

行政院原子能委員會核能研究所
委託研究計畫期末報告

配電資料與地理空間資訊整合技術研究
(NL1100133)

**Study on Integration Technology of Distribution Data and
Geospatial Information**

受委託機關(構)：國立高雄科技大學 電機系

計畫主持人：林嘉宏教授

聯絡電話：07-3814526 轉 15505

E-mail address：chlin@nkust.edu.tw

核研所聯絡人員：陳政佑

摘要

台電為強化配電系統強韌度，目前已建置配電自動化系統，當配電饋線發生主幹線故障時，可執行故障區間之定位，隔離及上下游非故障區之自動復電功能。但配電系統之故障大部份發生於分歧線及用戶端，為加速系統故障復電效能，近年來台電佈建大量故障指示器，雖然可藉由指示燈作故障顯示，但仍需派員到現場確認故障位置再執行故障隔離及復電，而影響供電用戶之復電時間。本計畫將規劃具通訊功能之故障指示器及後端主站平台，以支援將故障指示器信息回傳至主站平台，作為故障位置之判斷，以縮小故障範圍之判定。

由於配電系統由於涵蓋面積極廣，設備種類及數量繁多用戶數亦極為龐大，以往皆藉由人工及圖表作為管理、資料維護不易，且因分散不同部門，容易造成資料之不準確及不一致，此外由於系統架構常因施工造成異動，如何從工作單之處理、現場施工、圖資更新及驗證，建立一套標準作業程序，以確保配電管理系統資料庫之準確性，則為資料庫管理系統極其重要之工作項目。為確保配電系統圖檔之準確性，本計畫開發一套人工智慧為基礎之設備圖檔連結工具，另外就設備資料部份如導線、變壓器相別，亦將建立各種資料驗證之規則，使圖檔與設備資料庫能產生正確的對應關係，以確保配電系統資料庫的維護能力，有效支援本計畫應用此資料庫的彈性。

目 錄

研究方法與結果

摘要.....	2
研究方法與結果	4
一、 國內外配電圖資及地理資訊應用相關文獻與技術資料蒐集與彙整 .	4
二、 故障定位系統與故障指示器圖台整合控制規劃含故障指示器於饋線 上之佈設策略.....	11
三、 故障指示器故障舉旗條件規劃	17
四、 故障指示器圖台顯示機制規劃	26
五、 故障指示器現場佈建	29
六、 地理圖資資料庫轉檔產生線路上下游拓樸關係，支援故障定位功能	37
七、 應用故障定位功能縮小故障範圍之判定程式開發	43
八、 故障定位功能人機介面程式開發	45
九、 配電圖台資料之設備相別檢核程式開發	47
十、 結論.....	50
十一、投稿國際期刊及國內會議論文佐證資料 錯誤! 尚未定義書籤。	
十二、參考文獻.....	588

研究方法與結果

一、國內外配電圖資及地理資訊應用相關文獻與技術資料蒐集與彙整

台電公司圖資管理計劃之發展，始自民國 66 年 3 月，由台北市區營業處試辦，並成立資訊工作小組以配合美國康瑪斯工程顧問公司（Commonwealth Associates Inc., CAI）之推行，各區營業處陸續建立人工圖資系統。人工圖資系統實施多年，完成各種圖資及其維護更新制度之建立，由於個人電腦之處理、儲存效能日益強大，且電腦網路通訊技術之突飛猛進，使電腦處理圖資之技術日愈成熟，遂於民國 82 年 6 月於台北市區營業處建置配電自動圖資系統及設備管理系統（Automated Mapping / Facilities Management, AM/FM），利用電腦系統將人工圖資，經由數化技術將台北市中正區人工圖資轉換為電腦圖資，並開發相關應用軟體，建置應用軟體所需配電設備屬性資料。配合內政部國土資訊系統（National Geographic Information System, NGIS）將台電納入八大公共管線設施管線資料庫建置及需求單位，地方縣市政府分別規劃建置地形數值檔，並要求各公共管線單位提供所屬管線數值資料，整合至其轄區內之管線申請開挖管理系統，另配合行政院知識經濟發展方案之推動，後續辦理功能擴充，擴充後涵蓋管路圖、線路圖、路燈系統圖、路燈台帳圖及光纜系統等圖資之管理，整體台電圖資發展歷程如圖 1.1 所示[1]。

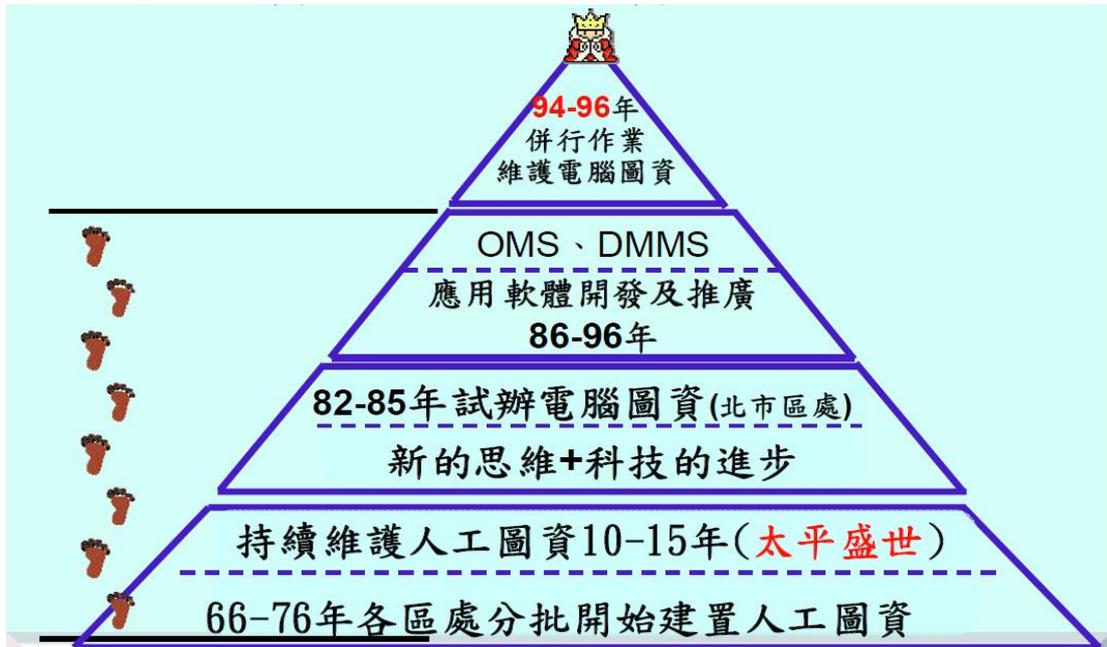


圖 1.1 台電圖資發展歷程

台電公司電腦圖資發展已逾十年，已在配電圖資管理上已建立標準主題圖(包含高低壓管路圖、高壓管路圖、低壓管路圖、11.4KV 高壓線路圖、11.4KV 高壓架空線路圖、11.4KV 高壓地下線路圖、22.8KV 高壓線路圖、22.8KV 高壓架空線路圖、22.8KV 高壓地下線路圖、低壓線路圖、低壓架空線路圖、低壓地下線路圖、高低壓架空線路圖、配電系統圖、路燈系統圖、路燈台帳系統圖、光纜系統圖等)，如圖 1.2 所示，並開發相關應用軟體，建立一套可供配電系統運轉、調度及相關部門人員使用之停限電運轉圖資系統(Outage Management System, OMS)，利用並整合網路環境運轉資料及配電室(場)卡等相關資料，提供系統使用者藉由通訊網路在電腦上圖資查詢、圖資編輯、圖資運轉操作、事故停電管理、工作停電管理、限電作業管理等作業功能，以達成資料分散處理及資源共享之目的，並提高用戶服務品質。

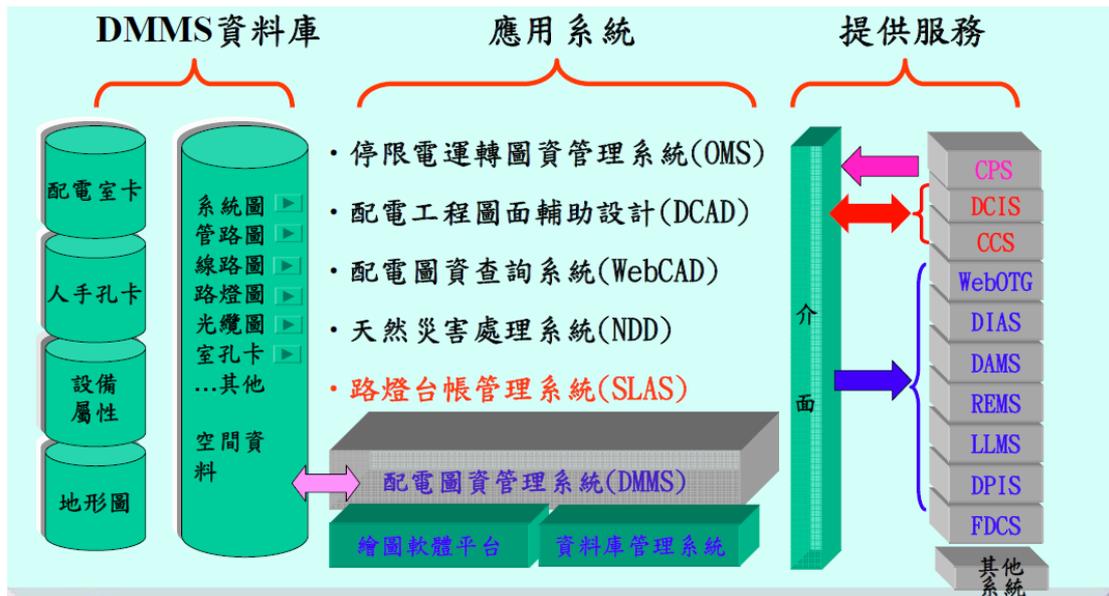


圖 1.2 台電配電圖資系統

近年來網路環境的快速變遷，設備虛擬化技術、開放標準架構之地理資訊系統應用蓬勃發展，因應行政院核定之建立國土資訊系統綱要計劃，建置國土資訊系統九大資料庫之公共設施管線資料庫[2]，能夠將地理圖資資訊與不同地理圖資平台完成資料交換，並與內政部國土資訊圖資服務平台(Taiwan Geospatial One Stop, TGOS)共享會員圖資，皆必須以開放標準介面建構地理圖資系統。同時，巨量資料如再生能源管理系統(Renewable Energy Management System, REMS)、變電所自動化系統 (Distribution Dispatching Control System, DDCS) 及饋線自動化系統(Feeder Dispatching Control System, FDSC)、新電費核算開票系統(New Billing System, NBS)等資料庫，整合運用趨勢使得空間地理圖資資料庫相關應用逐漸成形，並建構業務單位地圖資標準繪圖平台，發展電力公司業務單位相關圖資應用系統專用之繪圖平台，並具備圖資系統自動轉檔功能，以支援各項配電系統規劃及運轉相關業務。

雖然國內配電相關研究已累積不少良好的研究績效，但皆著重於單一應用功能的求解方式居多，能配合整體配電資訊系統，支援不同應用功能的研究則較為缺乏。若能整合配電圖資系統及既有 REMS、

DDCS、FDCS、MDMS 等系統，建置雲端架構巨量資料庫，使配電資訊系統能和配電系統分析規劃運轉不同應用功能作結合，並選擇實際配電系作為研究對象，將台電目前使用之規劃及運轉之規則納入考量，提升配電圖資系統之應用附加價值。

國外先進配電自動化系統目前均朝向與地理圖資資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 結合，整合圖資架構並朝向開放性系統進行，並建立與外部應用軟件或程式之界接通道，以持續發展相關應用。目前聚焦於能源事業之 GIS 供應商和其產品如下[3-9]：

表 1. GIS 供應商及其圖資產品

供應商	產品
Autodesk	AutoCAD Map 3D and Autodesk Geospatial
Bentley System Incorporated	Bentley Map
Environmental Systems Research Institute, Inc. (Esri)	ArcGIS
General Electric	Smallworld
Hexagon AB (Intergraph/Hexagon Geospatial)	GeoMedia
Milsoft	Utility Solutions GIS
Pitney Bowes	MapInfo

以下將針對各公司有關配電圖資之相關應用技術進行討論。

(1) DNV GL

DNV GL 為一家獨立之品質確保及風險管理公司，其業務涵蓋了海上作業、石油、瓦斯、能源、商業風險及數位解決方案等，其

圖資應用技術為結合運轉資料、感測器、巡檢與維護結果數據，支援 SCADA、OMS、ADMS 及 DERMS 等運轉系統[10]。

(2)聖地牙哥天然氣和電力公司(SDG&E)

SDG&E 為美國加州西南部的聖地牙哥及奧蘭治南部提供天然氣及電力，該公司秀過 40 萬具電表及 87 萬 3000 具瓦斯表為 360 萬居民提供能源服務。由於 SDG&E 系統已有 50%饋線實施饋線自動化工程，其配電圖資是採用 ESRI 之系統，每日執行電氣連結拓樸轉檔。目前更進一步發展先進配電自動化工程，整合 SCADA、OMS、DMS、AMI 及再生能源等系統介接擷取資料[11]。

(3)南加州愛迪生公司(SCE)

SCE 為加州中部、沿海地區與南部(不包括洛杉磯市)1500 萬用戶提供電力服務。目前 SCE 配合調度運轉採用 GIS 圖資平台為 GE 之 SMALLWORLD。近期將導入 ESRI 之 ArcGIS 作為 GIS 圖資平台，未來將配合電動車及再生能源併網，發展可變、雙向電力潮流、分散式能源和電動車併網最大化等應用功能，以提升再生能源滲透率。針對計畫性及非計畫性停電案件，於配電圖資基礎上，發展應用軟件進一步強化停電案件資訊之整合，包含停電原因、預計停電時間、處理時間、影響用戶數、及停電編號等[12]。

(4)Westerville Power and Light Company(WPLC)

Westerville 市位於 Ohio 東北角，WPLC 為 3.7 萬用戶提供電力服務。其配電圖資應用主要為再生能源案場分布，LED 路燈分布及停電資訊整合[13]。

(5)Xcel Energy

Xcel Energy 業務擴展涵蓋 Colorado,Michigan,Minnesota,New Mexico 及 Texas 等州。其配電圖資功能主要是應用於停電地圖資訊整合[14]。

綜上所述，目前國內外配電圖資系統主要應用於下列功能(1)停限電運轉(圖 1.3 及圖 1.4)，(2)配電工程圖面輔助設計，(3)天然災害處

理，(4)路燈管理，(5)再生能源管理。隨著先進配電自動化工程進行，配電圖資系統未來將可支援如故障指示燈應用、AMI 資料結合、資產管理應用及電動車充放電管理等功能，配合電力物聯網技術，結合配電設備先進感測元件及混合式通訊系統，建構配電設備運轉條件為基礎之狀態維護(Condition Based Maintenance,CBM)機制，有效提升未來智慧配網運轉之效能。

Fault, Location, Isolation and Service Restoration (FLISR)

SDGE
A Sempra Energy utility

- Self-healing grid
- Configured to either manual or automatic
- Circuit requirements:
 - SCADA at breaker
 - SCADA at mid-point sectionalizing device with fault targets
 - SCADA tie-switch
- Currently 460 circuits throughout SDG&E's service territory in auto mode
- 24 successful auto-FLISR operations

Event ID	Event	Operation	Structure ID	Status
91144 01/14/11	Open by SCADA	Case 9101-781	Case	Completed
91144 01/14/11	Disable FLISR	Case 9101-781	Case	Completed
91144 01/14/11	Disable FLISR	Case 9101-676	Case	Completed
91144 01/14/11	Open by SCADA	91144	010174	Completed
91144 01/14/11	Turn Off Backing	91144	010174	Included
91144 01/14/11	Open by SCADA Actuator	91144 0176	010174	Included

圖 1.3 SDG&E 配電圖資 FDIR 應用功能

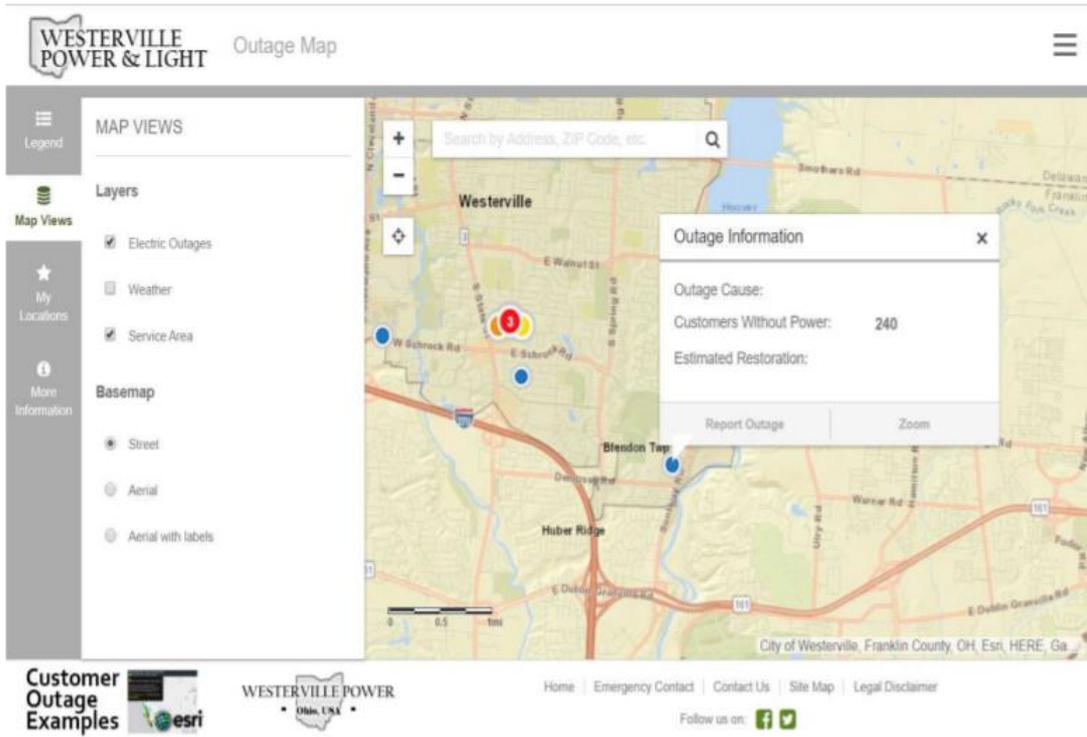


圖 1.4 Westerville Power and Light 公司 OMS 應用功能

二、故障定位系統與故障指示器圖台整合控制規劃含故障指示器於饋線上之佈設策略

本計畫所提出之配電饋線故障定位系統，在配電饋線上之故障指示器(Fault Indicator, FI) 在偵測出停電事故時，會透過 LoRa 無線通訊，主動回報故障旗標與前後數週波電流波形至 DCU。由於 FI 回報之訊息應用電力物聯網網路結構回傳資料含時間/日期、FI 設備編號、FI 旗標、線路電流、取電電壓、電池電壓、超級電容電壓及 LoRa 信號強度，如圖 2.1 所示，可能會被多個 DCU 所收集，因此在透過 RJ-45 介面經由台電既設光纖或 4G 無線通訊網路回傳至網路伺服器後，由該伺服器濾除重複之故障旗標與資訊，並再將其統整後之訊息傳遞至運轉即時資料庫，並結合核研所所發展之配電圖資圖台，建構派翠網路之配電網路模型，並基於派翠網路狀態方程式之經驗搜尋演算法，快速決定故障位置，並顯示於配電圖資圖台，提供台電維護人員快速定位故障地點，並進行復電程序，減少用戶停電時間。其整體故障定位系統與配電圖資圖台整合控制系統架構，如圖 2.2 所示。

rxdate	rxtime	devid 號	subid	dt	mac	rssi	snr	pid	fc	i	ef	vb	vsc	vb	t
20210517	100459	Demo_DCU_2	4	0	0	65485	40	104	0	230	0	259	475	356	2827
20210517	100459	Demo_DCU_2	5	0	0	65499	40	104	0	0	0	193	311	346	2740
20210517	100459	Demo_DCU_2	1	0	0	65484	38	104	0	2456	0	832	491	358	3189
20210517	100459	Demo_DCU_2	2	0	0	65485	39	104	0	2491	0	835	492	357	3135
20210517	100459	Demo_DCU_2	3	0	0	65484	39	104	0	2319	0	834	482	359	3171
20210517	100459	Demo_DCU_2	6	0	0	65498	38	104	0	2421	0	840	477	356	3128
20210518	004959	Demo_DCU_1	1	0	0	65469	40	104	0	1249	0	491	333	355	196
20210518	004959	Demo_DCU_1	2	0	0	65473	40	104	0	1324	0	636	431	356	195
20210518	004959	Demo_DCU_1	3	0	0	65471	39	104	0	1244	0	593	407	357	197
20210518	004959	Demo_DCU_1	4	0	0	65466	39	104	0	1039	0	558	393	357	195
20210518	004959	Demo_DCU_1	5	0	0	65472	41	104	0	1179	0	605	423	358	196
20210518	004959	Demo_DCU_1	6	0	0	65472	41	104	0	1218	0	602	410	355	197

接收日期與時間 (rxdate, rxtime)
 DCU編 (devid)
 LoRa 信號強度 (rssi, snr)
 事故代碼 (fc, i)
 線路電流 (scale: 0.01) (i)
 取電電壓 (scale:) (vsc)
 電池電壓 (scale: 0.01) (vb)
 超級電容電壓 (scale: 0.01) (vb)

圖 2.1 FI 回傳資料格式

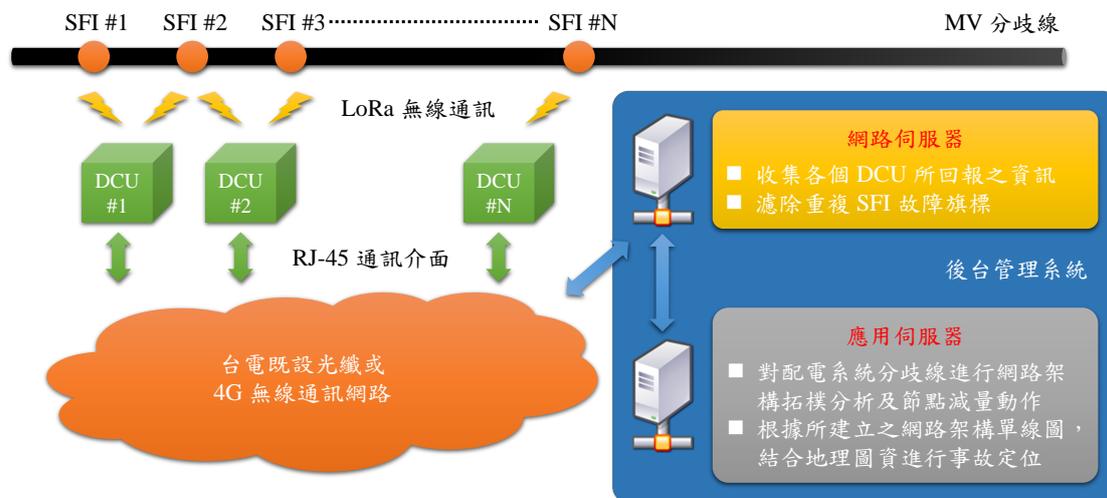


圖 2.2 故障定位系統與配電圖資圖台整合控制系統架構

故障指示器於饋線上之佈設策略根據台電區處需求，針對工業區、海邊鹽害區及地下配電室較容易發生故障區域裝設故障指示器。本計畫於高雄、台南及彰化等區處實地裝設含通訊功能故障指示器如圖 2.3-2.5 所示。其中台南區處目前進度為通訊品質量測。圖 2.6 為結合圖資功能之故障定位畫面，其整合顯示功能含饋線單線圖、Google 地圖、故障指示器編號、旗標狀態及電流值。



(高雄區處，地下饋線)

佈設策略建議:高雄軟體園區易故障區

圖 2.3 含通訊功能故障指示器現場實地安裝(高雄區處，地下饋線)



(台南區處，地下饋線)

佈設策略建議:南科易故障區

圖 2.4 含通訊功能故障指示器現場實地安裝(台南區處，地下饋線)

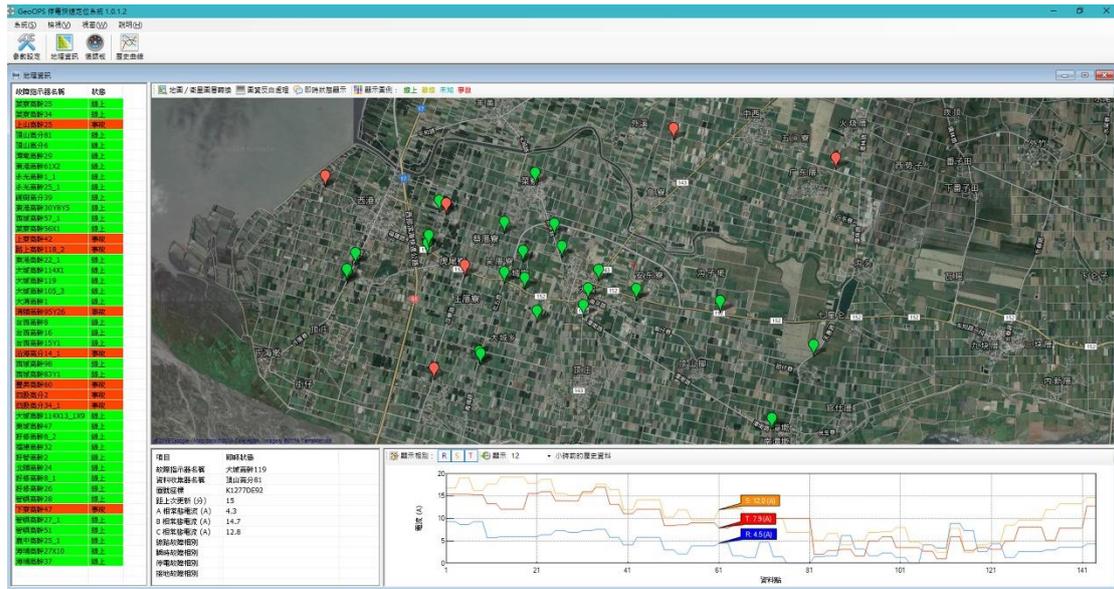


圖 2.6 線路故障定位及資料擷取系統平台

三、 故障指示器故障舉旗條件規劃

新型故障指示器必須規劃內建之線路電流感測元件，除於線路故障產生大電流時，能根據故障舉旗條件(電流時間特性曲線)，產生故障旗標外，平常亦能定期量測及收集配電線路之運轉電流，因此線路電流感測元件之電流量測精準度將參考國際技術規範，訂定合適之容許誤差值。針對電流取電元件，則必須考慮架空及地下故障指示器裝設位置之環境因素，選擇對應之高導磁材料，配合指示器模組運作之功耗需求，規劃電流取電元件之尺寸，圖 3.1 為故障指示器常用之坡莫合金與鐵基奈米晶兩種高導磁元件之取電效能，可發現鐵基奈米晶比坡莫合金具有較高之取電效能，且其成本較為低廉而適用於地下配電系統，但坡莫合金則較不易生鏽，因此較適用於鹽害嚴重之沿海地區。

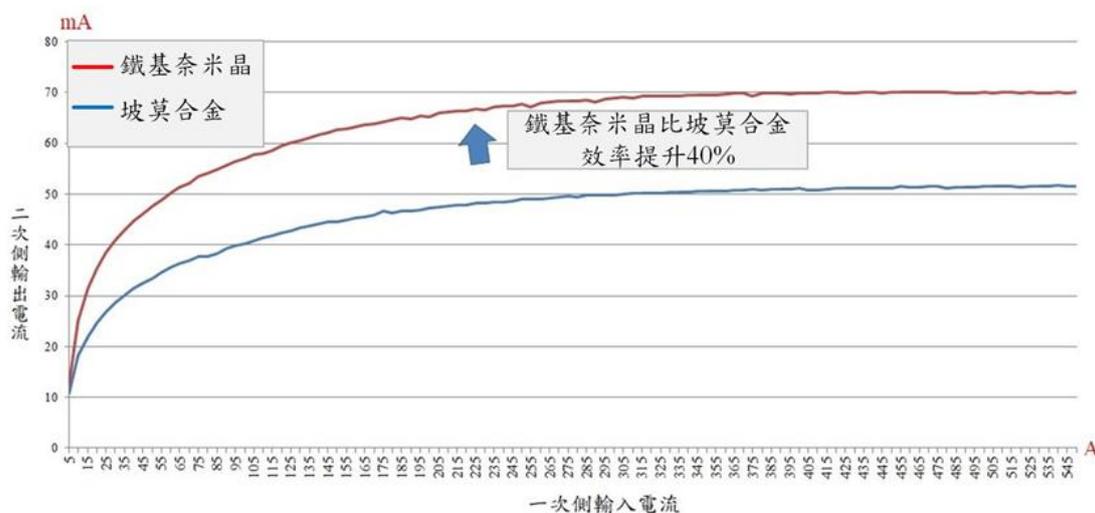


圖 3.1 坡莫合金與鐵基奈米晶高導磁元件之取電效能

台電配電線路由於採多重接地方式，當配電系統發生單相接地或相間短路時，其故障電流將較大於正常運轉電流值，可應用於故障旗標舉旗與否之判斷，但架空型配電線路常發生瞬間故障，為縮短故障停電時間，而有 79 電驛作復閉功能，此外當配電線路加壓送電時，由於變壓器或用戶設備產生較大之湧入電流(Inrush Current)，亦容易

造成故障指示器之誤判而舉旗。針對本計畫所設計之智慧故障指示器，考量台電可能之線路電流型態，其電流波形可分類成短路故障、考慮開關自動復閉之瞬時故障、考慮開關自動復閉之永久性故障及變壓器投入之湧流特性等，其波形細部定義，如下所述。

(a) 短路故障電流波形事件判斷

當智慧故障指示器運作一段時間且該迴路發生短路故障時，透過偵測到的突變電流及持續時間，作為短路故障波形辨識之基準，其波形定義如下表 3-1 所示。

表 3-1 短路故障波形定義

故障波形		條件		
		(1) 正常負載電流(I_i)：小於 600A/200A。 (2) 正常負載電流持續時間(t_1)： >1 秒。 (3) 故障電流偵測閾值($I_{\text{fault}}-I_i$)： $\geq 100\text{A}/125\text{A}$ 。 (4) 識別突變電流持續時間(t_2-t_1)： $5\text{ms}\sim 40\text{ms}$ 。 (5) 復置時間：最大 90s。		
判斷條件				
正常負載電流		短路故障電流閾值	故障電流	
電流值(A)	持續時間(秒)		電流值(A)	持續時間(mS)
5	5	100	> 94.5	40
100	5	100	> 180	40
250	5	100	> 337.5	40

(b) 瞬時故障電流波形事件判斷

瞬時性故障主要是指由雷電引起的絕緣子表面閃絡、線路對樹枝放電、大風引起的短時碰線、通過鳥類身體的放電等原因引起的短路。

這類故障由繼電器保護動作斷開電源後，故障點的電弧自行熄滅、絕緣強度重新恢復，故障自行消除，此時，若重新合上線路斷路器，就能恢復正常供電。

瞬時性故障到底是跳 I 段保護還是 II 段是要看具體故障點的距離，一段保護只能保護本線路全長的 50% 至 80%，二段保護可以保護本線路的全長並伸入下段線路，I 段與 II 段的整定電流值也不同，不對稱故障都會產生零序分量，零序保護動作。要看此瞬時性故障是否對稱而言。

考慮開關自動復閉之瞬時故障：當智慧故障指示器運作一段時間且偵測到該迴路突變電流後，因線路開關會跳脫隔離故障，因此故障指示器會在 40ms 後偵測到電流降至 0A，若該線路具備自動復閉功能，在經過 5 秒後會自動復閉，因此故障指示器會偵測其電流恢復到故障前的水平，此時定義為瞬時故障。該類型故障波形之定義如下表 3-2 所示。

表 3-2 考慮開關自動復閉之瞬時故障波形定義

故障波形		條件				
		(1) 正常負載電流(I_i): 小於 600A/200A。 (2) 正常負載電流持續時間(t_1): >1 秒。 (3) 故障電流偵測閾值($I_{\text{fault}}-I_i$): $\geq 100\text{A}/125\text{A}$ 。 (4) 識別突變電流持續時間(t_2-t_1): 5ms~40ms。 (5) 開關復閉時間(t_3-t_2): 5~15 秒。 (6) 復閉後負載電流成立延遲時間(t_4-t_3): ≥ 5 秒。 (7) 復置時間: 最大 90s。				
判斷條件						
正常負載電流		短路故障電流閾值	故障電流		負閉後負載電流持續時間(秒)	復閉最小識別時間(mS)
電流值(A)	持續時間(秒)		電流值(A)	持續時間(mS)		
5	5	100	115.5	40	6	≥ 200
250	5	125	412.5	40	6	≥ 200
5	5	100	115.5	40	6	100
250	5	125	412.5	40	6	100

(c) 永久性故障電流波形事件判斷

永久性故障指由雷電引起的絕緣子表面閃絡、線路對樹枝放電、大風引起的短時碰線、通過鳥類身體的放電等原因引起的短路。這類故障由繼電器保護動作斷開電源後，故障點的電弧自行熄滅、絕緣強度重新恢復，故障自行消除，此時，若重新合上線路斷路器，斷路器依然跳脫此時認定它為永久性故障。

考慮開關自動復閉之永久性故障：當智慧故障指示器運作一段時間且偵測到該迴路突變電流後，因線路開關會跳脫隔離故障，因此故

障指示器會在 40mS 後偵測到電流降至 0A，若該線路具備自動復閉功能，在經過 5 秒後會自動復閉，因故障原因仍然存在，因此開關會再度跳脫，表示此次復閉失敗，使得故障指示器會偵測到兩次故障電流波形，此時定義為永久性故障。該類型故障波形之定義如下表 3-3 所示。

表 3-3 考慮開關自動復閉之永久性故障波形定義

故障波形			條件			
			(1) 正常負載電流(I_i): 小於 600A/200A。 (2) 正常負載電流持續時間(t_1): >1 秒。 (3) 故障電流偵測閾值($I_{\text{fault}}-I_i$): $\geq 100\text{A}/125\text{A}$ 。 (4) 識別突變電流持續時間(t_2-t_1): 5ms~40ms。 (5) 開關復閉時間(t_3-t_2): 5~15 秒。 (6) 復閉後故障電流持續時間(t_4-t_3): 5ms~40ms。 (7) 復置時間: 最大 90s。			
			判斷條件			
正常負載電流		短路故障電流閾值	故障電流		負閉後負載電流持續時間(mS)	復閉最小識別時間(mS)
電流值(A)	持續時間(秒)		電流值(A)	持續時間(mS)		
5	5	100	115.5	40	40	≥ 200
250	5	125	412.5	40	40	≥ 200
5	5	100	115.5	40	40	100
250	5	125	412.5	40	40	100

(d)湧入電流波形事件判斷

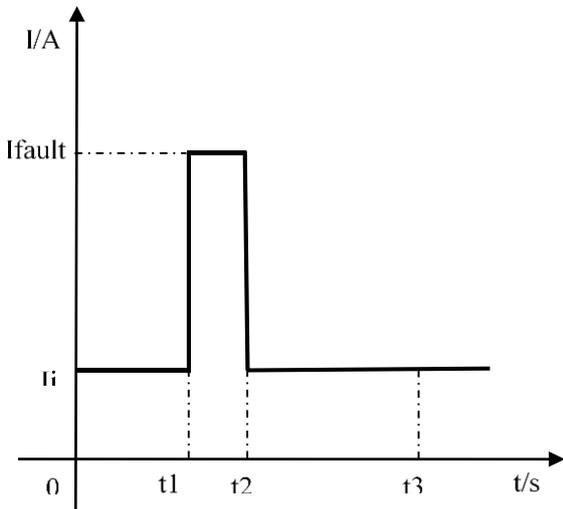
湧入電流又稱激磁湧流，當變壓器剛開始激磁時，會產生大量之湧入電流，此係發生於並聯激磁分路上之暫態電流，而經數個週期後，該電流將衰退至僅含少量之穩態數值。由於湧入電流僅流入一次側繞組，並將被視為差動電流。換言之，如果大量湧入電流發生於當變壓器激磁時，則除非能修改保護方法以偵測湧入電流來加以改善，否則差動電驛將看到大量的差動電流，且因而誤動作將變壓器跳脫切離。

系統電壓一有變動，激磁電壓受到影響，就會產生激磁湧流(Inrush Current)，激磁湧流瞬間尖峰值即持續時間視各項因素綜合而定，可能高達變壓器額定電流值的 8~30 倍，由於激磁湧流含有甚高的諧波成份，根據理論及實測證明，其二次諧波在一般情況下不低於基本波的 15%，而含直流成分的故障電流其二次諧波成份最高僅在 7% 以內，故可利用此一差異的特性來區分激磁湧流與故障電流，設計變壓器保護用的諧波抑制差動電驛。

激磁湧流因素:(1)變壓器容量(2)變壓器安裝地點與大電源的電氣距離(3)電力系統容量的大小(4)由電源至變壓器間電力系統的時間常數 L/R 值(5)鐵鋅特性及設計時所用飽和磁通密度值(6)加壓操作前變壓器的殘磁值(Residual Flux)(7)加壓操作時瞬間電壓的相位角度。

湧流特性：由於變壓器空載投入線路時瞬間會湧入數倍之額定電流，當下智慧故障指示器會偵測到突變電流，因此可能會造成誤判以為事故發生，因此本計畫所設計之故障指示器，其電流波形須考慮配電設備之湧流特性，其該類型之波形定義，如下表 3-4 所示。

表 3-4 變壓器投入之湧流波形定義

湧流波形	條件
	<p>(1) 正常負載電流 (I_i) : 小於 600A/200A。</p> <p>(2) 正常負載電流持續時間(t_1): >1 秒。</p> <p>(3) 湧流偵測閾值 ($I_{\text{fault}}-I_i$) : $\geq 100\text{A}/125\text{A}$。</p> <p>(4) 識別突變電流持續時間 (t_2-t_1) : 5ms~40ms。</p> <p>(5) 湧流持續時間(t_3-t_2) : ≥ 5 秒。</p> <p>(6) 復置時間 : 最大 90s。</p>

在不同系統情形下，其產生湧流狀況如下：

(a) 激磁起始湧流: 開始加壓於變壓器的最初瞬間，暫態性的激磁電流將由電力系統湧入變壓器，在此情況下所產生的激磁電流稱之為激磁起始湧流(Initial Inrush)。

(b) 電源復元湧流: 在外部故障清除後，電壓恢復至正常值的過程中，亦會引起激磁湧流現象，此種激磁湧流稱為電壓復元湧流(Recovery Inrush)，一般的電壓復元湧流均不若激磁起始湧流嚴重。

(c) 共感湧流: 指並聯運轉的兩變壓器，其中一個已加壓甚至正常供電，另一個變壓器加壓瞬間引起激磁起始湧流造成此地區電壓變化，以加壓變壓器產生類似電壓復元湧流，而將此電流稱為共感激磁湧流。

本計畫將參考台電配電系統之規劃準則與保護相別設計，藉由與台電人員深入檢討，擬定合理之故障指示器舉旗條件，並以不同代碼

方式，分辨不同類型之故障種類。針對台電未來不同型態之故障指示器安裝地點如主幹線、分歧線、市區地下化饋線及郊區架空饋線，本計畫將探討線路運轉電流之時變性，評估故障指示器之適當裝置位置。另外考慮配電系統之運轉維護與系統規劃需求及通訊費用，擬定線路電流採樣頻率，資料回傳頻率與回傳方式。根據上述故障電流時變性，故障指示器舉旗判斷流程如圖 3.2 所示。

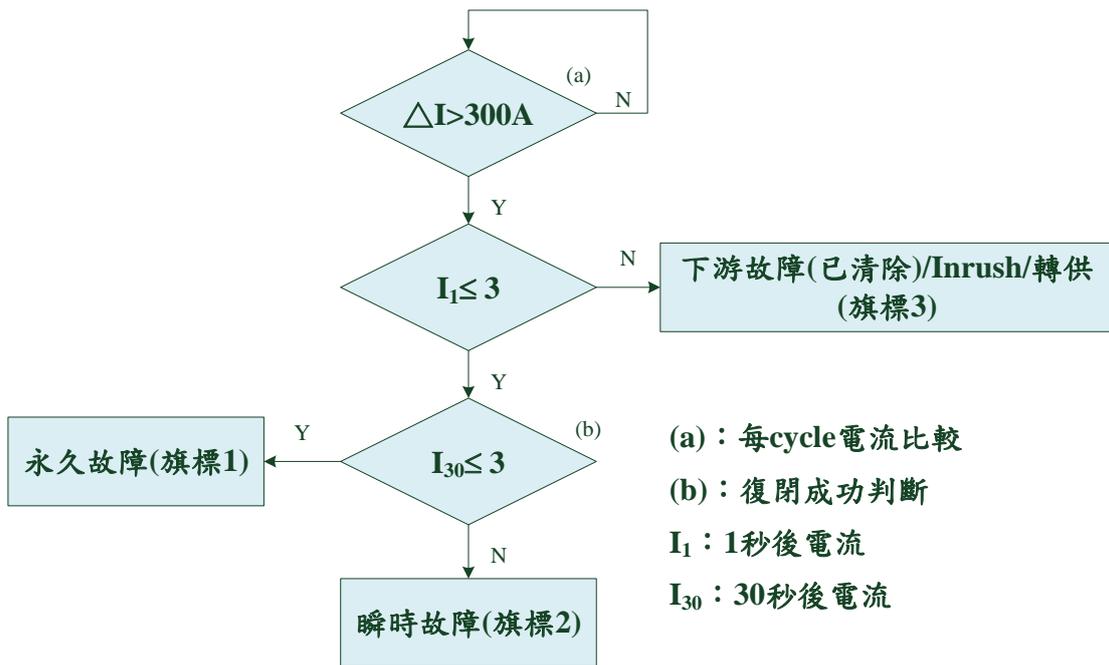


圖 3.2 FI 舉旗判斷流程

圖 3.2 中，正常運轉時，故障指示器會比較前後 cycle 的電流 ΔI ，當 ΔI 大於 300A 時，若 1 秒後的電流大於 3A，則判定可能為下列情形(1)下游故障已清除，(2)Inrush 電流或(3)饋線不停電轉供，故障指示器將回傳旗標 3 的代碼至主站。由於在台電饋線裝設自動復閉器(Recloser)，用於饋線之保護，當暫態故障消失後自動復閉，為減少更換電力熔絲之維護費用，避免上游斷路器提早跳脫造成之大範圍停電。台電目前自動復閉器設定投入次數分為 3 段，復閉時間分別為 5 秒、10 秒及 15 秒。考慮自動復閉器動作時間情況下，若 1 秒後的電流小於 3A 且 30 秒後通過故障指示器的電流仍小於 3A，則判定為永久故

障。若 1 秒後的電流小於 3A 且 30 秒後通過故障指示器的電流大於 3A，則判定為瞬時故障。故障判定後分別回傳旗標 1 及旗標 2 的代碼至主站。

根據上述 FI 舉旗判斷流程，本計畫針對故障指示器執行電流測試如圖 3.3 所示。State1 至 State7 前後 cycle 的電流 ΔI 均小於 300A，因此未觸發故障旗標。State8 電流由 100A 提升至 400A，即前後 cycle 的電流 ΔI 大於 300A，則將執行上述舉旗邏輯判斷流程。

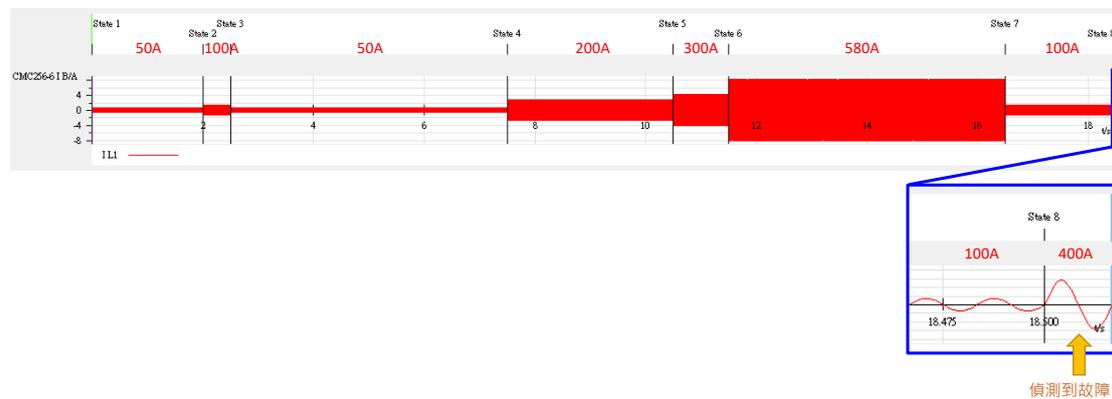


圖 3.3 舉旗邏輯測試範例

四、故障指示器圖台顯示機制規劃

故障指示器於饋線上之佈設策略將根據台電區處需求，針對工業區、海邊鹽害區及地下配電室較容易發生故障區域裝設故障指示器。本計畫所蒐集之即時資料為佈建於高雄區處及台南區處現場的故障指示器，初步規劃於高雄區處及台南區處分別佈建 DCU 共 19 及 8 具，高雄區處架空故障指示器共 16 處*3 相=48 具，高雄區處地下故障指示器共 34 處*3 相=102 具及台南區處共 16 處*3 相=48 具，如表 4.1 所示。

表 4.1 高雄及台南區處故障指示器佈建統計(具)(初步規劃)

區處	DCU	架空	地下
高雄	19	48	102
台南	8	0	48

為支援配電圖資系統圖台顯示，本計畫將提供即時資料庫含故障指示器圖號座標、故障舉旗、線路電流、通訊狀態及接收日期及時間等以文字檔(.txt)格式，資料庫規劃是以每 15 分鐘更新一次之頻率，提供給配電圖資圖台 FTP 讀取，並顯示於配電圖資系統圖台。即時資料庫欄位格式說明如表 4.2 所示，即時資料庫提供圖號座標、相別、故障代碼、線路電流、超級電容電壓、電池電壓、溫度、無線信號強度、接收日期及時間等欄位資料，架空及地下故障指示器位置佈設標示別以電桿及配電室圖號座標為主。圖 4.1 為運轉及時資料範例，以附掛於圖號座標 Q0801HD7942 的電桿之故障指示器為例，2021/06/23 下午 1:53 時其三相電流分別為 A 相:24.9A, B 相:23.1A 及 C 相 24.2A，因當時線路電流正常，並無故障旗標舉旗(故障代碼:0)。

表 4.2 運轉即時資料庫格式說明

中文名稱	圖號座標	相別	故障代碼	電流值(A)	超級電容電壓(V)	電池電壓(V)	溫度	無線信號強度(dBm)	接收日期	接收時間
英文代碼	tpelid	phs	fcode	i	vsc	vb	temp	rssi	rxdate	rxtime
資料庫欄位說明	型態包含： Q1212FA5204 Q1212FA52	代碼包含： A B C	代碼包含： 0: 正常 1: 瞬時故障 (復閉器動作後正常供電) 2: 永久性故障 (復閉器動作後仍無法供電) 4: 復電(故障修復後供電) 7: 線路湧流	單位包含： 小數點第一位	單位包含： 小數點第一位	單位包含： 小數點第一位	單位包含： 小數點第一位	單位包含: 整數	類型: 2021/6/23	類型: 13:53:37

圖號座標	故障代碼	超級電容電壓	溫度	接受日期
Q1212FA5204	A,0	50.3,4.2,3.5,35.4	-90	2021/6/23,13:53:37
Q1212FA5204	B,0	50.3,4.2,3.5,35.4	-89	2021/6/23,13:53:37
Q1212FA5204	C,0	50.3,4.2,3.5,35.4	-92	2021/6/23,13:53:37
Q0801GD2389	A,0	22.3,4.7,3.5,28.2	-51	2021/6/23,13:53:37
Q0801GD2389	B,0	23.5,3.1,3.4,27.4	-37	2021/6/23,13:53:37
Q0801GD2389	C,0	24.5,4.9,3.5,31.8	-52	2021/6/23,13:53:37
Q0801HD7942	A,0	24.9,4.9,3.5,31.3	-51	2021/6/23,13:53:37
Q0801HD7942	B,0	23.1,4.8,3.5,31.7	-52	2021/6/23,13:53:37
Q0801HD7942	C,0	24.2,4.7,3.5,31.2	-38	2021/6/23,13:53:37
Q0901BE4594	A,0	48.1,5.0,3.5,28.2	-68	2021/6/23,13:53:37
Q0901BE4594	B,0	49.7,5.1,3.5,27.4	-65	2021/6/23,13:53:37
Q0901BE4594	C,0	47.3,5.1,3.5,31.8	-70	2021/6/23,13:53:37
Q0901BD7219	A,0	43.2,5.1,3.5,31.3	-70	2021/6/23,13:53:37
Q0901BD7219	B,0	51.5,5.1,3.5,31.7	-62	2021/6/23,13:53:37
Q0901BD7219	C,0	46.2,5.1,3.5,31.2	-64	2021/6/23,13:53:37

相別 電流值 電池電壓 無線信號強度 接受時間

圖 4.1 運轉即時資料範例

本計畫所提出之配電饋線故障定位系統，在配電饋線上之 SFI 在偵測出停電事故時，會透過 LoRa 無線通訊，主動回報故障旗標與前

後數週波電流波形至 DCU。由於 SFI 回報之訊息應用電力物聯網網路結構回傳資料，可能會被多個 DCU 所收集，因此在透過 RJ-45 介面經由台電既設光纖或 4G 無線通訊網路回傳至通訊伺服器後，由該伺服器濾除重複之故障旗標與資訊，並再將其統整後之訊息傳遞至運轉即時資料庫，應用伺服器將彙整故障指示器圖台顯示平台所需之資料(含線路正常及故障資料檔)，並藉由 FTP 將線路正常及故障資料檔上傳至故障指示器圖台顯示平台。當饋線線路正常時，饋線故障定位系統提供即時資料庫含故障指示器圖號座標、故障舉旗、線路電流及通訊等狀態以文字檔(.txt)格式，資料庫規劃是以每 15 分鐘更新一次之頻率，提供給配電圖資圖台 FTP 讀取，如圖 4.1 所示。當饋線線路故障時，則應用伺服器將根據饋線拓樸架構及 FI 上下游關係建構派翠網路之配電網路模型，並基於派翠網路狀態方程式之經驗搜尋演算法，快速決定故障位置，並將與故障區間相鄰 FI 之圖號座標上傳至故障指示器圖台顯示平台之 FTP，支援配電圖資圖台顯示其故障區間，提供台電維護人員快速定位故障地點，並進行復電程序，減少用戶停電時間。其整體圖台顯示機制規劃，如圖 4.2 所示。

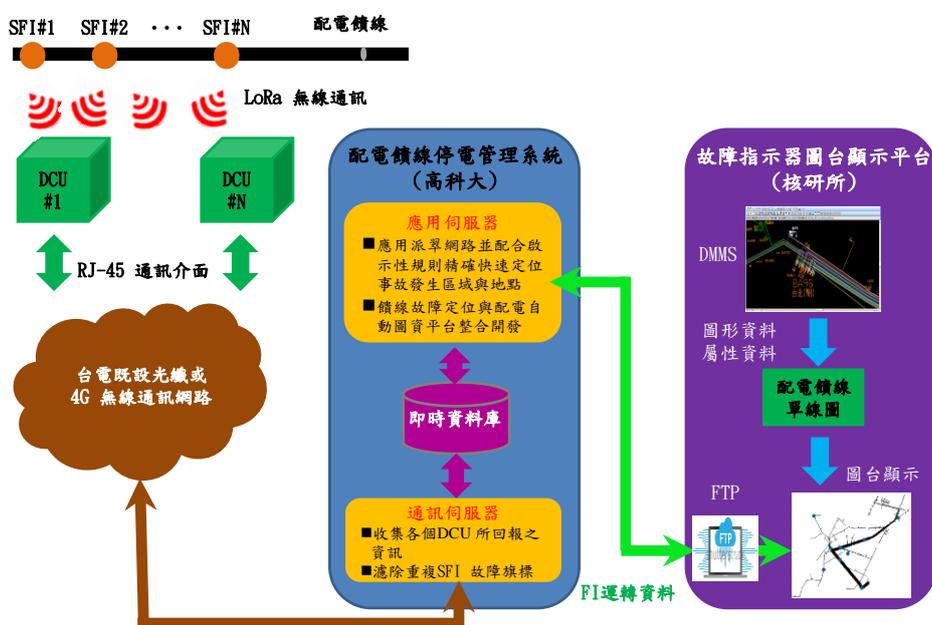


圖 4.2 圖台顯示系統與資料介接

五、 故障指示器現場佈建

本計畫於 2021/04/06 於台南科學園區配電箱(N0709 AE63)饋線地下型 FI 如圖 5.1 所示，執行 LoRa 通訊測試。另外本計畫與台灣電力公司配合，於高雄軟體科學園區擇一地下配電室(圖號座標 Q0801 GD7204)進行實際試裝(2021/03/21)，針對配電箱中電源端及負載端之饋線進行監控，如圖 5.2 所示，透過 FI 及 DCU 即可蒐集電力資訊如電流、FI 超級電容、溫度、電場、通訊品質等數據，如圖 5.3 為 4/28(三)至 5/7(五)FI 透過 LoRa 無線通訊傳送數據至 DCU 之 SNR 及 RSSI 值所繪圖表，圖 5.4 為區間之 FI 溫度及負載電流大小之關係圖表，可得知在負載電流大時 FCI 溫度會隨著負載變動，從輕載之 47°C 上升至重載之 62°C ，圖 5.5~圖 5.7 為區間之三相各別感測之負載電流大小與 FI 超級電容電壓圖表，除了故障定位及監控外，平時也能將電力負載數據做為日常負載預測之大數據分析資料及三相不平衡改善依據，選擇 4/28 之中午 12:05 分觀察各相負載電流大小即可得知 A 相為 51.52A、B 相為 59.91A、C 相為 49.46A，有三相電流不平衡之現象發生，並且由圖可得負載電流及 FI 超級電容電壓大小與日/夜間及工作/假日相關，4/30~5/2 為勞動節之補假及例假日，負載電流相較於工作日小，圖 5.8 為工作日中負載電流與取電、超級電容、鋰電池電壓之關係圖表，負載電流大小如同先前所述會因為時間而產生變化，除此之外，從副座標軸之相關電壓大小可得知電流取電電路後之節點及超級電容電壓均與負載電流呈現正比關係，FI 取電效益及超級電容之補足能力均使備援鋰電池電量並無改變，如圖顯示在尖峰負載電流 61.78A 時，超級電容、鋰電池及電流取電電壓分別為 5.14A、3.55A、11.06A，其運作電壓皆符合 FI 所需並且能降低更換電池之運維成本。經過長時間在外掛載測試後，FI 均運作正常，可驗證 FI 運行之穩定度、可靠度皆能達到使用的規範，未來計畫如前述在高雄及台南等不同台電區處推行試辦，裝設更多 FI 以強化配電系統強韌度。



圖 5.1 台南科學園區地下饋線裝設實體圖(N0709 AE63)



圖 5.2 高雄軟體科學園區地下配電室裝設實體圖(Q0801 GD7204)

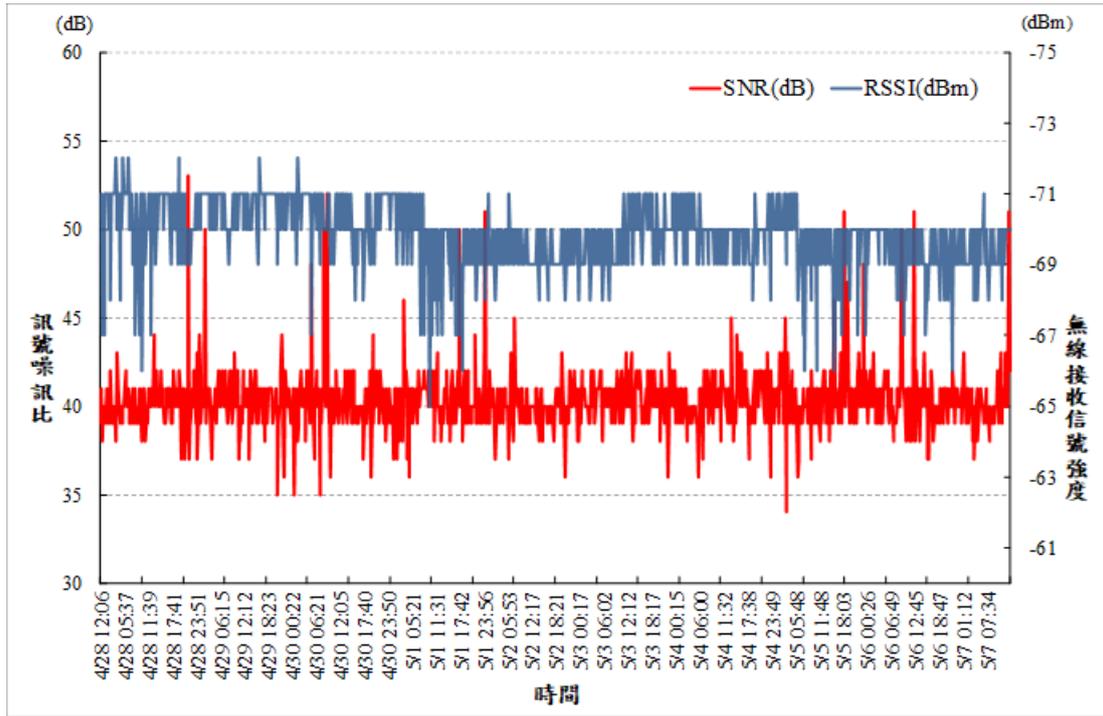


圖 5.3 FI 之通訊品質

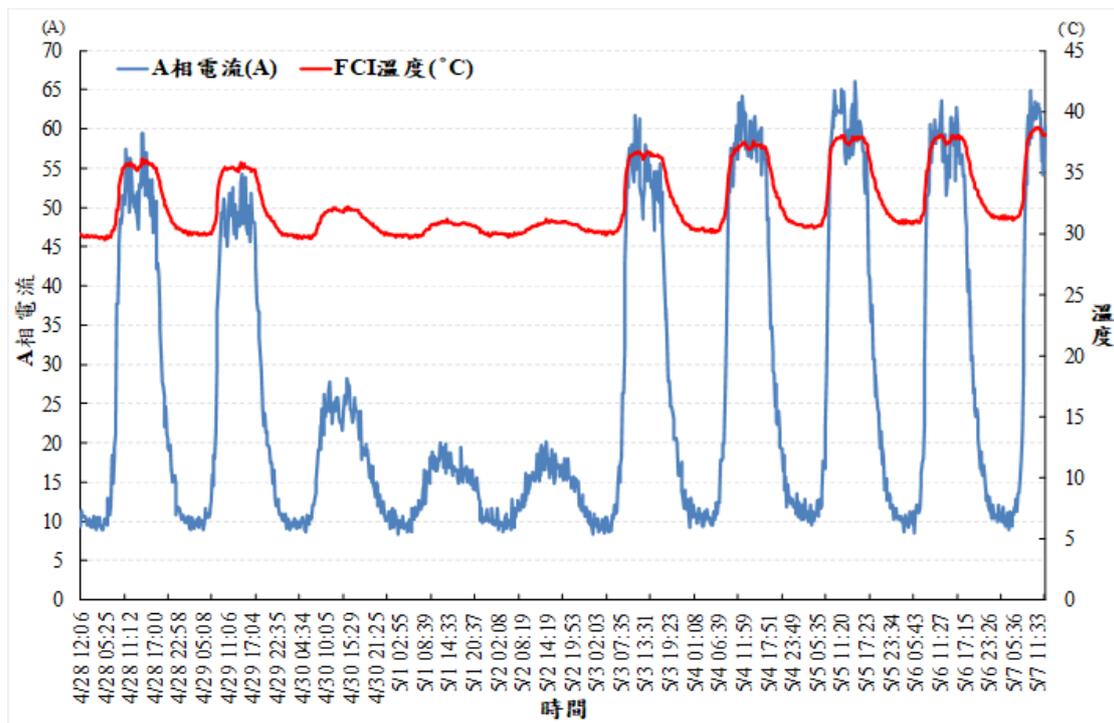


圖 5.4 負載電流與 FI 溫度之關係

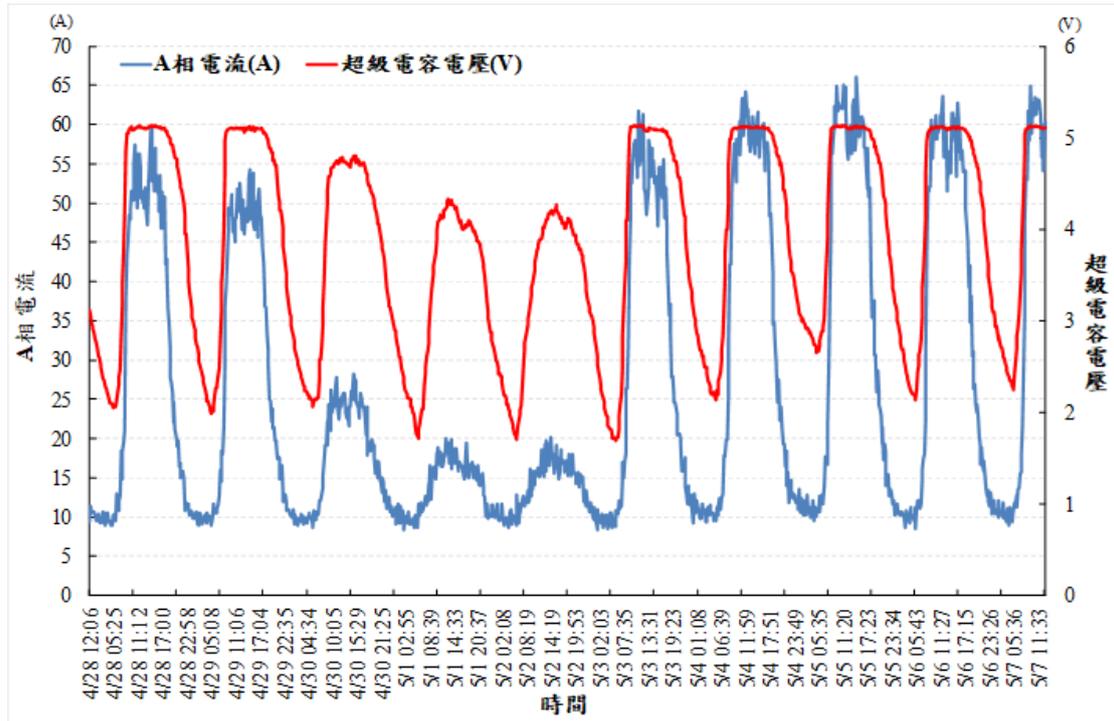


圖 5.5 電源端 A 相之回報數據

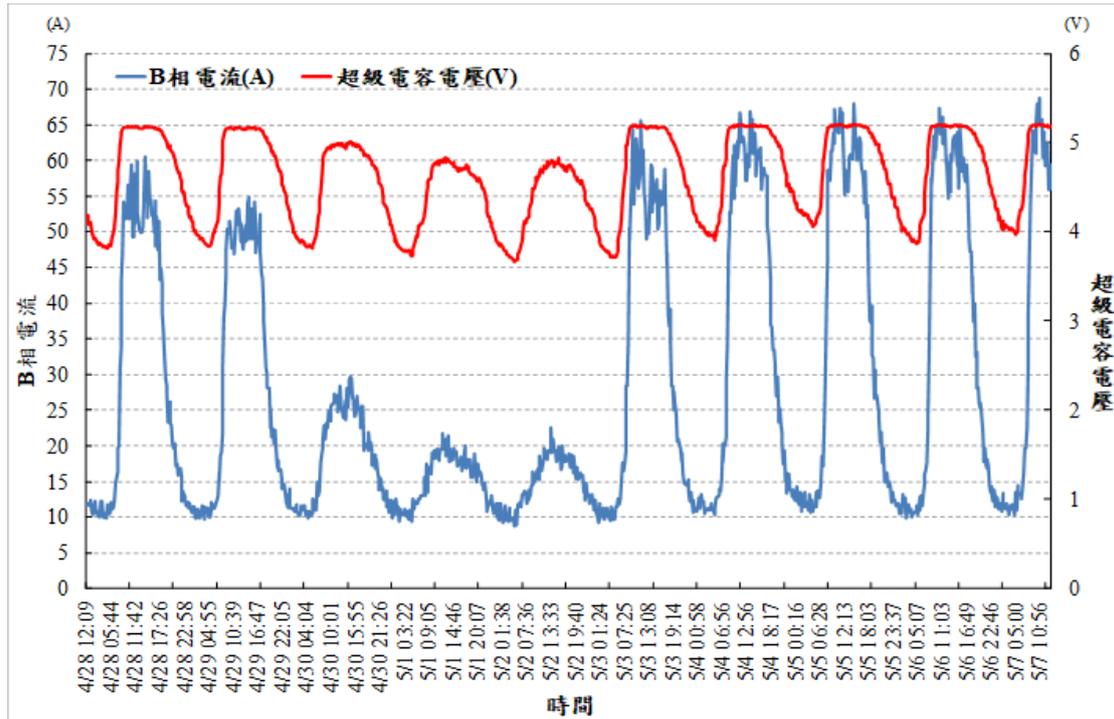


圖 5.6 電源端 B 相之回報數據

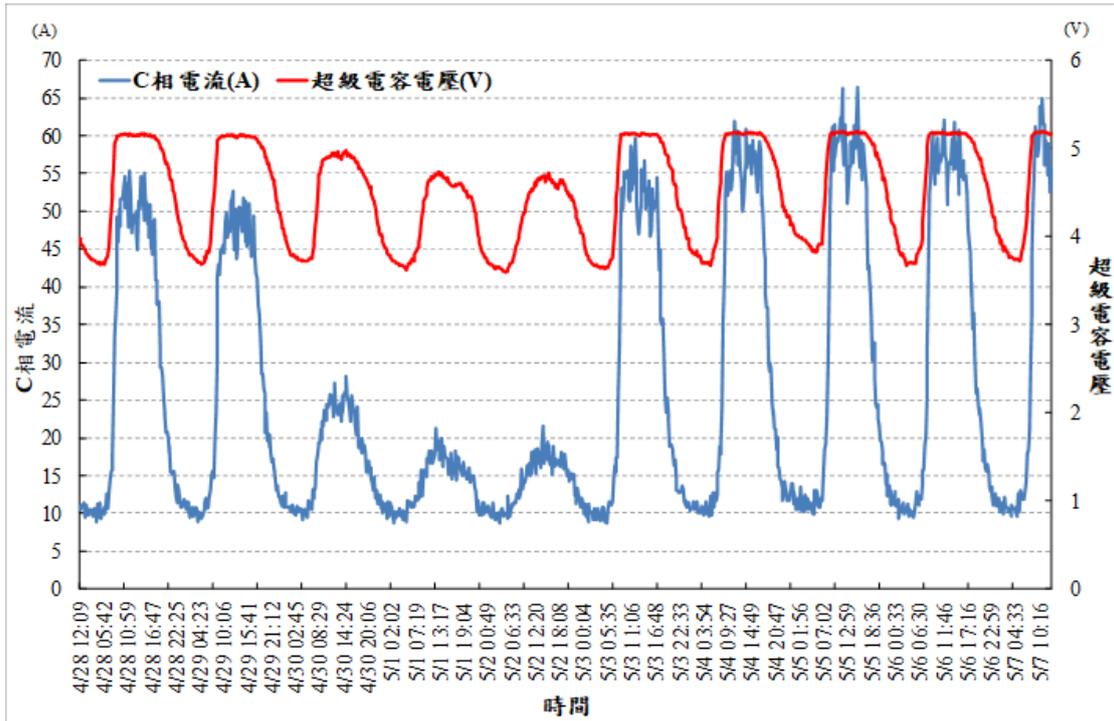


圖 5.7 電源端 C 相之回報數據

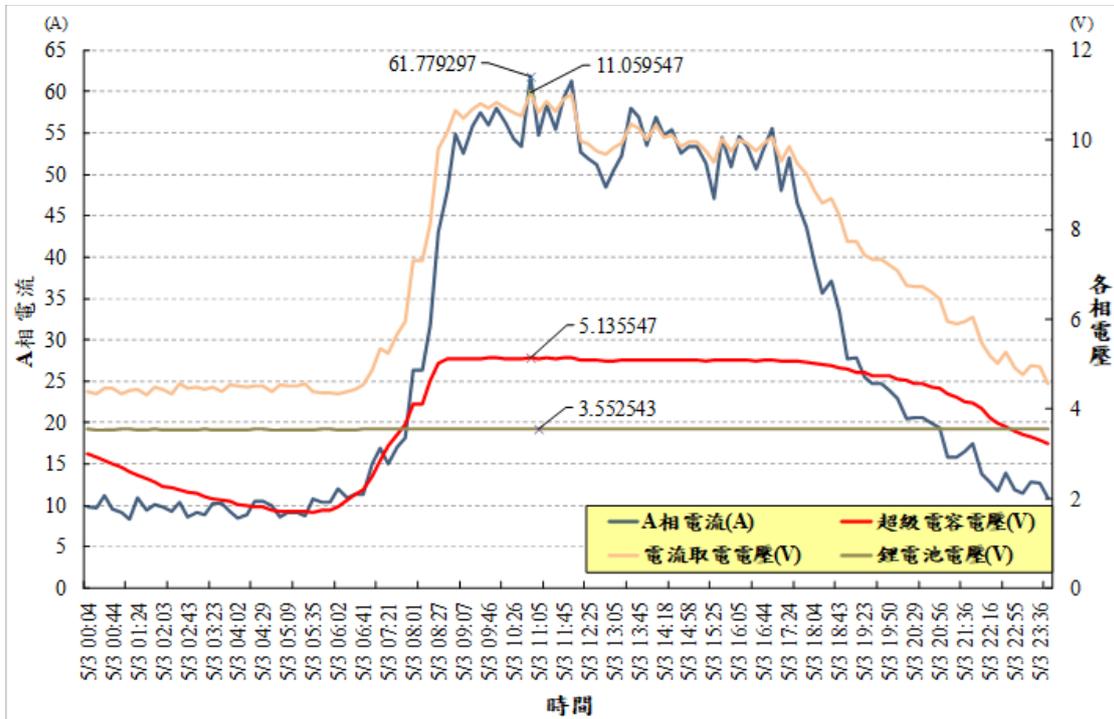
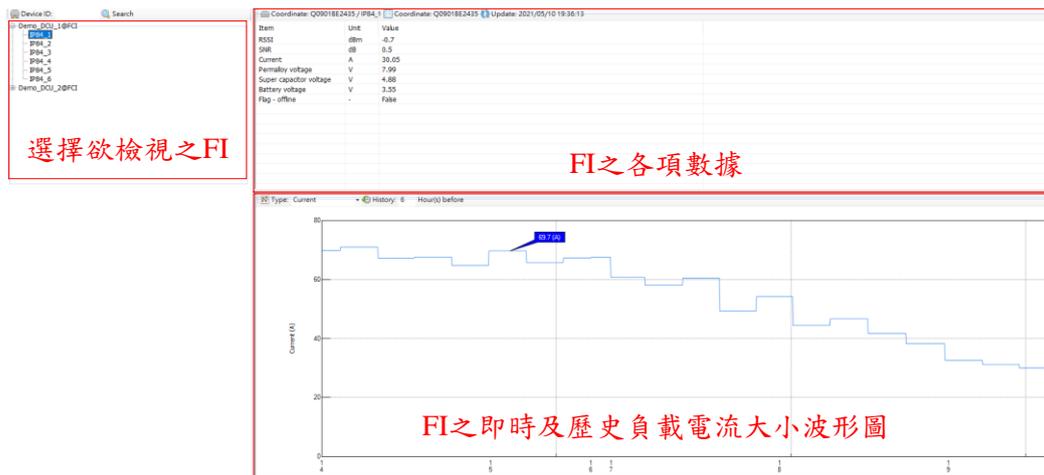


圖 5.8 工作日中負載電流與取電、超級電容、鋰電池電壓之關係

智慧饋線故障定位系統由 FI 及資料集中單元組成，其故障定位功能結合 FI 之圖號座標於地理圖資平台，目前為測試即時資料正確性及顯示，本系統可使用 Google Map 圖台，如圖 5.9 所示，目前與核研所合作，將 FI 運轉資料顯示於核研所配電圖資平台。根據不同使用情況而有不同顯示模式供使用者選擇，除了可即時監控饋線上之電力資訊，亦可由選擇日期區間進行特定範圍之歷史狀態查詢，如圖 5.10 及圖 5.11 所示，FI 所回報之各項電力數據皆儲存於即時資料庫，平時可供負載大小預測分析及三相不平衡分析改善之依據，而當事故發生時，經由圖號座標快速定位故障點，並且可察看各饋線之上下游連結關係，派遣檢修人員至現場進行故障排除，使系統俱備偵錯及快速排解事故之能力，增加配電網強韌性。



圖 5.9 地理圖資平台介面



選擇欲檢視之FI

FI之各項數據

FI之即時及歷史負載電流大小波形圖

圖 5.10 FI 即時訊息檢視介面

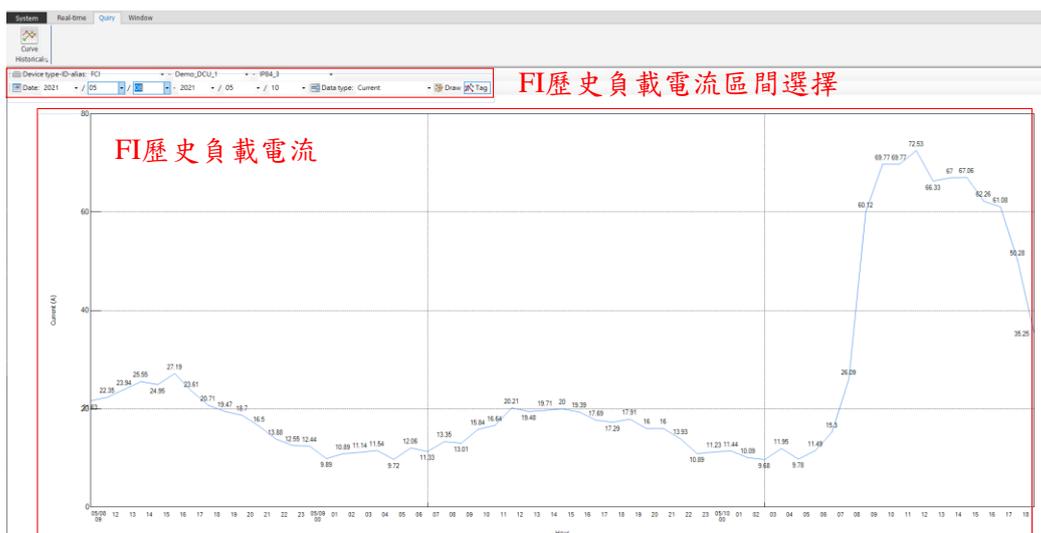


圖 5.11 FI 歷史數據查詢介面

測試饋線 XI27 之故障指示器分別裝設於四路開關 K2258FD4100-S01、K2258FD4100-S04 及四路分歧插頭 K2258AB66-J01。以 K2258FD4100-S01 為例，圖 5.12 為其故障指示器於 2021/11/03 全日三相負載量，最高負載電流發生於早上 10 時 30 分，其值為 110.2(A)(A

相)，最低負載電流發生於早上 3 時，其值為 25.6(A)(C 相)。

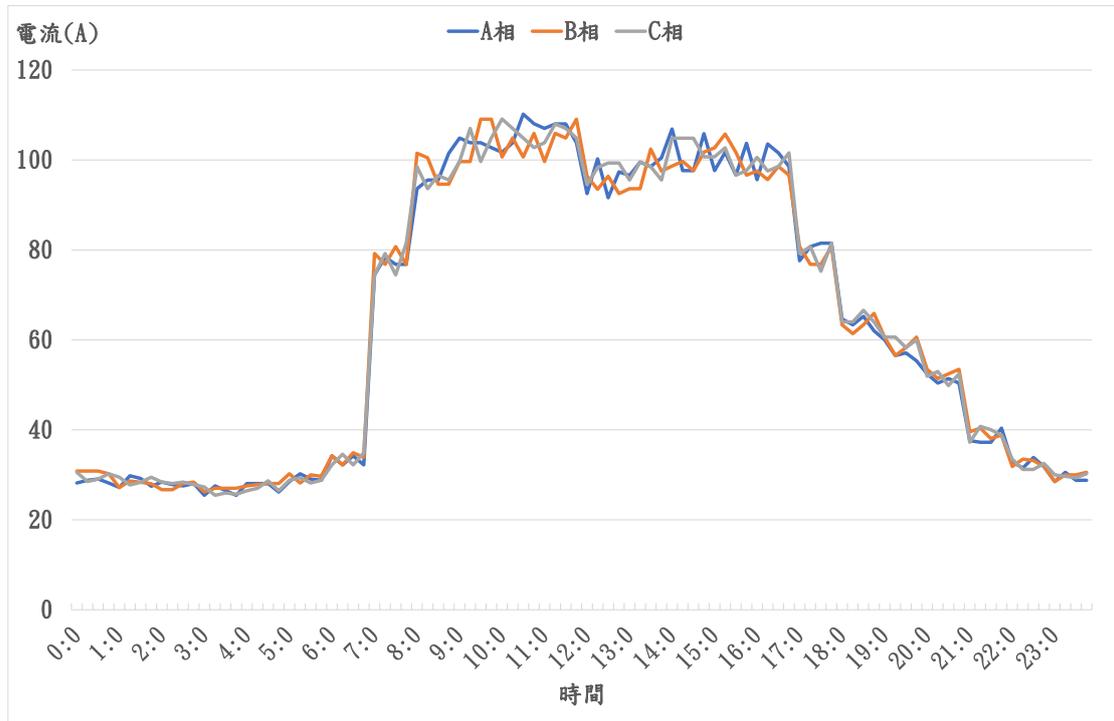


圖 5.12 饋線 XI27 四路開關 K2258FD4100-S01 全日三相負載量

六、地理圖資資料庫轉檔產生線路上下游拓樸關係，支援故障定位功能

為了能支援故障指示器定位功能及後續配電圖台資料之設備相別檢核程式開發，因此配電饋線電路模型之準確性至關重要。本計畫藉由 OMS 關連式資料庫[15-18]的電氣連接屬性資料表，利用拓樸分析找出配電饋線所有電氣設備元件，然後以節點減量分析對配電饋線做簡化的工作，以刪除不需要的電氣設備，以提升故障定位及設備相別檢核程式開發的效率。擷取停限電運轉圖資管理系統 (OMS) 資料庫資料，進行拓樸分析及節點減量以得到配電饋線的電路模型，其過程如圖 6.1 所示。

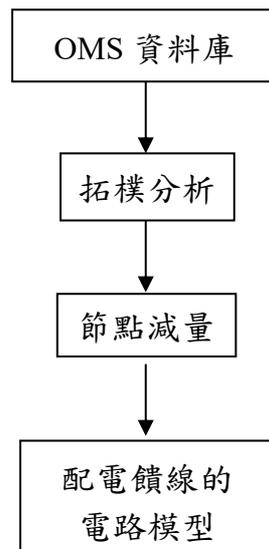


圖 6.1 配電饋線模型建立流程

拓樸分析

拓樸分析的主要功能為根據由 OMS 關聯式資料庫，擷取電氣連結性、開關狀態及故障指示器狀態並建立網路模型，以達到顯示及分析配電網路系統等目的。此外，拓樸分析亦可配合運轉圖資系統顯示配電系統網路中配電設備之屬性資料及實際地理位置。

運轉圖資系統將配電設備分為二種元件：分支（Branch）及節點（Node）如表 6.1 所示，在配電系統應用中，分支為任何連接兩個端點之設備如高壓導線、開關及變壓器等，而節點為將分支連結之電氣接點。拓樸分析經由追溯過程建立網路結構，一般而言，拓樸追溯是由給定之節點設備或分支設備開始，以分支另一端點為新的起點，而該起點連結到新的節點表示是新的分支，重覆執行此過程直到抵達聯絡開關或終端為止。當所有配電設備皆已追溯完畢時，則代表配電系統之網路模型架構建構完成。為了達成配電系統架構拓樸分析，本計畫由配電資料庫中的電氣連結性資料表（Connectivity Table）、代號資料表(Codelist Table)及饋線資料表(Feeder Table)，如表 6.2-6.4 所示，讀取資料表中的屬性資料。

表 6.1 元件類別資料表

類別代碼	代表物件	對應屬性資料表 (public schema)	類別代碼	代表物件	對應屬性資料表 (public schema)
101	匯流排	busbar	114	開關	switch
102	電容	capacitor	115	線路變壓器	sxfmr
103	故障指示器	faultindicator	116	終端	-
106	高壓導線	edge	118	主變壓器	mxfmr
107	高壓用戶	hicustomer	120	高壓節點	node
108	斷路器	breaker	122	直接連接	-
109	高壓跳線	-	131	導線變更	-
110	再生能源	distributedcustomer distributedenergy	407	電桿	pole
			402	變電所	substation
			411	配電室	dsbnroom

表 6.2 電氣連結性資料表屬性資料說明

英文名稱	中文名稱	欄位說明
FSC	設備種類編碼	
UFID	設備流水號	
N1	節點 1	
N2	節點 2	
FDR1	主要供電饋線 1	
FDR2	主要供電饋線 2	
DIR	方向性	0:單節點設備有電 ; 1:順向有電 ; 2:逆向有電 ; 3:順向無電 ; 4:逆向無電 ; 98:單節點設備無電 ; 99:沒有供電; 5:順向不可逆有電; 6:順向不可逆無電; 7:逆向不可逆有電; 8:逆向不可逆無電
OHUG	地下架空別	0:OH(架空); 1:UG(地下)
OSTATUS	開關運作連結狀態	0:OFF(不通電); 1:ON(通電)
PHASE	變壓器相別	1:? ; 2:A ; 3:B ; 4:C ; 5:AB ; 6:BA ; 7:BC ; 8:CB ; 9:CA ; 10:AC ; 11:ABC
X	設備之 X 座標	
Y	設備之 Y 座標	

表 6.3 代號資料表屬性資料說明

英文名稱	中文名稱	資料型態
INDEXID	代碼分類	NUMBER
CODENUM	分類索引	NUMBER
CODETXT	名稱	VARCHAR2
CODEVALUE	代碼值	VARCHAR2

表 6.4 饋線資料表屬性資料說明

英文名稱	中文名稱	資料型態	欄位說明
FEEDERID	饋線代號	NUMBER	
SUBSTATION	變電所名稱	CHAR	
COLOR	饋線顏色	NUMBER	1:深藍 ; 2:青綠 ; 5:粉紅 ; 9:灰色 ; 13:紫色 ; 76:米黃 ; 77:深粉紅 ; 90:深青綠 ; 103:碧藍 ; 107:磚紅 ; 110:咖啡 ; 111:灰藍 ; 112:暗灰 ; 123:暗紅 ; 124:暗米黃 ; 170:墨綠
STARTUFID	斷路器的流水號	NUMBER	

本計畫中，為了能支援故障指示器定位功能及後續配電圖台資料之設備相別檢核程式開發，將以饋線斷路器為源頭往下游追蹤，饋線斷路器節點(n2)將由 codelist、feeder、及 connectivity 等 3 個資料表以 SQL 查詢得知，如圖 6.2 所示。



圖 6.2 饋線源頭 SQL 關聯性查詢

由於 Connectivity Table 中涵蓋台電區處所有設備之電器連結性資料，其資料量太大將影響上下游拓樸分析之效率，本程式執行拓樸分析時，先將擷取欲搜尋饋線相關之電器連結性資料，以提升拓樸分析執行速度。其 SQL 關聯性查詢如圖 6.3 所示。

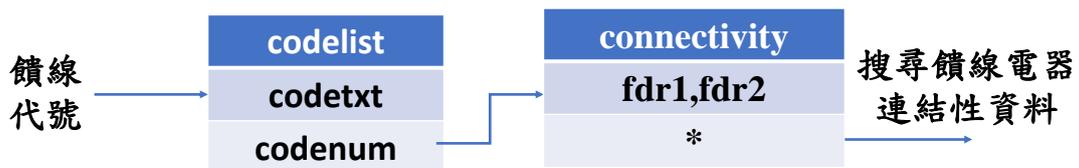


圖 6.3 搜尋饋線相關之電器連結關聯性查詢

經由上述得知配電系統元件之電氣連結關係及其屬性資料，並由各個元件間的連結關係，建立配電系統網路架構，電氣連結性資料表中節點 1 及節點 2 代表該配電設備之端點，若該設備之方向性 (DIR) 屬性為 1，代表該設備之供電方向為節點 1 到節點 2，亦可稱為順向有電，並可利用節點 2 尋找其下游配電設備，圖 6.4 所示即為順向有電之配電設備追溯圖；若該設備之方向性屬性為 2，代表該設備之供電方向為節點 2 到節點 1，亦可稱為逆向有電，可利用節點 1 尋找其下游配電設備，若方向性為 3 或 4 時，該設備通常為常開開關 (normal open switch)，此開關運作連結狀態為不通電 (OFF)，因此可視為無與其連結之下游設備，所以只要重複以上程序直至無下游之配電設備，即代表完成配電網路架構拓樸。

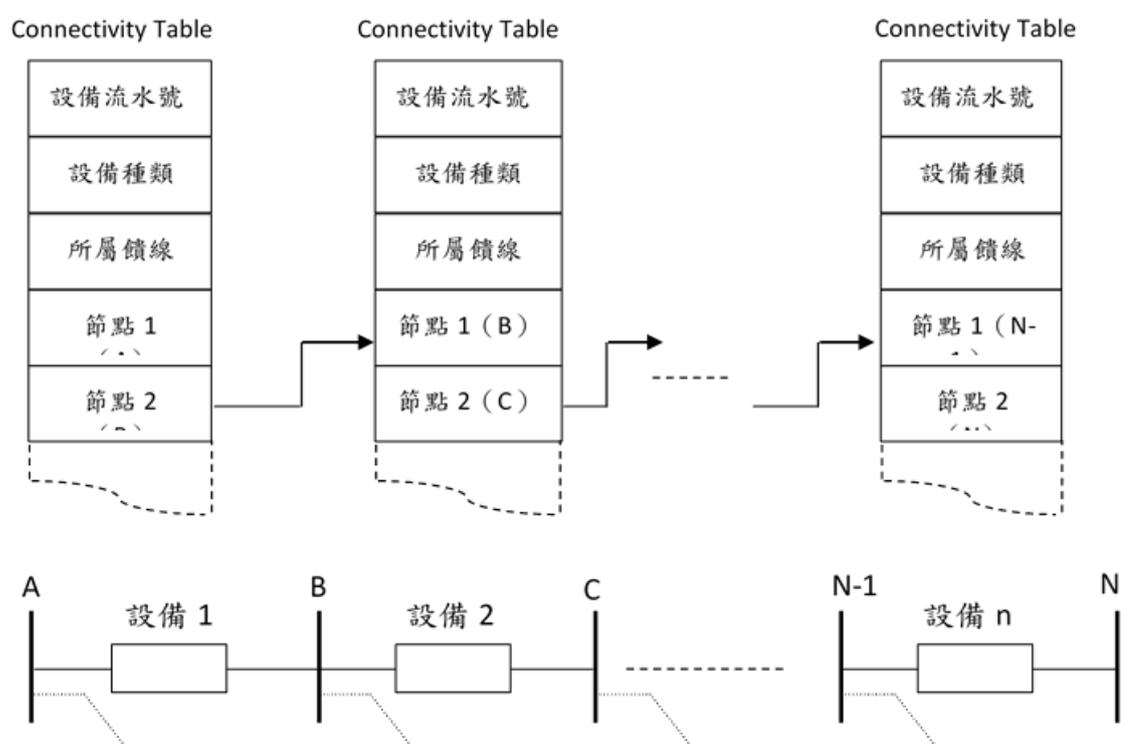


圖 6.4 順向有電時配電設備之追溯圖

根據上述之網路拓樸程序，可建立配電系統網路架構。圖 6.5 為建立配電系統網路架構範例圖，利用圖 6.5(a)所示之電氣連結關係及

方向性，可將配電元件連結以建立配電系統網路，如圖 6.5(b)所示。

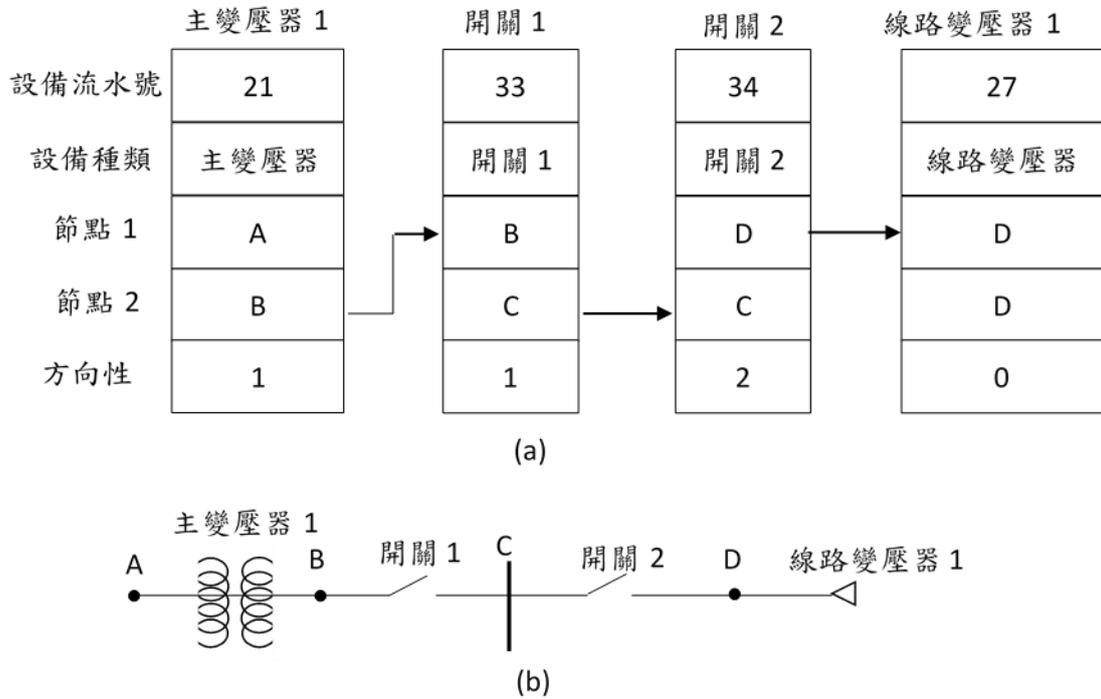


圖 6.5 配電系統網路架構建立範例圖

節點減量

運轉圖資系統資料庫對配電系統之設備及其屬性資料記錄的相當詳細，因此其中也包含了許多非本計畫研究分析所需之設備，為提升分析計算之效率所以執行節點減量的動作，對於配電系統之設備連結關係確立後，為使配電資料庫能有效支援不同應用功能軟體之需求，將以 SQL 開發使用者介面，將原始資料庫複雜的資料，透過節點減量步驟以減少應用程式之資料輸入量。但是，在節點減量過程中，必須注意的是確定設備連結關係之正確性及保留網路架構的完整性，以避免節點減量後設備連結關係不正確或網路架構不完整。

七、應用故障定位功能縮小故障範圍之判定程式開發

斷路器和分段開關通常用於配電系統中的故障保護和故障隔離，分段開關與斷路器協調在配線系統中可做為線路的自動化裝置，由於分段開關無啟斷故障電流能力，因此它必須配合 FCB 情況進行饋線跳脫如圖 7.1 所示，本案例是以未自動化之饋線或分歧線為例。

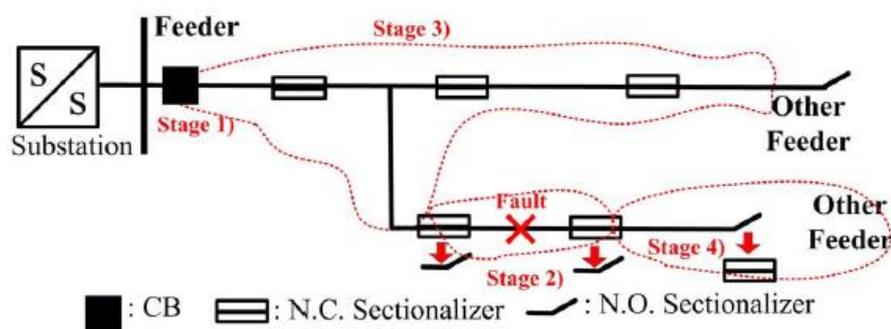


圖 7.1 斷路器和分段開關動作圖

- 階段 1：當配電線路發生故障時，饋線斷路器 FCB 跳脫。
- 階段 2：找到故障線路區間，開啟與故障相鄰之常閉分段開關執行故障隔離。
- 階段 3：投入饋線斷路器 FCB 完成上游非故障區之復電。
- 階段 4：執行常開點分段開關之投入而完成故障區下游用戶之復電功能。
- 階段 5：故障排除並恢復供電。

從上述得知，如果減少階段 2 搜尋故障區間之時間，例如都會區大樓地下配電室或偏遠山區架空線路等區域，則可以進一步提高系統可靠性，因此透過具通訊功能 FI 資訊可快速識別故障線路，降低運營成本和服務中斷問題。當配電線路故障發生時，FI 可立即將故障旗標主動回報給主站，透過配電圖資系統轉檔及 FI 故障旗標組合，自動判斷配電線路故障發生位置後，立即自動通知配電系統調度及線路

維修人員，赴現場作故障隔離與復電功能。

為方便說明舉旗邏輯應用，本節將以如圖 7.2 所示之配電饋線為範例，此饋線裝設 7 具故障指示器。假設故障發生於 FI6 與 FI7 間之區段，FI1、FI2 及 FI6 將回報故障旗標，因此，線路維修人員巡檢時可縮小範圍至 FI6 和 FI7 間之區段。

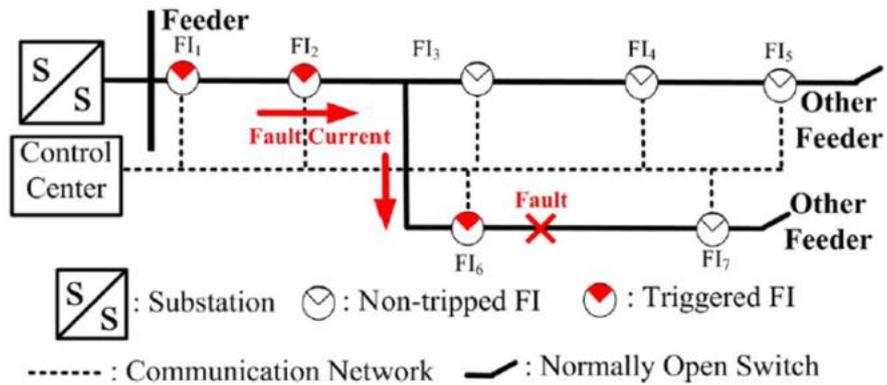


圖 7.2 舉旗邏輯應用配電饋線範例

八、 故障定位功能人機介面程式開發

本計畫故障定位功能人機介面程式開發是根據故障指示器所裝在測試饋線之上下游拓樸關係，應用故障舉旗狀態方程式之經驗式搜尋演算法，快速決定故障位置，大幅降低因系統故障造成之用戶停電時間，而提升故障復電效能。圖 8.1 為模擬測試饋線 XI27 單線圖，此饋線有 6 位置，其圖號座標分別為 K2258FD4100-S01、K2258FD4100-S04、K2258EC78-J04、K2258EC78-J01、K2258AB66-J04 及 K2258AB66-J01，共 18 具(三相)故障指示器。圖 8.2 模擬 K2258EC78-J01 及 K2258AB66-J04 區間故障(B 相)為例，K2258FD4100-S01、K2258EC78-J04 及 K2258EC78-J01 之 B 相故障指示器故障旗標舉旗，而下游 K2258AB66-J04 未舉旗，因此判定 K2258EC78-J01 及 K2258AB66-J04 區段發生故障。

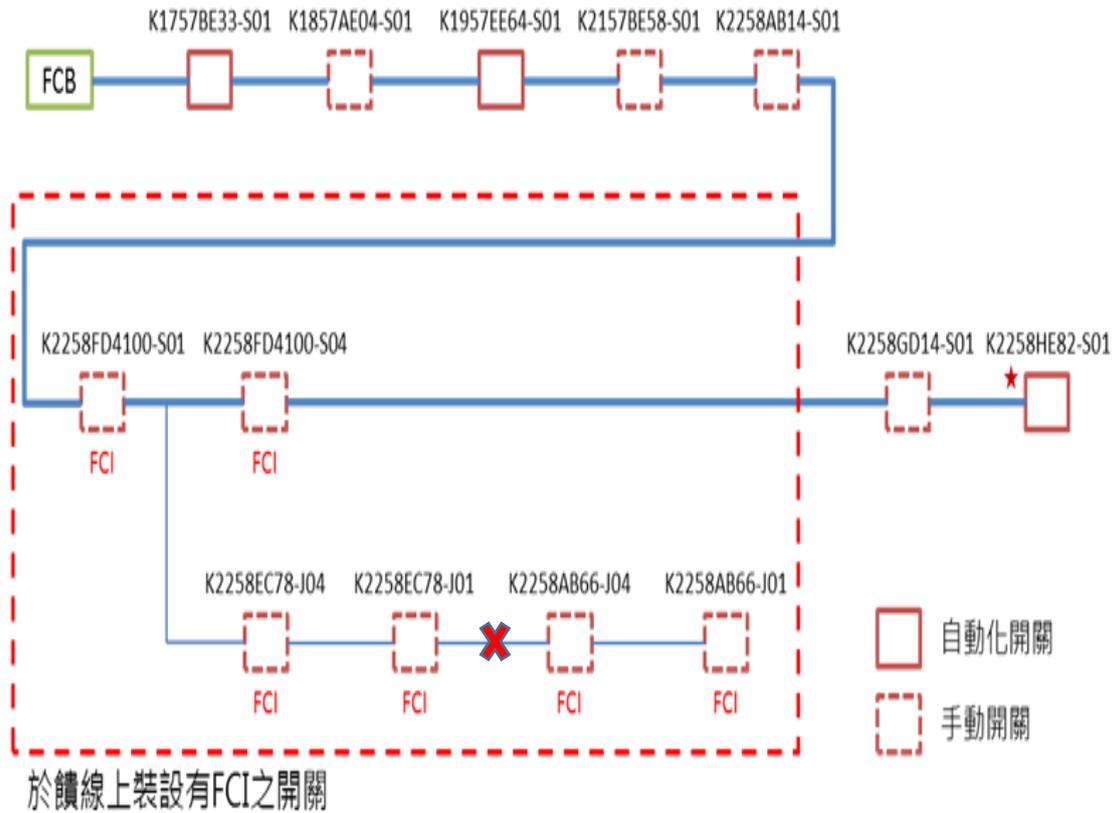


圖 8.1 測試饋線 XI27 單線圖

饋線上下游資料：

圖號座標	電流比例(%)	相別	故障類型	電流值(A)	超額電容電壓(V)	電池電壓(V)	溫度	無線信號強度(dB)	接收日期	接收
K2258FD4100-S01	100	A	正常	186.2	4.9	2.1	30.0	-59	2021/12/06	14.03
K2258FD4100-S01	100	B	瞬時故障	931.2	4.6	3.2	25.5	-75	2021/12/06	14.03
K2258FD4100-S01	100	C	正常	201.8	5.0	2.6	25.2	-52	2021/12/06	14.03
K2258FD4100-S04	60	A	正常	121.1	4.9	2.0	27.7	-82	2021/12/06	14.03
K2258FD4100-S04	60	B	正常	111.7	4.8	2.1	26.3	-86	2021/12/06	14.03
K2258FD4100-S04	60	C	正常	110.6	4.3	3.0	29.7	-79	2021/12/06	14.03
K2258EC78-J04	42	A	正常	81.5	4.8	2.3	30.5	-86	2021/12/06	14.03
K2258EC78-J04	42	B	瞬時故障				27.2	-68	2021/12/06	14.03
K2258EC78-J04	42	C	正常				30.2	-83	2021/12/06	14.03
K2258EC78-J01	35	A	正常				25.8	-76	2021/12/06	14.03
K2258EC78-J01	35	B	瞬時故障				29.1	-48	2021/12/06	14.03
K2258EC78-J01	35	C	正常				30.5	-57	2021/12/06	14.03
K2258AB66-J04	25	A	正常				26.9	-49	2021/12/06	14.03
K2258AB66-J04	25	B	正常				25.5	-52	2021/12/06	14.03
K2258AB66-J04	25	C	正常				30.5	-53	2021/12/06	14.03
K2258AB66-J01	20	A	正常	40.4	4.9	2.3	27.4	-48	2021/12/06	14.03
K2258AB66-J01	20	B	正常	40.4	4.7	2.8	25.8	-74	2021/12/06	14.03
K2258AB66-J01	20	C	正常	38.0	5.0	2.8	30.2	-64	2021/12/06	14.03

WindowsApp2

故障起始位置：K2258EC78-J01

故障結束位置：K2258AB66-J04

確定

圖 8.2 測試饋線 XI27 分歧線故障模擬(區間: K2258EC78-J01，K2258AB66-J04，B 相)

九、配電圖台資料之設備相別檢核程式開發

根據前節配電圖資拓樸分析及節點減量結果，本計畫開發配電圖資設備相別檢核程式，其開發流程如圖 9.1 所示。配電圖資相別錯誤將導致未來執行配電系統規劃及運轉時，圖資將無法順利轉檔而無法影響如三相潮流、三相不平衡改善、配電系統損失、故障定位及配電自動化轉供等分析。

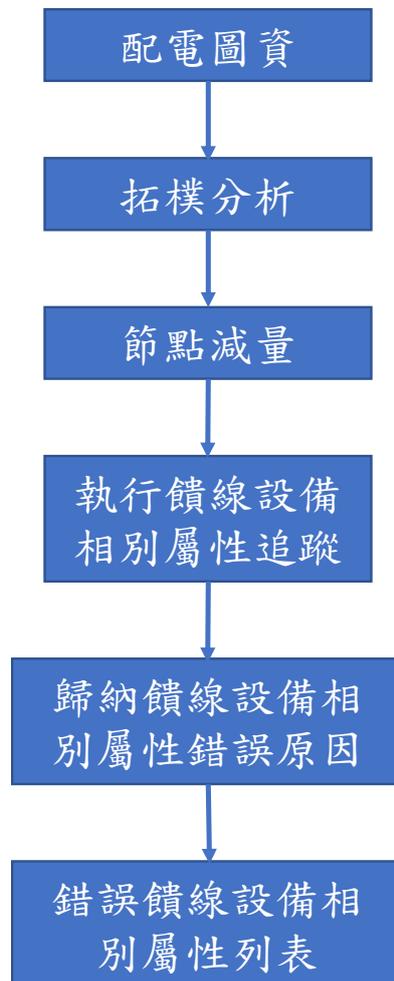


圖 9.1 配電圖台資料設備相別檢核程式開發流程

以測試饋線 XA21 為例，在案例一中，上游設備為高壓導線 (n1=76687, n2=76689)，其相別屬性為 C 相，而下游設備為再生能源

(n1=76687, n2=50388725)，其相別屬性為 ABC 相，如圖 9.2 所示。在案例二中，上游設備為高壓導線(n1=92215, n2=50454719)，其相別屬性為 CA 相，而下游設備為開關(n1=50454719, n2=50454723)及高壓導線(n1=50454719, n2=50489164)，其相別屬性均為 ABC 相，如圖 9.3 所示。在案例三中，上游設備為高壓導線(n1=78365, n2=78372)，其相別屬性為 C 相，而下游設備為高壓跳線(n1=78372, n2=50421676)，其相別屬性為 ABC 相，如圖 9.4 所示。

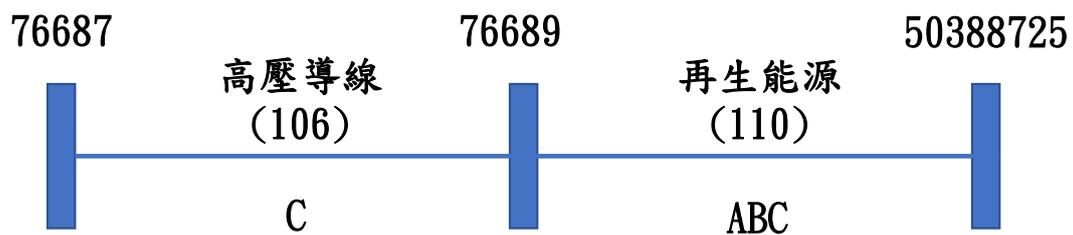


圖 9.2 測試饋線 XA21 設備相別屬性上下游不一致(案例一)

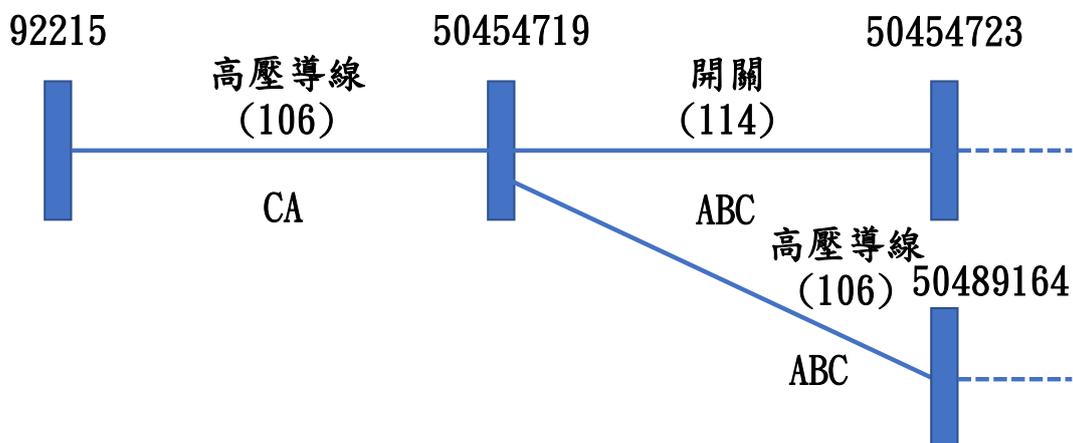


圖 9.3 測試饋線 XA21 設備相別屬性上下游不一致(案例二)

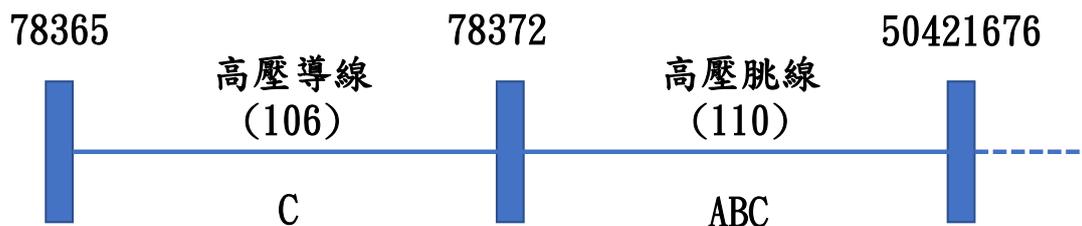


圖 9.4 測試饋線 XA21 設備相別屬性上下游不一致(案例三)

綜合上述，配電圖資設備相別屬性上下游不一致的原因歸納分述如下：

1. 配電圖資設備屬性輸入誤植，例如上游設備相別屬性為 CA，下游設備相別屬性為 AC。
2. 饋線施工完畢或新增設備後，並未落實資料庫屬性正確性查核。

建議台電區處未來除落實施工管控以維護資料準確性外，亦能全面性進行現場導線之相別量測、線路變壓器之容量相別核對及用戶與變壓器關聯資料之普查，全面更新 OMS 資料。

十、 結論

台電公司電腦圖資發展已逾十年，已在配電圖資管理上已建立標準主題圖，並開發相關應用軟體，建立一套可供配電系統運轉、調度及相關部門人員使用之停限電運轉圖資系統，利用並整合網路環境運轉資料及配電室(場)卡等相關資料，提供系統使用者藉由通訊網路在電腦上圖資查詢、圖資編輯、圖資運轉操作、事故停電管理、工作停電管理、限電作業管理等作業功能。國內配電相關研究已累積不少良好的研究績效，但皆著重於單一應用功能的求解方式居多，能配合整體配電資訊系統，支援不同應用功能的研究則較為缺乏。若能整合配電圖資系統及既有 REMS、DDCS、FDSC、MDMS 等系統，建置雲端架構巨量資料庫，使配電資訊系統能和配電系統分析規劃運轉不同應用功能作結合，並選擇實際配電系作為研究對象，將台電目前使用之規劃及運轉之規則納入考量，提升配電圖資系統之應用附加價值。

台電公司考慮配電自動化系統建置之成本效益，目前饋線自動化系統大多僅涵蓋饋線主幹線之故障復電功能，然而大部份之配電系統故障皆發生於分歧線，雖然 FTU 於分歧線發生故障時，分歧自動化開關(LCB)動作後，可將分歧線停電信息回報給調度中心，再派員赴停電分歧線找尋可能之故障點，但由於每一分歧線供電範圍涵蓋幾棟大樓或供電轄區，台電人員須配合抵達現場逐一檢視，導致必須花費很多時間作故障定位後，再作線路開關操作而影響用戶復電時間。

本計畫將根據台電配電系統架構，當配電系統分歧線發生故障時，可配合 FDIR 之執行，在自動化開關分歧線斷路器(LCB)跳脫造成停電時，藉由本計畫故障定位系統主站推導故障發生區段，提供調度員更為精準的故障點位置，以加速分歧線故障復電及搶修功能。於配電系統正常運轉時，故障指示器後端平台所收集之線路電流又可透過通信介面，傳送並顯示於故障指示器圖台，以提升配電系統運轉及規劃效能。

本計畫所提出之配電饋線故障定位系統，在配電饋線上之 FI 在偵測出停電事故時，會透過 LoRa 無線通訊，主動回報故障旗標與前

後數週波電流波形至 DCU。由於 FI 回報之訊息應用電力物聯網網路結構回傳資料含時間/日期、FI 設備編號、FI 旗標、線路電流、取電電壓、電池電壓、超級電容電壓及 LoRa 信號強度。透過 RJ-45 介面經由台電既設光纖或 4G 無線通訊網路回傳至網路伺服器後，將其統整後之訊息傳遞至運轉即時資料庫，並結合核研所所發展之配電圖資圖台，建構配電網路模型，並基於網路狀態方程式之經驗搜尋演算法，快速決定故障位置，並顯示於配電圖資圖台，提供台電維護人員快速定位故障地點，並進行復電程序，減少用戶停電時間。

台電配電線路由於採多重接地方式，當配電系統發生單相接地或相間短路時，其故障電流將較大於正常運轉電流值，可應用於故障旗標舉旗與否之判斷，但架空型配電線路常發生瞬間故障，為縮短故障停電時間，而有 79 電驛作復閉功能，此外當配電線路加壓送電時，由於變壓器或用戶設備產生較大之湧入電流(Inrush Current)，亦容易造成故障指示器之誤判而舉旗。針對本計畫所設計之智慧故障指示器，考量台電可能之線路電流型態，其電流波形可分類成短路故障、考慮開關自動復閉之瞬時故障、考慮開關自動復閉之永久性故障及變壓器投入之湧流特性等。

故障指示器於饋線上之佈設策略將根據台電區處需求，針對工業區、海邊鹽害區及地下配電室較容易發生故障區域裝設故障指示器。本計畫所蒐集之即時資料為佈建於高雄區處及台南區處現場的故障指示器，於高雄區處及台南區處分別佈建 DCU19 及 8 具，高雄區處架空故障指示器共 16 處*3 相=48 具，高雄區處地下故障指示器共 34 處*3 相=102 具及台南區處共 16 處*3 相=48 具。

本計畫於 2021/04/06 於台南科學園區配電箱(N0709 AE63)饋線地下型 FI 執行 LoRa 通訊測試。另外本計畫與台灣電力公司配合，於高雄軟體科學園區擇一地下配電室(圖號座標 Q0801 GD7204)進行實際試裝(2021/03/21)，針對配電箱中電源端及負載端之饋線進行監控透過 FI 及 DCU 即可蒐集電力資訊如電流、FI 超級電容、溫度、電場、通訊品質等數據，由結果得知在負載電流大時 FCI 溫度會隨著負載變動，從輕載之 47°C 上升至重載之 62°C。故障指示器除了故障定位及

監控外，平時也能將電力負載數據做為日常負載預測之大數據分析資料及三相不平衡改善依據，選擇 4/28 之中午 12:05 分觀察各相負載電流大小即可得知 A 相為 51.52A、B 相為 59.91A、C 相為 49.46A，有三相電流不平衡之現象發生，並且由圖可得負載電流及 FI 超級電容電壓大小與日/夜間及工作/假日相關，4/30~5/2 為勞動節之補假及例假日，負載電流相較於工作日小。電流取電電路後之節點及超級電容電壓均與負載電流呈現正比關係，FI 取電效益及超級電容之補足能力均使備援鋰電池電量並無改變，其運作電壓皆符合 FI 所需並且能降低更換電池之運維成本。經過長時間在外掛載測試後，FI 均運作正常，可驗證 FI 運行之穩定度、可靠度皆能達到使用的規範。

智慧饋線故障定位系統由 FI 及資料集中單元組成，其故障定位功能結合 FI 之圖號座標於地理圖資平台，目前與核研所合作，將 FI 運轉資料顯示於核研所配電圖資平台。根據不同使用情況而有不同顯示模式供使用者選擇，除了可即時監控饋線上之電力資訊，亦可由選擇日期區間進行特定範圍之歷史狀態查詢。FI 所回報之各項電力數據皆儲存於即時資料庫，平時可供負載大小預測分析及三相不平衡分析改善之依據，而當事故發生時，經由圖號座標快速定位故障點，並且可察看各饋線之上下游連結關係，派遣檢修人員至現場進行故障排除，使系統俱備偵錯及快速排解事故之能力，增加配電網強韌性。

本計畫完成故障定位功能人機介面程式開發，本程式是根據故障指示器所裝在測試饋線之上下游拓撲關係，應用故障舉旗狀態方程式之經驗式搜尋演算法，快速決定故障位置，大幅降低因系統故障造成之用戶停電時間，而提升故障復電效能。

為確保配電系統圖檔之準確性，本計畫亦開發一套人工智慧為基礎之設備圖檔連結工具，另外就設備資料部份如導線、變壓器相別，亦將建立各種資料驗證之規則，使圖檔與設備資料庫能產生正確的對應關係，以確保配電系統資料庫的維護能力，有效支援本計畫應用此資料庫的彈性。由結果得知，在配電圖資資料庫中，仍存在相別屬性上下游不一致現象，建議台電區處未來除落實施工管控以維護資料準確性外，亦能全面性進行現場導線之相別量測、線路變壓器之容量相

別核對及用戶與變壓器關聯資料之普查，全面更新 OMS 資料。

十一、投稿國際期刊及國內會議論文佐證資料

I. 投稿國際期刊佐證資料

OpenConf Peer Review and Submission Management System
[OpenConf Home](#) [Privacy Policy](#) [Email Chair](#)

Edit Submission

General Information
Submission Title: Optimal Phase Balancing in Electricity Distribution Feeders Using Mixed-integer Linear Program

Author(s)

Author 1
First/Given Name: Chia-Hung
Last/Family Name: Lin
Organization: Department of Electrical Engineering, National Kaohsiung University of Sci
Country: Taiwan
Email: chlin@nku.edu.tw

Author 2
First/Given Name: Te-Tian
Last/Family Name: Ku
Organization: Department of Electrical Engineering, National Kaohsiung University of Sci
Country: Taiwan
Email: ttku@nku.edu.tw

Author 3
First/Given Name: Chung-Sheng
Last/Family Name: Li
Organization: Department of Electrical Engineering, National Kaohsiung University of Sci
Country: Taiwan
Email: nargai@gmail.com

Author 4
First/Given Name: Chao-Shun
Last/Family Name: Chen
Organization: Department of Electrical Engineering, I-Shou University
Country: Taiwan
Email: cschen@mail.ee.nsysu.edu.tw

Author 5
First/Given Name: Yin-Der
Last/Family Name: Lee
Organization: Institute of Nuclear Energy Research
Country: Taiwan
Email:

Author 6
First/Given Name: Jheng-Lun
Last/Family Name: Jiang
Organization: Institute of Nuclear Energy Research
Country: Taiwan
Email:

Author 7
First/Given Name: Cheng-Yu
Last/Family Name: Chen
Organization: Institute of Nuclear Energy Research
Country: Taiwan
Email:

Contact Author

Contact Author: Author who will serve as the point of contact for correspondence about the submission.

Alternate Contact: Alternate contact information, such as personal email address or telephone number; used only if unable to contact using above email address.

Topic Areas

To help match submissions to reviewers and sessions, please select the area(s) most applicable to your submission

Topic Areas: Codes and Standards
 Energy System Committee
 Power System Engineering Committee
 Power System Protection Committee

Content

Keywords:

Abstract:

[ICPS2022] Submission ID 47
 ICPS2022 <mail-sender@openconf.org>
 12月13日 週一 下午 2:51 (8 天前)
 寄給 我、 asaleh

Thank you for your submission to ICPS2022. Below is a copy of the information submitted for your records.

Submission ID: 47

Consent: I consent to the collection and use of my personal information, including receiving emails, consistent with the Privacy Policy linked above. I have also obtained the consent of all other individuals whose information I provide.

Title: Optimal Phase Balancing in Electricity Distribution Feeders Using Mixed-Integer Linear Programming

Author 1:

First Name: Chia-Hung
 Last Name: Lin
 Organization: Department of Electrical Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology
 Country: Taiwan
 Email: chlin@nkust.edu.tw

Author 2:

First Name: Te-Tien
 Last Name: Ku
 Organization: Department of Electrical Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology
 Country: Taiwan
 Email: ttku@nkust.edu.tw

Author 3:

First Name: Chung-Sheng
 Last Name: Li
 Organization: Department of Electrical Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology
 Country: Taiwan
 Email: nargal@gmail.com

Author 4:

First Name: Chao-Shun
 Last Name: Chen
 Organization: Department of Electrical Engineering, I-Shou University
 Country: Taiwan
 Email: cschen@mail.ee.nsysu.edu.tw

Author 5:

First Name: Yih-Der
 Last Name: Lee
 Organization: Institute of Nuclear Energy Research
 Country: Taiwan

Email:

Author 6:

First Name: Jheng-Lun
Last Name: Jiang
Organization: Institute of Nuclear Energy Research
Country: Taiwan
Email:

Author 7:

First Name: Cheng-Yu
Last Name: Chen
Organization: Institute of Nuclear Energy Research
Country: Taiwan
Email:

Contact Author: Author 1

Alternate Contact:

Topic(s): Power System Engineering Committee

Keywords: Mixed-integer linear programming, outage management system, phasing unbalance index, voltage unbalance factor

Abstract: A mixed-integer linear programming (MILP) model that includes reductions of neutral current, feeder energy loss cost, customer interruption cost, and labor cost is developed to derive the optimal rephasing strategy to enhance phase balancing of distribution feeders. The neutral current of the distribution feeder is reduced by the rephasing strategy so that tripping of the low-energy overcurrent relay can be prevented and customer service interruption cost and labor cost to execute the rephasing works can be justified by the energy loss reduction obtained. A Taipower distribution feeder is used to derive the rephasing strategy to demonstrate the proposed MILP model for phase balancing. Comparison of the phase currents and neutral current before rephasing reveals that the three-phase balance was not only improved significantly but that the voltage unbalance was also decreased dramatically by using the proposed rephasing strategy.

Comments:

II. 投稿國內會議論文佐證資料

第四十二屆中華民國電力工程研討會暨
第十八屆台灣電力電子研討會
台灣 高雄市 2021 年 11 月 11-12 日

應用模糊派翠網路於配電系統故障偵測之應用 Fault Section Identification in Distribution Systems Using Fuzzy Petri Nets

林嘉宏^{1,*} 辜德典¹ 陳朝順²
Chia-Hung Lin Te-Tien Ku Chao-Shun Chen
李奕德³ 姜政綸³ 陳政佑³
Yih-Der Lee Jheng-Lun Jiang Cheng-Yu Chen

¹國立高雄科技大學電機工程系
Department of Electrical Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology

²義守大學
I-SHOU University

³行政院原子能委員會核能研究所 龍潭 桃園市
Institute of Nuclear Energy Research, Longtan, Taoyuan

摘要

本論文結合智慧型故障指示器，將導線運轉資料收集並回傳，並根據配電饋線架構，建構模糊派翠網路模型。根據模糊派翠網路狀態方程式之經驗式搜尋演算法，快速決定故障位置，大幅降低因系統故障造成之用戶停電時間，而提升故障復電效能。由於無線通訊限制，故障指示器之過電流旗標狀態信號在傳送過程，可能造成資料遺失、錯誤或超過時間等事件發生。本論文根據回傳之電流信號及用戶來電資訊，加入模糊派翠網路推論機制中，以減少因通訊限制故障指示器回傳資料遺失而造成故障區間誤判的情形，提升配電系統線路故障復電功能，有效支援智慧電網設備管理功能。

關鍵詞：模糊派翠網路、智慧型故障指示器、配電自動化、智慧電網。

Abstract

This thesis proposes a fault identification method that is embedded in an asset management system that integrates data from smart fault indicators (SFIs). The fault identification model, based on Fuzzy Petri-net (FPN) technology, is developed by using the database of an automated mapping/facilities management/geographic information system (AM/FM/GIS). The proposed method uses data that include the statuses of fault indicators and circuit breakers, the available pre-current and post-current measurements of FIs, the loadings of a feeder and a lateral, the trouble call information. Communications capabilities are added to these fault indicators to develop a centralized asset management system that can dispatch crews to fault locations faster, accelerating restoration. A distribution feeder of Taiwan Power Company (Taipower) was simulated. The obtained results indicate the great performance of the FPN method in enhancing service reliability.

Keywords: Fuzzy Petri Net, Smart Fault Indicator, Distribution Automation, Smart Grid

I. 簡介

本論文結合智慧型故障指示器，將導線運轉資料收集並回傳，並根據配電饋線架構，建構模糊派翠網路模型。根據模糊派翠網路狀態方程式之搜尋演算法，執行故障位置，大幅降低因系統故障造成之用戶停電時間，而提升故障復電效能。此外，受無線通訊限制，故障指示器之過電流旗標狀態信號在傳送過程，資料可能遺失、錯誤或超過時間等事件發生。除了在配電饋線停電管理監控平台會顯示通訊故障之故障指示器，以供調度中心能盡快派員查修。另外，本論文於故障時，將根據從配電自動化系統(Distribution Dispatch Control System, DDCS)及饋線自動化系統(Feeder Dispatch and Control System, FDACS)蒐集之饋線及分枝線故障前後負載量與現場故障指示器傳回之故障前後電流值比對，考慮比對結果，並加入派翠網路推論機制中，以減少因通訊限制故障指示器回傳資料遺失而造成故障區間誤判的情形。

模糊派翠網路(Fuzzy Petri Net, FPN)模型架構會根據配電圖資建立 FPN 模型架構，FPN 模型架構含饋線斷路器狀態、分枝線斷路器狀態、故障指示器狀態及用戶來電資訊等。結合模糊派翠網路模型之規則庫，用於配電系統故障後，由模糊派翠網路配合由啟示性規則，以其平行推論的特性推導故障發生區段，提供調度員更為精準的故障點位置，以加速分枝線故障復電及搶修功能。

II. 具通訊功能的智慧型故障指示器

為有效解決配電線路(分枝線)故障定位問題，並支援未來智慧配網設備管理系統之推動，國外電力公司正大力推動線路故障定位及線路電流回報系統之建置，並藉由混合式通信系統與後端主站平台作雙向之通信功能。圖 1 為線路故障系統架構圖。當配電線路故障發生時，FI 可立即將故障旗標主動回報給主站，透過配電圖資系統轉播及 FI 故障旗標組合，自動判斷配電線路

十二、參考文獻

- [1] 台灣電力公司業務處，配電手冊(三)配電電腦圖資制度，98年9月。
- [2] 行政院，國土空間發展策略計畫，99年2月。
- [3] Autodesk, AutoCAD Map 3D and Autodesk Geospatial 網站：
<https://knowledge.autodesk.com/support/autocad-map-3d/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/MAP3D-Learn/files/GUID-3B07EAC3-B82A-4917-8B29-FDDD9D0494AD-hm.html>.
- [4] Bentley System Incorporated, Bentley Map, 網站：
<https://www.bentley.com/en/products/product-line/asset-performance/opencities-map>.
- [5] Environmental Systems Research Institute, Inc. (Esri), ArcGIS, 網站：
<https://www.arcgis.com/home/group.html?id=1d1f24e8556642f49448f1c88b5a571b#overview>.
- [6] General Electric, Smallworld, 網站：
<https://www.ge.com/digital/applications/smallworld-gis-geospatial-asset-management>.
- [7] Hexagon AB (Intergraph/Hexagon Geospatial), GeoMedia, 網站：
<https://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/geomedia>.
- [8] Milsoft, Utility Solutions GIS, 網站：
<https://www.milsoft.com/engineering-operations/gis-field-engineering/>.
- [9] Pitney Bowes, MapInfo, 網站：<http://www.geobis.com/mapinfo-gis-software/>.
- [10] DNV, 網站：<https://www.dnvgl.com.tw/>.
- [11] San Diego Gas & Electric Company, 網站：<https://www.sdge.com/>.
- [12] Southern California Edison, 網站：<https://www.sce.com/>.
- [13] Westerville Power and Light, 網站：<https://www.westerville.org/services/electric>.
- [14] Xcel Energy, 網站：<https://www.xcelenergy.com/>.
- [15] “台灣電力公司台北南區營業處停限電運轉圖資系統：系統操作文件”，

資憲科技股份有限公司，中華民國九十一年七月。

- [16] “以停限電運轉圖資管理系統支援配電系統損失之推估”，台灣電力公司，中華民國九十四年十月。
- [17] 陳郁文，“以停限電圖資管理系統支援配電系統損失分析之研究”，碩士論文，國立中山大學，中華民國九十四年。
- [18] 王旭淋，“以停限電運轉圖資管理系統支援配電饋線損失分析之研究”，碩士論文，國立中山大學，中華民國九十五年。