中華民國第三十二屆電力工程研討會
台灣　新北市 2011 年 12 月 2-3 日

基因演算法在同一主變常閉環路一次饋線之負載轉供配電站規劃之應用
The Application of Genetic Algorithm Approach on Load Transfer Substations Planning in Normally-Closed Loop Primary Feeders Fed by the Same Transformer

黃維澤
Wei-Tzer Huang
國立彰化師範大學 工業教育與技術學系
Department of Industrial Education and Technology
National Changhua University of Education
Changhua, Taiwan, R.O.C.
Tel：+886-4-7232105#7264
Fax：+886-4-7211287
E-mail：vichuang@cc.ncue.edu.tw

姚凱超
Kai-Chao Yao
國立彰化師範大學 工業教育與技術學系
Department of Industrial Education and Technology
National Changhua University of Education
Changhua, Taiwan, R.O.C.
Tel：+886-4-7232105#1010
Fax：+886-4-7211287
E-mail：kcyao@cc.ncue.edu.tw

黃柏東 Po-Tung Huang
楊晉豪 Chin-Hao Yang
周育瑜 Yu-Yu Chou
黃智偉 Zhi-Wei Huang
建國科技大學 電機工程學系
Department of Electrical Engineering
Chienkuo Technology University
Changhua, Taiwan, R.O.C.
Tel：+886-4-7111111#3284
Fax：+886-4-7122006

摘要

本文提出以基因演算法為基礎之同一主變常閉環路一次配電系統負載轉供配電站規劃之研究。首先，廣泛地探討一次配電系統型態及其運轉方式；並歸納同一主變常閉環路型態雖然可以消除一次饋線事故造成之用戶停電現象；然而，一旦上游系統發生事故將無法避免造成用戶停電，因此，必須藉由負載轉供機制將事故環路負載轉供至鄰近健全饋線，得以恢復供電。有鑑於此，在常閉環路系統的規設階段，負載轉供配電站的規劃格外重要，其功能兼具提高系統整體供電可靠度以及運轉效率。然而，負載轉供配電站的規劃為一最佳化之搜尋問題，因此，本文提出一有效率之系統化的方法－基因演算法求解此一問題，在考慮等效年負載量、饋線電流、線路電壓降、線路總損失與實際地理位置等因素，以系統損失最小化為目標函數並滿足饋線安全運轉電流以及線路最大電壓降等限制條件下求解出最佳互連配電站對，本文所提之方法有助於提供配電工程師用於規劃同一主變常閉環路系統之負載轉供配電站。

關鍵字：配電饋線、常閉環路、配電站、線路損失、基因演算法。

Abstract

This paper proposes a genetic algorithm-based (GA-Based) approach for planning load transfer substations (LTSs). Firstly, the types and operations of the primary distribution system were discussed completely, and then the operations of normally-closed loop feeders under contingencies were also discussed and analyzed. Although the normally closed-loop feeders that fed by the same transformer can eliminate the outage due to fault occurred in primary feeders, once the fault occurred in the upstream system the customer can’t avoid outage. Therefore, the load transfer mechanism is needed to transfer the customers in faulted feeders to a healthy feeder, and to restore the electricity. Accordingly, the planning of the LTSs is vital important in the system planning stage for enhancing the system reliability and operating efficiency. However, the LTSs planning is an optimal searching problem; therefore, an effective systematic GA-Based approach has been proposed to solve this optimization problem. After, fully considering the annual equivalent load, feeder current, voltage drop, line loss and practical constrains, the optimal objective function was proposed, and then the optimal LTSs were chosen considering minimizing annual system power losses and the maximum voltage drops at each bus as well as ampere capacities of each feeder segment. The method presents in this paper is valuable to distribution engineers for planning the LTPs in normally closed-loop primary feeders fed by the same transformer.

Key Words: distribution feeder, normally closed-loop feeder, distribution substation, power losses, genetic algorithm.

一、前言

一般而言，一次配電系統的型態大致可區分為六種即：(1)放射型(Radial)；(2)放射連絡型；(3)常開環路型；(4)常閉環路型(Normally Closed-Loop)；(5)網目型(Mesh)，以及(6)互連網路型(Interconnected Network)。其中以互連網路型結構複雜度最為複雜，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[1-7]。結構愈複雜的系統在運轉及維護上也相對愈困難，然可靠度相對較高。此外，放射型系統的保

護協調最簡單，整條饋線僅需要在配電變電所出口端裝設饋線斷路器(Feeder Circuit Breaker, FCB)做為線路故障保護；而放射連絡型則多加裝線路分斷開關(Disconnecting Switch, DS)以及連絡開關(Tie Switch,TS)以作為負載轉供之用；至於常閉環路型的保護裝置與協調方式就更為複雜且成本亦高。綜言之，不同的配電系統型態各有其優缺點與適用性，然若為解決一次配電饋線事故造成之停電現象，則將目前的放射型、放射連絡型或常開環路型直接升級為常閉環路型為最可行的方案。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，因此，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，有別於放射型饋線，所有的負載切換開關(Load-Break Switches, LBSs)必須更換為斷路器(Circuit Breakers, CBs)[8-12]。由於建置、運轉成本較高之故，全球有採用常閉環路型一次配電系統的電力公司並不多，由相關的文獻獲知，國外目前有採用此一系統的國家，包括美國佛羅里達(Florida, U.S.)、香港(HongKong)及新加坡(Singapore)等電力公司[13-15]。在國內方面，台電已於2002年在台北市營業區處所轄之變電所建置完成初期常閉環路系統[5]。由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)顯示，造成用戶停電的主要原因為配電饋線(Feeder Cable)事故，其用戶每年停電次數約佔所有停電事故之45.6%，如圖1所示。因此，若能確保配電饋線在發生單一偶發事故(Single Contingency)的情況下均不致造成用戶停電，則可以大幅提升供電品質。假以時日配合智慧電網的發展普遍被採用推廣於台電配電系統，將可大幅提高整體供電可靠度。

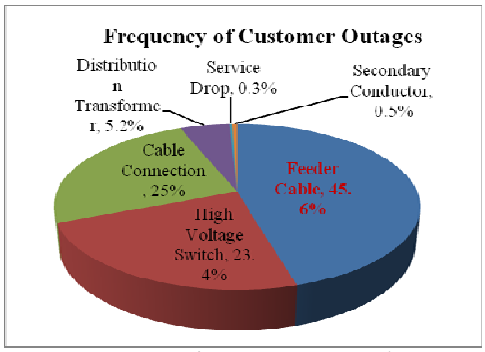

圖1 台電台北市營業區處所統計出之用戶每年停電次數佔比

綜合以上所述，常閉環路饋線雖然可以解決饋線事故造成用戶停電現象；然而，一旦上游配電變電所之主變壓器或匯流排及次輸電系統發生事故亦將造成用戶停電，因此，必須加入包含負載轉供配電站(Load Transfer Substation)及互連饋線(Tie Line)所組成之負載轉供機制，以便於發生上述事故時進行負載轉供，將事故饋線負載轉供至健全饋線，減少停電時間並提供高電可靠度，由此可知，負載轉供配電站對此一系統型態運轉之重要性，相關研究[5, 11-12]曾針對此一議題進行理論探討與實際系統的規劃與模擬分析，本文則提出基因演算法(Genetic Algorithm)應用於求解一次配電系統之最佳負載轉供配電站，以期建構一有效且系統化的最佳搜尋方式進行負載轉供配電站規劃，此即本文的研究目的。

二、問題描述與求解方法

負載轉供配電站的主要功能是提供常閉環路饋線因上游主變、匯流排、配電變電所或次輸電系統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，提供常閉環路之間相互支援的連絡饋線連接位置，因此，該連絡點攸關系統在非常態運轉情況下之性能，通常在正常運轉之常閉環路饋線必須具有負擔事故常閉環路饋線所有負載量之能力以及線路電壓降必須符合規定等要求；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，兩負載轉供配電站的位置決定為系統在規設階段之重要環節。

求解常閉環路饋線的最佳負載轉供配電站對(LTSP)(互連配電站)的步驟為：

Step1:建立標的系統的數學模型；

Step2:計算各負載點的等效負載量；

Step3:執行電力潮流程式，模擬在不同位置互連時系統的性能；

Step4:綜合模擬結果的各項評估指標，即可求得最佳負載轉供點。

將本文所提之基因演算法詳述如下：

(1)目標函數(Objective Function)

一般而言，兩個變電所負載轉供配電站對(LTSP)有兩種可能的轉供情況，配電變電所 A 所屬常閉環路饋線因主變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(1)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(2)，綜合以上兩種情況，可將線路損失指標表示為式(3)。

$$TL_{loss}^{A\to B} = P_{TL,loss} + P_{L,loss} \tag{1}$$

$$TL_{loss}^{B\to A} = P_{TL,loss} + P_{L,loss} \tag{2}$$

$$TL_{loss} = TL_{loss}^{A\to B} + TL_{loss}^{B\to A} \tag{3}$$

此一最佳化問題可利用式(4)表示。

最小化

$$f = TP_{loss} \tag{4}$$

受限於

$$VD_k \le VD_k^{\max.}; k = 1,2,\ldots,n$$

$$I_j \le I_j^S; j = 1,2,\ldots,m$$

其中，$VD_k^{\max.}$為最大電壓降，一般而言，僅計算饋線自變電所出口端至末端之線路壓降，假設為3% ；此外，I_j^S為第 j 個饋線段在負載轉供情況下之最大電流量，假設為 450 A。

(2)基因模型(Genetic Model)

根據基因演算法，每一配電站(MV/LV substation)依其匯流排編號將產生一對應之基因(Gene)，因此，染色體的長度(Chromosome)主要由互連之負載轉供配電站對(LTSP)的數量決定之。在本論文中，設定第 i 個配電站之二進制編碼為 B_i，則其對應之解碼為：

$$LTS_i = D_{i,\min} + \frac{(D_{i,\max} - D_{i,\min}) \times B_i}{2^{n_i} - 1} \quad (5)$$

式(5)中，$D_{i,\max}$ 與 $D_{i,\min}$ 為互連配電系統中配電站之匯流排編號之上下限；n_i 為 B_i 的位元數。因此，一個互連之負載轉供配電站對(LTSP)的染色體長度為配電站長度之兩倍。以式(6)表示所提方法之適合度函數(Fitness Function, FIT)，

$$FIT = TP_{loss} \quad (6)$$

最小化

$$FIT \quad (7)$$

綜合以上各式可獲知，在求解每一代之個體的適合度，亦即系統線路總損失、以及線路壓降與導線電流量等限制值，皆必須執行電力潮流程式，因此，本文則選定以穩定性較高之牛頓－拉福生法作為求解方法。綜言之，本文所提之方法其求解方法流程，如圖 2 所示。

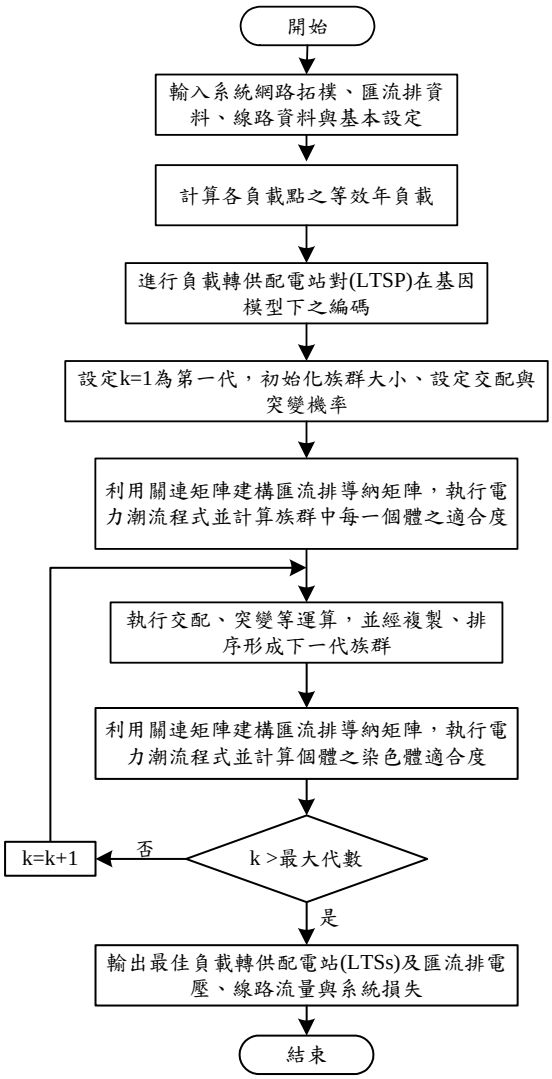

圖 2　以基因演算法為基礎之求解方法流程圖

三、模擬結果與分析探討

本文使用台電配電系統設計單一主變常閉環路系統及其鄰近變電所所組成之模擬分析系統，如圖 3 所示，該系統主要是針對當 A 變電所(Substation A)發生事故導致故障時，其所屬三條常閉環路，LOOP#1~#3，需要進行負載轉供以確保常閉環路系統在故障期間能正常運轉，A 變電所底下的三個環路分別轉供至 B、C 和 D 變電所。首先，利用模擬系統配電站(MV/LV Substation)經計算所得之等效年負載資料，總計共有 68 個配電站的負載資料；其次，配合線路相關參數資料以及線路長度資料進行相關模擬分析。以下則是利用本文所提出方法進行最佳負載轉供配電站(LTSs)之模擬分析，藉以求解所對應之最佳負載互連轉供配電站對(LTSP)。

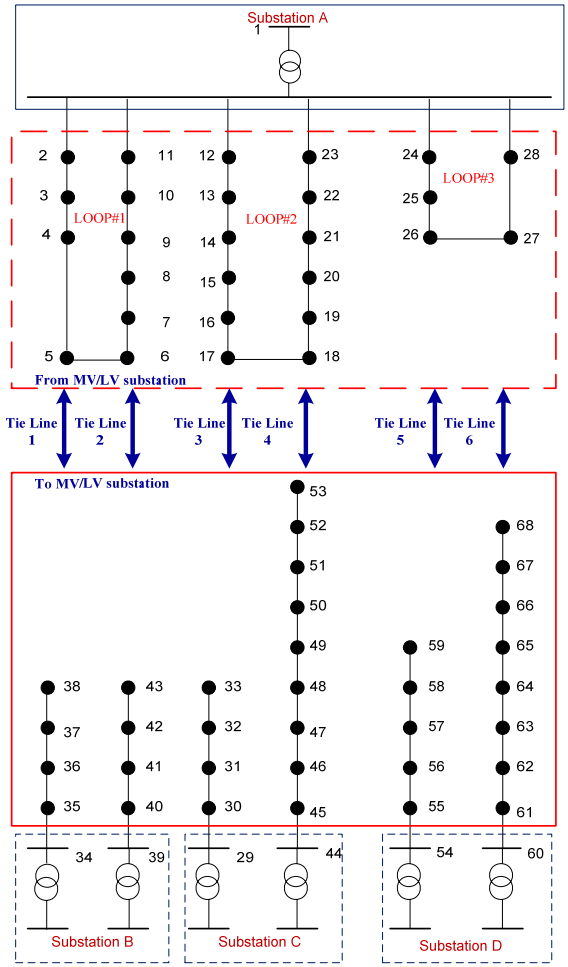

圖 3　單一主變常閉環路系統及其鄰近變電所所組成之模擬分析系統單線圖

利用本文所提之最佳化搜尋方法進行考慮每一常閉環路饋線考慮二個負載轉供點、六條聯絡饋線且含連絡饋線長度，以及 A 變電所故障後轉供至其他變電所所得之最低系統損失，模擬結果顯示最低系統總損失為 5.954 MW，其對應之最佳負載轉供配電站對(LTSP)的模擬結果，分別如圖 4 與 5 所示，所得之最佳負載轉供配電站對(LTSP)分為 7－38、8－33、16－38、17－59、26－33 以及 27－53。此外，圖 6 至 8 所示為當 A 變電所故障時轉供至 B、

C、D 變電所之各匯流排電壓、線路電流量與複數功率流量之模擬結果，就各匯流排電壓而言，自主變二次側匯流排計算到饋線末端的線路壓降仍小於 3%，就各饋線段之電流量而言，各饋線段電流均低於 450A。

綜合歸納上述模擬分析結果可獲知，不同的系統架構及考量之負載轉供配電站數量與負載量等因素，將影響最佳負載轉供配電站之規劃結果；然不論如何，就提高系統整體供電可靠度及非常態運轉運轉情況下運轉效能的觀點視之，本文所提之方法皆可以有效且系統化的求得最佳解。

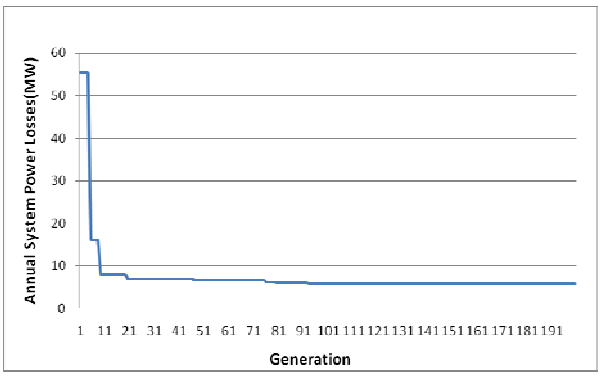

圖 4　每一常閉環路饋線考慮二個負載轉供點及六條連絡饋線之最低系統損失模擬結果

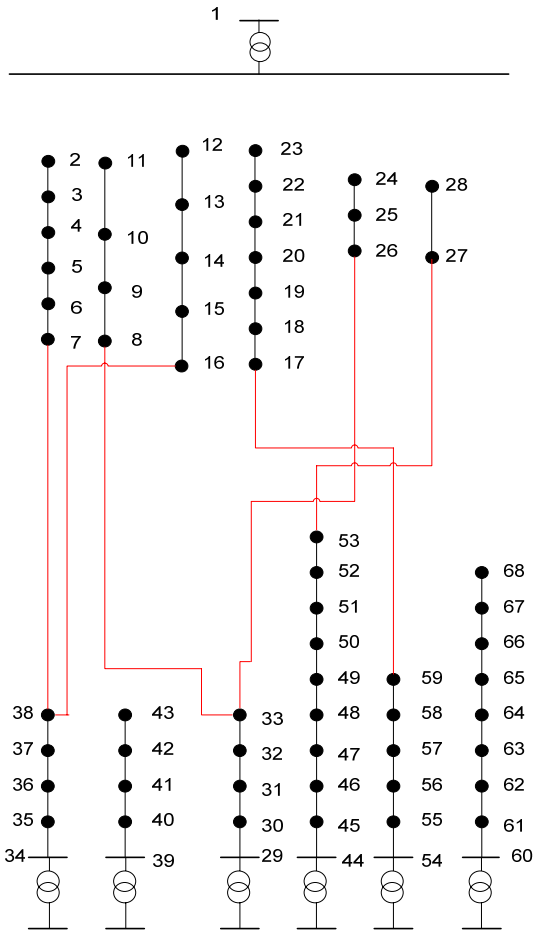

圖 5　每一常閉環路饋線考慮二個負載轉供點及六條連絡饋線之最佳轉供網路拓普連模擬結果

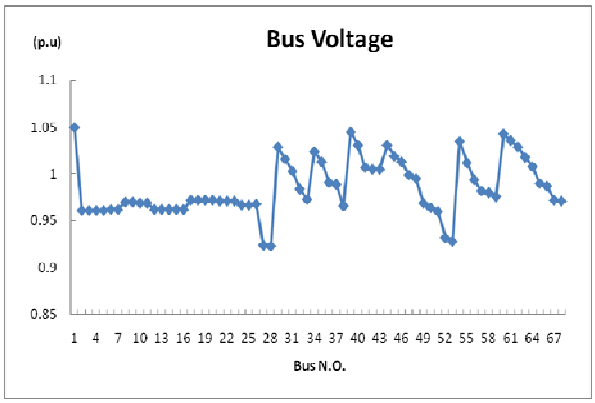

圖 6　每一常閉環路饋線考慮二個負載轉供點及六條連絡饋線之各匯流排電壓模擬結果

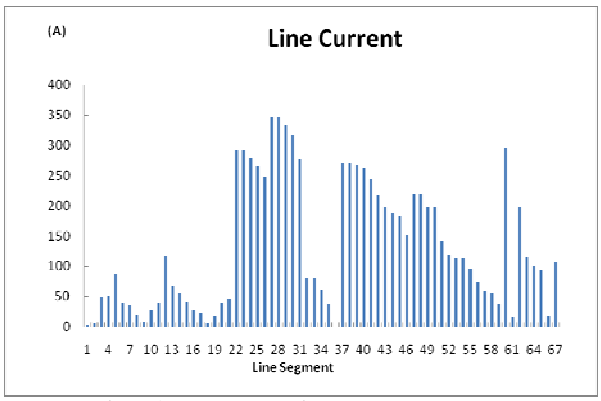

圖 7　每一常閉環路饋線考慮二個負載轉供點及六條連絡饋線之各饋線段電流模擬結果

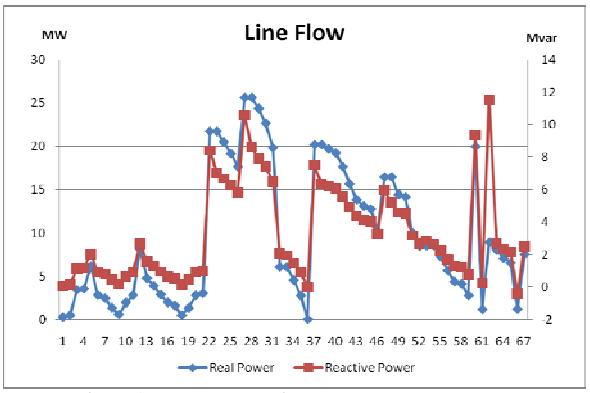

圖 8　每一常閉環路饋線考慮二個負載轉供點及六條連絡饋線之各饋線段複數功率模擬結果

四、結論

本文完成了以基因演算法為基礎之同一主變常閉環路一次配電饋線之負載轉供配電站之最佳化規劃。在提高該類型饋線的整體供電可靠度的考量下，可藉由本文所提之有效且系統化的規劃方法，亦即以系統損失最小化為目標函數並利用基因演算法搜尋最佳負載轉供配電站，該配電站可提供一次饋線以上之主變、匯流排與次輸電迴路事故造成用戶停電後，將事故饋線負載經負載

轉供配電站轉供至所規劃之鄰近饋線，用以提高常閉環路型態之整體供電品質。綜觀。本文所提之方法有助於提供配電工程師用於求解常閉環路饋線之負載轉供配電站規劃問題。

參考文獻

[1] E. Lakervi and E. J. Holmes, Electricity distribution network design, 2nd ed., London, United Kingdom: Perter Peregrinus Ltd., pp. 176-177 (1995).

[2] 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.

[3] Tsai-Hsiang Chen and Wei-Tzer Huang, “Evaluation of the Variations of Short-Circuit Capacities Along a Feeder Due toDistribution Network Upgrading,” 2005 IEEE PES General Meeting, 12-16 June 2005, San Franciso, California, USA, pp. 1714-1719.

[4] 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.

[5] 黃維澤，配電饋線由放射型升級為常閉環路型之研究，博士論文，台灣科技大學電機工程研究所，台北，(2005)。

[6] James J. Burke, Power Distribution Engineering: fundamentals and applications, Marcel Dekker Inc (1994).

[7] 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).

[8] 沈混源，常閉環路配電系統之保護協調技術與效益分析，博士論文，台灣科技大學電機工程研究所，台北，(2006)。

[9] Kun-Yuan Shen and Jyh-Cherng Gu, “Protection Coordination Analysis of Closed-Loop Distribution Systems,” in Proc. 2002 IEEE International Conference on Power System Technology, Vol. 2, pp. 702-706.

[10] K. Y. Shen, J. C. Gu and T. H. Chen, “A Novel Protection Scheme for Ring Type Distribution Systems,” International Journal of Power and Energy Systems.

[11] 饒祐禎，台電北市區處配電常閉環路系統擴充規劃之研究，碩士論文，台灣科技大學電機工程研究所，台北，(2005)。

[12] 饒祐禎、陳在相、光裕華，「台北市區營業處第一期配電常閉環路自動化系統調度規則」，台電工程月刊，第660期，第54-63頁，民國九十二年。

[13] Barry. Pagel, “Energizing International Drive,” Transmission & Distribution World, pp.18-34, April (2000).

[14] 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).

[15] Yu, Principles and Design of Low Voltage Systems, Singapore: Byte Power Publications, pp. 13-14 (1996).