

1. 李宏任，實用保護電驛，全華科技圖書股份有限公司，2002年10月。
2. 林湘寧、單應才、薄志謙、王斌譯，電網繼電保護及自動化應用指南，科學出版社，2008年9月。
3. 台灣電力公司供電處，台灣電力公司69kV電驛標置原則，2010年1月。
4. SEL Inc., SEL-311L-1,-7 Relay Protection and Automation System Instruction Manual, 2006.
5. SEL Inc., Applying MIRRORRED BITS Communications to a Permissive Overreaching Transfer Trip (POTT) Scheme, SEL Application Guide 96-13.
6. Atop Inc., SE5001 Serial Device Server User's Manual, 2011.
7. 台灣電力公司供電處，保護電驛標置原則，2008年2月。

中華民國電驛協會近期活動剪影



李理事長群主持第七屆第五次理監事會議致詞



李理事長群主持第七屆第五次理監事會議致詞



李理事長群主持第七屆第五次理監事會議致詞



感謝協會相關人員熱心贊助 20 周年慶祝大會活動



感謝協會相關人員熱心贊助 20 周年慶祝大會活動



第七屆第五次理監事會議全體與會人員合影留念



理事長主持 20 周年慶祝大會致詞



20 周年慶祝大會籌備會主任黃監事召集人致詞



20 周年慶祝大會蒞臨之嘉賓



20 周年慶祝大會之太鼓表演活動



20 周年慶祝大會之精美摸彩獎品



20 周年慶祝大會美麗之主持人



20 周年慶祝大會嘉賓台電公司總經理蒞臨致詞



20 周年慶祝大會嘉賓台北科技大學電機系
陳主任昭榮蒞臨致詞



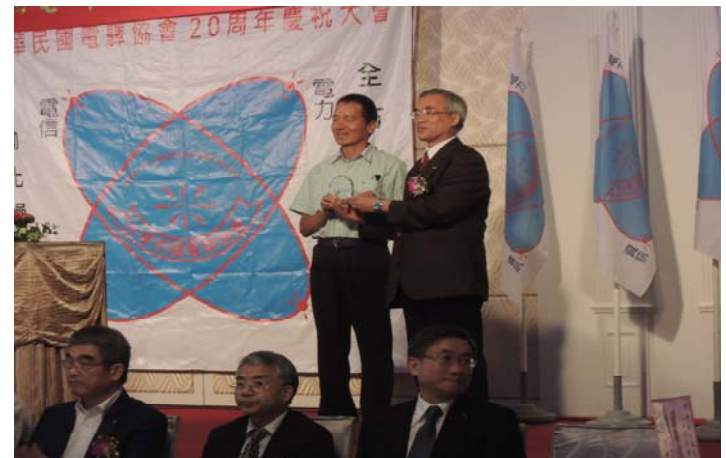
20 周年慶祝大會嘉賓華城公司
許董事長邦福蒞臨致詞



20 周年慶祝大會嘉賓電機技師公會
彭理事長繼傳蒞臨致詞



20 周年慶祝大會創會李理事長河樟蒞臨致詞



理事長頒發飛領/飛羚電機公司
連續支持協會 20 年廣告紀念獎



理事長頒發全城電業顧問公司
連續支持協會 20 年廣告紀念獎



理事長頒發勇帥電氣技術公司
連續支持協會 20 年廣告紀念獎



理事長頒發盈昇有限公司
連續支持協會 20 年廣告紀念獎



黃監事召集人頒發電驛協會 20 周年高球賽優勝獎



黃監事召集人頒發電驛協會 20 周年高球賽優勝獎



黃監事召集人頒發電驛協會 20 周年高球賽優勝獎

