

## تأثير قابلية القدرة المتفاعلة للعاكس على منظومة قدرة كهربائية هجينة

عمر شرف الدين يحيى  
o.yehya@uomosul.edu.iq

رغد اديب عثمان  
raghadeeb@uomosul.edu.iq

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم الهندسة الكهربائية - موصل - العراق

تاريخ القبول: 20-11-2022

استلم بصيغته المنقحة: 3-11-2022

تاريخ الاستلام: 9-10-2022

### المخلص

أدى ارتفاع استهلاك الكهرباء، والاستنفاد السريع للوقود الأحفوري، والتحول العالمي إلى استخدام موارد الطاقة المتجددة إلى زيادة الحاجة إلى دمج موارد الطاقة المتجددة والموزعة (DERs)، مثل الطاقة الكهروضوئية الشمسية (PV) لتشغيل شبكات التوزيع. للحصول على أقصى فائدة من هذه الأنظمة المتكاملة، يجب استخدام قدرتها المعيارية بشكل صحيح. نظراً لخصائصه المهمة المتمثلة في قابلية حقن القدرة المتفاعلة، يساعد عاكس المنظومة الكهروضوئية في تحسين جودة شبكة التوزيع. في هذا البحث، تم دراسة تأثير قابلية عاكس المنظومة الكهروضوئية في تعويض/امتصاص القدرة المتفاعلة في شبكة توزيع modified IEEE 13-node. أجريت تحليلات سريان القدرة في برنامج MATLAB / SIMULINK لحالات تشغيل مختلفة لإظهار تأثير القدرة المتفاعلة على تنظيم جهد الشبكة، وتقليل التشوه التوافقي الكلي (THD)، والحفاظ على عامل القدرة من أجل تحسين قدرة النظام على التعامل مع الطاقة. تظهر النتيجة أن استخدام نظام PV (500 kW) في العمومي (671) أدى إلى انخفاض في الطاقة المولدة من المولد الرئيسي للشبكة الكهربائية بنسبة 13.79%، أدى استخدام تعويض القدرة المتفاعلة من عاكس المنظومة الكهروضوئية في الموقع إلى تحسين ملف الجهد بشكل كبير. كذلك، انخفض تشوه الجهد (THD-V) بنسبة 34% عند حقنه بالقدرة المتفاعلة، وخفض تشوه التيار (THD-I) بنسبة 57.65% عند امتصاص القدرة المتفاعلة، وتحسين عامل القدرة في الموقع.

### الكلمات المفتاحية:

قابلية القدرة المتفاعلة؛ الأنظمة الهجينة؛ جودة القدرة؛ المنظومة الكهروضوئية؛ تنظيم الجهد.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

<https://rengj.mosuljournals.com>

تطوير مفاهيم واستراتيجيات جديدة لتخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة. وعليه، ولمعالجة هذه المشكلات، بدأت العديد من المنظمات في استخدام مصادر الطاقة الموزعة (Distributed Energy Resources (DER)) التي تشمل التوليد الموزع (Distributed Generation (DG)) وأنظمة تخزين الطاقة (Energy Storage System (ESS)) [3].

وفقاً لإحصاءات قدرة الطاقة المتجددة للوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) (2022). كما هو مبين في الشكل (1)، في نهاية عام 2021، بلغت قدرة توليد الطاقة المتجددة العالمية 3.064 Terawatt (TW). أي ان سعة توليد الطاقة المتجددة في عام 2021 زادت بمقدار 257 GW (+9.1%). ويلاحظ من الشكل (1) ان الطاقة الشمسية تستمر في قيادة هذا التوسع في الطاقة بإضافة 133 GW (+19%) تليها طاقة الرياح التي أضافت (+13%) 93 GW [4].

### 1. المقدمة

ان الطلب المتزايد باستمرار على الطاقة الكهربائية بسبب النمو السكاني المتزايد والتنمية الاقتصادية يضع صناعة الطاقة تحت ضغط كبير لزيادة توليد الطاقة الكهربائية. حيث تعتمد كمية الطاقة التي يتم توفيرها للمستهلكين على نظام توليد الطاقة المركزي، والذي يستخدم مولدات الطاقة التقليدية. ومع ذلك، فإن أنظمة توليد الطاقة المركزية تعاني من العديد من المشكلات مثل ارتفاع تكاليف الوقود الأحفوري (الفحم والنفط والغاز الطبيعي) [1]، وفقدان الطاقة أثناء النقل والتوزيع، إضافة إلى ذلك، أدى استنفاد احتياطات مصادر الطاقة التقليدية، وازدياد المخاوف البيئية من التأثير السلبي للتلوث والاحتباس الحراري العالمي، بالإضافة إلى تقلب أسعار النفط، وزيادة الطلب على الكهرباء في جميع أنحاء العالم إلى الحاجة إلى إيجاد بدائل لمصادر الطاقة التقليدية للتعليق على تحديات إمدادات الطاقة المستدامة [2]. نتيجة لذلك، يجب

طاقة كهروضوئية بسعة (7.63 kW) متصل بشبكة ثلاثية الأطوار عبر (VSI) Voltage Source Inverter مع إمكانية التحكم في القدرة المتفاعلة لـ VSI لتنظيم جهد النظام وتحسين عامل القدرة. وتشير هذه الدراسة إلى أن المزيد من التركيز على الاستخدام الفعال لقابلية القدرة المتفاعلة لنظام BIPV المتصل بالشبكة ثلاثية الأطوار يؤدي إلى تشغيل شبكة نظام مستقر وموثوق وفعال من حيث التكلفة مما يقلل العبء الثقيل على الشبكة للتحكم في تأثيرات النظام الكهروضوئية [6]. قام الباحث (MIHAI BURLACU) وآخرون في عام 2022، بتقديم دراسة تهدف إلى بيان تأثير القدرة المتفاعلة الناتجة عن عواكس (PVPP) Photovoltaic Power Plants في توفير استراتيجيات إدارة القدرة المتفاعلة المثلى لتقليل فقدان القدرة الفاعلة ضمن سيناريوهات متعددة، اعتماداً على الحمل وإخراج القدرة الفاعلة لـ PVPP. أظهرت النتائج فعالية عواكس PVPP في تحسن ملف جهد العمومي بشكل طفيف، وتقليل فقد القدرة الفاعلة في الشبكات الصغيرة من خلال توفير دعم القدرة المتفاعلة مقارنة باستخدام Capacitor Bank [11].

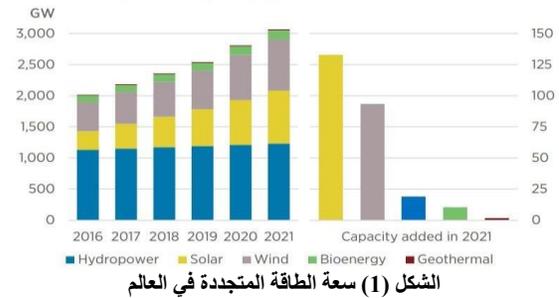
يهدف هذا البحث، الى بيان قابلية عاكس النظام الكهروضوئي المتصل بالشبكة الكهربائية بتزويد الطاقة النشطة الناتجة عن النظام الكهروضوئي وبنفس الوقت سيعمل على تعويض /امتصاص القدرة المتفاعلة وفقاً لضرورة شبكة التوزيع وتوافر الطاقة الكهروضوئية، وبيان تأثير ذلك على تحسين ملامح الجهد لضمان استقراره، لتقليل فقدان الطاقة، تحسين عامل القدرة، زيادة السعة في الخطوط والمعدات، نظراً لوجود تحكم محلي في تعويض الطاقة.

## 2. قابلية العاكس على حقن/امتصاص القدرة المتفاعلة

يمكن جعل شبكة القدرة الكهربائية أكثر موثوقية وكفاءة من خلال استخدام عواكس (Inverters) متطورة، جنباً إلى جنب مع التوليد الموزع. ويمكن أن يوفر عاكس النظام الكهروضوئي قدرة متفاعلة دون تقليل إنتاج القدرة الفاعلة. طالما يتم حقن القدرة المتفاعلة بشكل صحيح، فسيكون هناك تحول مهم في قيادة هذه الانظمة إذ يتم توفير القدرة المتفاعلة بشكل ديناميكي حين تشتد الحاجة إليها بالقرب من الأحمال. لقد لاحظ الباحثون في مختبر أوك ريدج الوطني (Oak Ridge National Lab)، أن التحكم في الجهد الموزع يتفوق بشكل كبير على التحكم المركزي في الجهد. ويقدم تنظيم الجهد الموزع نظاماً فعالاً، دون أي انقطاع في التيار الكهربائي. يمكن أيضاً برمجة العواكس المتطورة للتغلب على التقلبات الطفيفة في الجهد، مما يلغي الحاجة إلى قطع إضافية للاتصال الشبكة. نظراً لأن المحولات العواكس المتطورة أقل تكلفة مقارنة بخيارات تنظيم الجهد التقليدية، فإن الانظمة وعمالها سيتم خدمتهم بشكل جيد من خلال الاعتماد السريع لهذه التكنولوجيا. يمكن التأكيد على العديد من المزايا المحتملة لتوليد القدرة المتفاعلة بواسطة عواكس المنظومة الكهروضوئية [10]:

- يمكن أن تولد العاكسات كلاً من القدرة المتفاعلة الحثية والقدرة المتفاعلة السعوية.
- يمكن تعديل القدرة الفاعلة المتولدة بدقة وسرعة عند الحاجة.
- عند استخدام العواكس سنتنفي الحاجة لتكاليف استثمار إضافية.
- كذلك من أهم مزايا استخدام العاكس في حقن/امتصاص القدرة المتفاعلة هو إمكانية تشغيل العاكس كمصدر للقدرة المتفاعلة عند مستويات منخفضة من الإشعاع الشمسي الخاضع للظروف المناخية. وبالتالي، فإنه يحسن استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية ويقفل من

## Renewable power capacity growth



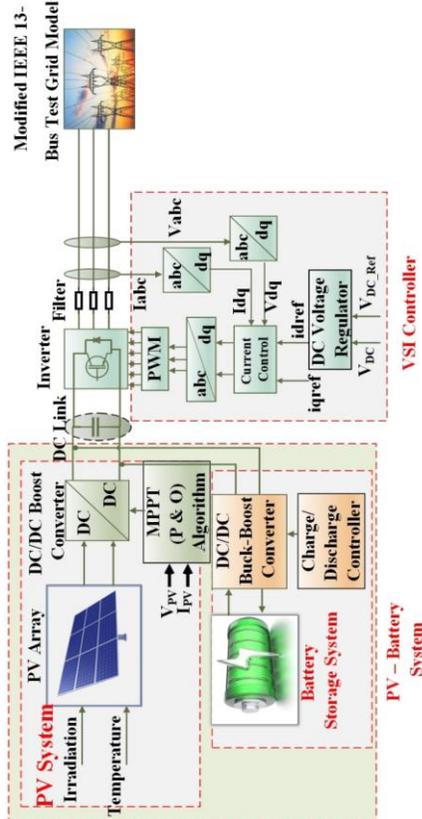
ان الطبيعة المتقطعة لموارد الطاقة المتجددة تجعل إنتاج الطاقة من مصدر واحد للطاقة المتجددة غير موثوق به. لذلك، تزداد شعبية نظام الطاقة المتجددة الهجين (Hybrid Renewable Energy System (HRES)) والذي يتضمن أكثر من نظام واحد لإنتاج الطاقة.

عادة ما يتم تحقيق الربط البيئي لمصادر الطاقة الموزعة (DER) بالشبكة التقليدية من خلال استخدام مغيرات القدرة (Power Converters). يوفر استخدام مغيرات القدرة فوائد كبيرة مثل التشغيل الأمثل والتحكم المرن، بالإضافة إلى الفوائد التي يقدمها التوليد الموزع (DG)، والتي تشمل دعم الجهد وتقليل الفقد وجودة القدرة العالية وموثوقية النظام. اعتماداً على خصائص كل من النظام والتوليد الموزع، يمكن أيضاً تخفيض فواتير العملاء عن طريق إعادة بيع الطاقة الإضافية المتولدة [5]. ومع ذلك، فإن إدخال مغيرات القدرة مع DGs في الشبكة الكهربائية يخلق العديد من المشاكل فيما يتعلق بقضايا الحماية والسلامة، والتشويه التوافقي، والحالات العابرة [6].

يمكن استخدام قابلية التحكم في القدرة المتفاعلة لعاكس (Inverter) المنظومة الكهروضوئية لتعويض أو امتصاص القدرة المتفاعلة لدعم تنظيم الجهد على مستوى التوزيع [7]. تتمثل مزايا استخدام عواكس المنظومة الكهروضوئية على البنى التحتية للشبكات باهظة الثمن في القدرة على توفير قدرة متفاعلة متغيرة ومستمرة والتي تمكن من إدارة الجهد بشكل أكبر، كذلك الاستجابة السريعة للعاكس مقارنة بالمكثفات القابلة للتحويل (SC) [8].

أظهرت الدراسات السابقة فعالية استخدام العاكس في تحسين استقرار الجهد في منظومات القدرة الكهربائية وتحسين جودة القدرة، إذ قدم (Hua Li) وآخرون في عام 2017، استراتيجيات متكاملة للتحكم في القدرة المتفاعلة لعواكس الطاقة الكهروضوئية وفقاً لظروف الطقس والحمل، وتم التوصل الى انه يمكن إجراء تعويض القدرة المتفاعلة والقضاء على التوافقيات وضمان أمن واستقرار النظام الكهروضوئي المتصل بالشبكة حتى في ظروف الطقس المتغيرة وظروف التحميل المعقدة [9]. قدم الباحث (Saša Vlahinić) وآخرون في عام 2019، بدراسة تأثير توليد القدرة المتفاعلة بواسطة عواكس الطاقة الكهروضوئية على الخسائر الإجمالية لنظام توزيع ذو جهد متوسط، واستنتجوا بأن مستويات التحميل العالية وتوفر القدرة المتفاعلة من النظام الكهروضوئي ستقلل الخسائر الكلية في النظام، فضلاً عن تقليل الخسائر الإضافية في عواكس الطاقة الكهروضوئية عندما يكون عامل القدرة مرتفع [10]. قام الباحثان (Mohan Lal Kolhe, M.J.M.A. Rasul) في عام 2020، بتقديم بحث يشمل تنفيذاً شاملاً لنظام (Building Integrated Photovoltaic (BIPV) ذات نظام

في هذا البحث، تم التحكم في القدرة الفاعلة والقدرة المتفاعلة في نظام الطاقة الهجين المتضمن منظومة طاقة (PV-Battery) بقدرة مقدارها 500 KW مرتبط بنظام Modified IEEE 13-Bus Test System، والموضح في الشكل (3)، حيث يتم التحكم في الطاقة القصوى المتولدة من النظام الكهروضوئي باستخدام خوارزمية التحكم في نقطة الطاقة القصوى Maximum power point tracking (MPPT). إضافة إلى التحكم في حالة شحن وتفريغ البطارية المستخدمة كنظام طاقة بديل يستخدم عند انخفاض نسبة الإشعاع الضوئي.



الشكل (3) رسم تخطيطي لدائرة النظام الهجين

التكلفة الإضافية لتعويض القدرة المتفاعلة. تعتمد كمية القدرة المتفاعلة التي يمكن أن يولدها العاكس إلى الشبكة على مقدار القدرة الظاهرية للعاكس كما موضح في الشكل (2)، وحسب المعادلات (1)، (2) [9]:

$$|Q_{inv}| \leq \sqrt{S_{inv}^2 - P_{pv}^2} \quad (1)$$

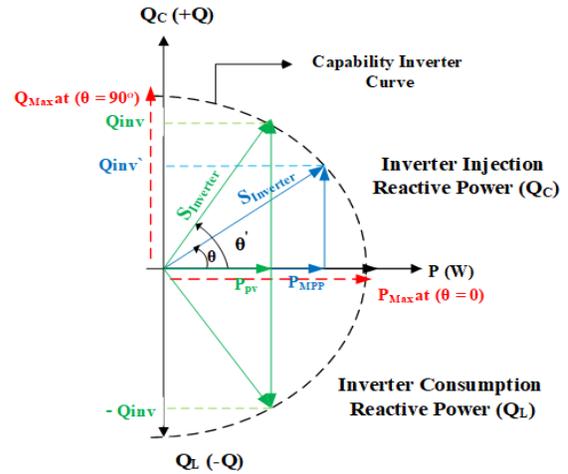
$S_{inv}$ : القدرة الظاهرية المقننة للعاكس،  $P_{pv}$ : القدرة الفاعلة اللحظية للمصفوفة الكهروضوئية،  $Q_{inv}$ : القدرة المتفاعلة اللحظية للعاكس.

$$Q_{Max} = \sqrt{S_{inv,Max}^2 - P_{Mpp}^2} \quad (2)$$

$S_{inv,Max}$ : أقصى قدرة ظاهرية للعاكس،  $P_{Mpp}$ : أقصى قدرة فاعلة للمصفوفة الكهروضوئية،  $Q_{Max}$ : أقصى قدرة متفاعلة للعاكس.

أقصى قدرة فاعلة يمكن أن يولدها العاكس تعتمد على قيمة القدرة الظاهرية المقننة للعاكس أيضاً ( $P_{Max} = S_{inv}$ )، تكون القدرة المتفاعلة ( $Q_{inv}$ ) صفراً عندما يكون معامل القدرة يساوي واحد ( $UPF$ ). خلال الليل ( $P_{pv} = 0$ )، يمكن للعاكس الكهروضوئي حقن/امتصاص قدرة متفاعلة مكافئة للقدرة الظاهرية المقننة للعاكس ( $Q_{inv} = S_{inv}$ ).

عند تحليل قابلية القدرة المتفاعلة للعاكس يتضح لنا أن العاكس قادراً على حقن القدرة المتفاعلة ( $Q+$ ) عندما كان هناك نقص في توليد القدرة المتفاعلة بواسطة الشبكة. كذلك العاكس قادراً على العمل على امتصاص القدرة المتفاعلة ( $Q-$ ) لتقليل جهد الشبكة [12].



الشكل (2) قابلية العاكس مع القدرة المتفاعلة

3. نمذجة نظام الطاقة الهجين



الجدول (1) مواصفات الوحدة الكهروضوئية (SUNPOWER)  
(SPR-305E-WHT-D)

Parameter	Value
Maximum Power ( $P_{MAX}$ )	305.226 W
Voltage at Maximum Power ( $V_{mp}$ )	54.7 V
Current at Maximum Power ( $I_{mp}$ )	5.58 A
Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )	64.2 V
Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )	5.96 A
Total No. of Cells in Series ( $N_s$ )	5
Total No. of Cells in Parallel ( $N_p$ )	66
Temperature Coefficient of $V_{oc}$ ( $K_v$ )	-272.7 mV/°C
Temperature Coefficient of $I_{sc}$ ( $K_i$ )	61.745 mA/°C
Diode Saturation Current ( $I_o$ )	$6.3076 \times 10^{-12}$ A
Parallel Resistance ( $R_p$ )	393.2054 $\Omega$
Series Resistance ( $R_s$ )	0.37428 $\Omega$
Maximum Power (kW) (PV Array)	100.725 KW

يتم توصيل مغير DC-DC المعزز بالشبكة من خلال عاكس / DC AC، الذي يتحكم في نقل الطاقة عبر التحكم في تيار الشبكة بناءً على متطلبات الشبكة إضافة إلى مزامنة الشبكة.

### 5. نمذجة مكونات منظومة (PV-Battery)

#### 1.5 نمذجة مصفوفة الألواح الكهروضوئية

يتألف نموذج النظام الكهروضوئي من خمس مصفوفات من الألواح الكهروضوئية المرتبطة مع بعضها على التوازي لتوليد قدرة فعالة مقدارها (500 kW)، مصفوفة الألواح الكهروضوئية من نوع (SPR-305E-WHT-D). حيث تولد كل مصفوفة كهروضوئية (100 kW)، وتم تعيين جميع المصفوفات الكهروضوئية للعمل في ظروف الاختبار القياسية (STC) ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) من الإشعاع الشمسي، عند درجة حرارة ( $25^\circ\text{C}$ ).

يوضح الشكل (5) خصائص ( $I-V$ ) وخصائص ( $P-V$ ) لنموذج المصفوفة الكهروضوئية المقترحة عند نسب إشعاع ضوئية مختلفة ودرجة حرارة  $25^\circ\text{C}$ ، تلعب نسبة الإشعاع ودرجة الحرارة دورًا مهمًا في التنبؤ بخاصية  $I-V$ ، ويجب مراعاة تأثيرات كلا العاملين أثناء تصميم النظام الكهروضوئي.

#### 1.1.5 خوارزمية الاضطراب والمراقبة Observe (P & O)

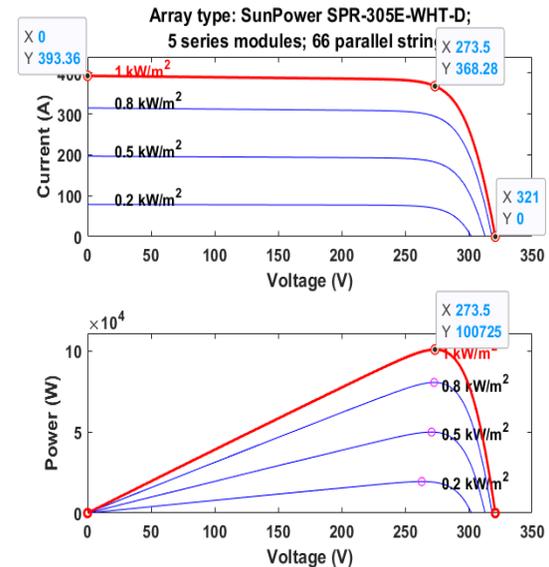
تعد تقنية تتبع نقطة الطاقة القصوى (MPPT)، نظامًا إلكترونيًا يقوم بتشغيل الوحدات الكهروضوئية (PV) بطريقة تسمح بتغيير نقطة التشغيل الكهربائية للوحدات النمطية بحيث تكون الوحدات الكهروضوئية قادرة على توفير أقصى طاقة يمكن إنتاجها [15].

تعد خوارزمية Perturb and Observe (P&O) وخوارزميات التوصيل المتزايد (IC) من أكثر الخوارزميات شيوعًا التي يتم تطبيقها لنمذجة MPPT بسبب هيكلها البسيط. بالرغم من تميز خوارزمية (IC) في قدرتها على تتبع الظروف المتغيرة بسرعة أكبر من خوارزمية P&O ولكنها تتطلب وحدة تحكم أكثر تعقيداً وأكثر تكلفة، وتولد طاقة خرج أقل استقرارًا مقارنةً بـ P&O MPPT حيث تنقلب طاقة الخرج حول MPP [16].

في هذا البحث لا يوجد تغييرات مفاجئة في الظروف المناخية لذلك، تم تقديم خوارزمية الاضطراب والمراقبة (P&O) الموضحة في الشكل (6) والتي تعتبر الخوارزمية الأكثر شيوعًا في التحكم في MPPT لمولد الطاقة الكهروضوئية. لأنها ذات هيكل بسيط، تكلفة منخفضة، سهل التنفيذ، عدد منخفض من المعلمات، إمكانية إدخال تحسينات وقد ينتج عنه كفاءة عالية المستوى [17].

تعتمد هذه الخوارزمية على التحقق من العلاقة بين طاقة اخراج الوحدة الكهروضوئية والجهد. تعمل هذه التقنية عن طريق الاضطراب الدوري لجهد التشغيل للوحدة الكهروضوئية ومقارنة طاقة الخرج الكهروضوئية مع دورة الاضطراب السابقة [18].

حيث أنه عندما يكون جهد التشغيل للوحدة الكهروضوئية مضطربًا بزيادة صغيرة، إذا كان التغيير الناتج في الطاقة P موجبًا، فإننا نسير في اتجاه MPP ونواصل الاضطراب في نفس الاتجاه. إذا كانت P سالبة، فإننا نبتعد عن اتجاه MPP ويجب تغيير علامة الاضطراب المقدمة [19].

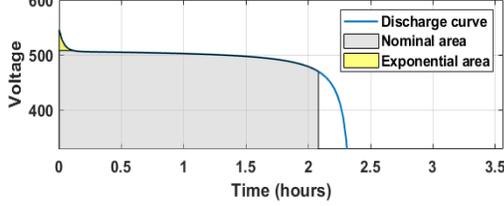


الشكل (5) منحنيات خصائص  $I-V$  و  $P-V$  لنموذج المصفوفة الكهروضوئية المقترحة

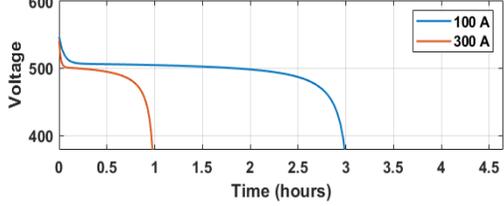
معاملات نموذج المصفوفة الكهروضوئية في ظروف الاختبار القياسية (STC) ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) من الإشعاع الشمسي، عند درجة حرارة ( $25^\circ\text{C}$ ). موضحة في الجدول رقم (1).

كمية الطاقة التي يمكن للبطارية توفيرها والتي تتوافق مع المنطقة الواقعة تحت منحنى التفريغ ارتباطاً وثيقاً بظروف التشغيل مثل C-Rate ودرجة حرارة التشغيل.

Nominal Current Discharge Characteristic at 0.43478C (130.4348A)



E0 = 509.6487, R = 0.015667, K = 0.011737, A = 39.4687, B = 0.20354

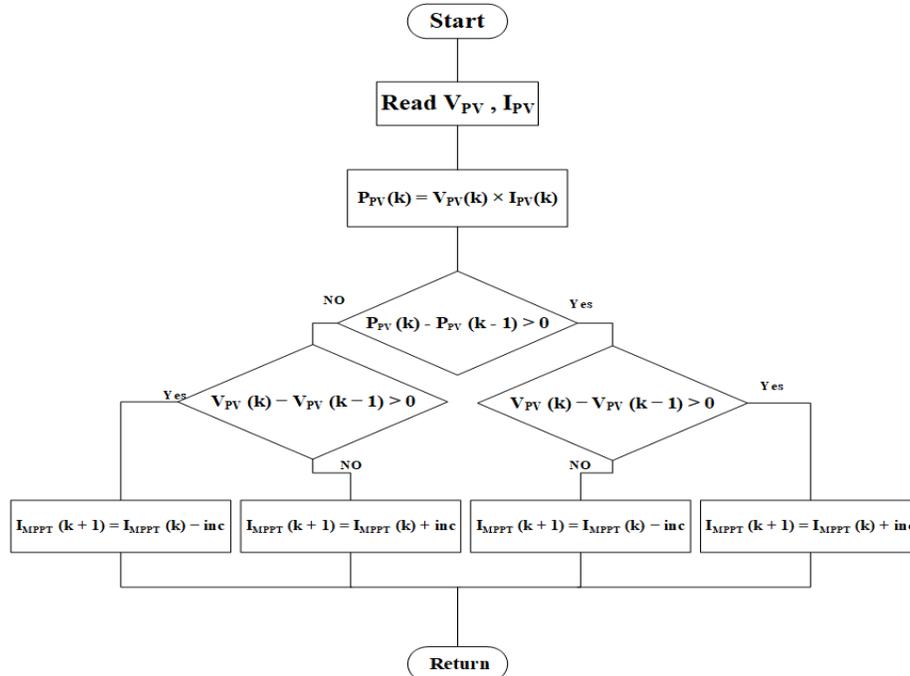


الشكل (7) خصائص تفريغ البطارية منظومة (PV- Battery) التحكم في شحن/تفريغ البطارية في منظومة (PV- Battery) 1.2.5

ومع ذلك، في هذه الخوارزمية، نستخدم مستشعراً واحداً فقط، وهو مستشعر الجهد، لاستشعار جهد المصفوفة الكهروضوئية وبالتالي تكون تكلفة التنفيذ أقل وبالتالي يسهل تنفيذها. التعقيد الزمني لهذه الخوارزمية أقل بكثير ولكن عند الوصول إلى مسافة قريبة جداً من MPP، فإنها لا تتوقف عند MPP وتستمر في التشويش في كلا الاتجاهين. عندما يحدث هذا، تكون الخوارزمية قريبة جداً من MPP ويمكننا تعيين حد خطأ مناسب أو استخدام وظيفة انتظار تؤدي إلى زيادة تعقيد الوقت للخوارزمية [20].

## 2.5 نموذج البطارية المقترح في منظومة (PV- Battery)

في هذا العمل، تم استخدام بطارية ليثيوم-أيون لتخزين الطاقة وتجهيزها إلى الشبكة. تم شحن البطارية بواسطة الطاقة المتولدة من المصفوفة الكهروضوئية، ويتم تفريغها لتزويد أو المساعدة في توفير القدرة اللازمة لتشغيل الحمل عندما تكون الطاقة الكهروضوئية غير كافية للقيام بذلك. تم تحديد حجم البطارية لتوفير أقصى طاقة احتياطية لتعويض توليد الطاقة الشمسية في حالة انخفاض مستوى الإشعاع أو انعدامه. في دراستنا هذه، كل مصفوفة كهروضوئية عند MPP قدرة مقدارها 100 kW عند STC. لذلك، يتم اختيار البطارية لتوفير هذا القدر من الطاقة لمدة أقصاها ساعة واحدة لتوفير الطاقة للأحمال في

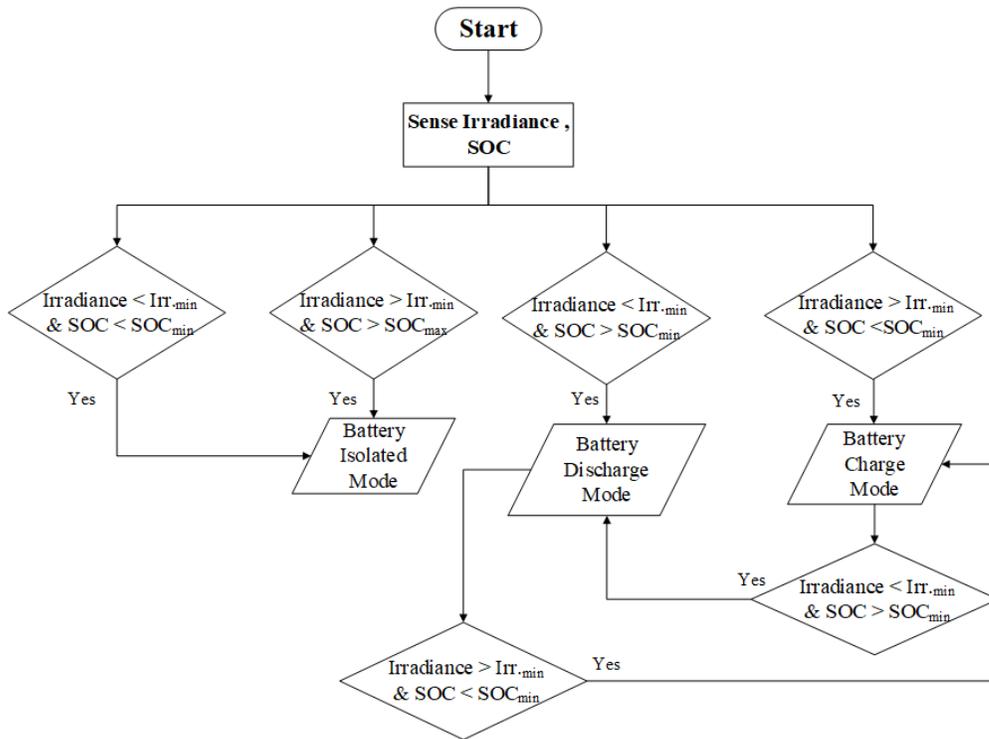


الشكل (6) المخطط الانسيابي لتقنية P&O MPPT

عند إدارة عملية شحن وتفريغ البطارية في المنظومة (الكهروضوئية - البطارية) والتي تعمل فيه البطارية كمصدر طاقة بديل للمنظومة الكهروضوئية عند انخفاض درجة الإشعاع، سيتم شحن البطارية بواسطة الطاقة المتولدة من المصفوفة الكهروضوئية، يتم

حالات الطوارئ مثل عدم وجود إشعاع.

يوضح الشكل (7) خصائص تفريغ البطارية، حيث تعتمد منحنيات تفريغ البطارية على استقطاب البطارية الذي يحدث أثناء التفريغ. ترتبط



الشكل (8) المخطط الانسيابي للتحكم في شحن وتفريغ البطارية في نظام (PV- Battery)

الاعتماد في تحديد أنماط تشغيل البطارية على مقدار الإشعاع في المنظومة الكهروضوئية ومقدار حالة الشحن للبطارية (SOC)، هناك حدود قصوى ودنيا لـ SOC، والتي تم تعيينها لتكون 80% و 20% على التوالي، للقضاء على تدهور حالة البطارية وإطالة دورة حياة البطارية [21] [22]. يوضح المخطط الانسيابي الموضح في الشكل (8)، أنماط شحن وتفريغ البطارية المتصلة بالمنظومة الكهروضوئية. تم التحكم في شحن وتفريغ البطارية المتصلة بالمنظومة الكهروضوئية عبر ثلاث أنماط:

**النمط الأول: عزل البطارية (Isolated Battery)**، يعمل هذا النمط عندما تكون نسبة الإشعاع الشمسي اعلى من الحد الأدنى للإشعاع المسموح به، وتكون البطارية في حالة شحن تام. كذلك، يتم عزل البطارية عند انخفاض نسبة الإشعاع الشمسي الى اقل من الحد الأدنى وكذلك تكون (SOC) اقل من الحد الأدنى لها (البطارية غير مشحونة).  
**النمط الثاني: شحن البطارية (Charge Battery)**، يعمل هذا النمط عندما تكون نسبة الإشعاع الشمسي عالية، والبطارية غير مشحونة، في هذه الحالة ستعمل المصفوفة الكهروضوئية على تزويد القدرة الفاعلة لشحن البطارية، ويتم تزويد القدرة الفائضة عن شحن البطارية الى الحمل.  
**النمط الثالث: تفريغ البطارية (Discharge Battery)**، يعمل هذا النمط عندما تكون نسبة الإشعاع الشمسي منخفضة (ليلاً) وتكون (SOC) مشحونة ضمن المدى المسموح به، اذ يتم تزويد القدرة الفاعلة المتولدة من البطارية للمساعدة في تشغيل الاحمال.

#### 6. المحاكاة والنتائج

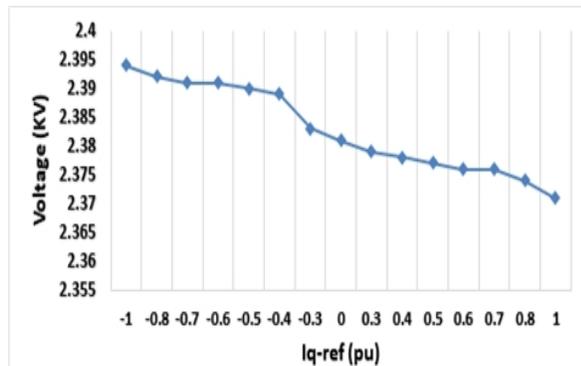
تم اجراء التمثيل الحاسوبي ببرنامج MATLAB/ SIMULINK من اجل بيان تأثير تعويض / امتصاص القدرة المتفاعلة على تقليل الحاجة الى القدرة الفاعلة المتولدة من المولد المركزي، رفع/خفض الفولتية، تحسين عامل القدرة، تقليل التشوه التوافقي لموجتي الفولتية والتيار، وبالتالي تحسين جودة القدرة، باستخدام المنظومة الهجينة الناتجة من ربط مصادر التوليد الموزع المتمثلة بالمنظومة الكهروضوئية ونظام تخزين البطارية بشبكة Modified IEEE 13-Bus Test System، تم مناقشة نتائج هذا التأثير على العمومي الذي ارتبط موقعياً بالمنظومة الهجينة في ظروف تشغيل مختلفة.

#### 1.6 تحليل سريان القدرة لمنظومة Modified IEEE 13-Bus Test System

ان اظهر تأثيرات القدرة المتفاعلة بشكل أفضل على الشبكة الكهربائية المقترحة (Modified IEEE 13-Bus Test System)، يتطلب بداية اجراء تحليل سريان القدرة من اجل تحديد حالة التشغيل المستقر للمنظومة الكهربائية المقترحة عن طريق تحديد

المضمنة ضمن المنظومة الكهروضوئية. تم تعويض القدرة المتفاعلة للشبكة الكهربائية عن طريق التحكم في القيمة المرجعية للتيار ( $I_{q,ref}$ ) ضمن المدى المسموح به، بقيم محصورة بين  $(-0.3, -0.6)$  pu، يلاحظ تأثير تعويض القدرة المتفاعلة عند نقطة الاقتران، حيث انه بزيادة قيمة القدرة المتفاعلة المحقونة انخفضت قيمة التشوه التوافقي، اذ انه عند تعويض قدرة متفاعلة مقدارها  $301.65$  kVAR انخفض التشوه في موجة الفولتية بنسبة  $34.6\%$  عن قيمتها بدون تعويض القدرة المتفاعلة، كذلك أدى ذلك الى انخفاض قيمة عامل القدرة عند نقطة الاقتران. ولوحظ كذلك، ان اقل نسبة للتشوه في توافقيات موجة التيار حدثت عند تعويض قدرة متفاعلة مقدارها  $251.58$  kVAR، والتي تعتبر القيمة المقاربة لكمية القدرة المتفاعلة التي يحتاجها الحمل عند هذا العمومي.

ان امتصاص القدرة المتفاعلة الناتجة من الشبكة يحدث عن طريق التحكم في القيمة المرجعية للتيار ( $I_{q,ref}$ ) بقيم موجبة محصورة بين  $(0.3, 0.6)$  pu، حيث تكون إشارة القدرة المتفاعلة في هذه الحالة سالبة والتي تعبر عن اتجاه القدرة المتفاعلة من الشبكة الى العاكس. يؤثر امتصاص القدرة المتفاعلة على التشوه التوافقي للفولتية والتيار، حيث لوحظ انخفاض تشوه توافقية موجة الفولتية بنسبة  $53.6\%$  عند امتصاص قدرة متفاعلة مقدارها  $300.22$  kVAR، وانخفاض تشوه موجة التيار بنسبة  $52.14\%$  عن حالة  $UPF$  في نقطة الاقتران. يوضح الشكل (9) تأثير تعويض /امتصاص القدرة المتفاعلة على الفولتية عند نقطة الاقتران.



الشكل (9) العلاقة بين القدرة المتفاعلة وفولتية نقطة الاقتران في نمط عزل البطارية في منظومة (PV-Battery (500 kW))

الحالة الثانية: شحن البطارية (Charging Battery)، يتم شحن البطارية عندما تعمل المصفوفات الكهروضوئية عند STC، وتكون حالة شحن البطارية اقل من الحد الأدنى لمستوى الشحن المسموح به، في هذه الحالة سيتم تجهيز القدرة اللازمة لشحن البطاريات من المصفوفات الكهروضوئية، ويمكن ان تندفق القدرة الفائضة عن حاجة شحن البطاريات الى الشبكة الكهربائية، يوضح الجدول (3)

مقدار فولتية والتيار شحن البطارية بقدرة مقدارها  $450.45$  kW عندما ( $SOC=10\%$ ).

قيمة الفولتية وزاوية الطور لكل عموميات الشبكة، وكذلك تحديد سريان القدرة الفاعلة والقدرة المتفاعلة عبر خطوط نقل المنظومة الكهربائية. تشير نتائج تحليل سريان القدرة للشبكة المقترحة غير المتوازنة الاحمال والمتعددة الاطوار، الى ان عمومي التوليد (العمومي 632) يولد قدرة فاعلة مقدارها  $3497.3$  kW، وقدرة متفاعلة مقدارها  $2214.3$  kVAR وان العمومي (671) هو العمومي الأكثر تحملاً، وبالتالي يتطلب قدرة عالية من المولد لتشغيل هذه الاحمال.

## 2.6 نتائج تأثير القدرة المتفاعلة عند نقطة الاقتران

تمت دراسة ثلاث حالات للعمل تحت تأثير توليد قدرة كهربائية بعامل قدرة مقدار واحد، وكذلك عند تعويض / امتصاص القدرة المتفاعلة الى الشبكة الكهربائية، كما مبين ادناه:

• الحالة الاولى: عزل البطارية (Isolated Battery)، تمثل هذه الحالة عزل البطارية عن الشحن والتفريغ عندما تعمل المصفوفات الكهروضوئية عند STC، وتكون البطارية في حالة شحن تام. في هذه الحالة ستعمل المنظومة الكهروضوئية على تزويد جميع القدرة المتولدة منها الى الشبكة الكهربائية. يوضح الجدول (2) تأثير القدرة المتفاعلة على نقطة اقتران العمومي 671 بمنظومة الطاقة المتجددة.

الجدول (2) تأثير القدرة المتفاعلة من منظومة (PV-Battery (500 kW)) على نقطة الاقتران بالشبكة الكهربائية عند نمط عزل البطارية

UPF						
P <sub>PV</sub> (KW)	Q <sub>Inv</sub> (KVAR)	V (KV)	THD-V (%)	THD-I (%)	PF.	
488.35	0.27	2.381	1.188	11.21	1	
Injunction Reactive Power						
I <sub>q-ref</sub> (pu)	P <sub>Inv</sub> (KW)	Q <sub>Inv</sub> (KVAR)	V (KV)	THD-V (%)	THD-I (%)	PF.
-0.3	487.43	150.43	2.383	1.254	12.41	0.955
-0.5	488.61	251.58	2.390	0.968	10.53	0.889
-0.6	487.85	301.65	2.391	0.7759	19.41	0.850
Absorption Reactive Power						
I <sub>q-ref</sub> (pu)	P <sub>Inv</sub> (KW)	Q <sub>Inv</sub> (KVAR)	V <sub>(pcc)</sub> (KV)	THD-V (%)	THD-I (%)	PF.
0.3	489.40	- 149.95	2.379	0.9099	8.368	0.956
0.5	489.49	- 250.01	2.377	0.6488	6.082	0.890
0.6	489.10	- 300.22	2.376	0.5511	5.364	0.9852

حيث يتبين من الجدول (2)، ان القدرة الفاعلة المتولدة من المنظومة الكهروضوئية عند  $UPF$  والمجهزة الى الشبكة بلغت  $488.35$  kW، وقد أدى تكامل المنظومة الكهروضوئية مع الشبكة الى حدوث تشوه توافقي في موجة الفولتية والتيار نتيجة أجهزة الكهروضوئية القدرة

- الحالة الثالثة: تفريغ البطارية (Discharging Battery)، تعمل هذه الحالة عند انخفاض نسبة الإشعاع الضوئي ( $Irradiance = 0\%$ )، وتكون حالة شحن البطارية ضمن المدى المسموح به. في هذه الحالة ستعمل البطارية على تفريغ كامل شحناتها لتزويد النظام الكهربائي بالقدرة الكهربائية اللازمة لتشغيل الاحمال المرتبطة به. حيث تعمل البطارية عند ( $SOC=70\%$ ) بتزويد الشبكة الكهربائية بقدرة مقدارها 222.8 kW، كما موضح في الجدول (5).

الجدول (5) فولتية والتيار تفريغ البطارية في منظومة (PV- Battery (500 kW))

V <sub>Battery</sub> (V)	I <sub>Battery</sub> (A)	P <sub>Battery</sub> (kW)
504	88.41*5	222.8

الجدول (6) تأثير القدرة المتفاعلة من منظومة (PV-Battery (500 kW)) على نقطة الاقتران بالشبكة الكهربائية عند نمط تفريغ البطارية

UPF						
P <sub>PV</sub> (kW)	Q <sub>Inv.</sub> (kVAR)	V (kV)	THD-V (%)	THD-I (%)	PF.	
219.25	0.29	2.386	0.3555	5.041	1	
Injunction Reactive Power						
I <sub>q-ref.</sub> (pu)	P <sub>Inv.</sub> (kW)	Q <sub>Inv.</sub> (kVAR)	V (kV)	THD-V (%)	THD-I (%)	PF.
- 0.3	217.44	150.87	2.392	0.3353	5.009	0.821
- 0.5	214.13	251.45	2.394	0.3373	5.557	0.648
- 0.6	211.30	301.86	2.395	0.3407	6.023	0.573
Absorption Reactive Power						
I <sub>q-ref.</sub> (pu)	P <sub>Inv.</sub> (kW)	Q <sub>Inv.</sub> (kVAR)	V (kV)	THD-V (%)	THD-I (%)	PF.
0.3	219.01	- 149.82	2.382	0.3534	4.93	0.825
0.5	218.05	- 249.71	2.380	0.3426	4.738	0.657
0.6	217.26	- 299.11	2.379	0.3464	4.707	0.587

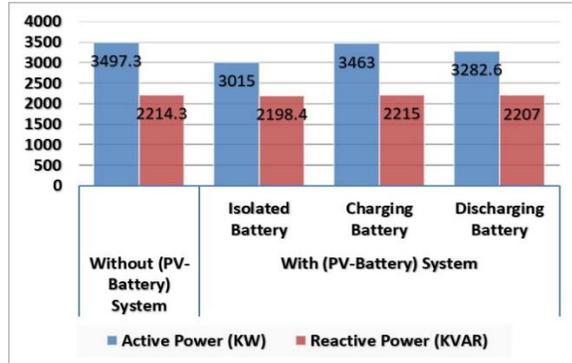
الجدول (3) فولتية والتيار شحن البطارية في منظومة (PV- Battery (500 kW))

V <sub>Battery</sub> (V)	I <sub>Battery</sub> (A)	P <sub>Battery</sub> (kW)
490.2	- 183.8 *5	-450.45

في هذه الحالة لن تتأثر القيمة الكلية للقدرة المتولدة من المصدر الرئيسي للشبكة كثيراً، بسبب انخفاض كمية القدرة الفاعلة المجهزة للشبكة من المنظومة الكهروضوئية. يوضح الجدول (4) تأثير القدرة المتفاعلة على نقطة اقتران العمومي 671 بمنظومة الطاقة المتجددة عند حالة شحن البطارية. عند UPF سيتم تجهيز قدرة فاعلة مقدارها 38.46 kW فقط الى الشبكة، بدون تجهيز للقدرة المتفاعلة، هذا يؤدي الى حدوث تشوه في موجتي الفولتية والتيار عند نقطة الاقتران. تم تعويض قيم مختلفة للقدرة المتفاعلة، مع الحفاظ على قيمة القدرة الفاعلة المجهزة. وقد لاحظنا انه بزيادة كمية القدرة المتفاعلة المعوضة عند نقطة الاقتران، حدث تغيير طفيف بقيمة التشوه لموجة الفولتية، بينما انخفض التشوه في التيار بنسبة 25.84% عند التعويض بقيمة 150.45 kVAR عن عدم وجود تعويض للقدرة المتفاعلة. اضافة، الى انخفاض عامل القدرة ان امتصاص القدرة المتفاعلة أثر بصورة ضئيلة في قيمة التشوه التوافقي للفولتية والتيار.

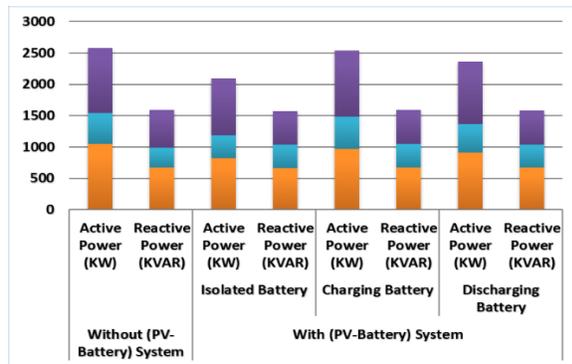
الجدول (4) تأثير القدرة المتفاعلة من منظومة (PV-Battery (500 kW)) على نقطة الاقتران بالشبكة الكهربائية عند حالة شحن البطارية.

UPF						
P <sub>PV</sub> (kW)	Q <sub>Inv.</sub> (kVAR)	V (kV)	THD-V (%)	THD-I (%)	PF.	
38.46	- 0.08	2.377	0.3532	8.325	1	
Injunction Reactive Power						
I <sub>q-ref.</sub> (pu)	P <sub>Inv.</sub> (kW)	Q <sub>Inv.</sub> (kVA)	V (kV)	THD-V (%)	THD-I (%)	PF.
- 0.3	37.79	150.45	2.380	0.326	6.173	0.243
- 0.5	36.81	250.91	2.383	0.3418	6.669	0.145
- 0.6	35.99	301.21	2.384	0.3566	7.455	0.118
Absorption Reactive Power						
I <sub>q-ref.</sub> (pu)	P <sub>Inv.</sub> (kW)	Q <sub>Inv.</sub> (kVAR)	V (kV)	THD-V (%)	THD-I (%)	PF.
0.3	37.91	- 149.9	2.373	0.3695	9.525	0.245
0.5	36.86	-249.71	2.371	0.3576	8.697	0.146
0.6	36.2	- 299.48	2.370	0.3415	7.939	0.12



الشكل (11) القدرة الفاعلة والمتفاعلة المتولدة في العمومي 632 بدون ومع ادخال منظومة (PV-Battery (500 kW)) في العمومي 671 عند UPF

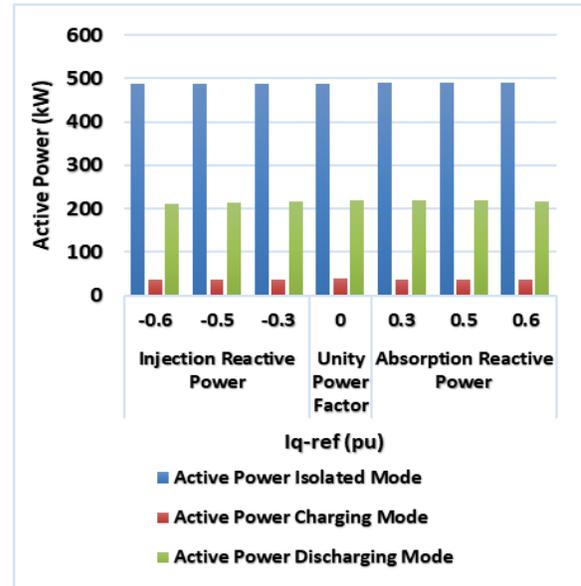
وبالتالي، فان القدرة الكهربائية المجهزة من العمومي 632 الى العمومي 671 انخفضت بنسبة 18.72% عند نمط عزل البطارية بعامل قدرة مقداره واحد، اما في حالة شحن البطارية ستخف القدرة الفاعلة الكلية المتولدة من العمومي 632 بنسبة 0.98% فقط، من قيمتها عند عدم وجود منظومة الطاقة المتجددة. كما مبين في الشكل (12).



الشكل (12) القدرة الفاعلة والمتفاعلة بدون ومع ادخال منظومة (PV-Battery (500 kW)) في العمومي 671 عند UPF

في الشكل (13)، يتبين تأثير القدرة المتفاعلة على فولتية العمومي 671، حيث ارتفعت الفولتية بنسبة 0.29% بزيادة تعويض القدرة المتفاعلة وانخفضت الفولتية بنسبة 0.3% بزيادة امتصاص القدرة المتفاعلة عما كانت عليه عند UPF.

تظهر النتائج الموضحة في الجدول (6) ان عند عدم وجود قدرة متفاعلة تم تزويد الشبكة الكهربائية بقدرة فعالة فقط، أدى الى حدوث تشوه في موجة الفولتية والتيار عند نقطة الاقتران. عند تعويض القدرة المتفاعلة لم يطرأ تغيير يذكر على تشوه موجة الفولتية، بينما ازداد تشوه التيار قليلاً عند زيادة كمية القدرة المتفاعلة المحقونة في نقطة الاقتران. عند امتصاص القدرة المتفاعلة، حدث انخفاض في قيمة التشوه للتيار بنسبة 6.62% عند امتصاص 217.26 kVAR.



الشكل (10) القدرة الفاعلة المجهزة من منظومة الطاقة المتجددة الى العمومي 671 في أنماط تشغيل مختلفة

يوضح الشكل (10)، ان حقن/ امتصاص القدرة المتفاعلة لم يؤثر على كمية القدرة الفاعلة المجهزة من العاكس الى منظومة القدرة الكهربائية في الأنماط الثلاثة.

3.6 تأثير القدرة المتفاعلة على العمومي 671 في الشبكة الكهربائية ان تأثير تكامل المنظومة (الكهروضوئية - البطارية) مع الشبكة الكهربائية المقترحة عند العمومي 671 يظهر جلياً على انخفاض مقدار القدرة الفاعلة الكلية المتولدة من المولد الرئيسي للشبكة الكهربائية. حيث يصل اقصى انخفاض في توليد القدرة من المولد الرئيسي في العمومي 632 للشبكة عند نمط عزل البطارية بعامل قدرة مقداره واحد بنسبة مقدارها 13.79% عن قيمتها عند عدم وجود المنظومة (الكهروضوئية - البطارية)، كما مبين في الشكل (11).

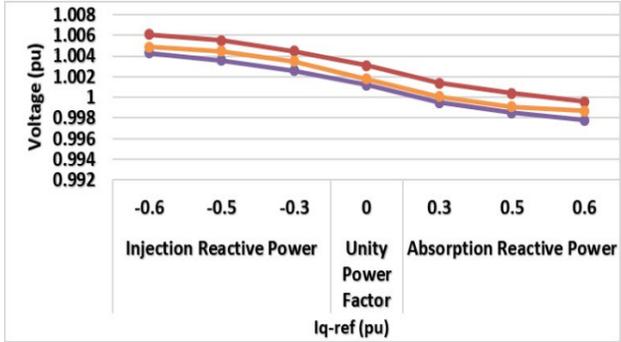
الكهروضوئي على تعويض / امتصاص القدرة المتفاعلة، وبيان الحاجة إلى حقن القدرة المتفاعلة بواسطة عاكس المنظومة الكهروضوئية لتحسين ملف الجهد وجودة القدرة لنظام التوزيع Modified IEEE 13-node عند حالات تشغيل مختلفة. ترتبط غالبية DERs بالشبكة الصغيرة أو شبكة التوزيع بمساعدة التداخل البيئي لدوائر الكهروضوئية القدرة، التي تولد كلاً من أنواع القدرة الفاعلة والقدرة المتفاعلة، عن طريق التحكم في العاكس. من خلال استخدام إمكانات القدرة المتفاعلة لعاكس المنظومة الكهروضوئية لوحظ ان حقن / امتصاص القدرة المتفاعلة لم يؤثر على كمية القدرة الفاعلة المجهزة من العاكس الى منظومة القدرة الكهربائية في الأنماط الثلاثة. انخفاض قيمة القدرة الكلية المتولدة من المولد الرئيسي لمنظومة القدرة الكهربائية بنسبة 11 % عند ادخال منظومة الطاقة المتجددة، تحسن في ملف الجهد في نقطة الاقتران وفي العمومي 671 عن حقن القدرة المتفاعلة، إذ ارتفعت الفولتية في العمومي 671 بنسبة (0.29%) بزيادة حقن القدرة المتفاعلة وانخفضت الفولتية بنسبة (0.3%) بزيادة امتصاص القدرة المتفاعلة عما كانت عليه عند  $UPF$ . وتم تحسين جودة القدرة عن طريق تقليل التشوه في الجهد ( $THD-I$ )، إذ ان حقن قدرة متفاعلة مقدارها ( $301.65 \text{ kVAR}$ ) أدى الى انخفاض التشوه في موجة الفولتية بنسبة (34.6%) عن قيمتها بدون حقن القدرة المتفاعلة. وانخفاضه بنسبة (53.6%) عند امتصاص قدرة متفاعلة مقدارها ( $300.22 \text{ kVAR}$ ) في نمط عزل البطارية الذي تكون قيمة التشوه التوافقي اعلى من الأنماط الأخرى نتيجة لارتفاع كمية القدرة الفاعلة المجهزة الى منظومة القدرة الكهربائية في هذا النمط مقارنة بالأنماط الأخرى. كذلك تم اثبات فعالية امتصاص القدرة المتفاعلة من منظومة القدرة عبر العاكس في تقليل التيار التفاعلي في نقطة الاقتران او في العموميات في تحسين جودة الطاقة، نظراً لتأثيرها في خفض قيمة التشوه التوافقي للتيار، ان أقل نسبة للتشوه في توافقيات التيار حدثت عند حقن قدرة متفاعلة مقدارها ( $251.58 \text{ kVAR}$ )، والتي تعد القيمة المقاربة لكمية القدرة المتفاعلة التي يحتاجها الحمل عند هذا العمومي. ساعد امتصاص القدرة المتفاعلة في انخفاض التشوه في التيار بنسبة (50.3%) في الطور A، (66.87%) في الطور B، (55.8%) في الطور C، عند امتصاص قدرة متفاعلة مقدارها ( $300.22 \text{ kVAR}$ ).

#### شكر وتقدير

يود المؤلفون أن يتقدموا بالشكر الى جامعة الموصل – كلية الهندسة – قسم الهندسة الكهربائية على الدعم المقدم خلال انجاز هذا العمل.

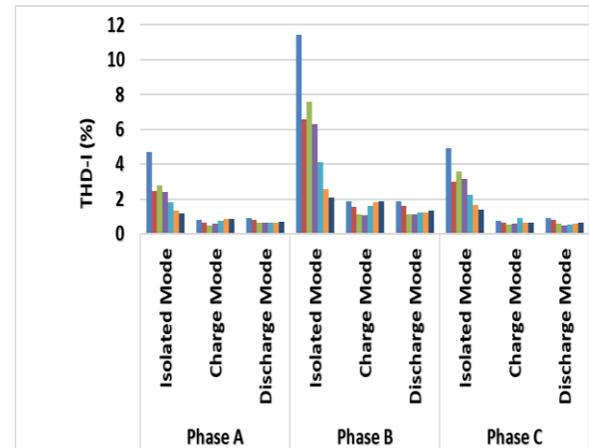
#### المصادر

- [1] R. H. A. Zubo, G. Mokryani, H. S. Rajamani, J. Aghaei, T. Niknam, and P. Pillai, "Operation and planning of distribution networks with integration of renewable distributed generators considering uncertainties: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 72, pp. 1177–1198, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.10.036.
- [2] J. P. Ram, H. Manghani, D. S. Pillai, T. S. Babu, M. Miyatake, and N. Rajasekar, "Analysis on solar PV emulators: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*,



الشكل (13) فولتية العمومي 671 في أنماط تشغيل مختلفة بوجود منظومة (PV-Battery (500 kW))

اما الشكل (14)، يوضح تأثير التشوه التوافقي للتيار والذي أيضا يظهر جليا في نمط عزل البطارية، لوحظ ازدياد التشوه التوافقي للتيار بزيادة تعويض القدرة المتفاعلة، حيث بلغت نسبة الزيادة 96.87% في الطور A، 81.76% في الطور B، 57% في الطور C عند تعويض القدرة المتفاعلة بقيمة  $301.65 \text{ kVAR}$ . كذلك لوحظ، انخفاض التشوه في موجة التيار عند امتصاص القدرة المتفاعلة حيث انخفض التشوه التوافقي للتيار بنسبة 50.3% في الطور A، 66.87% في الطور B، 55.8% في الطور C، عند امتصاص قدرة متفاعلة مقدارها  $300.22 \text{ kVAR}$ . كما يتبين لنا ان عند  $UPF$  كان التشوه اعلى من حالة الشحن وحالة التفريغ بسبب زيادة كمية القدرة الفاعلة المتولدة من المصفوفات الكهروضوئية باتجاه الشبكة عن حالة الشحن والتفريغ.



الشكل (14) التشوه التوافقي للتيار في العمومي 671

#### 7. الاستنتاج

في هذا البحث، سلط الضوء على دراسة قابلية العاكس

- [15] I. V. Banu, R. Beniuga, and M. Istrate, "Comparative analysis of the perturb-and-observe and incremental conductance MPPT methods," in *2013 8th International Symposium on advanced topics in electrical engineering (ATEE)*, 2013, pp. 1–4. , doi: 10.1109/ATEE.2013.6563483.
- [16] M. Hlaili and H. Mechergui, "Comparison of Different MPPT Algorithms with a Proposed One Using a Power Estimator for Grid Connected PV Systems," *Int. J. Photoenergy*, vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/1728398.
- [17] M. A. Elgendy, B. Zahawi, and D. J. Atkinson, "Evaluation of perturb and observe MPPT algorithm implementation techniques," in *6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012)*, 2012, pp. 1–6. doi: 10.1049/cp.2012.0156.
- [18] M. A. Sahnoun, H. M. R. Ugalde, J. C. Carmona, and J. Gomand, "Maximum power point tracking using P&O control optimized by a neural network approach: A good compromise between accuracy and complexity," *Energy Procedia*, vol. 42, pp. 650–659, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.11.067.
- [19] A. Saidi, "Comparison of IC and P & O algorithm ms in MPPT for grid connected PV module," in *8th Int. Conf. Model. Identif. Control*, pp. 213–218, 2016.
- [20] G. R. Patel, D. B. Patel, and K. M. Paghdal, "Analysis of P & O Mppt Algorithm for Pv System I . Introduction Ii . Basic Principle of Mppt Iii . System Configuration," *Int. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 6, pp. 1–10, 2016.
- [21] Z. Yi, W. Dong, and A. H. Etemadi, "A Centralized Power Control and Management Method for Grid-Connected Photovoltaic (PV)-Battery Systems," September, 2017, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1709.09219>.
- [22] E. D. Kostopoulos, G. C. Spyropoulos, and J. K. Kaldellis, "Real-world study for the optimal charging of electric vehicles," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 418–426, 2020, doi: 10.1016/j.egy.2019.12.008.
- vol. 81, pp. 149–160, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.07.039.
- [3] M. Amoozadeh and S. A. Gholamian, "Active and Reactive Power Control of Photovoltaic Systems Connected to the Network for Maximum Power Point Tracking," *Int. J. Mechatronics, Electr. Comput. Technol.*, vol. 4, no. 12, pp. 857–885, 2014.
- [4] International Renewable Energy Agency, "Renewable Capacity Highlights," 2021.
- [5] R. Tonkoski and L. A. C. Lopes, "Voltage regulation in radial distribution feeders with high penetration of photovoltaic," in *2008 IEEE Energy 2030 Conference*, 2008, pp. 1–7.
- [6] M. L. Kolhe and M. J. M. A. Rasul, "3-Phase grid-connected building integrated photovoltaic system with reactive power control capability," *Renew. Energy*, vol. 154, pp. 1065–1075, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.03.075.
- [7] P. Jahangiri and D. C. Aliprantis, "Distributed Volt/VAr control by PV inverters," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 3, pp. 3429–3439, 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2013.2256375.
- [8] R. Geetha and V. Jayachitra, "Simplified Reactive Power Control for grid-connected Photovoltaic inverters," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 8, no. 13, 2015, doi: 10.17485/ijst/2015/v8i13/57487.
- [9] H. Li, C. Wen, K. H. Chao, and L. L. Li, "Research on inverter integrated reactive power control strategy in the grid-connected PV systems," *Energies*, vol. 10, no. 7, 2017, doi: 10.3390/en10070912.
- [10] S. Vlahinić, D. Franković, V. Komen, and A. AntoniĆ, "Reactive power compensation with PV inverters for system loss reduction," *Energies*, vol. 12, no. 21, pp. 1–17, 2019, doi: 10.3390/en12214062.
- [11] M. Burlacu, V. Năvrăpescu, A. I. Chirilă, and I. D. Deaconu, "Optimal Reactive Power Management for Microgrids Based on Photovoltaic Inverters Using Sine-Cosine Algorithm," *Rev. Roum. des Sci. Tech. Ser. Electrotech. Energ.*, vol. 67, no. 2, pp. 117–122, 2022.
- [12] V. Kumar and M. Singh, "Reactive power compensation using derated power generation mode of modified P&O algorithm in grid-interfaced PV system," *Renew. Energy*, vol. 178, pp. 108–117, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.06.035.
- [13] W. H. Kerting, "Radial distribution test feeders IEEE distribution planning working group report," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 6, no. 3, pp. 975–985, 1991, doi: 10.1109/59.119237.
- [14] S. A. Mohamed and M. Abd El Sattar, "A comparative study of P&O and INC maximum power point tracking techniques for grid-connected PV systems," *SN Applied Sciences*, vol. 1, no. 2. 2019, doi: 10.1007/s42452-018-0134-4.

# The Effect of Reactive Power Capability of the Inverter on a Hybrid Power System

**Raghad Adeeb Othman**

[raghadeeb@uomosul.edu.iq](mailto:raghadeeb@uomosul.edu.iq)

**Omar Sh. Alyozbak**

[o.yehya@uomosul.edu.iq](mailto:o.yehya@uomosul.edu.iq)

Electrical Engineering Department, Collage of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq

Received: 9-10-2022

Received in revised form: 3-11-2022

Accepted: 20-11-2022

## **ABSTRACT**

*Rising electricity consumption, rapid depletion of fossil fuels, and the global shift to the use of renewable energy resources have increased the need to integrate renewable and distributed energy resources (DERs), such as solar photovoltaic (PV) to power distribution networks. In this paper, the effect of photovoltaic system inverter scalability on reactive power compensation/absorption in a modified IEEE 13-node distribution network is studied. Power flow analyzes were conducted in MATLAB / SIMULINK software for different operating conditions to show the effect of reactive power on network voltage regulation, total harmonic distortion (THD) reduction, and power factor conservation in order to improve the system's power handling capacity. The result shows that the use of the PV system (500 kW) in Bus (671) led to a decrease in the generated power of the generator by 13.79%, the use of reactive power injection from the inverter of the photovoltaic system on site improved the voltage profile significantly. Also, the voltage distortion (THD-V) was reduced by 34% when injected with reactive power, and the current distortion (THD-I) was reduced by 57.65% when the reactive power was absorbed, and the power factor was improved on site.*

**Key words:** Reactive Power Capability, Hybrid Systems, Power Quality, photovoltaic system, voltage Support.

ملحق A

## جدول الرموز والمصطلحات

الرمز	المصطلح باللغة الإنكليزية	المصطلح باللغة العربية
DER	Distributed Energy Resources	مصادر الطاقة الموزعة
PV	Photovoltaic	الطاقة الكهروضوئية
THD	Total Harmonic Distortion	التشوه التوافقي الكلي
THD-V	Total Harmonic Distortion for Voltage	التشوه التوافقي الكلي للفرق الجهدية
THD-I	Total Harmonic Distortion for Current	التشوه التوافقي الكلي للتيار
ESS	Energy Storage System	أنظمة تخزين الطاقة
IRENA	International Renewable Energy Agency	الوكالة الدولية للطاقة المتجددة
HRES	Hybrid Renewable Energy Systems	أنظمة الطاقة المتجددة الهجينة
	Power Converters	مغيرات القدرة
	Inverter	عاكس
MPPT	Maximum Power Point Tracking	تتبع نقطة الطاقة القصوى
P&O	Perturb and Observe	الاضطراب والمراقبة
IC	Incremental Conductance	التوصيل المتزايد
STC	Standard Test Conditions	ظروف الاختبار القياسية
SOC	State of Charge	حالة الشحن