

Centralized Voltage Regulation Algorithm in Distribution Networks containing Photovoltaic Generation

Dr. Ahmad Hajj Ahmad*

Dr. Tammam Hayder **

Rasha Takla ***

(Received 12 / 1 / 2023. Accepted 9 / 2 / 2023)

□ ABSTRACT □

This paper presents a centralized voltage regulation algorithm in modern electrical networks containing photovoltaic generation (PV).

Reference studies presented many decentralized voltage regulation algorithms, some of which are presented in this paper, where each inverter takes decisions separately depending on the value of the measured voltage on its output without taking into account the voltage of other nodes and even without a clear possibility of temporal coordination with other inverters, and this what makes the regulation process a randomly process.

Most of these algorithms adapt the reactive power provided by the inverter, and then regulating the real power provided by the PV-system, when the demand for reactive power reached the physical limits of the Inverter.

The application of the proposed algorithm in a test network showed advantages compared to a decentralized control algorithm that adopts the real and reactive power. The regulating process in the proposed algorithm is carried out in an orderly manner and according to the need, after investigating the state of voltage at all points, which reduces the number of Electronic switches on-off actions and thus extended their life.

A communication network in the networks is the physical basis for Implementation of the proposed algorithm.

The network modeling process was done in ETAP software and the regulation algorithm in MATLAB software.

Keywords: Photovoltaic Systems, Voltage regulation, ETAP Software.

* Assistant 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. rashatakla@tishreen.edu.sy

خوارزمية تنظيم مركزي للتوتر في شبكات التوزيع الحاوية على توليد كهروضوئي

د. أحمد الحاج أحمد*

د. تمام حيدر**

رشا تقلا***

(تاريخ الإيداع 12 / 1 / 2023. قُبِلَ للنشر في 9 / 2 / 2023)

□ ملخص □

يقدم هذا البحث خوارزمية تنظيم مركزي بالتوتر في الشبكات الكهربائية الحديثة الحاوية على مصادر توليد كهروضوئي (Photovoltaic Generation (PV)).

قدمت الدراسات المرجعية الكثير من خوارزميات التنظيم اللامركزي بالتوتر، يعرض قسماً منها لاحقاً، حيث يتخذ كل معرج على حده قرارات التنظيم اعتماداً على قيمة التوتر المقاس على مخرجه ودون اخذ توترات العقد الأخرى بعين الاعتبار وحتى دون وجود امكانية واضحة لتنسيق زمني مع المعرجات الأخرى، وهذا ما يجعل عملية التنظيم على درجة من العشوائية.

اعتمدت معظم خوارزميات التنظيم تلك آلية التحكم بالاستطاعة الردية المقدمة من المعرج، ثم التحكم بالاستطاعة الفعلية المقدمة من المنظومة، عند بلوغ الطلب على الاستطاعة الردية الحدود الفيزيائية للمعرج.

أظهر تطبيق الخوارزمية المقترحة لشبكة اختبار جملة من المزايا مقارنة بخوارزمية تنظيم لامركزي تعتمد آلية تنظيم التوتر عن طريق تنظيم الاستطاعتين الفعلية فالردية، حيث تتم عملية التنظيم بشكل منظم ووفق الحاجة، بعد رؤية حالة التوتر عند النقاط كافة، مما يوفر في عدد مرات عمل المفاتيح الإلكترونية في المعرجات وبالتالي يطيل في عمرها.

تشكل شبكة الاتصال في مثل هذه الشبكات الأساس المادي لخوارزمية ضبط التوتر المقترحة.

جرت عملية نمذجة الشبكة في برنامج ETAP وخوارزمية التنظيم في برنامج MATLAB.

الكلمات المفتاحية: الانظمة الكهروضوئية، تنظيم التوتر، برنامج ETAP.

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

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

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

مقدمة:

يزداد الطلب على الطاقة الكهربائية في العالم في ظل محدودية حوامل الطاقة الرئيسية (الطاقة الأحفورية) واحتمال نضوبها، بالإضافة الى صعوبة الوصول إليها بسبب الخلافات السياسية القائمة، كل ذلك في ظل صحة بيئية عالمية باتت معها انبعاثات الغازات الناتجة عن حرق الطاقة الأحفورية أمراً غير مقبول لابل وممنوع في بعض الدول لما تسببه من زيادة مستويات التلوث وتفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري.

يكرس العالم الآن الكثير من الجهد لإيجاد حلول لهذه المشكلة، في مقدمة هذه الحلول البحث عن بدائل صديقة للبيئة كالطاقات المتجددة.

تعد تقنية الخلايا الكهروضوئية ((Photovoltaics (PV)) احدى هذه البدائل، حيث تُستخدم الأنظمة الكهروضوئية كأنظمة مستقلة أو متصلة بالشبكة. يترافق وصل هذه الأنظمة مع الشبكة مع مجموعة من المشاكل الفنية ومن أهمها تأرجح التوتر وعلى وجه الخصوص ارتفاعه عند حقن كميات كبيرة من الاستطاعة.

عولجت هذه المسألة في المراجع بطرق مختلفة ومن زوايا مختلفة: في سياق تصميم الشبكة: يُقدّم [1] نظام خبير يعتمد المنطق الضبابي كآلية استدلال (Fuzzy Expert System)، يقوم هذا النظام باختيار الموقع والحجم الأمثل للمعوضات الردية في شبكة حاوية على توليد كهروضوئي بهدف تقليل الضياعات والمحافظة على قيم توتر ضمن الحدود المسموحة في جميع عقد الشبكة.

كخوارزمية تنظيم لامركزي (Online): أيضاً يستخدم في [2] متحكم ضبابي يعتمد قيمة كل من خطأ التوتر (قيمة توتر العقدة-التوتر المرجعي) وكذلك قيمة تغيير هذا الخطأ كقيم دخل (Input Values) بهدف التحكم بكمية الاستطاعة التي يقوم المعرج بحققها/امتصاصها.

أما المرجع [3] فيقترح تعديل في خوارزمية الاضطراب والمراقبة ((Perturb and Observe (P&O)) "التقليدية" عن طريق التحكم بنسبة عمل رافع الجهد المستمر استناداً الى مراقبة الاستطاعة الفعلية ومقدار تغييرها. تهدف عملية التعديل تلك الى تخطي الصعوبات في عمل الخوارزمية التقليدية اثناء أوقات الذروة وعند تأرجح الاستطاعة في غير أوقات الذروة وكذلك عند وجود توليد فائض يؤدي الى ارتفاع في التوتر.

يعرض المرجع [4] طريقة تنظيم "لامركزي" بالاستطاعة الردية في شبكة توتر منخفض تعتمد على تحليل الحساسية للتوتر وحساب قيمة عامل الاستطاعة كتابع للاستطاعة الفعلية والردية وقيم الاستطاعة الردية كتابع للتوتر، وبينت هذه الدراسة أن موقع المعرج يلعب دوراً مهماً في تأرجحات التوتر، حيث يستطيع تقديم استطاعة ردية أكبر كلما كان أقرب للمحولة.

يدرس الباحثون في المرجع [5] استراتيجية تحكم وتنظيم للتوتر المحلي لكل معرج خلية كهروضوئية وذلك اعتماداً على علاقة التوتر بالاستطاعة الفعلية عند نقطة الربط ((point of common coupling (PCC)) ومنحني خرج PV، من دون الحاجة إلى معرفة معلومات العقد الأخرى.

أما المرجعان [6] و [7] فيعرضان خوارزمية تنظيم "لامركزي" أيضاً لضبط التوتر، تعتمد على التحكم بالاستطاعة الردية للمعرجات الكهروضوئية حيث يتم خفض كمية الاستطاعة الردية المحقونة في الشبكة كإجراء أولي لخفض زيادة التوتر ولكن عند حد معين يصبح هذا الإجراء غير كافي كون المعرجات محدودة الاستطاعة لذا يتم الانتقال إلى خفض الاستطاعة الفعلية للأنظمة الكهروضوئية.

كخوارزمية تنظيم مركزي (Offline): يقترح المرجع [8] استراتيجية تنظيم للتوتر في شبكات التوتر المنخفض على مستويين، في المستوى الأول يتم ضبط معدلات شحن وتفريغ المدخرات وكذلك اختيار تقريفة (OLTC) اعتماداً على

المنحني اليومي للطاقة المنتجة في الأنظمة الكهروضوئية، أما في المستوى الثاني فيتم تنظيم ناعم للتوتر (fine tune) عن طريق التحكم بالاستطاعة الردية المنتجة في المعرجات اعتماداً على المنحني الساعي للطاقة المنتجة في الانظمة الكهروضوئية، وذلك بعد تقسيم النظام الى أجزاء يحتوي كل منها على مجموعة المعرجات المتساوية في قدرتها على حقن استطاعة ردية وامتصاصها.

وكخوارزمية تنظيم مركزي (Online): يبين الباحثون في المرجعين [9] و [10] أنه بالإمكان تنظيم التوتر والحد من ضياعات الطاقة واستيعاب الشبكة للمزيد من التوليد الموزع (PV-طاقة رحيبة) بالاعتماد على نموذج شبكة قابلة لإعادة الهيكلة (reconfiguration model) حيث يتم تغيير طوبولوجية الشبكة عن طريق فتح وإغلاق قواطع متواجدة على خطوط القدرة متحكم بها عن بعد.

إذاً القسم الأكبر من الدراسات المرجعية يتضمن خوارزميات تنظيم لامركزي للتوتر، ميزتها الوحيدة عدم الحاجة لشبكة اتصالات مقابل نقاط ضعف مختلفة حيث تكون عملية التنظيم على درجة من العشوائية، تتم عند نقاط مختلفة من الشبكة في نفس الوقت، من سلبياتها الأساسية اجهاد المفاتيح الالكترونية في المعرجات.

أما خوارزميات التنظيم المركزي المقترحة فهي على درجة من التعقيد، حيث تتطلب دراسات احصائية ومعالجة رياضية لعدم موثوقية هذه البيانات الاحصائية، أو أنها مخصصة لبنى محددة من الشبكات يمكن تغيير طوبولوجيتها بسهولة.

أهمية البحث وأهدافه:

يقدم هذا البحث خوارزمية تنظيم مركزي للتوتر في شبكات التوليد الموزع المحتوية على مزارع كهروضوئية، تتجاوز سيئات خوارزميات التنظيم اللامركزي، وأيضاً ذات امكانية تحقيق عملي عالية في مختلف البنى، بما يسهم بإيجاد حل منهجي لمشكلة ارتفاع الجهد في هذه الشبكات وبالتالي تحسين امكانية زيادة سعة وعدد هذه المزارع في الشبكات الكهربائية مع المحافظة على توتر منظم ضمن الحدود المقبولة المتفق عليها في المواصفات العالمية، بما ينسجم مع الطموحات والآمال الحالية في هذا المجال.

تفترض هذه الخوارزمية "حكماً" وجود شبكة اتصالات، يتم عبرها نقل المعطيات من عقد الشبكة الى مركز تحكم وأيضاً بالاتجاه المعاكس.

طرائق البحث ومواده:

1- آلية تنظيم توتر عقدة في الشبكة اعتماداً على التحكم بالاستطاعة الردية للمعرج

تعتبر خوارزمية حقن وامتصاص الاستطاعة الردية في المعرجات ((Reactive Power Injection (RPI) الأكثر شيوعاً في تنظيم توتر عقد الشبكة الحاوية على توليد كهروضوئي وهي خوارزمية عملية غير معقدة تصلح للاستخدام في الانظمة Online، وبما أن قدرة معرجات الأنظمة الكهروضوئية (PVS) على استيعاب الاستطاعة الردية محددة بزيادة الإشعاع الشمسي والاستطاعة الفعلية المولدة من الأنظمة الكهروضوئية فإن هذه الخوارزمية ليست كافية لتنظيم التوتر عند تارجحات كبيرة، لذلك نستخدم أيضاً خوارزمية خفض الاستطاعة الفعلية (Active Power curtailment (APC)) كحل تكميلي للوصول إلى حل نهائي لمشكلة تارجحات التوتر.

يبين الشكل (1) المخطط العام لكلا الخوارزميتين: حلقة RPI وحلقة APC [7].

حلقة RPI: تقارن الخوارزمية قيمة التوتر المقاس مع عتبي التوتر العليا والدنيا، تحسب قيمة معامل الريح النسبي Kp كما هو مبين في المعادلة (1):

$$Kp(i) = \frac{\Delta Q(j-1)}{Vm(i) - Vm(i-1)} \quad (1)$$

تحسب بعدها مقدار التغير المقدر في الاستطاعة الردية (ΔQ) كما يلي:

إذا كان التوتر أكبر من العتبة العليا نحسب قيمة (ΔQ) كما هو مبين في المعادلة (2):

$$\Delta Q = -Kp * (Vup - Vm(i)) \quad (2)$$

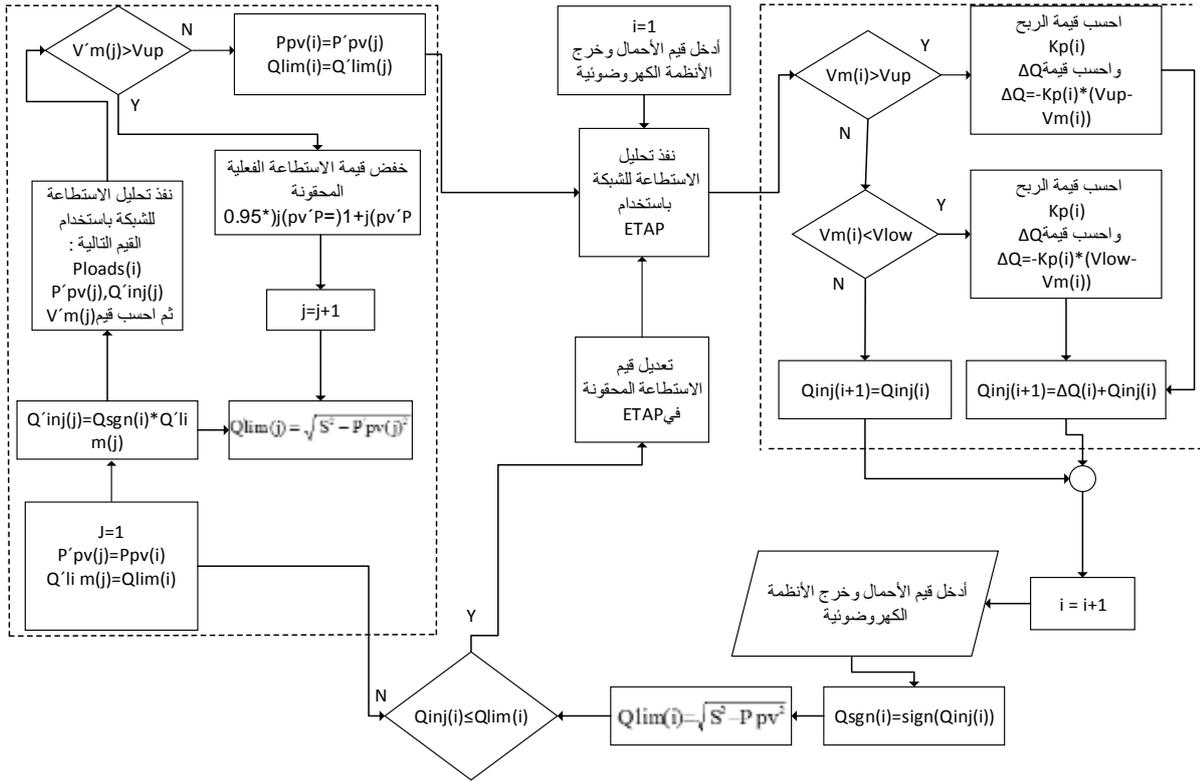
وإذا كان التوتر أصغر من العتبة الدنيا نحسب قيمة (ΔQ) كما هو مبين في المعادلة (3):

$$\Delta Q = -Kp * (Vlow - Vm(i)) \quad (3)$$

ونظراً لأن توليد الطاقة الشمسية يمكن أن يتفاوت بشكل كبير بين خطوتين زمنيتين فإن (Kp) المحدد مسبقاً قد لا يوفر التصحيح المطلوب في الاستطاعة الردية ولذلك تقوم تقنية RPI المقترحة بتحديث (Kp) في كل خطوة زمنية. إن (ΔQ) من المعادلتين (2) و (3) يعطينا قيمة التغير المقدر في الاستطاعة الردية للمعرج في الخطوة الزمنية التالية كما هو مبين في المعادلة (4):

$$Qinv(i + 1) = \Delta Q(i) + Qinv(i) \quad (4)$$

فإذا كانت $Qinv(i + 1) \leq Qlim(i)$ عندها نقوم بتعديل قيم الاستطاعات الردية المحقونة في الشبكة وفقاً لهذه القيمة $Qinv(i + 1)$ ونعيد تحليل للاستطاعة للشبكة لبيان مدى قدرة هذه الاستطاعات الردية على ضبط قيم توترات العقد. حلقة APC: عندما يكون خرج الأنظمة الكهروضوئية PVS عالي والأحمال منخفضة ستبدأ توترات العقد بالارتفاع وسيكون من الضروري زيادة دعم الاستطاعة الردية لخفض التوتر ولكن المعرجات تفشل في ذلك بسبب سعتها المحدودة وبالتالي لا تتمكن تقنية RPI من تأمين امتصاص للاستطاعة الردية بشكل كافي، وهنا ننتقل لتقنية APC حيث يتم تقليص خرج وحدات التوليد الكهروضوئية لمنع زيادة التوتر، على الرغم من أن هذا التقليص يمكن أن يكون مكلف لأصحاب الأنظمة الكهروضوئية إلا أنه يساعد على تجنب حقن الفائض من الطاقة الكهروضوئية في الشبكة وبالتالي منع زيادة التوتر.



الشكل (1): خوارزمية تنظيم التوتر بحقق الاستطاعة الردية وخفض الاستطاعة الفعلية (RPI-APC)

يتم خفض التوتر في هذه الحالة من قبل كلا التقنيتين كما هو مبين في الشكل (1)، فعندما تتجاوز الاستطاعة الردية المحقونة الحد المسموح به ($Q_{inj}(i) > Q_{lim}(i)$) تدخل حينها تقنية APC حيز التنفيذ ويتم تشغيل حلقة منفصلة لتحديد قيمة P_{pv} , Q_{inj} الجديدة للوصول الى التوتر المطلوب.

يتم في تقنية (APC) التقليل من قيمة الاستطاعة الفعلية المحقونة من الأنظمة الكهروضوئية كما هو مبين في المعادلة (5):

$$P_{pv}(j+1) = P_{pv}(j) * 0.95 \quad (5)$$

حيث أن $P_{pv}(j)$ يمثل خرج الخلايا الكهروضوئية بعد التقليل عند الزمن j وبالتالي تزداد لدينا الاستطاعة الردية للمعرج كما هو مبين في المعادلة (6):

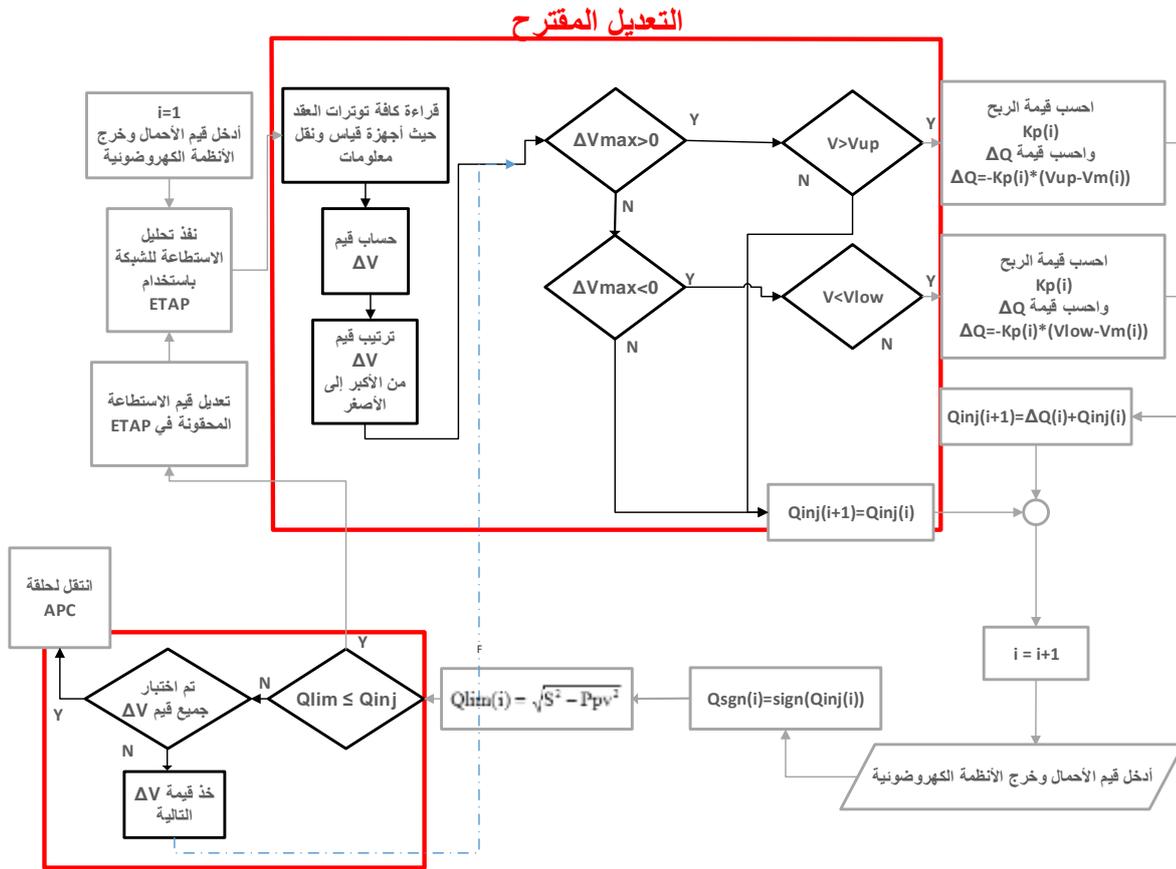
$$Q_{lim} = \sqrt{S^2 - P_{pv}(j)^2} = Q_{inj}(j) \quad (6)$$

وبمجرد أن تصل قيمة التوتر ضمن حدود التوتر المسموحة المحددة يتم تحديث قيم (Q_{inj}, P_{pv}) المحقونة في الشبكة واستخدامها في حساب سريان الاستطاعة فيها.

2- خوارزمية التنظيم المركزي المقترحة

نعرض فيما يلي تطوير خوارزمية RPI-APC الموضحة سابقاً الى خوارزمية تنظيم مركزي (الشكل (2))، حيث أشير في الشكل الى الجزء الحسابي المضاف في وحدة التحكم المركزية. تقوم وحدة التحكم والاتصال المركزية بقراءة توترات عقد الشبكة بعد وصل وحدات التوليد الكهروضوئية، وحساب قيم تغيرات التوتر نتيجة لهذا الوصل، ثم تقوم بترتيب قيم

هذه التغييرات من الأعلى إلى الأدنى، يجري بعد ذلك اختيار العقدة التي تعاني من أكبر تغير في التوتر ليتم التحكم بالاستطاعة الردية للمعرج المتصل بهذه العقدة اعتماداً على قيمة هذا التغيير، بعد ذلك يتم تحري توترات الشبكة للبحث عن مناطق ذات توتر مرتفع في حال وجودها. تتم عملية التحكم بالاستطاعة الردية وفق المعادلات المذكورة في الفقرة السابقة (1-3). يتم تفعيل حلقة خفض الاستطاعة الفعلية عند وصول كافة معرجات الشبكة إلى حدودها الفيزيائية في حقن وامتصاص الاستطاعة الردية.



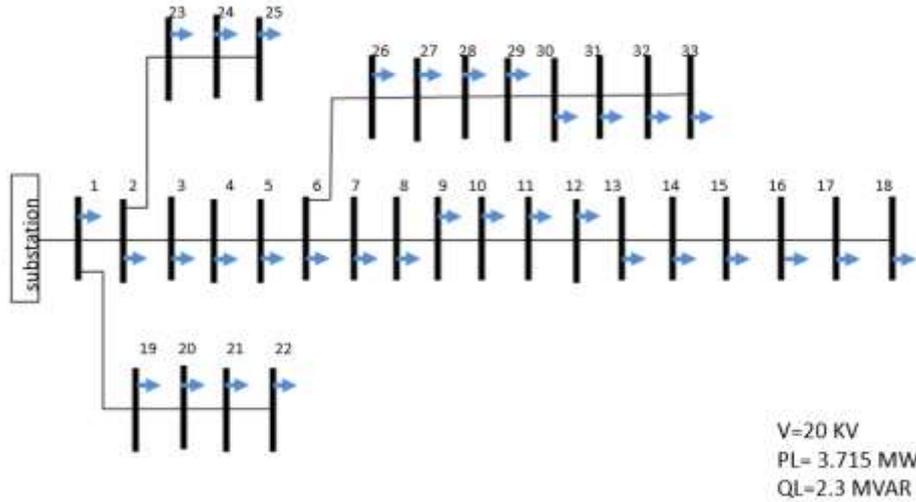
الشكل (2): خوارزمية التنظيم المركزي المقترحة

3- الشبكة المدروسة

يبين الشكل (3) نظام الاختبار المقترح: وهو عبارة عن شبكة توزيع شعاعية، توترها 20 kV، استطاعتها الاسمية Sn=20 MVA، تتصل بالشبكة الاعلى بواسطة محول 66/20 kV. تتألف الشبكة من 33 عقدة، عدد الأحمال 32 حمل موصولة إلى عقد الشبكة عن طريق محولات 20/0.4 kV. تتألف الشبكة من مسار رئيسي تتفرع منه ثلاثة مسارات فرعية، طول المسار الرئيسي (10.950 KM) حتى العقدة (18). تحتوي الشبكة أربع مجموعات توليد كهروضوئية، يبين الجدول (1) أماكن ربطها واستطاعاتها الاسمية.

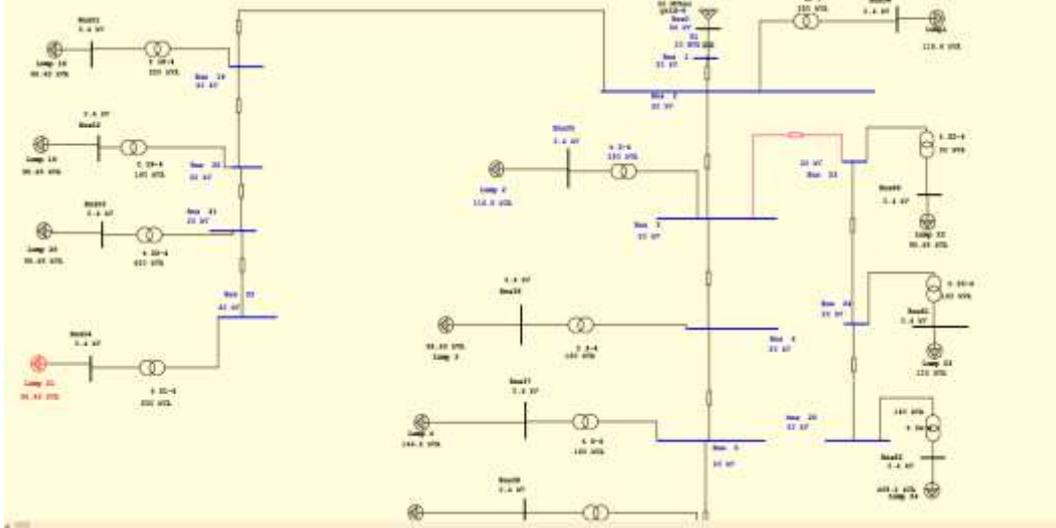
الجدول (1): الاستطاعة الاسمية لمجموعات التوليد الكهروضوئية ونقطة ربطها مع الشبكة

رقم المجموعة	الاستطاعة الاسمية (KW)	نقطة الربط مع الشبكة
المجموعة الأولى	1290	العقدة 12
المجموعة الثانية	1806	العقدة 14
المجموعة الثالثة	2580	العقدة 16
المجموعة الرابعة	3096	العقدة 18



الشكل (3): رسم تخطيطي أحادي الخط لشبكة الاختبار

تمت نمذجة الشبكة باستخدام برنامج ETAP، وبين الشكل (4) مقطع من الشبكة في بيئة برنامج ETAP. تعتبر الأحمال من العقدة 23 إلى العقدة 25 بمثابة أحمال صناعية، تشكل 20% من مجموع الأحمال في الشبكة، تعمل من الساعة 8 صباحاً وحتى الساعة الرابعة ظهراً صيفاً وشتاءً. تعتبر الأحمال من العقدة 19 وحتى العقدة 22 بمثابة أحمال زراعية تشكل 25% من مجموع الأحمال، تعمل من الساعة 7 صباحاً إلى الساعة 7 مساءً فقط صيفاً، بقية الأحمال هي حمولات منزلية. يبين الشكل (5) منحنيات الأحمال المختلفة المذكورة وكذلك منحنى الإشعاع الشمسي في يوم من أيام شهر آب عام 2022 [11]، حيث تكون أعلى قيمة لهذا الشعاع (913.52 W/m^2) عند الساعة الثانية عشر ظهراً وأدنى قيمة له عند الساعة الخامسة مساءً (108 W/m^2).

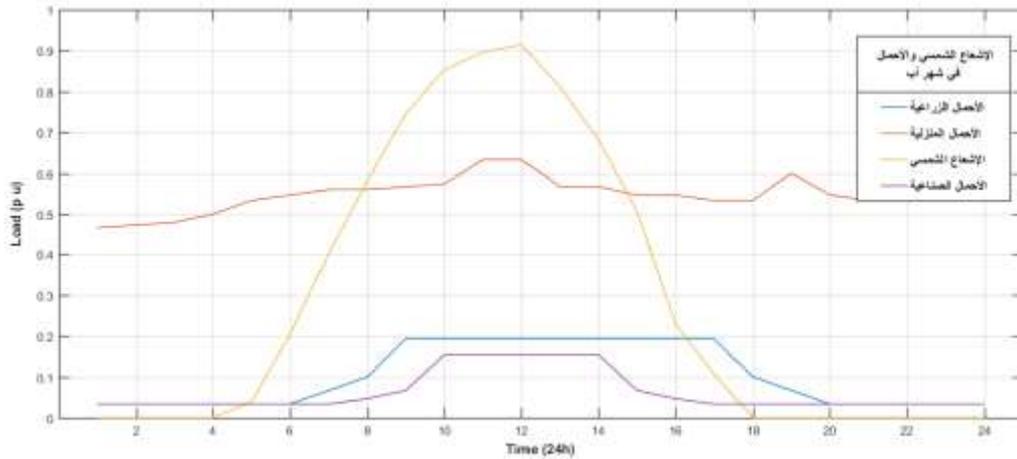


الشكل (4): مقطع من الشبكة المدروسة في برنامج ETAP

النتائج والمناقشة:

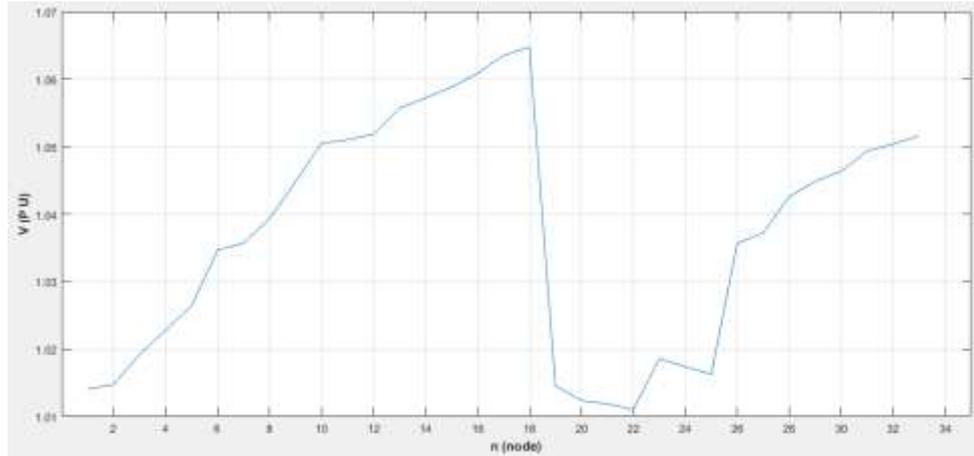
1- عند تطبيق خوارزمية التنظيم اللامركزي RPI-APC

تبين نتائج التحليل في بيئة ETAP قبل وصل وحدات التوليد الكهروضوئي انخفاض قيم توترات العقد كلما ابتعدنا عن نقطة التغذية الأساسية في الشبكة، وهو أمر مألوف في شبكات التوزيع التقليدية نتيجة تدفق الاستطاعة الاحادي الاتجاه من المنبع الى المستهلك، الشكل (6).

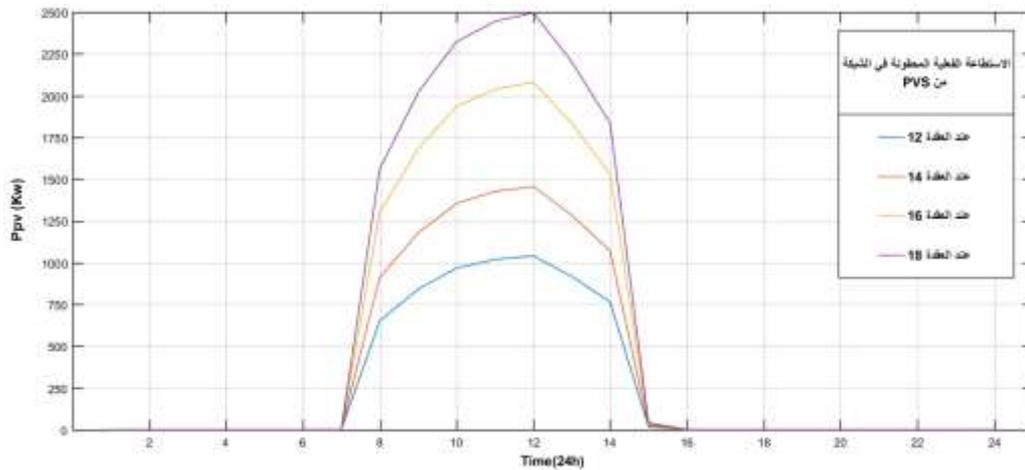


الشكل (5): قيم الإشعاع الشمسي والأحمال في يوم من أيام شهر آب، عام 2022

بعد وصول مجموعات التوليد الكهروضوئي يتم حقن شبكة التوزيع من هذه المجموعات بقيم استطاعات فعلية مختلفة تبعاً لشدة الإشعاع الشمسي في كل ساعة، الشكل (7).

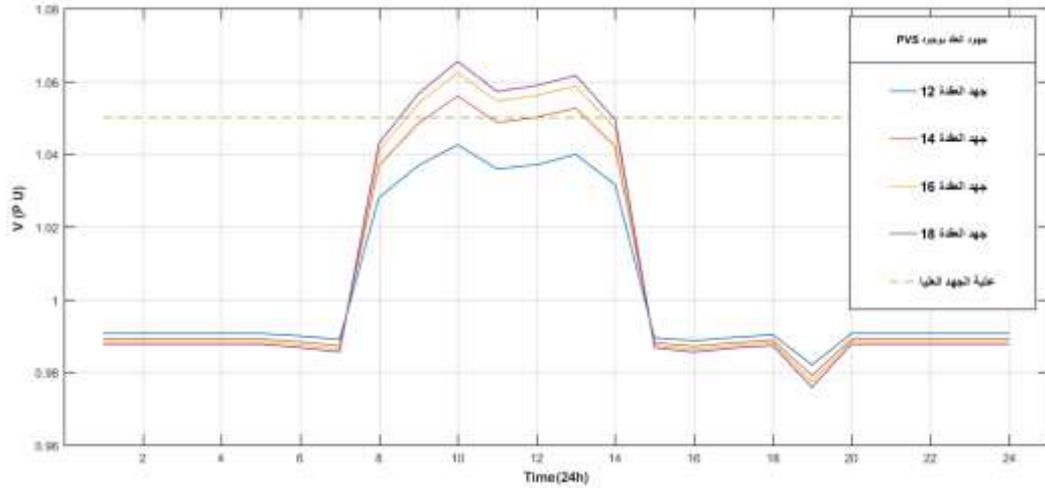


الشكل (6): توترات عقد الشبكة بدون وجود PVS

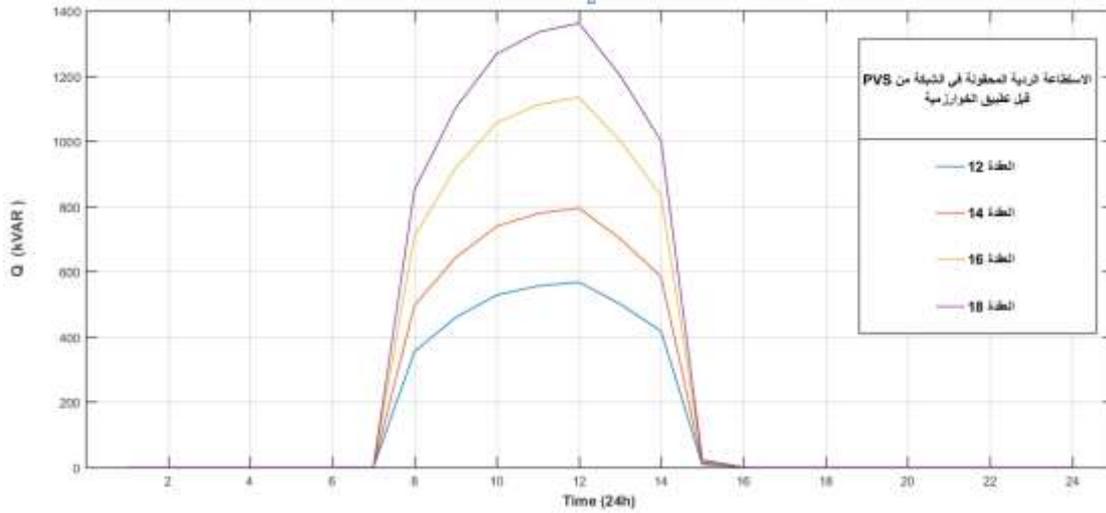


الشكل (7): كمية الاستطاعات الفعلية المحقونة من PVS

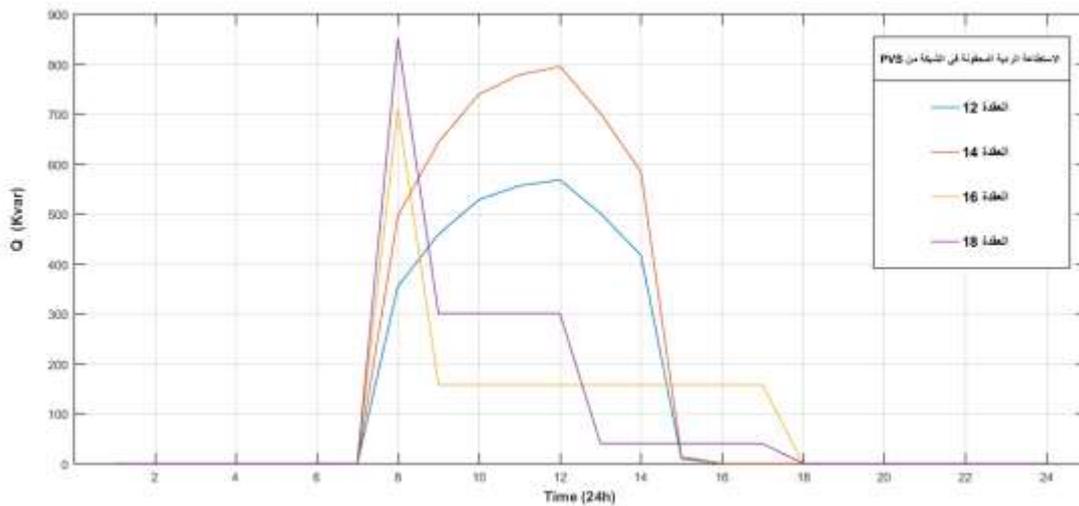
حيث ترتفع قيم توترات عقد الشبكة نتيجة لكمية الاستطاعات الفعلية المحقونة في الشبكة إلى قيم خارج المجال المسموح به للتوتر وخاصة عند نقطة ذروة الإشعاع الشمسي كما هو مبين في الشكل (8).
 عند قيم التوترات هذه تكون قيم الاستطاعة الردية المحقونة من كل من المجموعات الكهروضوئية كما هو مبين في الشكل (9). نقوم باستخدام برنامج MATLAB بتطبيق خوارزمية RPI-APC (الفقرة 3-1) لضبط التوتر، فنحصل على قيم الاستطاعات الردية الواجب حقنها أو امتصاصها عند عقد الربط الأربعة مع شبكة التوزيع (PCC)، الشكل (10).
 حيث نلاحظ أن الاستطاعة الردية المحقونة في العقد (12 و 14) لم يطرأ عليها أي تغيير، مع تعديل الاستطاعة الردية المحقونة في العقد الحدية (16 و 18) عند نقطتين زمنيتين: حوالي الساعة التاسعة وحوالي الساعة الثانية عشرة ظهراً حيث تم تعديل الاستطاعة الردية المحقونة في الشبكة مرة أخرى وفق الخوارزمية.



الشكل (8): توترات عقد الشبكة بعد وصل PVS

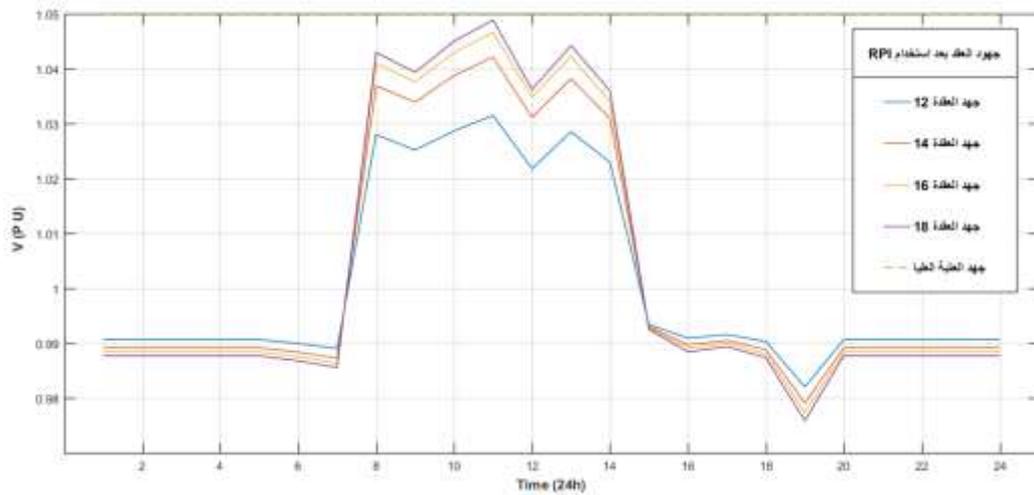


الشكل (9): استطاعة المعرجات الردية المحقونة في الشبكة بعد الوصل مباشرة



الشكل (10): الاستطاعة الردية المحقونة في الشبكة بعد تطبيق خوارزمية RPI

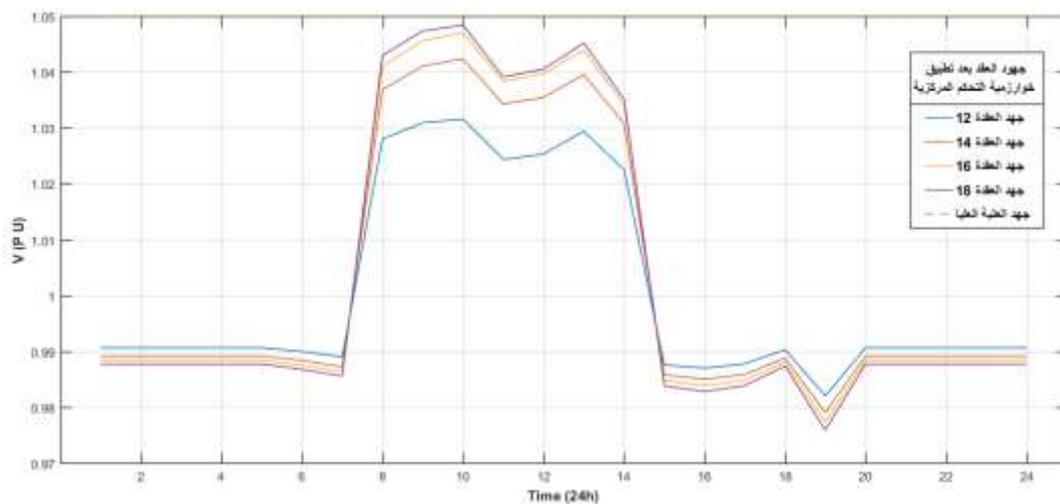
نلاحظ بعد تطبيق حلقة RPI من الخوارزمية (RPI-APC) انخفاض توترات العقد الى ضمن الحدود المسموح بها، الشكل (11)، دون الحاجة إلى تفعيل حلقة.



الشكل (11): توترات عقد الشبكة بعد استخدام خوارزمية RPI-APC

2- عند تطبيق خوارزمية التنظيم المركزي

بتطبيق خوارزمية التنظيم المركزي (الفقرة 3-2) نجد أن أكبر قيمة توتر كانت عند العقدة 18 وذلك حوالي الساعة التاسعة حيث تم تعديل كمية الاستطاعة الردية المحقونة عند هذه العقدة وفق الخوارزمية المقترحة، ثم حوالي الساعة الحادية عشر حيث تم تعديل الاستطاعة الردية المحقونة في الشبكة مرة أخرى. كان تعديل الاستطاعة الردية المحقونة في هذه العقدة فقط كافياً لتنظيم التوتر في كافة عقد الشبكة، الشكل (12)، وهي الميزة الأساسية لهذه الخوارزمية.



الشكل (12): توترات عقد الشبكة استخدام خوارزمية التنظيم المركزي

إذاً تمكنت الخوارزمية بشكل منظم من تنظيم جهد الشبكة عند تنظيم جهد عقدة واحده فقط.

الاستنتاجات والتوصيات:

قمتنا في هذا البحث بتطوير خوارزمية تنظيم لامركزي الى خوارزمية تنظيم مركزي ودراسة أداء هذه الخوارزمية ومقارنته بأداء خوارزمية التنظيم اللامركزي على شبكة حاوية على مصادر توليد كهروضوئي وأنماط مختلفة من الأحمال باستخدام برنامجي ETAP و MATLAB:

- من حيث المبدأ أدت كلتا الخوارزمتان المهمة بشكل جيد، بما يتيح امكانية زيادة سعة الوحدات الكهروضوئية الموصولة مع الشبكة مع المحافظة على قيم توتر ضمن المجال المحدد.
- ظهر ارتفاع التوتر بشكل عام في الشبكة المدروسة عند قيم استطاعة مولدة في الأنظمة الكهروضوئية أكبر من قيم الحمل (6.5 KW كهروضوئي عند حمل 5.8 KW).
- أعطت طريقة التحكم المركزي نتائج جيدة في ضبط التوتر حيث تم تفعيل عملية امتصاص الاستطاعة الرديئة في الحدود الدنيا وفق الحاجة، عند معرج واحد وليس عند جميع المعرجات.
- يوصى بتوسيع هذه الدراسة لشبكات التوليد الموزع والحوية على منابع استطاعة مختلفة وليس فقط منابع كهروضوئية.

References:

- [1] Molla Addisu, Ayodeji Olalekan Salau, Haymanot Takele. *Fuzzy logic based optimal placement of voltage regulators and capacitors for distribution systems efficiency improvement*. Heliyon 7 (2021) e07848.
- [2] Yassir Maataoui, Hamid Chekenbah, Omar Boutfarjoute. *Voltage control using fuzzy logic for radial distribution network with high penetration of photovoltaic generators*. E3S Web of Conferences 351, 01030 (2022).
- [3] Vinit Kumar, Mukesh Singh. *Derated Mode of Power Generation in PV System Using Modified Perturb and Observe MPPT Algorithm*. JOURNAL OF MODERN POWER SYSTEMS AND CLEAN ENERGY, VOL. 9, NO. 5, September 2021.
- [4] Erhan Demirok, Pablo Casado Gonzalez, Kenn H. B. Frederiksen. *Local Reactive Power Control Methods for Overvoltage Prevention of Distributed Solar Inverters in Low-Voltage Grids*. IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, VOL. 1, NO. 2, DECEMBER 2011.
- [5] Bi Ying Ren, Meng Zhang, Shao Liang. *An Local Control Strategy of PV Inverters for Overvoltage Prevention in Low Voltage Feeder*. 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA).
- [6] Shibani Ghosh, Saifur Rahman, Manisa Pipattanasomporn. *Local Distribution Voltage Control by Reactive Power Injection from PV Inverters Enhanced with Active Power Curtailment*. IEEE PES General Meeting, 2014.
- [7] Mohammad Amin Ghasemi, Mostafa Parniani. *Prevention of distribution network overvoltage by adaptive droop-based active and reactive power control of PV systems*. Electric Power Systems Research 133 (2016).
- [8] Mohammad reza Emarati, Mostafa Barani, Hossein Farahmand. *A two-level over-voltage control strategy in distribution networks with high PV penetration*. Electrical Power and Energy Systems 130 (2021).
- [9] Colleen Luekena, Pedro M.S Carvalho, Jay Apt. *Distribution grid reconfiguration reduces power losses and helps integrate renewables*. Energy Policy 48 (2012) 260–273.
- [10] Parvathy Chittur Ramaswamy, Pieter Vingerhoets, Geert Deconinck. *Reconfiguring distribution grids for more integration of distributed generation*. 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013).
- [11] <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>