

نمذجة ومحاكاة شبكة اختبارية IEEE 33- bus

أ. د. سامر ربيع* د. روزبه مندو* م. الاء قبش**
(الإيداع: 11 آب 2021 ، القبول: 11 تشرين الأول 2021)

الملخص:

يهدف البحث إلى بيان دور النمذجة كجزء أساسي في تطوير شبكات التوزيع من خلال بناء نموذج متقدم يتم من خلاله تحليل سريان الحمل في فروع شبكات التوزيع الشعاعية من خلال نمذجة ومحاكاة شبكة اختبارية IEEE bus-33، ومن ثم إعادة تكوين هذه الشبكة بهدف الحصول على أقل نسبة ضياعات ممكنة وتحسين سويات التوتر عند عقد الشبكة، بما لا يؤثر على جودة الطاقة والموثوقية للأحمال والتكوين الشعاعي للشبكة المدروسة. تم، استخدام البحث طريقة نيوتن رافسون التكرارية لحل مسألة سريانات الحمل للشبكة وتحويلها إلى كود برمجي، وذلك من أجل الحالة الابتدائية ومن ثم اختيار التكوين الجديد لشبكة التوزيع بوجود أو بعدم وجود التوليد الموزع. تم الاعتماد على الخوارزمية الجينية (GA) وربطها بالكود البرمجي لتحديد مفاتيح الربط في شبكة التوزيع المدروسة ومن ثم تحديد التوضع الأمثل للتوليد الموزع. تم ربط الكود بالخوارزمية الجينية بهدف اختبار البرنامج والنمذجة على شبكة اختبارية IEEE bus-33، ومن ثم مقارنة النتائج (تحديد مفاتيح المناورة، تحديد توضع التوليد الموزع) قبل إعادة التكوين ومن ثم بعد إعادة التكوين وكذلك في حالة إضافة توليد موزع للشبكة المدروسة. لقد أبدت النتائج تفوقاً ملحوظاً في حالة إضافة التوليد الموزع بالمقارنة مع الدراسات المرجعية.

الكلمات مفتاحية: IEEE 33-bus - إعادة التكوين - سريان الحمل - التوليد الموزع - التوضع الأمثل - الخوارزمية الجينية.

(*) أستاذ دكتور في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة البعث.

(*) دكتور في قسم الإلكترونيات - جامعة البعث.

(**) طالبة ماجستير - ماجستير هندسة طاقة كهربائية - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة البعث.

Modeling and Simulation Of a IEEE 33–Bus Test Network

Prof. Dr. Samer Alrabea * Dr. Raozabh Mando * Eng. Alaa Kabbesh **

(Received: 11 August 2021, Accepted: 11 October 2021)

Abstract:

The research aims to demonstrate the role of modeling as an essential part in the development of distribution networks by building an advanced model through which the load flow is analyzed in the branches of radial distribution networks through modeling and simulation of a IEEE 33–bus test network and then reconfiguring this network in order to obtain The lowest possible losses and improving the voltage levels at the network nodes, without affecting the power quality and reliability of the loads and the radial formation of the studied network in the distribution networks. Therefore, in the research, the Newton–Raphson iterative method was used to solve the problem of load flows of the network and convert it into a programming code, for the initial case, and then choose the new configuration of the distribution network with or without distributed generation.

The research used the Genetic Algorithm (GA) that was linked to the software code to identify the switches in the studied distribution network and to determine the optimal position for the distributed generation.

Linking the code to the algorithm proved correct when tested on a IEEE 33–bus test network, and then we compared the results we obtained (determining the maneuvering keys, determining the position of distributed generation) before and after reconfiguring, as well as in the case of adding distributed generation to the studied network. The results we obtained showed a remarkable superiority in the case of adding distributed generation compared to the reference studies.

Keywords: IEEE 33–bus, Reconfiguration, Load Flows, Distributed Generation, Optimal Positioning, Genetic Algorithm.

(*) Prof. Dr. at Department of Electrical Power Engineering, Al–Baath University, Syria

(*)Dr. at Department of Elctron, Al–Baath University, Syria

(**) MSc. Student at Department of Electrical Power Engineering, Al–Baath University, Syria.

1-المقدمة:

شغلت مسألة تقليل الضياعات اهتمام الباحثين ودفعتهم إلى تجريب وتطوير تقنيات مبتكرة بأقل التكاليف، نتيجة اتساع الشبكة الكهربائية وتزايد عدد الأحمال إلى زيادة القدرة المنقولة، وبالتالي زيادة الضياعات. تعد مسألة إعادة تكوين شبكة التوزيع أمراً في غاية الأهمية، وذلك لما تملكه من فوائد كثيرة في تقليل نسبة الضياعات ورفع كفاءة الشبكة، وذلك من خلال تغيير حالات وصل وفصل القواطع المختلفة التي تساهم في دخول وخروج بعض أفرع الشبكة بهدف تحسين أداء شبكة التوزيع ورفع كفاءتها في ظل ظروف التشغيل المختلفة [1].

يتم دراسة مسألة إعادة تكوين شبكة التوزيع بالاعتماد على فئتين من الدراسات: طرق رياضية، وطرق البحث العشوائي الموجه [2]. حيث اعتمدت الطرق الرياضية على إجراء الحسابات الدقيقة والشاملة لجميع الحلول لذلك تحتاح زمن كبير لتنفيذها. من هذه الطرق طريقة البرمجة الخطية المختلطة MILP [3,4] وطريقة البرمجة المخروطية المختلطة من الدرجة الثانية MISOC [5]، لكن لم تلق هذه الطريقة انتشاراً.

اعتمدت طرق البحث العشوائي الموجه على خوارزميات تكرارية تدعى خوارزميات الحل الأمثل التي تمتاز بسرعة البحث، والدقة في الحل. مؤخراً تم استخدام العديد من خوارزميات الحل مثل الخوارزمية الجينية GA [6,7]، وخوارزمية محاكاة التلدين SA [8]، وخوارزمية سرب الجزيئات PSO [9].

نتيجة دراسة مسألة سريان الحمولة لاختيار التكوين الجديد لشبكة التوزيع بوجود التوليد الموزع، تم التوصل إلى أن طريقة نيوتن رافسون هي الطريقة الأكثر تطبيقاً في تحليل الشبكات وتملك ميزات عدة منها التقارب الجيد إلى الحل بغض النظر عن حجم الشبكة المدروسة. يرى بعض الباحثون مسألة تحديد التكوين الأمثل كمسألة حل وحيد الهدف، حيث أن تابع الهدف هو تقليل الضياعات مثلاً في فروع الشبكة [4,9]. بينما يراها آخرون مسألة حل متعددة الأهداف [10].

توضع المولدات الموزعة عادة بالقرب من المستهلك الذي يتطلب من شركات الكهرباء ترقية أنظمة الحماية الخاصة بها. لتحديد توضع DG وتحديد استطاعته، تم الاعتماد على الخوارزمية الجينية التي يتحقق من خلالها ربط DG عند العقد التي تحقق أقل نسبة ضياع ومؤشر جهد جيد، أما الدراسات اعتمدت مناهج البحث العشوائية بالإضافة إلى الأساليب التحليلية كطريقة (بحث Tabu) [11]، واستخدام طريقة Fuzzy-GA [12]، كما تم استخدام خوارزمية Hereford Ranch لتقليل ضياعات الطاقة [13]. وتحسين سرب الجسيمات المطور (CRPSO) للنظر في الموقع الأمثل لـ DG والذي بدوره يحسن مستوى الجهد للنظام بشكل عام [14].

هنا كان دور النمذجة كجزء أساسي في تطوير شبكات التوزيع من خلال بناء نموذج متقدم يتم من خلاله تحليل سريان الحمولة في فروع شبكات التوزيع بالحالة الابتدائية وكذلك لابد من ربط مرحلتي العمل معاً بالاعتماد على نتائج المرحلة الأولى وهي الضياعات في الفروع بعد إعادة التكوين لتحديد مكان واستطاعة المولدات الموزعة، أما عددها فيكون بشكل اختياري، بالنسبة للدراسات السابقة اعتمد الباحث ريغرام [15] ورو [16]، ثلاث مولدات موزعة ومستخدماً الأول منهما خوارزمية MPGSA، أما الثاني استخدم الخوارزمية الجينية، قليل من المراجع التي اعتمدت أربع مولدات موزعة مثل موسيرين [17]، مستخدماً خوارزميتين مختلفتين هما EP و GA، تمت في هذه الدراسة مناقشة الحالتين السابقتين والمقارنة مع قيم موسيرين وريغرام.

2- أهمية البحث وأهدافه:

تتركز أهمية البحث بشكل أساسي:

- بناء نموذج برمجي متقدم يتم من خلاله تحليل سريان الحمولة في فروع شبكات التوزيع الشعاعية بالعموم واختباره على شبكة IEEE bus-33.
- إعادة تكوين هذه الشبكة لتقليل الضياعات في فروع شبكة التوزيع ورفع سوية الجهد وتوفير التغذية الموثوقة لجميع الأحمال بالاعتماد على مصادر الطاقات المتجددة وتغطية الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية.

3-المواد وطرائق البحث:

لقد تم في هذا البحث تحديد التوضع الأمثل للمولدات الموزعة بعد عملية إعادة التكوين لشبكة التوزيع الاختبارية 33- IEEE bus بالاعتماد على الخوارزمية الجينية باستخدام بيئة ماتلاب (MATLAB) البرمجية، وتم التحقق من العمل المقدم من خلال مقارنة النتائج التي حصلنا عليها مع نتائج الأبحاث السابقة ذات الصلة.

4- النموذج الرياضي لمشكلة إعادة التكوين

4-1 سريان الحمولة في الشبكات الكهربائية:

يُجرى التخطيط لحالات العمل الطبيعية للشبكة الكهربائية اعتماداً على تحليل سريان الحمولة في الحالة المستقرة ويهدف هذا التحليل النوعي إلى حسابات البارمترات الكهربائية مثل جهود العقد، تيارات الفروع وسريانات الاستطاعة وفقاً لحالة الحمولة. تتعدد طرق السريان مثل طريقة المسح العكسي والأمامي، الطريقة المصفوفية، طريقة غاوص - سيدل، نيوتن رافسون. إن المنهجية المتبعة في هذا البحث مبنية على طريقة نيوتن رافسون.

4-2 خطوات حل مسألة سريان الحمولة بطريقة نيوتن - رافسون:

4-2-1 قراءة بيانات الشبكة.

4-2-1-1 أنواع العقد: تقسم قضبان التجميع في أنظمة القدرة إلى الأنواع التالية:

4-2-1-1-1-1-2-4 العقدة المرجعية: هي عقدة التوليد الرئيسية في النظام. تملك قيمة توتر ثابتة عادة ما يتم افتراضها كقيمة التوتر الأساسي في الشبكة وزاويته، تتميز هذه العقدة بأنه لا توجد أي قيود على الاستطاعة المولدة فيها، أي أنها تقدم ما يلزم من الاستطاعة الفعلية والرديئة للشبكة.

4-2-1-1-2-4 عقد الحمولة: هي العقد التي تكون عندها قيم الاستطاعة المركبة معلومة ويُطلب عند إجراء حسابات السريان تحديد القيم العقدية للتوتر عندها.

4-2-1-1-3-4 عقد التحكم بالتوتر: هي العقد التي تبقى فيها قيمة مطال التوتر ثابتة من خلال التحكم بالاستطاعة الرديئة المولدة فيها، بينما تكون الاستطاعة الفعلية المركبة عندها معلومة ويطلب عند إجراء حسابات السريان تحديد قيمة الاستطاعة الرديئة المطلوبة منها وأيضاً قيمة زاوية التوتر.

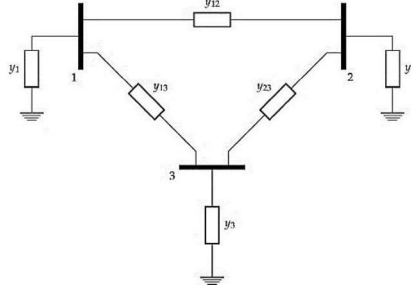
4-2-1-2-4 سماحيات العقد: إن العلاقة الأكثر استخداماً في مسألة سريان الحمولة هي التي تعتمد على معادلات العقد والتي تعطى بالعلاقة:

$$* (V) = (I) \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2N} \\ \vdots & \ddots & \dots & \vdots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & \dots & Y_{NN} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{pmatrix} \quad (2)$$

حيث: \vec{I} : التيارات المحقونة بالعقد.
 \vec{V} : جهود العقد.

Y_{buss} : مصفوفة سماحيات العقد والتي يتم تشكيلها بالنسبة للشبكة المبينة بالشكل (1) التالي:



الشكل (1): يبين شبكة كهربائية.

$$Y_{ij} = \begin{cases} (y_i + \sum_{k \neq i} y_{ik}), & \text{if } i = j \\ -y_{ij}, & \text{if } i \neq j \end{cases} \quad (3)$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 + y_{12} + y_{13} & -y_{12} & -y_{13} \\ -y_{12} & y_2 + y_{12} + y_{23} & -y_{23} \\ -y_{13} & -y_{23} & y_3 + y_{13} + y_{23} \end{pmatrix} \quad (4)$$

حيث:

Y_{ij} : وهي العناصر اللاقطرية في مصفوفة السماحيات وتدعى بالسماحيات المتبادلة والتي تعطى بالعلاقة (3) وبالتالي تكون مصفوفة سماحيات العقد بالنسبة لشبكة مؤلفة من n عقدة وتعطى بالعلاقة (2).

4-2-1-3 القيم الابتدائية للبارمترات.

4-2-1-4 الحساب بالقيم الواحدية.

4-2-2 حساب توترات العقد:

4-2-2-1 معادلتى الاستطاعة:

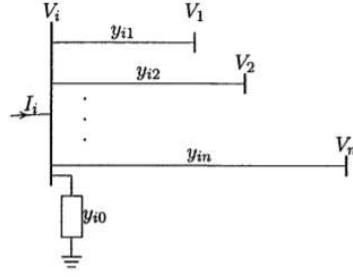
يُعطى التيار الداخل إلى العقدة بالعلاقة:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (5)$$

وهو الشكل العقدي للتيار الداخل الى العقدة:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| < \theta_{ij} + \delta_j \quad (6)$$

وهو الشكل القطبي للتيار الداخل الى العقدة:



الشكل (2): الشكل النموذجي لعقدة من عقد الشبكة.

تُعطى الاستطاعة المركبة عند قضيب التجميع بالعلاقة:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (7)$$

$$P_i - jQ_i = |V_i| \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} + \delta_j) \quad (8)$$

S: الاستطاعة المركبة عند العقدة i.

P: الاستطاعة الفعلية عند العقدة i.

Q: الاستطاعة الردية عند العقدة i.

تشير * إلى مرافق العدد العقدي.

بتفريق جزئي العلاقة (7) الحقيقي والتخيلي نحصل على مركبتي الاستطاعة الفعلية والردية:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (9)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (10)$$

δ_i : زاوية التوتر عند العقدة i.

δ_j : زاوية التوتر عند العقدة j.

بالنسبة لعقد الحمولة لدينا المعادلتين (9)، (10) هما معادلتان تحويان على مجموعة متغيرات لاخطية مستقلة وهي

مطالات وزوايا جهود العقد بالقيم الواحدية وبالراديان على التوالي، أما بالنسبة لعقد التحكم لدينا معادلة واحدة (9)

بنشر المعادلتين (9) و(10) وفق منشور تايلور واعتبار الشروط الابتدائية مساوية للصفر نحصل على المصفوفة:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (11)$$

حيث أن مصفوفة $\begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}$ تمثل مصفوفة الجاكوبيان والتي تمثل العلاقة الخطية بين المتغيرات الصغيرة في قيمة كل من زاوية التوتر $\Delta \delta_j^{(k)}$ في الخطوة k ومطال التوتر $\Delta |V_i|$ مع التغيرات الصغيرة في كل من الاستطاعة الفعلية والرديية $\Delta P_i^{(k)}$ ، $\Delta Q_i^{(k)}$ على التوالي في الخطوة k.

4-2-2-2 مصفوفة الجاكوبيان: يمكن الحصول على عناصر مصفوفة الجاكوبيان بالاشتقاق الجزئي لعلاقتي الاستطاعة بالنسبة لمطال التوتر وزاويته.

4-2-2-3 مصفوفة تغيرات الاستطاعة: يتم حساب تغيرات الاستطاعة الفعلية $\Delta P_i^{(K)}$ وتغيرات الاستطاعة الرديية $\Delta Q_i^{(K)}$ عند كل عقدة حمولة وعقدة تحكم وفي كل خطوة تكرارية K بالعلاقتين:

$$\Delta P_i^{(K)} = P_i^{(Sch)} - P_i^{(K)} \quad (12)$$

$$\Delta Q_i^{(K)} = Q_i^{(Sch)} - Q_i^{(K)} \quad (13)$$

حيث: $P_i^{(Sch)}$ الاستطاعة الفعلية المركبة عند العقدة i وتساوي الفرق بين الاستطاعة الفعلية المولدة والاستطاعة الفعلية المستجرة.

$Q_i^{(Sch)}$ الاستطاعة الرديية المركبة عند العقدة i وتساوي الفرق بين الاستطاعة الرديية المولدة والاستطاعة الرديية المستجرة. $P_i^{(K)}$ ، $Q_i^{(K)}$ يتم حسابهما من العلاقتين (9) و(10) على التوالي.

4-2-2-4 مصفوفة توترات العقد: لتحديد القيم النهائية لتوترات العقد نقوم أولاً بفرض قيم ابتدائية لتوترات العقد في الخطوة k (مع مراعاة نوع العقدة) ثم يتم حساب قيمة التغير في قيم التوترات في الخطوة الحالية بالعلاقة:

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V_i|^{(k)} \end{bmatrix} = J^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_i^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} \end{bmatrix} \quad (14)$$

فتصبح القيم الجديدة للتوترات (كمطال وزاوية) في الخطوة الحالية:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} |V_i^{(k+1)}| &= |V_i^{(k)}| \\ &+ \Delta |V_i^{(k)}| \end{aligned} \quad (16)$$

يتم اعتماد هذه القيم كقيم نهائية للتوترات بشرط أن تكون تغيرات الاستطاعة عند جميع العقد أقل من حد التسامح ϵ

4-2-3 حساب السريان في الشبكة: بعد معرفة قيم توترات عقد الشبكة أصبح من السهل حساب الاستطاعة المركبة وفق العلاقتين (9) و(10) وحساب الاستطاعة الرديية المطلوب توليدها في عقد التحكم من العلاقة (9).

4-2-3-1 حساب تيارات الفروع: يتم حساب تيارات الأفرع من العلاقة:

$$I_{ij} = -Y_{ij} (V_i - V_j) \quad (17)$$

2-3-2-4 حساب الاستطاعة السارية بالفروع: بعد حساب تيارات الأفرع يمكن حساب الاستطاعة السارية فيها:

$$S_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* \quad (18)$$

3-3-2-4 حساب الاستطاعة الضائعة في الفروع: يمكن أخيراً حساب الاستطاعة الضائعة في كل فرع بالعلاقة:

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (19)$$

حيث S_{ij} : الاستطاعة السارية من العقدة i إلى العقدة j .

5 - سريان الحمولة بوجود التوليد الموزع:

يختلف تحليل جريان الحمولة في شبكات التوزيع التي تتضمن مولدات موزعة عن تحليل الجريان في الشبكات التقليدية التي تعتمد على التوليد المركزي، السبب في ذلك هو أن الاستطاعة المحقونة في الشبكة من المولدات الموزعة تكون متغيرة مما يؤثر على قيم سريانات الاستطاعة.

6- تابع الهدف:

الهدف من النموذج الرياضي المراد بناؤه هو دراسة تابع الهدف الذي يهدف إلى تقليل الضياعات الفعلية وتقليل انخفاضات مستوى الجهد في عقد الشبكة.

$$\text{objective function} = \text{minimize} (P_{losses} + V_{DI}) \quad (20)$$

V_{DI} مؤشر انحراف الجهد، P_{losses} مجموع الضياعات.

يمكن تحسين أداء شبكة التوزيع على ثلاث مراحل:

- المرحلة الأولى هي اختيار التكوين الجديد.
- المرحلة الثانية هي اختيار مكان المولدات الموزعة.
- المرحلة الثالثة هي اختيار استطاعتها المركبة.

من علاقة تابع الهدف نلاحظ أن المراحل الثلاثة أصبحوا معاً كمرحلة واحدة، وهذا يعتبر أمر إيجابي، حيث لا يمكن الجزم أن التكوين الجديد الذي يحقق أفضل أداء (بدون وجود التوليد الموزع) سيحقق أفضل أداء بعد إضافة التوليد الموزع.

أما بالنسبة للقيود المفروضة يجب على التكوين الجديد (بوجود التوليد الموزع أو بعد وجوده):

1- جهود جميع العقد في الشبكة تقع ضمن الحدود المسموحة:

$$i \in \{1, 2, 3, \dots, N\} V_{i \min} \leq V_i \leq V_{i \max}$$

V_i جهد العقدة i عدد عقد الشبكة، N .

±5%. الحد الأدنى والحد الأعلى المسموح به والذي هو $V_{i \min} V_{i \max}$,

2- تيارات جميع الفروع في الشبكة أقل من الحد الأعظمي المسموح به:

$$|I_i| \leq |I_{i \max}|, i \in \{1,2,3,\dots,N_b\}$$

N_b ، عدد الفروع، $|I_i|$ مطال التيار المار في الفرع i

$I_{i \max}$ التيار الأعظمي المسموح مروره في الفرع i

3 - المحافظة على التكوين الشعاعي.

4- تأمين التغذية لجميع الأحمال في جميع العقد.

5- المحافظة على توازن الاستطاعة في جميع العقد وعند جميع المولدات الموزعة.

7- استخدام الخوارزمية الجينية لتحديد حل مشكلة البحث:

كُتبت الكود البرمجي لحساب قيمة تابع الهدف في بيئة ماتلاب البرمجية، ثم تم ربطه مع واجهة الـ optimization

tool لتقييم كل حالة من حالات إعادة التكوين تعد الخوارزمية الجينية خوارزمية بحث احتمالية، تعتمد على طرائق

البحث العشوائي الموجه، لذلك فهي تحتاج إلى تابع هدف لتقييم الحل الذي تم التوصل إليه.

الخطوة الأولى هي تحويل الحلول الممكنة إلى كروموسومات مكونة من جينات. تقسم مسألة البحث في هذه الدراسة

إلى جزئين، الأول هو إعادة تكوين الشبكة والآخر هو تحديد سعة ومكان التوليد الموزع.

7-1 الترميز:

سنتناول بداية مناقشة الجزء الأول والبحث عن طريقة لترميز حالات القواطع المختلفة في الشبكة. اعتمدت بعض

الأبحاث السابقة، مثل [18]، اعتماد الترميز الثنائي، احتاج الباحثون إلى كروموسوم مكون من عدد من الجينات مساوٍ

لعدد القواطع في الشبكة. لنأخذ مثلاً شبكة IEEE-33 التي تحوي على 32 قاطع عزل مسؤولة عن خطوط التوزيع و

5قواطع ربط مسؤولة عن خطوط المناورة، أي أنهم احتاجوا إلى 37 جين لتمثيل كل حالة مختلفة لتكوين الشبكة. في

الترميز الثنائي يملك كل جين قيمتين فقط (0 أو 1) حيث، "0" تعني عدم وصل القاطع والخط في وضع الالخدمة.

"1" تعني إغلاق القاطع والخط في وضع الخدمة.

7-1-1 الترميز الكروموسومي لحالات القواطع:

نكتب الترميز الكروموسومي لحالة الشبكة قبل إعادة تكوينها:

الجدول رقم (1): الترميز الكروموسومي.

رقم الحلقة	الحلقة 1	الحلقة 2	الحلقة 3	الحلقة 4	الحلقة 5
Chromosome=	011111	0111	011111	01111	01111

أما عدد الاحتمالات الممكنة لإعادة تشكيل شبكة IEEE-33 فهو (2^{37}) أي $10^{11} \cdot 1,3744 = (2^{37})$.

اقترح الباحثون في [18] تعديل طريقة الترميز الثنائي من خلال الاستغناء عن القواطع الموصولة عند عملية الترميز

والإبقاء فقط على القواطع المفصولة في كل حلقة وبذلك يتم تقليل العدد الكلي للجينات اللازمة لتمثيل حالة التكوين

وأيضاً تم تقليل عدد الاحتمالات الممكنة، أي أن الخوارزمية ستصبح أسرع في الحل.

وبهذا أصبح أسلوب الترميز مختلفاً. أما عدد الحلول الممكنة فهو $C_{37}^5 = 435897$ حيث أن كل حل يمكن ترميزه

بكروموسوم. لاحقاً تم اعتماد الترميز العشري الذي سمح بتقصير طول الكروموسوم وسهّل مرحلة الترميز وبسطها.

7-1-2 الترميز الكروموسومي للتوليد الموزع:

يمكن النظر إلى كل مولد موزع من خلال متغيرين رئيسيين هما سعة المركبة ومكان وجوده في الشبكة. نحتاج كروموسوم مكون من خمس جينات لتمثيل كل مولد حيث:

الجدول رقم (2): الترميز الكروموسومي للتوليد الموزع.

الجين الأول	الجين الثاني والثالث	الجين الرابع والخامس
يحدد مكان المولد الموزع في الشبكة	يحددان حدود توليد الاستطاعة الفعلية	يحددان حدود توليد الاستطاعة الردية

7-2 الخوارزمية الجينية في ماتلاب:

يوفر برنامج ماتلاب واجهة خاصة للتعامل مع بعض خوارزميات الحل الأمثل ومنها الخوارزمية الجينية، باستخدام هذه الواجهة أصبح التحكم بمتغيرات الخوارزمية الجينية أمراً في غاية السهولة.

7-2-1 التهيئة (Initialization):

يلزم تحديد الخيارات ضمن واجهة الخوارزمية في البرنامج، بما فيها المتحولات المستقلة التي تحدد عدد الجينات في كل كروموسوم، وعدد الكروموسومات في كل جيل، وكذلك نمط الانتقاء الكروموسومي ونمط واحتمال التزاوج، وكذلك احتمال الطفرة، وأخيراً كروموسومات النخبة.

7-2-2 تابع الهدف:

تم كتابة برنامج m.file ليقوم بفك ترميز كروموسومات كل جيل وفهما على أنها أرقام للقواطع المفتوحة ثم تحديد التكوين المقابل للشبكة استناداً لها. بالإضافة إلى تحديد مكان وسعة المولدات الموزعة وفقاً للحالة المدروسة، لأجل هذا استخدمنا SWDG (تابع الهدف) ليأخذ قيمة متغيرة مع تغير الكروموسوم المراد حساب قيمة لياقته.

7-2-3 القيود على تابع الهدف:

ستولد الخوارزمية الجينية كروموسومات تكون فيها قيمة كل جين منتمية إلى مجموعة الأعداد الحقيقية، لكن هذا الأمر غير مقبول كرقم صحيح يعبر عن رقم القاطع المفتوح أو عن رقم العقدة المضيفة للتوليد الموزع أو حتى عن استطاعة التوليد الموزع في تلك العقدة، لذلك سيتم فرض قيود على توليد الكروموسومات تتعلق بتأمين التكوين الشعاعي للشبكة من المرحلة الأولى لتنفيذ الخوارزمية. بما أن الشبكة المدروسة تملك عدداً محدوداً من الخطوط (القواطع) سيكون لدينا حد أدنى وحد أعلى كقيود مفروضة على كل قيمة سيأخذها كل جين.

7-2-4 تقييم الحلول (Fitness Evaluation):

سيتم تنفيذ الخوارزمية لتوليد مجموعة من الحلول بعد إكمال عملية التهيئة مع الأخذ في الحسبان القيود المفروضة السابقة. لذا، سيتم تقييم الحلول المقترحة جميعها من خلال حساب قيمة تابع الهدف، حيث سيتم إرسال الحلول جميعها تبعاً إلى الكود البرمجي الذي سيحسب تابع الهدف ويعيد هذه القيمة إلى الخوارزمية من جديد.

7-2-5 توليد الأجيال الجديدة (Create a new population):

كلما كانت لياقة الكروموسوم أعلى كان احتمال اختياره أكبر. كما أنه تتم عملية نقل بعض الكروموسومات من الجيل الحالي إلى الجيل التالي مباشرة وهي الكروموسومات ذات اللياقة الأعلى، وتدعى بكروموسومات النخبة. بعد مرحلة

الاختيار تتم عملية المزوجة، ثم الطفرة، وبذلك يكون لدينا جيل جديد من الحلول جاهز لإرساله إلى الكود البرمجي لكي يتم حساب تابع لياقة أفراده.

7-2-6 معايير التوقف (Stopping Criteria):

يتحدد عمل الخوارزمية ضمن معايير خاصة ويتم التحقق من هذه المعايير بعد كل جيل كرموسومي. ويتحقق إحداها ستتوقف الخوارزمية الجينية عن عملية التكرار، أو ستقوم بترتيب الكرموسومات حسب قيم تابع لياقتها لتوليد الجيل القادم في حال عدم تحقق أحد هذه المعايير. بحيث نورد فيما يلي أهم هذه المعايير:

✚ الوصول إلى القيمة المرغوبة لتابع الهدف.

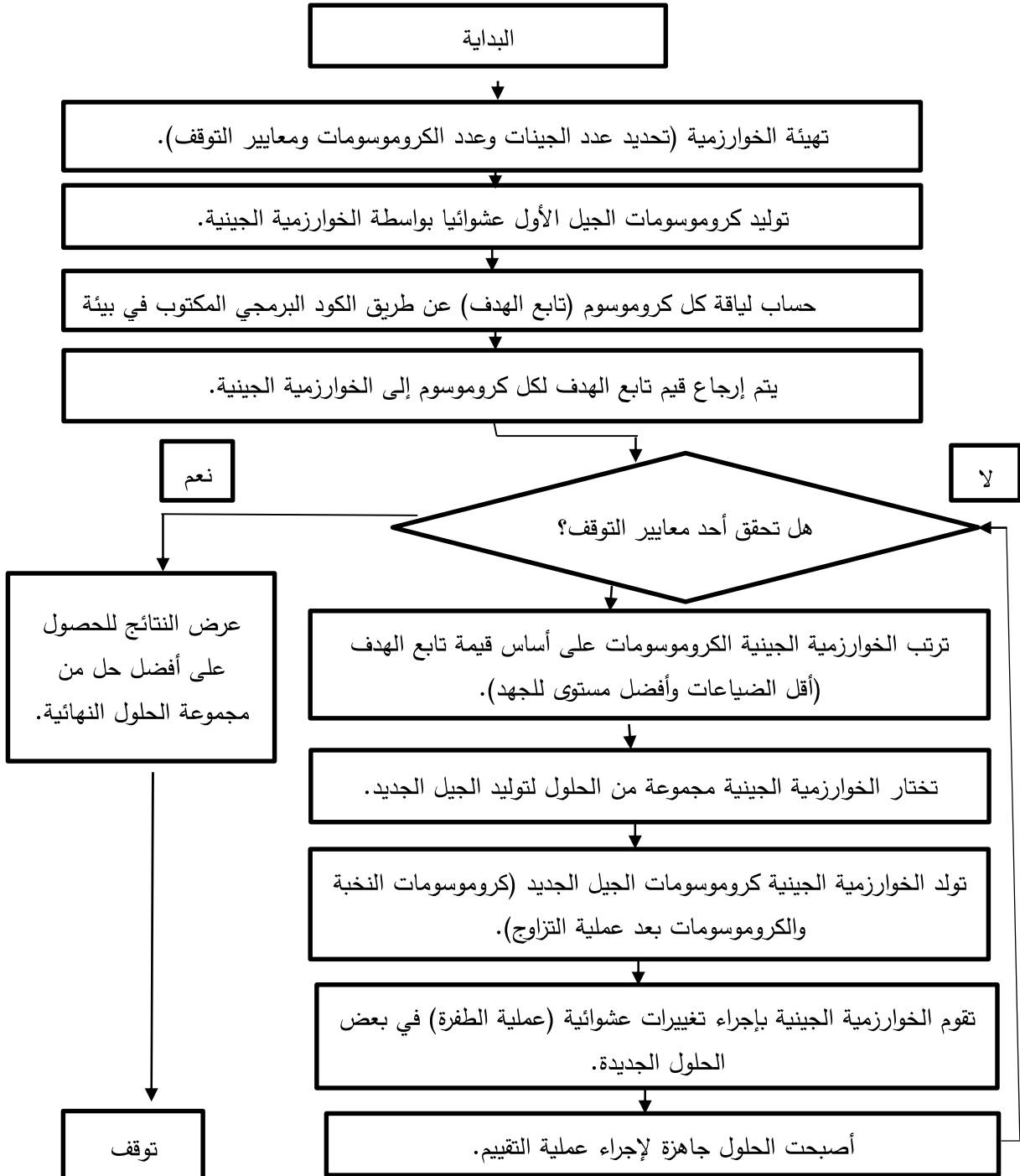
✚ الوصول إلى العدد الأعظمي للتكرارات (الأجيال).

✚ معدل التغيير في قيمة تابع الهدف عبر الأجيال أقل من القيمة المسموح بها.

✚ زمن التغيير في قيمة تابع الهدف أكبر من الزمن المسموح، أو الوصول لزمن أعظمي مسموح به للتكرارات.

8- النتائج والمناقشة:

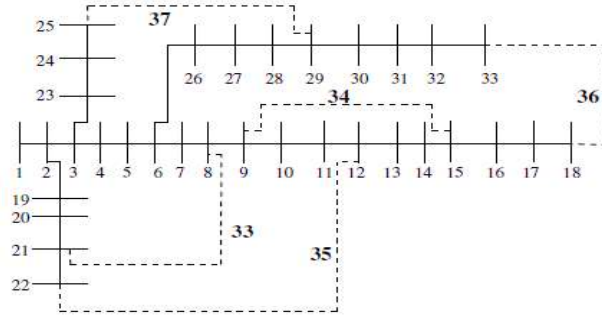
يمثل الشكل (3) المخطط الصندوقي للخوارزمية الجينية، تم ربط الكود البرمجي بالخوارزمية الجينية في ماتلاب استناداً إلى المعادلات السابقة والتي بناءً عليها تم الحصول على النتائج الواردة أدناه. حيث تم التحقق من صحة الكتابة البرمجية باستخدام البيانات الموجودة في الدراسات المرجعية.



الشكل رقم (3): المخطط الصندوقي للخوارزمية الجينية

تتلخص أهمية النموذج البرمجي بأنه يقوم آلياً بحساب ممانعات الفروع وتشكيل مصفوفة الممانعات ومن ثم حساب مصفوفة سماحيات العقد والتي على أساسها يقوم بحساب التوترات في العقد وسريان الاستطاعة في الفروع. النموذج المتبع يسهل نمذجة شبكات التوزيع ويُعد قاعدة بيانات مفتوحة لكل من عقد وفروع النظام يمكن التعامل معه بمرونة، أي يمكن إجراء التعديلات من إضافة وحذف وتعديل معلومات عقد وفروع النظام ضمن البرنامج نفسه أو إضافة وحدات التوليد الموزع الأمر الغير متاح ضمن نماذج رياضية سابقة.

أولاً: الحالة الابتدائية (قبل إعادة التكوين وبدون توليد موزع):



الشكل رقم (4): شبكة التوزيع الاختبارية IEEE bus-33.

الجدول رقم (3): الحالة الابتدائية قبل التكوين لشبكة التوزيع الاختبارية IEEE-33.

تابع الهدف	الجهد p.u	أرقام المفاتيح المفتوحة	التوليد الموزع
202.746	Vmin = 0.9131	SW = 33 34 35 36 37	-

ثانياً: الحالة الثانية (إعادة التكوين بوجود ثلاث مولدات موزعة):

الجدول رقم (4): إعادة تكوين شبكة توزيع IEEE-33 بوجود ثلاث مولدات موزعة.

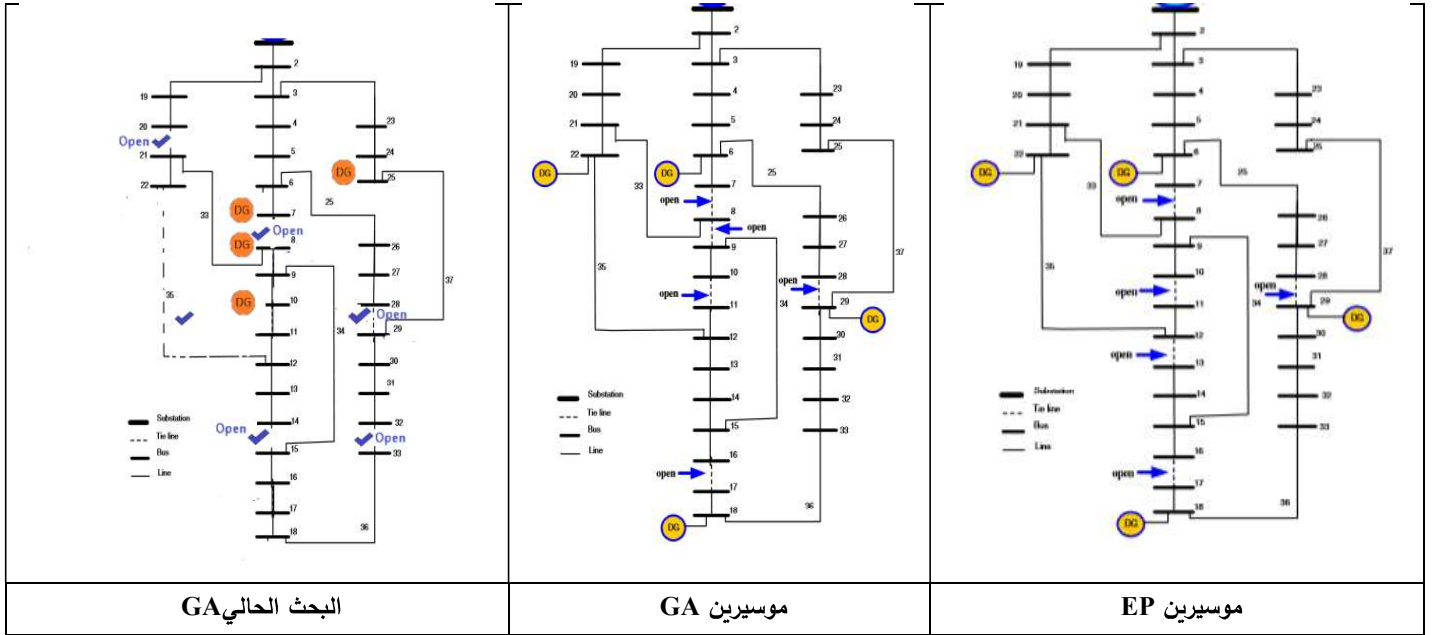
الخوارزمية المنفذة	الدراسة المنفذة	توضع DG	استطاعة DG	الضياعات [KW]	نسبة تحسين الضياعات [%]	SW
MPGSA	ريغرام	31,32,33	1090,1090,1090	92,87	54.17	7,13,9,32,37
GA	روي	30,31,32	1448, 1448, 1448	98.36	51.46	33,9,34,28,36
GA	البحث الحالي	7,29,14	412,1770,878	59.58	70.6	36,6,27,8,10

ثالثاً: الحالة الثالثة (إعادة التكوين بوجود أربع مولدات موزعة):

الجدول رقم (5): نتائج إعادة تكوين شبكة توزيع IEEE-33 بوجود أربع مولدات موزعة.

الخوارزمية المنفذة	الدراسة المنفذة	توضع DG	استطاعة DG	[KW] الضياعات	نسبة تحسين الضياعات [%]	SW
EP	موسيرين	18 6 22 29	720 ,741, 1733 ,2235	94.1	53.6	7,10,12,16,28
GA	موسيرين	6 18 22 29	1129,1427,533,2509	100	50.2	7 ,10,14,28,30
GA	البحث الحالي	10 7 25 8	630,453,1529,511	61.5	69.5	20,35,32,28,14

الجدول رقم (6): شكل شبكة توزيع 33-EEE-I بعد إعادة التكوين بوجود أربع مولدات موزعة.



9 - الاستنتاجات والتوصيات:

- تم بناء كود برمجي لمحاكاة شبكات التوزيع بشكل عام ويمثل حجر أساس لإجراء أبحاث متقدمة.
- تبين صحة الكود البرمجي المستخدم وقابليته لإدخال المولدات الموزعة على الشبكة المدروسة.
- سريان الحمل باستخدام طريقة نيوتن رافسون أظهرت كفاءة عالية في التقارب وساعدت بشكل فعال في حل مشكلة البحث وكانت قادرة على التعامل مع عقد التوليد وعقد التحكم بمرونة من خلال تحويل العلاقات إلى تعليمات برمجية في بيئة الماتلاب.
- يمكن تخفيض الضياعات من خلال طريقة إعادة تكوين شبكة التوزيع كإحدى طرق تقليل الضياعات باعتبارها لا تتطلب استخدام تجهيزات إضافية لتحقيق الهدف المرغوب.
- يتم تخفيض الضياعات بنسبة أكبر من خلال دعم الشبكة بالتوليد الموزع مما ينعكس وبشكل ملحوظ في تحسين كفاءة الشبكة.
- أثبت تطبيق الخوارزمية الجينية على مسألة تحديد التوزيع الأمثل للتوليد الموزع كفاءة عالية بالمقارنة مع الخوارزميات الأخرى، حيث أنه تم توزيع المولدات على عقد الشبكة المدروسة بدقة من خلال الخوارزمية.
- أظهرت نتائج إضافة ثلاث مولدات موزعة لشبكة توزيع مكونة من 33-IEEE، بعد إعادة التكوين نتائج متقاربة جداً من ذات الشبكة عند إضافة أربع مولدات موزعة مما يجعل توزيع ثلاث من المولدات الموزعة يحقق أداء أفضل للشبكة ووفر اقتصادي عند حدود توليد مماثلة للمولدات الموزعة.

- [1] A. M. Tahboub, V. R. Pandi, and H. Zeineldin,(2015) ‘Distribution System Reconfiguration for Annual Energy Loss Reduction Considering Variable Distributed Generation Profiles’, *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 30, no. 4, pp. 1677–1685, Aug.
- [2] P. Meneses de Quevedo, J. Contreras, M. Rider, and J. Allahdadian, (2015) ‘Contingency Assessment and Network Reconfiguration in Distribution Grids Including Wind Power and Energy Storage’, *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 4.
- [3] N. G. Paterakis, A. Mazza, S. F. Santos, O. Erdinc, G. Chicco, A. G. Bakirtzis, and J. P. S. Catalao(2016), ‘Multi-Objective Reconfiguration of Radial Distribution Systems Using Reliability Indices’, *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 31, no. 2, pp. 1048–1062, Mar. 2016
- [4] N. Gupta, A. Swarnkar, and K. R. Niazi(2014), ‘Distribution network reconfiguration for power quality and reliability improvement using Genetic Algorithms’, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 54, pp. 664–671, Jan. 2014.
- [5] K. Chen, W. Wu, B. Zhang, S. Djokic, and G.P.Harrison,(2016)‘A Method to Evaluate Total Supply Capability of Distribution Systems Considering Network Reconfiguration and Daily Load Curves’, *IEEE Trans. Power Syst.* vol. 31, no. 3, pp. 2096–2104, May
- [6] A. M. Eldurssi and R. M. O’Connell, 2015. ‘A Fast Nondominated Sorting Guided Genetic Algorithm for Multi-Objective Power Distribution System Reconfiguration Problem’, *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 2, pp. 593–601, Mar. 2015.
- [7] K. Prasad, R. Ranjan, N. C. Sahoo, and A. Chaturvedi, 2005. ‘Optimal Reconfiguration of Radial Distribution Systems Using a Fuzzy Mutated Genetic Algorithm’, *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 20, no. 2, pp. 1211–1213, Apr. 2005.
- [8] M.Lavorato, J.F.Franco, M.J.Rider, (2012)‘Imposing Radiality Constraints in Distribution System Optimization Problems’, *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 1, pp. 172–180, Feb.
- [9] T. Niknam and E. Azad Farsani(2010), ‘A hybrid self-adaptive particle swarm optimization and modified shuffled frog leaping algorithm for distribution feeder reconfiguration’, *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 23, no. 8, pp. 1340–1349, Dec. 2010.
- [10] A. M. Eldurssi and R. M. O’Connell,(2015) ‘A Fast Nondominated Sorting Guided Genetic Algorithm for Multi-Objective Power Distribution System Reconfiguration Problem’, *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 2, pp. 593–601, Mar. 2015

- [11] M.E.Baran, F.F.Wu, (1990)“Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing” ,IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No, pp. 239–246.
- [12] T.Taylor ,(1990) “Implementation of Heuristic Search Strategies for Distribution Feeder Reconfiguration”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5,No.pp. 239–24.
- [13] G.J Peponis, M.P. Popadopoulos “Distribution network reconfiguration for resistive line losses”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, 1995, pp. 1338–1342.
- [14] K. Nara, A. Shioss, M. Kitagwa and T. Ishihwara,(1992) “Implementation of GA for distribution system loss minimum reconfiguration”, IEEE Transaction on Power Systems
- [15] Rajaram, R (2015)“Power system reconfiguration in a radial distribution network for reducing losses and to improve voltage profile using modified plant growth simulation algorithm with Distributed Generation (DG)” , ISSN 2352–4847, Elsevier, Amsterdam, Vol. 1, pp. 116–122
- [16]Rao, R.Srinivasa, (2013) “Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation” IEEE Transactions on Power Systems (Volume: 28, Issue: 1, Feb. 2013)
- [17] Musirin Ismail W. Dahalan (2014) “Simultaneous Network Reconfiguration and DG Sizing Using Evolutionary Programming and Genetic Algorithm to Minimize Power Losses” Arab J Sci Eng No 39:6327–6338
- [18]Alexander Ismael Rost (2004) “Distribution System with Distributed Generation:Analysis And Operation”B.E.SC, The University Of western Ontario.