



國立臺灣科技大學

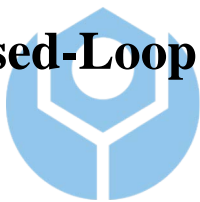
電機工程系

博士學位論文

學號: D8807103

---

配電饋線由放射型升級為常閉環路型之研究  
Study of Upgrading Distribution Feeders from Radial to  
Normally Closed-Loop Arrangement



研究生：黃維澤

指導教授：陳在相 博士

中華民國九十四年六月二十八日

## 博士學位論文指導教授推薦書

本校 電機工程 系(所) \_\_\_\_\_ 學程 黃維澤 君

所提之論文 配電饋線由放射型升級為常閉環路型之研究

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授 陳 在 翔

94年 6 月 20 日

## 博士學位考試委員會審定書

本校 電機工程 系(所) \_\_\_\_\_ 學程 黃維澤 君

所提論文 配電饋線由放射型升級為常閉環路型之研究

經本委員會審定通過，特此證明。

學位考試委員會

委

員：

陳朝順

劉志文 陳士麟

許炎豐 辜志遠

陳建富 陳在相

召

集

人：

陳朝順

學程主任：

\_\_\_\_\_

系主任(所長)：

許新添

中華民國 九十四 年 六 月 二十八 日

# 配電饋線由放射型升級為常閉環路型之研究

研究生：黃維澤

指導教授：陳在相

時間：94年6月

## 論文摘要

本論文旨在研究配電饋線型態升級之問題。藉由兩放射型饋線互連可形成四種可能的常閉環路饋線型態，亦即：(1)二條饋供自同一變電所同一主變之饋線互連形成之典型常閉環路饋線—Type I；(2)二條引接自同一變電所不同主變之饋線互連形成跨越主變常閉環路饋線，此一型態又可進一步區分為二個次型態，連絡斷路器常開型—Type II.1 與連絡斷路器常閉型—Type II.2；(3)二條由不同變電所不同主變饋供之饋線互連形成互連型常閉環路饋線。由於饋線型態不同，升級的影響因素以及相關的配套措施自然有所差異；此外，各型態之運轉特性、操作方式、可行性以及供電可靠度亦各自有異，值得深入探究。

本論文首先提出既有放射型配電饋線升級為常閉環路型的四種可能型態。其次，依據四種可能之常閉環路型態，作一完整之學理探討，分析配電饋線升級之影響因素，隨之，推導饋線沿線的短路容量公式，以便分析配電饋線升級前後在不同系統參數及型態下，饋線沿線短路容量變化情形，並探討配電饋線升級前後以及升級後在非常態運轉情況下之電力潮流、電壓降以及主變壓器與其饋線負載量變化情形；此外，更推導配電饋線升級前後之線路損失公式，分析電路結構改變對線路損失的影響情形；另外，亦探討、分析含負載轉供機制較

為可行之常閉環路系統架構、運轉操作方式，以及主變壓器及其饋線之常態運轉最高負載量與利用因數。最後，綜合歸納整理饋線型態升級所造成之影響及衝擊，並研擬相關配套措施，同時作一總結。本論文所呈現之各項研究成果，可供配電系統相關人員從事配電饋線升級規劃，以及運轉與維護常閉環路饋線之重要參考。



# Abstract

This dissertation examines the issues of upgrading distribution feeders from radial to nominally closed loop arrangements. Four types of normally closed loop arrangement will possibly be formed by tying two existing radial feeders at their ends normally. First, two radial feeders fed by a substation transformer to form a typical normally closed loop named as Type I; second, two radial feeders fed by two different substation transformers located at the same distribution substation to form a cross-transformer-type normally closed loop. The latter type is further divided into two subtypes based on whether the tie breaker of the secondary buses of the two transformers is normally closed or open, the tie breaker is normally open named as Type II.1, and the tie breaker is normally closed named as Type II.2; third, two radial feeders are fed by two different transformers located in different substations to form an interconnection-type normally closed loop name as Type III. Because of the difference in these four types of feeder arrangements, the factors affected the upgrading of distribution feeder and the required supporting measures are quite different. Besides, the operating characteristics, the mode of operations, the feasibility, and the reliability are divergent naturally. Accordingly, it is worthy of further study.

First of all, four possible feeder arrangements for forming a normally closed loop upgrading from existing radial feeders are proposed, and then the factors that may predominately affect the distribution feeder upgrading are discussed theoretically. Next, the variations of short-circuit capacities along a feeder before and after the distribution feeder upgraded under different parameters and types were evaluated via the derivation of the short-circuit capacities formulas. And the power flows, voltage drops, and loading variations of the substation transformers and the feeders were also

discussed before and after the distribution feeder upgraded, as well as the abnormal operations after the distribution feeder upgraded. Additionally, the resistive line loss formulas were derived to analyze the impacts on line loss due to the changing of the structure of distribution feeders; and further, the feasible closed loop feeder arrangements with load transfer, the corresponding operating modes, and the maximum loadings as well as utilization factors of the substation transformers and feeders under normal operation condition were explored here. Finally, to sum up the impacts of distribution feeders upgrading, the required supporting measures have been drawn up. The outcomes are of value to the distribution engineers while planning to upgrade the distribution feeder, and operating and maintaining the closed loop type of feeder arrangement.



## 誌 謝

由衷地感謝指導教授陳在相博士，這些年來您的辛勤指導與啟發，使得本論文得以順利付梓。恩師學問淵博、治學嚴謹，學生受益良多。師恩浩瀚，永誌於心。

特別感謝陳朝順教授、陳士麟教授、陳建富教授、劉志文教授、辜志承教授以及許炎豐博士對本論文的指導與建議。再者，感謝系裡諸位教授的授業解惑、實驗室眾學長學弟們的協助，以及國際扶輪3460地區埔里扶輪社的鼓勵，尤其是現任社長梁克昌先生。僅此一併致謝。

最後，謹以此論文獻給最敬愛的父親黃仁志先生與母親陳阿甚女士、岳父陳寶源先生與岳母羅玉英女士、愛妻淑萍與愛子長熙、姐姐淑豐、妹妹婉而、弟弟育新，以及所有關心我的親友，願共享這份喜悅。



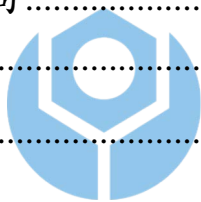


# 目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
誌謝.....	V
目錄.....	VI
符號索引.....	IX
圖表索引.....	X
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究方法與步驟.....	5
1.3 主要貢獻.....	7
1.4 論文架構.....	9
第二章 饋線型態升級之影響因素分析.....	11
2.1 前言.....	11
2.2 饋線型態簡介.....	12
2.3 影響因素之探討與分析.....	14
2.3.1 Type I.....	15
2.3.2 Type II.....	17
2.3.3 Type III.....	18
2.4 綜合分析與討論.....	19
第三章 饋線型態升級對饋線沿線短路容量之影響分析.....	21
3.1 前言.....	21
3.2 問題描述與求解方法.....	22
3.2.1 問題描述.....	22
3.2.2 短路容量法.....	24
3.3 數理分析與探討.....	27
3.3.1 放射型架構.....	29
3.3.2 常閉環路型架構.....	31
3.4 綜合比較與分析.....	37

3.5	本章結論.....	43
第四章	饋線型態升級對系統運轉特性之影響分析.....	44
4.1	前言.....	44
4.2	範例系統設計及分析案例說明.....	45
4.3	模擬結果之分析與探討.....	49
4.3.1	Type I.....	49
4.3.2	Type II.1.....	52
4.3.3	Type II.2.....	55
4.3.4	Type III.....	57
4.4	綜合比較與分析.....	60
4.5	本章結論.....	61
第五章	饋線型態升級對線路損失之影響分析.....	62
5.1	前言.....	62
5.2	問題描述.....	63
5.3	線路損失關係式推導.....	68
5.4	範例系統分析.....	72
5.4.1	範例系統及相關參數設定說明.....	72
5.4.2	模擬結果分析與探討.....	75
5.5	本章結論.....	76
第六章	含負載轉供機制之常閉環路系統架構及其運轉方式之探討與分析.....	81
6.1	前言.....	81
6.2	系統規劃的考量因素與原則.....	82
6.3	Type I之系統架構及其運轉方式.....	83
6.3.1	系統架構.....	84
6.3.2	運轉方式.....	89
6.4	Type II之系統架構及其運轉方式.....	91
6.4.1	系統架構.....	92
6.4.2	運轉方式.....	98
6.5	Type III之系統架構及其運轉方式.....	100
6.5.1	系統架構.....	100

6.5.2	運轉方式.....	101
6.6	綜合比較與分析.....	103
第七章	饋線型態升級之影響與衝擊及其相關配套措施.....	105
7.1	前言.....	105
7.2	影響與衝擊.....	106
7.3	相關配套措施.....	108
7.4	綜合考量.....	111
7.4.1	負載轉供點之選定原則.....	111
7.4.2	主環路開關投入注意事項.....	124
7.4.3	有載下負載轉供之條件.....	125
7.5	本章結論.....	126
第八章	結論與未來研究方向.....	127
8.1	結論.....	127
8.2	未來研究方向.....	129
參考文獻	.....	130
作者簡介	.....	138
授權書	.....	144



# 符號索引

$S.C.C_{norm}$	: 正規化短路容量
$MVA_{SC, System Type}^F$	: 不同饋線型態之饋線沿線短路容量
$MVA_{(1-K)L_1}$	: 饋電端至主饋線上任一故障點的饋線段所對應之短路容量
$L_i$	: 饋線總長度
$R$	: 線路單位長度之串聯電阻值
$S_t$	: 各饋線饋供之總負載量
$I_t$	: 匯入饋線的總電流
$S_{Li}$	: 饋線上母線 $i$ 的複功率需求
$P_{Inc, Loss}$	: 負載呈線性遞增分佈之放射狀饋線線路總實功率損失
$P_{Uni, Loss}$	: 負載呈線性均勻分佈之放射狀饋線線路總實功率損失
$P_{Dec, Loss}$	: 負載呈線性遞減分佈之放射狀饋線線路總實功率損失
$m$	: F#1 饋線之總母線數
$n$	: F#2 饋線之總母線數
$P_{LK}$	: 各母線負載等效單相實功率需求
$Q_{LK}$	: 各母線負載等效單相虛功率需求
$V_K$	: 各母線相電壓
$P_{Loss}$	: 二條放射狀饋線互連前之線路總實功率損失
$\Delta I_{mn}$	: 連絡饋線電流
$R_{loop}$	: F#1、F#2 兩饋線以及聯絡饋線所構成之常閉環路饋線的線路總電阻值
$X_{loop}$	: F#1、F#2 兩饋線以及聯絡饋線所構成之常閉環路饋線的線路總電抗值
$P_{TL, Loss}$	: 連絡饋線實功率損失
$\Delta P_{Loss}$	: 二條放射狀饋線互連前、後所造成之線路總實功率損失變化
$V_{L, rated}$	: 系統之額定線電壓
$VD_k^{max.}$	: 各母線所允許的最大電壓降限制值
$I_j^S$	: 饋線段 $j$ 之導線的額定安全電流

# 圖表索引

圖2-1 電力系統簡易架構圖 .....	11
圖2-2 四種可能之常閉環路饋線示意圖 .....	13
圖2-3 配電饋線由放射型升級為常閉環路型之影響因素 .....	15
圖3-1 故障分析用之範例配電系統 .....	23
圖3-2 計算個別元件短路容量示意圖 .....	25
圖3-3 n個元件串聯之等效短路容量表示圖 .....	26
圖3-4 n個元件並聯之等效短路容量表示圖 .....	26
圖3-5 $\Delta$ —Y轉換之短路容量表示圖 .....	27
圖3-6 放射型饋線之短路容量表示圖 .....	30
圖3-7 短路容量曲線—放射型饋線 .....	30
圖3-8 Type I常閉環路饋線之短路容量表示圖 .....	32
圖3-9 短路容量曲線—Type I常閉環路饋線 .....	33
圖3-10 Type II.1常閉環路饋線之短路容量表示圖 .....	34
圖3-11 短路容量曲線—Type II.1常閉環路饋線 .....	34
圖3-12 Type II.2常閉環路饋線之短路容量表示圖 .....	35
圖3-13 短路容量曲線—Type II.2常閉環路饋線 .....	36
圖3-14 Type III常閉環路饋線之短路容量表示圖 .....	37
圖3-15 短路容量曲線—Type III常閉環路饋線 .....	37
圖3-16 短路容量曲線—五種饋線型態在基本案例情況下之比較 .....	39
圖3-17 短路容量曲線—五種饋線型態在不同案例條件下之比較 .....	43
圖4-1 Type I系統單線圖 .....	47
圖4-2 Type II.1系統單線圖 .....	48
圖4-3 Type II.2系統單線圖 .....	48

圖4-4 Type III系統單線圖 .....	49
圖4-5 主變壓器#1負載量—Type I型態.....	50
圖4-6 F#1及F#2饋線沿線電流分佈—Type I型態.....	51
圖4-7 F#1及F#2饋線沿線電壓分佈—Type I型態.....	52
圖4-8 F#1及F#2饋線沿線電壓降—Type I型態.....	52
圖4-9 主變壓器#1及#2負載量—Type II.1型態.....	53
圖4-10 F#1及F#2饋線沿線電流分佈—Type II.1型態.....	54
圖4-11 F#1及F#2饋線沿線電壓分佈—Type II.1型態.....	54
圖4-12 F#1及F#2饋線沿線電壓降—Type II.1型態.....	55
圖4-13 主變壓器#1及#2負載量—Type II.2型態.....	55
圖4-14 F#1及F#2饋線沿線電流分佈—Type II.2型態.....	56
圖4-15 F#1及F#2饋線沿線電壓分佈—Type II.2型態.....	56
圖4-16 F#1及F#2饋線沿線電壓降—Type II.2型態.....	57
圖4-17 主變壓器#1及#2負載量—Type III型態.....	58
圖4-18 F#1及F#2饋線沿線電流分佈—Type III型態.....	59
圖4-19 F#1及F#2饋線沿線電壓分佈—Type III型態.....	59
圖4-20 F#1及F#2饋線沿線電壓降—Type III型態.....	59
圖5-1 放射型配電饋線負載呈(a)線性遞增分佈 (b)均勻分佈 (c)線性遞減分佈.....	66
圖5-2 三種典型負載分佈之放射型饋線線路損失比較.....	66
圖5-3 常閉環路配電饋線負載呈(a)線性遞增分佈 (b)均勻分佈 (c)線性遞減 分佈 .....	67
圖5-4 配電饋線負載呈離散分佈型式.....	69
圖5-5 範例系統單線圖 .....	73
圖5-6 三種案例在三種負載情況下對降低線路實功率損失之效果比較—以輸 入功率為基準 .....	77
圖5-7 三種案例在三種負載情況下對降低線路實功率損失之效果比較—以	

原互連前功率損失為基準 .....	77
圖6-1 典型Type I常閉環路互連架構一 .....	84
圖6-2 典型Type I常閉環路互連架構二 .....	85
圖6-3 典型Type I常閉環路互連架構三 .....	86
圖6-4 雙變電所Type I常閉環路系統架構 .....	88
圖6-5 Type I常閉環路故障保護區示意圖 .....	91
圖6-6 雙變電所互連之Type II常閉環路系統架構 .....	93
圖6-7 四座變電所互連之Type II常閉環路系統架構 .....	97
圖6-8 Type II 常閉環路故障保護區示意圖 .....	99
圖6-10 Type III常閉環路故障保護區示意圖 .....	102
圖7-1 求解近似最佳互連配電站對之流程圖 .....	115
圖7-2 計算個別相年等效負載之流程圖 .....	116
圖7-3 單端饋電饋線上任一負載之電路模型 .....	117
圖7-4 事故環路以放射狀架構透過連絡饋線轉供之電路模型 .....	119
圖7-5 求解近似最佳互連配電站對所採用之範例系統 .....	120
表1-1 台電北市營業區處所統計出之用戶每年停電次數及每次停電時間 .....	3
表1-2 各種配電系統型態之供電可靠度指標值 .....	4
表2-1 配電饋線型態由放射型升級為常閉環路型之影響因素彙總 .....	20
表3-1 範例系統參數 .....	28
表3-2 各元件對應之短路容量 .....	28
表4-1 範例系統負載資料 .....	47
表5-1 模擬分析案例說明 .....	74
表5-2 Case#1模擬結果 .....	78
表5-3 Case#2模擬結果 .....	79
表5-4 Case#3模擬結果 .....	80
表6-1 三種典型Type I常閉環路系統架構之綜合比較 .....	87

表6-2 典型雙變電所互連之Type I常閉環路系統在考慮因事故轉供時在不超載情況下之主變壓器及饋線的常態運轉最高負載量及利用因數 .....	89
表6-3 各種偶發事故對應之運轉方式 .....	90
表6-4 典型雙變電所互連之Type II常閉環路系統在考慮因事故轉供時在不超載情況下之主變壓器及饋線的常態運轉最高負載量及利用因數 .....	94
表6-5 各種可行架構下之主變壓器及饋線數之安排 .....	96
表6-6 典型四座變電所互連之Type II常閉環路系統在考慮因事故轉供時在不超載情況下之主變壓器及饋線的常態運轉最高負載量及利用因數 .....	98
表6-7 各種偶發事故對應之運轉方式 .....	99
表6-8 各種可行架構下之主變壓器及饋線數之安排 .....	101
表6-9 典型Type III常閉環路系統在考慮因事故轉供時在不超載情況下之主變壓器及饋線的常態運轉最高負載量及利用因數 .....	101
表6-10 各種偶發事故對應之運轉方式 .....	103
表6-11 四種常閉環路型態之偶發事故供電可靠度比較 .....	104
表7-1 饋線型態升級對原系統及其用戶之影響 .....	106
表7-2 系統型態升級所需之相關配套措施 .....	109
表7-3 標的饋線互連配電站對實際距離 .....	121
表7-4 標的饋線各母線的年等效負載 .....	121
表7-5 Loop A電源事故由Loop B轉供之線路損失估算表 .....	122
表7-6 Loop B電源事故由Loop A轉供之線路損失估算表 .....	122
表7-7 同時考量兩種事故之線路損失估算表 .....	123
表7-8 候選互連配電站對各項指標模擬結果及評比 .....	124



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

民國七十年初期，政府擬訂政策開始推動高科技、高附加價值以及高能源效率工業之發展，並成功的設立了新竹科學工業園區，對台灣的高科技產業的發展不但影響重大且具指標意義。截至民國九十三年止，以化學製品、機械設備、電腦及周邊設備、電子、通訊、航太、汽車及其他運輸工具、精密器械業等為主的高科技產品佔台灣所有出口產值的 65.3%(資料來源：財政部「進出口貿易統計」，本文並依據歐盟 Key Figures 2000 中所定義的高科技產業來分類統計之)。

電力的穩定供應為維繫高科技產業蓬勃發展之重要因素；除此之外，近年來，大型的商業金融中心、購物商場以及高樓大廈如雨後春筍般林立於台灣各大都會區，在在顯示國人的生活水準已有大幅改善，並持續提升中。因此，提供充足、可靠以及高品質的電力為產業發展及提升國人生活品質的必要條件。尤其是在科學園區、金融中心、商業區和超高大樓等重要負載對電力供應的品質要求比已往更為嚴苛，某些敏感性負載甚至無法忍受短暫之停電(short-period interruption)亦或略長時間的電壓突降(long-duration voltage dip)。

目前台灣電力公司(以下簡稱台電)之配電饋線(distribution feeders)的配置方式，在郊區係以架空線路(overhead conductor)為主，且大部分採用放射型(radial)架構，只有少部分地區採用放射連絡型(link arrangement)架構，架空線路因受外力影響而發生故障的機率較高，且容易發生暫時性故障，然而，若發生永久性故障，則其故障地點的定位較地下配電為容易且快速，且其建置成本相對較低；至於在都會區則以地下電纜(underground cable)為主，大部分採用常開環路型(open-

loop)架構，地下電纜因受外力影響而發生故障的機率較低，然而，若發生故障則故障定位較架空線路為困難且費時，且其建置成本相對較高。雖然上述兩種台電目前主要採用之系統架構中以常開環路型之供電可靠度較佳，但在饋線維護或發生事故時，即使有負載轉供機制，仍無法避免會有短時間停電現象，可能因此造成不小的停電損失。

綜觀國內外在一次配電系統之相關研究上，主要偏重在既有放射架構下之自動化、自動圖資/設備管理/地理資訊系統(AM/FM/GIS)、負載轉供(load transfer)、停電管理、變壓器負載管理(transformer load management)等上[1-14]，雖然這些研究對目前配電系統供電可靠度(reliability)的改善助益良多；但是，對於配電饋線因維護或故障而可能造成之短時間停電問題仍未解決，並無法符合高科技產業及重要用戶等之需求。唯有脫離現有系統架構的窠臼，進行系統型態升級，才能徹底解決上述配電饋線之短時間停電問題。台電停電事故歷史資料的統計結果顯示，造成用戶電力中斷的原因，絕大多數為配電系統發生事故所引起 [15-19]。表 1-1 所示為台電台北市營業區處所統計出之用戶每年停電次數(the frequency of customer outages)及每次停電時間(the duration of customer outages)，此一統計資料顯示造成用戶停電的主要原因為配電饋線事故，此一事故約佔所有停電事故之 45.6%，因此，若能確保配電饋線在發生單一偶發事故的情況下均不致造成用戶停電，則可以大幅提升電力公司對用戶的供電可靠度，此一目標向來為產、官、學各界戮力以赴之目標，亦是本文研究配電饋線升級之首要目的。

配電饋線的型態大致可區分為八種即：(1)放射型；(2)常開環路型；(3)常閉環路型(normally closed-loop)；(4)網目型(mesh)；(5)放射連絡型；(6)互連網路型(interconnected network)；(7)一次選擇型

(primary selective)及(8)重點網路型(spot network)。在結構的複雜度上，以互連網路型最複雜，其次為網目型、常閉環路型，再其次為常開環路型、放射連絡型，最簡單者為放射型。一般而言，結構愈複雜的系統在運轉及維護上也愈困難，但可靠度相對較高。在系統保護協調方面，則以放射型最簡單，整條饋線僅於配電變電所出口端裝設饋線斷路器做為線路故障保護；而放射連絡型則多加裝線路分斷開關以及連絡開關以作為轉供之用；至於常閉環路型的保護裝置與協調方式就較為複雜，明顯有別於前述饋線型態，成本亦高出許多。又就整體供電可靠度而言，以互連網路型與重點網路型最高，紐約愛迪生電力公司(Consolidated Edison Company of New York Inc.)所整理的各種配電系統型態之供電可靠度指標如表 1-2 [20, 21]所示，內含每年故障停電次數(outages/yr)、平均故障時間(average outage duration, min)及每年瞬間跳電次數(momentary interruptions/yr)，由表中數據可知，放射型及放射連絡型的供電可靠度最差；而重點網路型的供電可靠度最佳。然而，各種配電型態皆有其優缺點與適用性，若僅為解決配電饋線因故造成之停電現象，最直接且可行的方式是將配電饋線由目前的放射型、放射連絡型或常開環路型升級為常閉環路型。

表 1-1 台電北市營業區處所統計出之用戶每年停電次數及每次停電時間

項目	用戶停電次數		用戶停電時間	
	次數	%	分鐘	%
配電饋線	27,345	45.6	1,077,853	41.6
高壓開關	13,999	23.4	474,201	18.3
電纜接頭	15,000	25.0	649,483	25.0
配電變壓器	3,087	5.2	347,978	13.4
接戶線	189	0.3	7,730	0.3
二次線路	323	0.5	36,898	1.4
總計	59,943	100	2,594,143	100

表 1-2 各種配電系統型態之供電可靠度指標值

系統型態	放射型	放射連絡型	一次選擇型	二次選擇型	二次網路型	重點網路型
每年故障 停電次數	0.3-1.3	0.4-0.7	0.1-0.5	0.1-0.5	0.005-0.02	0.02-0.1
平均故障 時間(分鐘)	90	65	180	180	135	180
每年瞬間 跳電次數	5-10	10-15	4-8	2-4	0	0-1

一般而言，常閉環路饋線被設計為在主環路饋線(feeder main)發生事故時不會造成用戶停電，為了達成此一目標，其保護系統架構、協調方式以及相關開關設備必須同步升級，所有的負載切換開關(load-break switches, LBSs)必須更換為具有足夠啟斷短路故障電流能力之斷路器(circuit breakers, CBs)即為其例。由相關的研究報告及文獻中，可得知目前有採用常閉環路配電饋線的電力公司，包括美國佛羅里達(Florida, U.S.)、香港(HongKong)、新加坡(Singapore)及台灣等電力公司[22-29]。Barry Pagel 在 2000 年發表論文闡述位於美國佛羅里達奧蘭多(Orlando)觀光區的常閉環路供電系統之架構與功能[22]，文中主要提及其系統架構與保護協調方式，該系統採 SEL-351 智慧型電子裝置(Intelligence Electronic Device, IED)作為其饋線保護設備，規劃有允許越區轉移跳脫(Permissive Overreach Transfer Trip, POTT)及方向比較閉鎖(Directional Comparison Blocking, DCB)兩種方式；J. C. Tobias 分別於 1997、1998 及 2000 年針對香港電力公司之常閉環路架構及保護方式發表論文 [24, 25]，文中指出該系統採用 Sepam 2000 多功能數位電驛及 DCB 的保護方式來保護饋線；此外，Teo-Cheng Yu 亦發表論文 [27]闡述新加坡的典型常閉環路系統架構及實際運轉情形。在國內方面，台電已於 2002 年在台北市營業區處所轄之某變電

所建置完成初期常閉環路系統[28, 29]，即以主變#1 饋供之六條放射型配電饋線兩兩互連形成三條常閉環路饋線，到目前為止，運轉情況良好。由此可知，常閉環路饋線值得廣泛推行應用於高科技園區、大都會地區，以及供電可靠度要求較高之重要供電區域等。是故，台電若能計畫地循序漸進將原放射架構之配電饋線升級為常閉環路架構，必定能大幅提升電力公司之供電可靠度，同時，亦能提升電力公司有形及無形之效益。

為達此一目標，電路結構必須改變，由原僅具單一饋電端(single feeding end)之饋線升級為同時擁有雙端饋電之饋線。如此，首要面對的兩大問題為影響配電饋線升級的各種因素(factors)以及升級後對既有系統、設備及用戶之衝擊，是故，有必要詳加分析、探討各種影響因素，並評估對原系統及其所屬用戶所造成之衝擊，尤其是在系統規劃、設計初期之可行性評估階段。此外，常閉環路饋線型態的選擇與相關運轉操作方式與準則(operation scheme and criterion)亦為值得關切之重要課題。上述課題為目前配電饋線升級所遭遇之迫切且必須面對進而解決的問題，此一問題的釐清不論對理論及實務均具有極大的貢獻與意義，並且有助於相關研究的進行。據此，本文依上述問題訂定研究主題與目標，有系統地深入分析、探究，最後綜合歸納出具體的結論，並彙整研究成果，以供參考。

## 1.2 研究方法與步驟

研究配電饋線升級的目的在於藉由廣泛地探討相關理論，並配合相關公式的推導、系統化地模擬與分析，以瞭解饋線型態升級的各項影響因素，並評估所造成之衝擊，進而以此作為決定配電饋線升級應採行的步驟及型態等參考依據，並訂定相關的配套措施以做為未來常



閉環路型配電饋線規劃、運轉與維護之參考。為達此一目標，本文除了蒐集國內外相關學理及背景知識外，還必須建立各種影響因素之分析方式，並考慮饋線型態升級前後以及升級後在常態(normal)及非常態(abnormal)情況下之運轉狀況，然後再利用短路容量MVA法(short-circuit MVA method)、電力潮流(power flow)以及故障分析(fault analysis)等求解方法與技巧，配合Matlab、ETAP PowerStation<sup>®</sup>等模擬分析工具進行各項主題之研究、分析與探討。

本文之研究步驟如下所述：

1. 廣泛地蒐集國內外相關研究報告、文獻及電力公司技術報告與實務經驗，建立背景知識與理論基礎，以為後續研究之參考及依據。
2. 提出配電饋線由既有放射型升級為常閉環路型的四種可能型態(type)，以作為本文後續章節研究、立論之基礎。
3. 依據本文所提之四種可能之常閉環路型態，作一完整之學理探討，分析影響配電饋線升級之各種因素，最後綜合歸納、比較四種饋線型態受各種因素之影響程度。
4. 推導饋線沿線的短路容量公式，以便分析配電饋線升級前後在不同系統參數及型態下，饋線沿線短路容量變化情形。
5. 探討配電饋線升級前後以及升級後在非常態運轉情況下之電力潮流、電壓降以及主變壓器與其饋線負載量變化情形，並綜合分析、比較配電饋線由放射型升級為不同型態之常閉環路型對運轉特性的影響。
6. 推導配電饋線升級前後之線路損失公式，分析電路結構改變對線路損失的影響情形。
7. 探討、分析含負載轉供機制之常閉環路系統架構、運轉操作方

式，以及主變壓器及其饋線之常態運轉最高負載量與利用因數。

8. 最後，綜合歸納整理饋線型態升級所造成之影響及衝擊，並研擬相關配套措施，同時作一總結。

### 1.3 主要貢獻

本文之主要貢獻在於嚴謹且周詳地探討、分析影響既有配電饋線由放射型升級為常閉環路型之各種因素以及升級後對原系統、設備與用戶所造成之影響與衝擊，除了提出四種可能之常閉環路架構外，並以淺顯易懂的方式縱向分析影響饋線型態升級之因素、橫向比較四種型態的可行性，再利用電學理論及適切的分析方法與技巧推導相關公式，以作為數理分析與探討的依據，並執行相關電力潮流與短路故障分析，最後綜合歸納相關配套措施及具體可行方案。所得結果及結論可提供為配電饋線升級相關研究及電力公司實際規劃、運轉與維護常閉環路之參考。茲將本文之主要貢獻條列並簡述如下：

1. 分析、整理四種可能之常閉環路架構，亦即
  - (1) Type I：二條饋供自同一變電所同一主變之饋線互連形成之典型常閉環路饋線(typical normally closed loop)；
  - (2) Type II：二條引接自同一變電所不同主變之饋線互連形成跨越主變常閉環路饋線(cross-transformer-type normally closed loop)，此一型態又可進一步區分為二個次型態，亦即：
    - (a) Type II.1：連絡斷路器常開(normally open)型；
    - (b) Type II.2：連絡斷路器常閉(normally closed)型；
  - (3) Type III：二條由不同變電所不同主變饋供之饋線互連形成互連型常閉環路饋線(interconnection-type normally closed loop)；

針對上述四種饋線型態，深入分析、探討各種影響配電饋線升級之因素，並予整理歸納後，以圖表方式具體呈現其差異，此一成果對從事配電饋線升級之相關學術研究或電力公司在常閉環路實務上的規劃、設計、運轉與維護均有所助益。

2. 利用短路容量 MVA 法推導出放射型及本文所提之四種常閉環路型配電饋線沿線短路容量公式，並改變配電變電所一次側短路容量、主變額定容量及其阻抗、饋線長度與阻抗等參數，繪製短路容量曲線，以呈現出在不同系統參數及架構下之饋線沿線短路容量變化情形，此一分析結果涵蓋放射型饋線升級為常閉環路型所有可能的組合，因此有助於深入瞭解實際配電饋線升級後沿線短路容量分佈情形，並可提供配電系統規劃初期之保護設備額定容量選擇之參考。
3. 探討、分析饋線型態升級前後以及升級後在非常態運轉情況下因系統運轉特性產生變化，導致引發系統在規劃或運轉上的相關問題，可提供從事配電系統型態升級相關研究人員以及配電工程師之重要參考。
4. 考慮配電系統規劃常用之兩類典型饋線，即熱容量限制型饋線(Thermally Limited Feeder)及電壓降限制型饋線(Voltage Drop Limited Feeder)，並推導配電饋線升級前後之線路損失公式，分析線路損失在都會區及郊區因饋線型態由放射型升級為本文所提之 Type I 常閉環路型態的變化情形，並推論出電壓降限制型饋線，亦即線路長度相對較長且負載相對較輕之郊區饋線升級為常閉環路，對線路損失改善幅度最大。
5. 綜合分析、比較四種常閉環路之運轉方式與特性，所得結果可提供為常閉環路配電饋線之規劃、運轉與維護之參考。
6. 提出含負載轉供機制之典型常閉環路系統架構，並研擬各型態所對應之運轉操作方式；此外，亦分析在各種單一偶發事故情況下皆能運轉無虞之主變壓器及其饋線之常態運轉最高負載量與利用因數。



7. 考慮年等效負載(annual equivalent load)並配合簡化功率損失之饋線模型估算線路損失，再以此估算值為基礎經排序後擇優執行電力潮流程式，最後綜合考量各項指標在不違反最大電壓降限制值以及導線的額定安全電流等限制條件下，以最小化線路損失為目標求解兩常閉環路饋線間之最適互連配電站。
8. 綜合歸納整理配電饋線升級所造成之影響及衝擊，並擬定相關配套措施，對電力公司從事配電饋線型態升級有實質助益。

## 1.4 論文架構

本論文內容共分八章，各章內容簡述如下：

第一章為緒論，主要在說明本論文之研究背景與動機、研究方法與步驟及本論研究之主要貢獻。

第二章為饋線型態升級之影響因素分析。首先提出配電饋線由原放射型升級為常閉環路型可採行之型態，並廣泛地探討影響配電饋線升級之因素。

第三章為饋線型態升級對饋線沿線短路容量之影響分析。主要利用短路容量 MVA 法推導在放射型及常閉環路型架構下之饋線沿線短路容量公式，藉由數理分析深入地探究饋線型態以及參數變化對短路容量之影響，最後以短路容量曲線方式呈現饋線沿線短路容量分佈並比較短路容量變化情形。

第四章為饋線型態升級對系統運轉特性之影響分析。主要探討饋線型態升級前後以及升級後在非常態運轉情況下之相關運轉特性，藉此說明主變壓器額定容量、導線安培容量是否足夠，以及線路電壓降是否符合規定，最後綜合分析、比較配電饋線升級對原系統及其用戶造成之影響與衝擊。

第五章為饋線型態升級對線路損失之影響分析。首先分析二條放射型饋線互連前後對線路損失的影響因素；隨之，推導饋線型態改變前後之線路損失關係式，以利說明配電饋線升級對線路損失的影響；最後，以一範例系統模擬分析其結果，並以具體數據呈現線路損失變化情形。

第六章為含負載轉供機制之常閉環路系統架構及其運轉方式之探討與分析。主要目的在探討、分析本論文所提之常閉環路架構及其運轉方式，並綜合分析、比較其供電可靠度與主要設備額定容量。

第七章為配電饋線升級之相關配套措施。綜合歸納前述章節分析結果，說明配電饋線升級對原系統及用戶所造成之影響與衝擊，並擬定相關配套措施。

第八章為結論與未來研究方向。針對本論文各項研究結果做一簡要的總結，並提出未來可持續研究之相關主題與方向。



## 第二章 饋線型態升級之影響因素分析

### 2.1 前言

圖 2-1 所示為一電力系統的架構示意圖，電能由發電廠配送至用戶的過程中，經歷發電(generation)、輸電(transmission)及配電(distribution)等三個系統，其中，配電系統位於整個系統的末端，從工程的觀點而言，其範圍涵括一次變電所(bulk power substations)、二次輸電線路(subtransmission lines)、配電變電所(distribution substations)、配電饋線(distribution feeders)、配電變壓器(distribution transformers)、二次配電線路(secondary conductors)與接戶線(service drops)。雖然，研究配電饋線升級的影響因素時，主要的探討對象為配電饋線型態，但仍必須考慮所分析之標的配電饋線其上游及下游個別元件參數對整體運轉效能的交互作用，因此本論文針對配電饋線升級的探究範圍係定為配電變電所(含)以下至接戶點之間，分析時將配電變電所上游的系統以等效電路代表，而配電變壓器下游部分則以等效負載表示。

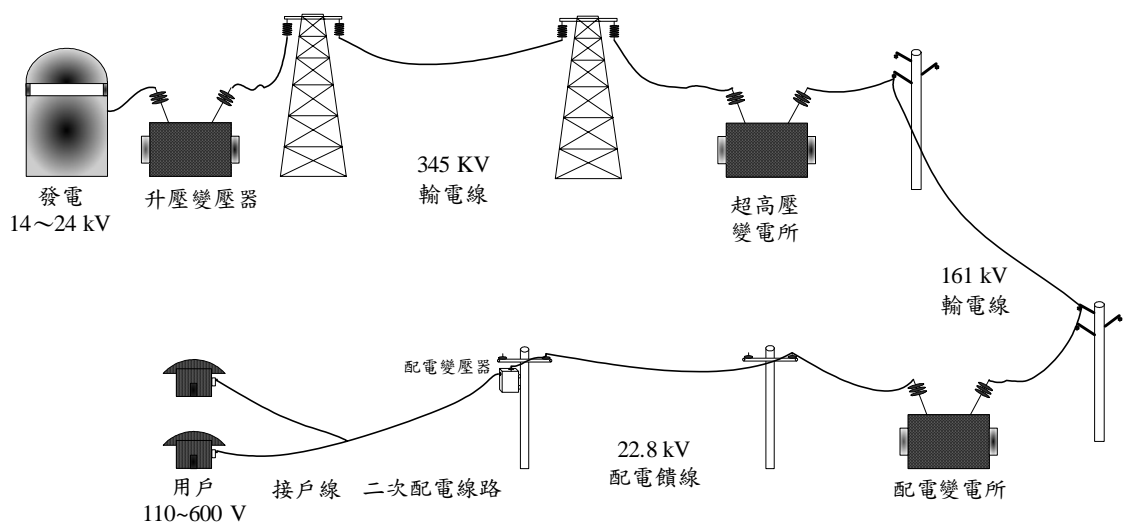


圖 2-1 電力系統簡易架構圖

研究配電饋線升級的影響因素時，必須就其影響配電系統電力潮流、線路電壓降、主變壓器及饋線額定安全運轉容量、短路故障、保護協調及開關設備額定容量等問題，作一廣泛的探討與分析，藉此瞭解個別元件參數與饋線型態之互動關係，進而瞭解饋線型態由放射型升級為常閉環路型之主要影響因素。此一部份之研究有助於系統在規劃、設計升級初期有更完善且周延的考量，以避免不當的系統升級設計而衍生其他的問題，導致曠日費時或未蒙其利先受其害之弊。本章以下各節將先說明由二條放射型饋線互連升級為常閉環路時之可能形成型態，接者探討配電饋線升級為各型態常閉環路時之影響因素，最後綜合分析、討論放射型饋線升級為本論文所提之四種常閉環路型態時之影響因素，並比較其影響程度。

## 2.2 饋線型態簡介



常閉環路饋線是一雙端點同時饋電之饋線，可以是一起始節點與終止節點相同的配電饋線，換言之，該饋線自成一封閉路徑。若將二條既設的放射型饋線於其末端經連絡饋線互連即可形成常閉環路饋線。圖 2-2 所示為將二條既設的放射型饋線互連可能形成之四種常閉環路饋線型態之示意圖。由圖中可知，所有常閉環路饋線皆有二個饋電端，此四種型態的主要差別在其兩個饋電端的引接來源；除此之外，還須考慮主變壓器二次側匯流排連絡開關的狀態，據此，本論文將常閉環路饋線的型態分類如下：

Type I：二條饋供自同一變電所同一主變之饋線在末端互連，形成一典型的常閉環路饋線。

Type II：二條引接自同一變電所不同主變之饋線在其末端互連，形成一跨越二主變壓器之常閉環路饋線，此一型態常閉

環路饋線又可依此二主變壓器二次側匯流排是否常閉互連，即其間之連絡斷路器是否常閉，可再細分為二個次型態，即：

Type II.1：連絡斷路器常開；

Type II.2：連絡斷路器常閉。

Type III：饋供自不同變電所不同主變之二條饋線於其末端互連，形成一跨變電所式常閉環路饋線。

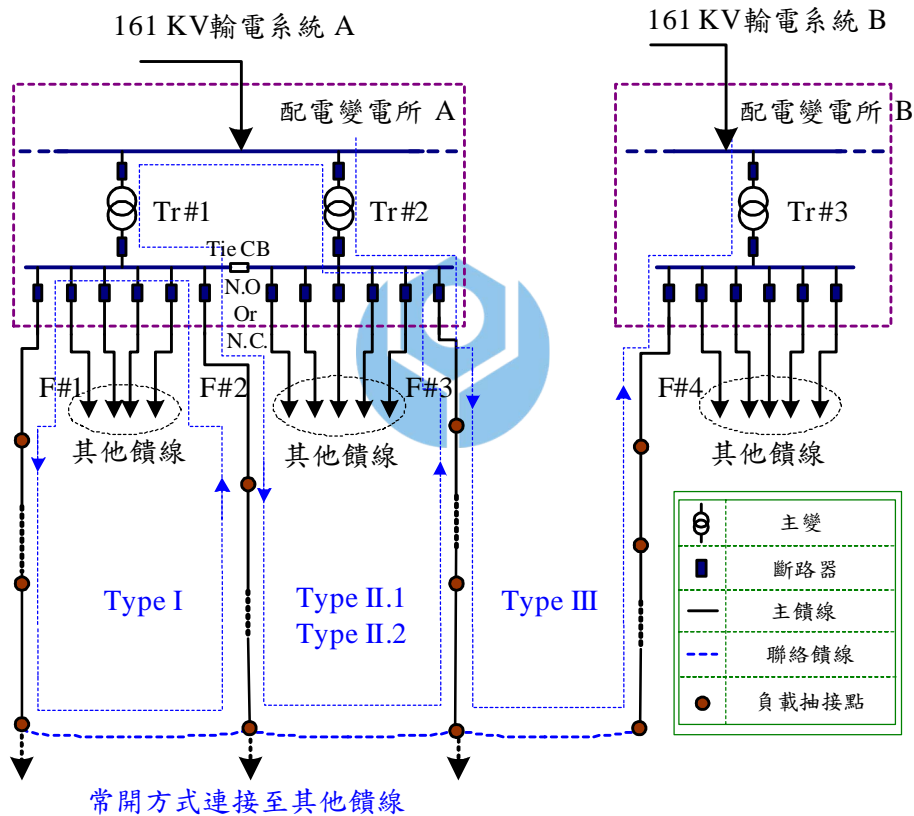


圖 2-2 四種可能之常閉環路饋線示意圖

上述三種四型常閉環路饋線型態不論在系統特性、運轉方式，以及可靠度上均有明顯不同，就供電可靠度而言，以 Type I 最低、其次為 Type II.1 及 Type II.2、最高者為 Type III；雖然在可靠度上的表現有所差異，但均能消除因配電饋線事故造成之停電現象，明顯較放射型或常開環路型饋線可靠許多。一般而言，可靠度要求愈高者所需投

資的成本也相對較高，同時，其複雜度亦更高、影響因素更多，而且造成之衝擊也愈廣，使得所需的相關配套措施要求更為嚴苛。以下各節將分別就饋線型態升級的影響因素加以探討與分析，以作為本論文後續章節研究與立論之基礎。

## 2.3 影響因素之探討與分析

圖 2-3 所示為放射型配電饋線升級為常閉環路型之影響因素示意圖，藉由二條原為放射型之饋線互連而形成一常閉環路饋線時必須考慮的影響因素甚多，本論文由下而上將其區分為三個層面來探討，包括饋線、主變壓器及配電變電所等三個層次。茲各層次因素條列如下：

- 饋線：線徑、長度、負載量、負載分佈及負載特性；
- 主變壓器：額定容量、阻抗值、負載量及負載特性；
- 配電變電所：一次側短路容量(short-circuit capacities)及電壓階層(voltage level)。

上述各項因素不論就其本身個別值的大小變化及其相互間的差異對配電饋線型態升級的影響均扮演相當重要的角色，這些因素在饋線型態升級後對常閉環路饋線在常態(normal)及非常態(abnormal)運轉情況下所造成的影響甚大；因此，不論是主變壓器容量、導線安培容量、電力潮流變化、饋線沿線電壓分佈，以及保護設備的額定與保護協調的設定等相關問題都必須透過周延的數理推演配合嚴謹的工程分析，才能確保既設放射型饋線升級為常閉環路後的運轉成效。以下各小節將依據本論文所提的四種可能之常閉環路饋線分別探討、分析各項影響饋線型態升級之因素及其影響情形。



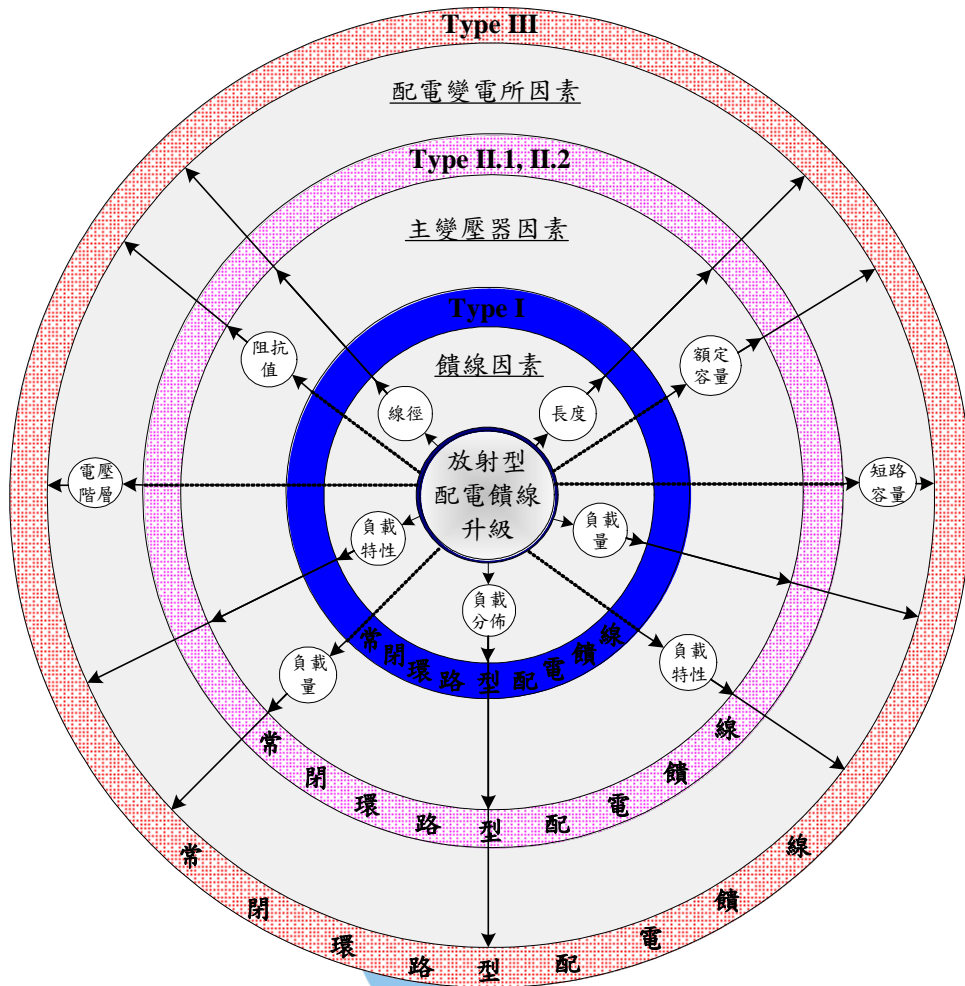


圖 2-3 配電饋線由放射型升級為常閉環路型之影響因素

### 2.3.1 Type I

如圖 2-2 所示，就同一變電所同一主變所饋供之兩條放射型饋線互連而形成之典型常閉環路饋線—Type I 而言，影響饋線型態升級的主要因素為

- 兩互連饋線之線徑；
- 兩互連饋線之長度；
- 兩互連饋線之負載量；
- 兩互連饋線沿線之負載分佈；
- 兩互連饋線之負載特性；

饋線本身的特性為影響放射型饋線升級為 Type I 常閉環路饋線成

功與否的關鍵因素。

一般而言，在配電系統的規劃中，配電饋線可被區分為電壓降限制型饋線 (Voltage-drop-limited feeder) 以及熱容量限制型饋線 (Thermally limited feeder) 兩大類[30]。其中饋供都會區的配電饋線因負載較密集，饋線長度較短，一般屬於熱容量限制型饋線。例如：台電台北市營業區處所轄之饋線普遍而言其長度大約為 2 km，有些甚至更短，而且通常運轉在重載情況下，其饋線利用因數 (utilization factors) 大都超過 80%。就此一類型的饋線而言，饋線負載量為其必須考量的關鍵因素且勢必要降低其負載量以符合構成常閉環路饋線的基本要求。是故，兩條放射型饋線互連前的正常運轉利用因數必須低於 50%，才能預留足夠的安全裕度 (security margin) 以因應各種單一偶發事故 (single contingency) 的發生而不致於影響系統正常運轉，換句話說，導線的安培容量 (ampacities) 必須足以承載連接至該常閉環路饋線的總負載量。

相反地，饋供至鄉村或較偏遠地區的配電饋線一般而言其負載點較稀疏，饋線長度較長，屬於電壓降限制型饋線。因此，饋線最高經常負載量普遍而言均明顯低於其額定值，亦即，饋線常態運轉利用因數均低於 50%，此時，若能確保饋線最低電壓點之線路電壓降能符合規定即可滿足構成常閉環路的基本要求。以台電為例，在郊區所配置的架空配電網路，其單一放射型饋線的線路長度通常超過 10 km 且運轉在相對於都會區饋線較輕的負載量。因此，必須確保線路最大電壓降不論在饋線互連前後或在任何運轉情況下都在可接受的範圍內，其中最嚴重的情況為最靠近配電變電所主變二次側的某一饋線前端斷路器 (feeder main circuit breaker, FCB) 因故跳脫，尤其是在兩互連饋線相對而言負載較重的饋線前端斷路器發生跳脫後，該常閉環路饋線暫時



以一甚長的放射型饋線運轉，此時，線路電壓降成為主宰系統是否可正常運轉的最關鍵因素。

除此之外，兩饋線互連形成常閉環路後，饋線沿線短路容量均會向上提升，必須注意其所增加的幅度是否對原系統及其用戶造成影響。

### 2.3.2 Type II

由同一變電所不同主變所饋供之兩條放射型饋線互連形成跨越主變常閉環路饋線—Type II.1 或 Type II.2，如圖 2-2 所示，提供另外一種供電可靠度較 Type I 更高的常閉環路型饋線，除了可滿足饋線事故不影響正常供電外，更可避免因主變事故造成的停電現象。對此一型態而言，不但所有 Type I 的影響因素必須納入考慮，還需額外考量下列因素：

- 兩互連主變壓器之額定容量及其阻抗值；
- 兩互連主變壓器之負載量及其特性；

是故，配電饋線由放射型升級為 Type II.1 或 Type II.2 常閉環路型饋線的問題比升級為 Type I 更為複雜，必須同時考慮饋線及主變的雙重影響因素。其中，就 Type II.1 而言，兩台主變在同一常閉環路上，因此構成該常閉環路饋線之互連饋線會額外傳輸約為兩主變負載差的一半之複功率，使得饋線可能有過載之虞，成為另一個值得注意的問題，是故，構成此一型態的關鍵條件，除了需要綜合考量上述因素外，尤其必須特別注意兩關係主變壓器之負載量及其負載特性差異，除此之外，兩主變壓器有超過一條以上的饋線互連亦為重要條件，此舉可平均分攤因主變壓器負載差而造成流經互連饋線之大量電力潮流；然而，就 Type II.2 而言，兩台關係主變壓器的特性在此一系統架

構下的要求特別嚴苛，因為此時主變壓器二次側連絡斷路器為常閉，造成兩主變壓器在常態情況下係併聯運轉，故必須特別注意其間之環流(circulating current)及負載分配等問題，一般而言此兩併聯運轉之主變壓器的額定容量要相同且阻抗值愈接近愈好。此外，主變壓器併聯運轉後兩互連饋線沿線短路容量將遽增而衍生出原保護設備額定容量不足及保護協調不適等問題。

### 2.3.3 Type III

如圖 2-2 所示，二條饋供自不同變電所不同主變壓器之放射型饋線互連形成一互連型常閉環路饋線—Type III，此一饋線型態不論是饋線、主變壓器亦或是配電變電所發生單一偶發事故均能維持正常供電，雖然其供電可靠度最高，但所需投入的成本與考量因素也相對最多，其影響因素包含互連饋線、主變壓器及配電變電所三個層次的因素。因此，在饋線型態升級時必須考慮的因素最多，如下所列：

- 所有 Type II 的影響因素；
- 兩關係變電所一次側的短路容量；
- 兩關係變電所一次側的電壓；

由此可知，放射型饋線升級為此一型態的影響因素最為複雜，升級的困難度最高，相關的配套措施也最多，尤其必須注意兩關係變電所一次側是否來自同一電壓階層，才不至於使得該互連常閉環路饋線形同一條次輸電線，輸送複功率於兩變電所間。另外，兩關係變電所一次側的短路容量差異亦不宜太大，否則將導致互連後之常閉環路饋線沿線短路容量變化過大，其中互連前短路容量相對較輕者將有較大的增幅，可能因而導致保護設備容量不足或保護協調不當等相關問題。

## 2.4 綜合分析與討論

本章主要以電學理論為立論基礎，探討配電饋線由放射型升級為常閉環路型態時之影響因素及其對原系統運轉特性及其用戶相關設備所造成之影響。結論出升級為 Type I 的影響因素最少。因此，就影響配電饋線升級的難度與複雜度、影響層面及所需配套措施而言，由既設放射型饋線升級為 Type I 常閉環路饋線最為簡單且是一甚為可行的方式。Type II.1 及 Type II.2 所需的考量因素比 Type I 更多、更複雜，欲升級為此一型態必須付出更多的代價，但可得到比 Type I 更高的供電可靠度；此外，Type III 為最複雜的架構，所需的相關配套措施及考慮因素亦最多，但此一型態的供電可靠度最高。假設上述配電饋線型態皆能設計得宜，則對於供電可靠度要求特別高的區域，建議可採用 Type II.1、Type II.2 或 Type III 型態。

綜合歸納出配電饋線型態由放射型升級為常閉環路型之影響因素如表 2-1 所示，本論文爾後各章將針對本章所列各項影響因素，藉由公式的推導及數理分析並配合短路故障及電力潮流模擬結果進一步探討，以驗證本章所提理論的正確性，並作為後續立論及提出相關配套措施之參考依據。

表 2-1 配電饋線型態由放射型升級為常閉環路型之影響因素彙總

影響因素 \ 饋線型態	Type I	Type II.1, II.2	Type III
變電所一次側短路容量 (短路容量差)	-(-)	⊗(-)	✓(✓)
變電所一次側電壓 (電壓差)	-(-)	⊗(-)	✓(✓)
主變壓器容量 (容量差)	⊗(-)	✓(✓)	✓(✓)
主變壓器阻抗 (阻抗差)	⊗(-)	✓(✓)	✓(✓)
主變壓器負載量 (負載量差)	⊗(-)	✓(✓)	✓(✓)
主變壓器所屬負載特性 (特性差)	⊗(-)	✓(✓)	✓(✓)
饋線線徑 (線徑差)	✓(✓)	✓(✓)	✓(✓)
饋線長度 (長度差)	✓(✓)	✓(✓)	✓(✓)
饋線負載量 (負載量差)	✓(✓)	✓(✓)	✓(✓)
饋線負載分布 (分布差)	✓(✓)	✓(✓)	✓(✓)
饋線所屬負載特性 (特性差)	✓(✓)	✓(✓)	✓(✓)
綜合評鑑	○	⊕	⊛
附註： ✓：必須考慮      ⊗：視情況而定      -：不影響或可忽略 ○：少，簡單      ⊕：中，較複雜      ⊛：多，非常複雜			

# 第三章 饋線型態升級對饋線沿線短路容量之影響分析

## 3.1 前言

配電饋線型態由放射型升級為本論文所提四種可能之常閉環路型態對饋線沿線短路容量所產生的變化均不相同，均有不同程度的提升，可能造成既設保護設備的啟斷容量(interruption capacities, ICs)不足，而造成損失，甚或導致嚴重的後果，此為饋線型態升級首要面對的重要課題。因此，本章以第二章初步歸納的研究結果為基礎，持續探討影響饋線沿線短路容量之相關因素，並利用短路容量法(Short circuit MVA method)推導出包含放射型及常閉環路型等五種不同配電饋線型態之饋線沿線短路容量公式，再依據這些公式，並參考台電實際配電系統相關參數，在合理的範圍內改變配電變電所一次側短路容量、主變阻抗、饋線長度等參數，繪出五種不同饋線型態之饋線沿線短路容量曲線，藉此探討個別參數在不同饋線型態下對饋線沿線短路容量之影響程度，以瞭解在不同系統架構下主宰短路容量變化之影響因素；其次，繪製五種不同饋線型態在相同的參數條件下之饋線沿線短路容量曲線，其結果涵蓋放射型饋線升級為常閉環路型所有可能的組合，並以放射型饋線為基準，來正規劃化(normalized)五種饋線型態之饋線沿線短路容量，以資綜合探討、比較其變化情形，藉以得知饋線沿線短路容量提升情形與饋線型態及相關系統參數之關係，此一分析結果有助於深入瞭解實際配電饋線升級後饋線沿線短路容量分佈情形，並可提供計畫從事配電饋線升級之電力公司的重要參考。以下各節分別就故障分析用之簡化系統架構、求解方法、公式推導及曲線繪

製等加以說明、分析與探討。

## 3.2 問題描述與求解方法

本節首先針對短路容量問題作一描述，並說明本論文故障分析所採用之系統架構及所需之參數，隨後並介紹本論文求解饋線沿線短路容量所採用之分析方法——短路容量法。

### 3.2.1 問題描述

短路容量的定義為匯流排(busbar)額定電壓的大小與三相短路故障電流的乘積，是用來量度匯流排強度的常見方法，同時亦可作為決定斷路器啟斷容量以及匯流排尺寸之依據。一般而言，各匯流排的強度隨著電力系統之垂直架構從發電到配電由上而下逐漸遞減，因此，輸電系統之匯流排短路容量普遍而言均高於配電系統；除此之外，即使位於同一電壓階層的匯流排其短路容量也因系統架構及所處位置之不同而有所差異，由此可知，即便配電變電所一次側皆引接自二次輸電系統，然因其一次側匯流排短路容量通常並不盡相同。是故，若連接兩饋供自不同配電變電所之饋線形成常閉環路將導致兩互連饋線沿線短路容量產生相當程度的變化。此外，配電變電所一次側短路容量、主變的額定容量及其阻抗值、變電所匯流排架構、導線阻抗值等亦是影響饋線沿線短路容量變化的重要因素。因此，有必要就兩條放射型饋線互連升級為本論文第二章所提之四種常閉環路型態所造成之饋線沿線短路容量變化情形，以系統化及公式化的方法作一深入的分析與探討。

圖 3-1 所示為本論文故障分析所採用之範例配電系統，如第二章



所述放射型加上常閉環路型共有五種系統型態。圖中  $MVA_{sa}$  及  $MVA_{sb}$  分別代表 A、B 兩配電變電所一次側短路容量，且兩配電變電所係分別引接自由不同一次變電所所饋供之二次輸電線，假設此三台主變的額定容量分別為  $S_{T_1}$ 、 $S_{T_2}$  及  $S_{T_3}$ ，而其所對應之阻抗值則分別為  $Z_{T_1}$ 、 $Z_{T_2}$  及  $Z_{T_3}$ ；另外，二條主饋線，由左至右分別定名為 F#1 及 F#2，而連絡饋線則定名為 TL。因系統架構差異之故，使得不同饋線型態之常閉環路饋線沿線短路容量迥然不同，而評估其短路容量的公式將於以下各小節中推導，所推導出之公式將為配電變電所一次側短路容量、主變容量及其阻抗、饋線阻抗及其長度之函數，以資藉由曲線圖的繪製呈現出在不同饋線型態及系統參數條件下之饋線沿線短路容量變化情形，有利於分析各種因素對短路容量之影響，最後綜合比較五種饋線型態之短路容量變化情形，藉以評估配電饋線升級對原系統及用戶所造成之衝擊與影響。

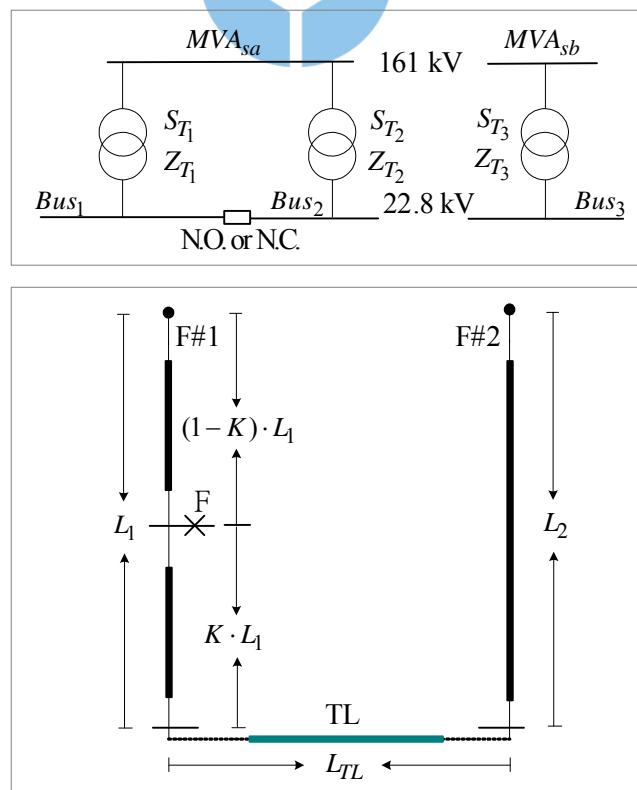


圖 3-1 故障分析用之範例配電系統

### 3.2.2 短路容量法

一般而言，電力系統短路故障分析的主要方法不外乎歐姆法(Ohmic method)和標么法(per unit method)。此二種方法在計算故障電流時，必須求取故障點之戴維寧等效阻抗值(Thevenin's equivalent impedance)，因此，除了建立匯流排阻抗矩陣(bus impedance matrix)，取其對角線元素(diagonal elements)，即由該匯流排往系統看之戴維寧等效阻抗的方法外，即是直接以戴維寧定理求得等效阻抗值。其中歐姆法是以實際值計算，因此計算時必須將全系統各元件阻抗轉換至故障點所在電壓階層之等效阻抗方可進行串並聯之簡化計算程序，計算過程繁複且容易出錯；此外，標么法則需選定適當的功率和電壓基準值，此二種電氣量選定後即可計算阻抗和電流基準值；然而，倘若基準值選擇不當則可能造成捨位或有效位數誤差(truncation or round-off errors)，進而影響計算結果之正確性。依前述二種方法求得故障點之等效阻抗後，即可計算三相短路故障電流值，若忽略故障前之負載電流，則故障電流在歐姆法中即以故障點之系統標稱電壓(nominal voltage)除以該點之等效阻抗值求得，而標么法則僅需要將等效阻抗標么值倒數即可求得標么故障電流值。前述二種方法之計算參數均需透過多套公式的轉換，因此不論在計算上或實用上均較為複雜且不易記憶。是故，衍生出另一種較為簡單、不必記憶且易學的計算方法—短路容量法，該方法是由 Yuen, M. H. [31]於 1975 年提出，係修改歐姆法而得，主要在利用電路阻抗合併的基本理論。圖 3-2 為其示意圖。利用短路容量法計算短路容量之首要步驟為轉換系統相關元件參數以短路容量表示，其中就發電機、電動機、變壓器等元件而言，轉換公式如式(3-1)所示，



$$MVA_{SC} = \frac{S_{Rated}(MVA)}{Z_{pu}} \quad (3-1)$$

另外，就導線(饋線、電纜)而言，其轉換公式如式(3-2)所示，

$$MVA_{SC} = \frac{KV_L^2}{Z_{\Omega}}(MVA) \quad (3-2)$$

其中，下標 sc、 pu 及  $\Omega$  分別代表短路、標么和歐姆，所計算得的值皆以 MVA 為單位。

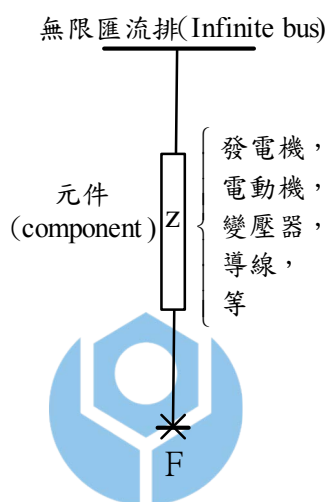


圖 3-2 計算個別元件短路容量示意圖

計算出個別元件所對應之短路容量後，即可繪製出系統等效短路容量圖(MVA diagram)。接著，便是化簡該短路容量圖，由於各元件轉換成短路容量後，皆正比於其阻抗實際或標么值之倒數，因此，簡化之方法與導納的簡化方法相同，其化簡公式不外乎以下三種：

1. 串聯：圖 3-3 所示為 n 個元件串聯之等效短路容量表示圖，可利用式(3-3)計算其等效短路容量。

$$MVA_{SC}^{Series} = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{1}{MVA_{SC}^i} \right]^{-1} \quad (3-3)$$



圖 3-3 n 個元件串聯之等效短路容量表示圖

2. 並聯：圖 3-4 所示為 n 個元件並聯之等效短路容量表示圖，其等效短路容量可由式(3-4)計算得之。

$$MVA_{SC}^{Parallels} = \sum_{i=1}^n MVA_{SC}^i \quad (3-4)$$

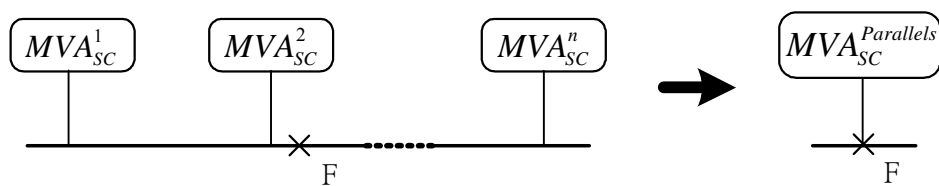


圖 3-4 n 個元件並聯之等效短路容量表示圖

3.  $\Delta$ —Y 轉換：圖 3-5 所示為  $\Delta$ —Y 轉換(delta-wye conversion)之短路容量表示圖，可分別利用式 (3-5)、(3-6)及(3-7)做  $\Delta$ —Y 轉換計算。

$$MVA_{SC}^{Y1} = \frac{MVA_{SC}^{Dd}}{MVA_{SC}^{D1}} \quad (3-5)$$

$$MVA_{SC}^{Y2} = \frac{MVA_{SC}^{Dd}}{MVA_{SC}^{D2}} \quad (3-6)$$

$$MVA_{SC}^{Y3} = \frac{MVA_{SC}^{Dd}}{MVA_{SC}^{D3}} \quad (3-7)$$

其中

$$MVA_{SC}^{Dd} = MVA_{SC}^{D1} \cdot MVA_{SC}^{D2} + MVA_{SC}^{D2} \cdot MVA_{SC}^{D3} + MVA_{SC}^{D3} \cdot MVA_{SC}^{D1}$$

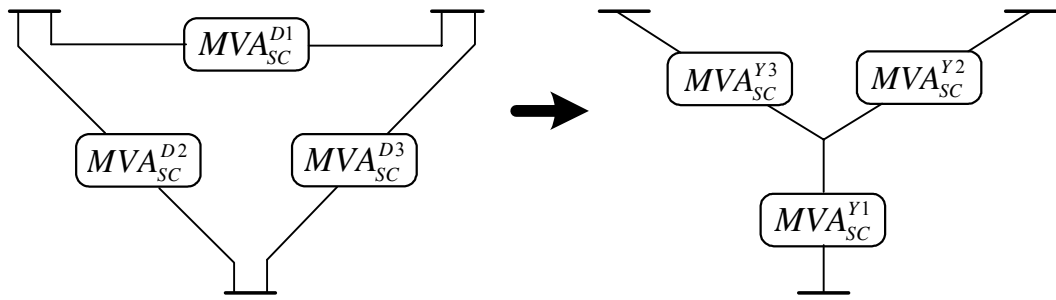


圖 3-5  $\Delta$ —Y 轉換之短路容量表示圖

經上述公式化簡後，即可求得故障點的短路容量。由於此種方法具簡單易學之優點，且文獻[32, 33]更進一步提出複數短路容量法 (complex short circuit MVA) 的概念於短路故障及電力潮流之分析與應用上，保留原短路容量法的優點並彌補其缺點，將來應可更廣被接受與採用。此外，為了更具體且清楚地描述饋線沿線短路容量因配電饋線升級造成之變化，本論文採用式(3-8)所示之正規化短路容量來評估其變化幅度。

$$S.C.C_{,norm} \equiv \frac{MVA_{SC, System Type}^F}{MVA_{SC, Radial}^F} \quad (3-8)$$

其中，

$S.C.C_{,norm}$  為正規化短路容量；

$MVA_{SC, System Type}^F$  為不同饋線型態之饋線沿線短路容量；

$MVA_{SC, Radial}^F$  為原放射型饋線沿線短路容量。

### 3.3 數理分析與探討

以短路容量法估算配電饋線沿線短路容量的首要之務為計算發電機、電動機、變壓器及導線等元件所對應之短路容量。第 3.2 節所述之範例系統在進行短路故障分析時所需之相關參數如表 3-1 所示，其中主變額定容量、配電饋線之標稱電壓、饋線阻抗值以及連絡饋線長

度等均參考台電實際地下配電系統而擬定，並在本章往後的探討中維持定值；此外，主變及饋線等元件在分析的過程中僅考慮其電抗值，此一假設有於簡化計算過程且所得結果並不影響最後結論的正確性。另外，就表 3-1 所示之基本案例(base case)而言，配電變電所一次側短路容量係假設為 5000 MVA，主饋線長度則為 10 km 且三台主變之標么電抗值皆為 0.1672 pu。以基本案例所列之參數為參考基準，在合理的範圍內適度的改變，藉以分析個別參數在不同饋線型態下之影響程度。接著，將表 3-1 所列之相關參數利用公式轉換出各元件所對應之短路容量，列於表 3-2，隨之，依照系統型態繪製出短路容量圖，再利用公式進行各元件之串並聯組合，最後推導出放射型及四種常閉環路型饋線沿線短路容量公式。根據所推導之公式以 MATLAB 繪製出饋線沿線之短路容量曲線，利用這些短路容量曲線，可分析、比較出各種配電饋線升級方案所造成之饋線沿線短路容量變化情形，不但可窺視其全貌又能具體且明確地呈現其影響情形。

表 3-1 範例系統參數

系統參數	變數名稱	基本案例用值	變化範圍
配電變電所一次側短路容量	$MVA_{sa}, MVA_{sb}$	5000 MVA	20%~200%
主變容量	$S_{T1}, S_{T2}, S_{T3}$	60 MVA	100%
主變阻抗	$Z_{T1}, Z_{T2}, Z_{T3}$	0.1672 pu	90%~110%
主饋線長度	$L_1, L_2$	10 km	20%~200%
連絡饋線長度	$L_{TL}$	0.3 km	100%
饋線阻抗	$Z_{\Omega}$	0.1795 $\Omega$ /km	100%

表 3-2 各元件對應之短路容量

變數名稱	基本案例用值	變化範圍
$MVA_{sa}, MVA_{sb}$	5000 MVA	1000 MVA~10000 MVA
$MVA_{T1}, MVA_{T2}, MVA_{T3}$	359 MVA	326 MVA~399 MVA
$MVA_{L1}, MVA_{L2}$	290 MVA	145 MVA~1448 MVA
$MVA_{TL}$	9653 MVA	9653 MVA

### 3.3.1 放射型架構

如圖 3-1 所示之系統架構，若F#1 饋線連接至Bus1 匯流排，且兩個分別位於主變二次側匯流排及饋線末端的連絡斷路器維持常開狀態，則F#1 饋線呈放射狀，其所對應的短路容量表示圖，如圖 3-6 所示。假設在距離配電變電所二次側匯流排 $(1-k)L_1$ 公尺處的主饋線上發生三相短路故障，其故障點的等效短路容量可表示如下

$$MVA_{SC,Radial}^F = \left[ \frac{1}{MVA_{sa}} + \frac{1}{MVA_{T_1}} + \frac{1}{MVA_{(1-K)L_1}} \right]^{-1} \quad (3-9)$$

式(3-9)中

$MVA_{sa}$  為 A 配電變電所一次側短路容量；

$MVA_{T_1}$  為主變#1 所對應之短路容量；

$MVA_{(1-K)L_1}$  為饋電端(主變二次側匯流排)至主饋線上任一故障點的饋線段所對應之短路容量；

$K$  則表示故障位置，其變化範圍從 1 到 0(即由饋電端至饋線末端)。

將式(3-1)及(3-2)代入式(3-9)，即可求得放射型配電饋線上任一故障點之短路容量公式，如下

$$MVA_{SC,Radial}^F = \left[ \frac{1}{MVA_{sa}} + \frac{Z_{T_1}(pu)}{S_{T_1}} + \frac{(1-K)L_1 Z_{\Omega}}{KV_L^2} \right]^{-1} \quad (3-10)$$

依據式(3-10)及表 3-1 及 3-2 所列的相關參數，可繪製出如圖 3-7 所示之短路容量曲線，該曲線的變化趨勢與配電變電所一次側短路容量、主變阻抗值以及故障位置有關。圖 3-7 中共顯示有五條曲線，其中實線曲線(solid curve)代表基本案例，其餘四條曲線則分別代表以基本案例為基準改變配電變電所一次側短路容量與主變阻抗值所產生的

短路容量變化情形，觀察圖 3-7 中各曲線的變化情形，可得知配電變電所一次側短路容量愈小或主變阻抗值愈大，則相對應之饋線沿線短路容量愈小，上述兩項參數為主宰放射型饋線沿線短路容量變化的主要因素。一般而言，饋線沿線短路容量由配電變電所至饋線末端呈遞減趨勢，亦即故障點與配電變電所的距離愈遠其對應之短路容量愈小，圖 3-7 也顯示愈接近饋線末端之短路容量變化相較於前端的短路容量變化幅度愈小，此一現象意指配電變電所一次側短路容量及主變阻抗值對饋線沿線短路容量的影響，在饋電端最大，在饋線末端最小，主要原因為故障點與饋電端的距離愈遠則該饋線段之短路容量  $MVA_{(1-K)L_1}$  愈小，相對而言對故障電流的限制愈大。

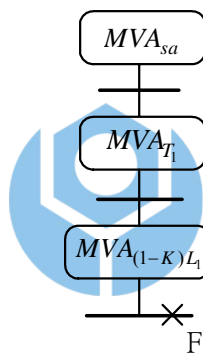


圖 3-6 放射型饋線之短路容量表示圖

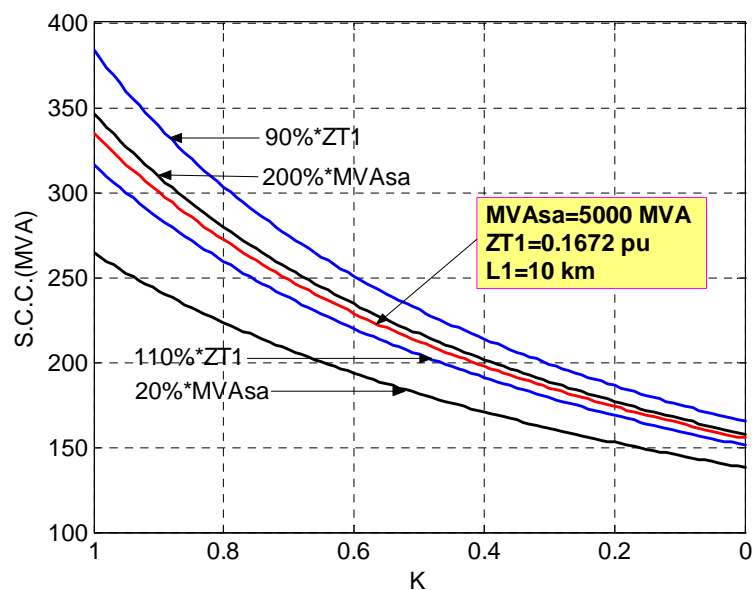


圖 3-7 短路容量曲線—放射型饋線



### 3.3.2 常閉環路型架構

Type I : Type I常閉環路饋線之短路容量表示圖，如圖 3-8 所示，假設三相短路故障發生在距離饋電點 $(1-k)L_1$ 公尺處的主饋線上，其故障點的等效短路容量可表示為

$$MVA_{SC,TypeI}^F = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{MVA_{sa}} + \frac{1}{MVA_{T_1}} \\ + \left[ MVA_{(1-K)L_1} + \left( \frac{1}{MVA_{KL_1}} + \frac{1}{MVA_{L_{TL}} + MVA_{L_2}} \right) \right]^{-1} \end{array} \right\}^{-1} \quad (3-11)$$

同理，將式(3-1)及(3-2)代入式(3-11)，則可推導出 Type I 常閉環路饋線在主饋線上任一故障點的短路容量公式如下

$$MVA_{SC,TypeI}^F = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{MVA_{sa}} + \frac{Z_{T1(pu)}}{S_{T1}} \\ + \left[ \frac{KV_L^2}{(1-K)L_1 Z_\Omega} + \frac{KV_L^2}{(KL_1 + L_{TL} + L_2) Z_\Omega} \right]^{-1} \end{array} \right\}^{-1} \quad (3-12)$$

根據式(3-12)，改變配電變電所一次側短路容量、主變阻抗、F#2饋線長度以及故障位置等相關參數可繪製出七條曲線，如圖 3-9 所示，其中實線曲線為 F#1 饋線在基本案例條件下之饋線沿線短路容量，其餘六條曲線則分別顯示在合理的範圍內改變配電變電所一次側短路容量、主變阻抗及 F#2 饋線長度之短路容量變化情形。由圖 3-9 可得知配電變電所一次側短路容量以及主變阻抗對 Type I 常閉環路饋線沿線短路容量的影響與放射型饋線約略相同；此外，上述兩項參數變化對 F#1 饋線沿線短路容量的影響在饋電端最大，而在饋線末端最小；相反地，F#2 饋線長度對 F#1 饋線沿線短路容量的影響在饋電端最小，而在饋線末端最大。

基本上，放射型饋線及 Type I 常閉環路饋線的差異僅在饋線架構部分，就常閉環路饋線而言，一旦主饋線發生短路故障便有兩個故障電流源由故障點兩側之饋線匯入；然而，同樣的故障情況發生在放射型饋線時，則僅有一故障電流源經饋線流進故障點。是故，饋線型態由原放射型升級為常閉環路型時，勢必會使得饋線沿線短路容量上升，以饋線型態升級成為 Type I 型態為例，F#1 饋線沿線短路容量的增加幅度主要係受 F#1 及 F#2 兩互連饋線長度的影響，一般而言，F#2 饋線長度愈短，則 F#1 饋線沿線短路容量的上升幅度愈高；反之，則愈低。

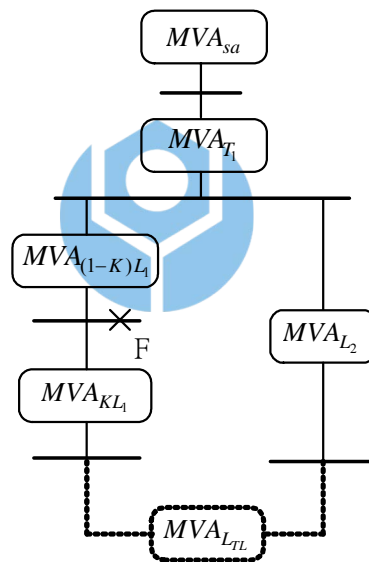


圖 3-8 Type I 常閉環路饋線之短路容量表示圖

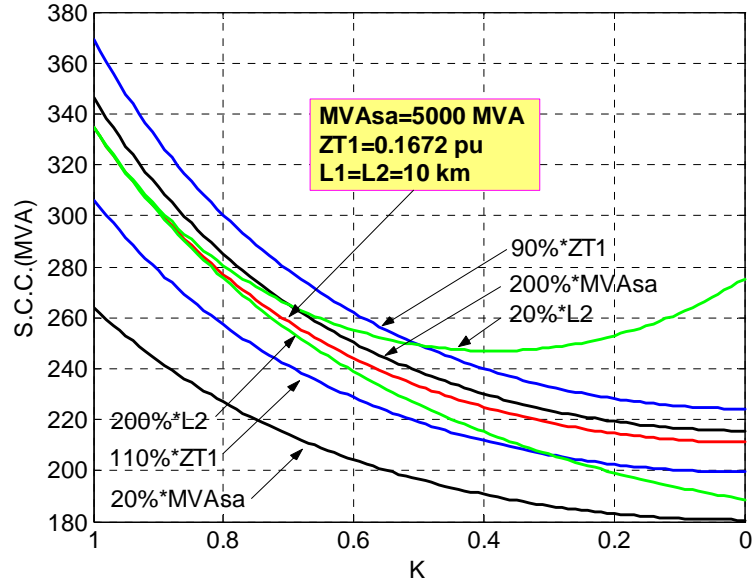


圖 3-9 短路容量曲線—Type I 常閉環路饋線

Type II.1：圖 3-10 所示為 Type II.1 常閉環路饋線之短路容量表示圖，根據此一系統架構，F#1 饋線沿線短路容量可表示為

$$MVA_{SC,TypeII.1}^F = \left\{ \frac{1}{MVA_{sa}} + \left[ \left( \frac{1}{MVA_{T_1}} + \frac{1}{MVA_{(1-K)L_1}} \right)^{-1} + \left( \frac{1}{MVA_{T_2}} + \frac{1}{MVA_{L_2}} + \frac{1}{MVA_{L_{TL}}} + \frac{1}{MVA_{KL_1}} \right)^{-1} \right]^{-1} \right\}^{-1} \quad (3-13)$$

同樣地，將式(3-1)及(3-2)代入式(3-13)，經整理後可推導出 Type II.1 常閉環路饋線沿線短路容量公式如下：

$$MVA_{SC,TypeII.1}^F = \left\{ \frac{1}{MVA_{sa}} + \left[ \left( \frac{Z_{T_1(pu)}}{S_{T_1}} + \frac{(1-K)L_1 Z_{\Omega}}{KV_L^2} \right)^{-1} + \left( \frac{Z_{T_2(pu)}}{S_{T_2}} + \frac{(L_2 + L_{TL} + KL_1) Z_{\Omega}}{KV_L^2} \right)^{-1} \right]^{-1} \right\}^{-1} \quad (3-14)$$

依據式(3-14)，可繪製出七條短路容量曲線，如圖 3-11 所示，這些曲線的變化趨勢受到相關因素的影響情形與圖 3-9 相對應之曲線相似；然而，饋線沿線短路容量相較於圖 3-9 普遍而言均向上提升，且改變各元件參數對短路容量曲線變化的影響也相對擴大。

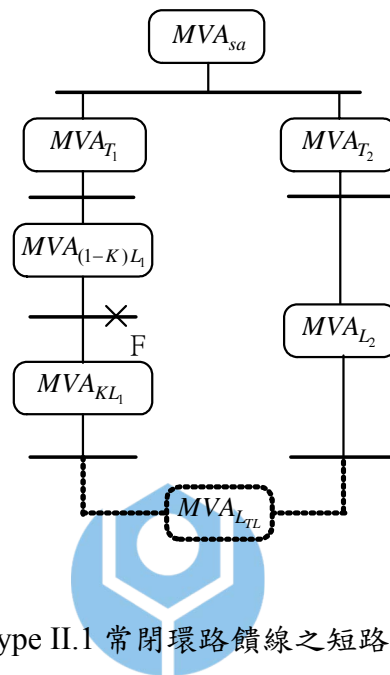


圖 3-10 Type II.1 常閉環路饋線之短路容量表示圖

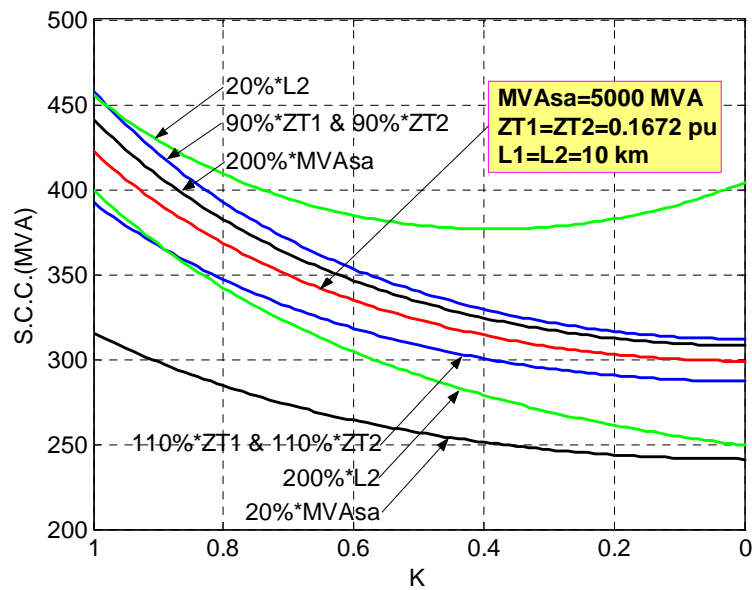


圖 3-11 短路容量曲線—Type II.1 常閉環路饋線

Type II.2：圖 3-12 所示為 Type II.2 常閉環路饋線之短路容量表示圖，依據此一系統架構，F#1 饋線沿線短路容量可表示為

$$MVA_{SC,TypeII.2}^F = \left\{ \left[ \frac{1}{MVA_{sa}} + (MVA_{T_1} + MVA_{T_2})^{-1} \right]^{-1} + \left[ MVA_{(1-K)L_1} + \left( \frac{1}{MVA_{L_2}} + \frac{1}{\frac{1}{MVA_{L_{TL}}} + \frac{1}{MVA_{KL_1}}} \right)^{-1} \right]^{-1} \right\}^{-1} \quad (3-15)$$

(3-14) 可改寫式為

$$MVA_{SC,TypeII.2}^F = \left\{ \left[ \frac{1}{MVA_{sa}} + \left( \frac{S_{T_1}}{Z_{T_1}(pu)} + \frac{S_{T_2}}{Z_{T_2}(pu)} \right)^{-1} \right]^{-1} + \left[ \frac{KV_L^2}{(1-K)L_1 Z_\Omega} + \frac{KV_L^2}{(L_2 + L_{TL} + KL_1) Z_\Omega} \right]^{-1} \right\}^{-1} \quad (3-16)$$

利用式(3-16)，並改變相關參數可繪製出七條短路容量曲線於圖 3-13 中，圖中各曲線的變化趨勢與圖 3-11 中相對應之曲線相似；此外，值得注意的是饋線沿線短路容量提升的幅度較圖 3-11 高，主要原因為兩主變係直接並聯運轉使其等效阻抗降低近五成之故。

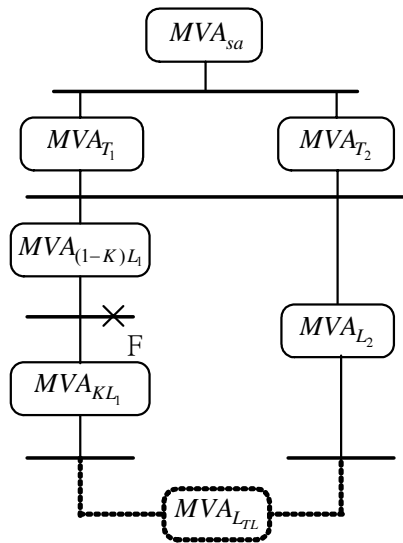


圖 3-12 Type II.2 常閉環路饋線之短路容量表示圖

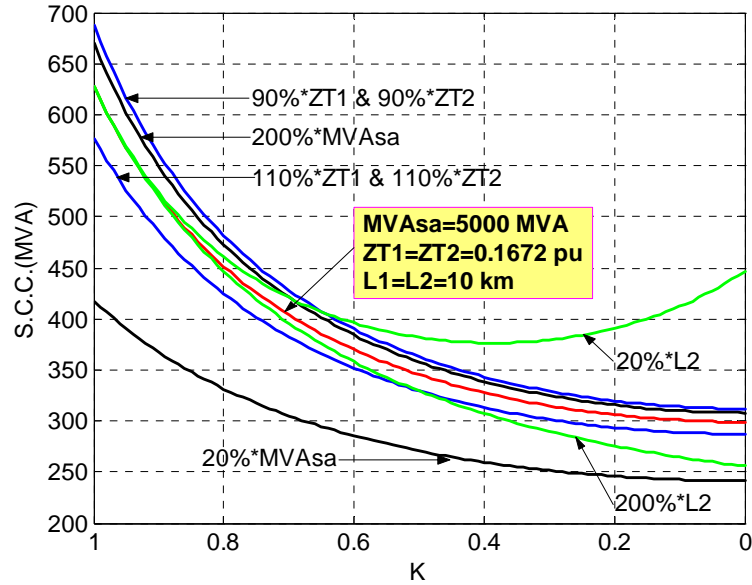


圖 3-13 短路容量曲線—Type II.2 常閉環路饋線

Type III：圖 3-12 所示為 Type III 常閉環路饋線之短路容量表示圖，根據該系統架構，F#1 饋線沿線短路容量可表示為

$$MVA_{SC,TypeIII}^F = \left( \frac{1}{MVA_{sa}} + \frac{1}{MVA_{T_1}} + \frac{1}{MVA_{(1-K)L_1}} \right)^{-1} + \left( \frac{1}{MVA_{sb}} + \frac{1}{MVA_{T_3}} + \frac{1}{MVA_{L_2}} + \frac{1}{MVA_{L_{TL}}} + \frac{1}{MVA_{KL_1}} \right)^{-1} \quad (3-17)$$

式(3-16)可重寫為

$$MVA_{SC,TypeIII}^F = \left( \frac{1}{MVA_{sa}} + \frac{Z_{T_1}(pu)}{S_{T_1}} + \frac{(1-K)L_1 Z_{\Omega}}{KV_L^2} \right)^{-1} + \left( \frac{1}{MVA_{sb}} + \frac{Z_{T_3}(pu)}{S_{T_3}} + \frac{(L_2 + L_{TL} + KL_1) Z_{\Omega}}{KV_L^2} \right)^{-1} \quad (3-18)$$

根據式(3-18)，可繪製出七條短路容量曲線，如於圖 3-15 所示，圖中各曲線的變化趨勢與圖 3-11 中相對應之曲線相似。由於該饋線型態饋供自不同配電變電所之兩台主變，因此，互連升級成為常閉環路後之饋線沿線短路容量主要為互連前兩放射型饋線沿線短路容量的函



數。

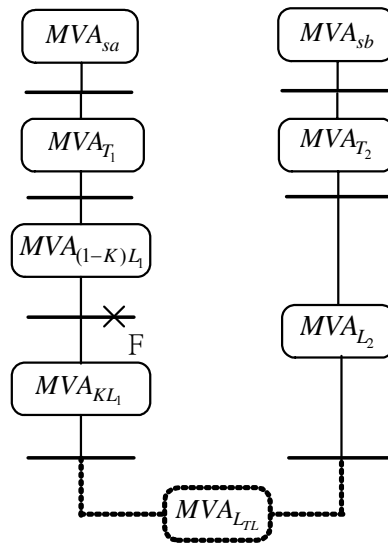


圖 3-14 Type III 常閉環路饋線之短路容量表示圖

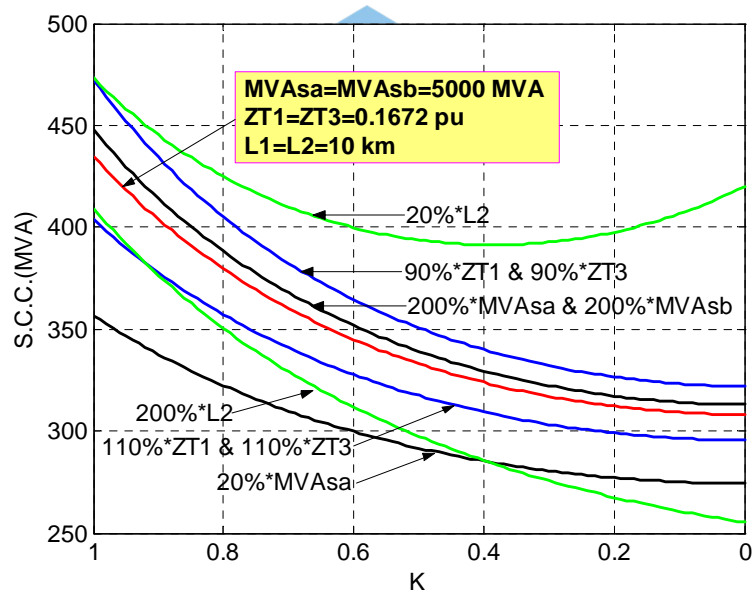
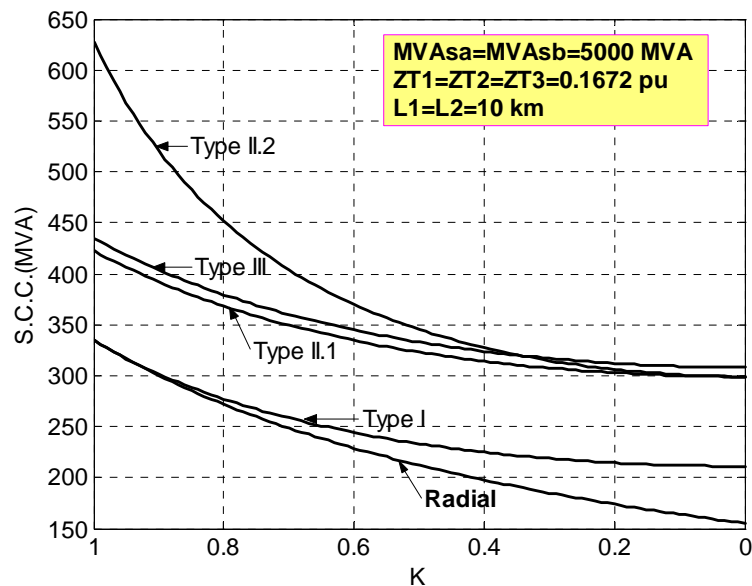


圖 3-15 短路容量曲線—Type III 常閉環路饋線

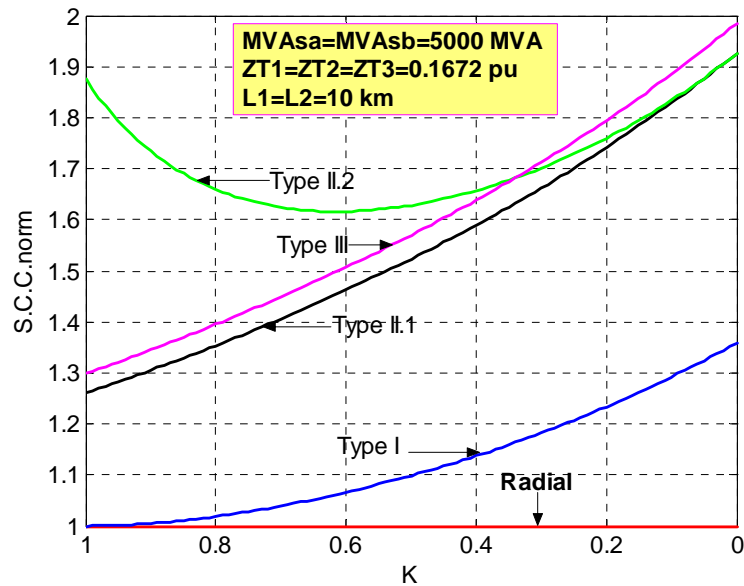
### 3.4 綜合比較與分析

為了進一步釐清配電饋線型態升級對饋線沿線短路容量的影響，本節以圖 3-16 及 3-17 所列之短路容量曲線圖綜合比較說明 3.3 節數理

分析所得的結果。圖 3-16 所示為放射型饋線升級為四種常閉環路對饋線沿線短路容量之影響情形，其中圖 3-16 (a)中各短路容量曲線乃參考表 3-1 所列之基本案例相關參數所求得，為了方便分析起見，五種饋線型態所對應之短路容量曲線均以放射型饋線為基準，利用式(3-8)予於正規化，圖 3-16 (b)所示為正規化後之短路容量曲線圖，在此一系統架構及條件下，由圖 3-16 (b)可得知放射型饋線升級為 Type II.1、Type II.2 及 Type III 等三種常閉環路饋線在饋線末端的短路容量均上升約為原來的 2 倍；僅 Type I 常閉環路饋線例外，約為原來的 1.36 倍，增加幅度最小，因此放射型饋線升級為 Type I 常閉環路饋線對饋線沿線短路容量增加的影響有限，原系統所有用戶的保護設備及其設定值一般而言仍可正常運作不需任何更改。此一饋線型態已經推薦給台電並已獲得台電採用[34, 35]，截至目前為止，至少已經有五個台電營業區處已完成或開始著手建置 Type I 常閉環路饋線。



(a) 以實際值表示



(b) 以正規化值表示

圖 3-16 短路容量曲線—五種饋線型態在基本案例情況下之比較

此外，圖 3-16 (b)亦顯示 Type II.2 常閉環路饋線沿線短路容量的增加率在四種常閉環路饋線型態中為最大者，此一結論僅為基本案例條件下之一特殊案例，在其他不同參數條件的案例中，饋線沿線短路容量的變化情形將不盡相同。是故，有必要參酌實際情況適度改變參數廣泛地探討所有可能的情況，其中在各個影響因素的變化方面則參考表 3-1 所列之合理的範圍內，並以四個案例(Case#1~ Case #4)詳細說明不同饋線型態之饋線沿線短路容量受主要因素的影響情形，如圖 3-17 所示。此外，為了更清楚呈現短路容量變化情形，所有的分析案例均以正規化短路容量表示，茲分述如下：

Case #1：此一案例主要用來說明一短路容量強度較強與另一短路容量強度較弱的放射型饋線互連形成常閉環路後對原短路容量強度相對較強之饋線沿線短路容量的影響，圖 3-17 (a)所示為五條分別對應至五種饋線型態在短路容量強度較強之饋線沿線短路容量曲線，為了擴大兩互連饋線的差異，以凸顯影響結果，A、B兩配電變電所一次

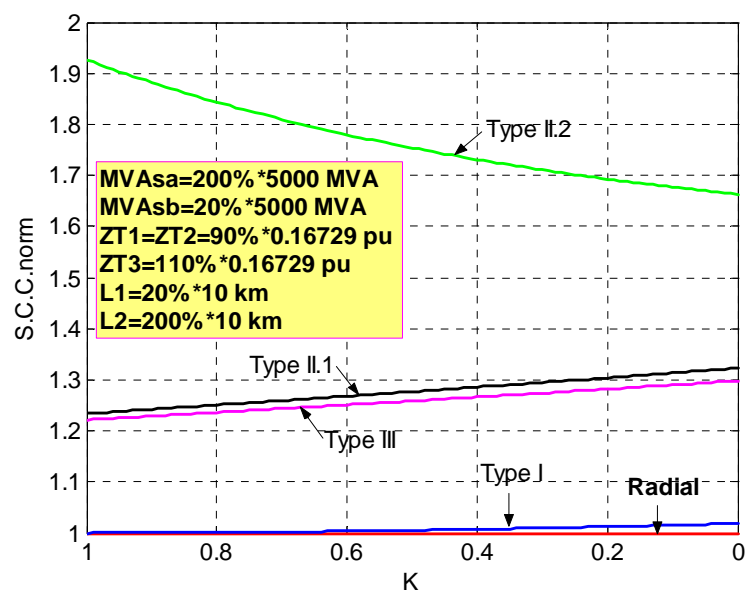
側短路容量分別設定為基準案例之 200%及 20%，亦即 10,000MVA 和 1,000MVA；F#1 饋線及F#2 饋線的長度分別假設為基本案例的 20% 及 200%，亦即 2km 和 20km；主變#1、主變#2 以及主變#3 的阻抗值分別設定為基本案例的 90%、90%及 110%，亦即分別為 0.16729pu、0.16729pu以及 0.18402pu。由圖 3-17 (a)可知Type II.2 的饋線沿線短路容量增加率為四種型態中最大者；其次為Type II.1 與Type III，其短路容量增加率幾乎相同；最低者為Type I，其增加率極小甚或可予於忽略。此外，就本案例而言，饋線長度對沿線短路容量的影響並不顯著，因此饋線沿線短路容量從饋電端到饋線末端的分佈差異不大較為平均。

Case #2：此一案例主要用來說明兩短路容量強度均較弱的放射型饋線互連形成常閉環路後對饋線沿線短路容量的影響，相關參數的設定標示於圖 3-17 (b)中。觀察圖 3-17 (b)可得知Type II.2 之饋線沿線短路容量增加率並不完全為四種型態中最大者，至少在饋線後端 60%以後的部分並非如此，此一部份的饋線沿線短路容量增加率以Type III為四種型態中最大者；另外，Type II.1 和 Type II.2 的短路容量增加率在靠近饋線後端 40%以後的部分較為接近，而其餘部份愈靠近饋線端則愈往外擴大；此外，Type I的短路容量增加率在四種型態中仍然維持最小，但此時的增加率已經稍嫌過大而不容許忽略。在此一案例中，兩互連饋線的長度對饋線沿線短路容量的影響較為顯著，值得特別注意。

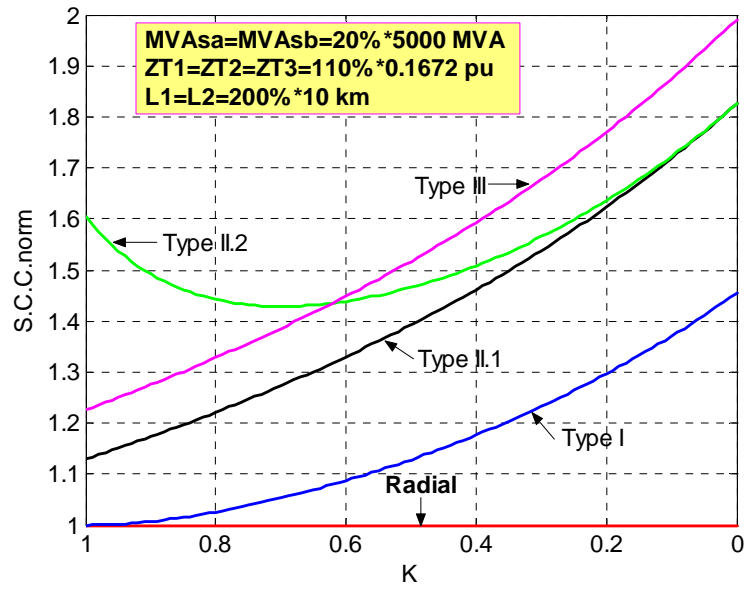
Case #3：此一案例主要用來說明一短路容量強度較弱與另一短路容量強度較強的放射型饋線互連形成常閉環路後對原短路容量強度相對較弱之饋線沿線短路容量的影響，分析時所需之參數設定標示於圖 3-17 (c)中。圖 3-17 (c)所示為五條分別對應至五種饋線型態在短路容

量強度較弱之饋線沿線短路容量曲線，觀察圖中各曲線變化情形可得知，在四種常閉環路饋線型態中，以Type III的短路容量增加率最高，而Type II.1 及 Type II.2 在整條饋線中間部分的增加率幾乎相同；此外，增加率最小的依舊是Type I；然而，必須特別注意在本案例的條件下，Type I饋線沿線短路容量的增加率相當可觀，因此已不容忽視。

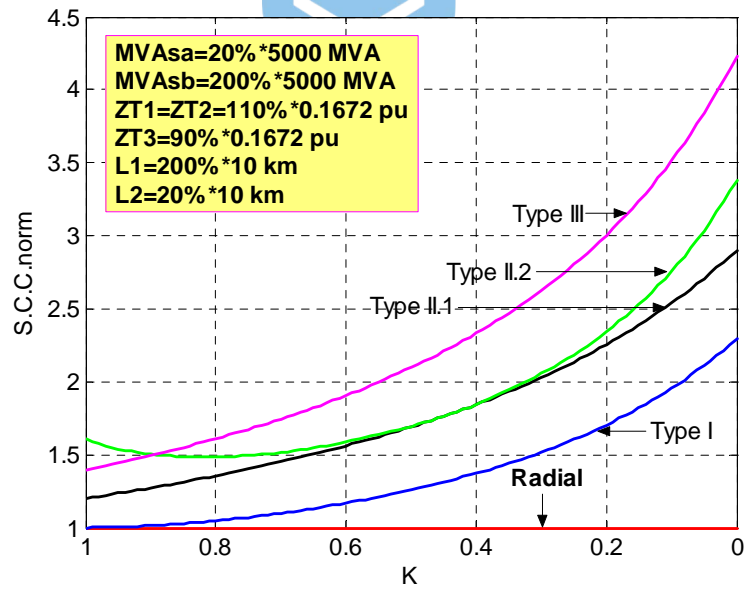
Case #4：此一案例主要用來說明兩短路容量強度均較強的放射型饋線互連形成常閉環路後對饋線沿線短路容量的影響，分析時所需之參數設定標示於圖 3-17 (d)中。圖 3-17 (d)顯示五種饋線型態所對應之五條短路容量曲線，由圖 3-17 (d)亦可得知Type III的饋線沿線短路容量增加率為四種型態中最大者，而Type II.1 與Type II.2 在饋線後半段的短路容量增加率非常接近；另外，Type I的短路容量增加率亦為四種常閉環路型態中最小者，其增加率非常小，可予於忽略。此外，就本案例而言，饋線沿線短路容量的增加率從饋電端到饋線末端呈現遞增趨勢。



(a) Case#1

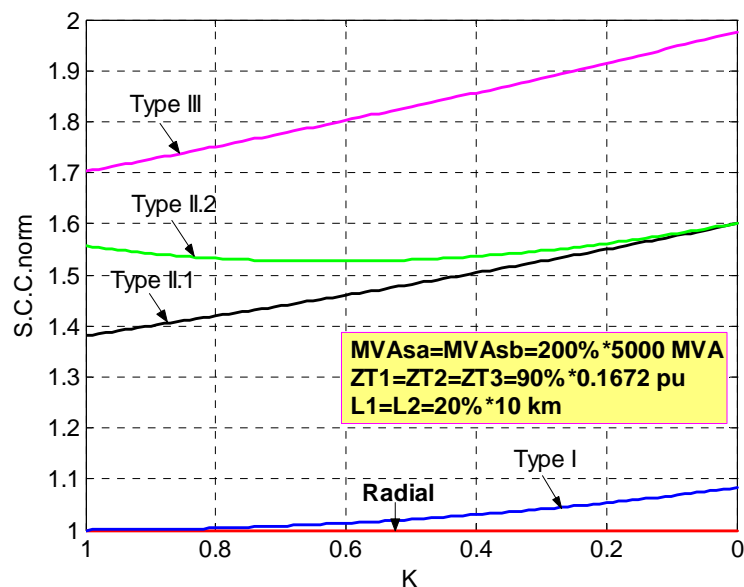


(b) Case#2



(c) Case#3





(d) Case#4

圖 3-17 短路容量曲線—五種饋線型態在不同案例條件下之比較

### 3.5 本章結論

本章以一簡單而直接的方法——短路容量法來評估饋線沿線短路容量因配電饋線由放射型升級為常閉環路型所造成之影響，藉由此法推導出之饋線沿線短路容量公式，可輕易繪製出不同饋線型態之饋線沿線短路容量曲線；再者，由於所推導之公式為三個主要影響因素的函數，亦即配電變電所一次側短路容量、主變阻抗以及饋線長度等因素，因此可藉由改變相關參數獲得更全面性的結果。以短路容量評估公式及短路容量曲線的方式分析配電饋線型態升級對饋線沿線短路容量之影響能清楚且具體的呈現所得之結論，此一分析結果有助於相關工程師對饋線型態升級造成短路容量增加及其影響有更進一步的瞭解，尤其是在配電饋線升級之規劃設計階段。

# 第四章 饋線型態升級對系統運轉特性 之影響分析

## 4.1 前言

欲探討饋線型態升級對系統運轉特性之影響，必須分析配電系統之電力潮流；然而，其複雜度遠較輸電系統高，主要的原因為配電系統的結構並非三相對稱，且負載亦非三相平衡。一般而言，除了主饋線(feeder main)大都採三相線路外，分岐線(lateral)可能採兩相或單相線路，此外，配電系統常採用非對稱結構之配電變壓器，以同時供應三相動力及單相照明負載，而單相變壓器及單相負載亦遍佈整個配電系統等因素，再再造成配電饋線三相不平衡的情況，凡此種種，為了能確實掌握配電系統的運轉特性，有必要執行三相電力潮流分析，尤其在系統規劃階段，因有太多不確定因素存在，電力潮流分析的結果可用於探討所規劃的系統之主變壓器的額定容量、饋線的安培容量、配電變壓器額定容量等是否得宜，以及各設備之利用率是否恰當等，顯見電力潮流分析之重要性。本論文研究配電饋線型態升級對系統運轉特性所造成之影響，類屬規劃階段之研究，再者，由於本文分析、探討的對象為主饋線，是故，線路大都為三相平衡結構，並假設主饋線各配電站引出之負載經集總等效後大致上均接近三相平衡，因此可以平衡三相電流程式來簡化分析。

配電系統從規劃、設計、施工而至運轉與維護，整個過程各階段的目標與理念一脈相傳，其中系統運轉特性除了與大體固定的系統架構相關外，更與變動性較高的負載息息相關。前者是指變電所主變壓器一、二次側匯流排、主變壓器、配電饋線、配電變壓器以及二次線

路等的架構與結線方式；而後者乃指負載的分佈、動態與靜態負載(動力與照明)的比例、負載功率因數(power factor)、負載參差因數(diversity factor)以及負載量等。上述因素對系統運轉特性的影響扮演相當關鍵的角色，各因素對不同系統架構在不同運轉情況下之電力潮流、電壓降、損失、效率，以及短路事故時之短路電流、短路容量等會造成不同程度的影響。如同第三章般，本章仍以第二章的結論為基礎，進一步的探討與分析配電饋線升級對系統運轉特性的影響。首先，建立一適切的範例系統，並擬定分析案例以及設定相關參數；其次，依據此一範例系統，分析各因素之參數量——主變壓器阻抗及其負載，以及饋線長度、饋線負載量及其負載分佈——對配電饋線升級前後以及升級後在非常態運轉情況下之主變壓器負載量以及饋線沿線電流與電壓等相關運轉特性的影響，藉此說明主變壓器額定容量、導線安培容量是否足夠，以及線路電壓降是否符合規定等；最後，則綜合分析、比較配電饋線由放射型升級為不同型態之常閉環路型對運轉特性的影響。此一分析結果，除了可以更深入瞭解影響配電饋線升級之各項因素外，更可用以評估饋線型態升級對系統運轉特性造成之影響。

## 4.2 範例系統設計及分析案例說明

本論文參考台電地下配電饋線架構及相關參數，設計如圖 4-1 至 4-4 所示之四種常閉環路系統，作為本章探討饋線型態升級對系統運轉特性影響之範例系統，相關系統參數設定請參考第三章表 3-1，其中變電所A、B一次測匯流排短路容量及X/R分別假設為 9338 MVA，X/R=20，以及 2094 MVA，X/R=9.7。此外，圖中每一台主變壓器均引出六條饋線，除了F#1 及F#2 兩互連饋線外，其餘各主變壓器所屬饋線及其負載皆以一等效集總負載(lumped-sum load)表示，即 $S_{LT1}$ 與

$S_{LT2}$ ，且兩條互連饋線經簡化後均僅有三個配電站，所有高壓及低壓用戶均由此三個配電站引出之分歧線饋供，高壓用戶係以在責任母線上直接以掛接負載之方式表示；而低壓用戶部份則透過配電變壓器再掛接負載，且分別以等效集總變壓器(lumped-sum transformer)及等效集總負載表示，等效集總變壓器之容量為各該配電站所有配電變壓器額定容量之總和；而等效集總負載則為所有配電變壓器所個別饋供負載之總和[36-38]。模擬分析所需之相關負載資料如表 4-1 所示。

此外，為了完整分析放射型饋線升級為常閉環路饋線型態對系統運轉特性之影響，以下三種不同運轉情況(condition)必須納入考慮：

*Condition A*：互連前情況，亦即兩互連饋線末端均為開路狀態，可視為兩條各自獨立之放射型饋線。

*Condition B*：互連後情況，亦即兩互連饋線末端透過連絡饋線互連形成一常閉環路饋線。

*Condition C*：在常態運轉情況下之常閉環路饋線(*Condition B*)，因饋線事故被區分為二個饋線段，亦即兩條放射型饋線，本文假設故障發生在常閉環路饋線之重載側的饋電線前端，此一狀況為所有饋線事故中最嚴重的情形。

綜合上述四種系統架構及三種運轉情況，下一節將藉由電力潮流程式來分析兩條放射型饋線末端互連升級為不同架構之常閉環路饋線對系統運轉特性所造成之影響。

表 4-1 範例系統負載資料

母線 編號	高壓用戶	低壓用戶			等效負載 (kW+jkvar)
	等效負載 (kW+jkvar)	配電變壓器			
		容量 (kVA)	阻抗(%)	X/R	
<u>1</u>	2197+j722	500	4.5	5.3	279+j173
<u>2</u>	2681+j881	750	4.32	4.85	418+j259
<u>3</u>	4321+j1420	1000	4.5	5.5	558+j346
<u>4</u>	1085+j357	750	4.32	4.85	423+j262
<u>5</u>	1308+j430	666	4.5	4.7	344+j213
<u>6</u>	2108+j693	300	3.5	2	167+j104
母線編號		等效集總饋線負載 (kW+jkvar)			
<u>S1</u>		31540+j10367			
<u>S2</u>		42940+j14114			
<u>S3</u>		47500+j 15612			
附註：所列各母線之等效負載為基本案例之負載情況。					

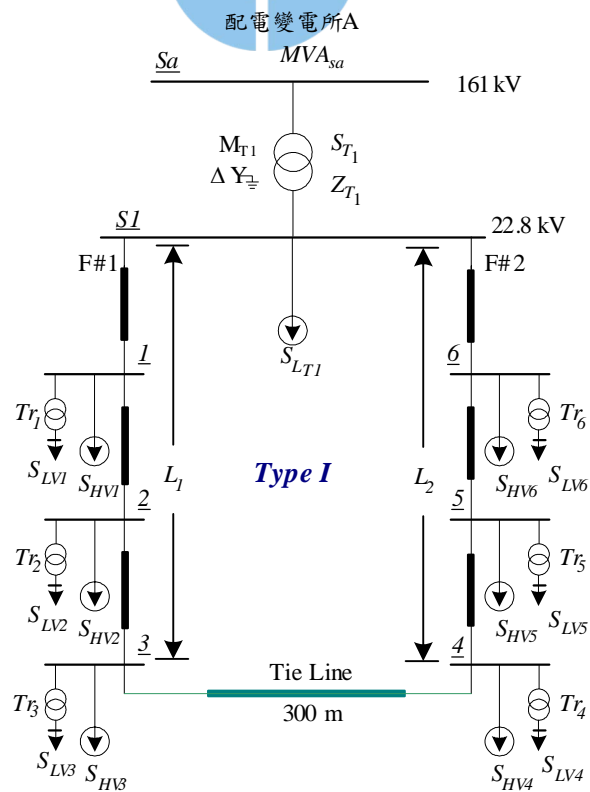


圖 4-1 Type I 系統單線圖

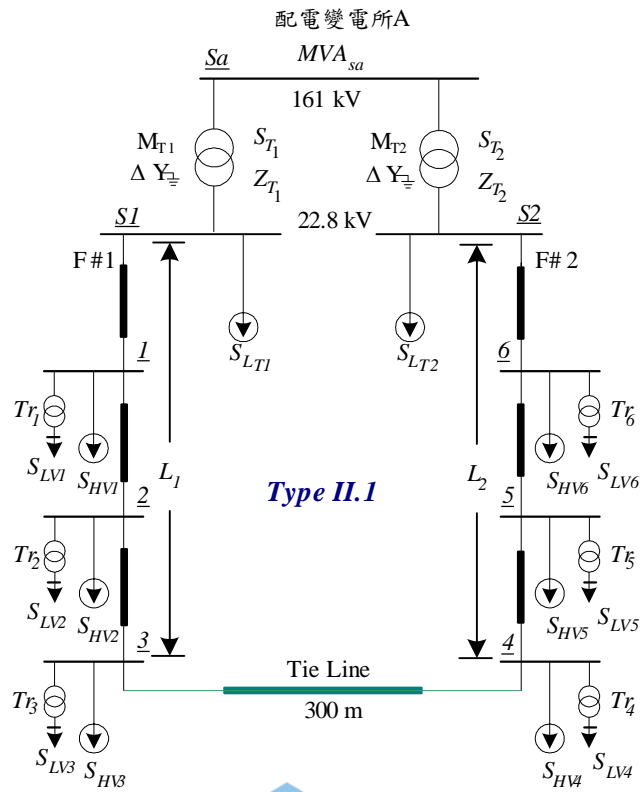


圖 4-2 Type II.1 系統單線圖

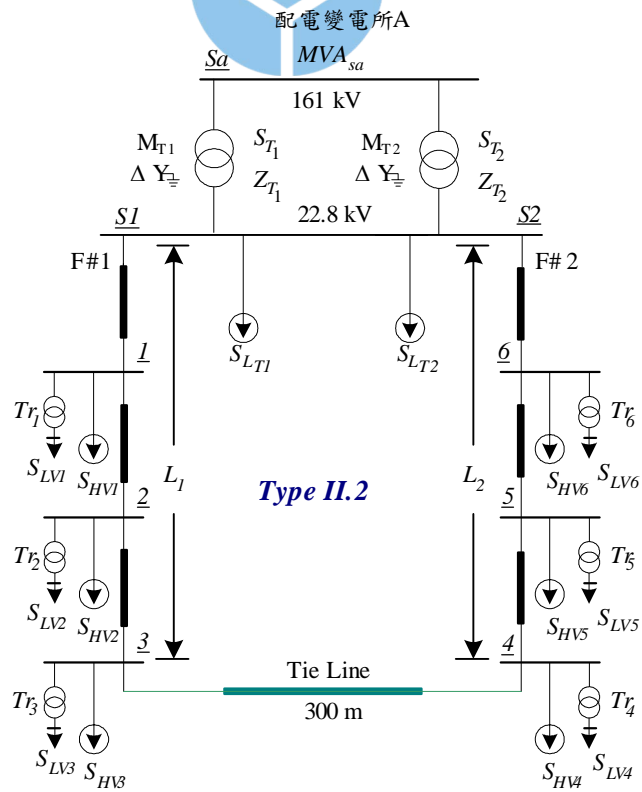


圖 4-3 Type II.2 系統單線圖



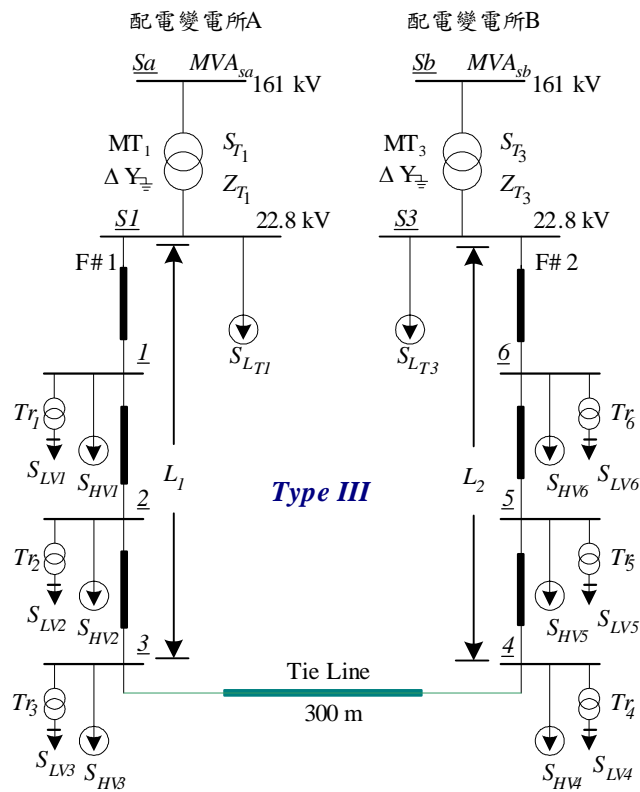


圖 4-4 Type III 系統單線圖

## 4.3 模擬結果之分析與探討

本節以電力潮流分析結果為基礎，綜合歸納出上述四種常閉環路型態在三種不同運轉情況下之系統運轉特性，資分述如下：

### 4.3.1 Type I

首先就 Type I 常閉環路型態，如圖 4-1 所示，分別就主變壓器負載量、饋線沿線電流及電壓分佈之分析結果加以說明如下：

主變壓器負載量：在三種不同運轉情況下，主變壓器負載量的變化極小，其微量的變化係因饋線型態改變，使得流經各饋線段之電流因之變動，導致總線路損失亦有微幅變化之故，模擬結果如圖 4-5 所示。因此，配電饋線由放射型升級為 Type I 型常閉環路時，並不需要更換主變壓器的額定容量。此外，觀察圖 4-5 可以清楚得知二條放射

型饋線互連升級為一常閉環路饋線後，在常態運轉情況下，由於饋線雙端同時饋電使得各饋線段電流自然呈現最佳分配，造成總損失降低；然而，在升級成為常閉環路饋線後，一旦發生饋線事故，尤其在本章所提之極端非常態運轉情況下，係暫時以一條長度接近該常閉環路饋線全長之放射型饋線運轉，因此各饋線段電流均大幅提升，導致總線路損失增加。此一現象，將於第五章中再詳細探討，本章不予贅述。

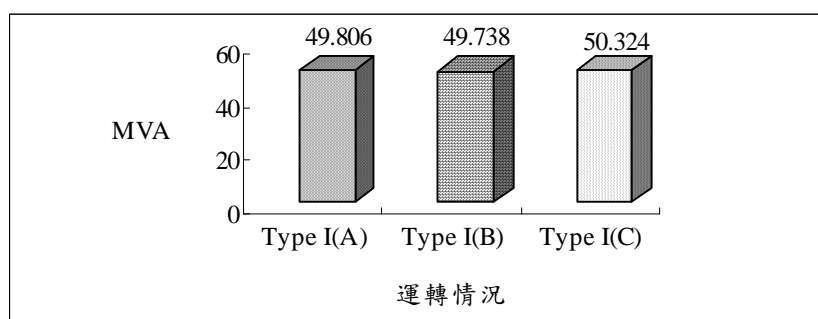


圖 4-5 主變壓器#1 負載量—Type I 型態

饋線沿線電流分佈：圖 4-6 所示為二條互連饋線沿線電流分佈情形，當運轉情況改變，各饋線段電流亦隨之產生或多或少的變化，以範例系統而言，在由常開改變為Type I常閉環路時，將有 78 安培的負載電流由F#2 饋線經連絡饋線流往F#1 饋線，使得兩互連饋線中負載相對較重之饋線的沿線電流將普遍降低；反之，饋線負載相對較輕之饋線沿線電流則會相對向上提升，此一情形會導致各饋線段之電流分佈較原為常開時平均。事實上，饋線沿線電流的變化與兩互連饋線負載量之差成正比關係，因此，F#1 及F#2 兩饋線負載量差異若愈大則互連後饋線沿線的電流變化也愈大。此外，若運轉情況由Condition B 轉為 Condition C後，各饋線段的電流變化甚鉅且部分饋線段之電流方向逆轉，此時各饋線段的電流大小之差異更大，是故，必須特別注意

在正常供電時位於配電變電所饋線出口處的電流是否有符合運轉規定，以免在非常態運轉時有超載之虞，以本節的模擬結果為例，S1~6 饋線段的電流由 219A 遽增為 434 A。

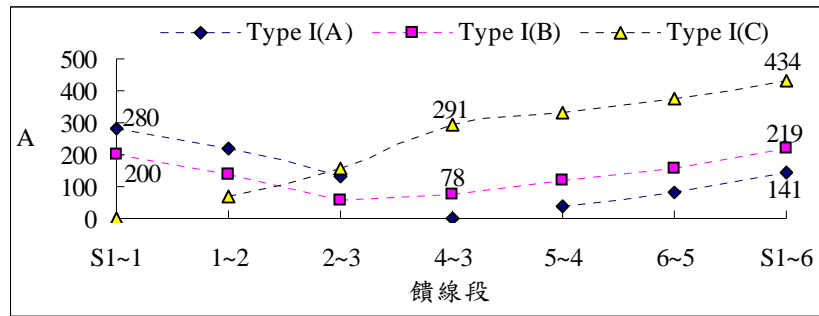


圖 4-6 F#1 及 F#2 饋線沿線電流分佈—Type I 型態

饋線沿線電壓分佈：一般而言，兩饋線互連形成常閉環路饋線後，饋線沿線各母線的電壓平均值會有些微的提升現象，以範例系統為例，F#1 饋線沿線電壓稍微降低，而 F#2 饋線沿線電壓則略為提升，如圖 4-7 所示。如前所述，兩饋線互連後饋線沿線電壓的變化與其負載量之差成正比關係，因饋線上各母線電壓變化幅度主要受兩互連饋線沿線電流變化之影響，一般而言，兩饋線互連成常閉環路對饋線沿線電壓有正面助益。另外，就 *Condition C* 的情況而言，由饋電端至饋線末端的電壓大小分佈比前二者更廣，因此對沿線電壓的監控更為重要，否則將導致饋線末端電壓降過高而影響供電電壓品質，如圖 4-8 所示，在 *Condition C* 的情況下，饋線後半部的電壓降均有過大之虞。

上述結論雖為基本案例條件下之分析結果，然若在合理的範圍內改變相關影響因素之參數量，所得到的結果亦大同小異，其差異僅為變化量之大小，而變化趨勢均極為相似，因此此一結論具代表性。

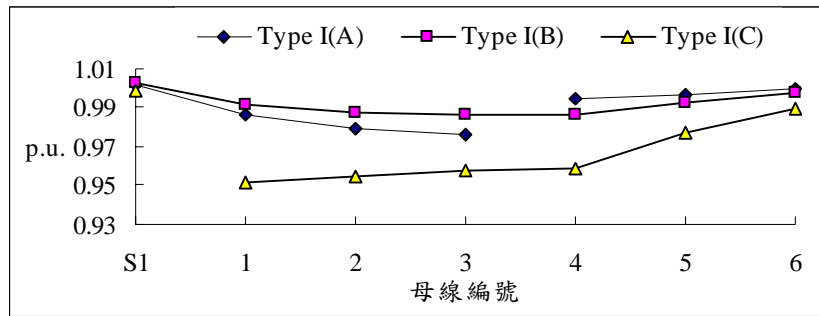


圖 4-7 F#1 及 F#2 饋線沿線電壓分佈－Type I 型態

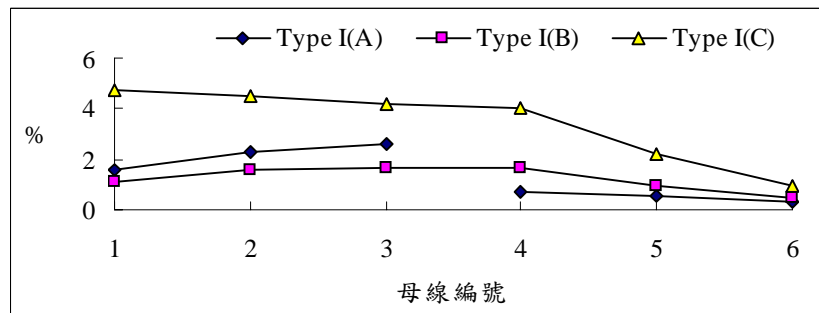


圖 4-8 F#1 及 F#2 饋線沿線電壓降－Type I 型態

### 4.3.2 Type II.1

圖 4-2 所示為 Type II.1 常閉環路型態，由於此一型態之系統運轉特性受兩關係主變壓器特性及其所屬負載之負載量差影響甚大，因此為了加強說明上述二項因素之影響，模擬時假設主變壓器#1 阻抗值  $Z_{T1}$  為基本案例的 90% 且主變壓器所屬饋線等效集總負載  $S_{LT1}$  與  $S_{LT2}$  亦分別為基本案例的 30% 及 120%，其模擬分析結果分述如下：

主變壓器負載量：圖 4-9 顯示兩關係主變壓器的負載量變化情形，兩條饋線互連後主變壓器  $M_{T1}$  及  $M_{T2}$  的負載量較互連前更為平衡，這主要肇因於兩關係主變壓器不僅分攤兩互連饋線的負載量甚至還包括兩關係主變壓器的負載量。由於主變壓器  $M_{T1}$  及  $M_{T2}$  的複功率重新分配，使得負載量相對較輕的主變壓器  $M_{T1}$  提供額外的實功率(real power) 由 F#1 饋線經 F#2 饋線到負載量相對較重的主變壓器  $M_{T2}$  二次側之負載；然而，另一方面， $M_{T2}$  亦提供額外的虛功率(reactive power) 經 F#2

及F#1 饋線到 $M_{T1}$ 二次側。前者輸送的實功率量大於後者的虛功率，使得 $M_{T1}$ 的負載量相對增加而 $M_{T2}$ 的負載量則相對減少。此外，若發生饋線事故，使得S1~1 之間的饋線段跳脫後， $M_{T2}$ 必須額外承擔常閉環路饋線(F#1 及F#2)的所有負載，此一情況將導致該主變壓器過載(overload)。因此，配電饋線由放射型升級為Type II.1 型態，必須注意兩關係主變壓器負載量的變化情形，若在主變壓器額定容量不變的情況下，主變壓器在常態運轉情況下之利用率不宜太高，應保留足夠的安全裕度，以因應非常態運轉情況的發生。

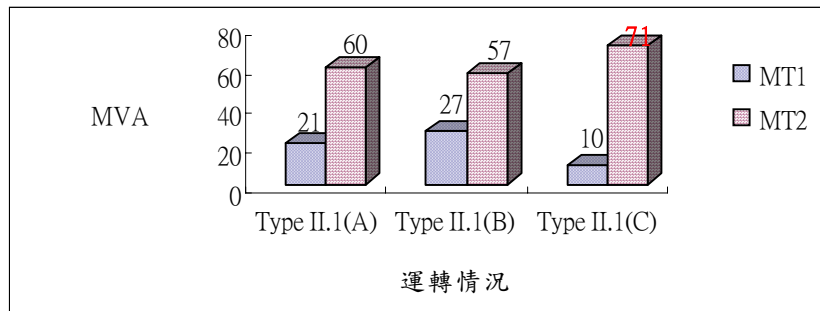


圖 4-9 主變壓器#1 及#2 負載量—Type II.1 型態

饋線沿線電流分佈：圖 4-8 說明各饋線段電流變化情形，就此一饋線型態而言，二條放射型饋線互連升級成為一條常閉環路饋線後，饋線沿線電流變化極為顯著，F#1 及F#2 饋線電流均大幅提升，而且F#2 饋線上各饋線段的電流全部反向，其中流經連絡饋線的電流，由母線 3 至母線 4，高達 266 A，該電流大小直接與兩關係主變壓器之負載量差成正比關係，因此，若兩互連饋線之主變壓器的負載量差達某一臨界值(以本章基本案例為例，主變壓器負載量差為 32 MVA；另外，若兩互連饋線長度縮小為原來的 20%，則主變壓器負載量差為 12.97 MVA) 時，該互連饋線即形同一條輸電線(transmission line)輸送大量複功率於兩台主變壓器二次側匯流排之間，此一現象可能導致兩互連饋線過載，應予以避免。然而，若兩台主變壓器之間所形成的常

閉環路饋線超過一條以上，則各環路可以較為平均的分攤兩關係主變壓器之負載量差，如此一來，可避免單一饋線負載過重的情形發生。除此之外，在 *Condition C* 的運轉情況下，各饋線段的電流大小與 *Condition B* 變化趨勢相似，然電流方向相反。

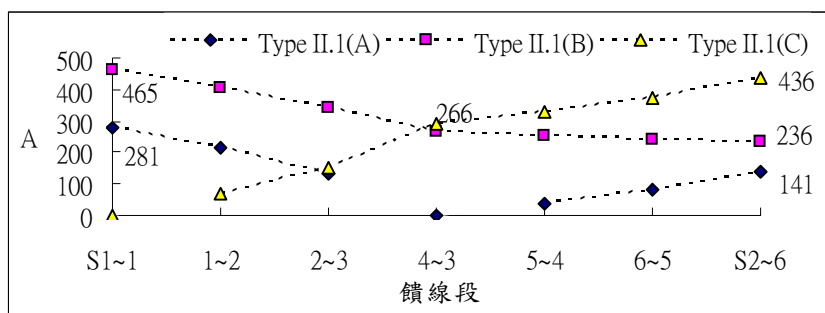


圖 4-10 F#1 及 F#2 饋線沿線電流分佈—Type II.1 型態

饋線沿線電壓分佈：圖 4-10 及 4-11 所示為兩互連饋線在不同運轉情況下之饋線沿線電壓及其電壓降變化情形，兩饋線互連後，F#1 饋線沿線電壓略為提升；而 F#2 饋線沿線電壓則為降低且幅度較為明顯。

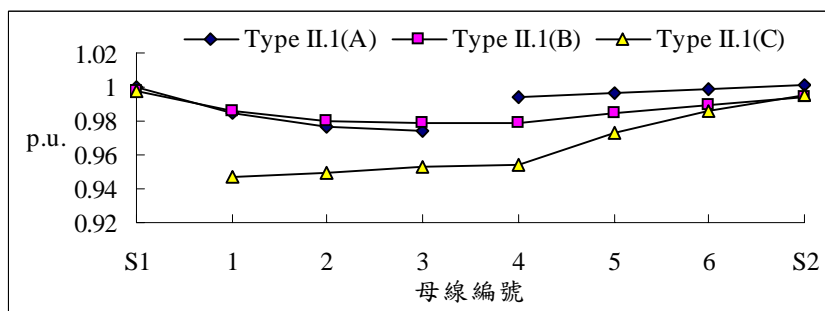


圖 4-11 F#1 及 F#2 饋線沿線電壓分佈—Type II.1 型態

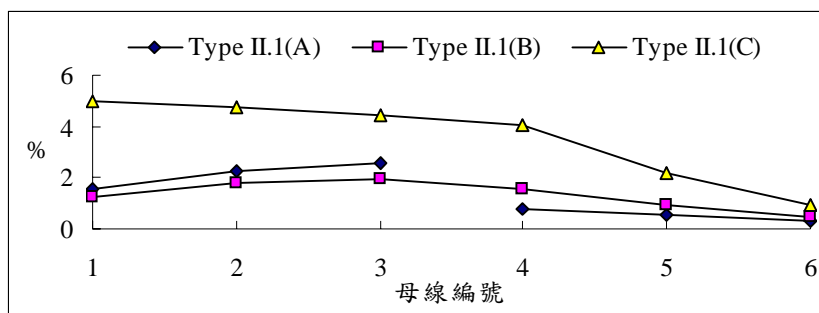


圖 4-12 F#1 及 F#2 饋線沿線電壓降—Type II.1 型態

### 4.3.3 Type II.2

Type II.2 常閉環路系統單線圖如圖 4-3 所示，此一型態與 Type II.1 之差異為兩關係主變壓器二次側匯流排透過聯絡斷路器以常閉方式互連，因此主變壓器特性差異對系統運轉特性之影響亦十分顯著，模擬時所假設之系統參數變化與 Type II.1 相同，其模擬分析結果分述如下：

主變壓器負載量：由於兩關係主變壓器係並聯運轉之故，使得  $M_{T1}$  及  $M_{T2}$  兩台主變壓器的負載量變化不大，如 Type I 所述，其微量的變化主要為系統總損失變化所造成，模擬結果如圖 4-13 所示。此外，兩關係主變壓器負載分配不均，乃肇因於阻抗值不同之故，原阻抗值相對較小的  $M_{T1}$  主變壓器分配到較多負載，因此，若欲得到較為理想的負載分配必須嚴格要求兩台主變壓器的特性，尤其是需特別注意主變壓器並聯運轉所衍生的環流等問題。

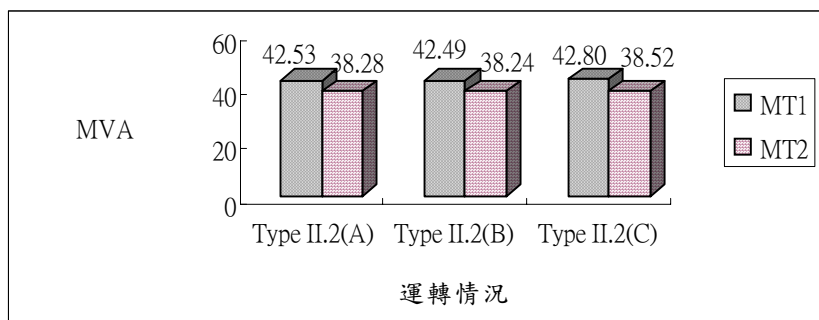


圖 4-13 主變壓器#1 及#2 負載量—Type II.2 型態



饋線沿線電流分佈：圖 4-14 所示為各饋線段電流在不同運轉情況下之模擬結果，由於兩關係主變壓器為並聯運轉之故，因此觀察圖中電流變化趨勢，可得知該饋線型態與Type I極為相似。但仍需注意在Condition C情況下導線安培容量是否足夠。

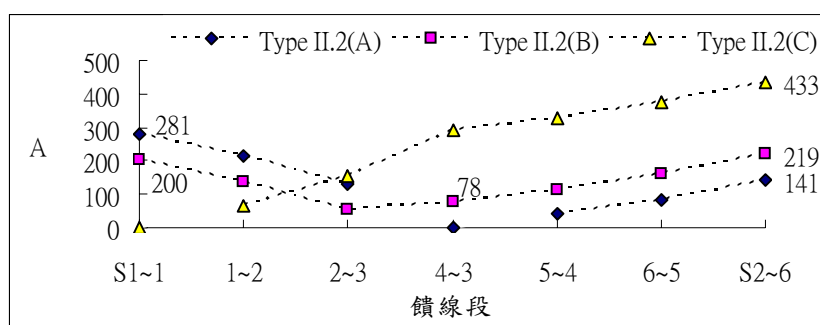


圖 4-14 F#1 及 F#2 饋線沿線電流分佈—Type II.2 型態

饋線沿線電壓分佈：兩互連饋線在不同運轉情況下之饋線沿線電壓及其電壓降的模擬結果如圖 4-15 及 4-16 所示，如前所述，不論在兩饋線互連後，或互連後發生饋線事故又開斷成幅射型之情況，饋線沿線電壓分佈與Type I均極為相似。

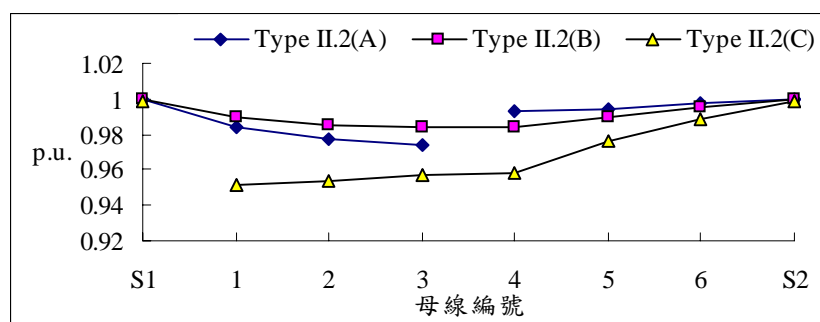


圖 4-15 F#1 及 F#2 饋線沿線電壓分佈—Type II.2 型態

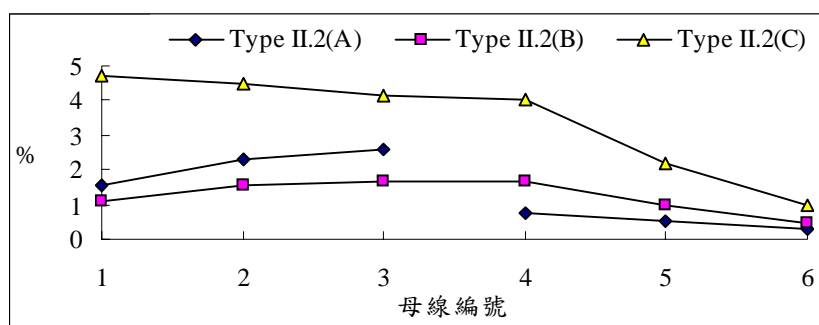


圖 4-16 F#1 及 F#2 饋線沿線電壓降—Type II.2 型態

### 4.3.4 Type III

圖 4-4 所示為 Type III 之系統單線圖，此一系統型態受兩關係變電所特性的影響甚大，如同對 Type II 模擬所做的假設條件般，主變壓器所屬饋線等效集總負載  $S_{LT1}$  與  $S_{LT3}$  分別為基本案例的 30% 及 110%，其模擬分析結果分述如下：

主變壓器負載量：在本節設定的系統條件下，模擬結果顯示兩關係主變壓器  $M_{T1}$  與  $M_{T3}$  的負載量變化情形，如圖 4-17 所示。就 Type III 之系統架構而言，由於系統運轉特性對於相關系統條件及運轉情況極為靈敏，包括兩關係主變壓器負載量差、配電變電所電壓階層差異，以及配電變電所一次側匯流排的短路容量差異等，因此，兩關係主變壓器的負載量變化可能因不同的案例而導致完全不同的結果，換句話說，其主變壓器的負載量變化範圍相較於前三種常閉環路型態更大。舉例說明，若兩關係變電所一次側的電壓階層一致，且兩台互連主變壓器的負載量差亦不大，則兩饋線互連升級為常閉環路後主變壓器的負載量變化並不顯著。然而，若兩關係變電所一次側的電壓階層不一致，例如：一側為 161 kV 而另外一側為 69 kV，即便兩關係主變壓器的負載量差很小，仍然可能使得兩台主變壓器的負載量產生極為顯著的變化，在此一案例下，該互連常閉環路饋線極有可能由其中一台主變壓器輸送大量複功率至另外一台主變壓器二次側匯流排，甚至或逆

送至一次側匯流排，這種現象在系統運轉上為不樂於見到的情況，應予避免；此外，兩關係主變壓器以及饋線之負載量及其負載量差亦主宰兩關係主變壓器的負載量變化，亦即，主變壓器負載量的變化直接正比於上述各項影響因素。是故，若兩關係變電所一次側電壓階層相同且主變壓器及饋線的負載也都相當平衡，則主變壓器的負載量變化將更小。以本論文所分析的系統為例，假設對四種不同的常閉環路型態給定相同的條件，則以Type II.1 的主變壓器負載量變化趨勢與Type III最相似，其差異為後者對兩關係主變壓器的負載量差以及二次側的電壓差的影響較為靈敏。

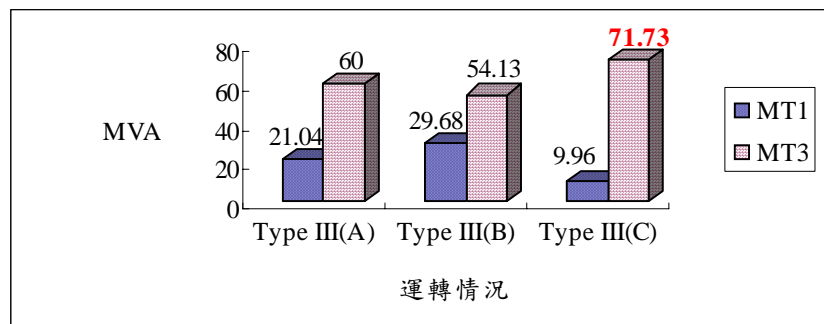


圖 4-17 主變壓器#1 及#2 負載量—Type III 型態

饋線沿線電流分佈：在此一系統條件下，各饋線段電流變化情形如圖 4-18 所示，相似地，饋線沿線電流可能因不同的案例而產生極大的變化，其原因與主變壓器負載量的變化情形相同，以本節分析時所給定的條件下，兩饋線互連後，F#1 及F#2 饋線電流增加的幅度極為顯著，而且F#2 饋線上各饋線段的電流均反向，其中流經連絡饋線的電流，即由母線 3 至母線 4 的電流，高達 281 A。此外，在Condition C的運轉情況下，各饋線段的電流大小與Condition B變化趨勢相似，但電流方向相反。

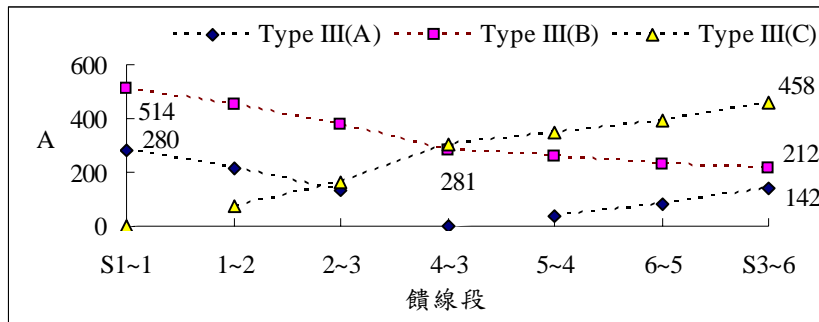


圖 4-18 F#1 及 F#2 饋線沿線電流分佈—Type III 型態

饋線沿線電壓分佈：圖 4-19 及 4-20 說明在此一系統條件下，饋線沿線電壓分佈及電壓降變化情形，如前所述，饋線沿線電壓可能因不同的案例而產生極大的變化，其原因與主變壓器負載量的變化情形相同。

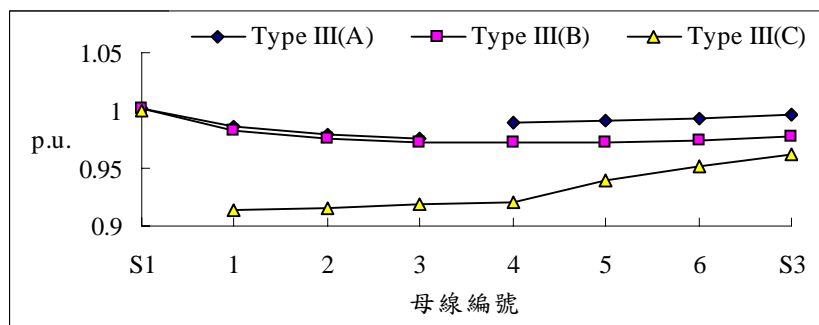


圖 4-19 F#1 及 F#2 饋線沿線電壓分佈—Type III 型態

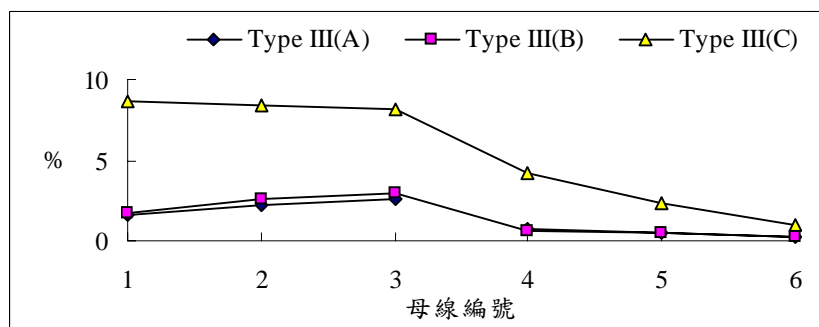


圖 4-20 F#1 及 F#2 饋線沿線電壓降—Type III 型態

## 4.4 綜合比較與分析

綜合歸納四種系統型態及三個不同運轉情況的模擬、分析結果如下：

- 依主變壓器的負載量變化情形由小到大排序，依序為 Type I 及 Type II.2 最小；其次為 Type II.1；最大者為 Type III。因此前兩種型態之主變壓器應無過載之虞；而後兩者則必須注意主變壓器發生過載的可能性極高。然而，若兩關係變壓器特性相當一致，則以 Type II.2 型態之兩台並聯主變壓器負載分配會更趨於一致，且其變化情形與 Type I 相近。此外，若兩關係變電所一次側電壓階層相同、短路容量差異較小，且主變壓器的阻抗值及其二次側電壓差極小，則 Type III 的變化情形與 Type II.1 極為相似。
- 饋線沿線電流的變化情形與主變壓器的負載量變化相似，若兩關係饋線負載量差愈小則變化量愈小；此外，饋線長度與負載的分佈亦為影響電流變化的關鍵因素，其中饋線長度差愈大則變化量愈小。因此，若兩互連饋線的長度愈接近，即便在負載量差較大的情況下，各饋線段電流重新分配，將使得饋線沿線電流分佈較為平均。然而，必須特別注意的是饋線事故發生在常閉環路饋線之重載側的饋電線前端時，另一側饋線是否有過載之虞。除此之外，就 Type II.1 及 Type III 型態而言，兩饋線互連後即有可能因傳送大量複功率於兩關係主變壓器之間而發生過載情形。
- 饋線沿線電壓的變化情形亦與主變壓器的負載量變化相似，除了 Type III 饋線沿線電壓平均值有些微的下降外；其餘各型態之饋線沿線各母線的電壓平均值有些微的提升現象。此

外，各常閉環路饋線在非常態運轉情況下，饋線末端電壓降均超過最大電壓降限制值。

歸納上述分析結果，可獲知饋線型態由放射型升級至不同型態之常閉環路時所受的影響因素並不完全相同，因此對系統運轉特性所造成之衝擊亦有異，是故，所需採取的因應方法自然有所差異。四種型態各有其優缺點與適用性，若能設計得宜，則可因應不同負載對供電可靠度的需求而提供適得其所的饋線型態；然而，欲得到供電可靠度更高的系統型態所需付出的成本與相關配套措施也愈多，因此，若僅針對饋線發生事故不會造成用戶停電為首要目標則以 Type I 為最佳的選擇，其原因為放射型饋線升級為 Type I 所受的影響因素最少且升級後對系統運轉特性的衝擊亦最少。

## 4.5 本章結論



本章以所設計之範例系統架構及運轉情況，在合理的範圍內改變系統條件，模擬饋線型態升級前後以及升級後在非常態運轉情況下因系統運轉特性產生變化，包括主變壓器的負載變化、饋線沿線的電壓及電流變化等，導致引發系統在規劃或運轉上的相關問題，而從事配電系統型態升級相關研究人員以及配電工程師不得不注意且必須克服這些問題。

此外，綜合本章的模擬、分析結果可充分的說明第二章所提之各項因素對配電饋線由放射型升級為常閉環路型的影響，以及系統型態改變對系統運轉特性所造成之衝擊與影響，以實際的數據進一步驗證本論文所提之四種不同常閉環路型態，在系統運轉特性上不盡相同之處，因此，饋線型態升級所需的相關配套措施自然有所差異，惟此一部分將於第七章中再作詳細的說明。



## 第五章 饋線型態升級對線路損失之影響分析

### 5.1 前言

電力系統的主要目的在於有效、經濟及安全地將電能由發電廠配送至用戶端，在整個系統的各项運轉指標中，運轉效率相當重要，效率愈高表示運轉效能愈佳，亦即在傳送電力的過程中損失愈小，如此一來，不但可降低系統運轉成本，亦可減少非必要之能源浪費。就電力系統的損失分佈而言，由於配電系統的電壓階層較輸電系統低且線路總長度亦較長，就台電而言，截至民國九十三年為止，其輸配電線路迴路總長度合計約為 311805 km，其中配電線路的迴路總長度為 296504 km，佔比 95.1%，而輸電線的迴路總長度 15301 km，佔比 4.9%，配電線路的迴路總長度約為輸電線的迴路總長度的 19.4 倍，因此在電力輸送的過程中配電系統的損耗佔有舉足輕重的份量，不容忽視，職是之故，若能有效降低配電系統之損失，將獲得不少的好處，例如：釋出輸電線容量、配電變電所容量、配電饋線容量以及降低能源損耗等，對整體系統運轉效率的提昇將有不小助益。然而，綜覽研究降低配電系統損失的相關文獻，主要方向大都偏重於以放射狀饋線為主的最佳化饋線重組(Feeder Reconfiguration)、開關決策、電力電容器的配置以及饋線不平衡程度的改善等研究[39-52]，鮮少論述系統型態對線路損失之影響；此外，綜觀對常閉環路配電系統相關研究文獻[53-60]可知，絕大部分僅著墨於型態升級對原系統所可能造成之衝擊、升級前後運轉特性分析以及升級為常閉環路後的系統保護協調方式等，偏重在可靠度的確保及執行的方式等之研究，亦並無相關配電饋線升級對線路損失影響之研究。是故，有鑑於線路損失為評估系統運轉效能的重要指標，因此本章將以第四章的研究成果為基礎，針對



饋線型態升級對線路損失之影響作深入的分析與探討。

## 5.2 問題描述

電力系統的損失主要是在電力傳輸至用戶的過程中，電流流經系統上各元件所造成之功率損耗，而消耗在這些元件(包括電力變壓器、輸配電線路以及相關設施等)的功率，將使系統運轉效率降低，迫使發電機必須提高發電量來供應相同的負載量需求，相對地也增加電力公司的營運成本，無形中亦造成能源的浪費，面對未來能源短缺日益嚴重的情況，無疑是雪上加霜，是故，如何提高系統運轉效率為一重要的課題。就配電系統而言，若能有效降低配電線路實功率損失(Active Power Losses)，則可對提升整體系統效率有所助益，因此有必要詳細地探究對此一問題。

根據第四章電力潮流的分析結果顯示，兩條放射型饋線互連升級為四種不同型態之常閉環路饋線，大致可歸納出饋線型態升級為 Type I 及 Type II.2 時具有降低功率損失的現象，其餘兩種型態 Type II.1 及 Type III 則可能導致功率損失更大，其主要原因為兩互連饋線的電流重新分配所造成，前者使得饋線電流分佈較為平均，線路功率損失因而得以改善；而後者可能因為傳送大量複功率於兩關係主變壓器之間造成饋線電流全面上升，使得線路損失更加惡化，其程度端視兩關係主變壓器的負載量差而定，其原因為負載量差愈大，將迫使兩關係主變壓器二次側匯流排電壓大小或/且相角差愈大，並以唯一僅有的一條常閉環路饋線為傳輸媒介傳送複功率於二者之間，此一現象在 Type III 型態中可能更為嚴重，因為兩關係變電所一次側引接來源不同的緣故可能導致主變壓器的電壓差異更大；然而，若能增加 Type II.1 及 Type III 兩種常閉環路型態之饋線環路數量，甚至兩關係主變壓器所

屬饋線全面互連形成常閉環路系統，避免常閉環路饋線必需額外兼具輸電線的功能輸送複功率於兩關係主變壓器之間，則亦將可使線路損失降低。基於上述理由，本章探討饋線型態升級對線路損失的影響，主要針對配電饋線升級的附帶效益—降低線路實功率損失進一步深入的探討與分析，由於分析的目標主要集中在配電饋線，而且假設兩互連饋線饋電點的電壓極小，因此兩饋線可視為饋供自同一匯流排。

基於以上的假設條件以及第四章的模擬結果，可得知常閉環路各線段的電流相較於放射型饋線分佈較為均勻，故可使二條放射型饋線在互連成常閉環路後，在常態運轉情況下其線路實功率損失較低；然而，其影響程度如何，則端視兩互連饋線及其負載的條件而定，此即本節後段的探討重點。由於影響二條饋線互連前後線路損失變化的因素錯綜複雜，因此掌握關鍵因素相當重要，首要之務在釐清各項因素之影響程度，如第二章所述，其影響因素包括二互連饋線之負載量差異、負載分佈情況、負載特性、長度以及導線尺寸等，以上所列舉之各項影響因素中，影響線路損失變化之主要因素為二饋線之負載量差異、分佈情況以及饋線長度，其餘因素次之；此外，上述影響因素可區分為二類，其一為固定因素，即導線長度、尺寸以及負載分佈，此一因素在系統建置完成時即已大致底定；其二為變動因素，如負載量大小以及負載特性等，此一部份即受到用戶隨機用電行為之影響，因此會影響兩饋線間的負載參差因數(Diversity Factor)。在充分瞭解各項影響因素後，三種典型的負載分佈型態被用以探討饋線型態改變與線路損失間之關係[30, 61]，圖 5-1 所示分別為負載呈線性遞增分佈、均勻分佈以及線性遞減分佈等三種型態之放射狀饋線，假設各饋線饋供之總負載量為 $S_t$ ，則匯入該饋線的總電流約為

$$I_t = \frac{S_t}{\sqrt{3} \cdot V_{L-L}} \quad (5-1)$$

則對於負載呈線性遞增分佈、均勻分佈以及線性遞減分佈之放射狀饋線，線路總實功率損失公式可分別表示如式(5-2)、(5-3)、(5-4)所示，其中 $L_t$ 為饋線總長度， $R$ 則為線路單位長度之串聯電阻值。

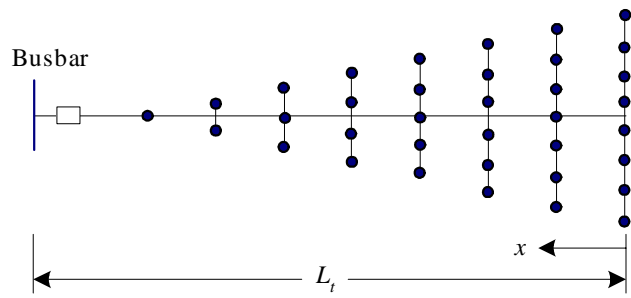
$$P_{Inc, Loss} = 3 \cdot \left[ \frac{8}{15} L_t \cdot R \cdot |I_t|^2 \right] \quad (5-2)$$

$$P_{Uni, Loss} = 3 \cdot \left[ \frac{1}{3} L_t \cdot R \cdot |I_t|^2 \right] \quad (5-3)$$

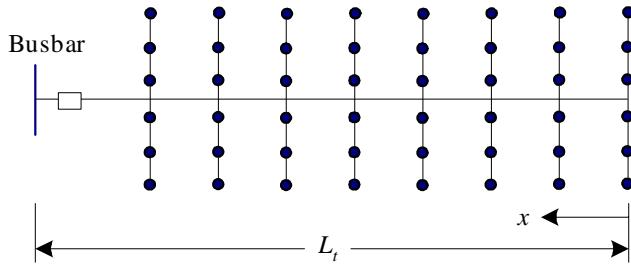
$$P_{Dec, Loss} = 3 \cdot \left[ \frac{1}{5} L_t \cdot R \cdot |I_t|^2 \right] \quad (5-4)$$

若假設線路總長度為 5 km、導線尺寸為 500 MCM 之電纜，饋線總電流範圍為 0 至 300A，可繪製出損失-負載曲線如圖 5-2 所示，圖 5-2 顯示三者之線路損失以負載呈線性遞增分佈型者最大，其次為均勻分佈者，最小者為線性遞減分佈，且負載愈重三者之損失差異愈大。相同地，若此三種典型負載之饋線互連形成如圖 5-3 所示之常閉環路，則在相同的線路長度、負載分佈以及負載量差異等條件下，線路總損失之比較結果與放射狀饋線之情況相似，此一結果可指引後續研究之方向。

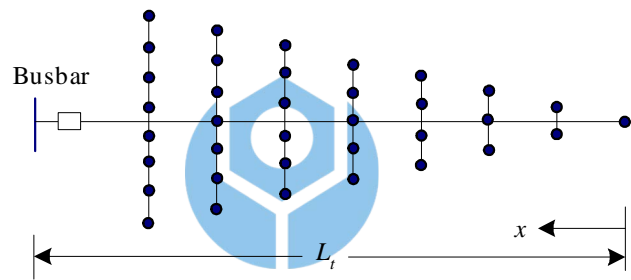
一般而言，實際饋線之負載呈隨機離散分佈，因此需要考慮的影響因素及其組合更為複雜，必須進一步藉由損失公式之推導以及各種臨界情況的模擬與分析，才能推論在不同情況下二饋線互連前後之線路損失變化情形，進而歸納出具體、有用之結論。以下各節將以線路損失公式的推導，配合範例系統模擬的結果，做更深入的分析與探討。



(a)



(b)



(c)

圖 5-1 放射型配電饋線負載呈(a)線性遞增分佈 (b)均勻分佈 (c)線性遞減分佈

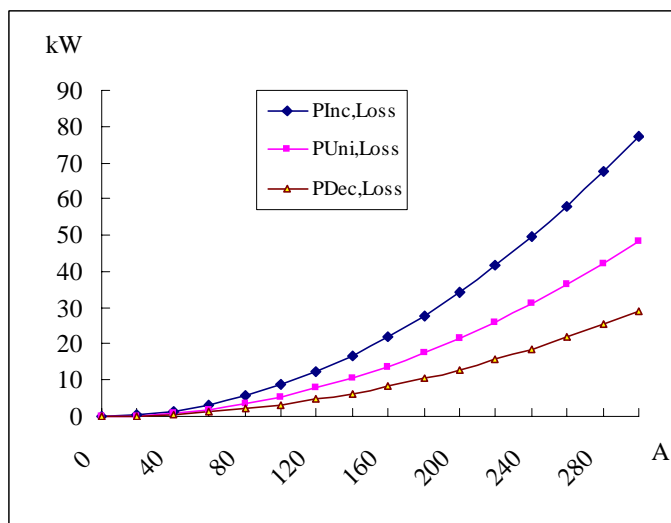
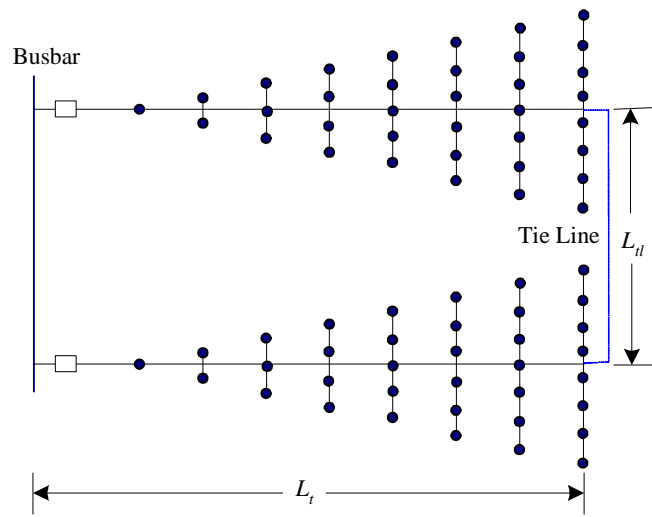
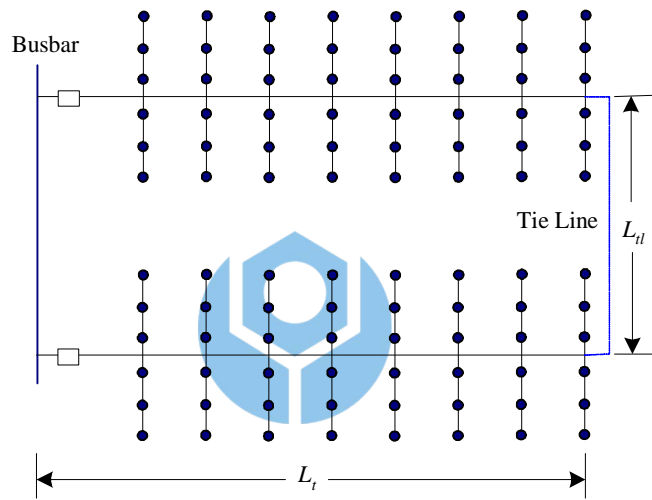


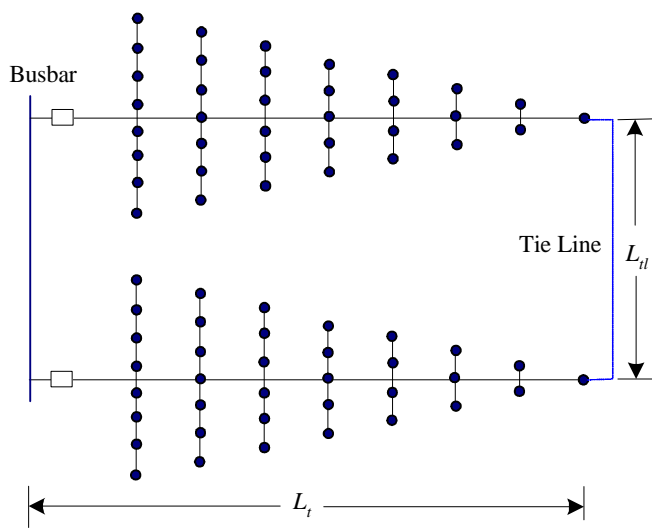
圖 5-2 三種典型負載分佈之放射型饋線線路損失比較



(a)



(b)



(c)

圖 5-3 常閉環路配電饋線負載呈(a)線性遞增分佈 (b)均勻分佈 (c)線性遞減分佈

### 5.3 線路損失關係式推導

就功率平衡的觀點而言，由配電變電所輸出的功率等於負載需求以及系統損失之和，因此，在相同的負載條件下，變電所饋入各饋線的功率與損失成正比關係，是故，二條放射狀饋線互連後，由於原負載較輕饋線各線段之電流會增加，而另一原負載較重饋線大部份線段之電流會減少，使得整個環路饋線電流分佈較為平均，因此線路損失會減少，減少量與流過連絡饋線之環流量以及原線路電流大小相關，本節將推導線路實功率損失與上述相關參數之關係式，並據以深入探討與分析。

如圖 5-4 所示， $m$  為 F#1 饋線之總母線數， $n$  為 F#2 饋線之總母線數，假設饋線上母線  $i$  的複功率需求為

$$S_{Li} = \sqrt{P_{Li}^2 + Q_{Li}^2} \angle \theta_i; \quad i = \{1, 2, \dots, m\} \in F \#1 \quad (5-5)$$

二條放射狀饋線互連前，F#1 饋線之線路總實功率損失可表示為

$$P_{F\#1, Loss} = 3 \cdot \left[ \sum_{i=1}^m |I_i|^2 \cdot R_i \right] \quad (5-6)$$

其中

$$I_i = \sum_{k=i}^m \frac{\sqrt{P_{Lk}^2 + Q_{Lk}^2} \angle -\theta_k}{|V_{rated}|} \quad (5-7)$$

將式(5-7)代入式(5-6)，則式(5-6)可改寫為

$$P_{F\#1, Loss} = 3 \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{k=i}^m \frac{P_{Lk}^2 + Q_{Lk}^2}{|V_{rated}|^2} \cdot R_i \quad (5-8)$$

且  $P_{LK}$ 、 $Q_{LK}$  及  $V_{rated}$  分別為各母線負載等效單相實功率、虛功率需求，以及額定相電壓，另外， $R_j$  為線路單位長度之電阻歐姆值 (ohms/km)。

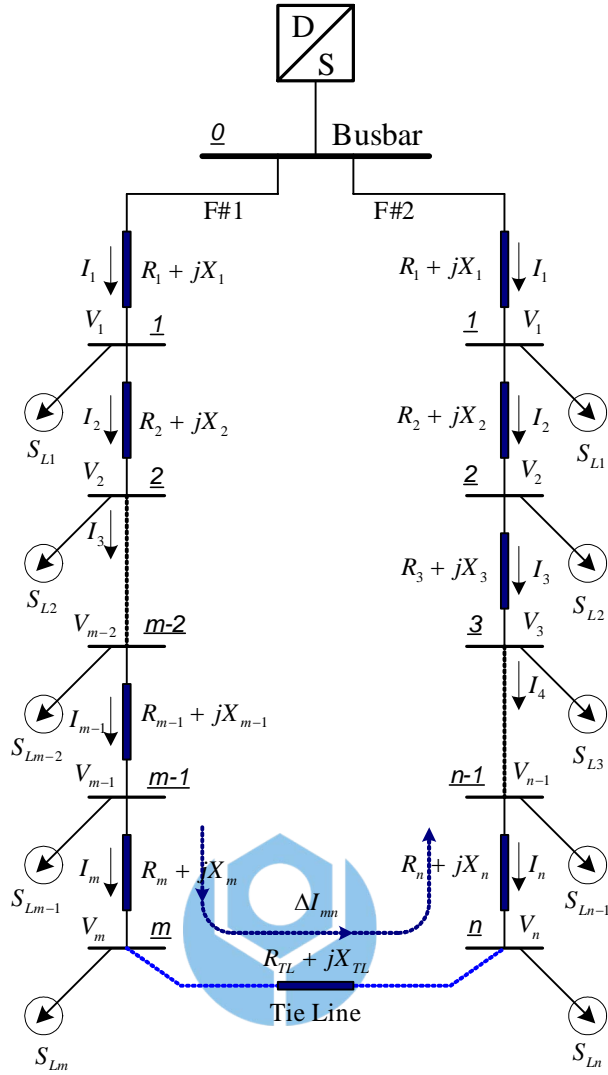


圖 5-4 配電饋線負載呈離散分佈型式

同理， $n$  為 F#2 饋線之總母線數，假設饋線上母線  $j$  的複功率需求為

$$S_{Lj} = \sqrt{P_{Lj}^2 + Q_{Lj}^2} \angle \theta_j; \quad j = \{1, 2, \dots, n\} \in F \#2 \quad (5-9)$$

互連前，F#2 饋線之線路總實功率損失亦可表示為

$$P_{F\#2, Loss} = 3 \cdot \left[ \sum_{j=1}^n |I_j|^2 \cdot R_j \right] \quad (5-10)$$

式(5-10)中

$$I_j = \sum_{k=j}^n \frac{\sqrt{P_{Lk}^2 + Q_{Lk}^2} \angle -\theta_k}{|V_{rated}|} \quad (5-11)$$



式(5-10)亦可改寫為

$$P_{F\#2, Loss} = 3 \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{k=j}^n \frac{P_{Lk}^2 + Q_{Lk}^2}{|V_{rated}|^2} \cdot R_j \quad (5-12)$$

因此，二條放射狀饋線互連前之線路總實功率損失為

$$P_{Loss} = P_{F\#1, Loss} + P_{F\#2, Loss} \quad (5-13)$$

二饋線互連後，由於線路結構改變，使電力潮流重新分配，利用重疊原理(Superposition Principle)，計算此時線路電流由原線路電流與流經連絡饋線電流 $\Delta I_{mn}$ 之和，其中 $\Delta I_{mn}$ 的流向視連絡饋線二端點的電位差而定，亦即由電位高往電位低處流，一般而言，此一電流方向係由較輕載饋線流向較重載饋線。假設，兩饋線互連前 F#1 饋線負載較 F#2 饋線負載輕，互連後 F#1 及 F#2 兩饋線各饋線段線路電流分別為

$$I'_i = I_i + \Delta I_{mn} \quad (5-14)$$

$$I'_j = I_j - \Delta I_{mn} \quad (5-15)$$

其中

$$\Delta I_{mn} = \frac{V_m - V_n}{R_{loop} + jX_{loop}} \quad (5-16)$$

式(5-16)中， $R_{loop}$ 及 $X_{loop}$ 分別為F#1、F#2 兩饋線以及聯絡饋線所構成之常閉環路饋線的線路總電阻值與總電抗值。

因此，F#1 及 F#2 兩饋線之線路損失分別變成為

$$P'_{F\#1, Loss} = 3 \cdot \left[ \sum_{i=1}^m |I_i + \Delta I_{mn}|^2 \cdot R_i \right] \quad (5-17)$$

$$P'_{F\#2, Loss} = 3 \cdot \left[ \sum_{j=1}^n |I_j - \Delta I_{mn}|^2 \cdot R_j \right] \quad (5-18)$$

此時，二條放射型饋線互連後之線路總實功率損失為

$$P'_{Loss} = P'_{F\#1, Loss} + P'_{F\#2, Loss} + P_{TL, Loss} \quad (5-19)$$

式(5-19)中， $P_{TL, Loss}$ 為電流流經連絡饋線所造成之實功率損失，如



式(5-20)所示

$$P_{TL, Loss} = 3 \cdot |\Delta I_{mn}|^2 \cdot R_{TL} \quad (5-20)$$

因此，互連前、後所造成之線路總實功率損失變化為

$$\Delta P_{Loss} = P'_{Loss} - P_{Loss} = \text{Re} \left\{ 3 \cdot \left[ \begin{aligned} & \sum_{i=1}^m (2I_i \cdot \Delta I_{mn} + |\Delta I_{mn}|^2) \cdot R_i \\ & + \sum_{j=1}^n (-2I_j \cdot \Delta I_{mn} + |\Delta I_{mn}|^2) \cdot R_j \\ & + |\Delta I_{mn}|^2 \cdot R_{TL} \end{aligned} \right] \right\} \quad (5-21)$$

其中， $\text{Re}\{\cdot\}$  代表取括弧內複數的實數部分(real part)。

重新改寫式(5-21)為

$$\Delta P_{Loss} = \text{Re} \left\{ 6 \cdot \Delta I_{mn} \cdot \left[ \sum_{i=1}^m I_i \cdot R_i - \sum_{j=1}^n I_j \cdot R_j \right] \right\} + 3 \cdot |\Delta I_{mn}|^2 \cdot R_{loop} \quad (5-22)$$

式(5-22)中，若  $\Delta P_{Loss}$  為正值表示兩饋線互連升級為 Type I 或 Type II.2 型態之常閉環路饋線後，線路實功率損失增加；反之，若為負值，則表示線路實功率損失降低。茲將三種可能的饋線負載量差情況說明如下：

1. F#1 饋線負載較 F#2 饋線負載輕：即本章在推導公式時的初始假設條件，由於 F#2 饋線的電流大於 F#1 饋線的電流，且

流經連絡饋線的電流亦較小之緣故，使得式(5-22)中  $\sum_{j=1}^n I_j \cdot R_j$

項主宰  $\Delta P_{Loss}$  為正值或負值，因此，由式(5-22)以及第四章的模擬結果可推論  $\Delta P_{Loss}$  為負值。

2. F#1 饋線負載較 F#2 饋線負載重：此一情況與前者所得之結論一致，其原因為流經連絡饋線的電流方向相反，使得

$\sum_{i=1}^m I_i \cdot R_i$  項為負值，且主宰  $\Delta P_{Loss}$  得正負號，因此，由式(5-22)

中亦可推論 $\Delta P_{Loss}$ 為負值。

3. F#1 及 F#2 兩饋線所有條件均相同：此為最特殊的情況，發生的機率極低，兩饋線的電流相同，已使得 $|\Delta I_{mn}|$ 為零，因此 $\Delta P_{Loss}$ 為零。

綜合而言， $\Delta P_{Loss} \leq 0$ ，表示互連後線路總實功率損失將減輕。

## 5.4 範例系統分析

### 5.4.1 範例系統及相關參數設定說明

實際的配電饋線受制於地理環境及供電區域的負載密度不同等因素的影響，使得各饋線在都會區、一般市區以及郊區的特性均不盡相同，但是大致上可將其歸納為兩大類，亦即都會區及市區屬於熱容量限制型饋線，即負載較重且饋線長度較短之高負載密度饋線，此一型式之饋線運轉瓶頸為線路過載的問題；另外，郊區及鄉村地區則屬於電壓降限制型饋線，即負載較輕且饋線長度較長之低負載密度饋線，其運轉瓶頸在電壓降。因此，為了確保模擬、分析結果能確實反映實際的系統特性，並且涵括所有可能情況，本章參考實際台電配電系統情況，並沿用相關參數設定，在線路電壓降低於法規規定之 3% 範圍內，以及饋線經常運轉電流不超過 300 A 的條件下，設計如圖 5-5 所示之範例系統以及表 5-1 所列之三個模擬分析案例，由於探討重點在饋線結構改變對線路損失之影響，因此分析的範圍係自變電所饋線引出處之匯流排開始至一次饋線及其所屬負載。

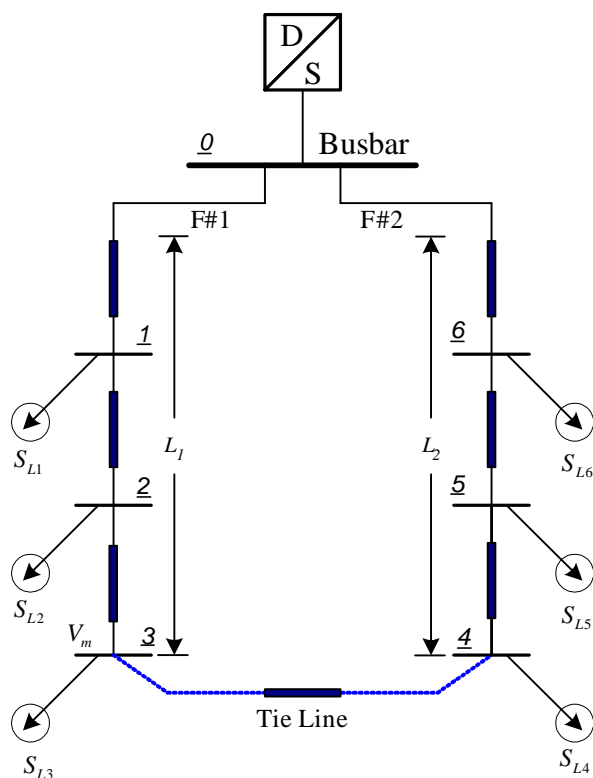


圖 5-5 範例系統單線圖

各模擬案例分別說明如下：

*Case#1*：二都會區放射型饋線互連形成常閉環路情形，即二互連饋線 F#1 及 F#2 皆屬於熱容量限制型饋線，其負載密度分別為 3.216 kVA/km 及 5.917 kVA/km。

*Case#2*：二郊區放射型饋線互連形成常閉環路情形，即二互連饋線 F#1 及 F#2 皆屬於電壓降限制型饋線，其負載密度分別為 0.361 kVA/km 及 0.715 kVA/km。

*Case#3*：一郊區及一都會區放射型饋線互連形成常閉環路情形，即二互連饋線 F#1 及 F#2 分屬於熱容量及電壓降限制型饋線，其負載密度分別為 0.361 kVA/km 及 5.917 kVA/km。

由於用戶用電行為並不一致，因此不同用戶類別的負載模型 (Load Pattern) 並不相同，導致各負載點甚或各饋線之合成負載曲線 (Load Curve) 亦不相同，因此兩條互連饋線用戶的用電參差行為亦是

兩條互饋線負載量差異的主要原因之一，為周延起見，每一案例均模擬三種臨界負載情況(condition)，列示如下：

Condition I：F#1 以及 F#2 饋線均處於尖峰負載情況。

Condition II：F#1 以及 F#2 饋線均處於離峰負載情況。

Condition III：F#1 饋線(較輕載饋線)在離峰負載情況，而 F#2 饋線(較重載饋線)則在尖峰負載情況，此為所模擬案例中兩饋線負載量差異最大之情況。

上述三種案例將於下一小節中進行模擬、分析，並詳細探討在尖峰及離峰負載情況下，二條饋線互連前後線路損失之變化程度。

表 5-1 模擬分析案例說明

案例 饋線		Case#1A/B	Case#2A/B	Case#3A/B
F#1	L <sub>1</sub>	1.6 km	8.1 km	8.1 km
	S <sub>L1</sub>	1333 kW +j826 kvar	762 kW +j472 kvar	762 kW +j472 kvar
	S <sub>L2</sub>	753 kW +j467 kvar	430 kW +j267 kvar	430 kW +j267 kvar
	S <sub>L3</sub>	2282 kW +j1414 kvar	1304 kW +j808 kvar	1304 kW +j808 kvar
Tie Line	L <sub>d1</sub>	0.457 km	0.457 km	0.457 km
F#2	L <sub>2</sub>	2.1 km	9.6 km	2.1 km
	S <sub>L6</sub>	1827 kW +j1132 kvar	1168 kW +j724 kvar	1827 kW +j1132 kvar
	S <sub>L5</sub>	4701 kW +j2914 kvar	2671 kW +j1655 kvar	4701 kW +j2914 kvar
	S <sub>L4</sub>	3544 kW +j296 kvar	2013 kW +j1247 kvar	3544 kW +j296 kvar
附註：1. 情況 A 表示二饋線互連前；情況 B 表示二饋線互連後，兩者負載情況設為相同，以資比較。 2. 所列各母線之等效負載均為尖峰負載量，離峰負載假設為尖峰負載量之 20%。				

## 5.4.2 模擬結果分析與探討

### Case#1：二互饋線皆屬於熱容量限制型饋線

二條均屬於都會區高負載密度型的放射狀饋線互連前後的模擬結果如表 5-2 所示，互連後，流經連絡饋線之電流皆由原負載較輕之 F#1 饋線往負載較重之 F#2 流動，即從母線 3 流到母線 4，在三種負載情況下，以 Condition III 改善幅度最大，若以輸入功率( $P_{in}$  及  $P'_{in}$ )為基準，線路實功率損失約降低 0.1445%；其次為 Condition I，約降低 0.0252%；最低者為 Condition II，約降低 0.0136%；又若以原互連前功率損失( $P_{Loss}$ )為基準，Condition III 改善幅度仍為最大，其線路實功率損失約降低 39%；其次為 Condition II，約降低 20%；最低者為 Condition I，約降低 17%，以上結果亦反應出流經連絡饋線之電流大小與損失改善息息相關。



### Case#2：二互饋線皆屬於電壓降限制型饋線

Case#2 的模擬結果如表 5-3 所示，由於二互饋線均屬於郊區低負載密度型式，因此互連後，流經連絡饋線之電流方向與 Case#1 相同，只是電流相對較小。在三種負載情況下，若以輸入功率( $P_{in}$  及  $P'_{in}$ )為基準，仍以 Condition III 改善幅度最大，線路實功率損失約降低 0.3351%，下降幅度為三個案例中最大者；其次為 Condition I，約降低 0.12%；最低者為 Condition II，約降低 0.0241%；又若以原互連前功率損失( $P_{Loss}$ )為基準，Condition III 改善幅度仍為最大，其線路實功率損失約降低 39%；Condition I 與 II，為約降低 16%。此一模擬結果若以若以輸入功率( $P_{in}$  及  $P'_{in}$ )為基準，均略高於 Case#1 之相對應情況，顯示郊區線路長度較長，即便負載普遍相較於都會區低，互連後雖然流經連絡饋線電流亦相對較小，但對於改善線路實功率損失的結

果則優於都會區饋線。

### **Case#3：二互連饋線分屬於熱容量及電壓降限制型饋線**

在都會區及郊區的交會地帶，有可能將兩種不同類型的饋線互連形成常閉環路，Case#3 即用以模擬此一情況，其結果如表 5-4 所示，由於二互連饋線分屬於低負載密度及高負載密度型式，因此互連後，在 Condition I 及 Condition II 情況下，流經連絡饋線之電流大小均很小，約為 3 A 及 1 A，其方向亦異於前二種案例，主要原因為 F#1 饋線長度較長，在互連後會使其末端負載就近改由 F#2 饋線供應，因此互連前後饋線電流變化很小，導致線路實功率損失幾乎不變；另外，在 Condition III 情況下，由於負載量差異較大，線路電流變化亦較前兩種負載情況高，因此對線路實功率損失有改善跡象，若以輸入功率 ( $P_{in}$  及  $P'_{in}$ ) 為基準約降低 0.041%。此模擬結果顯示此種互連方式對改善損失雖有作用但較不顯著。

## **5.5 本章結論**

綜合歸納本章針對所設計之範例系統，模擬三種案例在三種負載情況之線路實功率損失改善情形，若以輸入功率為基準，其綜合比較結果如圖 5-6 所示；此外，若以原互連前功率損失為基準，則其綜合比較結果如圖 5-7 所示。就饋線型態而言，以線路長度較長之郊區饋線改善幅度最高，且饋線負載參差愈大效果愈佳。綜合上述模擬分析結果，大致可歸納如下：

二互連饋線的負載量差異愈大且兩饋線之線路長度同時也愈長，互連形成常閉環路後對降低線路損失助益最大。此一結果顯示兩同屬郊區饋線互連形成常閉環路將可明顯改善線路實功率損失。



二互饋線的負載量差異即便很大；若兩饋線之線路長度差亦多，則互連形成常閉環路後線路損失變化將不大，亦即都會區及郊區饋線互連對改善線路損失雖有作用，但較不明顯。

本章研究結果顯示常閉環路不但能改善供電可靠度，而且也能降低線路損失，尤其是應用於郊區饋線時。因此，若累計整年度實功率損失的減少量，將更可凸顯其對降低配電系統功率損失之貢獻。

上述結論的基本假設條件為兩放射型饋線互連升級為常閉環路饋線後，若兩互連饋線不需額外傳送複功率於兩關係主變壓器之間，則配電饋線升級為 Type I 及 Type II.2 兩種饋線型態對線路損失有具體改善的現象；然而，對於 Type II.1 及 Type III 則必須視情況而定。

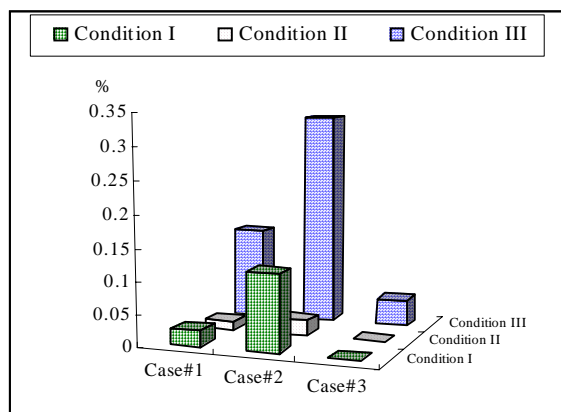


圖 5-6 三種案例在三種負載情況下對降低線路實功率損失之效果比較—以輸入功率為基準

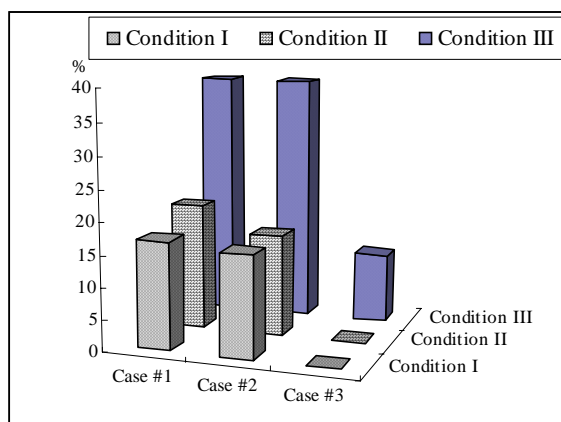


圖 5-7 三種案例在三種負載情況下對降低線路實功率損失之效果比較—以原互連前功率損失為基準

表 5-2 Case#1 模擬結果

損失		情況	Condition I	Condition II	Condition III
Case#1A	$P_{F\#1, Loss}$		5.8 kW	0.3 kW	0.3 kW
	$P_{F\#2, Loss}$		41 kW	1.7 kW	41 kW
	$P_{Loss}$		46.8 kW	2 kW	41.3 kW
	$P_{in}$		16392 kW	2931 kW	11107 kW
	$(P_{Loss}/P_{in}) \times 100\%$		<b>0.2855%</b>	<b>0.0682%</b>	<b>0.3718%</b>
Case#1B	$P'_{F\#1, Loss}$		17.3 kW	0.7 kW	8.8 kW
	$P'_{F\#2, Loss}$		20.7 kW	0.9 kW	14.7 kW
	$P'_{TL, Loss}$		+0.9 kW	+0 kW	+1.8 kW
	$P'_{Loss}$		38.9 kW	1.6 kW	25.3 kW
	$P'_{in}$		14605 kW	2931 kW	11133 kW
	$(P'_{Loss}/P'_{in}) \times 100\%$		<b>0.2603%</b>	<b>0.0546%</b>	<b>0.2273%</b>
$\Delta P_{F\#1, Loss} = P'_{F\#1, Loss} - P_{F\#1, Loss}$			+11.5 kW	+0.4 kW	+8.5 kW
$\Delta P_{F\#2, Loss} = P'_{F\#2, Loss} - P_{F\#2, Loss}$			-20.3 kW	-0.8 kW	-26.3 kW
$\Delta P_{Loss} = P'_{Loss} - P_{Loss}$			-7.9 kW	-0.4 kW	-16 kW
$(\Delta P_{Loss}/P_{Loss}) \times 100\%$			-17%	-20%	-39%
$\left[ (P'_{Loss}/P'_{in}) - (P_{Loss}/P_{in}) \right] \times 100\%$			<b>-0.0252%</b>	<b>-0.0136%</b>	<b>-0.1445%</b>

表 5-3 Case#2 模擬結果

損失		情況	Condition I	Condition II	Condition III
Case#1A	$P_{F\#1, Loss}$		8 kW	0.3 kW	0.3 kW
	$P_{F\#2, Loss}$		52.9 kW	2.2 kW	52.9 kW
	$P_{Loss}$		60.9 kW	2.5 kW	53.2 kW
	$P_{in}$		8246 kW	1665 kW	6262 kW
	$(P_{Loss}/P_{in}) \times 100\%$		<b>0.7385%</b>	<b>0.1502%</b>	<b>0.8496%</b>
Case#1B	$P'_{F\#1, Loss}$		23.8 kW	1 kW	13.2 kW
	$P'_{F\#2, Loss}$		27.1 kW	1.1 kW	18.7 kW
	$P'_{TL, Loss}$		+0.2 kW	+0 kW	+0.5 kW
	$P'_{Loss}$		51.1 kW	2.1 kW	32.4 kW
	$P'_{in}$		8262 kW	1666 kW	6297 kW
	$(P'_{Loss}/P'_{in}) \times 100\%$		<b>0.6185%</b>	<b>0.1261%</b>	<b>0.5145%</b>
$\Delta P_{F\#1, Loss} = P'_{F\#1, Loss} - P_{F\#1, Loss}$			+15.8 kW	+0.7 kW	+12.9 kW
$\Delta P_{F\#2, Loss} = P'_{F\#2, Loss} - P_{F\#2, Loss}$			-25.8 kW	-1.1 kW	-34.2 kW
$\Delta P_{Loss} = P'_{Loss} - P_{Loss}$			-9.8 kW	-0.4 kW	-20.8 kW
$(\Delta P_{Loss}/P_{Loss}) \times 100\%$			-16%	-16%	-39%
$[(P'_{Loss}/P'_{in}) - (P_{Loss}/P_{in})] \times 100\%$			<b>-0.12%</b>	<b>-0.0241%</b>	<b>-0.3351%</b>

表 5-4 Case#3 模擬結果

損失		情況	Condition I	Condition II	Condition III
Case#1A	$P_{F\#1, Loss}$		11.1 kW	0.5 kW	0.5 kW
	$P_{F\#2, Loss}$		41 kW	1.7 kW	41 kW
	$P_{Loss}$		52.1 kW	2.2 kW	41.5 kW
	$P_{in}$		13051 kW	2624 kW	10800 kW
	$(P_{Loss}/P_{in}) \times 100\%$		<b>0.3992%</b>	<b>0.0838%</b>	<b>0.3843%</b>
Case#1B	$P'_{F\#1, Loss}$		10.1 kW	0.4 kW	6.2 kW
	$P'_{F\#2, Loss}$		42 kW	1.8 kW	30.7 kW
	$P'_{TL, Loss}$		+0 kW	+0 kW	+0.2 kW
	$P'_{Loss}$		52.1 kW	2.2 kW	37.1 kW
	$P'_{in}$		13051 kW	2624 kW	10807 kW
	$(P'_{Loss}/P'_{in}) \times 100\%$		<b>0.3992%</b>	<b>0.0838%</b>	<b>0.3433%</b>
$\Delta P_{F\#1, Loss} = P'_{F\#1, Loss} - P_{F\#1, Loss}$			-1 kW	-0.1 kW	+5.7 kW
$\Delta P_{F\#2, Loss} = P'_{F\#2, Loss} - P_{F\#2, Loss}$			+1 kW	+0.1 kW	-10.3 kW
$\Delta P_{Loss} = P'_{Loss} - P_{Loss}$			0 kW	0 kW	-4.4 kW
$(\Delta P_{Loss}/P_{Loss}) \times 100\%$			0%	0%	-11%
$[(P'_{Loss}/P'_{in}) - (P_{Loss}/P_{in})] \times 100\%$			0%	0%	-0.041%

# 第六章 含負載轉供機制之常閉環路系統架構及其運轉方式之探討與分析

## 6.1 前言

典型的常閉環路系統在架構上主要可區分為兩大部分，其一為常閉環路饋線本身；其二為常閉環路饋線間之相互支援之負載轉供機制，此兩部分構成完整的典型常閉環路系統架構，因此欲完整的洞悉常閉環路系統的運轉方式及其特性，必須對其整體系統架構有所瞭解。本論文前四章已經深入的探討、分析影響配電饋線升級的因素及其升級後對饋線沿線短路容量、系統運轉特性以及線路損失所造成的影響與衝擊，並分別於各章中具體呈現模擬、分析的結果。此一部分的探討奠定了爾後研擬配電饋線升級相關配套措施重要且不可或缺理論基礎，然其分析僅針對常閉環路饋線本身，若能深入的探究完整的典型常閉環路系統型態及其運轉方式，將有助於釐清各種常閉環路系統型態的運轉方式及其特性，亦提供不同供電區域面對配電饋線升級所應採行的型態有更多的選擇，同時，也使得配電饋線升級之研究更臻完善。是故，在考慮盡量維持電力公司既有配電變電所原始設計、系統架構對稱、負載平衡以及發生單一偶發事故(single contingency)時負載能全額轉供等條件限制下，本章依序探討、分析四種含有負載轉供機制之常閉環路系統較為可行之架構、主變壓器及饋線在常態運轉情況下之最高利用因數及其運轉操作方式，最後綜合分析比較其供電可靠度及其適用區域。

## 6.2 系統規劃的考量因素與原則

配電系統的規劃與設計除了安全性與可靠度的基本考量外，尚須兼顧現階段工程技術的可行性與整體成本的經濟性，方能以最佳的方式擴建或更新配電系統，並確保能滿足電力負載成長的需求。就配電工程的基本設計考量而言，系統的可靠度(reliability)、經濟性(economics)、彈性(flexibility)、系統品質(system quality)、運轉與維修(operation and maintenance)以及未來的擴充(future expansion)等因素皆需納入[62]；除此之外，嚴謹的負載調查(load survey)與預測(load forecasting)，更是系統規劃的首要工作；其次，系統型態與電壓準位的選擇亦具關鍵性，但此一問題必需以全公司做整體性之考量，方能擬定適切而長期性的準則，供全公司所有規劃、設計者依循。另外，負載與系統的特性分析、主要設備規格的選定是否均符合相關標準之規範亦為不可或缺的重要工作項目之一。基於上述規劃原則與設計上的考量可知，影響規劃、設計的因素繁多，並且盤根錯節，因此，為簡化規劃、設計過程，常會將配電系統區分為三個主要部分，即配電變電所、配電饋線以及二次配電線路，以資分層規劃、設計[21]。本論文主要著墨於既有放射型饋線升級為常閉環路型之研究，在規劃、設計上的考量以升級後對原系統及其用戶所造成之影響與衝擊最小為原則，因此，基本上除了饋線型態以及相關必要的保護設備與保護協調方式等必需改變以外；其餘部份以繼續沿用為原則。是故，在規劃含負載轉供機制之典型常閉環路系統架構時所考量因素與原則如下：

- 配電變電所一、二次側之匯流排維持原來架構；
- 配電變電所內主變壓器數量與主饋線引出數維持原來設計；
- 主變壓器額定以及導線線徑採原來規格；
- 主變壓器及饋線足以因應系統發生任一單一偶發事故情況下

之負載全額轉供；

- 盡可能選定特性最接近之兩放射型饋線互連形成常閉環路，若必要時往上追溯其主變壓器特性，甚至或配電變電所特性差愈小愈好；
- 盡可能不更換原系統及用戶的開關設備啟斷容量；

基於上述理由，本章以台電都會區之配電變電所(distribution substation, D/S)原設計為基礎，參考台北市營業區處某變電所的配置方式，維持原主變壓器一、二次側採分段匯流排架構、主變壓器配置三台(未來可能擴充為四台)且額定容量均為 60 MVA，以及每一台主變壓器引出六條或八條主饋線並採用 500 MCM 地下電纜其安培容量為 600A 等條件，再加上考慮系統維護、運轉操作簡單與實施可行性最高等原則下，大方向地規劃含負載轉供機制在內之典型常閉環路系統架構、運轉方式以及主變壓器和饋線在各種單一偶發事故情況下均能運轉無虞之最高負載量及其利用因數，至於細部的設計過程與考量不在本論文的探討範圍內。以下各節將依上述原則詳細探討、分析之。

### 6.3 Type I 之系統架構及其運轉方式

本節主要在探討典型 Type I 常閉環路系統架構，首先，廣泛地探討此一型態可能形成之三種系統架構，並且在分析、比較其優缺點之後，擇一最可行的系統架構，最後，在該系統架構以及既有系統設備規格條件下，研擬主變壓器與饋線在常態運轉情況下之最高利用因數，以及系統運轉方式。



### 6.3.1 系統架構

在排除各變電所間之實際地理位置及饋線的分佈限制條件外，大致而言，典型常閉環路系統架構的決定取決於系統可靠度、主變壓器額定容量、饋線安培容量及線路電壓降等限制。綜合這些考量因素可歸納出以下三種可行的系統架構：

架構一：圖 6-1 所示為 Type I 常閉環路系統的可行架構之一，兩關係變電所各一主變壓器所饋供之常閉環路饋線均經由一連絡饋線以連絡斷路器兩兩常開互連。此一系統結構不論是變電所上游輸電迴路、主變壓器一二次側匯流排或是主變壓器發生單一偶發事故時，與事故互連之健全變電所及主變壓器必須有能力負擔該事故主變壓器之所有負載，此一設計考量主要在求系統可靠度之提高，因此變電所、主變壓器及饋線等均需具備偶發事故負載轉供的能力，一般而言，在此一結構下主變壓器經常負載量最高只能為其額定容量的 50%，而饋線最高負載電流亦只能為其安培容量的 50%，由此可知，此系統架構在常態運轉情況下主變壓器及饋線的利用因數均不高，為本節所列三種可行架構中之最低者，且其可靠度亦為三者中之最低者。

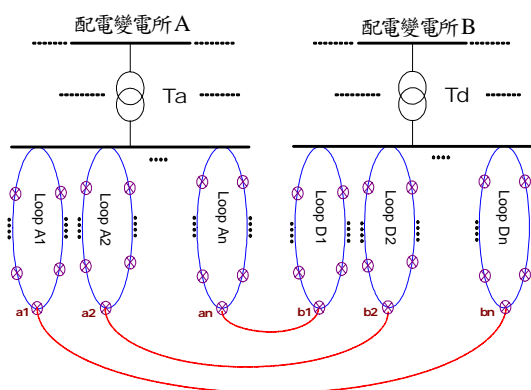


圖 6-1 典型 Type I 常閉環路互連架構一

架構二：如圖 6-2 所示，某變電所之一台主變壓器所饋供之各常

閉環路饋線分別與另一變電所不同主變壓器所饋供之常閉環路饋線以連絡斷路器兩兩常開互連。在此一架構下，若考量右側變電所因故停電時之負載轉供，則左側變電所、主變壓器及饋線之經常最高負載量與架構一相同；但若僅考慮左側變電所或右側變電所中之一主變壓器因故停電時，則兩互連閉環路型饋線所屬主變壓器僅需額外負擔一常閉環路饋線之負載量，若以一台主變壓器饋供 $n$ 個常閉環路饋線而言，主變壓器最高允許負載量為其額定容量的 $n/(n+1)$ ，而饋線的最高負載量則仍為其額定安培容量的 50%，因之，若僅考慮主變壓器事故時需全額負載轉供，則此一架構之主變壓器在常態運轉時之利用因數較架構一高。

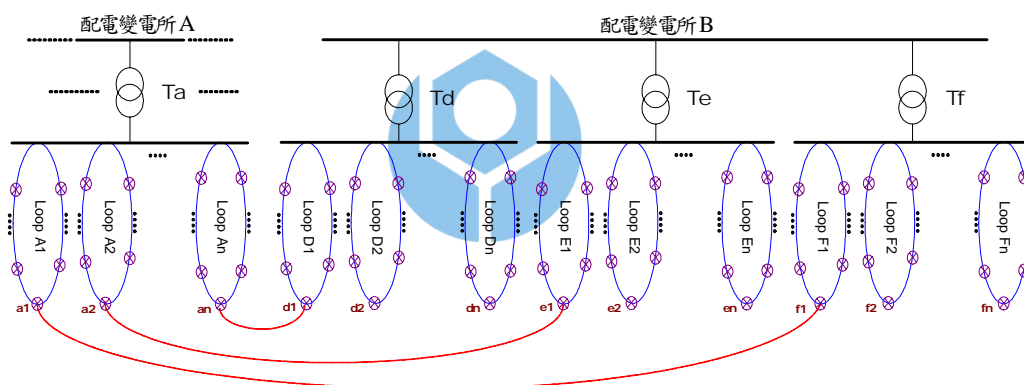


圖 6-2 典型 Type I 常閉環路互連架構二

架構三：如圖 6-3 所示，由某變電所同一台主變壓器所饋供之所有常閉環路饋線均與不同變電所不同主變壓器所饋供之常閉環路連絡斷路器常開互連。此一系統架構必須在負載密度高、變電所數量較多的區域內方有可能，實施條件較苛，困難度亦較高；但其系統可靠度為三者中之最高者。因為在此一系統架構下，不論是變電所或是主變壓器因故停電，所有與其互連轉供之主變壓器僅需額外負擔一個常閉環路之負載量，因此在前述兩種故障情況下，主變壓器及饋線在常態

運轉時之最高負載量均同，明顯優於架構二，此一結論僅在主變壓器因故停電時方可如此。

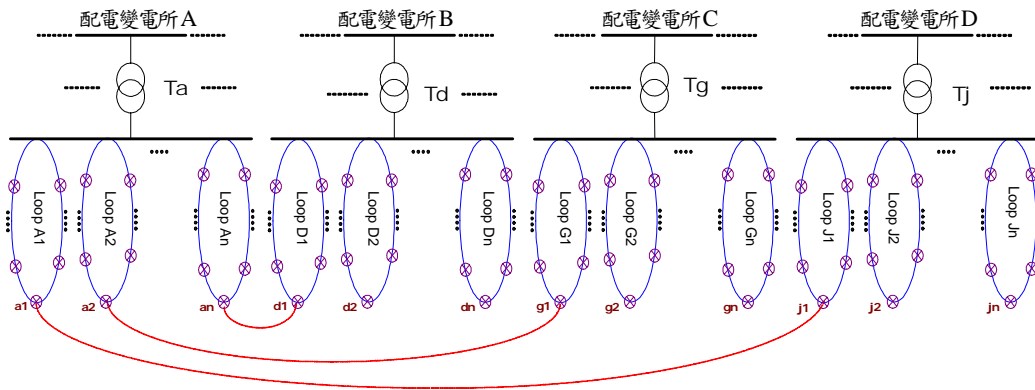


圖 6-3 典型 Type I 常閉環路互連架構三

上述三種可行的典型常閉環路系統架構不論在系統可靠度或是主變壓器及饋線常態運轉最高允許負載量上皆有不同，茲綜合歸納列於表 6-1，其中主變壓器及饋線的規格選定除需視規劃最高負載而定外，亦受公司的政策及原系統主變壓器及饋線的規格影響。在所列舉的三種典型 Type I 常閉環路系統架構中，以架構二的可行性較高，主要原因為可靠度明顯優於架構一，但僅略低於架構三，而實施的條件則與架構一同，但遠低於架構三，雖然架構三的可靠度及電氣性能均可能為三者中之最佳者；但需有負載密度高及變電所密度高為要件。

圖 6-4 所示為本論文依照架構二所設計之典型雙變電所互連之 Type I 常閉環路系統架構。該系統係由二座 161/22.8 kV 之 A、B 配電變電所所組成，每一變電所皆以兩迴路方式分別自輸電系統饋供至主變一次側之分段匯流排且兩匯流排之間使用空斷開關(Air Break Switch, ABS)以常閉方式連絡，兩匯流排分別配置二台及一台主變壓器，共引出 9 條常閉環路饋線，並區分為兩大部分，其一為常閉環路饋線本身，例如：主環路‘Loop A1’，且每一環路各 22.8 /0.22 kV 之配電站具

有兩個饋電點，例如：配電站‘a1’，因此，主饋線故障不會造成該饋線任何用戶停電；其二為常閉環路饋線相互支援機制，每一環路透過連絡饋線及連絡斷路器以常開方式互連，例如：配電站‘a2’與‘d2’透過連絡饋線連接 A、B 兩配電變電所之間的常閉環路饋線，一旦主變壓器、變電所匯流排或變電所上游輸電迴路事故，可閉合連絡開關進行變電所外負載轉供，是故，此一機制有效提高系統整體供電可靠度。上述兩大部分構成完整的典型常閉環路系統架構。

表 6-1 三種典型 Type I 常閉環路系統架構之綜合比較

項目 系統架構	相對系統可靠度	主變壓器常態運轉 最高允許負載量		饋線常態運轉 最高允許負載量		互連變電所數量	可行性
		變電所因故停電	主變壓器因故停電	變電所因故停電	主變壓器因故停電		
		架構一	低	$S_{rated} \times \frac{1}{2}$	$S_{rated} \times \frac{1}{2}$		
架構二	中	$S_{rated} \times \frac{1}{2}$	$S_{rated} \times \frac{n}{n+1}$	$I_{rated} \times \frac{1}{2}$	$I_{rated} \times \frac{1}{2}$	2	高
架構三	高	$S_{rated} \times \frac{n}{n+1}$	$S_{rated} \times \frac{n}{n+1}$	$I_{rated} \times \frac{1}{2}$	$I_{rated} \times \frac{1}{2}$	n	低

註： $S_{rated}$  為主變壓器額定伏安功率，而  $n$  為同一主變壓器之下的常閉環路數，且  $I_{rated}$  則為饋線額定安培容量。

此外，典型 Type I 常閉環路系統架構二在考慮變電所及主變壓器因故停電時可全額負載轉供無停電之虞的情形下之主變壓器及饋線的總負載量，綜合列於表 6-2。由表中數據可知，若要求變電所因故停電時不會有任何負載因此而停電的高系統可靠度需求時，則不論是三環路或四環路的常閉環路系統其主變壓器在常態運轉情況下之利用因數最高皆為 50%，而饋線最高利用因數對三環路而言為 21%，對四環路而言為 16%；然若僅要求主變壓器因故停電時不會有任何負載因此而停電的情況，則就主變壓器最高利用因數而言，三環路之系統為

75%，四環路之系統為 80%，而饋線最高利用因數對三環路而言為 32%，對四環路而言為 25%。上述各饋線之利用因數為理想情況下之結論，亦即各常閉環路饋線常開互連配電站皆位於饋線負載中心位置，使得常閉環路兩饋電側可平均分擔另一環路總負載；否則將導致兩饋電側的負載分佈不均，甚至過度集中於某一饋線側，此一情況應盡量避免。

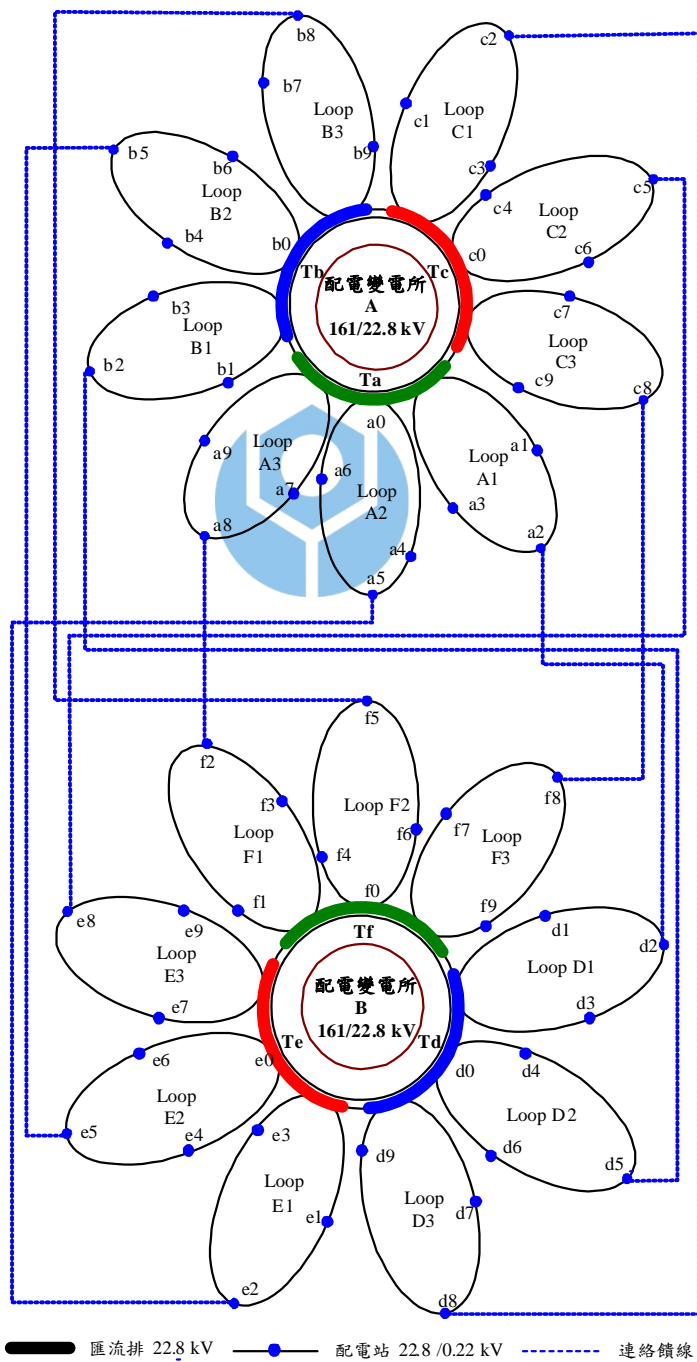


圖 6-4 雙變電所 Type I 常閉環路系統架構



表 6-2 典型雙變電所互連之 Type I 常閉環路系統在考慮因事故轉供時在不超載情況下之主變壓器及饋線的常態運轉最高負載量及利用因數

環路數 \ 負載量		主變壓器		饋線	
		負載量	利用因數	電流	利用因數
三環路	變電所因故 停電	30 MVA	50 %	125 A	21 %
	主變壓器因 故停電	45 MVA	75 %	190 A	32 %
四環路	變電所因故 停電	30 MVA	50 %	95 A	16 %
	主變壓器因 故停電	48 MVA	80 %	150 A	25 %

### 6.3.2 運轉方式

如圖 6-5 所示為典型 Type I 常閉環路系統故障保護區示意圖，系統運轉方式依運轉狀況區分為常態及非常態兩種情況。在常態運轉情況下，各環路為常閉狀態，僅連絡兩環路之聯絡開關保持常開狀態，此時線路電流自然呈最佳分佈，各饋線段電流分佈較放射型饋線均勻，因此饋線的利用因數亦較高。在非常態運轉情況下，一旦發生故障且被偵測後，保護區內責任斷路器開啟隔離故障區域，本論文將偶發事故區分為輸電迴路、匯流排、主變壓器、饋線、配電變壓器及分歧線等故障情況，各種事故所對應之運轉操作方式說明如表 6-3 所示，其中輸電迴路事故、主變壓器事故、主變壓器一次與二次側匯流排事故，均造成所屬用戶短暫停電，藉由負載轉供後，可暫時恢復供電，例如：主變壓器二次側匯流排發生故障隔離後，連絡兩環路之常開開關‘a2’及‘d2’閉合將負載轉供至另一健全環路；另外，配電站匯流排事故及分歧線事故，則會使得部分用戶處於停電狀況，此一部分的改善之道可透過分歧線之間的常開互連方式進行小區域負載轉供，暫時復電；僅饋線事故不造成用戶停電，此一特色乃常閉環路饋線之

設計重點。上述之運轉方式皆假設各開關設備及保護協調均能正常動作，順利隔離故障區域。

表 6-3 各種偶發事故對應之運轉方式

事件	運轉方式說明
輸電迴路事故	<p>若為單迴路供電則輸電迴路保護區內責任斷路器開啟，造成配電變電所所屬用戶全數停電，可藉由閉合饋線連絡斷路器透過連絡饋線進行變電所外負載轉供方式，暫時恢復供電。反之，若為雙迴路供電則可透過 ATS 自動切換到健全迴路，維持正常供電。大部分台電系統屬於後者。</p>
主變壓器事故	<p>變壓器保護區內兩端責任斷路器開啟，隔離故障主變壓器，選該主變壓器所屬饋線之用戶全部停電，可藉由兩種方式進行負載轉供暫時復電：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 透過主變壓器二次側匯流排之間的連絡斷路器進行變電所內轉供；</li> <li>• 經由連絡開關透過連絡饋線進行變電所外轉供，但在轉供前需開啟兩饋線端於變電所出口處之斷路器，以放射狀由另一常閉環路轉供。</li> </ul>
匯流排事故	<p>依匯流排配置之位置，將事故分為以下三種：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 主變壓器一次側匯流排事故，保護區內若該匯流排結構為單匯流排式，則責任斷路器開啟，該變電所所屬用戶全部停電，此一情況的運轉操作方式與該匯流排上游輸電迴路故障相同。惟若該匯流排結構非採單匯流排式，如台電採用的雙匯流排式或 1½ 匯流排式，則可透過開關切換，而無停電之虞。</li> <li>• 主變壓器二次側匯流排故障，若該匯流排結構為單匯流排式，則保護區內兩端責任斷路器開啟，該匯流排所屬用戶停電，必須藉由連絡開關透過連絡饋線進行變電所外轉供，暫時復電。惟若該匯流排結構非採單匯流排式，如台電採用的分段式匯流排式或環式匯流排，則可透過開關切換，而無停電之虞。</li> <li>• 配電站之匯流排事故，亦即配電站內配電變壓器一、二次側匯流排事故，保護區內四路斷路器全部開啟，該配電站所屬用戶停電。</li> </ul>
饋線事故	<p>故障饋線段保護區內兩責任斷路器開啟，原常閉環路饋線暫時以兩條長度可能不同的放射型饋線運轉，仍能持續供電，用戶得不受饋線事故影響，正常用電。</p>
分岐線事故 (含配電變壓器事故)	<p>分岐線(配電變壓器)保護區內斷路器開啟，該分岐線(配電變壓器)下游用戶停電。</p>



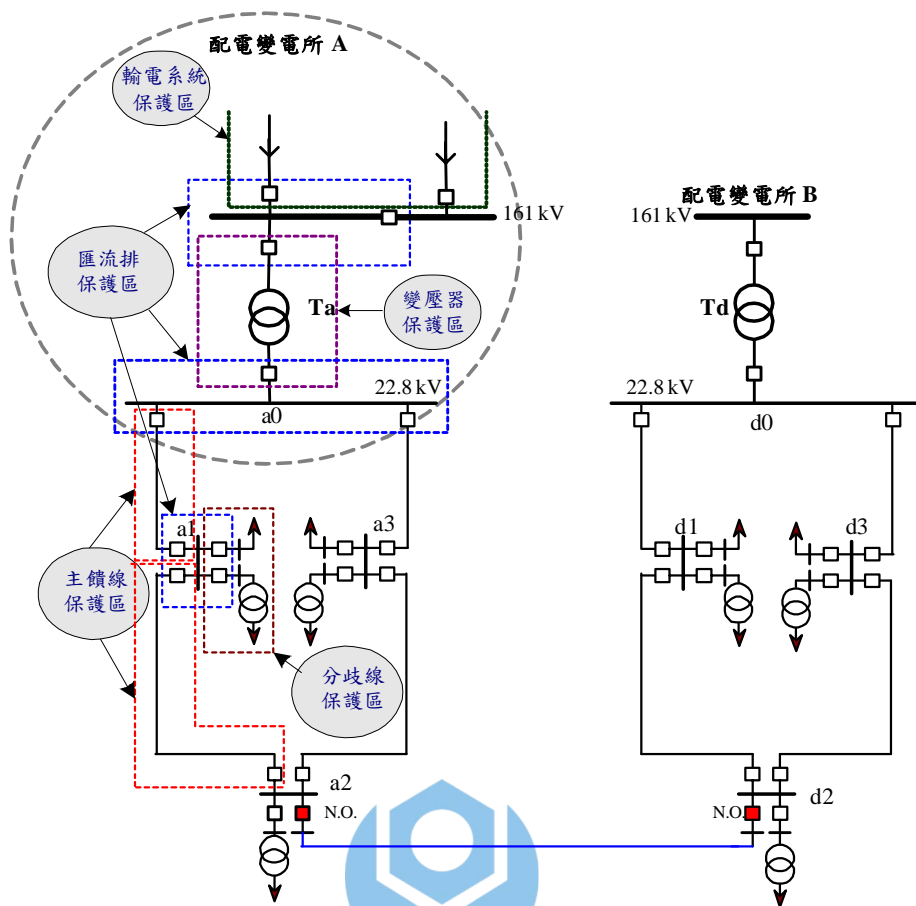


圖 6-5 Type I 常閉環路故障保護區示意圖

## 6.4 Type II 之系統架構及其運轉方式

如前所述，此一型態可細分為 Type II.1 及 Type II.2 兩種，在前一節所列的各種偶發事故中，除了在輸電迴路事故情況下，可能造成所屬用戶停電外，其餘事故情況用戶均無停電之虞。因此，為了提供系統供電可靠度，必須與其他鄰近配電變電所以常開方式互連建立負載轉供機制，以備不時之需；然而，決定互連變電所之數量與規模，則端視該供電區域之配電變電所密度、饋線分佈以及實際地理位置限制等條件。茲分述如下：

## 6.4.1 系統架構

考慮配電變電所密度及其實施的可行性，將此一型態之系統架構區分為典型雙變電所及四座變電所兩種互連架構加以探討、分析。

### A. 雙變電所互連系統架構

圖 6-6 所示為典型雙變電所 Type II 常閉環路系統架構，與 Type I 系統架構相似，該系統係由二座 161/22.8 kV 配電變電所所組成，一旦主變壓器一次側匯流排或變電所上游輸電迴路事故，可閉合連絡開關進行變電所外負載轉供，有助於提高系統整體供電可靠度。此一系統架構在考慮變電所及主變壓器因故停電時，在無停電之虞的情形下可全額負載轉供之主變壓器及饋線的總負載量，綜合列於表 6-4。由表中數據可知，若要求變電所因故停電時不會有任何負載因此而停電的高系統可靠度需求時，則不論是三環路或四環路的常閉環路系統其主變壓器在常態運轉情況下之利用因數最高均為 50%，而饋線最高利用因數對三環路而言為 21%，對四環路而言為 16%；然若僅要求主變壓器因故停電時不會有任何負載因此而停電的情況，則就主變壓器最高利用因數而言，不論是三環路或四環路之系統皆為 67%，而饋線最高利用因數對三環路而言為 28%，對四環路而言為 21%。如同前一節對 Type I 所作之闡述，以上各主變壓器及饋線之利用因數為理想情況下之結論，若互連主變壓器阻抗差太大或/且各常閉環路饋線常開互連配電站偏離饋線負載中心點，將導致主變壓器負擔不平均且常閉環路兩饋電側的負載分佈亦不均，應盡量避免。

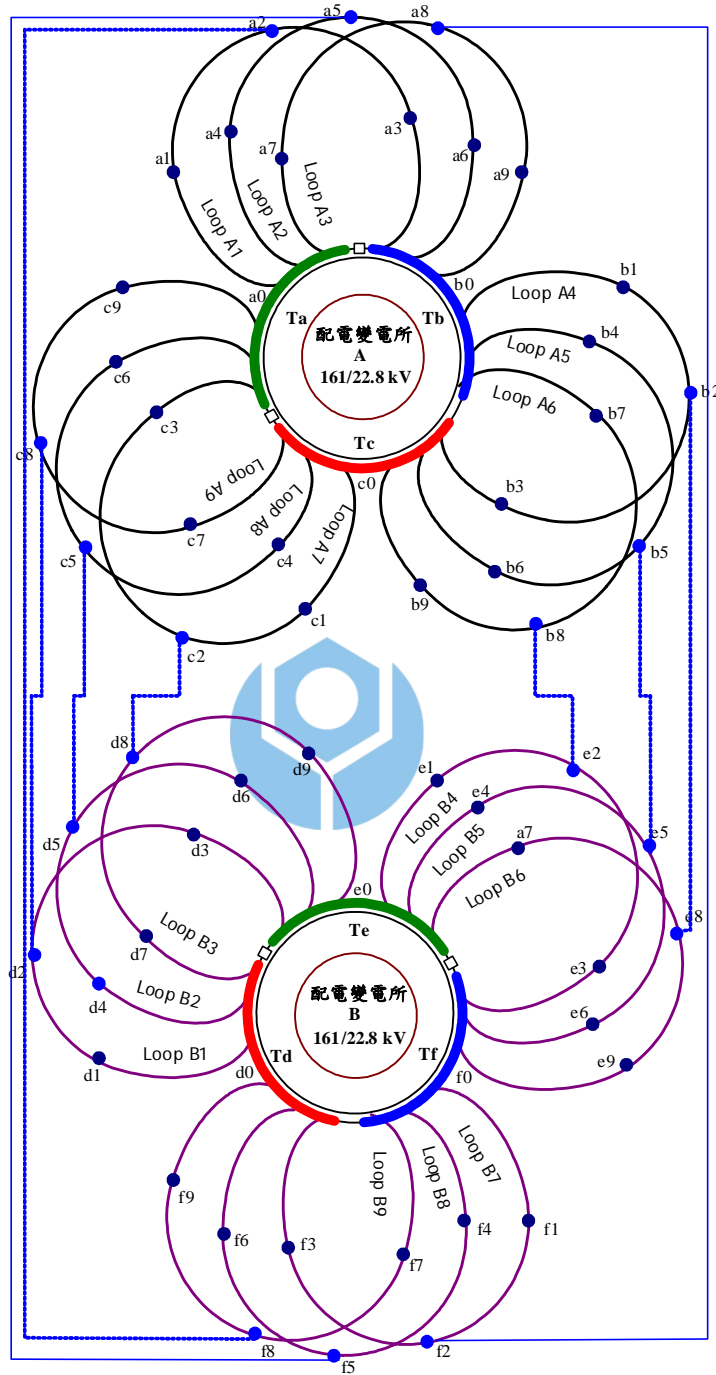


圖 6-6 雙變電所互連之 Type II 常閉環路系統架構

表 6-4 典型雙變電所互連之 Type II 常閉環路系統在考慮因事故轉供時在不超載情況下之主變壓器及饋線的常態運轉最高負載量及利用因數

環路數 \ 負載量		主變壓器		饋線	
		負載量	利用因數	電流	利用因數
三環路	變電所因故 停電	30 MVA	50 %	125 A	21 %
	主變壓器因 故停電	40 MVA	67 %	169 A	28 %
四環路	變電所因故 停電	30 MVA	50 %	95 A	16 %
	主變壓器因 故停電	40 MVA	67 %	125 A	21 %

#### B. 四座變電所互連系統架構

圖 6-7 所示為典型四座變電所互連之 Type II 常閉環路系統架構，其中每一主變壓器所饋供之六條饋線被分為兩組，每組均為三條饋線，分別與該配電變電所另外兩主變壓器所饋供的饋線在其末端的配電站透過連絡饋線互連形成常閉環路，故每一變電所均有九條常閉環路饋線。又每一變電所之九條常閉環路區分為三組，各組三條常閉環路與鄰近變電所對應之三條常閉環路透過連絡饋線以常開互連方式相互支援，共計有三組（九條）常開連絡饋線。

除了上述主變壓器及饋線數的配置外，考慮未來主變壓器可能擴充為四台及每台主變壓器引出六條或八條饋線情況下，尚有其他三種配置方式，綜合而言歸納每一變電所內配置三或四台主變壓器及每一台主變壓器引出六或八條饋線之情況下，提出較為可行的系統架構列於表 6-5 中，各架構特性如下：

- 架構一、二及三：可平均地將各主變壓器間之饋線兩兩互連形成常閉環路，一但主變壓器、匯流排發生事故或維修時，其所屬饋線亦可在不停電的情況下平均地轉由其餘主變饋供，而

且與其他三座變電所互連支援之饋線亦能做平均且對稱之安排。

- 架構四：無法平均而對稱地將四台各主變壓器間之饋線兩兩互連形成常閉環路，且一但主變壓器或匯流排發生事故或維修時，其所屬饋線僅能轉由其他兩台主變壓器支援，此時負載分配較為不均；然而與其他三座變電所之互連支援饋線則可做平均及對稱之安排。
- 架構五：無法平均而對稱地將四台各主變壓器間之饋線兩兩互連形成常閉環路，且與其他三座變電所互連支援之饋線亦無法平均安排。

是故，若以主變壓器及饋線數量的觀點來看，各主變壓器不論在常態運轉及單一主變壓器或匯流排發生事故或維修時，均能盡可能平均分擔負載的情況下，以架構一、二及三可行性較高，如此考量係一方面有利於提高各主變壓器之利用率及系統運轉效率；另一方面，亦可避免在非常態運轉時各主變壓器負載分配過度不均，造成主變壓器獨立運轉時，各常閉環路饋線湧入大量電力潮流，或在主變壓器二次側並聯運轉情況下匯流排之間的連絡斷路器產生較大的環流。此外，上述三種架構之相互支援連絡饋線亦能平均安排至其餘三座變電所所屬各常閉環路饋線，使得四座變電所之架構一致，且整個系統結構完全對稱，易於運轉與維護；反之，架構四及架構五則不具上述之優點。

依據前述三種較可行之架構，探討得主變壓器及饋線在配電變電所或主變壓器因故停電的情況下負載必須全額轉供之常態運轉經常最高負載量與利用因數，如表 6-6 所示。在此三種架構中，若要求變電所因故停電時不會有任何負載因而停電時，則主變壓器在常態運轉情

況下之利用因數最高均為 75%，而饋線最高利用因數對架構一及架構三而言皆為 32%，對架構四而言為 24%；然而，若僅要求主變壓器因故停電時不影響任何負載用電的情況，則就主變壓器最高利用因數而言，架構一及架構二之系統皆為 67%，而架構三為 75%；另外，饋線最高利用因數對架構一、二及三言分別為 28%、21%以及 32%。如前所述，此一條件係以各常閉環路饋線之負載為均勻分佈且相互支援之連絡饋線需選擇其饋線負載中心點為互連轉供點為前題，不滿前述條件者此一饋線經常最高利用因數應視情況酌予降低；至於主變壓器之經常最高利用因數亦是如此。上列之經常最大負載量即為饋線之最終負載量，因此系統運轉初期之負載量應比此值更低，以資因應未來負載之成長。



表 6-5 各種可行架構下之主變壓器及饋線數之安排

項次 架構	每一座變電所 配置之主變壓 器數量	每一台主變壓 器引出之 饋線數	兩主變壓器間 之 環路數	每一座變電所 之 總環路數
架構一	3	6	3	9
架構二	3	8	4	12
架構三	4	6	2	12
架構四	4	6	3	12
架構五	4	8	4	16

附註：本表均假設主變壓器二次側為三個單一匯流排，並配置有二個連絡斷路器之分段式匯流排架構。



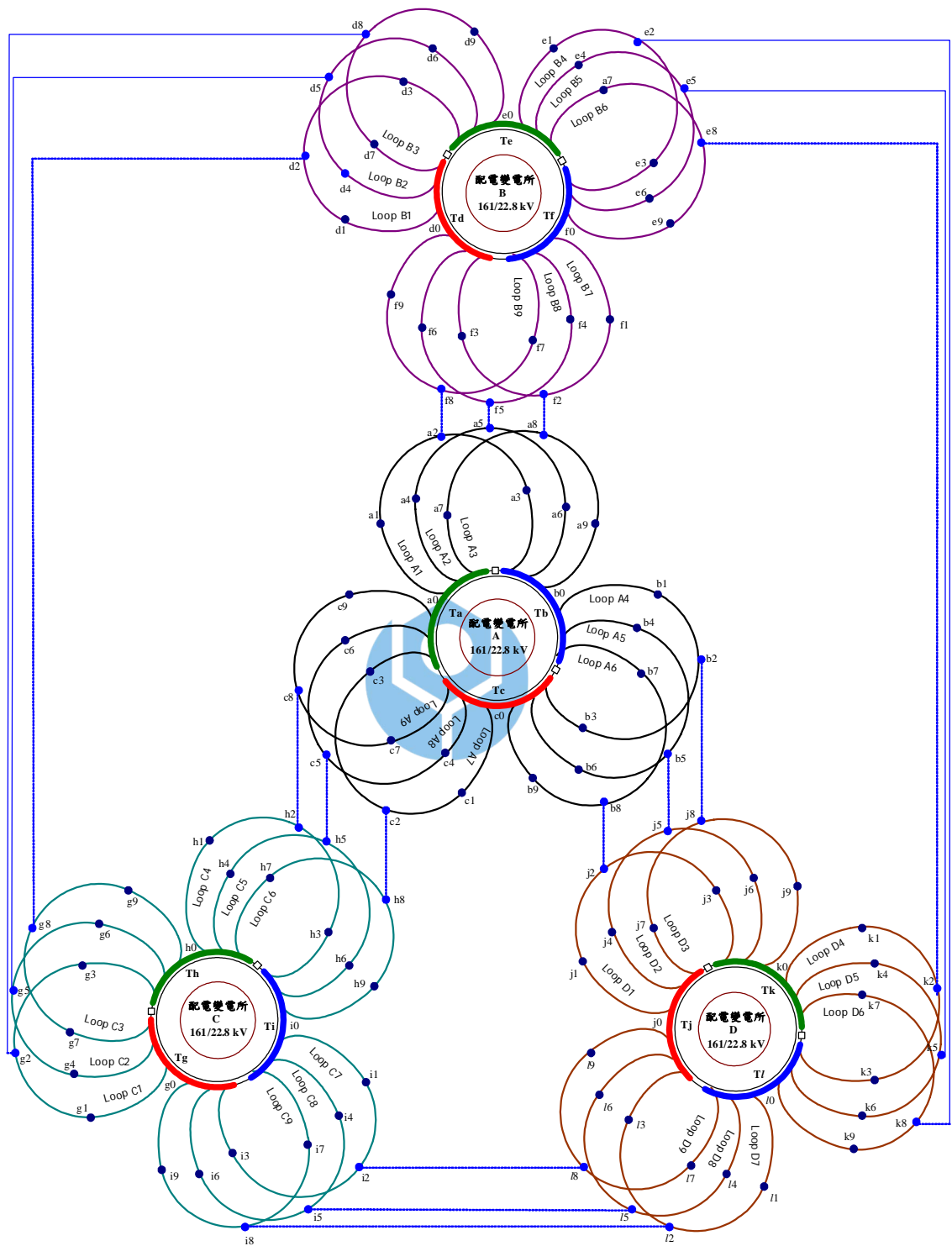


圖 6-7 四座變電所互連之 Type II 常閉環路系統架構



表 6-6 典型四座變電所互連之 Type II 常閉環路系統在考慮因事故轉供時在不超載情況下之主變壓器及饋線的常態運轉最高負載量及利用因數

架構		負載量	主變壓器		饋線	
			負載量	利用因數	電流	利用因數
架構一	變電所因故停電	45 MVA	75 %	190 A	32 %	
	主變壓器因故停電	40 MVA	67 %	169 A	28 %	
架構二	變電所因故停電	45 MVA	75 %	142 A	24 %	
	主變壓器因故停電	40 MVA	67 %	127 A	21 %	
架構三	變電所因故停電	45 MVA	75 %	190 A	32 %	
	主變壓器因故停電	45 MVA	75 %	190 A	32 %	

#### 6.4.2 運轉方式

圖 6-8 所示為典型 Type II 常閉環路系統故障保護區示意圖，此一型態在主變壓器二次側匯流排連絡斷路器為常開或常閉狀態下分別形成 Type II.1 及 Type II.2 兩種次型態。在常態運轉情況下，各環路為常閉狀態，僅連絡兩環路之連絡開關保持常開狀態。在非常態運轉情況下，亦即發生故障且被偵測後，保護區內兩端責任斷路器開啟隔離故障區域，各種偶發事故所對應之運轉操作方式如表 6-7 所示，其中僅輸電迴路事故及主變壓器一次側匯流排事故會造成所屬用戶短暫停電，所幸可藉由變電所外負載轉供後，暫時恢復供電。以輸電迴路事故為例，假設 A 變電所上游輸電迴路發生事故，一旦經故障偵測且隔離後，首先 A 變電所所有饋線於變電所出口處之饋線斷路器開啟，其次，連絡兩環路之常開開關如‘a2’及‘f8’閉合將負載轉供至 B 變電所所屬環路，使得 A 變電所所屬負載得以暫時復電；其餘事故均不影響系統正常供電。由此可知，此一型態的供電可靠度很明顯的優於 Type I。

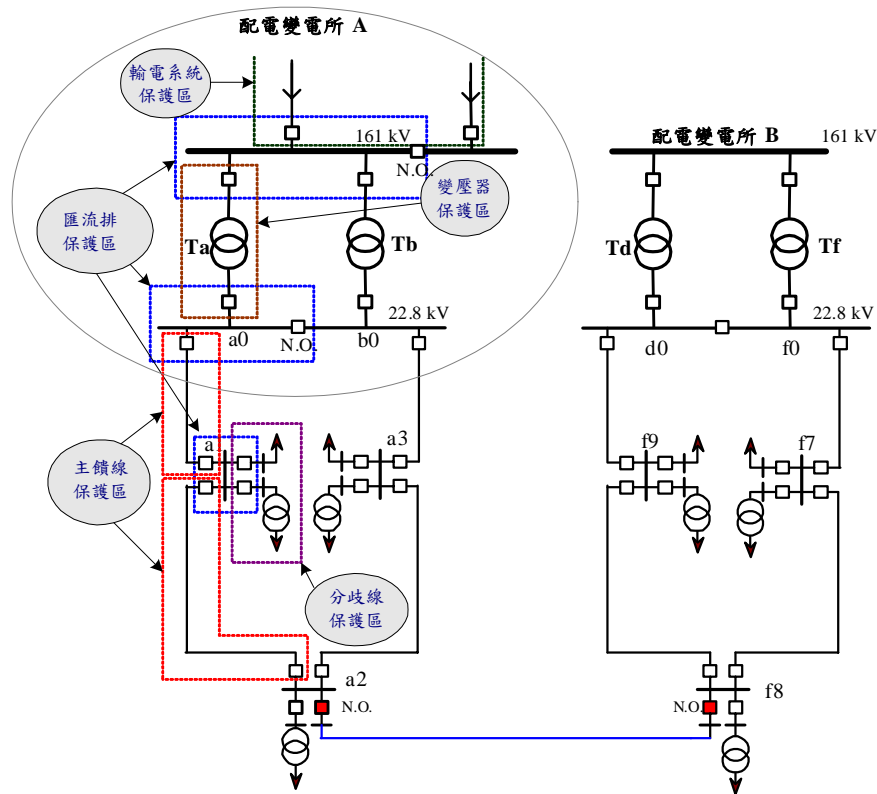


圖 6-8 Type II 常閉環路故障保護區示意圖

表 6-7 各種偶發事故對應之運轉方式

事件	運轉方式說明
輸電迴路事故	同 Type I 型態運轉操作方式。
主變壓器事故	變壓器保護區內兩端責任斷路器開啟，隔離故障主變壓器，系統不受影響仍能繼續供電，該主變壓器所屬饋線所有用戶均能正常用電。
匯流排事故	依匯流排配置之位置，將事故分為以下三種： <ul style="list-style-type: none"> <li>主變壓器一次側匯流排事故，此一情況與該匯流排上游輸電迴路故障處理方式相同。</li> <li>主變壓器二次側匯流排故障，使得保護區內兩端責任斷路器開啟，該匯流排所屬饋線呈放射狀由另外兩台主變壓器饋供，此時事故主變壓器之變電所以三個環路加上六條放射型饋線運轉。</li> <li>配電站之匯流排事故，保護區內四路斷路器全部開啟，該配電站所屬用戶停電。</li> </ul>
饋線事故	同 Type I 型態運轉操作方式，系統仍能持續供電，用戶完全不受饋線事故影響。
分岐線事故 (含配電變壓器事故)	分岐線(配電變壓器)事故之運轉操作方式與 Type I 型態相同。

## 6.5 Type III 之系統架構及其運轉方式

Type III 為互連型常閉環路系統，或稱之為互連網路型，其供電可靠度為四種型態中最高者，即便其中一座配電變電所因故停電，仍不影響系統正常供電；此外，由於饋電路徑甚多因此系統損失最低，整體而言供電品質亦較佳；然而，其複雜度最高，相對地設計、運轉與維護等亦最困難。另外，由於互連之變電所及其饋線為數眾多，因此，該配電系統型態較適合實施在配電變電所及負載密度高的大都會地區。

### 6.5.1 系統架構

如前所述，考量各主變壓器不論在常態運轉及單一主變壓器或匯流排發生事故或維修時，均能盡可能平均分擔負載的情況下，列出五種較為可行之含負載轉供機制之 Type III 系統架構所對應的互連變電所、主變壓器及饋線數量於表 6-8，並且在表 6-9 中列出考慮因事故轉供時在不超載情況下之主變壓器及饋線的常態運轉最高負載量及利用因數。

以系統架構一為例，此一架構為四座變電所互連之 Type III 常閉環路系統，其中每一主變壓器所饋供之六條饋線被分為三組，每組均為二條饋線，分別與另外兩座配電變電所兩主變壓器所饋供的饋線在其末端的配電站透過連絡饋線互連形成常閉環路，故每一變電所與另一變電所均有六條常閉環路饋線。此外，該系統型態不論是變電所或主變壓器因故停電，其所屬用戶均無停電之虞，且主變壓器在常態運轉情況下之利用因數為 75%，而饋線則為 32%。所有系統架構中，以架構四及架構五所需的變電所數量最多；然其主變壓器及饋線在常態運轉情況下的利用因數亦最高。

表 6-8 各種可行架構下之主變壓器及饋線數之安排

項次 架構	互連變電所 數量	每一座變電 所配置之主 變壓器數量	每一台主變 壓器引出之 饋線數	兩主變壓器 間之環路數	兩變電所之 環路數
架構一	4	3	6	2	6
架構二	4	4	6	2	8
架構三	5	4	8	2	8
架構四	7	3	6	1	6
架構五	7	4	6	1	6

附註：本表均假設主變壓器二次側為三個單一匯流排，並配置有二個連絡斷路器之分段式匯流排架構。

表 6-9 典型 Type III 常閉環路系統在考慮因事故轉供時在不超載情況下之主變壓器及饋線的常態運轉最高負載量及利用因數

項次 架構	負載量	主變壓器		饋線	
		負載量	利用因數	電流	利用因數
架構一 架構二	變電所因故 停電	45 MVA	75 %	190 A	32 %
	主變壓器因 故停電	45 MVA	75 %	190 A	32 %
架構三	變電所因故 停電	48 MVA	80 %	152 A	25 %
	主變壓器因 故停電	48 MVA	80 %	152 A	25 %
架構四 架構五	變電所因故 停電	51.4 MVA	86 %	217 A	36 %
	主變壓器因 故停電	51.4 MVA	86 %	217 A	36 %

## 6.5.2 運轉方式

典型 Type III 常閉環路系統故障保護區示意圖，如圖 6-9 所示，在常態運轉情況下，各環路為常閉狀態。在非常態運轉情況下，亦即發生故障且被偵測後，保護區內兩端責任斷路器開啟隔離故障區域，表 6-7 所示為各種事故所對應之運轉操作方式，在任何單一偶發事故情

況下所屬用戶均不停電。此外，在變電所或主變壓器因故無法供電的情況下，必須將主變壓器二次側匯流排兩側斷路器開啟，使各饋線與事故區域隔離。例如：A變電所之 $T_a$ 主變壓器發生故障隔離後， $T_a$ 變壓器與變電所出口處之饋線斷路器開啟，系統正常供電。相同地，若A變電所因故停電，則其運轉操作方式與主變壓器事故相似。此一型態的供電可靠度為本論文所提四種型態中最高者。

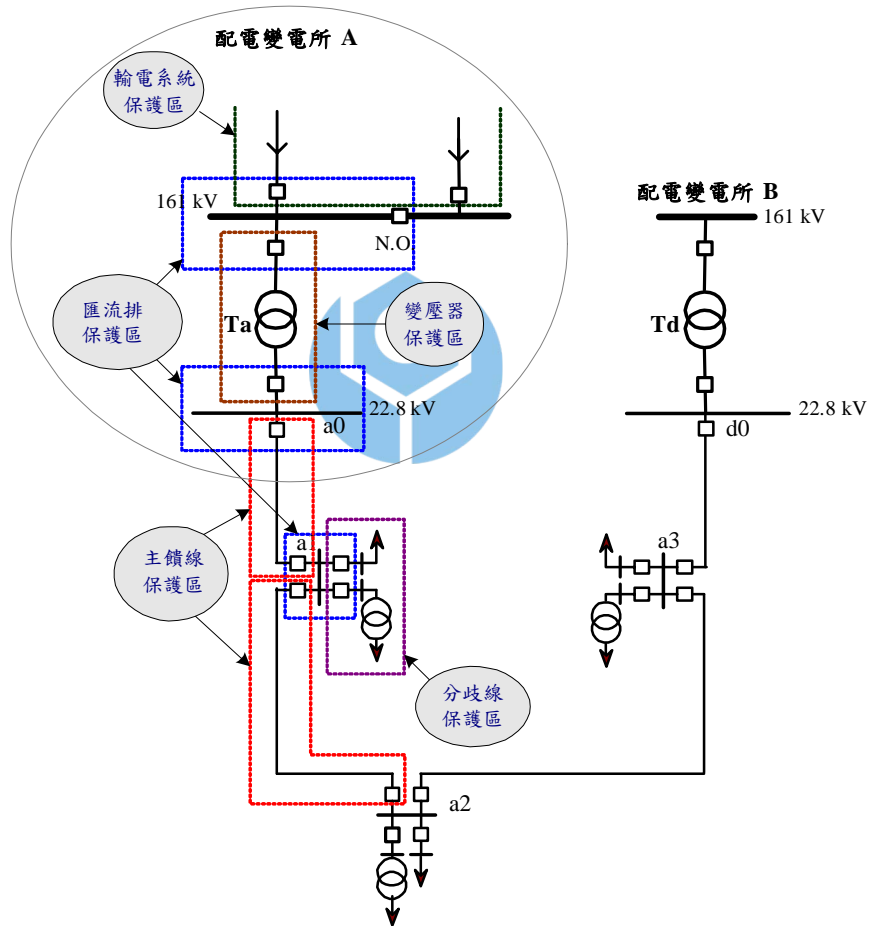


圖 6-10 Type III 常閉環路故障保護區示意圖

表 6-10 各種偶發事故對應之運轉方式

事件	運轉方式說明
輸電迴路事故	輸電迴路保護區內責任斷路器開啟，隔離故障區域，此時所屬主變壓器二次側匯流排兩側斷路器亦全部開啟，事故變電所停電，然系統不受影響仍能繼續供電，該變電所所屬饋線用戶均正常供電。
主變壓器事故	運轉操作方式與輸電迴路事故相似。變壓器保護區內兩端責任斷路器開啟，隔離故障主變壓器，該主變壓器所屬饋線之用戶均正常供電。
匯流排事故	依匯流排配置之位置，將事故分為以下三種： <ul style="list-style-type: none"> <li>• 主變壓器一次側匯流排事故，此一情況與該匯流排上游輸電迴路故障處理方式相同。</li> <li>• 主變壓器二次側匯流排故障，使得保護區內兩端責任斷路器開啟，該匯流排所屬饋線之用戶正常用電。</li> <li>• 配電站之匯流排事故，保護區內四路斷路器全部開啟，該配電站所屬用戶停電。</li> </ul>
饋線事故	同 Type I 型態運轉操作方式，用戶正常供電。
分岐線事故 (含配電變壓器事故)	分岐線(配電變壓器) 事故之運轉操作方式與 Type I 型態相同。

## 6.6 綜合比較與分析

本章以台電現行的配電變電所及配電饋線之規劃、設計原則為基礎，並考慮典型常閉環路系統架構的對稱性、負載平衡度以及發生單一偶發事故時負載能全額轉供等限制條件下，逐步探討、分析四種含有負載轉供機制且較為可行之常閉環路系統架構；除此之外，根據這些系統架構研擬在理想情況下之主變壓器及饋線常態運轉時之最高利用因數及其運轉操作方式。綜合而言，互連變電所數量愈多愈能分散風險，使得系統供電可靠度也愈高，但相形之下系統結構也就更為複雜，在運轉、維護上也相對較為困難；此外，電力公司初期投資成本



亦可能非常之高，因此，須就技術及成本效益面多方評估，取得最佳的方案方可採行實施。

最後，綜合歸納四種典型常閉環路型態之偶發事故供電可靠度比較於表 6-11 中，四種系統型態皆能消除因饋線事故造成之停電現象，其中 Type III 在所列舉之各種單一偶發事故情況下皆不影響系統供電；而 Type II.1 及 Type II.2 僅在變電所因故停電情況下必須藉由負載轉供方式暫時恢復受故障影響區域之供電；另外，Type I 在變電所或主變壓器因故停電情況下皆須啟動負載轉供機制，暫時復電。是故，依不同供電區域對供電可靠度的需求可提供不同的系統型態以滿足其要求，甚至有些重要的供電區域對供電可靠度要求極高，在投資成本的考量上相形之下亦非主要的考慮。本章研究成果可提供電力公司未來規劃、設計含有負載轉供機制之常閉環路系統之參考。

表 6-11 四種常閉環路型態之偶發事故供電可靠度比較

事件 \ 型態	Type I	Type II.1	Type II.2	Type III
輸電迴路事故	☑	☑	☑	✓
主變壓器一次側匯流排事故	☑	☑	☑	✓
主變壓器事故	☑	✓	✓	✓
主變壓器二次側匯流排事故	☑	✓	✓	✓
饋線事故	✓	✓	✓	✓
配電站匯流排事故	☒	☒	☒	☒
配電變壓器事故	☒	☒	☒	☒
分岐線事故	☒	☒	☒	☒

附註：✓：所有用戶皆不停電。  
 ☑：所屬用戶短暫停電，經由負載轉供後恢復供電。  
 ☒：局部區域用戶停電。  
 以上結論乃假設事故發生時主保護能正常動作隔離故障，若主保護失靈或開關設備故障，則停電範圍將擴大。



# 第七章 饋線型態升級之影響與衝擊及相關配套 措施

## 7.1 前言

本論文前述各章節中先廣泛探討影響配電饋線升級的因素，隨之藉由改變相關參數設定來模擬各種影響因素對不同饋線型態運轉特性的影響程度，其中包括兩饋線互連前、後及互連後在非常態運轉情況下之短路故障以及電力潮流等分析，以理論分析結論加上模擬分析數據，充分論述饋線型態由放射型升級為常閉環路型，因電路結構改變對原系統饋線沿線短路容量、複功率潮流、電流潮流、線路電壓降以及線路損失等運轉特性造成之影響與衝擊，以此研究成果為基礎，得以探討含負載轉供機制在內的典型常閉環路架構，分析在各種單一偶發事故的情況下皆能運轉無虞的主變壓器及饋線之常態運轉最高負載量及其對應之利用因數，並深入探討在各種情況下之運轉操作方式，上述研究奠定了探究配電饋線升級重要且不可或缺理論基礎。然而，這些研究成果分散於各章節中不易窺其全貌，是故，本章綜合歸納各章節的研究成果，作一綜合性的整理、分析與比較，主要內容在闡述配電饋線升級為本論文所提之四種不同常閉環路型態對原系統及其用戶所造成之影響與衝擊，並藉此擬定相關的配套措施，最後，綜合考量各項影響因素及相關配套措施，有系統地整理配電饋線升級的步驟、相關注意事項及不同系統型態適用的區域，以作為未來電力公司進行配電饋線升級之參考。此外，本章亦特別深入探討兩常閉環路饋線間之互連配電站選定方式，考慮年等效負載並配合簡化功率損失之饋線模型估算線路損失，再以此估算值為基礎經排序後擇優執行電力

潮流程式，最後綜合考量各項指標在不違反最大電壓降限制值以及導線的額定安全電流等限制條件下，以最小化線路損失為目標求解最適互連配電站問題。

## 7.2 影響與衝擊

根據本論文第三章及第四章的模擬、分析結果，可歸納出配電饋線升級對原系統及其用戶所造成之影響與衝擊，列示於表 7-1。

表 7-1 饋線型態升級對原系統及其用戶之影響

影響 \ 型態	Type I	Type II.1	Type II.2	Type III
電力潮流	↓(↑)	↓~↑ <sup>+</sup> (↑)	↓(↑)	↓~↑ <sup>+</sup> (↑)
線路電流	↓(↑)	↓~↑ <sup>+</sup> (↑)	↓(↑)	↓~↑ <sup>+</sup> (↑)
線路電壓降	↓(↑)	↓~↑ <sup>+</sup> (↑)	↓(↑)	↓~↑ <sup>+</sup> (↑)
故障電流及短路容量	↑(↓)	↑(↓)	↑~↑ <sup>+</sup> (↓)	↑~↑ <sup>+</sup> (↓)
連續供電可靠度	↑	↑ <sup>+</sup>	↑ <sup>+</sup>	↑ <sup>+</sup>
主變壓器容量	☺	☹	☺	☹
饋線線徑	☺	☹	☹	☹
主環路開關及保護設備	☹	☹	☹	☹
用戶開關及保護設備	☺	☹	☹	☹
綜合評鑑	☺	☹	☹	☹
附註： ↑：輕度增加                      ↓：輕度減少 ▲：中度增加                     ▼：中度減少 ⬆：高度增加                     ⬇：高度減少 ( )：非常態運轉情況下的變化情形(Condition C)。 +：高度依賴系統情況而定，依個別案例視之。 ☺：輕微    ☹：中等    ☹：顯著				

就電力潮流的影響而言，兩放射型饋線互連升級後，由於常閉環路饋線本身同時皆具備兩個饋電點，其中因 Type I、Type II.2 的兩饋電端電壓大小及相角相同，因此對電力潮流的影響最小，其影響程度充其量與兩互連饋線負載量差成正比關係，且互連後由於各饋線段的電力潮流呈自然最佳的分佈情況，因此各饋線段之總複功率潮流普遍而言較為平均且略為降低；然而，對 Type II.1 及 Type III 而言，由於兩饋電端的電壓大小及相角可能因負載特性差異、主變壓器特性及變電所一次側短路容量不等等影響而不同，造成常閉環路饋線的實功及虛功潮流變化較大，因此，一般而言，升級後對電力潮流的影響程度較大。另一方面，在線路電流及線路電壓降方面的影響亦為如此，其變化情形與電力潮流相似。上述各種相關電氣量的變化情形直接對主變壓器容量及饋線線徑的選定造成影響。

就對饋線沿線短路容量及故障電流的影響而言，在合理的變化範圍內改變系統參數，以模擬在實際系統中可能發生的兩性質不同之放射型饋線互連升級為常閉環路的情況，結果顯示饋線型態升級後之短路容量均以大小不等的比例增加，且增加的幅度因饋線型態而異，綜合言之，影響短路容量的程度由小到大依序為 Type I 最小；其次為 Type II.1；最高為 Type II.2 或 Type III。饋線型態升級後，在非常態運轉情況下，四種常閉環路型態之饋線沿線短路容量均較常態運轉情況下低。至於故障電流的影響情形則與短路容量相同。這些故障電流及短路容量變化情形亦直接衝擊原系統保護設備及其保護協調以及所屬用戶的保護設施。

就對連續供電可靠度的影響而言，四種型態皆能避免因饋線事故造成之停電現象，因此供電可靠度均提升不少，其中又以 Type II.1 及 Type II.2 可消除單一主變壓器事故所造成的停電問題，因此供電可靠

度優於 Type I；此外，Type III 在單一配電變電所因故停電的情況下，仍可不影響整個系統的正常供電，是故，其供電可靠度最高；然而，升級為後三種型態的相關條件限制及要求較高，且先決條件為系統設計須得當，方能達到預期的成效；否則可能反而使供電可靠度更為惡化。

總而言之，四種常閉環路饋線型態中以 Type I 對系統及用戶的影響最少，因此，若僅針對消除饋線事故造成之停電現象，則 Type I 為目前放射型饋線升級為常閉環路型中最簡單且容易實現的型態，此一型態目前已由台電採用實施於台北市區營業處所轄台北市信義計畫區某變電所主變壓器#1 所屬六條饋線上，以末端兩兩互連方式形成三條常閉環路饋線，為台電首次採行之先期常閉環路系統。目前，台南區營業處、台中區營業處、新竹區營業處及苗栗區營業處等亦均已發包建置中，台北市區營業處所尚規劃有第二期常閉環路系統，刻正招標中。



### 7.3 相關配套措施

配電饋線型態一旦由放射型升級為常閉環路型，既有配電系統相關的軟、硬體設施亦須重新檢討、規劃，甚或更新以符合新的饋線型態及新系統架構之要求，因此，主要的設備必須更換或調整方能因應此一系統型態的改變，並確保新系統能順利、正常地運轉，達到預期系統型態升級的效益。綜合而言，四種常閉環路系統型態所需的相關配套措施列於表 7-2 中。

表 7-2 系統型態升級所需之相關配套措施

項目	相關配套措施
主饋線	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Type I 及 Type II.2：導線必須預留足夠的安培容量，以承載環路上所有的負載。</li> <li>• Type II.1 及 Type III：導線必須預留足夠的安培容量，以承載環路上所有的負載，以及透過環路饋線額外輸送兩互連主變壓器的負載量差於其二次側匯流排之間。</li> </ul>
主變壓器	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Type II.2：兩主變壓器並聯運轉造成的環流問題必須克服。</li> <li>• Type I、Type II 及 Type III：主變壓器必須預留足夠的容量，以負擔主變壓器或配電變電所因故停電產生的額外負載。</li> </ul>
開關設備 及 保護協調	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Type I、Type II 及 Type III：所有主饋線上的負載啟斷開關必須全數更換為具有啟斷其故障電流能力的斷路器，而且保護協調極為重要，必須採用智慧型電子裝置，並規劃以 POTT 及 DCB 保護方式之載波電驛系統。此外，必須特別注意 Type III 避免發生由主變壓器二次側匯流排逆送電力至一次側匯流排之情形。同時，配合配電自動化的建置，以期使系統在運轉及維護上更加完善。</li> <li>• Type II.2 及 Type III：用戶保護設備必須重新檢討、更換或調整。</li> </ul>

就原放射型系統而言，可分為二個層面來說明，其一為主變壓器及饋線的額定容量與常態運轉情況下之最高負載量及其利用因數；另一為開關設備的規格及保護協調的方式。在主變壓器的額定容量及饋線的安培容量方面，原則上可沿用既有的系統設備，唯一值得注意的是常態運轉的最高負載量及其利用因數必須預留足夠后安全裕度，以因應饋線、主變壓器或配電變電所在單一偶發事故時所需承載之額外的負載量，在四種不同型態系統架構下的主變壓器及饋線，其常態運轉最高利用因數自然有所差異，計算原則與方式如第六章所述，由計



算結果可知，主變壓器以及饋線之常態運轉的最高負載量及其利用因數並不高，此為常閉環路配電饋線之缺點。在開關設備及保護協調方面，不論饋線型態升級為四種常閉環路型態中的那一種，為了達成所有用戶不因饋線發生單一偶發事故造成停電的目標，所有主饋線上的負載啟斷開關(Load Break Switch, LBS)必須全數更換為具有啟斷故障電流能力的斷路器，具體而言，主饋線上各配電站應全部換裝四路皆為斷路器之開關並提供兩種模組，亦即適用於一般的配電站的四路開關（例如： $600A \times 2 + 200A \times 2$ ），以及連絡配電站（例如： $600A \times 3 + 200A \times 1$ ），且連絡開關應採用三相連動方式；此外，為了確保常閉環路系統的供電可靠度，系統在常態及非常態運轉期間各保護設備間的保護協調工作極為重要，常閉環路系統的保護協調方式與傳統放射型系統不但不同，且更為複雜，因此，其保護電驛系統必須有能力自行動態設定或作調適性設定。如前所述，常閉環路系統的保護協調方式與放射型及常開環路型系統差異極大，後兩者通常以傳統的過電流電驛(over-current relay)51/51N、50/50N 及單一設定的保護協調方式；然而，對於常閉環路系統而言，則常使用允許越區轉移跳脫系統(POTT)與方向比較閉鎖系統(DCB)之載波電驛系統(pilot relaying system) [35, 63, 64]，就允許越區轉移跳脫系統而言，其通信媒介為微波、音頻或光纖，一般採頻率偏移(frequency shift keying)的方式來傳送監視頻率(guard frequency)或允許對方跳脫的跳脫頻率(permissive trip frequency)，當系統正常時，雙方以監視頻率互相通信，以監測目前通信頻道之情形，若有異常則會發出警報，且閉鎖電驛之快速跳脫功能，而當內部故障發生時，則會將監視頻率偏移為允許對方跳脫的跳脫頻率，以允許對方快速跳脫；就方向比較閉鎖系統而言，當故障發生時，所有同一方向之過電流元件偵測到故障電流時而同時啟動，



同時也會起動一閉鎖訊號至其同方向之上游保護電驛，只有接近故障之上游保護電驛沒有收到閉鎖訊號即產生動作，其餘已起動之方向性過流電驛皆會被閉鎖。此外，以同時具備 Mirrored Bits 光纖通道和可程式邏輯控制器功能的智慧型電子裝置(IEDs)作為常閉環路系統之保護，該裝置具有保護、量測、控制、監視、通訊以及自我診斷等功能，為一兼具彈性且功能強大的數位保護電驛。更進一步，配合饋線上全部負載啟斷開關更換為具啟斷故障電流能力之斷路器，並整合於饋線自動化系統中，確保載波電驛系統能順利達成消除饋線事故停電的主要目標。此外，尚需注意配電系統的保護協調時間受制於輸電系統，必須在規定的時間裡完成故障隔離否則一切流於空談，以台電為例，常閉環路 IED 之保護協調設定需要符合台電主變壓器二次側過電流保護設備之設定值(45cycles)下，因此須在特定時間內就不同的故障點完成主、後衛保護動作將故障隔離，才算達成目標。

另外，就用戶而言，由於配電饋線型態升級後，四種型態之饋線沿線短路容量的增加倍率皆不相同，綜合第三章所探討的各種案例，經統計分析後可得知短路容量的增加倍率由小到大排序，依序為 Type I 最小；其次為 Type II.1；最高為 Type II.2 或 Type III。因此，用戶的保護設備原則上除了 Type I 可維持不變繼續沿用外；其餘三種型態皆有重新更換、調整的必要，否則可能造成既設保護設備的啟斷容量不足，而導致嚴重的後果，尤其必須特別注意 Type II.2 的增加倍率。

## 7.4 綜合考量

在既有的系統架構下進行配電饋線型態升級，必須充分了解升級後對原系統及其用戶所可能造成之影響與衝擊，以便研擬相關的配套措施，進而確保系統能在最周延及完善的考量下進行規劃與設計，以

達盡善盡美的境界。因此，除了前二節所述的考量外，尚需注意負載轉供點之選定原則、主環路開關投入注意事項以及有載負載轉供條件等相關問題，亦不容忽視，值得提出探討，以下各小節將針對上述問題詳加探討與分析。

#### 7.4.1 負載轉供點之選定原則

如第六章所述，典型的 Type I、Type II.1 及 Type II.2 三種常閉環路系統中兩常閉環路間有互連之機制，提供相互支援的功能，萬一主變壓器或配電變電所因故停電，可迅速恢復供電，提升系統的供電可靠度。因此，在確定各常閉環路之配電站個數及位置後，便須選定互連配電站的位置，此一互連位置的決定會直接影響到系統在非常態情況下的運轉性能，例如互連配電站兩側饋線電流分配、系統損失、線路電壓降、短路容量以及電壓與電流三相不平衡情形等。是故，有必要審慎選擇以期在較佳的系統運轉性能下適時發揮功能。

一般而言，以負載轉供後由互連配電站看入受轉供常閉環路兩側饋線的電流可得到較為均勻的分佈為主要考量原則，以避免負載過度集中於某一側饋線造成該側饋線有超載之虞，進而確保負載轉供後系統得以正常運轉，即互連配電站的較佳位置應為該常閉環路饋線的負載中心(電氣中心點)，換句話說，該常閉環路饋線負載分佈若較為均勻，則其互連位置可選擇在饋線的中點附近；反之，若饋線負載分佈不均勻，則需以接近全饋線的最低電壓點附近為原則，亦即需使互連配電站左右兩側饋線的負載量約略相等。然而，值得注意的是該互連配電站為整條常閉環路饋線最低電壓點，而事故饋線即連接至最低電壓點，因此必須特別注意受轉供饋線末端電壓降是否超過最大電壓降限制值。除了導線的額定安全電流以及線路電壓降必須符合規範，以

確保系統正常運轉外，此一互連轉供機制原則上需考量較長時間的相互支援，因此本文以負載轉供後之最小化線路損失為觀點尋求其最佳之互連配電站對。綜合上述可知，決定互連位置的關鍵考慮因素為饋線沿線的負載時變特性、負載密度與分佈，以及連絡饋線佈設的路徑與長度等，是故，為審慎評估起見，上述因素均應綜合納入考量。資詳述本文所提求解方法、步驟，並舉實例驗證其有效性如下：

#### A. 求解方法與步驟

互連配電站的主要功能是提供常閉環路饋線因主變壓器或配電變電所因故停電或在維修情況下，導致該環路所屬負載被迫停電時，提供兩常閉環路間之相互支援的連絡饋線連接位置，此一連絡點攸關系統在非常態情況下之運轉性能，一般而言，正常運轉之常閉環路饋線必須能額外負擔事故常閉環路饋線所有負載量而不致於過載，以及線路電壓降必須符合規定等基本要求；此外，系統亦必須盡可能運轉在線路損失較小的情況下，因此，兩互連配電站位置的決定為系統在規劃、設計階段不可輕忽的環節。

欲求解常閉環路饋線的最佳互連位置，首先，必須建立標的系統的數學模型；其次，計算各負載點的等效負載量；最後，再以此負載量執行電力潮流程式，模擬在不同位置互連時系統的性能，再綜合模擬結果的各項評估指標，即可求得最佳負載轉供點；然而，若兩常閉環路饋線分別有  $m$  及  $n$  個配電站，則互連配電站的選擇組合方式共有  $m \times n$  個，若完全配對尋求最佳互連配電站則必須執行  $m \times n$  次電力潮流後才能排序找出最佳解，若再考慮負載的時變性，其計算量不言而喻，有鑑於此，本文提出一可大幅度簡化計算過程及節省計算時間的快速求解方法，以最小化線路損失為目標，近似求解出最佳互連配電站對，其求解流程如圖 7-1 所示。

由圖 7-1 可知，本文所提出之求解近似最佳互連配電站對的首要步驟為計算年等效負載，考量年等效負載的作法主要是因為考慮用戶隨機的用電行為，使得各配電站的負載具隨機變動以及隨季節更迭而變化的特性，因此，若僅以單一時間點的負載量之分析結果為基礎，將不具代表性，且可能失之毫釐差之千里；然而，以年等效負載作為各配電站的等效負載來求解互連配電站對的方式將可大幅度簡化問題，且可得到較為合理的結果。本文以台電先期常閉環路系統所屬 ZH#54 及 ZH#55 常閉環路饋線，以及目前正規劃與其常開互連之某變電所主變壓器#2 所屬 SU#63 及 SU#64 常閉環路饋線為標的系統，利用其自動化功能以小時為單位所紀錄之各配電站整年度負載量計算年等效負載，依序分別以式(7-1)至(7-6)計算各配電站之日等效負載、月等效負載，最後算出年等效負載，其中在計算月等效負載的公式中，變數‘day’為目標月份實際天數。圖 7-2 所示為針對某一個配電站所估算之個別相年等效負載，應用此一處理程序可分別求取 A、B 與 C 相年等效負載，進而取得三相總負載量[65]。

$$P_{day} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{h=1}^{24} (P_{hour}[h])^2} \quad (7-1)$$

$$Q_{day} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{h=1}^{24} (Q_{hour}[h])^2} \quad (7-2)$$

$$P_{month} = \sqrt{\frac{1}{day} \sum_{d=1}^{day} (P_{day}[d])^2} \quad (7-3)$$

$$Q_{month} = \sqrt{\frac{1}{day} \sum_{d=1}^{day} (Q_{day}[d])^2} \quad (7-4)$$

$$P_{annual} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} (P_{month}[m])^2} \quad (7-5)$$

$$Q_{annual} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} (Q_{month}[m])^2} \quad (7-6)$$

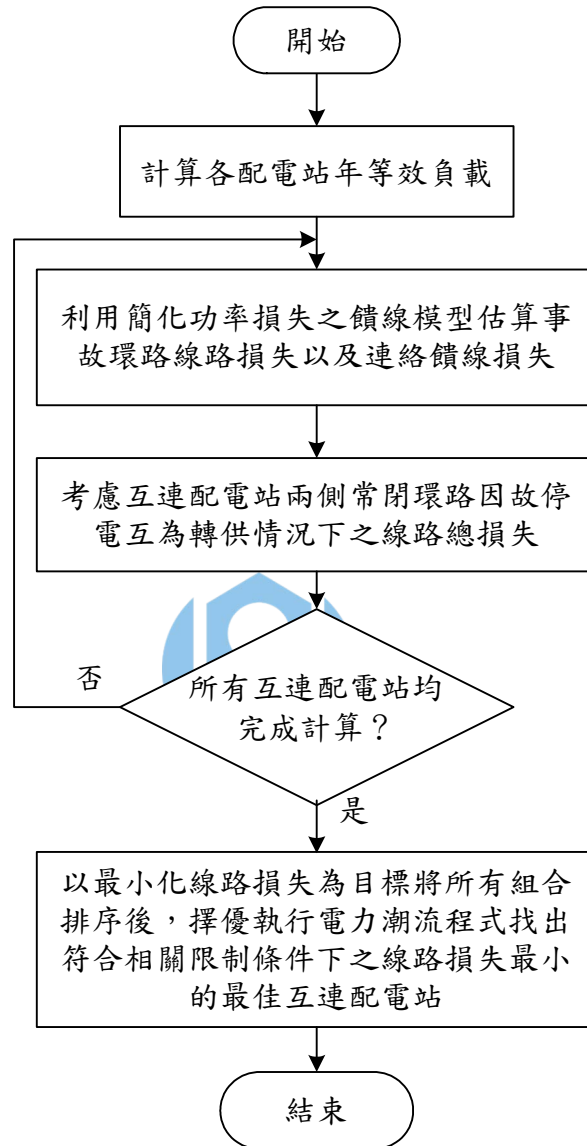


圖 7-1 求解近似最佳互連配電站對之流程圖

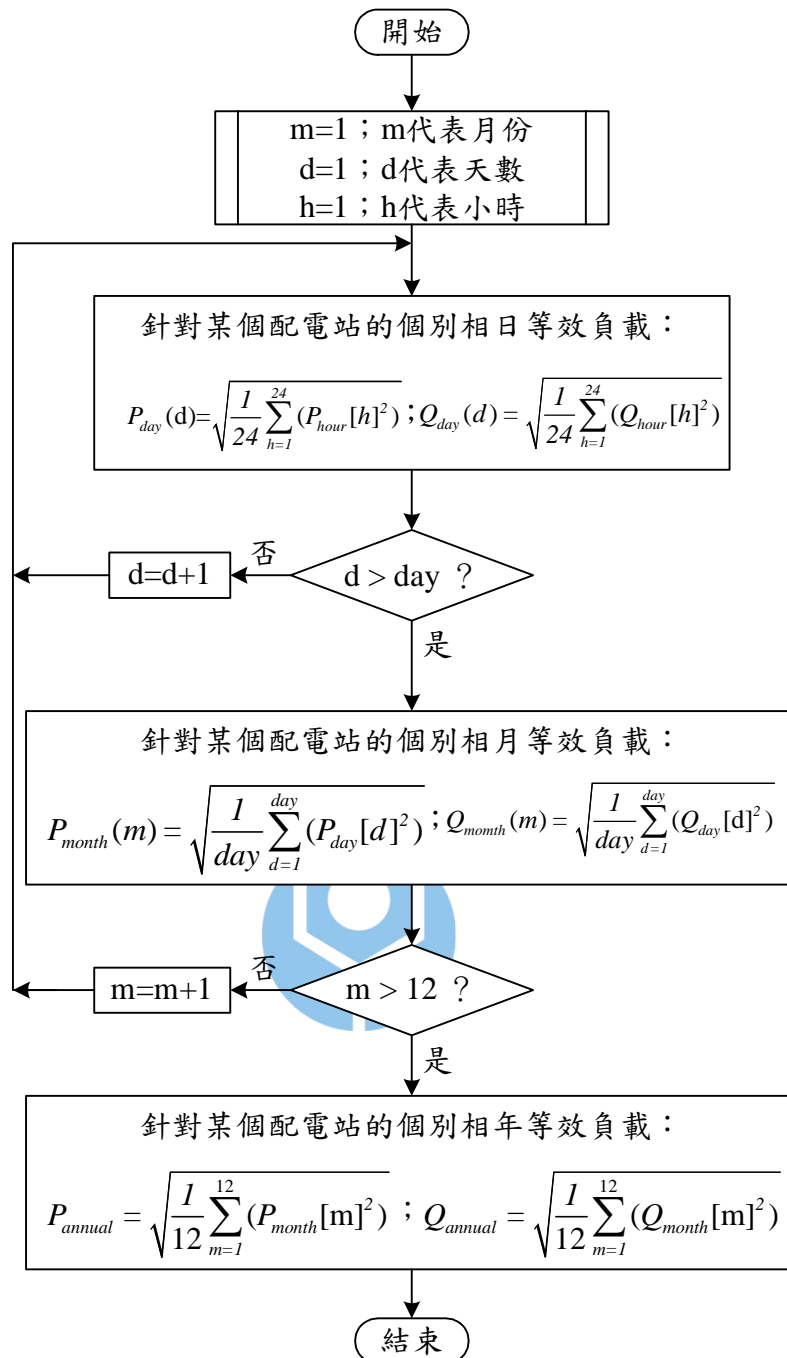


圖 7-2 計算個別相年等效負載之流程圖

在求得各配電站之年等效負載後，隨之，使用簡化功率損失之饋線模型估算事故環路饋線及連絡饋線之線路損失，以簡化模型估算線路損失的基本前提為假設饋線上任一點的電壓均相等；此外，由於事故環路以放射狀架構經連絡饋線由另一正常運轉之常閉環路轉供，因此，可採用單端饋電饋線之簡化功率損失模型估算線路損失[66]，如



圖 7-3 所示，單端饋電饋線上任一離散負載可用電流源模型表示，並以實際值表示時為

$$I_j = \frac{P_j - jQ_j}{\sqrt{3} \cdot V_{L, \text{rated}}} \quad (7-7)$$

式(7-7)中  $V_{L, \text{rated}}$  為系統之額定線電壓。

因此，饋線上任一饋線段' $i$ '之增量電流可表示為

$$I_i = \sum_{j=1}^i \left( \frac{P_j - jQ_j}{\sqrt{3} \cdot V_{L, \text{rated}}} \right) \quad (7-8)$$

故任一單端饋電饋線之線路總損失可以式(7-9)表示。

$$P_{L, \text{loss}} = 3r \cdot \sum_{i=1}^n \left[ \left| \sum_{j=1}^i \left( \frac{P_j - jQ_j}{\sqrt{3} \cdot V_{L, \text{rated}}} \right) \right|^2 \right] \cdot L_i \quad (7-9)$$

式(7-9)中  $r$  與  $L_i$  是代表線路每公里之電阻值與饋線段  $i$  之線路電流。

此外，連絡饋線之線路損失可表示如下

$$P_{TL, \text{loss}} = 3r \cdot \left| \sum_{i=1}^n \left( \frac{P_i - jQ_i}{\sqrt{3} \cdot V_{L, \text{rated}}} \right) \right|^2 \cdot L_{TL} \quad (7-10)$$

式(7-10)中  $L_{TL}$  為連絡饋線之線路長度。

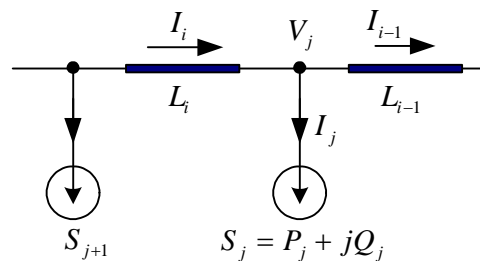


圖 7-3 單端饋電饋線上任一負載之電路模型

利用上述式(7-9)及(7-10)可以在不執行電力潮流的情況下直接計

算事故環路饋線以及連絡饋線之線路總損失，如圖 7-4 所示為事故環路饋線以放射狀架構經連絡饋線轉供之電路模型，一般而言，兩互連配電站有兩種可能的轉供情況，以第六章圖 6-5 為例，配電變電所 A 所屬常閉環路饋線因主變壓器或配電變電所事故停電必須由配電變電所 B 所屬常閉環路饋線轉供，此時事故環路饋線以及連絡饋線之線路總損失可表示如式(7-11)所示；相似地，若由配電變電所 B 所屬常閉環路饋線由配電變電所 A 所屬常閉環路饋線轉供，則線路總損失可表示為式(7-12)，綜合以上兩種情況，可將線路損失指標表示為式(7-13)。

$$TL_{loss}^{A \rightarrow B} = P_{TL,loss} + P_{L,loss} \quad (7-11)$$

$$TL_{loss}^{B \rightarrow A} = P_{TL,loss} + P_{L,loss} \quad (7-12)$$

$$TL_{loss} = TL_{loss}^{A \rightarrow B} + TL_{loss}^{B \rightarrow A} \quad (7-13)$$

由式(7-13)可知，該指標並未考慮正常運轉之常閉環路線路損失，僅以事故環路及連絡饋線所造成之線路損失作為求解近似最佳互連配電站對的目標函數，主要的理由可分為兩個部份加以說明，其一為任一常閉環路之互連配電站，如圖 7-4 之  $V_j$  點，不僅是支援另一事故常閉環路之負載電流匯入點，亦是在事故情況下由正常運轉之常閉環路轉供至事故環路的負載電流匯出處，因此，以電路理論的觀點可以推論，若在事故情況下所求得之事故環路饋線損失為最小之互連配電站對大致可推定為該環路之負載中心點，是故，一旦此一環路由該點支援另一事故環路時，在正常運轉之常閉環路上饋入該處兩側的電流最為均勻，所造成之損失亦最小，據此，可以在不影響最後結論之正確性的情況下，僅考慮事故環路之線路損失而不必計算正常運轉環路之線路損失，此一作法可避免執行過多的電力潮流程式，此為本文所提出方法的主要優點；此外，連絡饋線的長度則為另一個主要的關

鍵因素，因為所有事故環路之負載電流流經聯絡饋線後所產生的損失與線路長度成正比關係，同時，連絡饋線的長短亦反應成本以及施工的難易度，因此不容忽視。

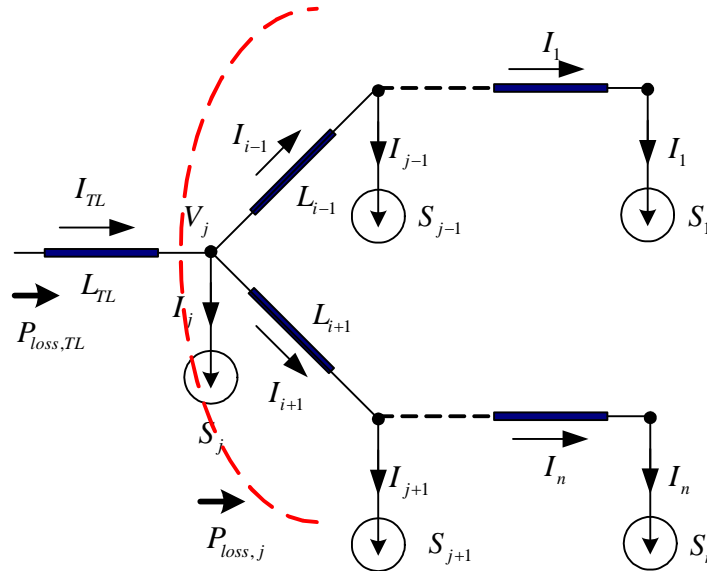


圖 7-4 事故環路以放射狀架構透過連絡饋線轉供之電路模型

在完成所有互連配電站之線路損失計算後，將線路損失合計值由小到大排序，擇優執行電力潮流程式，以精確計算其線路總損失、饋線電流以及線路電壓降等，再以最小化線路損失為目標，並以滿足下列限制條件為前題：

$$VD_k < VD_k^{\max.}; k = 1, 2, \dots, n$$

$$I_j < I_j^S; j = 1, 2, \dots, m$$

上式  $VD_k^{\max.}$  是各母線所允許的最大電壓降限制值，而  $I_j^S$  是饋線段  $j$  之導線的額定安全電流(緊急轉供時允許之最高負載電流)，本文分別取 3% 以及 450 A。

綜合而言，採用本文所提之方法可在執行甚少的電力潮流程式下求解出近似最佳互連配電站對，而且因考量年負載變化，可獲得較為適切的結果。

## B. 實際案例分析

本節以實際案例驗證本文所提之方法，圖 7-5 所示為本文求解近似最佳互連配電站對所採用之範例系統，其中各互連配電站對的實際距離如表 7-3 所示，各母線的年等效負載經計算後列示於表 7-4，以本範例系統為例，利用簡化功率損失模型，計算 Loop A 因電源事故由 Loop B 轉供之線路損失，如表 7-5 所示；相似地，Loop B 因電源事故由 Loop A 轉供之線路損失如表 7-6 所示，經加總後，同時考慮兩種事故情況下之線路損失如表 7-7 所示，從表 7-7 中，擇優取前七組執行電力潮流程式，精確計算各項指標後如表 7-8 所示，表中雖然  $A_1$  及  $B_1$  組合的損失為所有可能組合中的最小者，但因已經違反導線的額定安全電流限制條件，因此，在考慮線路總損失最小的目標以及符合線路電壓降與導線熱容量等的限制條件下，選定近似最佳的互連配電站對為  $A_2$  及  $B_2$ 。

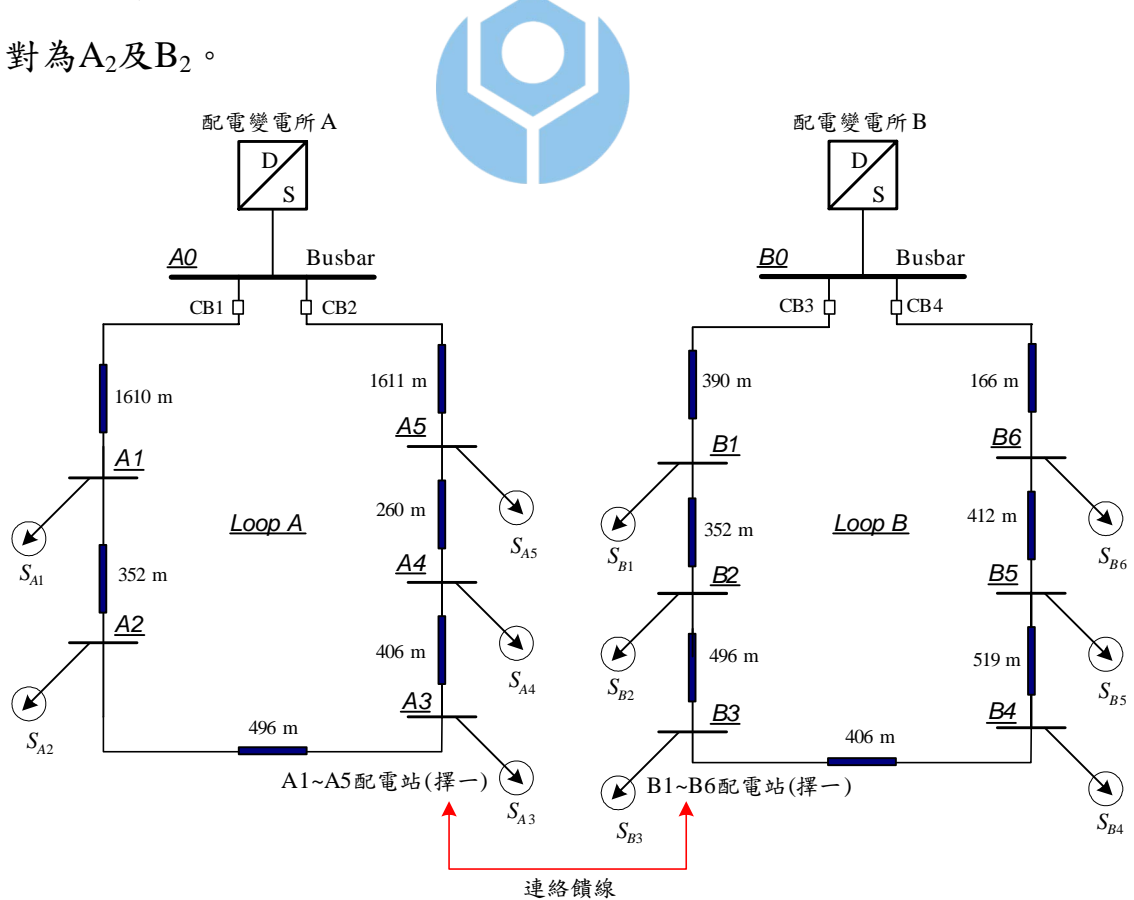


圖 7-5 求解近似最佳互連配電站對所採用之範例系統

表 7-3 標的饋線互連配電站對實際距離

從母線編號	到母線編號	長度	從母線編號	到母線編號	長度
A1	B1	20 m	A3	B4	406 m
A1	B2	352 m	A3	B5	925 m
A1	B3	848 m	A3	B6	1337 m
A1	B4	1254 m	A4	B1	1254 m
A1	B5	1779 m	A4	B2	902 m
A1	B6	2185 m	A4	B3	406 m
A2	B1	352 m	A4	B4	20 m
A2	B2	20 m	A4	B5	519 m
A2	B3	496 m	A4	B6	931 m
A2	B4	902 m	A5	B1	1514 m
A2	B5	1421 m	A5	B2	1162 m
A2	B6	1833 m	A5	B3	666 m
A3	B1	848 m	A5	B4	260 m
A3	B2	496 m	A5	B5	1185 m
A3	B3	20 m	A5	B6	1597 m

表 7-4 標的饋線各母線的年等效負載

母線編號	實功率	虛功率	備註
A1	0	0	備用電源，A1 與 B1 為同一配電站之兩組四路開關
A2	6902 kW	2269 kvar	經常電源
A3	5681 kW	1867 kvar	經常電源
A4	2408 kW	792 kvar	經常電源
A5	741 kW	244 kvar	經常電源
B1	5061 kW	1663 kvar	經常電源
B2	0	0	備用電源，A2 與 B2 為同一配電站之兩組四路開關
B3	0	0	備用電源，A3 與 B3 為同一配電站之兩組四路開關
B4	0	0	備用電源，A4 與 B4 為同一配電站之兩組四路開關
B5	1702 kW	559 kvar	經常電源
B6	4320 kW	1420 kvar	經常電源

表 7-5 Loop A 電源事故由 Loop B 轉供之線路損失估算表

互連配 電站對	事故環路線 路總損失	連絡饋線 總損失	互連配 電站對	事故環路線 路總損失	連絡饋線 總損失
A1⇒B1	29.72 kW	1.132 kW	A3⇒B4	6.37 kW	22.99 kW
A1⇒B2	29.72 kW	19.93 kW	A3⇒B5	6.37 kW	52.37 kW
A1⇒B3	29.72 kW	48.01 kW	A3⇒B6	6.37 kW	75.70 kW
A1⇒B4	29.72 kW	71.00 kW	A4⇒B1	20.14 kW	71.00 kW
A1⇒B5	29.72 kW	100.7 kW	A4⇒B2	20.14 kW	51.07 kW
A1⇒B6	29.72 kW	123.7 kW	A4⇒B3	20.14 kW	22.99 kW
A2⇒B1	9.79 kW	19.93 kW	A4⇒B4	20.14 kW	1.132 kW
A2⇒B2	9.79 kW	1.132 kW	A4⇒B5	20.14 kW	29.38 kW
A2⇒B3	9.79 kW	28.08 kW	A4⇒B6	20.14 kW	52.71 kW
A2⇒B4	9.79 kW	51.07 kW	A5⇒B1	33.47 kW	85.72 kW
A2⇒B5	9.79 kW	80.45 kW	A5⇒B2	33.47 kW	65.79 kW
A2⇒B6	9.79 kW	103.8 kW	A5⇒B3	33.47 kW	37.71 kW
A3⇒B1	6.37 kW	48.01 kW	A5⇒B4	33.47 kW	14.72 kW
A3⇒B2	6.37 kW	28.08 kW	A5⇒B5	33.47 kW	67.09 kW
A3⇒B3	6.37 kW	1.132 kW	A5⇒B6	33.47 kW	90.42 kW

表 7-6 Loop B 電源事故由 Loop A 轉供之線路損失估算表

互連配 電站對	事故環路線 路總損失	連絡饋線 總損失	互連配 電站對	事故環路線 路總損失	連絡饋線 總損失
B1⇒A1	16.51 kW	0.563 kW	B4⇒A1	13.44 kW	35.31 kW
B1⇒A2	16.51 kW	9.91 kW	B4⇒A2	13.44 kW	25.40 kW
B1⇒A3	16.51 kW	23.88 kW	B4⇒A3	13.44 kW	11.43 kW
B1⇒A4	16.51 kW	35.31 kW	B4⇒A4	13.44 kW	0.563 kW
B1⇒A5	16.51 kW	42.64 kW	B4⇒A5	13.44 kW	7.32 kW
B2⇒A1	15.59 kW	9.91 kW	B5⇒A1	12.17 kW	50.10 kW
B2⇒A2	15.59 kW	0.563 kW	B5⇒A2	12.17 kW	40.02 kW
B2⇒A3	15.59 kW	13.97 kW	B5⇒A3	12.17 kW	26.05 kW
B2⇒A4	15.59 kW	25.40 kW	B5⇒A4	12.17 kW	14.62 kW
B2⇒A5	15.59 kW	32.72 kW	B5⇒A5	12.17 kW	33.37 kW
B3⇒A1	14.44 kW	23.88 kW	B6⇒A1	14.72 kW	61.53 kW
B3⇒A2	14.44 kW	13.97 kW	B6⇒A2	14.72 kW	51.62 kW
B3⇒A3	14.44 kW	0.563 kW	B6⇒A3	14.72 kW	37.65 kW
B3⇒A4	14.44 kW	11.43 kW	B6⇒A4	14.72 kW	26.22 kW
B3⇒A5	14.44 kW	18.76 kW	B6⇒A5	14.72 kW	44.97 kW



表 7-7 同時考量兩種事故之線路損失估算表

互連配電站對	事故環路線路總損失	連絡饋線總損失	總損失	排序
A1⇔B1	46.23 kW	1.695 kW	47.925 kW	<b>4</b>
A1⇔B2	45.31 kW	29.84 kW	75.15 kW	11
A1⇔B3	44.16 kW	71.89 kW	116.05 kW	20
A1⇔B4	43.16 kW	106.31 kW	149.47 kW	25
A1⇔B5	41.89 kW	150.8 kW	192.69 kW	29
A1⇔B6	44.44 kW	185.23 kW	229.67 kW	30
A2⇔B1	26.3 kW	29.84 kW	56.14 kW	<b>6</b>
A2⇔B2	25.38 kW	1.695 kW	27.075 kW	<b>1</b>
A2⇔B3	24.23 kW	42.05 kW	66.28 kW	8
A2⇔B4	23.23 kW	76.47 kW	99.7 kW	15
A2⇔B5	21.96 kW	92.62 kW	114.58 kW	19
A2⇔B6	24.51 kW	155.42 kW	179.93 kW	28
A3⇔B1	22.88 kW	71.89 kW	94.77 kW	13
A3⇔B2	21.96 kW	42.05 kW	64.01 kW	<b>7</b>
A3⇔B3	34.58 kW	1.695 kW	36.275 kW	<b>3</b>
A3⇔B4	19.81 kW	34.42 kW	54.23 kW	<b>5</b>
A3⇔B5	18.54 kW	78.42 kW	96.96 kW	14
A3⇔B6	21.09 kW	113.35 kW	134.44 kW	21
A4⇔B1	36.65 kW	106.31 kW	142.96 kW	22
A4⇔B2	35.73 kW	76.47 kW	112.2 kW	17
A4⇔B3	34.58 kW	34.42 kW	69 kW	10
A4⇔B4	33.58 kW	1.695 kW	35.275 kW	<b>2</b>
A4⇔B5	32.31 kW	44 kW	76.31 kW	12
A4⇔B6	34.86 kW	78.93 kW	113.79 kW	18
A5⇔B1	49.98 kW	128.36 kW	178.34 kW	27
A5⇔B2	49.06 kW	98.51 kW	147.57 kW	24
A5⇔B3	47.91 kW	56.47 kW	104.38 kW	16
A5⇔B4	46.91 kW	22.04 kW	68.95 kW	9
A5⇔B5	45.64 kW	100.46 kW	146.1 kW	23
A5⇔B6	48.19 kW	105.14 kW	153.33 kW	26

表 7-8 候選互連配電站對各項指標模擬結果及評比

母線編號	$TL_{loss}$	$I_{max.}$	$VD_{max.}$	$I_{TL}$	評比
B2⇔A2	245.0 kW	438 A	1.17 %	417 A	☆☆☆
A3⇔B3	251.5 kW	364 A	1.1 %	418 A	☆☆
A4⇔B4	252.0 kW	415 A	1 %	421 A	☆
A1⇔B1	237.8 kW	492 A	1.56 %	419 A	×
A3⇔B4	284.0 kW	416 A	1.21 %	421 A	
A2⇔B1	264.5 kW	493 A	1.56 %	421 A	×
A3⇔B2	288.0 kW	440 A	1.36 %	421 A	

## 7.4.2 主環路開關投入注意事項

常閉環路饋線沿線設有多個配電站，每一個配電站均裝設有一可自動啟斷故障電流的四路環路開關設備，該四路開關分別連接至主饋線與負載或支路引出端，在常態運轉情況下，各開關均處於投入狀態；一旦線路發生故障，則位於主饋線上之責任環路開關將立即跳脫以隔離故障區域，使全饋線負載不受線路故障影響而停電，在此情況下原常閉環路饋線將暫以兩放射型饋線供電，因此系統可靠度將因之降低，此時若再發生線路故障，則必然會有負載因之停電，因此，故障饋線段應儘速修復，以恢復原常閉環路之結構及性能。但在故障排除後，主環路開關須在有載狀態下投入，開關投入瞬間所產生的暫態電壓、電流是否會過大而危及開關設備或造成保護設備誤動作等，值得特別加以重視，是故，有必要針對此一問題深入探討，以釐清疑慮。欲掌握開關投入瞬間電壓、電流之暫態行為，首先必須求得該線路開關投入前，由該開關設備兩端點往系統看入之戴維寧等效電路，即可推導出開關投入瞬間之暫態電壓及電流，且該暫態電壓及電流與開關投入前之兩側電壓大小、相角及等效阻抗有關。一般而言，由於由 Type I 型態之常閉環路上任一主環路開關開啟後其兩端之電壓差及

相角差均甚小，因此在故障排除後，原跳脫開關欲在有載情況下投入將不至於造成暫態電壓、電流及穩態環流過大問題，進而影響系統的正常運轉。

### 7.4.3 有載下負載轉供之條件

典型的 Type I、Type II.1 及 Type II.2 三種常閉環路系統在緊急或必要時得藉由連絡饋線上連絡開關之閉合進行由不同配電變電所所饋供之兩條常閉環路間之負載轉供作業。配電變電所一次側的短路容量、電壓大小及相角將隨其引接自高壓網路的位置不同而有所差異，因此，若因故障停電而需進行轉供則因連絡斷路器兩側中，一側有電另一側無電，故可不需考慮前述因素；然而，若因故需在不停電情況下進行轉供，則因二常閉環路饋線皆在有載情況下，是故必須考慮連絡開關二端之電壓差及相角差，以判斷是否可以在有載下投入。此一情況之開關閉合瞬間形同線路發生串聯短路事故，因此，開關閉合瞬間至穩態期間，其電流大小與開關二端電壓大小及相角差成正比，與等效阻抗值成反比，而其方向係由電壓較高的一端流入電壓較低之一端，在最嚴重的情況下，其暫態電流將可達穩態電流之 $\sqrt{3}$ 倍，由此可知，若連絡斷路器投入後，流過連絡斷路器的穩態電流在允許的範圍內，則連絡斷路器在有載投入時所產生之暫態現象對系統及開關設備之影響並不大。因此我們可以把關切的重心放在穩態電流上，穩態電流對系統所造成之環流影響可能相當大，例如若兩關係配電變電所一次側電源來自不同電壓階層之輸電網路，亦或兩關係配電變電所之負載量差異甚大，則可能使得轉供前連絡斷路器兩端點之電壓差及相角差偏大；除此之外，互連前互連兩側的三相負載的不平衡程度及其相對相別，亦可能導致互連後三相間電力潮流之明顯變化，因而產生零

序電流，造成小能量過電流保護電驛（low energy over current relay, LCO）之誤動作等，致使得連絡斷路器無法順利互連。

## 7.5 本章結論

本章綜合整理、分析饋線型態升級對原系統及用戶所造成之衝擊與影響，並且研擬相關配套措施，此一結果可提供電力公司從事饋線型態由原放射型或常開環路型升級為常閉環路型之重要參考。最後，具體建議配電饋線型態擬由既有之常開環路型、放射型或放射連絡型升級為常閉環路型，應優先考慮 Type I 常閉環路系統，此一形式之系統在設計上以饋線發生事故不停電為原則，然若主變壓器發生事故則必須實施停電負載轉供，將負載轉移至鄰近相互支援之配電變電所；若對於供電可靠度要求更高之區域，則可考慮選擇 Type II 常閉環路系統，此種型式之供電可靠度比前者更高，設計之原則為單一主變壓器事故不停電，僅配電變電所事故情況下需實施停電負載轉供，且該系統又可區分為兩種架構，其一為 Type II.1，其二為 Type II.2，系統特性以後者較佳，但技術層次較高。至於 Type III 設計的原則為單一配電變電所事故不停電，因此供電可靠度不可諱言為所有型態中最高者，然不論就成本及技術上的考量不適合貿然實施，可設定為配電饋線型態長期發展之目標。另外，對於系統的升級方式雖可採循序漸進方式分年編列預算執行，但建議採用分區在各分區域同時執行之方式進行，以便能採用典型的常閉環路系統，如此則一方面可使系統簡潔且運轉、維護容易，另一方面可節省過渡期的暫時性裝置的費用；然若採常閉環路系統與常開環路或放射連絡系統並存，雖亦屬可行，但整個系統將較為複雜且運轉、維護亦較為困難。

## 第八章 結論與未來研究方向

### 8.1 結論

本論文已針對配電饋線由既設放射型升級為常閉環路型之相關問題作一深入的探討與分析。首先，分析、整理出四種可能之常閉環路饋線型態，並有系統地將饋線升級的影響因素區分為饋線、主變壓器以及變電所等三個層面，加以深入地探討與分析，最後，以簡明的圖表呈現升級至此四種常閉饋線型態各因素之影響情形。另外，本論文亦利用簡單而直接的方法—短路容量法來評估饋線沿線短路容量因配電饋線升級所造成之影響，藉由此法推導出之饋線沿線短路容量公式，可輕易繪製出不同饋線型態之饋線沿線短路容量曲線，並藉由改變相關參數獲得更全面性的結果，綜合而言，在各種不同的系統條件下均以 Type I 的短路容量增加倍率最小；其次為 Type II.1；最大者為 Type II.2 或 Type III，此一模擬結果可用以驗證原系統及其用戶之保護設備的啟斷容量是否足夠。此外，更進一步地模擬、分析各因素之參數量—主變壓器阻抗及其負載，以及饋線長度、饋線負載量及其負載分佈，對配電饋線升級前後以及升級後在非常態運轉情況下之主變壓器負載量以及饋線沿線電流與電壓變化等相關運轉特性的影響，據此，可以更具體地說明主變壓器額定容量、導線安培容量是否足夠，以及線路電壓降是否符合規定，綜合各項模擬結果可得知，Type I 所受的影響因素最少且升級後對系統運轉特性的衝擊亦最少；此外，四種型態都必須特別注意在非常態運轉情況下可能導致主變壓器超載、導線安培容量不足或線路電壓降有過大之虞。另外，亦特別探討配電饋線升級為常閉環路後在不額外輸送兩關係主變之負載差於兩互連饋線之間的前提下，由於常閉環路饋線相較於放射型饋線其電流自然地



呈最佳的分配，因此對降低線路損失具有正面的助益，模擬結果亦顯示二互連饋線的負載差異愈大且兩饋線之線路長度同時也愈長，則互連形成常閉環路後對降低線路損失的助益最大，事實上，此一結果顯示兩條同屬於郊區之放射型饋線互連形成常閉環路相較於都會區饋線對降低線路損失的改善幅度相對較大。除此之外，本論文亦提出四種含有負載轉供機制較為可行之常閉環路系統架構，並研擬在理想情況下之主變壓器與饋線常態運轉時之最高利用因數及其運轉操作方式，由分析結果可得知，為了確保在各種單一事故的情況下其所屬負載皆能全載轉供，主變壓器及饋線之常態運轉最高利用因數均偏低。另外，為了求解兩常閉環路饋線間之最適互連配電站，本論文提出一快速且準確的求解方法，在求解步驟方面，首先以考慮年等效負載並配合簡化功率損失之饋線模型估算線路損失，再以此估算值為基礎經排序後擇優執行電力潮流程式，最後綜合考量各項指標在不違反相關限制條件下，以最小化線路損失為目標求解兩常閉環路饋線間之最適互連配電站，此一方法可大幅度簡化計算過程及節省計算時間。最後，本論文綜合歸納配電饋線升級所造成之影響與衝擊於表 7-1，並擬定相關配套措施於表 7-2，在相關配套措施方面必須特別注意所有主饋線上的開關必須全數更換為具有啟斷其故障電流能力的斷路器，而且保護協調亦較為複雜，必須採用更具彈性且功能更強大之智慧型電子裝置，並規劃適切地保護協調方式，因此，建置成本較放射型饋線高。

綜合而言，配電饋線由既設放射型升級為常閉環路型時以 Type I 最簡單且可行性最高，此一系統型態亦已被台電採用並已完成多條常閉環路饋線，到目前為止，運轉情況良好。事實上，另外三種型態的供電可靠度均優於 Type I，然而在既設系統架構下升級時必須採行相



對較多的配套措施方能達成，是故，若在新設科學園區或供電可靠度要求更高的新興供電區域採行，將較具可行性。

## 8.2 未來研究方向

本論文在配電饋線型態升級上的研究，主要針對其影響因素、對原系統所造成之影響與衝擊，以及必須採行之相關配套措施等作深入的探討與分析，雖已獲至初步的成果；然而，常閉環路相關問題尚待研究者仍多，在此不揣淺陋提出後續研究方向，供有興趣者參考。

1. 應用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)於配電常閉環路系統之規劃、設計研究。
2. 考慮成本效益及供可靠度之常閉環路系統規劃、設計研究。
3. 利用最佳化方法，如基因演算法(Genetic Algorithms, GA) 或進化演算法(Evolutionary Algorithms, EA)等尋求常閉環路饋線之最佳負載轉供策略。

## 參考文獻

- [1] T. H. Chen and J. T. Cherng, "Design of a TLM Application Program Based on an AM/FM/GIS System," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, pp. 904-909, August (1998).
- [2] P. Heine, A. Lehtonen and E. Lakervi, "Voltage Sag Analysis Taken Into Account in Distribution Network Design," IEEE Power Tech Proceedings, Porto , Vol. 3 , 10-13 September (2001).
- [3] M. Lehtonen, A. Matsinen, E. Antila, J. Kuru, P. Vuorenmaa, E. Matinlassi, and S. Pettissalo, "Automatic Fault Management in Distribution Networks," 16<sup>th</sup> International Conference and Exhibition on Electricity Distribution Part 1: Contributions CIRED, No. 482, Vol. 3, 18-21 June (2001).
- [4] Y. T. Chao, S. T. Lee, H. C. Chang and T. H. Chen, "An Improvement Project for Distribution Transformer Load Management in Taiwan," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, pp. 875- 881, May (2003).
- [5] S. Kearney, "How Outage Management Systems Can Improve Customer Service," IEEE 8<sup>th</sup> International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation & Live-Line Maintenance, pp. 172-178, 26-30, April (1998).
- [6] D. C. Nelson, "Evaluation, Selection and Implementation of An AM/FM System," the 37th Annual Conference, Rural Electric Power Conference, pp. B1/1-B1/8, 25-27 April (1993).
- [7] T. E. Lee, C. S. Chen, Y. M. Tzeng, M. S. Kang, C. C. Lee, J. S. Wu, T. S. S. Liu and Y. M. Chen, "The Application of AM/FM System to Distribution Contingency Load Transfer," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, pp. 1126-1135, April (1995).
- [8] Y. L. Ke, "Application of GCN Approach for Power Distribution System Contingency Load Transfer," IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, Vol. 150, pp. 717-721, November (2003).
- [9] C. C. Liu, S. J. Lee and S. S. Venkata, "An Expert System

- Operational Aid for Restoration and Loss Reduction of Distribution Systems,” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, pp. 619-626, May (1988).
- [10] Youman Deng, Le Cai and Yixin Ni, “Algorithm for Improving the Restorability of Power Supply in Distribution Systems,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.18, pp. 1497-1502 (2003).
- [11] J. Marks, “New Technology Improves Loop-Feeder Sectionalizing,” Electrical World, pp.34-36, February (1997).
- [12] Y. Fukuyama and H. D. Chiang, “A parallel genetic algorithm for service restoration in electric power distribution systems,” IEEE International Conference on Fuzzy Systems and The Second International Fuzzy Engineering Symposium, vol.1, pp. 275-282.
- [13] J. Reson, “Customer Demand for Quality Spur Feeder Sectionalizing,” Electrical World, pp.32-35, November (1990).
- [14] D. Shirmohammadi, “Service Restoration in Distribution Networks via Network reconfiguration,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, pp. 952-958, April (1992).
- [15] E. Lakervi and E. J. Holmes, Electricity distribution network design, 2nd ed., London, United Kingdom: Perter Peregrinus Ltd., pp. 176-177 (1995).
- [16] A. A. Chowdhury and D. O. Koval, “Value-Based Distribution System Reliability Planning,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 34, No. 1, pp. 23-29, January (1998).
- [17] R. E. Brown and J. R. Ochoa, “Distribution System Reliability: Default Data and Model Validation,” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, pp. 704-709 (1998).
- [18] R. E. Brown, S. Gupta, R. D. Chricie, S. S. Ventata, and R. Fletcher, “Distribution System Reliability Assessment Using Hierarchical Markvo Modeling,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, pp. 1929-1934 (1996).
- [19] J. G. Tine and D. A. Walder, “Improved Distribution System Reliability at Northeast Utilities: a Case History,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 2, pp. 689-696, April (1993).
- [20] 陳在相、黃維澤，「配電系統型態與變電所饋線數選用原則與

效益分析—總計畫及子計畫一：配電系統型態及其與配電自動化之互動研究」，國科會電力科技產業學術合作研究計畫，完成報告，NSC 89-TPC-011-001，國立臺灣科技大學，台北，25 August (2000).

- [21] James J. Burke, *Power Distribution Engineering: fundamentals and applications*, Marcel Dekker Inc (1994).
- [22] Barry. Pagel, “Energizing International Drive,” *Transmission & Distribution World*, pp.18-34, April (2000).
- [23] J. C. Appleyard, D. A. Myers and J. K. Niemira, “Innovations in Use of Microprocessor Relays and Controls for Improved Reliability on the Distribution System,” in *Proc. 2001 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition*, Vol. 1, pp. 293-298 (2001).
- [24] J. C. Tobias, F. Sautriau, D. J. Hull and S. Fabray, “Improved Quality of Supply in MV Distribution Networks Using Directional Blocking Scheme,” *CIREN 97*, IEE Publication No. 438, pp. 4.29.1-5 (1997).
- [25] R.P. Leeuwerke, A.L. Brayford, A. Robinson, J.C. Tobias, “Developments in ring main unit design for improved MV network performance,” *Power Engineering Journal*, Vol. 14 Issue: 6, pp. 270-277, December (2000).
- [26] J. C. Tobias, R. P. Leeuwerke, A. L. Brayford and A. Robinson, “The Use of Sectionalising Circuit Breakers in Urban MV Distribution Networks,” *Trends in Distribution Switchgear*, IEE Publication No. 459, pp. 102-108 (1998).
- [27] T. C. Yu, *Principles and Design of Low Voltage Systems*, Singapore: Byte Power Publications, pp. 13-14 (1996).
- [28] W. T. Huang, T. H. Chen, G. C. Pu, Y. F. Hsu and T. Y. Guo, “Assessment of Upgrading Existing Primary Feeders from Radial to Normally Closed Loop Arrangement,” in *Proc. 2002 IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conf.*, pp. 2123-2128 (2002).
- [29] T. H. Chen, W. T. Huang, G. C. Pu, Y. F. Hsu and T. Y. Guo, “Feasibility Study of Upgrading Primary Feeders from Radial and Open-Loop to Normally Closed-Loop Arrangement,” *IEEE*

- Transactions on Power Systems, pp. 1308-1316 (2004).
- [30] T. Gönen, *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill, New York, (1986).
- [31] Yuen, M. H., *Short circuit ABC*, Gas Industries Association, San Francisco, (1975).
- [32] Chen, T. H., "Complex short circuit MVA method for power system studies," *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 141, pp. 81-84 (1994).
- [33] Chen, T. H. and Chuang, H. J., "Applications of the complex short-circuit MVA method to power flow studies," *Electric Power Systems Research*, pp.135-143 (1996).
- [34] 陳在相、辜志承、黃維澤、林金順、蔡金龍、于尚禮、蒲冠志、許炎豐，「配電系統採常閉環路可行性研究」，臺灣電力股份有限公司八十九年研究計劃 531-2103-06，計畫編號(GRB 檔)：88-2103-07，完成報告，研發建字第 1225 號，電機建字第 0095 號，台灣科技大學，台北，31 October (1999).
- [35] 陳在相、辜志承、黃維澤、沈混源、游伯煌、趙恆寬、蒲冠志、許炎豐，「配電系統採同一主變常閉環路之建置」，臺灣電力股份有限公司八十九年研究計劃，計畫編號(GRB 檔)：2103-13，期末報告，研發建字第 1478 號，電機建字第 0136 號，國立臺灣科技大學，台北，31 May (2001).
- [36] T. H. Chen and S. W. Wang, "Applications of simplified bi-directional feeder models for accelerating the voltage-drop and power-loss calculations," in *Proc. 1995 Energy Management and Power Delivery Conf.* on vol. 2, pp. 708-713 (1995).
- [37] T. H. Chen and S. W. Wang, "Simplified bidirectional-feeder models for distribution-system calculations," *Proc. IEE*, vol. 1425, pp. 459-467, September (1995).
- [38] N. Vemptati, R. R. Shoults, M. S. Chen and L. Schwobel, "Simplified Feeder modeling for Load Flow calculations," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. PWRS-2, no. 1, pp. 168-174, February (1987).
- [39] E. R. Ramos, J. L. Martinez-Ramos, A. G. Exposito and A. J. U.

- Salado, "Optimal Reconfiguration of Distribution Networks for Power Loss Reduction," *Power Tech Proceedings*, 2001 IEEE Porto, Vol. 3, 10-13 September (2001).
- [40] M. E. Baran and F. F. Wu, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, Issue: 2, pp. 1401-1407, April (1989).
- [41] A. Merlin and H. Back, "Search for a Minimal-Loss Operating Spanning Tree Configuration in an Urban Power Distribution System," *Proc. 5<sup>th</sup> Power System Computation Conference (PSCC)*, Cambridge, United Kingdom, pp.1-18, (1975).
- [42] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, "Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Line Losses Reduction," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, No. 2, pp. 1492-1498, April (1989).
- [43] R. Taleski and D. Rajicic, "Distribution Network Reconfiguration for Energy Loss Reduction," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 12, No. 1, pp. 398-406, February (1997).
- [44] W. M. Lin and H. C. Chin, "A New Approach for Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction and Service Restoration," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 13, No. 3, pp. 870-875, July, (1998).
- [45] C. S. Chen, J. S. Wu and Y. N. Chang, "Criteria for Interfeeder Switching in Distribution Systems," *IEE Proceedings-C*, Vol. 135, No. 5, pp. 461-467 (1988).
- [46] Y. T. Hsiao and C. Y. Chien, "Multiobjective optimal feeder reconfiguration," *IEE Proceedings- Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 148, Issue: 4, pp. 333 – 336, July (2001).
- [47] Y. Zhao, J. Li and D. Xia, "Distribution network optimal operation for loss reduction and harmonic mitigation," *Proceedings of Power System Technology, PowerCon 2002*, Vol. 4, pp. 2522 – 2525, October (2002).
- [48] T. H. Chen and J. T. Cherng, "Optimal Phase Arrangement of Distribution Transformers Connected to a Primary Feeder for System



- Unbalance Improvement and Loss reduction Using a Genetic Algorithm,” *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 15, Issue: 3, pp. 994-1000, August (2000).
- [49] W. M. Lin, Y. S. Su, S. C. Chang, M. T. Tsay and S. J. Chen, “The optimal loss reduction of distribution feeder based on special distribution transformers reconnection using genetic algorithm,” *Proceedings of Power System Technology, PowerCon 2000*, , Vol. 3, pp. 1413-1418, December (2000).
- [50] G. Levitin, A. Kalyuzhny, A. Shenkman and M. Chertkov, “Optimal capacitor allocation in distribution systems using a genetic algorithm and a fast energy loss computation technique,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 15 , Issue: 2 , pp. 623-628, April (2000).
- [51] B. A. de Souza, Hd. N. Alves and H. A. Ferreira, “Microgenetic algorithms and fuzzy logic applied to the optimal placement of capacitor banks in distribution networks,” *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 19, Issue: 2, pp. 942-947, May (2004).
- [52] M.H. Haque, “Capacitor placement in radial distribution systems for loss reduction,” *IEE Proceedings- Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 146, Issue: 5, pp. 501-505, September (1999).
- [53] T. C. Yu, *Principles and Design of Low Voltage Systems*, Singapore: Byte Power Publications, pp. 13-14, (1996).
- [54] B. Pagel, “Energizing International Drive,” *Transmission & Distribution World*, pp.18-34, April (2000).
- [55] R. P. Leeuwerke, A. L. Brayford, A. Robinson, and J. C. Tobias, “Developments in ring main unit design for improved MV network performance,” *Power Engineering Journal*, Vol. 14 , Issue: 6, pp.270- 277,December (2000).
- [56] J. C. Tobias, F. Sautriau, D. J. Hull and S. Fabray, “Improved Quality of Supply in MV Distribution Networks Using Directional Blocking Scheme”, *CIREN 97*, IEE Publication No. 438, pp. 4.29.1-5, (1997).
- [57] Wei-Tzer Huang, Tsai-Hsiang Chen, Guan-Chih Pu, Yen-Feng Hsu and Tzong-Yih Guo, “Assessment of Upgrading Existing Primary

- Feeders from Radial to Normally Closed Loop Arrangement,” *Proceedings of the IEEE / PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific*, Yokohama, Japan, pp. 2123-2128, October (2002).
- [58] Wei-Tzer Huang, Tsai-Hsiang Chen, Jyh-Cherng Gu, Heng-Kuan Chao, Guan-Chih Pu, Yen-Feng Hsu and Tzong-Yih Guo, “Analysis of the Operating Characteristics of Normally Closed Rings Fed by the same Main Transformer,” *Proceedings of the 22nd Symposium on Electrical Power Engineering*, Kaoshiung, Taiwan, pp. 869-872, November (2001).
- [59] Tsai-Hsiang Chen, Jyh-Cherng Gu, Wei-Tzer Huang, Heng-Kuan Chao, Kun-Yuan Shen, Tsung-Ling Chuang, Guan-Chih Pu and Yen-Feng Hsu, “Analysis of Characteristics of Normally Closed Loop Primary Feeders Fed by Distinct Transformers in a Substation,” *Proceedings of the 23<sup>rd</sup> Symposium on Electrical Power Engineering*, Taoyuan, Taiwan, pp. 1046-1050, December (2002).
- [60] Jyh-Cherng Gu, Tsai-Hsiang Chen, Kun-Yuan Shen, Wei-Tzer Huang, Tsung-Ling Chuang, Heng-Kuan Chao, Tzong-Yih Guo, Guan-Chih Pu, Yen-Feng Hsu, “Protection Coordination Analysis of Closed-Loop Distribution System,” *Proceedings of the 23<sup>rd</sup> Symposium on Electrical Power Engineering*, Taoyuan, Taiwan, pp. 1026-1030, December (2002).
- [61] Willian H. Kersting, *Distribution System Modeling and Analysis*, CRC Press, (2002).
- [62] Kao Chen, *Industrial power distribution and illuminating systems*, Marcel Dekker Inc., (1990).
- [63] 陳在相、辜志承、黃維澤、沈混源、趙恆寬、莊宗霖、蒲冠志、許炎豐，「配電系統採同一變電所不同主變常閉環路建置研究」，臺灣電力股份有限公司九十年研究計劃，計畫編號 (GRB 檔)：2103-05，期末報告，研發建字第 1478 號，電機建字第 0136 號，國立臺灣科技大學，台北，31 May (2002).
- [64] 李宏任，實用保護電驛，全華科技圖書股份有限公司，April (2000).

- [65] 成政田，配電系統個別相負載計算技巧及其應用，國立台灣科技大學博士論文，民國八十八年。
- [66] 王錫文，配電系統規劃與分析用之簡化饋線模型推導與應用，國立台灣工業技術學院博士論文，民國八十五年。



## 作者簡介

### ◎ 個人資料

姓名：黃維澤 (Wei-Tzer Huang)

出生日期：民國 60 年 8 月 15 日

出生地：台灣省南投縣

### ◎ 主要學歷

- 國立台灣科技大學 電機工程研究所博士班 (88.9 ~ 迄今)
- 國立台灣科技大學 電機工程研究所碩士 (86.9 ~ 88.6)
- 國立台灣工業技術學院 電機工程技術系學士 (84.9 ~ 86.6)

### ◎ 工作經歷

- 私立智光商工資訊科 教師 (87.8 ~ 88.7)
- 私立建國技術學院電機工程系 講師 (89.9 ~ 93.7)
- 私立建國科技大學電機工程系 講師 (93.8 ~ 93.10)
- 私立建國科技大學電機工程系 助理教授 (93.11 ~ 迄今)

### ◎ 論文著作

#### 一、期刊論文

1. Tsai-Hsiang Chen, **Wei-Tzer Huang**, Jyh-Cherng Gu, Guan-Chih Pu, Yen-Feng Hsu, and Tzong-Yih Guo, " Feasibility Study of Upgrading Primary Feeders from Radial and Open-Loop to Normally Closed-Loop Arrangement," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, No. 3, pp. 1308-1316, August **2004**.
2. Tsai-Hsiang Chen, Jyh-Cherng Gu, **Wei-Tzer Huang**, Kun-Yuan Shen, Heng-Kuan Chao, Tsung-Ling Chuang, Guan-Chih Pu, Yen-Feng Hsu, " Study on the construction of normally closed-loop primary circuits fed by two main transformers in the same substation," Monthly Journal of Taipower's Engineering, Vol. 655, Taipei, Taiwan, pp. 40-66,

March 2003.

3. Tsai-Hsiang Chen, Jyh-Cherng Gu, **Wei-Tzer Huang**, Kun-Yuan Shen, Heng-Kuan Chao, Tsung-Ling Chuang, Guan-Chih Pu, Yen-Feng Hsu, Tzong-Yih Guo, "Construction of Closed-loop Distribution Circuits Fed by a Main Transformer," Monthly Journal of Taipower's Engineering, Vol. 644, Taipei, Taiwan, pp. 26-63, April 2002.
4. Tsai-Hsiang Chen, Jyh-Cherng Gu, **Wei-Tzer Huang**, Chin-Shun Lin, Chin-Lung Tsai, Sun-Li Yu, Tzong-Yih Guo, Guan-Chih Pu and Yen-Feng Hsu, "Feasibility Study of applying Close Loop in Taipower Distribution Systems," Monthly Journal of Taipower's Engineering, Vol. 625, Taipei, Taiwan, pp. 50-85, September 2000.
5. Tsai-Hsiang Chen and **Wei-Tzer Huang**, " Evaluation of the Variations of Short-Circuit Capacities Along a Feeder Due to Distribution Network Upgrading," Submitted for IEE Proceedings Generation, Transmission & Distribution.

## 二、會議論文

1. Tsai-Hsiang Chen and **Wei-Tzer Huang**, " Evaluation of the Variations of Short-Circuit Capacities Along a Feeder Due to Distribution Network Upgrading," 2005 IEEE PES General Meeting, 12-16 June 2005, San Francisco, California, USA.
2. **Wei-Tzer Huang**, Tsai-Hsiang Chen, Guan-Chih Pu, Yen-Feng Hsu and Tzong-Yih Guo, " Assessment of Upgrading Existing Primary Feeders from Radial to Normally Closed Loop Arrangement," *Proceedings of IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific*, 6-10 October 2002, Yokohama, Japan, pp. 2123-2128.
3. Tsai-Hsiang Chen and **Wei-Tzer Huang**, " Analysis of System Imbalance due to Removal of a Failed Capacitor Unit in an Ungrounded Y-connected Capacitor Bank with One Series Group per Phase," *Proceedings of the 35th Universities' Power Engineering Conference (UPEC 2000)*, 6-8 September 2000, Belfast, Northern Ireland, UK.
4. Tsai-Hsiang Chen, **Wei-Tzer Huang** and Jeng-Tyan Cherng, "Analysis

- of reversed power flow in an open wye-open delta transformer bank," *Proceedings of the IASTED International Conference on Power and Energy Systems (PES'99)*, 8-10 November **1999**, Las Vegas, Nevada, USA, pp. 285-289.
5. **Wei-Tzer Huang** and Tsai-Hsiang Chen, " Study on Loss Reduction on Distribution Systems by Upgrading Voltage-Drop-Limited Feeders form Open-Loop to a Normally Closed-Loop Arrangement," *Proceedings of the 25th Symposium on Electrical Power Engineering*, December **2004**, Tainan, Taiwan, pp. 1061-1065.
  6. Zhen-Kai Lin, Tsai-Hsiang Chen and **Wei-Tzer Huang**, " Study on the Secondary Distribution System Configurations," *Proceedings of the 25th Symposium on Electrical Power Engineering*, December **2004**, Tainan, Taiwan, pp. 313-317.
  7. **Wei-Tzer Huang** and Tsai-Hsiang Chen, " Study on Line Loss Reduction by Upgrading the Primary Feeder form Radial to Normally Closed-Loop Arrangement," 九十三年節約能源論文發表會, Taipei, Taiwan, May, **2004**, pp. 153-164.
  8. Tsai-Hsiang Chen, Yi-Jun Huang and **Wei-Tzer Huang**, " Study on the Integration of Substation Bus Schemes and Primary Distribution Feeder Arrangements," *Proceedings of the 24th Symposium on Electrical Power Engineering*, December **2003**, Tainan, Taiwan, pp. 822-826.
  9. Tsai-Hsiang Chen and **Wei-Tzer Huang**, " Study on the Nature and Operation Schemes of Typical Two-Substation Closed Rings Fed by the Same Transformer," *Proceedings of the 24th Symposium on Electrical Power Engineering*, December **2003**, Tainan, Taiwan, pp. 1269-1273.
  10. **Wei-Tzer Huang**, Tsai-Hsiang Chen, Guan-Chih Pu and Yen-Feng Hsu, "The Impacts and Required Supporting Measures of Upgrading Primary Feeders from Open-Loop to Normally Closed-Loop Arrangement," *Proceedings of the 23rd Symposium on Electrical Power Engineering*, December **2002**, Taoyuan, Taiwan, pp. 1042-1045.
  11. Tsai-Hsiang Chen, Jyh-Cherng Gu, **Wei-Tzer Huang**, Heng-Kuan Chao, Kun-Yuan Shen, Tsung-Ling Chuang, Guan-Chih Pu and Yen-



- Feng Hsu, "Analysis of Characteristics of Normally Closed Loop Primary Feeders Fed by Distinct Transformers in a Substation," *Proceedings of the 23rd Symposium on Electrical Power Engineering*, December **2002**, Taoyuan, Taiwan, pp. 1046-1050.
12. Jyh-Cherng Gu, Tsai-Hsiang Chen, Kun-Yuan Shen, **Wei-Tzer Huang**, Tsung-Ling Chuang, Heng-Kuan Chao, Tzong-Yih Guo, Guan-Chih Pu, Yen-Feng Hsu, "Protection Coordination Analysis of Closed-Loop Distribution System," *Proceedings of the 23rd Symposium on Electrical Power Engineering*, December **2002**, Taoyuan, Taiwan, pp. 1026-1030.
  13. **Wei-Tzer Huang**, Tsai-Hsiang Chen, Jyh-Cherng Gu, Heng-Kuan Chao, Guan-Chih Pu, Yen-Feng Hsu and Tzong-Yih Guo, "Analysis of Impacts of Dispersed Generation System on the Normally Closed Rings in a Primary Distribution Network," *Proceedings of the 22nd Symposium on Electrical Power Engineering*, November **2001**, Kaoshiung, Taiwan, pp. 859-863.
  14. **Wei-Tzer Huang**, Tsai-Hsiang Chen, Jyh-Cherng Gu, Heng-Kuan Chao, Guan-Chih Pu, Yen-Feng Hsu and Tzong-Yih Guo, " Analysis of the Operating Characteristics of Normally Closed Rings Fed by the same Main Transformer," *Proceedings of the 22nd Symposium on Electrical Power Engineering*, November **2001**, Kaoshiung, Taiwan, pp. 869-872.
  15. **Wei-Tzer Huang**, Tsai-Hsiang Chen, Jyh-Cherng Gu, Chin-Shun Lin, Tzong-Yih Guo, Guan-Chih Pu and Yen-Feng Hsu, " Feasibility Study of Shifting Existing Radial Primary Distribution Networks to Normally Closed-loop Arrangement, " *Proceedings of the 21st Symposium on Electrical Power Engineering*, 18-19 November **2000**, Taipei, Taiwan, pp. 174-178.
  16. Tsai-Hsiang Chen and **Wei-Tzer Huang**, "Evaluation of the Definitions of Voltage Unbalance Factor," *Proceedings of the 20th Symposium on Electrical Power Engineering*, 20-21 November **1999**, Taipei, Taiwan, pp. 1049-1053.
  17. Tsai-Hsiang Chen, Jyh-Cherng Gu, Chin-Shun Lin, **Wei-Tzer Huang**, Tzong-Yih Guo, Guan-Chih Pu and Yen-Feng Hsu, "Analysis of Two

Radial-Type Primary Feeders Fed Separately by Two Transformers in a Substation before and After Being Tie as a Closed-Type Feeder," *Proceedings of the 20th Symposium on Electrical Power Engineering*, 20-21 November **1999**, Taipei, Taiwan, pp. 867-871.

### 三、研究計畫報告

1. 陳在相、黃維澤、黃一峻，「配電系統升級技術與效益研究—子計畫一：配電系統型態升級技術與效益研究」，國科會專題研究計畫成果報告，NSC 91-2213-E-011-094，國立臺灣科技大學，台北，August, **2003**。
2. 陳在相、黃維澤、林意盛、林必達、李源洲、黃一峻、阮健益，「配電系統升級技術與效益研究—子計畫一：配電系統型態升級技術與效益研究」，國科會專題研究計畫成果報告，NSC 90-2213-E-011-058，國立臺灣科技大學，台北，August, **2002**。
3. 陳在相、辜志承、黃維澤、沈混源、趙恆寬、莊宗霖、蒲冠志、許炎豐，「配電系統採同一變電所不同主變常閉環路建置研究」，臺灣電力股份有限公司九十年研究計劃，計畫編號(GRB 檔)：2103-05，期末報告，研發建字第 1478 號，電機建字第 0136 號，國立臺灣科技大學，台北，31 May **2002**。
4. 陳在相、黃維澤、楊文治、趙恆寬、吳致文、李源洲，「常閉環路型一次配電網路之運轉研究」，國科會專題研究計畫成果報告，NSC89-2213-E-011-144，國立臺灣科技大學，台北，August, **2001**。
5. 陳在相、辜志承、黃維澤、沈混源、游伯煌、趙恆寬、蒲冠志、許炎豐，「配電系統採同一主變常閉環路之建置」，臺灣電力股份有限公司八十九年研究計劃，計畫編號(GRB 檔)：2103-13，期末報告，研發建字第 1478 號，電機建字第 0136 號，國立臺灣科技大學，台北，31 May **2001**。
6. 陳在相、黃維澤，「配電系統型態與變電所饋線數選用原則與效益分析—總計畫及子計畫一：配電系統型態及其與配電自動化之互動研究」，國科會電力科技產業學術合作研究計劃，完成報

告，NSC 89-TPC-011-001，國立臺灣科技大學，台北，25 August 2000。

7. 陳在相、辜志承、黃維澤、林金順、蔡金龍、于尚禮、蒲冠志、許炎豐，「配電系統採常閉環路可行性研究」，臺灣電力股份有限公司八十九年研究計劃 531-2103-06，計畫編號(GRB 檔)：88-2103-07，完成報告，研發建字第 1225 號，電機建字第 0095 號，台灣科技大學，台北，31 October 1999。

