

考慮分散式電源之配電饋線最佳開關規劃

Optimal Switches Planning for Distribution Feeders with Distributed Generators

許振廷 李易穎 鄭尊仁 吳國揚 謝發慨
C. T. Hsu I. Y. Lee J. J. Cheng G. Y. Wu F. K. Hsuen

南台科技大學電機系
Department of Electrical Engineering
Southern Taiwan University of Technology
Tainan, Taiwan, R.O.C.

摘要

本文在執行含分散式電源之配電饋線開關最佳規劃。經由停限電運轉圖資系統、拓樸分析與節點簡化獲得正確的配電饋線模型，接著建立不同類型用戶的停電損失函數，推導以用戶停電損失與開關投資成本的目標函數。文中使用免疫演算法來解決此最佳化問題並將目標函數與限制條件當作其抗原，在不同分散式電源之裝置容量下，推導配電饋線的最佳開關規劃策略，使配電系統達到低廉而且可靠之供電方式。最後，選擇一條台電實際配電饋線作為研究對象，以驗證所提之免疫演算法之實用性與正確性。

關鍵詞：分散式電源、可靠度、免疫演算法

Abstract

This paper derives the optimal switches planning for distribution feeders with the installation of a distributed generator (DG). By using the resource of the outage management system (OMS) and performing topology process, feeder configuration can be identified accurately. The interruption costs for various types of customers can be obtained from load survey. The objective function is therefore formulated by including the customer interruption cost and investment cost. An immune algorithm (IA) has been proposed to find the optimum switch numbers, types and locations of distribution feeders by representing the objective function as antigen. After performing the genetic evolution, an antibody which fits the antigen best is determined to be the optimal switch solution. One practical Taipower distribution system is selected for computer simulation to demonstrate the effectiveness of the proposed IA methodology. It is concluded that the proposed IA algorithm can determine the optimal switch numbers and locations effectively and accurately for the distribution system with a DG installation.

Keywords: Distributed generators, Reliability, Immune algorithm

I. 前言

台灣自產能源匱乏，大部分石化原料皆需仰賴進口，近年來因經濟的快速發展，導致台電系統發電量不足而造成限電的危機。另一方面，國人環保意識的抬頭，台電在興建輸、配電變電所與一般大型集中式火力

電廠或核能電廠往往遭受到民眾激烈的抗爭。此外，以石化能源為燃料會造成空氣的污染，目前世界各國政府正在大力推廣以再生能源為燃料的發電系統。因此，在未來勢必會出現許多綠色能源型態的發電系統，如風力、太陽能、燃料電池及生質能發電系統等[1]。這些小型套裝氣渦輪汽電共生機組及再生能源發電系統為分散式發電機組(distributed generators, DG)，由於 DG 之設備容量一般較小，所以大部份會與電力公司配電系統並聯，這些 DG 會對台電現有配電系統之分析、運轉、規劃與保護系統產生重大的影響。

對目前許多電力公司所在推廣的微型電網(micro grid)而言[2]，分散式電源與儲能系統可經由先進的控制與通訊技術來，配合在 DG 上游或下游的開關操作，達成微型電網之獨立供電運轉，對許多重要的負載而言，其供電可靠度可獲得大幅度的提升。另一方面，配電系統可藉由開關的操作，在正常或緊急模式下，重組饋線架構進行負載轉供，以提高系統運轉效率與供電可靠度[3]。本文即針對有 DG 加入配電饋線運轉時，以免疫演算法決定饋線開關之最佳裝設型態、數目與位置，使用戶停電損失成本與開關投資成本的組合最小，達到既低廉且可靠之供電。

II. 配電系統之可靠度分析與不同類型用戶之停電損失

本文藉由停限電運轉圖資系統，然後應用拓樸分析以及設備減量工作來獲得配電饋線的電路模型，另外，配合經分析所得元件故障率及修復時間、開關操作與 DG 相關資料，可得到各負載區域之停電時間，再由所建立之各類型用戶停電損失函數，可分析用戶之停電損失，最後，加入開關成本，即可獲得總損失成本，圖 1 所示為其流程圖。

為了方便對各類型用戶停電損失資料進行分析，本計劃採用表 1 所示[3]之資料，此表係由加拿大 Saskatchewan 調查不同用戶類型所完成之經濟損失函數 (Sector Customer Damage Functions, SCDF)，表中之數據以加幣為單位。

本文將負載區分為住宅、商業、工業及重要用戶四種用戶類型，且再將重要用戶細分成三種不同層次等級(等級 2 到等級 4)的重要用戶，等級愈高，代表當故障發生時，其所造成的損失也愈大。其中之重要用戶以上表中之辦公室負載作為重要用戶等級 3，並分別以 0.8 和 2 的比例來定義等級 2 及等級 4 的重要用戶，以作為數據

化配電可靠度評估之依據。下面的方程式為不同類型用戶之停電損失函數。

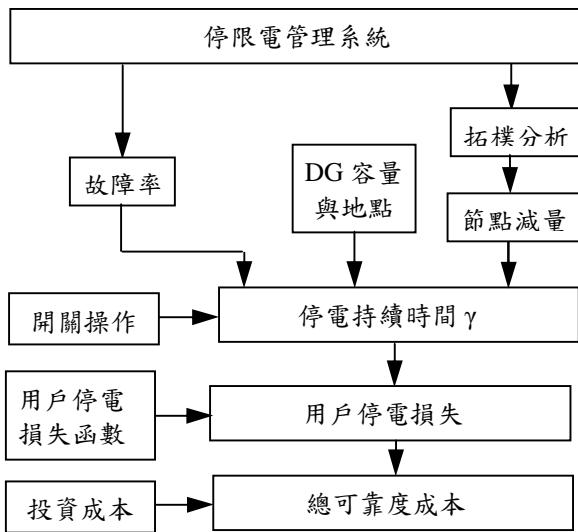


圖 1 可靠度估算流程圖

表 1 各種類型用戶之電力停電損失 (\$/kW)

用戶類型	停電持續時間(分鐘)與損失成本(\$/kW)				
	1(min)	20(min)	60(min)	240(min)	480(min)
小型工業	1.625	3.868	9.085	25.16	55.81
商業類	0.381	2.969	8.552	31.32	83.01
住宅類	0.001	0.093	0.482	4.914	15.69
辦公室	4.778	9.878	21.06	68.83	119.2

$$f_R(t_i) = -10^{-6}t_i^3 + 0.0021t_i^2 + 0.0861t_i - 0.0957 \quad (1)$$

$$f_C(t_i) = 10^{-5}t_i^3 - 0.0056t_i^2 + 3.8856t_i + 4.2573 \quad (2)$$

$$f_I(t_i) = 10^{-5}t_i^3 - 0.008t_i^2 + 3.736t_i + 34.739 \quad (3)$$

$$f_{Level3}(t_i) = -5 \times 10^{-6}t_i^3 + 0.003t_i^2 + 7.3779t_i + 118.65 \quad (4)$$

III. 配電饋線之開關操作及目標函數與限制條件

各負載區域平均故障率 λ_i 如(5)式所示，但是因其具備負載轉供的能力，故僅故障饋線區段之負載點需等到饋線修復後才能恢復供電，其餘未故障之負載區域負載點則在故障被隔離之後即可經由鄰近饋線轉供恢復供電，負載區域年故障時間 U_i 及故障時間 γ_i 則分別以(6)及(7)式所示。

$$\lambda_i = \lambda_{ti} + \sum_{m=1}^{NM} \lambda_m \quad (5)$$

$$U_i = \lambda_i \gamma_i + \left\{ \sum_{m=1, m \neq i}^{NM} \lambda_m (t_s + t_f) \right\} + \lambda_{ti} \gamma_{ti} \quad (6)$$

$$\lambda_i = \frac{U_i}{\lambda_i} \quad (7)$$

上式中皆不考慮斷路器之動作時間，且假設分散式電源與電力熔絲的可靠度為 100%，式中：

$\lambda_{ti}, \gamma_{ti}$: 分別為連接負載點 i 之變壓器故障率及修復時間。
 t_s, t_f : 分別為開啟隔離開關及轉供連絡開關所需時間。
 λ_m : 第 m 段主饋線之故障率。

NM: 主饋線之分段數。

並由(7)式可得到饋線任一負載區段故障時對其它區段之相對修復時間矩陣，如下式所示。

$$\gamma = [\gamma_{ij}] \quad (8)$$

式中 γ_{ij} 為第 i 區域發生故障修復時對第 j 區域造成停電修復時間。利用(8)式，各個負載區域的相對修復時間，可以進而計算當第 i 負載區域發生故障時對第 j 負載區域造成影響的每瓦停電損失成本 C_{ij} 。六種不同等級的停電損失函數，必須全部考慮描述。則 C_{ij} 可以用下式之函數表示之。

$$C_{ij} = Res_j * f_R(r_{ij}) + Com_j * f_C(r_{ij}) + Ind_j * f_I(r_{ij}) + \sum_{L=2}^4 Pri_j^L * f_P^L(r_{ij}) \quad (9)$$

式中：

Res、Com、Ind 及 Pri 為分別為住宅、商業、工業及重要用戶負載百分比。 f_R 、 f_C 、 f_I 及 f_P 為分別為住宅、商業、工業及重要用戶的停電損失函數方程式，L 為重要用戶等級。

根據上式可推導出下式之饋線故障發生時的用戶停電損失成本 CIC(Customer Interruption Cost)。

$$CIC = \sum_{i=1}^n IC_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i l_i \left(\sum_{j=1}^m C_{ij} L_j \right) \quad (10)$$

式中：

n, m 為饋線區段總數。 IC_i 為故障區域 i 之每年停電損失成本。 λ_i 為區域 i 的故障率(次/公里-年)。 l_i 為區域 i 饋線長度。 L_j 為區域 j 的總負載量。

除了用戶停電損失成本外，開關的投資成本亦須一併考量，所以本計劃所建立之目標函數如式(11)所示，總可靠度成本(Total Cost of Reliability, TCR)包括用戶停電損失成本(CIC)與開關投資成本(INVC)，其中之開關投資成本 INVC 包含開關成本與維修成本，其相關數據如下表所示。

$$\text{Min TCR} = \text{CIC} + \text{INVC} \quad (11)$$

表 2 開關成本與維修成本

項目名稱	金額(NT\$: 元)	使用年限(年)
架空動化開關含 FTU	297,754	15
架空自手動開關	82,604	15
設備維修(一班四人)	10,000	-

限制條件則包括：

1. 故障發生後的轉供不會造成主變壓器、饋線及線路開關的過載。
2. 在進行轉供過程時，所造成的壓降不能超過 10%。
3. 經由開關操作後，DG 與負載所形成的微電網可保持穩定狀況。

除了上述限制條件外，在本計劃中亦做了下面幾點的假設，即配電網路的元件只有導通或中斷的狀態、每

一個負載點的位置就是系統發生故障的不同區域、饋線只有安裝一組 DG 且其位置和容量是已知的、保護設備及 DG 的可靠度是 100%。

IV. 含 DG 之配電饋線最佳開關規劃

免疫演算法是模仿生物系統的機制所衍生的演算法，將抗原當成欲求解的最佳化問題，而抗體則是其可行解[4-5]。

4.1 雜異度與相似度的計算

免疫演算法的抗體結構與遺傳演算法的編碼方式相同，首先要決定最佳規劃模式之前，要先定義雜異度(Diversity)和相似度(Affinity)，如圖 2 所示，M 個抗體內有 Z 個基因數，每個基因由 3 個位元組成，每個位元的意義如表 3 所示，其中位元 1 為開關的狀態，有常開與常閉兩種狀態；位元 2 為開關的種類，有自動與手動兩種型式；位元 3 為饋線上可裝設開關的位置。M 為抗體的總數，表示每個世代中，配電饋線開關配置的模式，Z 為饋線上設置開關的總數。

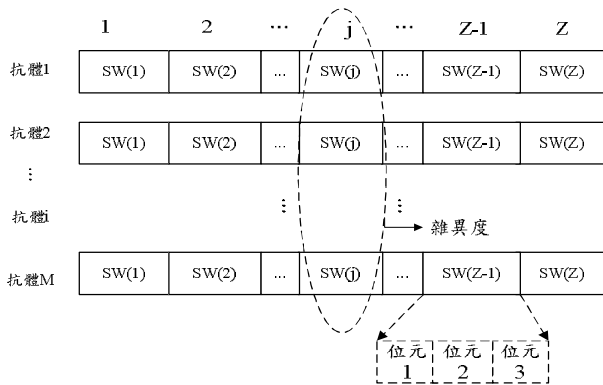


圖 2 抗體之資料結構

表 3 抗體表示說明

位元	位元形式	數值	代表意義
1	二進制	0	常開開關
		1	常閉開關
2	二進制	0	手動開關
		1	自動開關
3	十進制	整數	開關位置

4.1.1 雜異度(Diversity)

雜異度即為舊世代和新世代抗體之間的雜異程度，優秀的抗體會保留下來，增加記憶單元抗體族群的雜異度，可以降低陷入局部最佳點的可能，如圖 2 所示，抗體中第 j 個(j=1,2,3,...,Z)基因的相似程度定義如下：

$$E_j(M) = -\sum_{i=1}^M P_{ij} \log P_{ij} \quad (12)$$

其中 P_{ij} 為所有抗體族群中第 i 個抗體出現和第 j 個基因相同的機率，M 為抗體族群數，當 $E_j(M)$ 為零即表示所有抗體族群第 j 個基因皆相同，若 $E_j(M)$ 取平均值，則全部 Z 個基因的抗體雜異度可定義如下：

$$E(M) = \frac{1}{Z} \sum_{j=1}^Z E_j(M) \quad (13)$$

4.1.2 相似度(Affinity)

相似度也是在免疫演算過程中一個重要的定義，在複製比對的過程中，若有相類似的抗體族群，將會影響整體規劃模式的效率，首先要考慮的是抗體與抗體之間的相似度，定義如下：

$$(A_b)_{ik} = \frac{1}{1+E(2)} \quad (14)$$

其中 $E(2)$ 表示僅考慮新世代抗體及記憶單元內的 i、k 兩抗體，假如 i 和 k 兩抗體族群內的基因皆相同，則 $E(2)$ 為零，所以 $(A_b)_{ik}$ 為兩抗體 i 及 k 的相似度，其值介於 1 和 0 之間。另一個需要考慮的為抗體(可行的開關規劃操作模式)及抗原(目標函數)之間的相似程度，定義如下：

$$(A_g)_i = \frac{1}{1+OPT_i} \quad (15)$$

OPT_i 為目標函數所定義之總成本損失，此方程式可求得抗體 i 與抗原之間的相似度。當 $(A_g)_i = 1$ 時即 $(OPT_i) = 0$ ，表示抗體能完全消滅抗原，在求解空間中取得最佳可行解。

4.2 免疫演算法的執行步驟

圖 3 所示為以免疫演算法應用於開關最佳規劃的流程圖，可分包括下步驟：辨認抗原、產生初始抗體族群、計算雜異度及相似度、控制抗體製造、交換與突變、評估最佳開關規劃模式。

V. 實例分析

本文以台電某區處配電系統的 BL24-B532 饋線進行開關最佳化規劃，此配電系統饋線架構如圖 4 所示，饋線負載與線路資料可由文獻[3]獲得，表 4 說明台電饋線可靠度與開關操作資料。此饋線是以 11.4kV 架空線之配電系統架構，由兩個 D/S 配電變電所經由主幹線供電給高低壓用戶，不同的主幹線以常開連絡開關連接，饋線除了連絡開關外，尚有分段開關將饋線區分為數個負載區域，饋線總長度約為 2771 公尺，架空線路平均故障率為 0.132 次/年-公里。表中亦包含負載點的用戶型態百分比、平均負載量及用戶數，其中用戶種類共分為住宅區、商業區、工業區、重要用戶等級 2、等級 3 及等級 4 的六個類型。此系統包含 15 個負載、16 個區段、6 個手動分段開關及 1 個連絡開關。每個區段皆分配一個負載點，當開關裝置於饋線區段處時，則可將饋線區分為數個負載區域，由負載區域統計，可得各區域的用戶數、用電量、饋線長度。本計劃將執行台電 BL24-B532 饋線四個事例的規劃，事例一、二、三及四分別為原始饋線、含 1MW、2MW 與 3MW DG，下面將說明這些事例的最佳化開關規劃過程與分析結果。

