

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب

طالب الماجستير: م. عبد الهادي حاج أحمد

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

إشراف: أ.د. أسامة الخياط

ملخص البحث

يشكل نظام التوزيع الكهربائي جزءاً رئيسياً في نظام القدرة لأنه الرابط بين نظام نقل الطاقة وأحمال المستهلكين. تنمو شبكات التوزيع بشكل كبير وتمتد بعيداً عن المصدر مما يسبب ضياعات في النظام وانخفاض في التوتر وكذلك انخفاض عامل الاستطاعة. يمكن تحسين هذه العوامل إلى حد كبير عن طريق تعويض الاستطاعة الردية. نظراً لأن الجزء الأكبر من أحمال نظام التوزيع هي من النوع التحريضي، يمكن إجراء تعويض الاستطاعة الردية عن طريق وضع بنوك من المكثفات في المواقع المثلى في الشبكة. في هذا البحث يتم تحديد الموقع الأمثل وكذلك الاستطاعة المثلى للمكثفات باستخدام خوارزمية أمثلية عناصر السرب (PSO) بهدف تخفيض الضياعات وتحسين التوتر. تم اختبار الخوارزمية على شبكات قياسية 15 و 33 عقدة، وأثبتت النتائج فعالية الخوارزمية المقترحة في الوصول إلى الحل الأمثل.

الكلمات المفتاحية: شبكات التوزيع الكهربائية، المكثفات، الاستطاعة الردية، جريان الاستطاعة.

Optimal Distributed of Capacitors in Electrical Distribution Networks for Reduce the Losses Based on Particle Swarm Optimization Algorithm

Abstract

Electrical distribution system forms a major part in the power system as it is the link between power transmission system and the consumers loads. Distribution systems are growing in large and are stretched too far leading higher system losses, voltage drop and low power factor. These factors can be improved to a greater extent using reactive power compensation. As major part of the load in distribution system is of inductive type, reactive power compensation can be done by placing capacitor banks at optimal locations in the system. In this research the optimal location and size of capacitors is determined using particle swarm optimization algorithm (PSO) for losses reduction and voltage improvement. The algorithm was tested on 15 and 33 bus standard systems, and The results proved the effectiveness of the proposed algorithm in reaching the optimal solution.

Keywords: Electrical distribution networks, capacitors, reactive power, power flow.

1. مقدمة:

نظراً لأن أنظمة التوزيع تنمو بشكل كبير وتمتد إلى مناطق بعيدة، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة ضياعات النظام وضعف في تنظيم الجهد، فقد أصبحت الحاجة إلى نظام توزيع فعال أكثر إلحاحاً وأهمية.

في هذا الصدد، إن تعويض الاستطاعة الردية بواسطة المكثفات هي واحدة من أكثر الطرق استخداماً لتحقيق عدة أهداف منها: تحسين التوتر، تخفيض الضياعات، زيادة قدرة نقل الطاقة للخطوط وتحسين عامل الاستطاعة [1]، كما يتسبب التوصيل الغير أمثل للمكثفات في زيادة الضياعات [2]، لذلك من المهم إيجاد أفضل موقع واستطاعة للمكثفات للحصول على أقل ضياعات ممكنة.

يوجد العديد من الطرق والتقنيات المستخدمة لحل مشكلة وضع المكثفات بالشكل الأمثل في شبكات التوزيع الكهربائية، منها البرمجة التحليلية والعددية والنكاه الاصطناعي، حيث تم اقتراح طريقة البرمجة غير الخطية المختلطة في [3]. كما تم استخدام طريقة الشبكات العصبونية لحل المشكلة كما في [4]. تم في [5] استخدام البرمجة الديناميكية الضبابية حيث استخدم الباحث هذا النموذج لشرح فقدان الاستطاعة الحقيقية وانحراف التوتر. أما في [6] تم استخدام الخوارزمية الجينية لحل مشكلة وضع المكثفات بالشكل الأمثل في الشبكة.

تعتمد خوارزمية أمثلية عناصر السرب (PSO) على السلوك الاجتماعي لبعض المجموعات في الطبيعة (الطيور، النحل، الأسماك، ...) وتقوم بالبحث في فضاء البحث عن طريق تعديل مسارات العناصر المتحركة في الفضاء متعدد الأبعاد وتستخدم للعثور على الحل الأمثل للمشاكل الغير خطية المستمرة والمنفصلة [7]، حيث تتلخص المزايا الرئيسية لـ PSO بأنها ذات مفهوم بسيط بالإضافة إلى كفاءتها العالية عند مقارنتها بالخوارزميات الأخرى.

2. هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى إيجاد الموقع الأمثل والاستطاعة المثلى للمكثفات التي يراد توصيلها إلى شبكات التوزيع بهدف تخفيض الضياعات في هذه الشبكات بالإضافة إلى تحسين التوتر في عقد الشبكة الأمر الذي يؤدي إلى تقليل الخسائر الإجمالية وزيادة موثوقية الشبكة.

3. المواد وطرائق البحث:

يقوم البحث على تحليل شبكة التوزيع لحساب الضياعات والتوترات في الشبكة و ثم إيجاد الموقع والاستطاعة الأمثلين للمكثفات في الشبكة، وتم استخدام برنامج Matlab لكتابة برنامج من أجل تحليل الشبكة لحساب الضياعات والتوترات (خوارزمية المسح الخلفي- الأمامي)، وكتابة برنامج يمثل خوارزمية PSO لإيجاد الحلول المثلى عن طريق ربط البرنامجين ببعضهما.

1.3. خوارزمية المسح الخلفي-الأمامي لحساب جريان الاستطاعة:

تعمل الخوارزمية على مرحلتين أساسيتين، المرحلة الأولى هي المسح الخلفي والمرحلة الثانية هي المسح الأمامي [8-11].

1.1.3. المسح الخلفي:

في هذه الخطوة يتم حساب تيارات الأحمال الموصولة إلى كل عقدة من شبكة التوزيع وفق التالي [10]:

$$I_L(m) = \left(\frac{P_L(m) + jQ_L(m)}{V(m)} \right)^* = \left(\frac{P_L(m) - jQ_L(m)}{V^*(m)} \right) \quad (1)$$

حيث: $I_L(m)$ تيار الحمل الموصول إلى العقدة m .

$P_L(m)$ و $Q_L(m)$ يمثلان الاستطاعة الفعلية والردية على التوالي للحمل الموصول إلى العقدة m .

$V(m)$ توتر العقدة m .

2.1.3. المسح الأمامي:

تستخدم هذه الخطوة بعد المسح الخلفي لتحديد توتر كل عقدة من الشبكة على النحو التالي:

$$V(n) = V(m) - I(mn) \times Z(mn) \quad (2)$$

حيث: العقدة m والعقدة n هما عقدتا الإرسال والاستقبال على التوالي للفرع mn .

$I(mn)$ تيار الفرع mn .

$Z(mn)$ ممانعة الفرع mn .

في هذه الخوارزمية تعتمد منهجية جريان الاستطاعة على:

(1) التيارات المكافئة للأحمال

(2) مصفوفة تيارات العقد - تيارات الفروع

BIBC (The bus-injection to branch-current matrix)

(3) مصفوفة تيارات الفروع - توترات العقد

BCBV (The branch-current to node-voltage matrix)

(1) التيارات المكافئة للأحمال:

في أي عقدة من الشبكة يمكن التعبير عن الاستطاعة بالمعادلة التالية:

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i \times I_i^* \quad i = 1, \dots, Nb \quad (3)$$

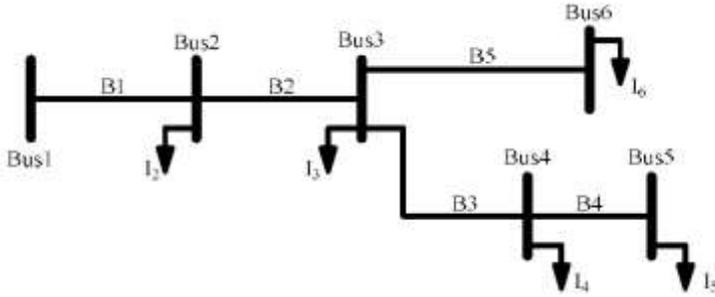
$$I_i = \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i} \right)^* \quad i = 1, \dots, Nb \quad (4)$$

من أجل التكرار رقم k والعقدة رقم i يمكن كتابة التيار كما يلي:

$$I_i^k = \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right)^* \quad (5)$$

(2) تشكيل مصفوفة BIBC:

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار عند كل عقدة من الشبكة يتشكل لدينا مجموعة من المعادلات تربط ما بين تيارات الأحمال وتيارات الفروع كما هو موضح في الشكل (1) الذي من خلاله يتم شرح الخوارزمية بشكل عملي وفق التالي:



الشكل (1): شبكة توزيع بسيطة

$$\begin{aligned} IB_5 &= I_6 \\ IB_4 &= I_5 \\ IB_3 &= I_4 + I_5 \\ IB_2 &= I_6 + I_3 + I_4 + I_5 \\ IB_1 &= I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \end{aligned} \quad (6)$$

من المعادلات السابقة يمكن كتابة مصفوفة BIBC بالشكل التالي:

$$\begin{bmatrix} IB_1 \\ IB_2 \\ IB_3 \\ IB_4 \\ IB_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} \quad (7)$$

الشكل العام للمعادلة السابقة يمكن التعبير عنه كما يلي:

$$[IB] = [BIBC] \times [I] \quad (8)$$

(3) تشكيل مصفوفة BCBV:

تلخص هذه المصفوفة العلاقة بين تيارات الفروع وتوترات العقد حيث يمكن الحصول عليها بسهولة من خلال تطبيق قانون كيرشوف للجهد.

كما هو مبين في الشكل (1)، توترات العقد 2 و3 و4 يمكن التعبير عنها كما يلي:

$$V_2 = V_1 - IB_1 \times Z_{12} \quad (9)$$

$$V_3 = V_2 - IB_2 \times Z_{23} \quad (10)$$

$$V_4 = V_3 - IB_3 \times Z_{34} \quad (11)$$

بتبديل المعادلتين (9) و (10) في المعادلة الأخيرة (11) يمكن كتابة توتر العقدة 4 كما يلي:

$$V_4 = V_1 - IB_1 \times Z_{12} - IB_2 \times Z_{23} - IB_3 \times Z_{34} \quad (12)$$

من المعادلة الأخيرة يتبين أن توترات عقد الشبكة يمكن التعبير عنها كتابع لتيارات الفروع وبارامترات الخطوط والتوتر الرئيسي للمحطة الفرعية.

بالتالي يمكن كتابة مصفوفة BCBV بالشكل التالي:

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{56} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} IB_1 \\ IB_2 \\ IB_3 \\ IB_4 \\ IB_5 \end{bmatrix} \quad (13)$$

الشكل العام للمعادلة السابقة يمكن التعبير عنه كما يلي:

$$[\Delta V] = [BCBV] \times [IB] \quad (14)$$

كما يمكن كتابتها بالشكل:

$$[\Delta V] = [BCBV] \times [BIBC] \times [I] \quad (15)$$

$$[\Delta V] = [DLF] \times [I] \quad (16)$$

$$[DLF] = [BCBV] \times [BIBC] \quad (17)$$

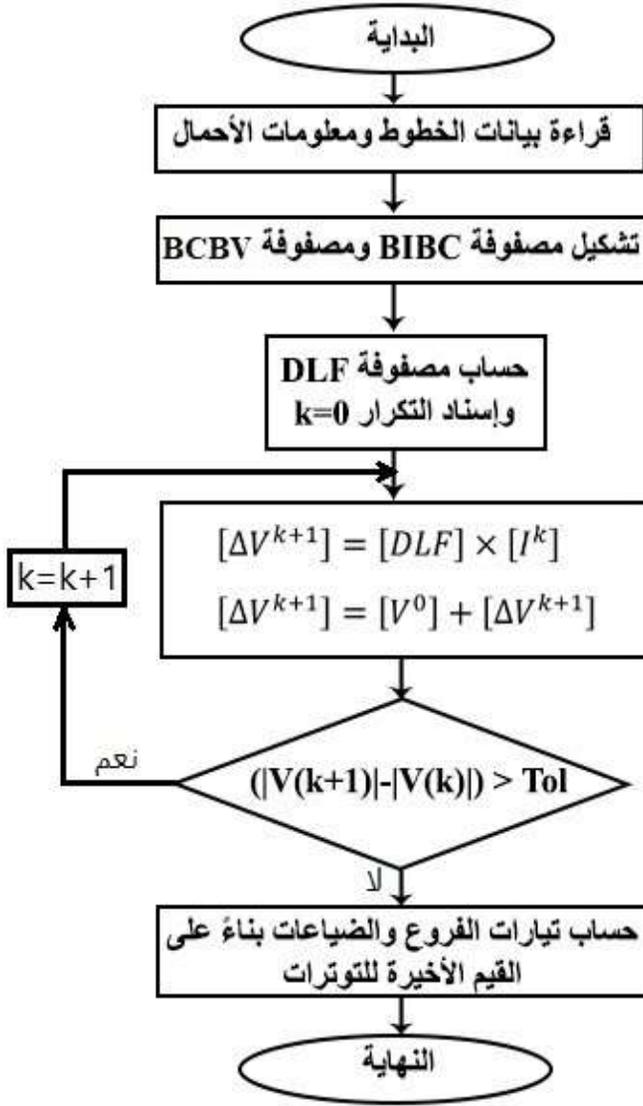
يمكن الحصول على الحل التكراري لجريان استطاعة شبكة التوزيع عن طريق حل المعادلات التالية:

$$I_i^k = \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right)^* \quad (18)$$

$$[\Delta V^{k+1}] = [DLF] \times [I^k] \quad (19)$$

$$[\Delta V^{k+1}] = [V^0] + [\Delta V^{k+1}] \quad (20)$$

يمكن تلخيص خوارزمية المسح الخلفي-الأمامي بالمخطط التدفقي التالي:



الشكل (2): المخطط التدفقي لخوارزمية المسح الخلفي-الأمامي

2.3. خوارزمية أمثلية عناصر السرب (Particle Swarm Optimization) :

تم تقديم الخوارزمية في عام 1995 [7] كبديل للخوارزميات الجينية القياسية، حيث أن هذه الخوارزمية مستوحاة من أسراب الحشرات أو الحيوانات (الطيور، الأسماك، النحل ...) حيث تسافر هذه العناصر للعثور على الطعام، ويطلق على أفراد الخوارزمية اسم

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب

العناصر وتسمى المجموعة سرباً. في هذه الخوارزمية يتم استخدام تعريفين مختلفين: الأفضل للعناصر والأفضل كلياً. عندما يتحرك العنصر في مساحة البحث، فإنه يقارن قيمة لياقته في الموضع الحالي بأفضل قيمة لياقة وصل إليها من قبل.

في PSO لضبط الموقع يتم حساب سرعة كل عنصر باستخدام الموضع الحالي x_i وأفضل موضع للعنصر حتى الآن $Pbest$ وأفضل موضع كلي للعنصر في $Gbest$ وبالتالي ستعتمد حركة العناصر على خبرتهم الخاصة بالإضافة لتجارب الأصدقاء في المجموعة.

يمكن حساب السرعة الجديدة والموقع الجديد لكل عنصر في السرب على النحو التالي [12]:

$$V_i^{k+1} = wV_i^k + c_1r_1(Pbest_i^k - x_i^k) + c_2r_2(Gbest_i^k - x_i^k) \quad (21)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (22)$$

حيث: V_i^k سرعة العنصر i في التكرار k .

r_1 و r_2 أرقام عشوائية بين 0 و 1.

c_1 و c_2 ثوابت موجبة تمثل ثوابت التسارع وتؤخذ عادة مساوية لـ 2.

$Pbest_i^k$ هي أفضل قيمة لتابع الهدف تم تحقيقها بواسطة العنصر i قبل التكرار k .

$Gbest_i^k$ هي أفضل قيمة لتابع الهدف تم الوصول إليها حتى الآن بواسطة أي عنصر.

w يمثل عامل الوزن ويعطى كما يلي:

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (23)$$

حيث: W_{min} و W_{max} هما الحد الأعلى والأدنى لعامل الوزن.

$iter_{max}$ و $iter$ هما التكرار الأعظمي والتكرار الحالي على التوالي.

1.2.3. تابع الهدف:

الهدف الرئيسي من تحديد استطاعة وموقع المكثفات هو تخفيض الضياعات الفعلية في شبكة التوزيع وبالتالي يكون تابع الهدف بالشكل التالي:

$$\min \left(f = \sum_{i=1}^{nl} Ploss_i \right) = \min \left(f = \sum_{i=1}^{nl} R_i \times I_i^2 \right)$$

$$\text{for } i = 1, 2, \dots, nl \quad (24)$$

حيث: $Ploss_i$ يمثل الضياعات الفعلية في الفرع i .

R_i و I_i يمثلان مقاومة وتيار الفرع i على التوالي.

nl يمثل عدد فروع الشبكة.

2.2.3. القيود:

(a) حدود توترات العقد: عند وصل المكثفات إلى نظام التوزيع يجب أن تبقى

توترات العقد ضمن الحدود المقبولة كما يلي:

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (25)$$

حيث V_i يمثل توتر العقدة i .

$V_{min} = 0.9$ و $V_{max} = 1.05$ يمثلان الحد الأدنى والحد الأعلى المقبولان

للتوتر على التوالي.

n يمثل عدد العقد.

(b) الاستطاعة الردية الكلية للمكثفات: يجب أن تكون الاستطاعة الردية الكلية المقدمة من قبل المكثفات (Q_c^{Total}) أصغر أو تساوي مجموع الاستطاعات الردية لشبكة التوزيع ككل (Q_L^{Total}) كما يلي:

$$Q_c^{Total} \leq Q_L^{Total} \quad (26)$$

3.2.3. خطوات تنفيذ خوارزمية PSO:

تتم عملية تنفيذ خوارزمية PSO وفق الخطوات البسيطة التالية:

- التوليد العشوائي لكافة العناصر.
- تقييم تابع الهدف بالنسبة لكل عنصر.
- تحديد $Pbest$ و $Gbest$ لجميع العناصر.
- تحديد السرعة الجديدة لكل عنصر.
- تحديث الموضع الحالي إلى الموضع الجديد.
- تحديث السرعة الحالية إلى السرعة الجديدة.
- التحقق من معيار التوقف وإلا الانتقال إلى الخطوة b.

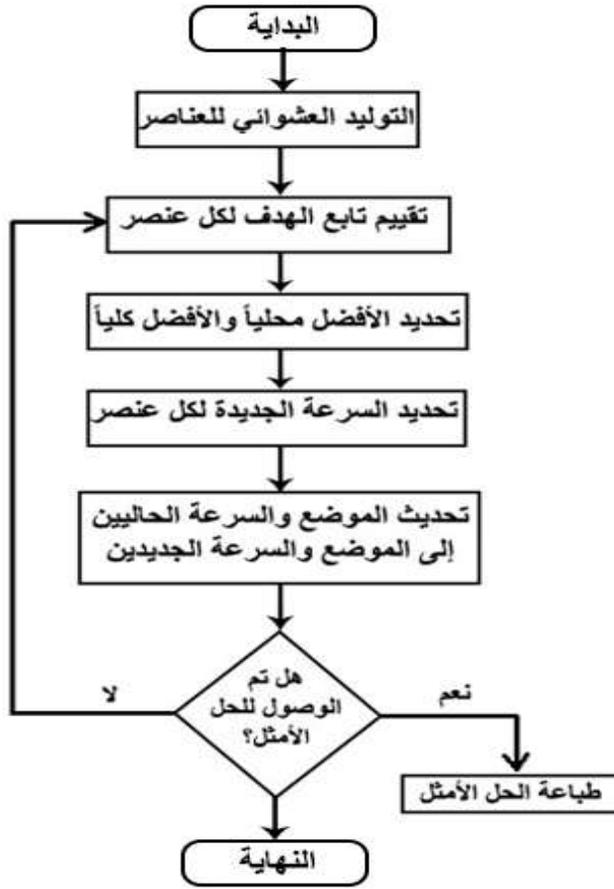
في هذا البحث، العناصر هي عبارة عن استطاعة المكثفات وموقع المكثفات كما توضع العلاقة التالية:

$$X_{particle} = \{Q_{c1}, Q_{c2}, \dots, Q_{c\beta}, L_{c1}, L_{c2}, \dots, L_{c\alpha}\} \quad (27)$$

حيث: β عدد مجموعات المكثفات.

α عدد المواقع المتاحة.

يمكن تلخيص خوارزمية PSO بالمخطط التدفقي التالي:



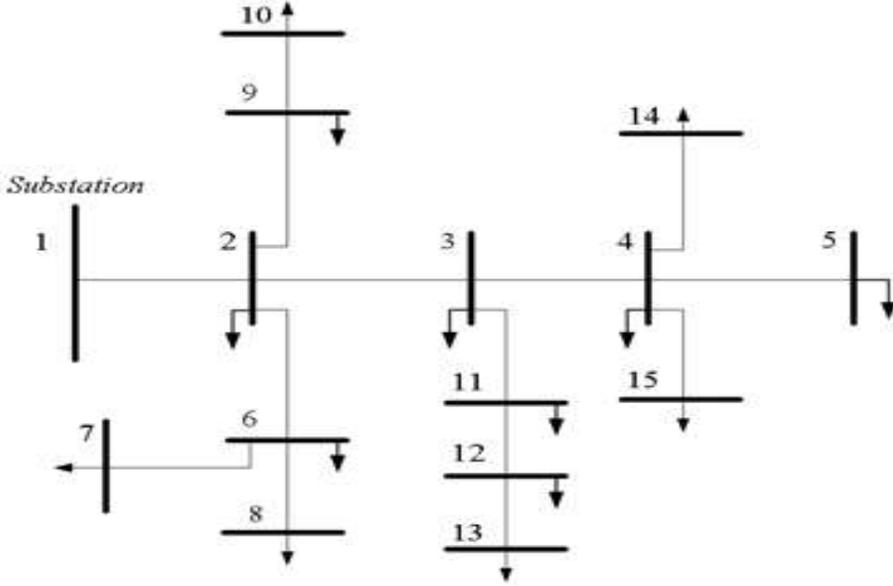
الشكل(3): المخطط التدفقي لخوارزمية PSO

4. النتائج والمناقشة:

1.4. شبكة توزيع 15 عقدة:

تم اختبار الطريقة المقترحة على شبكة توزيع 15 عقدة ذات التوتر 11 kV والتي تم تقديم معلوماتها من خلال الشكل والجدول التاليين [9]:

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب



الشكل (4): مخطط شبكة توزيع 15 عقدة

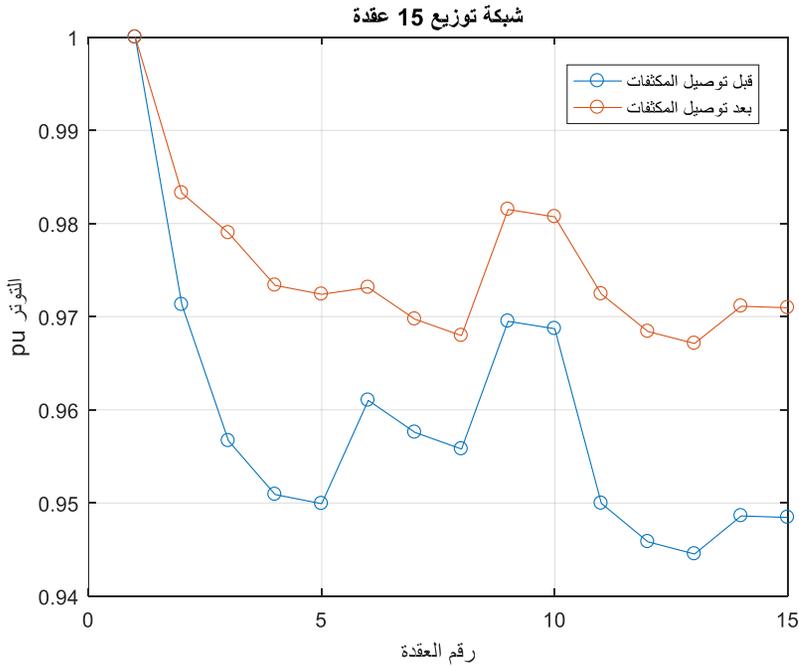
Bus No.		Line data		Load data	
From	To	R(Ω)	X(Ω)	P(kW)	Q (kVAR)
1	2	1.353	1.323	44	44.99
2	3	1.17	1.145	70	71.44
3	4	0.841	0.823	140	142.82
4	5	1.523	1.028	44	44.99
2	9	2.013	1.358	70	71.44
9	10	1.687	1.138	44	44.99
2	6	2.557	1.725	70	71.414
6	7	1.088	0.734	140	142.82
6	8	1.251	0.844	140	142.82
3	11	1.796	1.211	140	142.82
11	12	2.448	1.652	70	71.414
12	13	2.013	1.358	44	44.99
4	14	2.231	1.505	70	71.414
4	15	1.197	0.807	140	142.82
Total Load				1226.5	1251.182

الجدول (1): معلومات شبكة التوزيع 15 عقدة

• الحالة 1 :

استخدام مجموعة واحدة من المكثفات في موقع واحد من الشبكة:

بعد تطبيق الخوارزميات المذكورة سابقاً (المسح الخلفي-الأمامي و PSO) على برنامج MATLAB وإدخال معلومات الشبكة إلى البرنامج، تم حساب التوترات والضيعات في الحالة الأساسية ومن ثم إيجاد أفضل استطاعة وأفضل موقع للمكثفات بما يحقق أقل ضياعات ممكنة، وبينت النتائج أن أفضل موقع لمجموعة المكثفات هو عند العقدة 3 باستطاعة 1040 kVAR، والشكل التالي يبين توترات العقد قبل وبعد توصيل مجموعة المكثفات:



الشكل (5): توترات عقد الشبكة 15 عقدة قبل وبعد إضافة مجموعة المكثفات

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب

توتر العقدة رقم 1 (نقطة بداية المنحنيين) يمثل توتر المحطة الفرعية المغذية لشبكة التوزيع والتي تكون عندها قيمة التوتر مساوية للقيمة الاسمية 11 kV أي (1 p.u) لأنه لم يطرأ عليها بعد أي هبوط بسبب ممانعات خطوط النقل وذلك بحسب المعادلة (12).

الملاحظ من الشكل السابق تحسن واضح في قيم توترات عقد الشبكة، وتم أخذ متوسط توترات العقد لمعرفة مدى التحسن، فقد كان متوسط توترات عقد الشبكة في الحالة الأساسية 10.5446 kV أي (0.9586 p.u) وأصبح المتوسط بعد توصيل المكثفات 10.7294 kV أي (0.9754 p.u).

بعد حساب ضياعات الشبكة في الحالة الأساسية كانت تساوي 61.54 kW وبعد توصيل المكثفات بالشكل الأمثل (عند العقدة 3 باستطاعة 1040 kVAR) أصبحت الضياعات تساوي 36.85 kW أي انخفضت الضياعات بنسبة % 40.12.

يبين الجدول التالي الضياعات قبل وبعد توصيل المكثفات:

بعد توصيل المكثفات		قبل توصيل المكثفات	الشبكة 15 عقدة
الاستطاعة المثلى	الموقع الأمثل		
1040 kVAR	3		
36.85		61.54	ضياعات الشبكة (kW)
0.9754		0.9586	متوسط التوترات (p.u)

الجدول (2): مقارنة بين الضياعات قبل وبعد إضافة مجموعة المكثفات إلى الشبكة

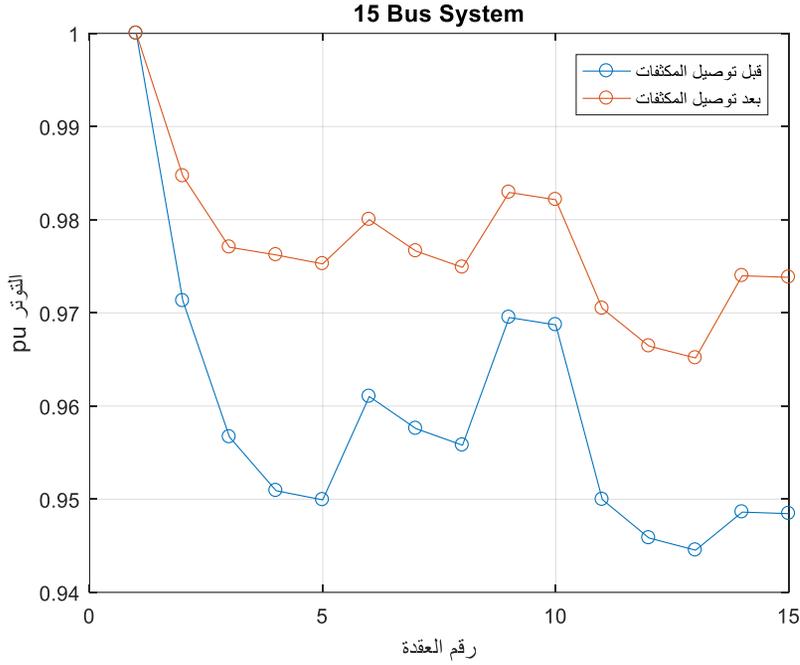
عقدة 15

• الحالة 2 :

استخدام مجموعتين من المكثفات في موقعين مختلفين من الشبكة:

بينت النتائج أن أفضل موقع لمجموعتي المكثفات هو عند العقدة 4 والعقدة 6 باستطاعة

توصيل مجموعتي المكثفات: 689 kVAR و 472 kVAR على التوالي، والشكل التالي يبين توترات العقد قبل وبعد



الشكل (6): توترات عقد الشبكة 15 عقدة قبل وبعد إضافة مجموعتي المكثفات

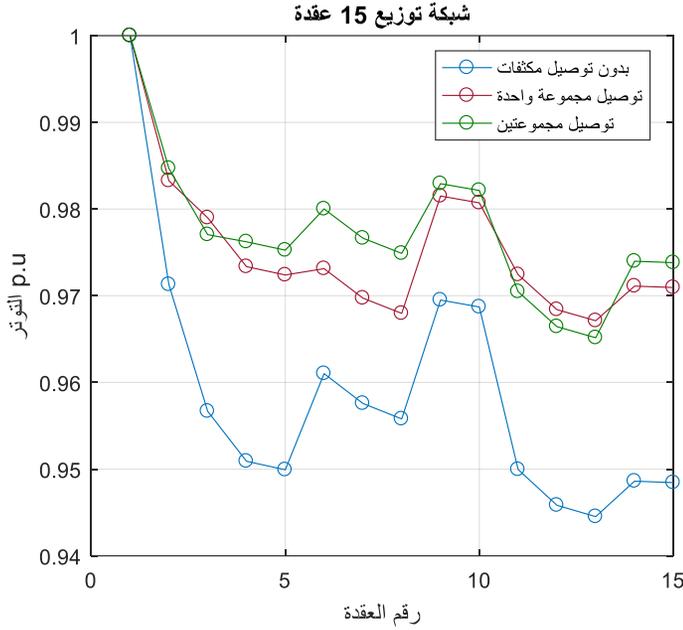
يبين الجدول التالي الضياعات قبل وبعد توصيل المكثفات:

بعد توصيل المكثفات		قبل توصيل المكثفات	الشبكة 15 عقدة
الاستطاعة المثلى	الموقع الأمثل		
689 kVAR	4		
472 kVAR	6		
33.09		61.54	ضياعات الشبكة (kW)
0.9773		0.9586	متوسط التوترات (p.u)

الجدول (3): مقارنة بين الضياعات قبل وبعد إضافة مجموعتي المكثفات إلى

الشبكة 15 عقدة

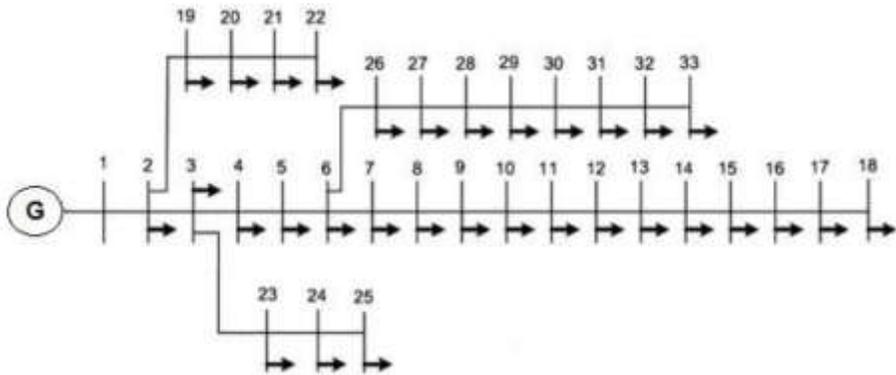
التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب



الشكل (7): توترات عقد الشبكة 15 عقدة قبل وبعد إضافة المكثفات في الحالتين 1 و 2

2.4. شبكة توزيع 33 عقدة:

تم اختبار الطريقة المقترحة على شبكة توزيع 33 عقدة ذات التوتر 12.66 kV والتي تم تقديم معلوماتها من خلال الشكل والجدول التاليين [13]:



الشكل (8): مخطط شبكة التوزيع 33 عقدة

Bus No.		Line data		Load data	
From	To	R(Ω)	X(Ω)	P(kW)	Q (kVAR)
1	2	0.0922	0.047	100	60
2	3	0.493	0.2511	90	40
3	4	0.366	0.1864	120	80
4	5	0.3811	0.1941	60	30
5	6	0.819	0.707	60	20
6	7	0.1872	0.6188	200	100
7	8	1.7114	1.2351	200	100
8	9	1.03	0.74	60	20
9	10	1.044	0.74	60	20
10	11	0.1966	0.065	45	30
11	12	0.3744	0.1238	60	35
12	13	1.468	1.155	60	35
13	14	0.5416	0.7129	120	80
14	15	0.591	0.526	60	10
15	16	0.7463	0.545	60	20
16	17	1.289	1.721	60	20
17	18	0.732	0.574	90	40
2	19	0.164	0.1565	90	40
19	20	1.5042	1.3554	90	40
20	21	0.4095	0.4784	90	40
21	22	0.7089	0.9373	90	40
3	23	0.4512	0.3083	90	50
23	24	0.898	0.7091	420	200
24	25	0.896	0.7011	420	200
6	26	0.203	0.1034	60	25
26	27	0.2842	0.1447	60	25
27	28	1.059	0.9337	60	20
28	29	0.8042	0.7006	120	70
29	30	0.5075	0.2585	200	600
30	31	0.9744	0.963	150	70
31	32	0.3105	0.3619	210	100
32	33	0.341	0.5302	60	40

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب

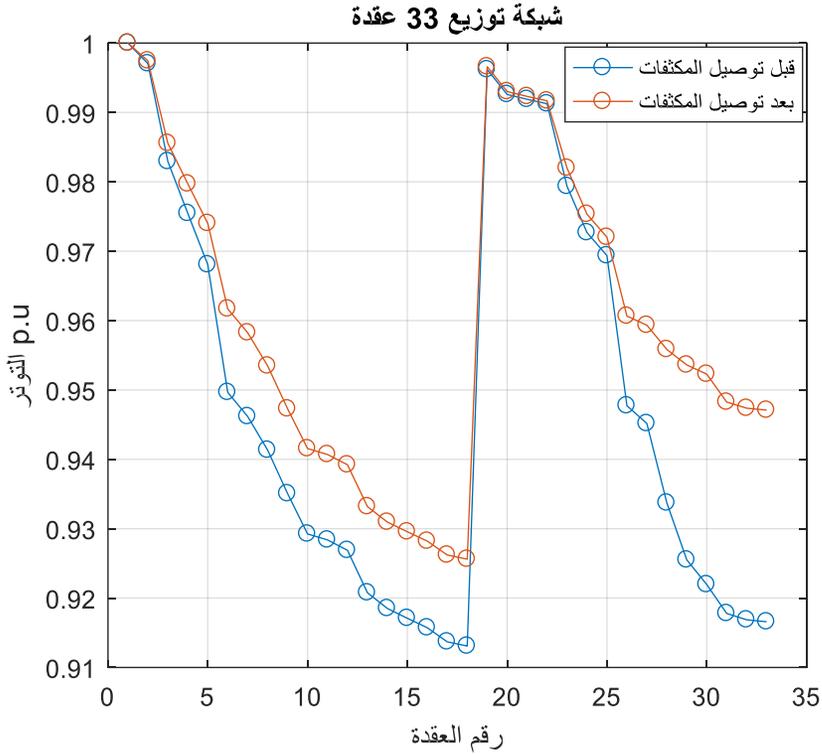
Total Load	3715	2300
------------	------	------

الجدول (4): معلومات شبكة التوزيع 33 عقدة

• الحالة 1 :

استخدام مجموعة واحدة من المكثفات في موقع واحد من الشبكة:

بينت النتائج أن أفضل موقع لمجموعة المكثفات هو عند العقدة 30 باستطاعة 1250 kVAR والشكل التالي يبين توترات العقد قبل وبعد توصيل مجموعة المكثفات:



الشكل (9): توترات عقد الشبكة 33 عقدة قبل وبعد إضافة مجموعة المكثفات

يبين الجدول التالي الضياعات قبل وبعد توصيل المكثفات:

بعد توصيل المكثفات		قبل توصيل المكثفات	الشبكة 33 عقدة
الاستطاعة المثلى 1250 kVAR	الموقع الأمثل 30		
143.7		202.78	ضياعات الشبكة (kW)
0.9599		0.9484	متوسط التوترات (p.u)

الجدول (5): مقارنة بين الضياعات قبل وبعد إضافة مجموعتي المكثفات إلى

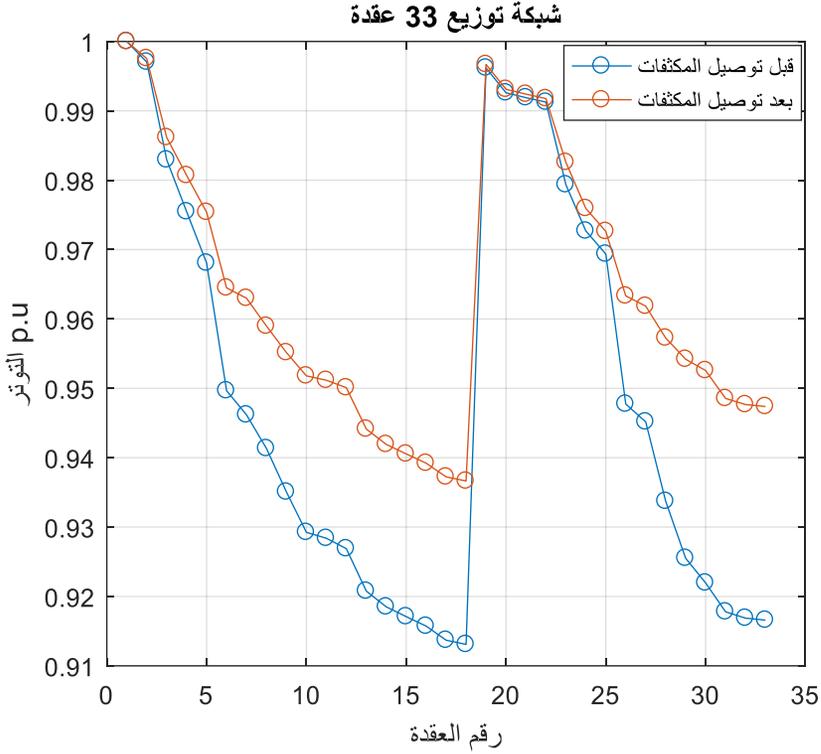
الشبكة 33 عقدة

• الحالة 2 :

استخدام مجموعتين من المكثفات في موقعين مختلفين من الشبكة:

بينت النتائج أن أفضل موقع لمجموعي المكثفات هو عند العقدة 12 والعقدة 30 باستطاعة 480 KVAR و 1070 KVAR على التوالي، والشكل التالي يبين توترات العقد قبل وبعد توصيل مجموعتي المكثفات:

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب



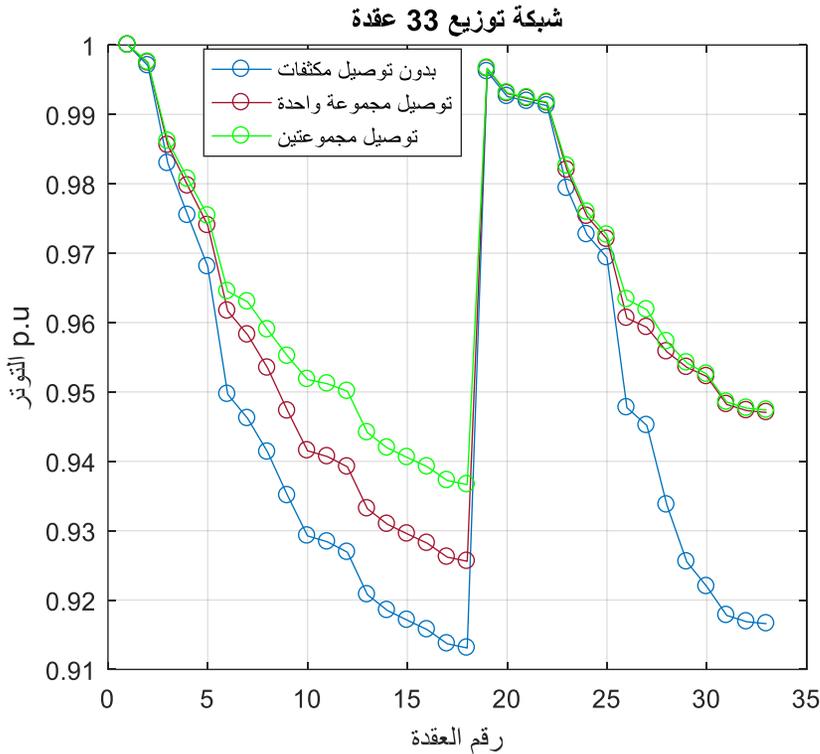
الشكل (10): توترات عقد الشبكة 33 عقدة قبل وبعد إضافة مجموعتي المكثفات

يبين الجدول التالي الضياعات قبل وبعد توصيل المكثفات:

بعد توصيل المكثفات		قبل توصيل المكثفات	الشبكة 33 عقدة
الاستطاعة المثلى	الموقع الأمثل		
480 kVAR	12		
1070 kVAR	30		
135.87		202.78	ضياعات الشبكة (kW)
0.964		0.9484	متوسط التوترات (p.u)

الجدول (6): مقارنة بين الضياعات قبل وبعد إضافة مجموعتي المكثفات إلى

الشبكة 15 عقدة



الشكل (11): توترات عقد الشبكة 33 عقدة قبل وبعد إضافة المكثفات في الحالتين 1

و 2

5. الاستنتاجات والتوصيات:

1.5. الاستنتاجات:

تم في هذا البحث تطبيق خوارزمية أمثلية عناصر السرب (PSO) بالإضافة إلى خوارزمية المسح الخلفي-الأممي للعثور على المواقع والاستطاعات المثلى للمكثفات المراد توصيلها إلى شبكات التوزيع. تم تطبيق الخوارزميتين على أنظمة توزيع قياسية 15 عقدة وكان الهدف هو تخفيض الضياعات الفعلية في الشبكة مع مراعاة القيود المفروضة من حيث التوتر المقبول وحدود استطاعة المكثفات المقبولة. أظهرت النتائج انخفاض جيد في ضياعات الشبكة بالمقارنة مع الضياعات في الحالة الأساسية، وكذلك

تحسن ملحوظ في توترات العقد، الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض التكاليف الإجمالية وزيادة موثوقية شبكات التوزيع الكهربائية.

2.5. التوصيات:

دمج مصادر التوليد الموزع (محطات كهروضوئية، محطات ريفية ...) بالإضافة إلى المكثفات في شبكات التوزيع على النحو الأمثل لتخفيض الضياعات بشكل أكبر، وكذلك الاستفادة من الطاقة المتجددة في تغذية الأحمال للتخفيف من استخدام الوقود الأحفوري في المحطات الرئيسية.

6. المراجع:

- [1] Grainger, J.J. and Lee, S.H 1981 Optimum size and location of shunt capacitors for reduction of losses on distribution feeders, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, (3), pp.1105-1118.
- [2] Khodr, H.M., Vale, Z. and Ramos, C 2009 Notice of violation of ieee publication principles: Optimal cost-benefit for the location of capacitors in radial distribution systems, IEEE transactions on power delivery, 24(2), pp.787-796.
- [3] Baran, M. and Wu, F.F 1989 Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system, IEEE Transactions on power Delivery, 4(1), pp.735-743.
- [4] Santoso, N.I. and Tan, O.T 1990 Neural-net based real-time control of capacitors installed on distribution systems, IEEE Transactions on Power Delivery, 5(1), pp.266-272.
- [5] Chin, H.C 1995 Optimal shunt capacitor allocation by fuzzy dynamic programming, Electric Power Systems Research, 35(2), pp.133-139.
- [6] Sundhararajan, S. and Pahwa, A 1994 Optimal selection of capacitors for radial distribution systems using a genetic algorithm, IEEE transactions on Power Systems, 9(3), pp.1499-1507.
- [7] Kennedy, J. and Eberhart, R 1995 Particle swarm optimization, Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks,(Vol. 4, pp. 1942-1948).
- [8] Madjissembaye, N., Muriithi, C.M. and Wekesa, C.W 2016 Load flow analysis for radial distribution networks using

backward/forward sweep method, Journal of Sustainable Research In Engineering, 3(3), pp.82-87.

[9] Rana, A.D., Darji, J.B. and Pandya, M 2014 Backward/forward sweep load flow algorithm for radial distribution system, International journal for scientific research and development, 2(1), pp.398-400.

[10] Krishna, B.V. and Srinivasu, N.P 2019 A Direct Method for Distribution System Load Flow Solutions, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 8(6S3).

[11] Mishra, S., Das, D. and Paul, S 2014 A simple algorithm for distribution system load flow with distributed generation International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering, (ICRAIE-2014) (pp. 1-5). IEEE.

[12] Merzoug, Y., Abdelkrim, B. and Larbi, B 2020 Distribution network reconfiguration for loss reduction using PSO method, International Journal of Electrical and Computer Engineering, 10(5), p.5009.

[13] Vita, V. 2017. Development of a decision-making algorithm for the optimum size and placement of distributed generation units in distribution networks. Energies, 10(9), 1433.