

Technical Performance Evaluation of Voltage Regulation Equipment in a Low Voltage Network (Comparative Study)

Dr. Faisal Shabaan *
Dr. Tammam Hayder **
Rand Khierbek ***

(Received 7 / 5 / 2023. Accepted 20 / 6 / 2023)

□ ABSTRACT □

This paper presents a technical comparison study between many devices and strategies used to process the issue of voltage regulation in a real local distribution low voltage – network in order to choose the best technical solution. Reference studies presented various and different solutions and proposed many devices and strategies to process this issue, but have not provided any technical comparison between these devices and solutions. In this paper, many of devices for the voltage regulation were used in a part of 0.4 kV network in the city of Lattakia which are:

Zig-Zag transformer, D-STATCOM device and automatic voltage regulator.

Different operation cases were studied. The methods and devices were evaluated based on technical standards: voltage unbalance, voltage drop, and losses. Results showed the efficiency of the three devices in principle to process the presented problems with variation in performance according on the studied case.

Keywords: voltage regulation, Distribution Networks, MATLAB Software.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Professor, Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

** Assistant Professor, Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

***Postgraduate Student (Master), Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. rand.khierbek@tishreen.edu

تقييم الأداء الفني لتجهيزات تنظيم الجهد في شبكة جهد منخفض (دراسة مقارنة)

د. فيصل شعبان*

د. تمام حيدر**

رند خيربك***

(تاريخ الإيداع 7 / 5 / 2023. قُبِلَ للنشر في 20 / 6 / 2023)

□ ملخص □

يُقدّم هذا البحث دراسة مقارنة فنية بين العديد من التجهيزات والاستراتيجيات المستخدمة لمعالجة مسألة تنظيم الجهد في شبكة توزيع محلية (جهد منخفض) وذلك من أجل اختيار الحل الأمثل فنياً. قدّمت الدراسات المرجعية حلولاً مختلفة وتم اقتراح تجهيزات واستراتيجيات عديدة لمواجهة مسألة تنظيم الجهد في شبكات التوزيع الكهربائية لكنها لم تقدّم أية مقارنة فنية بين هذه الحلول.

في هذا البحث تم استخدام مجموعة تجهيزات لتنظيم الجهد في مقطع من شبكة 0.4 kV في مدينة اللاذقية وهي: محولة Zig-Zag، معوض ستاتيكي موزع D-STATCOM ومنظم جهد آلي AVR. درست حالات عمل مختلفة وجرى تقييم الطرق والتجهيزات المدروسة اعتماداً على مجموعة معايير فنية: عدم توازن الأطوار، هبوط الجهد والضياعات. وبينت النتائج كفاءة الأجهزة الثلاثة من حيث المبدأ في معالجة المشاكل المطروحة مع تباين في الأداء تبعاً للحالة المدروسة.

الكلمات المفتاحية: تنظيم الجهد، شبكات التوزيع، برنامج ماتلاب.



حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

*أستاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية-كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**مدرس - قسم هندسة الطاقة الكهربائية-كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

***طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. .

rand.khierbek@tishreen.edu

مقدمة:

يعتبر ضبط الجهد عند قيمه الاسمية مع تأرجح بسيط، معيار من أهم معايير الجودة [1]، حيث يسمح حالياً بتأرجح للجهد لا يتجاوز $\pm 5\%$ [2].

يعتبر الجهد والتردد العاملين الأساسيان في جودة التغذية، حيث أنه في شبكات التوزيع نهتم فقط بموضوع التحكم بالجهد نظراً لأن التحكم بتردد التغذية يتم عند مستوى النقل [3].

يتم توفير الطاقة الكهربائية من شبكات نقل الجهد العالي ومن ثم تحويلها إلى المستهلكين عند الجهد المنخفض عبر شبكات التوزيع. ويقع على عاتق مشغلي شبكات التوزيع (Distribution Network Operators (DNOs) تأمين التغذية للمستهلكين والمحافظة على قيمة الجهد ضمن الحدود المسموحة عبر شبكات التوزيع في مختلف ظروف العمل [4].

نعتمد في هذا البحث حدود الجهد كما حددتها المواصفات الدولية لمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE Std C50.13 التي نصت على أن نظام القدرة يجب أن يعمل ضمن مجال $\pm 5\%$ حول الجهد الاسمي، لذلك يجب أن تكون قيمة توتر العمل بين (0.95-1.05 p.u) أي $(\pm 5\% \text{ p.u})$.

يمكن أن يتسبب تغيير الحمل أو إدخال وحدات التوليد الموزعة في تغيير قيم الجهد عند عقد شبكات التوزيع، ولذلك على مشغلي هذه الشبكات التحقق من بقاء قيم جهود العقد ضمن حدود الجهد المسموح بها لتجنب أي شكوى من المستهلكين [5].

أهمية البحث وأهدافه:

يقدم لنا هذا البحث مجموعة من الطرق المستخدمة من أجل اختيار الحل الأكثر ملاءمة فنياً لمسألة تنظيم جهد التغذية الكهربائية في شبكة توزيع محلية وبالتالي المحافظة على قيم هذا الجهد عند القيم المحددة عالمياً وهذا ما ينتج عنه رفع لمؤشرات أداء عمل شبكة التوزيع الكهربائية.

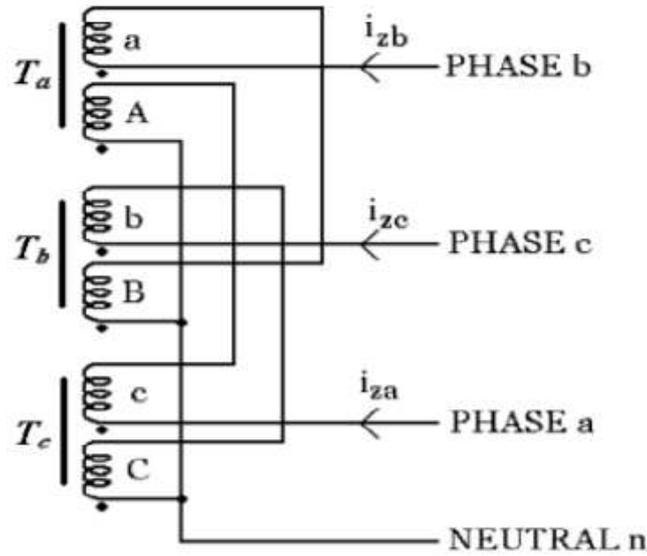
طرائق البحث ومواده:**1- تجهيزات تنظيم الجهد المستخدمة ونمذجتها****1-1 محولة Zig-Zag**

قد تؤدي الأحمال أحادية الطور إلى عدم توازن لجهود الأطوار مما يؤدي إلى ظهور المركبة الصفيرية في الشبكة وقيم كبيرة أحياناً. يسبب هذا التيار تحميل زائد للناقل الحيادي، كما قد يؤدي أيضاً إلى حدوث إشباع في محولات التوزيع. يمكن استخدام محول Zig-Zag لخفض قيمة هذا التيار وكذلك التوافقيات غير المرغوبة في الناقل الحيادي [6].

محولات Zig-Zag عبارة عن ثلاث محولات أحادية الطور أو محولة ثلاثية الطور حيث الملفات الثانوية مجزئة إلى قسمين متساويين وموصلين في اتجاهات متعاكسة مع وجود وصلة حيادي.

يظهر الشكل (1) المخطط التفصيلي لوصل ملفات محولة Zig-Zag. نسبة التحويل في هذه المحولات 1:1، وبالتالي فإن التيار الداخل إلى الملف الاولي يساوي التيار الذي يخرج من الملف الثانوي. تكون قيم تيارات الأطوار الثلاثة في المحول متوازنة

(المعادلات (1)، (2) و(3)) تملك محولة Zig-Zag ممانعة كبيرة للمركبة الموجبة والسالبة وممانعة منخفضة للمركبة الصفيرية وبالتالي فإن التيار الذي يمر عبر المحولة يكون بشكل رئيسي مركبة التتابع الصفيري [6].



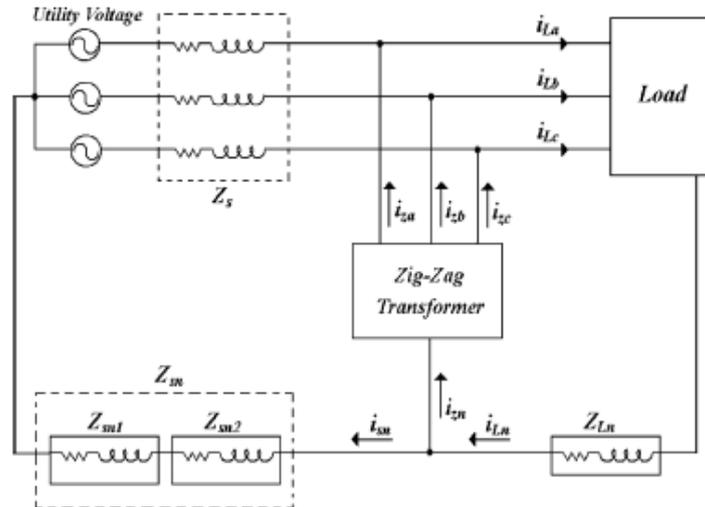
الشكل (1) المخطط التفصيلي لوصف ملفات محولة Zig-Zag.

$$i_{za}(t) = i_{zb}(t) \quad (1)$$

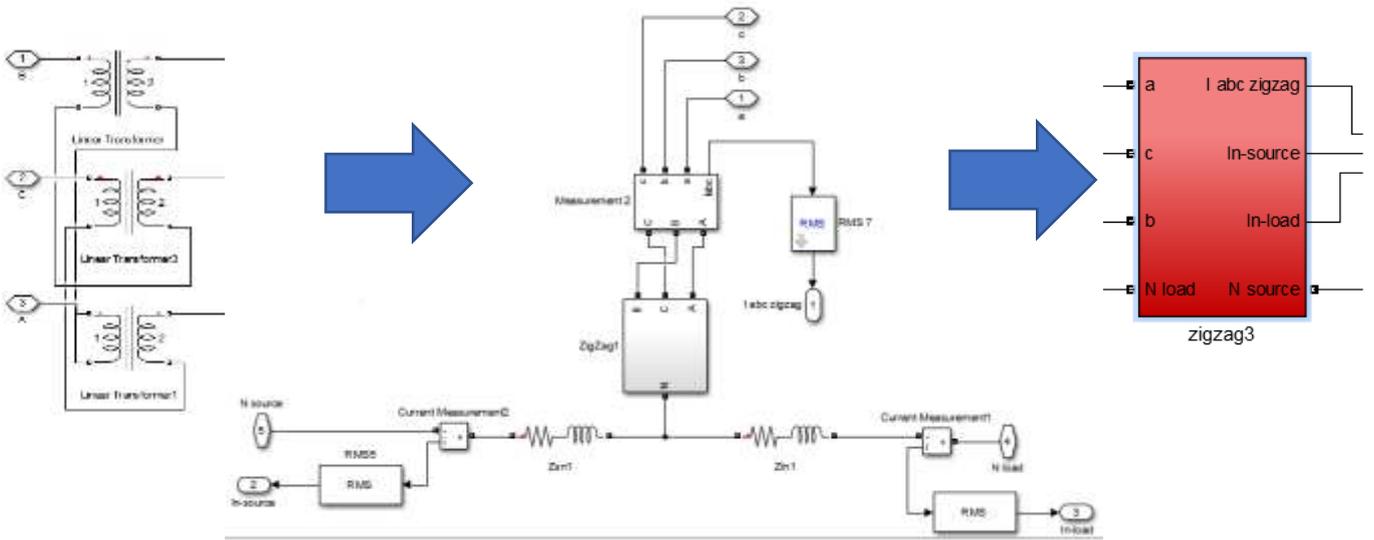
$$i_{zb}(t) = i_{zc}(t) \quad (2)$$

$$i_{zc}(t) = i_{za}(t) \quad (3)$$

يبين الشكل (2) مخطط لاستخدام محولة Zig-Zag في نظام توزيع طاقة كهربائية ثلاثي الأطوار، رباعي أسلاك النقل. حيث يظهر في الشكل Z_{Ln} : ممانعة الناقل الحيادي بين الحمل والمحولة، Z_{Sn} : ممانعة بين مصدر التغذية والمحولة وتتألف من Z_{Sn1} و Z_{Sn2} ، Z_{Sn1} : ممانعة الناقل الحيادي، Z_{Sn2} : ممانعة ملف موصل على التسلسل بين الناقل الحيادي والمنبع.



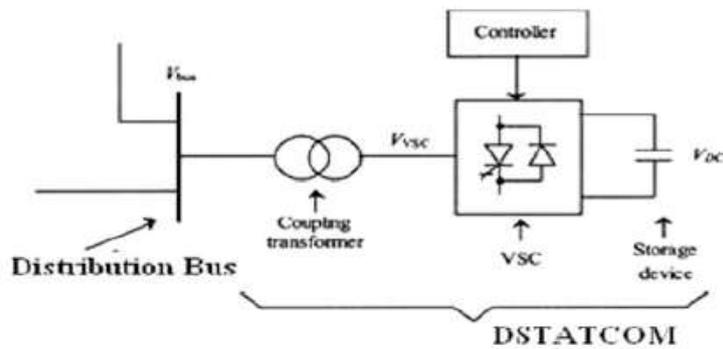
الشكل (2) مخطط لاستخدام محولة Zig-Zag في نظام توزيع الطاقة الكهربائية ثلاثي الأطوار رباعي أسلاك النقل. تم نمذجة محولة Zig-Zag كمحولات أحادية الطور خطية موصلة بتوصيلة Zig-Zag كما هو مبين في الشكل (3) ثم تم ربط نموذج المحولة مع الشبكة عبر ممانعات: Z_{In1} بين المحولة والحمل و Z_{Sn1} بين المحولة والمنبع. [7].



الشكل (3) النموذج الكهربائي لمحولة Zig-Zag وكيفية ربطه مع الشبكة في بيئة MATLAB-SIMULINK

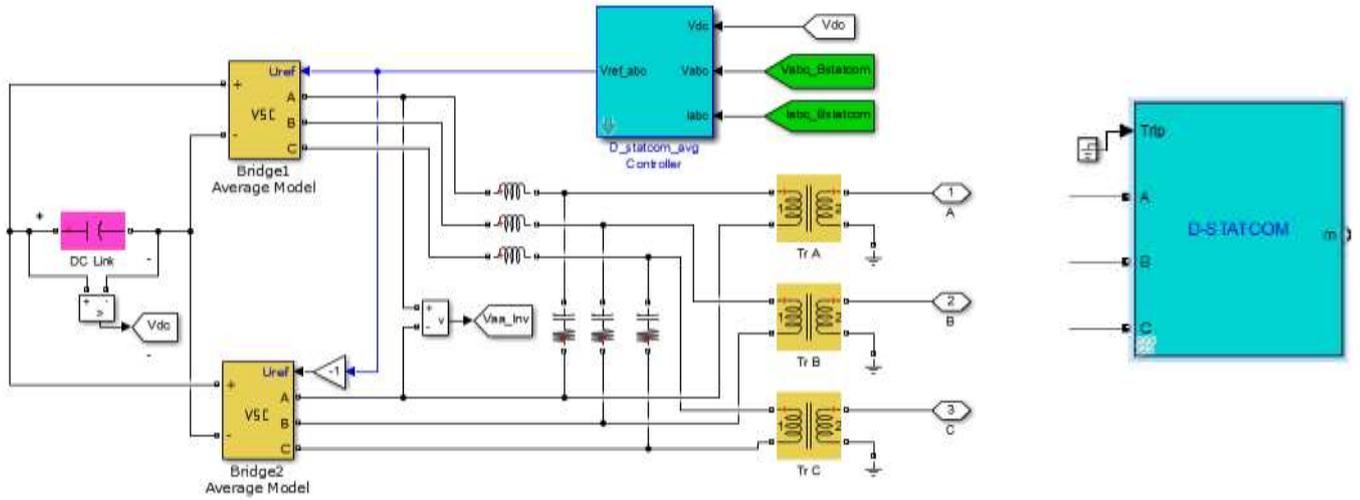
1-2- المعوض الستاتيكي الموزع ((Distribution static compensator (D-STATCOM))

لتحقيق الأداء الأمثل لنظام القدرة، فإنه من الضروري التحكم في سريان الاستطاعة الردية في الشبكة. تستخدم في الوقت الحاضر تجهيزات ((Flexible AC Transmission System (FACTS) لضبط سريان الاستطاعة الردية وبالتالي تنظيم الجهد في الشبكة [8]. يعتبر D-STATCOM إحدى هذه التجهيزات، وهو واسع الانتشار وخصوصاً في شبكات التوزيع وذلك لبساطة تركيبه و رخص ثمنه مقارنة بباقي تجهيزات ال FACTS. لا يقوم جهاز D-STATCOM بتنظيم الجهد وحسب وإنما أيضاً يقوم بتصحيح عامل الاستطاعة وتعويض التوافقيات. تتم عملية تنظيم تبادل الطاقتين الفعلية والردية في الشبكة عن طريق تغيير قيمة المطال وكذلك زاوية الطور للمبدلة بما يتناسب مع جهد الخط [9]. يعتبر D-STATCOM جهاز تعويض تفرعي، يتصل بنقطة الاقتران المشتركة (PCC) في نظام التوزيع الذي يحتوي على حمل ديناميكي غير متوازن. يبين الشكل (4) مخطط توضيحي لـ D-STATCOM حيث يتألف من مبدلة مصدر التغذية ((voltage-source converter (VSC) ثنائية المستوى، جهاز تخزين طاقة التيار المستمر DC ومحول ربط متصل على التفرع بشبكة التوزيع [10].



الشكل (4) مخطط توضيحي لـ D-STATCOM

يقوم VSC بتحويل الجهد المستمر DC عبر جهاز التخزين إلى جهد خرج متناوب ثلاثي الطور. تكون هذه الجهود متوافقة في الطور وتقترب بالنظام المتناوب الرئيسي من خلال مفاعلة محول الربط. يوفر الضبط المناسب لمطال وزاوية جهد خرج D-STATCOM تحكماً فعالاً في عمليات تبادل الطاقة الفعلية والردية بين D-STATCOM والنظام المتناوب الرئيسي. يوضح الشكل (5) النموذج الكهربائي ل D-STATCOM والمؤلف من مبدلة مصدر التغذية ثنائي المستوى (VSC)، جهاز تخزين طاقة التيار المستمر DC ومحول ربط متصل على التفرع بشبكة التوزيع.



الشكل (5) النموذج الكهربائي ل D-STATCOM في بيئة MATLAB-SIMULINK

3-1- منظم الجهد الآلي (Automatic voltage regulator (AVR))

عرف منظم الجهد الآلي لعقود طويلة عند استخدامه في محاولات الاستطاعة على اختلاف مستويات جهدها، حيث يقوم بتغيير عدد لفات أحد ملفي الأولي والثانوي (الملف ذو التيار الأقل) عن طريق تغيير التفريضة بشكل متحكم به. يمكن أن تتم هذه العملية والمحولة غير محملة (off load tap changer) أو المحولة تحت الحمل (on load tap changer) [11].

اعتماداً على نفس المبدأ جرى تصميم واستخدام منظمات ذات نسبة تحويل تساوي الواحد ويتم عن طريق التحكم بعدد لفات ملفها الثانوي ضبط قيمة جهد الخرج عند القيمة الاسمية وذلك عن طريق مقارنة قيمة الجهد المقاس مع قيمة مرجعية عند نقطة الحمل. وبما أن عملية التحكم هذه تتم خطوة بخطوة يجب تحديد مجال حساسية (deadband) من أجل تجنب عمليات الفصل والوصل عند قيم قريبة من الجهد المطلوب. يجب تحديد قيمة deadband بحيث تكون قريبة من قيمة خطوة المحولة وغالباً ما تكون قيمته مساوية 75% من هذه الخطوة. يقوم المنظم بإعطاء امر رفع او خفض للخطوة (step up/ step down) إذا كان:

$$|V_B - V_{ref}| > (Deadband)/2 \quad (4)$$

هو الجهد المرجعي. V_{ref} هو جهد قضيبي التجميع، V_B حيث

تتكرر عملية الرفع او الخفض حتى يصبح جهد قضيب التجميع محققاً للعلاقة التالية:

$$V_{LB} < V_B < V_{UB} \quad (5)$$

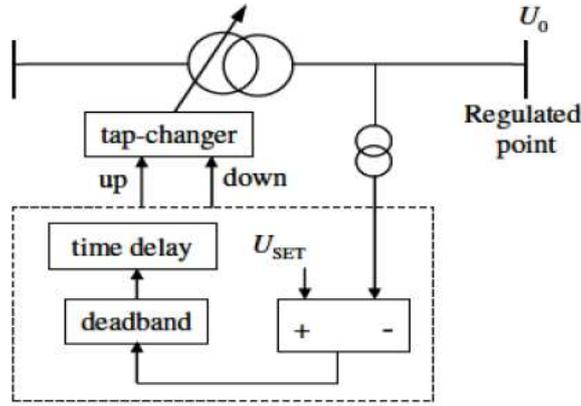
حيث V_{LB} هو الحد الأدنى للجهد ويعطى بالعلاقة:

$$V_{LB} = V_{ref} - 0.5(deadband) \quad (6)$$

حيث V_{UB} هو الحد الأعلى للجهد ويعطى بالعلاقة:

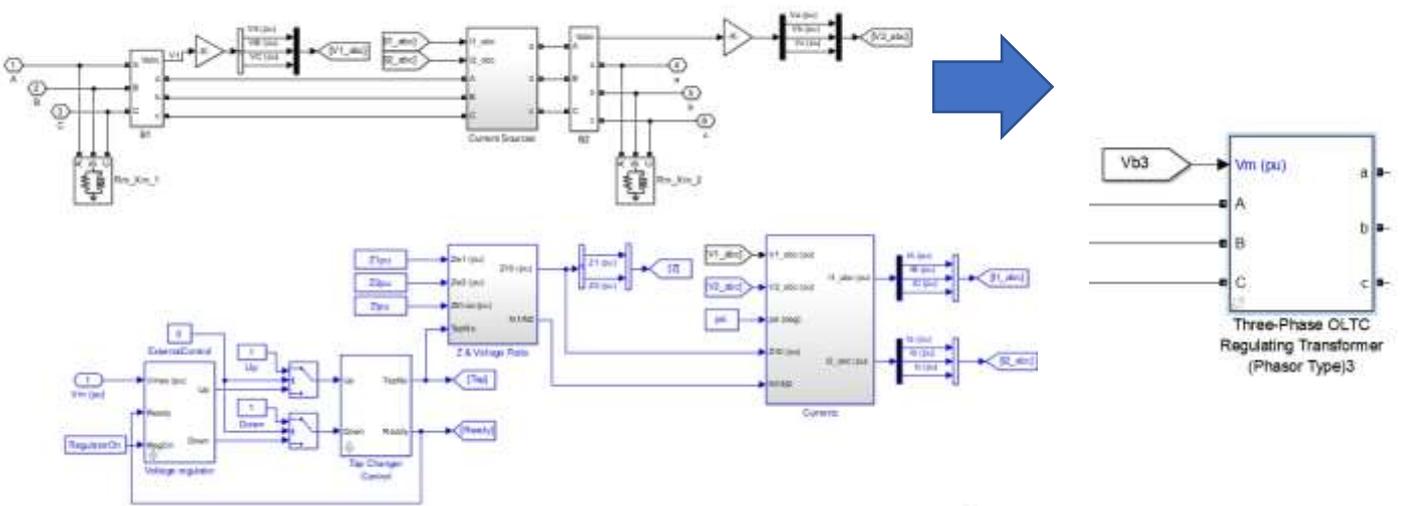
$$V_{UB} = V_{ref} + 0.5(deadband) \quad (7)$$

يتم وضع تأخير زمني لمنع عمليات المحولة غير الضرورية بسبب تقلبات الجهد المؤقتة. يمكن أيضاً استخدام التأخير الزمني للتنسيق وتقليل عدد عمليات الفصل الغير الضرورية. يمكن تحقيق ذلك عن طريق تعيين تأخير زمني أطول للمنظمات الموجودة بالقرب من المستهلك النهائي وتأخيرات زمنية أقصر لتلك الموجودة عند مستويات الجهد العالي. يبين الشكل (6) مبدأ عمل المنظم المستخدم [12].



الشكل (6) مبدأ عمل منظم الجهد الآلي

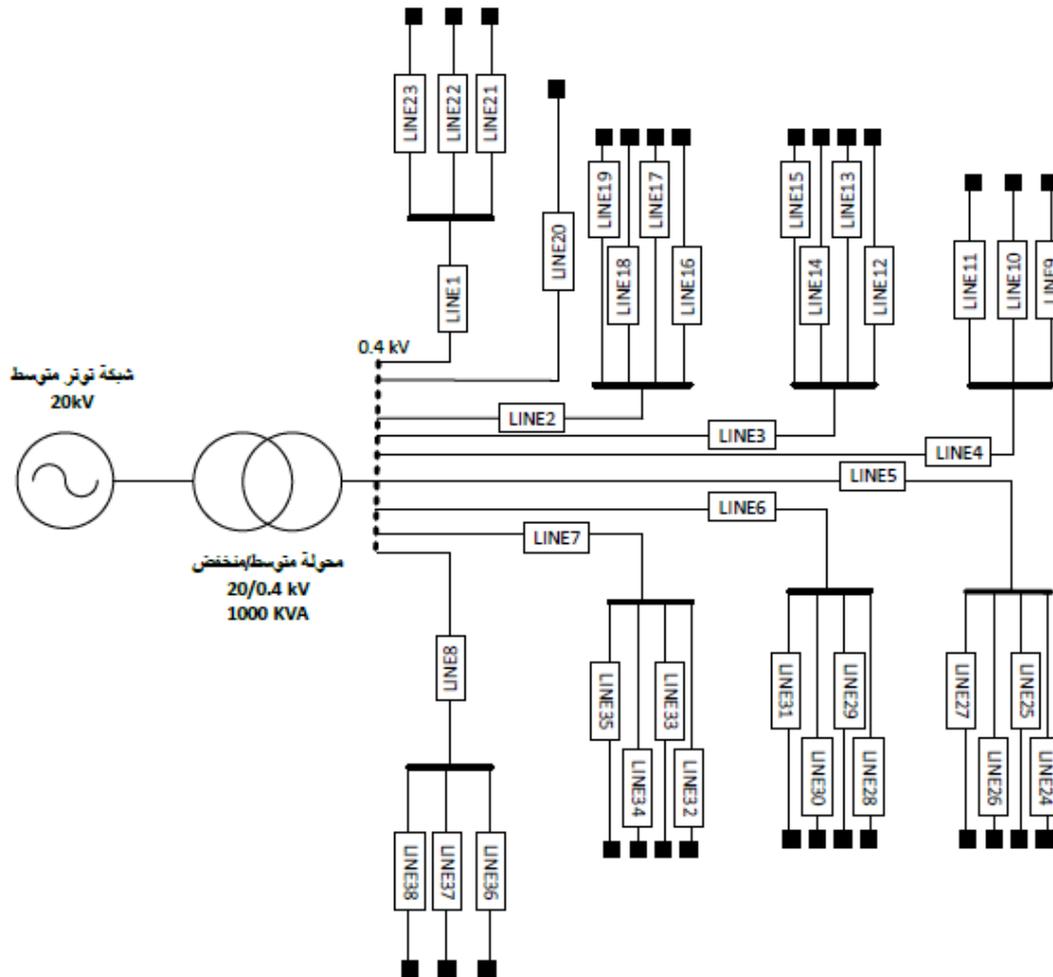
يبين الشكل (7) نموذج منظم الجهد الآلي الذي يقوم بقراءة جهد قضيب التجميع الحامل ويقوم بتغيير Tapping الخاصة بالمحول.



الشكل (7) نموذج منظم الجهد الآلي في بيئة MATLAB-SIMULINK

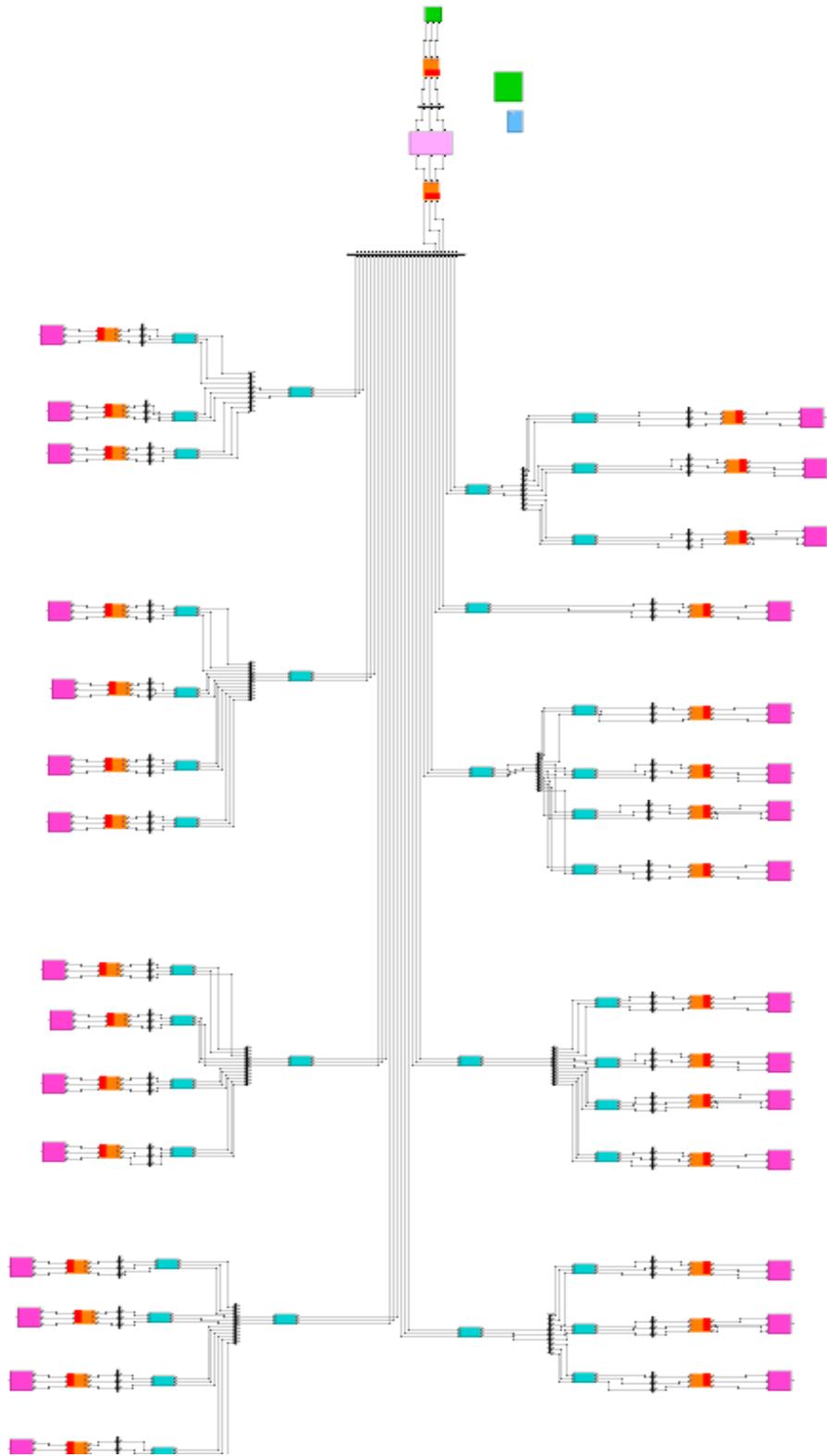
2- الشبكة المدروسة:

في هذا البحث تم دراسة شبكة توزيع لمنطقة سكنية في مدينة اللاذقية، الشكل (8). تقع الشبكة المدروسة في منطقة الصليبية قرب مدرسة عبد الحليم زمزم حيث تتألف من مركز تحويل أرضي 1000 و 30 kV حمل موزعة كما يلي: أحمال سكنية (بناء سكني طابقي) - فرن - مدرسة - وغيرها من الأحمال التقليدية. يتضمن الملحق (1) معطيات الشبكة.



الشكل (8) مخطط تمثيلي للشبكة المدروسة

تم إجراء نمذجة حاسوبية للشبكة المدروسة باستخدام برنامج MATLAB-SIMULINK نسخة 2006a. يبين الشكل (9) نموذج MATLAB-SIMULINK لهذه الشبكة.



الشكل (9) نموذج للشبكة المدروسة في بيئة MATLAB-SIMULINK

النتائج والمناقشة:

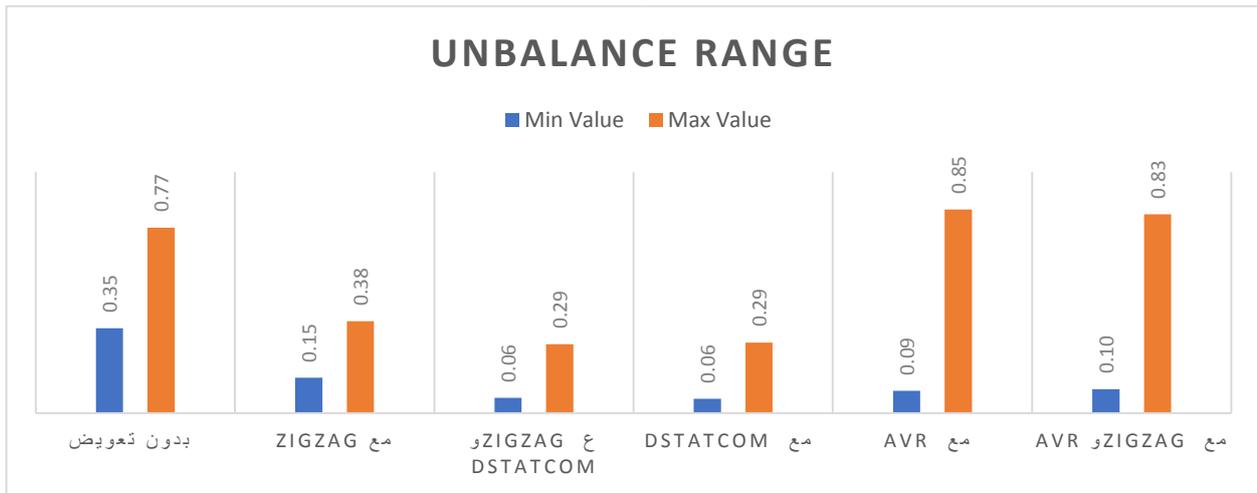
بعد القيام بدراسة سريان الاستطاعة لتحديد جهود وتيارات العقد في الشبكة، حصلنا على النتائج التالية:

1- عدم توازن جهود الأطوار:

تم حساب معامل عدم التوازن من العلاقة:

$$(8) \text{ معامل عدم التوازن} = \frac{\text{أكبر انحراف بين الأطوار الثلاثة عن متوسط الجهد}}{\text{متوسط الجهد بين الأطوار الثلاثة}}$$

يبين الشكل (10) القيمتين العليا والدنيا لمعامل عدم التوازن في الشبكة كنسبة مئوية:



الشكل (10) القيم العليا والدنيا لمعامل عدم التوازن كنسبة مئوية.

نلاحظ من الشكل (10): أدت جميع التجهيزات المستخدمة إلى خفض القيم الدنيا والعليا لمعامل عدم توازن جهود الأطوار ولكن بنسب مختلفة أفضلها محولة Zig-Zag مع D-STATCOM و D-STATCOM لوحده. حيث تم خفض القيمة العليا بمقدار 0.48 والقيمة الدنيا بمقدار 0.29 بحالة استخدام Zig-Zag مع D-STATCOM أما في حالة استخدام D-STATCOM لوحده فقد تم خفض القيمة العليا بمقدار 0.48 والقيمة الدنيا بمقدار 0.28 .

ويمكننا ترتيب هذه الطرق من ناحية كفاءتها في توازن الأطوار كما يلي:

1. استخدام محولات Zig-Zag مع D-STATCOM حيث كان مجال عدم توازن الأطوار بين (0.06- 0.29%).
2. استخدام D-STATCOM حيث كان مجال عدم توازن الأطوار بين (0.07- 0.29%).
3. استخدام محولات Zig-Zag حيث كان مجال عدم توازن الأطوار بين (0.15- 0.38%).
4. استخدام محولات Zig-Zag مع منظم الجهد الآلي حيث كان مجال عدم توازن الأطوار بين (0.10- 0.4%).
5. استخدام منظم الجهد الآلي حيث كان مجال عدم توازن الأطوار بين (0.09- 0.76%).
6. الشبكة بدون أي منظم للجهد حيث كان مجال عدم توازن الأطوار بين (0.35- 0.77%).

2 - تنظيم الجهد:

يبين الشكل (11) القيم المتوسطة لجهود الأطوار الثلاثة في كل عقدة.

حيث أدت جميع التجهيزات المستخدمة إلى رفع الجهد إلى قيم قريبة من قيمته الاسمية، أفضلها استخدام محولات Zig-Zag مع منظم الجهد الآلي حيث بلغ متوسط جهد الشبكة 225.23 فولت واستخدام منظم الجهد لوحده حيث بلغ متوسط جهد الشبكة 225.22 فولت.

ويمكننا ترتيب هذه الطرق من ناحية كفاءتها من ناحية تنظيم الجهد كما يلي:

1. استخدام محولات Zig-Zag مع منظم الجهد الآلي حيث بلغ متوسط جهد الشبكة (225.23 فولت).
2. استخدام منظم الجهد الآلي حيث بلغ متوسط جهد الشبكة (225.22 فولت).
3. استخدام D-STATCOM لوحده حيث بلغ متوسط جهد الشبكة (218.69 فولت).
4. استخدام محولات Zig-Zag حيث بلغ متوسط جهد الشبكة (218.67 فولت).
5. استخدام محولات Zig-Zag مع D-STATCOM حيث بلغ متوسط جهد الشبكة (218.67 فولت).
6. الشبكة بدون أي منظم للجهد حيث بلغ متوسط جهد الشبكة (201.93 فولت).

3 - تأثير ربط منظمات الجهد المختلفة على الضياعات:

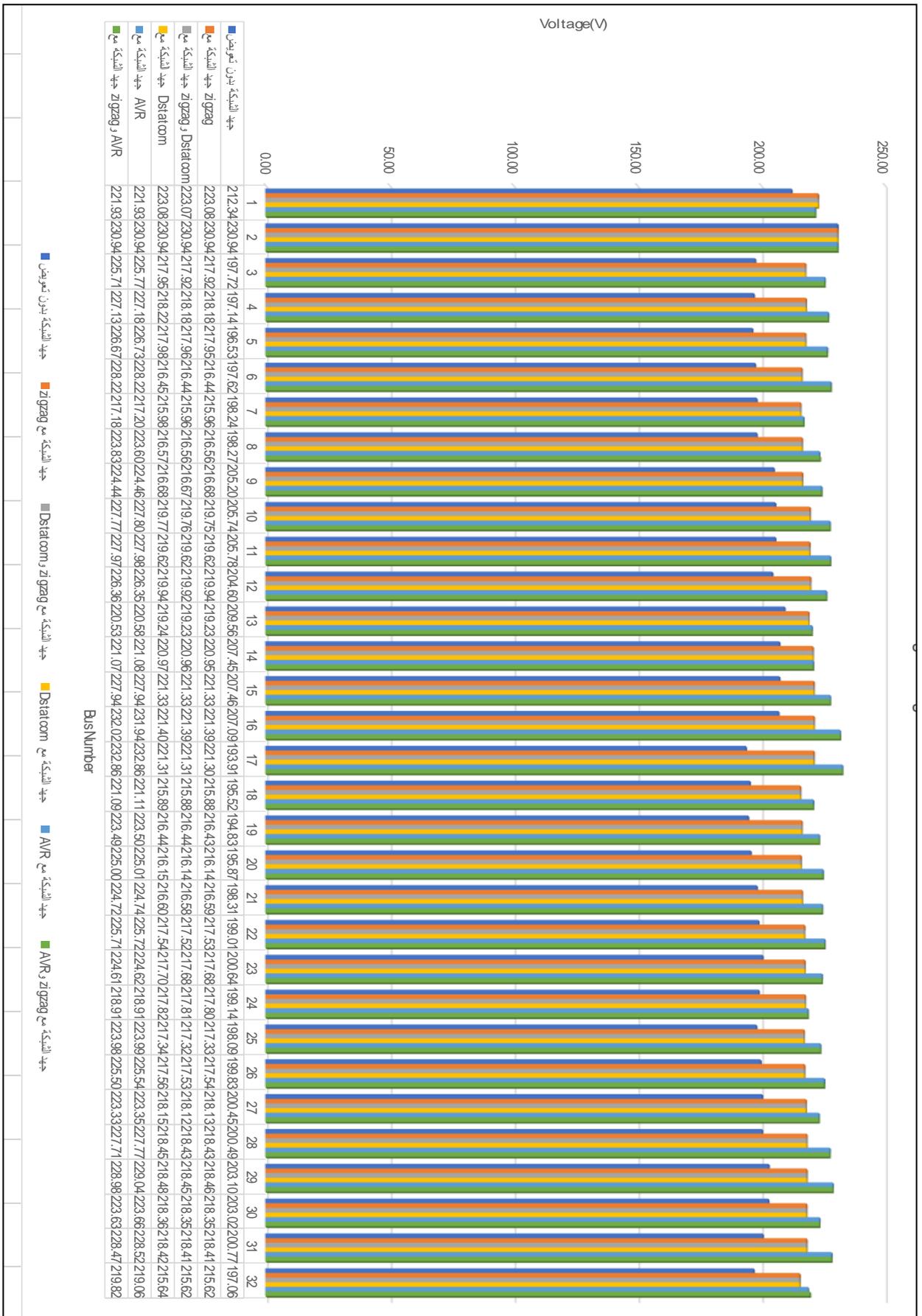
يبين الشكل (12) ملخص سريان الاستطاعة في الشبكة، حيث أدت جميع التجهيزات المستخدمة إلى تقليل كل من قيمة الضياعات الفعلية والرديية في الشبكة وبنسب مختلفة، أفضلها استخدام محولة Zig-Zag مع منظم جهد آلي حيث بلغت الضياعات الفعلية 55.38 كيلو وات والضياعات الرديية 62.7 كيلوفار. ويمكننا ترتيب هذه الطرق من ناحية كفاءتها من ناحية خفض الضياعات كما يلي:

من حيث الضياعات الفعلية:

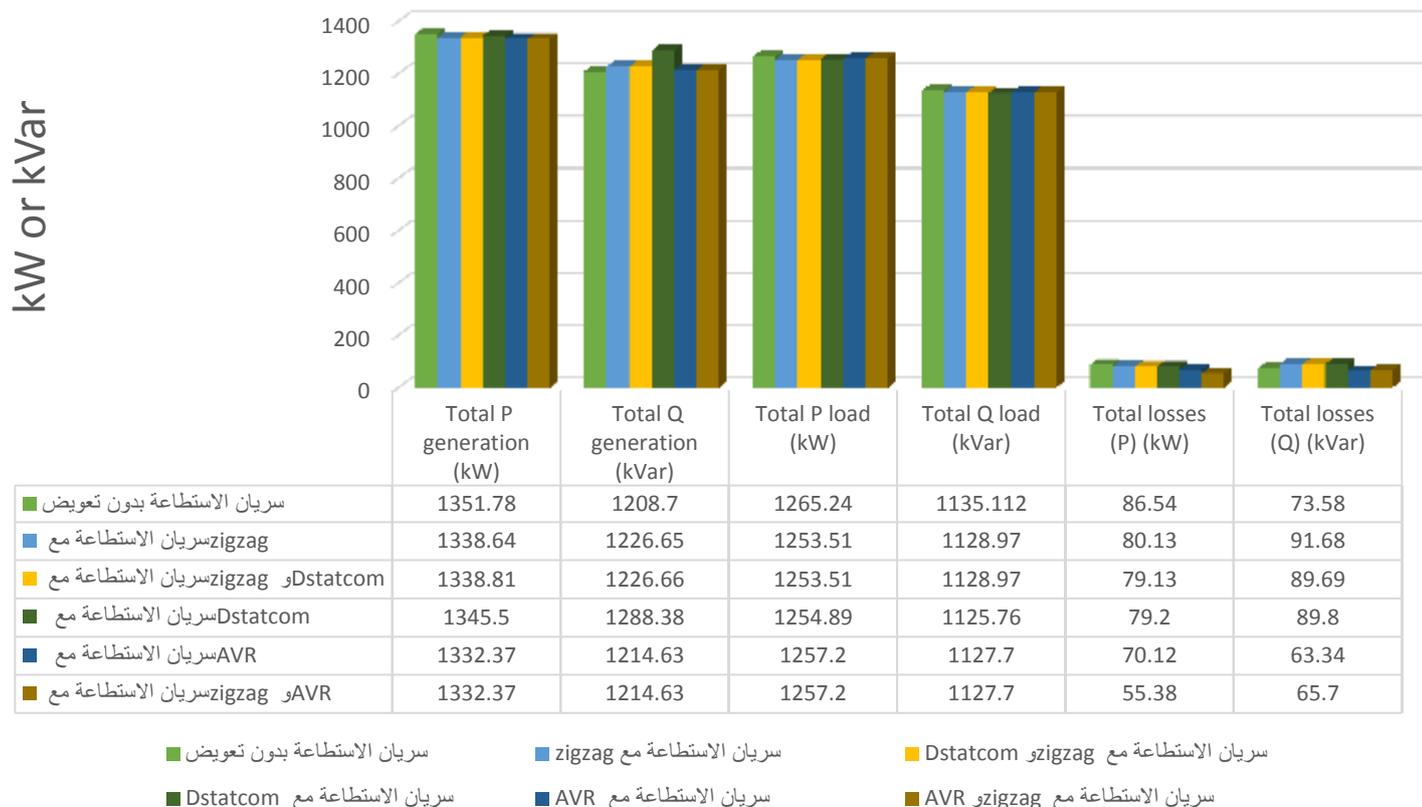
1. استخدام محولات Zig-Zag مع منظم الجهد الآلي حيث بلغت الضياعات الفعلية 55.38 كيلوات
2. استخدام منظم الجهد الآلي حيث بلغت الضياعات الفعلية 70.12 كيلوات.
3. استخدام محولات Zig-Zag مع D-STATCOM حيث بلغت الضياعات الفعلية 79.13 كيلوات.
4. استخدام D-STATCOM لوحده حيث بلغت الضياعات الفعلية 79.2 كيلوات.
5. استخدام محولات Zig-Zag حيث بلغت الضياعات الفعلية 80.13 كيلوات.
6. الشبكة بدون أي منظم للجهد حيث بلغت الضياعات الفعلية 86.54 كيلوات.

من حيث الضياعات الرديية:

1. استخدام منظم الجهد الآلي حيث بلغت الضياعات الرديية 59.34 كيلوفار
2. استخدام محولات Zig-Zag مع منظم الجهد الآلي حيث بلغت الضياعات الرديية 62.7 كيلوفار.
3. استخدام محولات Zig-Zag مع D-STATCOM حيث بلغت الضياعات الرديية 69.69 كيلوفار.
4. استخدام D-STATCOM لوحده حيث بلغت الضياعات الرديية 69.8 كيلوفار.
5. استخدام محولات Zig-Zag لوحده حيث بلغت الضياعات الرديية 70.68 كيلوفار.
6. الشبكة بدون أي منظم للجهد حيث بلغت الضياعات الرديية 77.58 كيلوفار.



الشكل (11) متوسط الجهد بين الاطوار الثلاثة لكل قضيب تجميع في الشبكة.



الشكل (12) رسم بياني لمخلص سريان الاستطاعة في الشبكة.

نلخص النتائج السابقة في الجدول (1) الذي يظهر التقييم الفني للتجهيزات المستخدمة مع الأخذ بعين الاعتبار إشارة + الجدول (1) التقييم الفني للتجهيزات المستخدمة.

اسم التجهيزة	تنظيم الجهد	توازن الأطوار	الضياعات الفعلية	الضياعات الردية
Zig-Zag	++	+++	+	+
D-STATCOM	+++	++++	++	++
منظم جهد آلي	++++	+	++++	+++++
Zig-Zag مع منظم الجهد الآلي	+++++	++	+++++	++++
Zig-Zag مع D-STATCOM	+	+++++	+++	+++

+++++ الأفضل ++++ جيد جداً +++ جيد ++ مقبول + الأسوأ

يظهر الجدول تقدم محولات Zig-Zag مع منظم الجهد الآلي.

نوصي: بمزيد من الاختبارات وعلى شبكات مختلفة وبتقييم اقتصادي للتجهيزات والآليات المعروضة.

References:

1. "IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment - Redline," IEEE Std 1100-2005 (Revision of IEEE Std 1100- 1999) - Redline, pp. 1-703, 2006.
2. Bollen, M., 2002. Power Quality Primer. International Journal of Electrical Engineering & Education, 39(2), p.179.
3. Redfern, M.A., Smith, C.A. and Potts, S.C., 2005, June. Autonomous control strategies for On-Load Tap-Changer automatic voltage control relays. In CIRED 2005-18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (pp. 1-4). IET.
4. Ghosh, A. and Ledwich, G., 2012. Power quality enhancement using custom power devices. Springer science & business media.
5. Fila, M., Taylor, G.A., Hiscock, J., Irving, M.R. and Lang, P., 2008, September. Flexible voltage control to support distributed generation in distribution networks. In 2008 43rd International Universities Power Engineering Conference (pp. 1-5). IEEE.
6. Jou, H.L., Wu, J.C., Wu, K.D., Chiang, W.J. and Chen, Y.H., 2005. Analysis of zig-zag transformer applying in the three-phase four-wire distribution power system. IEEE transactions on power delivery, 20(2), pp.1168-1173.
7. Mahdee, M., 2020. Investigation of Three-Phase Balancing Techniques: A Comparative Study of Different Solutions With Respect to Telecom Industry Needs.
8. Barrios-Martínez, E. and Ángeles-Camacho, C., 2017. Technical comparison of FACTS controllers in parallel connection. Journal of applied research and technology, 15(1), pp.36-
9. Mehra, K. and Kaur, R., 2020. D-STATCOM for Power Quality Improvement in Distribution Power System using MATLAB Simulink.
10. Mishra, M.K., Ghosh, A. and Joshi, A., 2003. Operation of a DSTATCOM in voltage control mode. IEEE transactions on power delivery, 18(1), pp.258-264.
11. O'gorman, R. and Redfern, M., 2005, June. The impact of distributed generation on voltage control in distribution systems. In CIRED 2005-18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (pp. 1-6). IET.
12. Hindmarsh, J., 2014. Electrical machines & their applications (Vol. 1). Elsevier.

الملحق (1)

الجدول (1)

ممانعة الكابل (ohm)	الطول (m)	المقطع (mm)	اسم الكابل في مخطط النمذجة
0.029	200	4*185	Line 4
0.0195	135	4*185	Line 3
0.008	55	4*185	Line 2
0.017	50	4*70	Line 20
0.007	50	4*185	Line 1
0.024	165	4*185	Line 5
0.016	110	4*185	Line 6
0.007	50	4*185	Line 7
0.004	25	4*185	Line 8
0.007	20	4*70	Line 9
0.002	5	4*70	Line 10
0.007	20	4*70	Line 11

0.015	45	4*70	Line 12
0.01	30	4*70	Line 13
0.005	15	4*70	Line 14
0.005	15	4*70	Line 15
0.012	25	4*50	Line 16
0.007	15	4*50	Line 17
0.007	15	4*50	Line 18
0.014	30	4*50	Line 19
0.023	50	4*50	Line 38
0.007	20	4*70	Line 37
0.005	35	4*70	Line 36
0.007	20	4*70	Line 21
0.007	15	4*50	Line 22
0.009	35	4*95	Line 23
0.003	10	4*70	Line 27
0.01	30	4*70	Line 26
0.005	35	4*70	Line 25
0.016	50	4*70	Line 24
0.005	10	4*50	Line 30
0.014	30	4*50	Line 29
0.019	40	4*50	Line 28
0.013	55	4*95	Line 31
0.012	25	4*25	Line 32
0.01	30	4*70	Line 33
0.006	13	4*50	Line 34
0.005	12	4*50	Line 35

الجدول (2)

	Phase A		Phase B		Phase C	
	R (kOhm)	X (kVar)	R (kOhm)	X (kVar)	R (kOhm)	X (kVar)
LOAD 9	11	11	10	10	10	13
LOAD 10	10	10	8	9	10	10
LOAD 11	10	11	8	9	9	10
LOAD 12	8	4	7	6	9	5
LOAD 13	21	21	20	22	22	20
LOAD 14	17	11	20	10	19	13
LOAD 15	12	12	13	10	14	11
LOAD 16	10	10	11	12	10	13
LOAD 17	25	10	24	11	23	9

LOAD 18	14	13	13	14	10	15
LOAD 19	14	25	18	20	15	21
LOAD 20	27	25	25	24	26	22
LOAD 21	14	13	12	14	11	15
LOAD 22	11	7	12	8	10	9
LOAD 23	10	5	11	8	12	7
LOAD 24	9	16	10	15	11	14
LOAD 25	10	11	15	12	12	13
LOAD 26	15	9	14	10	13	8
LOAD 27	10	12	11	9	14	10
LOAD 28	7	10	8	12	9	11
LOAD 29	9	12	8	13	7	14
LOAD 30	21	22	20	23	22	20
LOAD 31	15	13	12	14	14	12
LOAD 32	10	10	11	11	12	12
LOAD 33	10	15	15	15	15	16
LOAD 34	15	10	12	8	13	9
LOAD 35	14	8	13	6	15	7
LOAD 36	12	15	15	15	14	16
LOAD 37	10	8	11	7	12	9
LOAD 38	30	16	31	15	32	14