

دراسة تأثير تركيب محطة طاقة شمسية في الشبكة الكهربائية السورية

د. فيصل شعبان*

د. طارق خيريك**

حسام اسبر***

(تاريخ الإيداع 23 / 6 / 2020. قَبْلُ للنشر في 9 / 9 / 2020)

□ ملخص □

الطاقة الكهربائية مهمة جداً لاستدامة الحياة الجيدة على سطح الكوكب، بالأخص كون التطور الحضاري أصبح مقرون بهذا النوع من الطاقة. الطاقة الشمسية (PV) Solar photovoltaic واحدة من أكثر التطبيقات الملائمة لتحويل أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية. الاستخدام المناسب للطاقة الشمسية موضوع مهم لخفض الاعتماد على مصادر الطاقة الأحفورية التي تستخدم لتوليد الكهرباء، وبالتالي خفض إشعاع الغازات المسببة للاحتباس الحراري على سطح الكوكب.

عالمياً، نتيجة الظروف البيئية، يجري البحث عن طرق أخرى لتوليد الطاقة تكون أقل ضرر من الطرق التقليدية، والتي تعتمد بنسبة كبيرة منها على محطات توليد تعمل على الوقود الأحفوري. يناقش هذا البحث توليد الطاقة الكهربائية باستخدام خلايا طاقة شمسية وتأثير هذه الخلايا على الشبكة الكهربائية السورية، بحيث دراسة مشروع مزرعة طاقة شمسية يوفر البيانات المطلوبة عند العمل على تنفيذ هكذا مشروع وهذه البيانات هي التحكم بالجهد، سريان الحمولة، مستويات معامل التشوه التوافقي الكلي. ولكي نقوم بتنفيذ هكذا مشروع لابد من تصميم النموذج واختارنا لذلك برنامج ETAP.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، الخلايا الكهروضوئية (PV)، برنامج ETAP، برنامج MATLAB.

* استاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** استاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم هندسة نظم القدرة الكهربائية - كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Study Effect of Installing a Solar Power Station on Syrian Electrical Network

Dr .Faisal Shabaan *
Dr. Tarek kerbek**
Hussam Asper***

(Received 23 / 6 / 2020. Accepted 9 / 9 / 2020)

□ ABSTRACT □

Electric energy is very important for sustaining the good life on the planet's surface, especially since civilization has become associated with this type of energy. Solar photovoltaic (PV) is one of the most suitable applications for converting sunlight into electrical energy. The appropriate use of solar energy is an important topic for reducing dependence on fossil energy sources that are used to generate electricity, and thus reducing the emissions of greenhouse gases on the planet's surface.

Globally, because of environmental conditions, other methods of generating energy being searched for that are less harmful than traditional methods, which rely on a large percentage of them on generating stations that run on fossil fuels. This research discusses electrical power generation using solar energy cells and the effect of these cells on the Syrian electrical grid so that a study of a solar energy farm project provides the data required when working on implementing such a project, and these data are voltage control, load flow, total harmonic distortion coefficient levels. To implement such a project, the model must be designed and we chose the ETAP program for that.

Keywords: Solar energy, photovoltaic (PV) cells, ETAP program, MATLAB program.

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

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

***Postgraduate (PhD), Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

مقدمة:

الطاقة الكهربائية واحدة من أكثر احتياجات البشرية، والحياة من دون كهرباء غير ممكنة. حالياً سوريا مثل أي بلد آخر في الشرق الأوسط، تستخدم النفط والغاز لتأمين احتياجاتها من الطاقة الكهربائية. لكن بعد التطور العالمي في صناعة الأنواع المختلفة من الطاقات المتجددة، أصبح من المهم إيجاد منابع طاقة متجددة يمكن استخدامها بفعالية وضمن شروط معينة بحيث نحصل على كفاءة عالية مثل الطاقة الريحية، طاقة أمواج البحر، والطاقة الشمسية. النوع الأكثر كفاءة بالنسبة للجغرافيا السورية يبقى الطاقة الشمسية [1-3].

أنظمة الطاقة الكهربائية التقليدية تلبى زيادة الأحمال المستمرة عن طريق إضافة محطات توليد، خطوط نقل، محولات، وشبكات توزيع، عن طريق ما يدعى بالتوليد المركزي وبهذه الحالة تكون شبكات النقل والتوزيع تمتد لمسافات كبيرة، بحيث محطات التوليد تولد الكهرباء عند مستويات جهد منخفضة $[kV] 11$ ، بعدها يتم زيادة الجهد إلى مستويات عالية $[kV] 230, 400$ لتخفيض الضياعات الكهربائية، ثم نقوم بتخفيض الجهد بحسب متطلبات الأحمال، في سوريا يخفض إلى الجهد $[kV] 66$ ثم إلى $[kV] 20$ و $[kV] 0.4$.

إذا قمنا بالمقارنة من حيث تكاليف البنية التحتية المطلوبة يعتبر التوليد من خلال الخلايا الشمسية توليد ذو تكلفة منخفضة بالمقارنة مع محطات توليد الطاقة الكهربائية العاملة على الغاز أو الفول أو غيرها، بالإضافة إلى ذلك منابع الطاقة الشمسية لوقت قريب لم تكن جزء من محطات التوليد المركزية بحيث كانت تجرى الدراسات لتركيب محطات الطاقة الشمسية بالقرب من الأحمال، أما الآن ومع تطور صناعة الألواح الشمسية أصبح بالإمكان إنشاء محطات توليد مركزية باستطاعات كبيرة [4].

تستخدم تطبيقات مختلفة لأنظمة الطاقة الشمسية، من الوحدات الصغيرة الموجودة على الآلة الحاسبة التي تستهلك كمية صغيرة من الطاقة، إلى المحطات الكبيرة التي تنتج الطاقة الكهربائية إلى عدة $[MW]$. على الرغم من وجود تشكيلة واسعة من تطبيقات الطاقة الشمسية، التطبيقات الرئيسية هي التي تستخدم في توليد الطاقة الكهربائية وهي الأكثر إنتاجاً بالوقت الحالي، في آخر عشر سنوات التوجه الرئيسي كان استخدام مولدات الطاقة الشمسية الموصولة مع الشبكة. وفي الفترة الأخيرة التطور التكنولوجي شجع المستهلكين نحو تركيب منظومات توليد الطاقة لتلبية احتياجاتهم الذاتية. الأسعار والتكاليف الانشائية الأولية انخفضت بشكل كبير في آخر عشر سنوات وبالأخص عند عدم تركيب بطاريات [5]. الطاقة الشمسية واحدة من منابع الطاقة النظيفة والمتجددة. المراقبات الأخيرة لتغيرات المناخ شجع التوجه نحو استكشاف منابع طاقة متجددة مثل الطاقة الشمسية. بالرغم من أن هذه التقنية مكلفة جداً في البداية، إلا أنها انتشرت وأصبحت تستخدم بكثرة بالأخص بعد التسهيلات المتبعة لتشجيع الناس لاستخدام هذه التقنية [6-7]. استخدام منابع الطاقة الشمسية يساعد في عدة ميزات منها:

- تحسين شكل موجة الجهد.
- تحسين استقرار الجهد لكامل نظام الطاقة.
- خفض ضياعات الطاقة.
- خفض التلوث.
- خفض تكاليف الصيانة عند الاستثمار، والتي تعتبر من أكبر المشاكل في محطات التوليد التقليدية.
- استخدام أنظمة الطاقة الشمسية له العديد من السلبيات بالنسبة للشبكة الكهربائية منها [8]:
- حقن توافقيات بسبب استخدام قالبات الطاقة.

- عدم عمل المنظومة أثناء الليل.
- تغير الحماية بسبب تغير سريان الحمولة.
- زيادة الجهد في نظام الطاقة.

مع زيادة الاهتمام العالمي بهذا النوع من الطاقات أدى إلى تطور صناعة الخلايا الشمسية والقالبات الالكترونية بحيث يجري العمل على تقليل السليبات المتعلقة بجودة الطاقة الكهربائية وزيادة الإيجابيات عن طريق زيادة كفاءة الألواح، ضمن هذا البحث استخدمنا الأنواع الحديثة من هذه التجهيزات.

يناقش هذا البحث استخدام محطة طاقة شمسية مع استطاعة أعظمية مولدة مقدارها [MW] 20 وتأثير ذلك على الشبكة الكهربائية، وتتضمن الدراسة سريان الحمولة.

الجدول التالي يبين التوصيف التقني لنموذج الخلايا المستخدمة في هذه الدراسة.

الجدول رقم (1) نموذج خلية Crystalline PV

نموذج الخلية	وحدة الخلية كهروضوئية الكرسالية
الاستطاعة	230 – 245 Wp : مجال تغير الاستطاعة
عدد الوحدات	~ 57,140 – 60,870
كفاءة الوحدة	14.1 – 15.1 %
الحد الأعظمي للتيار المسحوب	15 A
سماحية الاستطاعة	+ / - 3 %
الجهد الأعظمي	29.4 – 30.7 V
معامل حمولة المحطة	18.87 %

أهمية البحث وأهدافه:

الهدف من الدراسة:

مع انتشار تركيب محطات الطاقة الشمسية في سوريا، من المهم أن نأخذ بعين الاعتبار تأثير توصيل هذه المحطات إلى الشبكة الكهربائية العامة.

الشبكة الكهربائية السورية بحاجة إلى دعم في التوليد، وإضافة محطات توليد تعتمد على الطاقات المتجددة موضوع مهم يجب التركيز على تداعياته إن كان عن طريق استقرار الجهد أو ضياعات الطاقة، لذلك من المهم القيام بدراسة توضح تأثير توصيل هكذا نوع من المحطات مع الشبكة العامة.

تناقش هذه الدراسة وصل محطة [MW] 20 إلى الشبكة العامة وتأثير ذلك على شكل موجة الجهد وتدفق الاستطاعة الردية وقيمة معامل التشوه التوافقي عند العمل المشترك لهذه المحطة مع الشبكة العامة.

منهجية البحث:

يناقش هذا البحث دراسة اضافة محطة طاقة شمسية باستطاعة [MW] 20. تحتوي الدراسة العدد الكلي للخلايا، والقالبات الالكترونية، والكابلات، والقواطع. الاستطاعة المولدة في نظام المحطة عند جهد [kV] 0.4 ثم يتم رفع الجهد

إلى [kV] 20 عن طرق 10 محولات باستطاعة [MVA] 3. والاستطاعة المولدة يتم مزامنتها مع الشبكة العامة عن طرق محولة [MVA] 50.

سنقوم بنمذجة الخلية الشمسية عن طريق برنامج Matlab/Simulink، وتحليل الشبكة الكهربائية باستخدام برنامج ETAP. مراحل البحث يمكن توصيفها وفق المخطط التالي:

- جمع البيانات.
- تصميم النماذج والحسابات الكهربائية.
- النمذجة باستخدام برنامج MATLAB.
- دراسة النظام الكهربائي باستخدام برنامج ETAP.
- استخلاص النتائج.
- تحليل النتائج.

تصميم ونمذجة المحطة

تقدم هذه الفقرة تصميم المحطة قبل إدخالها بالشبكة العامة. القيمة التصميمية للاستطاعة المولدة من هذه المحطة هي [MW] 20. الجهد عند التوليد [kV] 0.4 تم يرفع الى [kV] 20 ومن ثم يرفع إلى جهد [kV] 400 ويحقن بالشبكة العامة عن طريق محولة [kV] 20/400. نموذج ألواح PV يجب أن يختار بالاعتماد على عدة ميزات لها علاقة بالكفاءة، السعر، عمر اللوح، الشروط الجوية، بحيث نضمن أفضل أداء ممكن، وأعلى مردود، وأعلى موثوقية ممكنة. لاختيار نوع الألواح نأخذ بعين الاعتبار الكفاءة كمياري أولي بحيث لدينا سعر خلية mono-crystalline أعلى من خلية poly crystalline، لكن من حيث الكفاءة خلية mono-crystalline أفضل من خلية poly crystalline. كون هذه الدراسة اعتمدت الكفاءة للوح كدرجة أولى، بحيث نحصل على أفضل مردود ممكن، أختارنا أن يعتمد المشروع على استخدام خلايا mono-crystalline نموذج Suniva ART245-60 (240 Wp) كونها من الأنواع المعروفة عالمياً والتي صنعت لتستخدم في محطات الطاقة الشمسية. هذا النوع من الخلايا مختبر عند ظروف جوية وفق شروط الاختبار القياسية "Standard Test Conditions" STC. عند اشعاع شمسي 1000W/m^2 ، ودرجة حرارة 25°C ، وكتلة هواء طيف شمسي 1.5. المميزات الأساسية موضحة في الجدول رقم (2).

الجدول رقم (2) الجدول الاختباري لخلية Suniva ART245-60 (240 Wp)

الاستطاعة الأعظمية	240 W
الجهد عند نقطة الاستطاعة الأعظمية	30.9 V
التيار عند نقطة الاستطاعة الأعظمية	7.95
جهد الدارة المفتوحة	37.4
تيار دارة القصر	8.44
عدد الخلايا لكل نموذج	60
β (Voc % / °C)	-0.332
α (Isc % / °C)	0.035
γ (Pmax % / °C)	-0.465

اختيار القالبية:

القالبية هي جهاز يعتمد على الكترولنيات القدرة، وتستخدم لتحويل الطاقة الكهربائية من التيار المستمر إلى المتناوب. الطرف المستمر من القالبية يغذى عن طريق بطارية أو مجموعة بطاريات. بينما يوصل الطرف المتناوب إلى الحمل بشكل مباشر أو يتم مزامنته مع الشبكة العامة عن طريق محولة للوصول إلى مستوى الجهد المطلوب. والقالبية تستخدم في تطبيقات عديدة مثل أجهزة UPS، المرشحات، المعوضات الساكنة، أجهزة FACTS. تركيب قالبات لحقن الاستطاعة المولدة من مشاريع الطاقة الشمسية يخفف كثير من التكلفة، بحيث لا نحتاج إلى بطاريات لتخزين الاستطاعة المولدة.

يوجد نوعين من القالبات، النوع الأول القالبات المركزية والنوع الثاني القالبات المتعددة، سوف نستخدم في هذا البحث القالبات المركزية. التصميم يجب أن يأخذ بعين الاعتبار حسابات استطاعة عند جميع الظروف والمشاكل التي يمكن أن تحدث في النظام المدروس، النظام المدروس يجب أن يأخذ بعين الاعتبار أعظم جهد دخل للقالبية لنحدد العدد الاعظمي للخلايا الموصولة بشكل تسلسلي. كذلك، التيار الاعظمي للقالبية لتحديد مقطع النواقل وعدد الخلايا الموصولة على التوازي. اخترنا قالبات باستطاعة [MW] 1 من انتاج شركة ABB، مجموع 20 قالبية نحتاجها لوصول المحطة مع الشبكة العامة. نموذج القالبية هو PVS800-57-1000 kW-C بحيث خصائص هذه القالبية مبينة في الجدول التالي، الاستطاعة الكلية قسمة إلى عشر حقول. كل حقل يولد [MW] 2 التصميم أخذ بعين الاعتبار الحسابات لحقل واحد ثم حساب الاستطاعة الناتجة عن جميع الحقول، بما أن الاستطاعة الناتجة عن كل لوح هي 240 Wp بالتالي العدد الكلي للألواح المطلوبة في الحقل الواحد هي:

$$\text{لوح } 8333 \text{ PV} = \frac{2000 \text{ KW}}{240 \text{ W}} = \text{عدد الألواح المطلوبة لكل حقل}$$

الجدول رقم (3) مواصفات القالبية PVS800-57-1000 kW-C

النموذج	PVS800-57-1000kW-C
الاستطاعة الاسمية	1000 kW
الاستطاعة الأعظمية	1200 kW
مجال الجهد المستمر (MPPT)	600-850 V
الجهد المستمر الأعظمي	1100 V
التيار المستمر الأعظمي	1710 A
مداخل التيار المستمر	8-20
أقل جهد متناوب (ثلاثي الطور)	400 V
أقل تيار متناوب	1445 A

العدد الكلي للألواح = 8333 × 10 = 83330 لوح

من المهم التنويه بأن الاستطاعة الناتجة من اللوح والمأخوذة من مواصفات الشركة المصنعة هي أقل من القيمة الحقيقية التي يعطيها اللوح على أرض الواقع بسبب انخفاض شدة الاشعاع الشمسي وبسبب زيادة درجات الحرارة، لذلك

بما أن جهد الدارة المفتوحة المذكور في الجدول هو عند درجة حرارة 25 درجة وبما أن درجة الحرارة من الممكن أن تنخفض دون الدرجة 0 وتزيد عن 60 على سطح الخلية. لهذا السبب، يجب أن نقوم بحساب جهد الدارة المفتوحة عند أعلى وأخفض قيمة لدرجة الحرارة والتي هي عند درجات حرارة -40 و 90. والعلاقة التي نستخدمها هي التالية:

$$V(T) = V_{25^{\circ}\text{C}} \times (1 + \beta \times \Delta T). \quad (1)$$

حيث β عامل تقدير درجة الحرارة.

أعظم جهد وأصغر جهد يمكن الحصول عليه من اللوح هو على الشكل التالي:

$$V_{-40^{\circ}\text{C}} = 37.4 \times (1 + (-0.332) \times (-40 - 25)/100) = 45.6 [V]. \quad (2)$$

$$V_{90^{\circ}\text{C}} = 37.4 \times (1 + (-0.332) \times (90 - 25)/100) = 29.32 [V]. \quad (3)$$

$$V_{MPP-40^{\circ}\text{C}} = 30.9 \times (1 + (-0.332) \times (-40 - 25)/100) = 37.5 [V]. \quad (4)$$

$$V_{MPP+90^{\circ}\text{C}} = 30.9 \times (1 + (-0.332) \times (90 - 25)/100) = 29.32V = 24.32 [V]. \quad (5)$$

من الجدول يتضح أن أعظم جهد دخل مستمر مسموح هو 1100 [V] وعند أعظم نقطة استطاعة يتراوح الجهد بين 600-850 V. من المهم ملاحظة أن جهد الدارة المفتوحة وجهد نقطة الاستطاعة الأعظمية أكبر عند درجة الحرارة الصغرى -40°C وأصغر عند 90°C. هذه القيم مهمة لإيجاد عدد الصفوف التسلسلية التي نريد وصلها إلى القالبية.

$$\text{عدد الصفوف} = \frac{V_{MPPINVERTER}}{V_{MPP-40^{\circ}\text{C}}} = \frac{850}{37.5} = 22.6. \quad (7)$$

ويمكن أن نحسب العدد الأعظمي للصفوف التسلسلية على الشكل التالي:

$$\text{عدد الصفوف الأعظمي} = \frac{V_{MPPINVERTER}}{V_{MPP-40^{\circ}\text{C}}} = \frac{1100}{37.5} = 29.4. \quad (8)$$

هذا يعني بأن العدد المطلوب للصفوف التسلسلية يجب أن يكون بين 22.6 و 29.4 ونحن أختارنا العدد المطلوب يساوي 26 صف تسلسلي.

عدد الاعظمي للصفوف التفرعية يمكن أن نحسبه مع الاخذ بعين الاعتبار تيار دائرة القصر وتيار نقطة الاستطاعة الاعظمية:

$$\text{العدد الاعظمي للصفوف التفرعية} = \frac{I_{maxINVERTER}}{I_{SCmodule}} = \frac{1710}{8.49} = 201.4. \quad (9)$$

هذا يعني أن عدد الاعظمي للصفوف 201 والتي يمكن وصلها على التوازي لدخل القالبية. لكل قالبية، نأخذ بالاعتبار عدد الالواح الكلي لكل حقل والذي وجدنا أنه يساوي 8333 والذي سوف نوزعه على قالبيتين أي كل مجموعة سوف تقسم إلى فرعين. هذا يعني كل قالبية سوف توصل إلى فرع يضم 4167 لوح. بالتالي كل فرع سوف يتألف من صف يضم 26 لوح موصول بشكل تسلسلي لضمان أفضل أداء وعدد الصفوف الموصولة على التوازي هو:

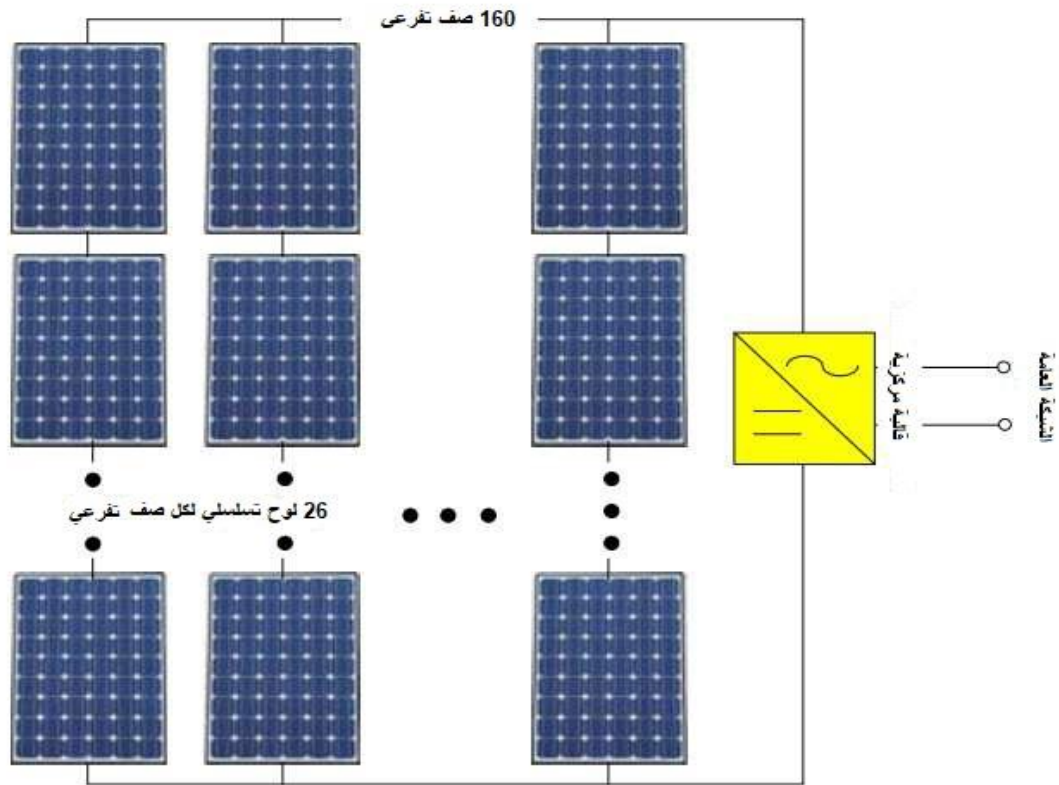
$$\text{String} = \frac{I_{maxINVERTER}}{I_{SCmodule}} = \frac{4167}{26} = 160 < 201. \quad (10)$$

وبالتالي يتضح لدينا من التصميم بأنه يجب أن توصل القالبية إلى 160 صف تفرعي (Strings) ولكل صف 26 لوح تسلسلي (Modules per String) كما هو موضح في الشكل (1)

تصميم وصل محطة الواح PV مع الشبكة العامة:

بما أن المشروع يحتوي 10 محولات باستطاعة [MVA] 3 لكل محولة، المجموعة مقسمة إلى 20 مصفوفة. كل مصفوفتان موصولتان إلى محولة واحدة عبر قالبيتين مركزييتين. الملف الاولي للمحولات موصول إلى قضيب تجميع بجهد [kV] 20.

مخطط التوصيل يوضح أن القابلات موصولة إلى الطرف الثانوي من المحولة والذي هو بجهد [kV] 0.4 هنا يجب التوضيح بأن الوصل يتم عن طريق اختيار قواطع مناسبة للحماية لضمان حماية كاملة لعناصر المشروع بالإضافة إلى القواطع كذلك اخترنا مقاطع الكوابل المناسبة لوصل التجهيزات مع بعضها البعض.



الشكل (1) نموذج مصفوفة الخلايا الشمسية موصولة مع قالبية مركزية.

حجم الكابلات:

الاختيار المناسب للكابلات هو العنصر الأهم في العمل الكهربائي وفي العزل. موضوع مهم أن تكون التوصيلات آمنة عند مختلف الشروط الجوية، النواقل يجب أن تضمن أداء فعال في التصميم كي نتجنب زيادة الضياعات عندما يكون اختيار النواقل بشكل خاطئ. الكابلات يجب اختيار مقطعها وفق التيار الذي سوف يمر عبرها مع مراعات تيار دائرة القصر وتغير درجات الحرارة والرطوبة والعزل الجيد وفق مستوى الجهد المطلوب وكذلك بالنسبة لهبوط الجهد المسموح. هبوط الجهد بالنواقل يعطى بالعلاقة:

$$V_d = \frac{\rho \times l}{A} \times 2 \times I. \quad (11)$$

حيث:

ρ : المقاومة النوعية، وهي للنحاس [0.0183 $\Omega mm^2/m$].

l : طول الناقل [m].

A : مقطع الناقل [mm^2].

I : التيار المار بالناقل ويقاس بالأمبير [A]، $\times 2$: كون كل كبل يحتوي ناقلين.

وبالتالي نستطيع تحديد مساحة مقطع الناقل من خلال العلاقة التالية:

$$A = \frac{2 \times \rho \times l \times I}{V_d} . \quad (12)$$

اعتبرنا أن هبوط الجهد المسموح في هذه الدراسة هو 5 % وذلك وفق المعايير العالمية.

حساب مقطع الكابلات الممدودة بين الخلايا الشمسية:

اعتبرنا أن طول الكبل بين كل خلية وأخرى هو 1.5 m وبالتالي يكون أكبر تيار سوف يمر عبر الكابل هو:

$$I_{max} = 1.25 \times I_{SC \text{ module}} = 1.25 \times 8.44 = 10.55 [A] . \quad (13)$$

حيث قيمة 1.25 هي عبارة عن عامل تصحيح قيمة التيار.

وبالتالي يكون هبوط الجهد الاعظمي هو:

$$V_{MPP \text{ module}} \times 5\% = 30.4 \times 5\% = 1.52 [V] . \quad (14)$$

وبالتالي يكون مساحة مقطع الكابل الذي يجب استخدامه هو:

$$A = \frac{2 \times \rho \times l \times I}{V_{d \text{ max}}} = \frac{2 \times 0.0183 \times 1.5 \times 10.55}{1.52} = 0.38 [mm^2] . \quad (15)$$

هذا يعني بأننا نستطيع استخدام كابل بمقطع أكبر من $0.38 [mm^2]$ لتجنب هبوط الجهد ولكن هذا المقطع غير

كافي لتميرير التيار الأعظمي المطلوب لذلك وفق NEC نجد بأن الناقل ذو مساحة المقطع $1.5 [mm^2]$ يستطيع

تمرير تيار قدره 9 [A]، والناقل ذو مقطع $2.5 [mm^2]$ يستطيع تمرير تيار قدره 16 [A]. وبما أن التيار الاعظمي

لدينا في هذه الدراسة هو $10.55 [A]$ لذلك نختار مساحة مقطع الكابل المطلوب $2.5 [mm^2]$. ونختار نوعية العازل

للنواقل من نوع PVC الذي يتحمل الأشعة فوق البنفسجية بحيث يمكن تركيبه بدون أغطية خاصة.

حساب مقطع الكابلات من المصفوفة الشمسية إلى القالبية:

طول الكابل [m] 20، والتيار الاعظمي المار عبر مصفوفة الخلايا هو $8.44 \times 160 \times 1.25 = 1688 [A]$

وبالتالي يكون هبوط الجهد الاعظمي هو:

$$V_d = V_{DC \text{ min}} \times 5\% = 600 \times 5\% = 30 [V] . \quad (16)$$

وبالتالي مقطع الناقل الأصغر المطلوب هو:

$$A = \frac{2 \times \rho \times l \times I}{V_d} = \frac{2 \times 0.0183 \times 20 \times 1688}{30} = 41.2 [mm^2] . \quad (17)$$

نلاحظ بأنه اصغر مقطع ناقل نستطيع استخدامه لتجنب هبوط الجهد هو $41.2 [mm^2]$ ، وكوننا بحاجة ناقل يمرر

تيار قدره $1688 [A]$ ومن الجداول نلاحظ بأن اكبر مقطع كابل هو $240 [mm^2]$ والذي يستطيع تمرير $400 [A]$ ،

بالتالي يكون الخيار استخدام 6 نواقل بمقطع $150 [mm^2]$ والتي تستطيع تمرير تيار قدره $1722 [A]$.

حساب مقطع الكابلات من القالبية إلى لوحة التغذية الرئيسية:

الطول الاعظمي هو [m] 30 وبالتالي نقوم بحساب التيار الاعظمي لكل طور، والذي تقدمه القالبية عند الحمل الكامل

من خلال العلاقة التالية:

$$I_{\text{phase}} = \frac{S_{\text{inverter max}}}{V_{LL} \times \sqrt{3}} = \frac{1200}{400 \times \sqrt{3}} = 1.73 [kA] . \quad (18)$$

وبالتالي هبوط الجهد الاعظمي المسموح يكون:

$$V_{d \text{ max}} = 5\% \times \frac{400}{\sqrt{3}} = 11.5 [V] . \quad (19)$$

وبالتالي أصغر مقطع ناقل مطلوب وفق هبوط الجهد هو:

$$A = \frac{2 \times \rho \times l \times I}{V_{d \max}} = \frac{2 \times 0.0183 \times 30 \times 1730}{11.5} = 165.2 [mm^2]. \quad (20)$$

نختار 6 كابلات بمقطع $185 [mm^2]$ والتي يجب أن توصل ما بين القالبية واللوح الرئيسية.

حساب عيار قواطع الحماية لمصفوفة الألواح والقالبية:

في هذه الدراسة اخترنا كل صف تفرعي مكون من مجموعة من الألواح التسلسلية موصول مع قاطع حماية، ويكون التيار الأعظمي هو:

$$10.55 [A] = 1.25 \times 8.44 = 1.25 \times \text{تيار القصر للخلية}$$

وبالتالي النسبة الصغرى لقاطع الحماية الذي يعمل بالتيار المستمر هو: $13.18 [A] = \frac{125}{100} \times 10.55$ لكل صف تفرعي.

حساب عيار قاطع حماية خرج القالبية لكل طور:

وجدنا بأن قيمة التيار لكل طور هي $1730 [A]$ ، وحددنا حاجتنا 6 نواقل بمقطع $185 [mm^2]$ والقاطع المناسب لهذا الكابل هو $300 [A]$. وبالتالي نحن بحاجة الى 6 قواطع عيار $300 [A]$.

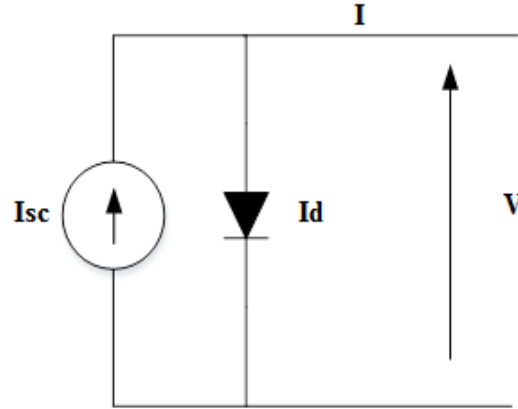
نمذجة الخلية الشمسية باستخدام برنامج **MATLAB**:

تحاكي الخلية الشمسية، الشكل (2). عن طريق ديود موصول مع منبع تيار (ISC) ومعادلة تيار الخرج تعطى بالعلاقة التالية [9-10]:

$$I = I_{SC} - I_D. \quad (21)$$

وتيار الديود يعطى بالعلاقة التالية:

$$I_D = I_0 \left[e^{\frac{qv}{k_a T}} - 1 \right] - I_D. \quad (22)$$



الشكل (2) نموذج الخلية الشمسية باستخدام ديود مفرد

الضوء يولد التيار الكهربائي بالاعتماد على حرارة الخلية والاشعاع. عند قياسها بالمخبر نتج العلاقة التالية:

$$I_{SC} = I_{SC \text{ ref}} + K_i (T_k - T_{ref}) \times \sigma / 1000. \quad (23)$$

حيث أن:

I_{SC} : التيار المولد من الضوء عند $[25^{\circ}C, 1000w/m^2]$.

K_i : معامل درجة الحرارة، تيار دائرة القصر عند I_{SCref} $[0.0017 A/K]$.

T_{ref}, T_k : درجة الحرارة الحقيقية والمرجعية.

σ : الاشعاع على سطح الجهاز.

النموذج السابق لا يصف الجوانب الكلية للخلية. حيث يوجد ضياعات ضمن الخلية يعبر عنها من خلال مقاومة تسلسلية R_S ومقاومة تفرعية R_p وبالتالي تصبح العلاقات على الشكل التالي:

$$I = I_{SC} - I_D - \frac{V_D}{R_p} . \quad (24)$$

وتيار الاشعاع العكسي I_{rs} يعطى بالعلاقة التالية:

$$I_{rs} = I_{SCref} \left[\exp\left(\frac{q V_{oc}}{N_s K A T}\right) - 1 \right]. \quad (25)$$

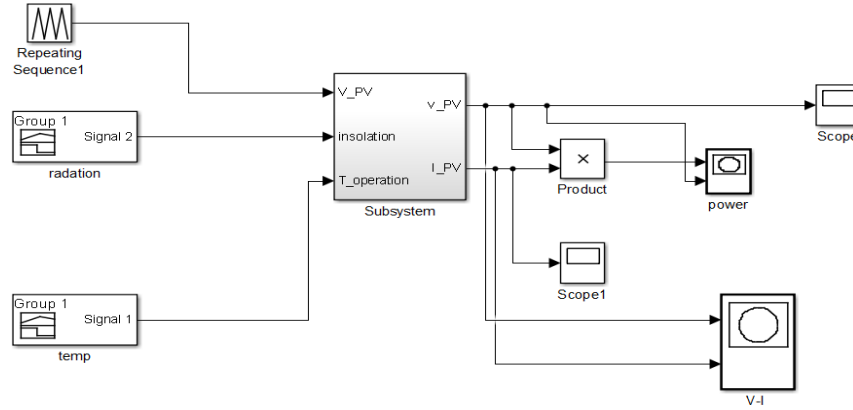
تيار الاشعاع للديود I_Q يتغير مع تغير درجات الحرارة ويعطى بالعلاقة التالية:

$$I_Q = I_{rs} \left[\left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 \exp\left(\frac{q C g}{K A}\right) \times \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right) \right]. \quad (26)$$

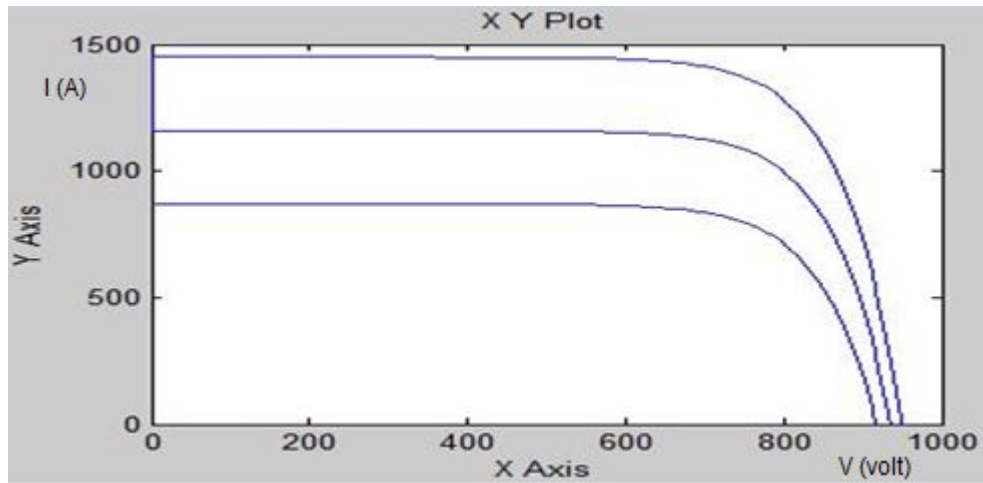
بالتالي تيار خرج الخلية يصبح على الشكل التالي:

$$I_{pv} = N_p I_{sc} - N_s I_o \left\{ \exp\left(\frac{q(V_{pv} + I_{pv} R_S)}{N_s K A T}\right) - 1 \right\} - V_{pv} + \left(\frac{I_{pv} R_S}{R_p}\right). \quad (27)$$

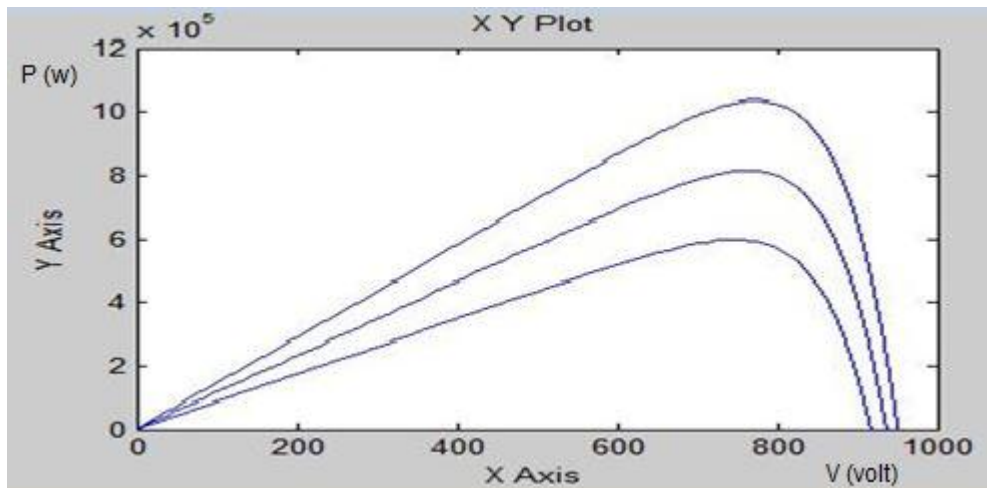
قمنا من خلال برنامج MATLAB بنمذجة المحطة الشمسية وفق المعادلات الرياضية السابقة، يوضح الشكل (3) نموذج المحطة الشمسية لمجموعة الواح واحدة مكونة من 160 صف تفرعي، ويوضح الشكل (4,5) منحنى $I-V$ ، ومنحنى $P-V$ عند تغير الاشعاع الشمسي وفق القيم (1- 0.8- 0.6) وعند درجة حرارة ثابتة ($25^{\circ}C$).



الشكل (3) نظام الطاقة الشمسية باستخدام برنامج MATLAB



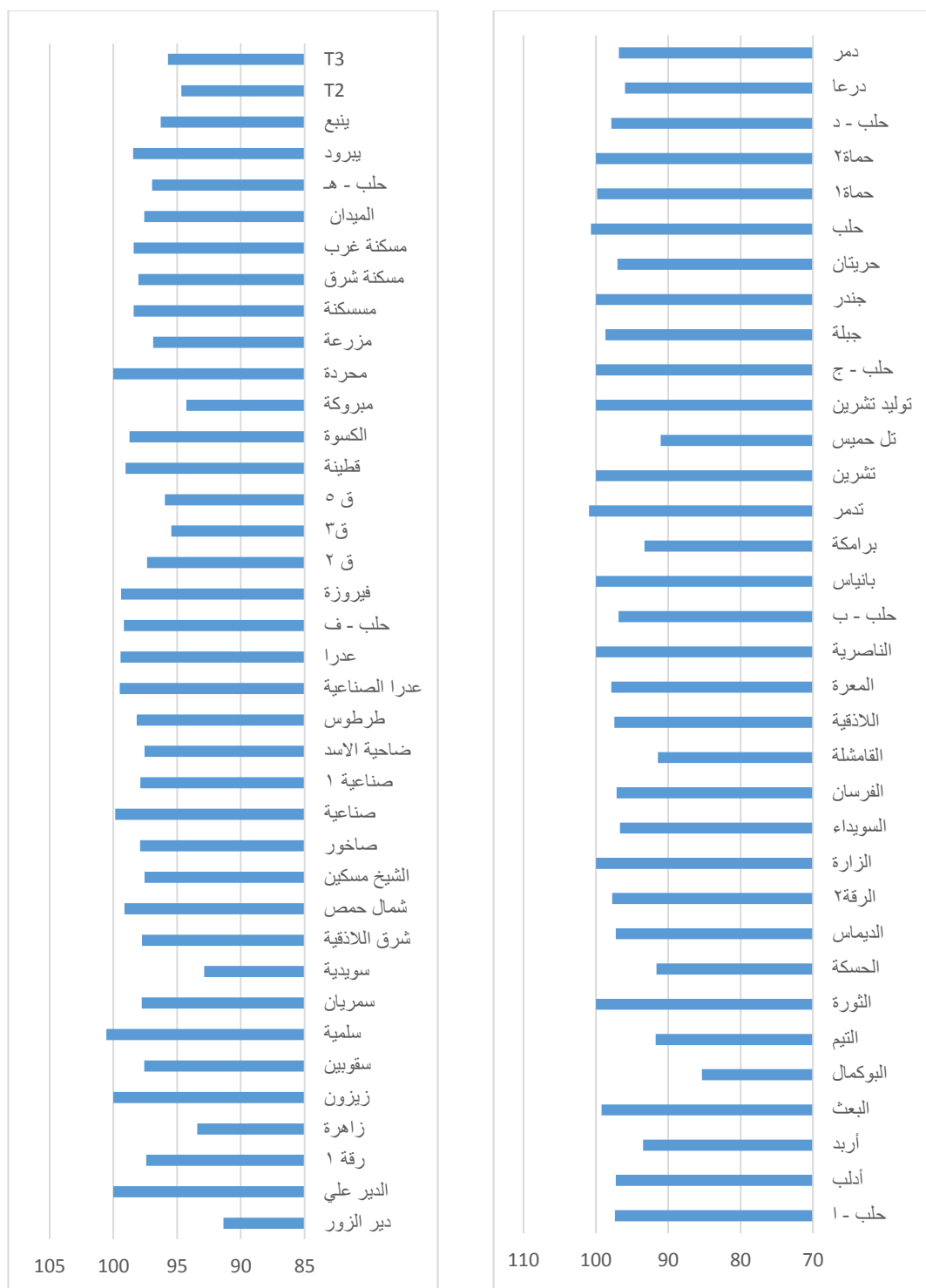
الشكل (4) منحنى خصائص I-V لنموذج محاكاة نصف حقل شمسي (فرع) مكون من 160 صف تفرعي.



الشكل (5) منحنى خصائص P-V لنموذج محاكاة نصف حقل شمسي (فرع) مكون من 160 صف تفرعي.

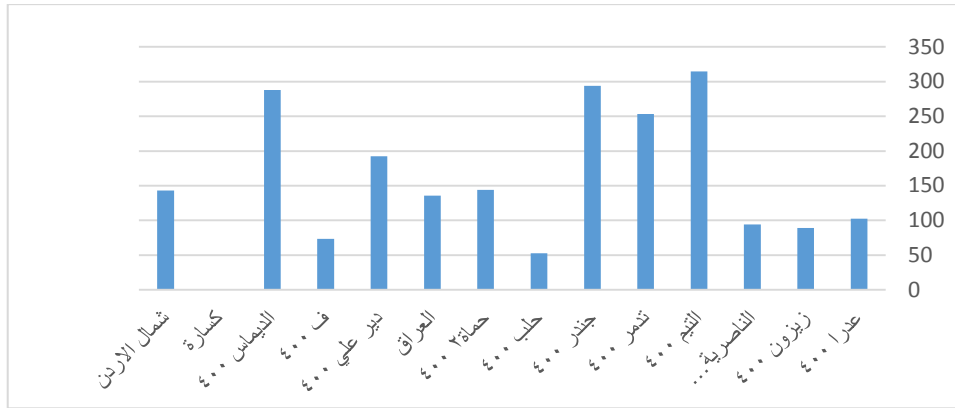
الشبكة الكهربائية السورية:

قمنا بمحاكاة الشبكة الكهربائية السورية، ودراسة سريان الحمولة فيها [11] وفق قيم أحمال الذروة العائدة لعام 2011. يتضح لدينا من نتائج سريان الاستطاعة انخفاض الجهود في المناطق التي تغذى عن طريق خطوط نقل تمتد لمسافات كبيرة، حيث يلاحظ أن محطات النقل الموجودة في المنطقة الشرقية تعاني من مشكلة انخفاض الجهود وأكبر قيمة لهبوط الجهد كما هو واضح في الشكل (6,7) تعود لمحطة البوكمال.

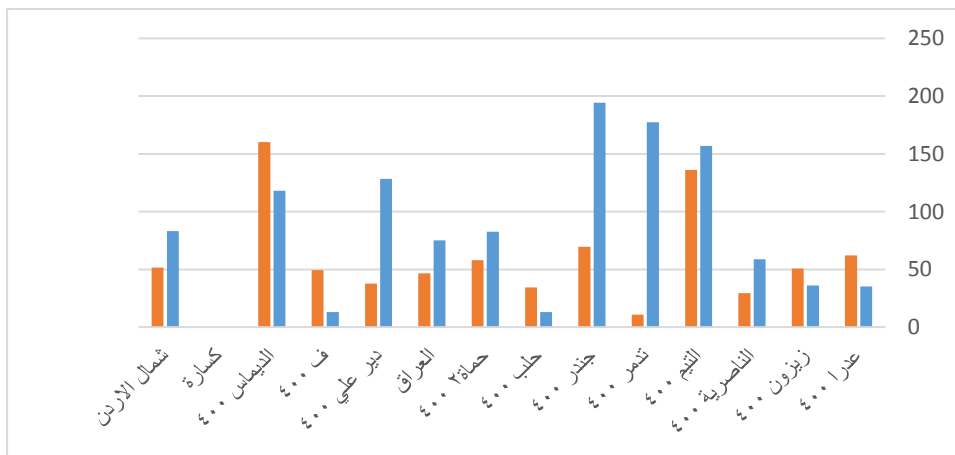


الشكل (6) هبوط الجهد في محطات الشكل (7) هبوط الجهد في محطات 230 KV

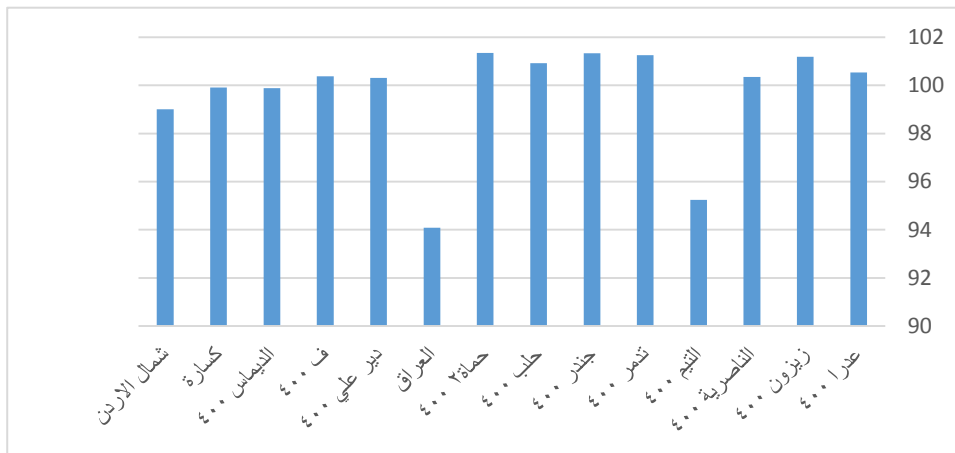
- خلال العقود السابقة ونظراً لتطور الحمل، جرى إضافة خطوط نقل تعمل بتوتر [kV] 400 لزيادة الموثوقية بالإضافة إلى زيادة مرونة التحكم بنقل وسريان الاستطاعة عبر الشبكة السورية، الأشكال (8,9,10) تظهر نتائج سريان الاستطاعات الفعلية والردية في محطات [kV] 400/230 من طرف [kV] 400، بالإضافة الى هبوط الجهد في هذه المحطات.



الشكل (8) يوضح التيارات في محطات 400 kV



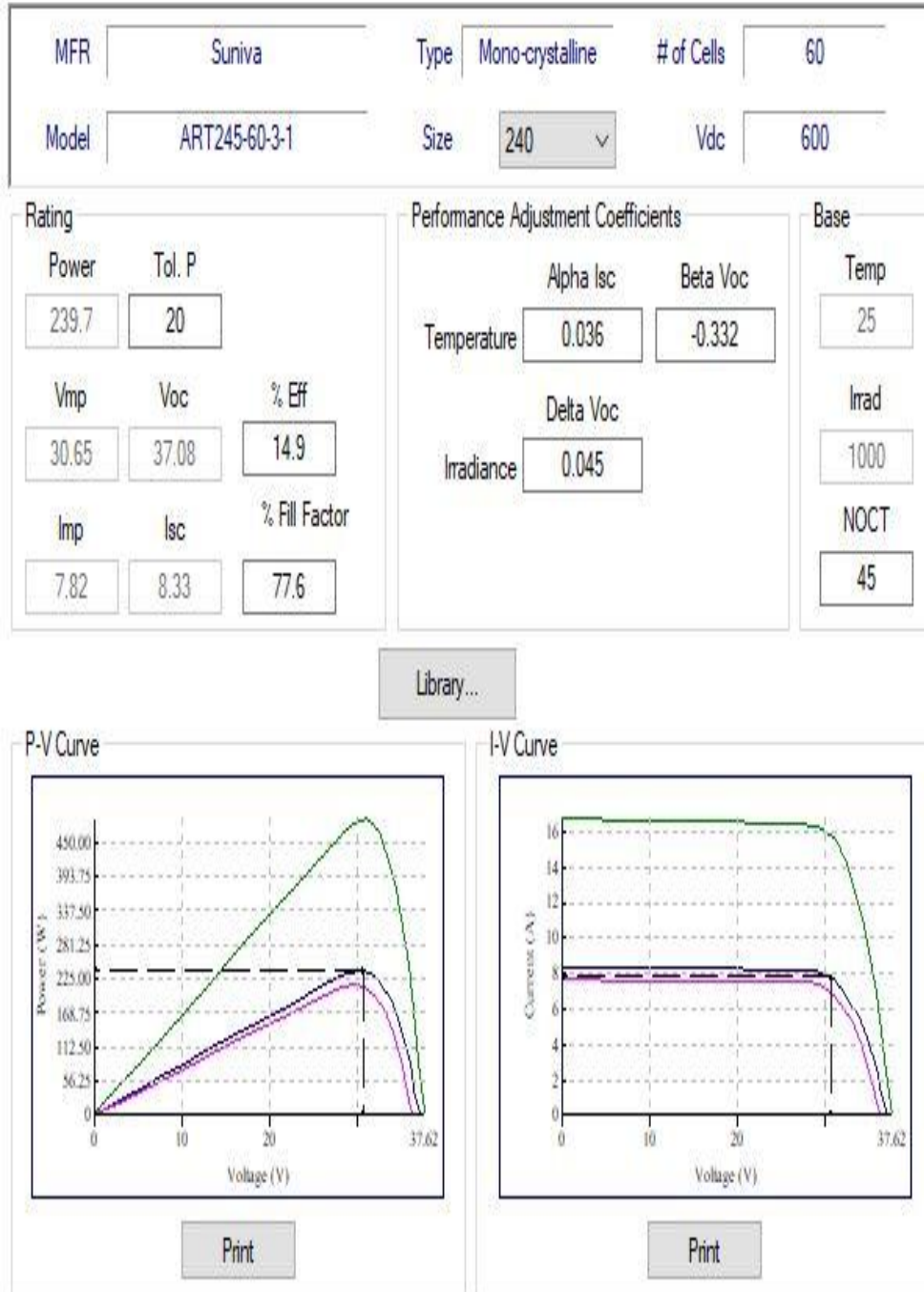
الشكل (9) الاستطاعات الفعلية والردية في محطات 400 kV



الشكل (10) الجهود في محطات 400 kV

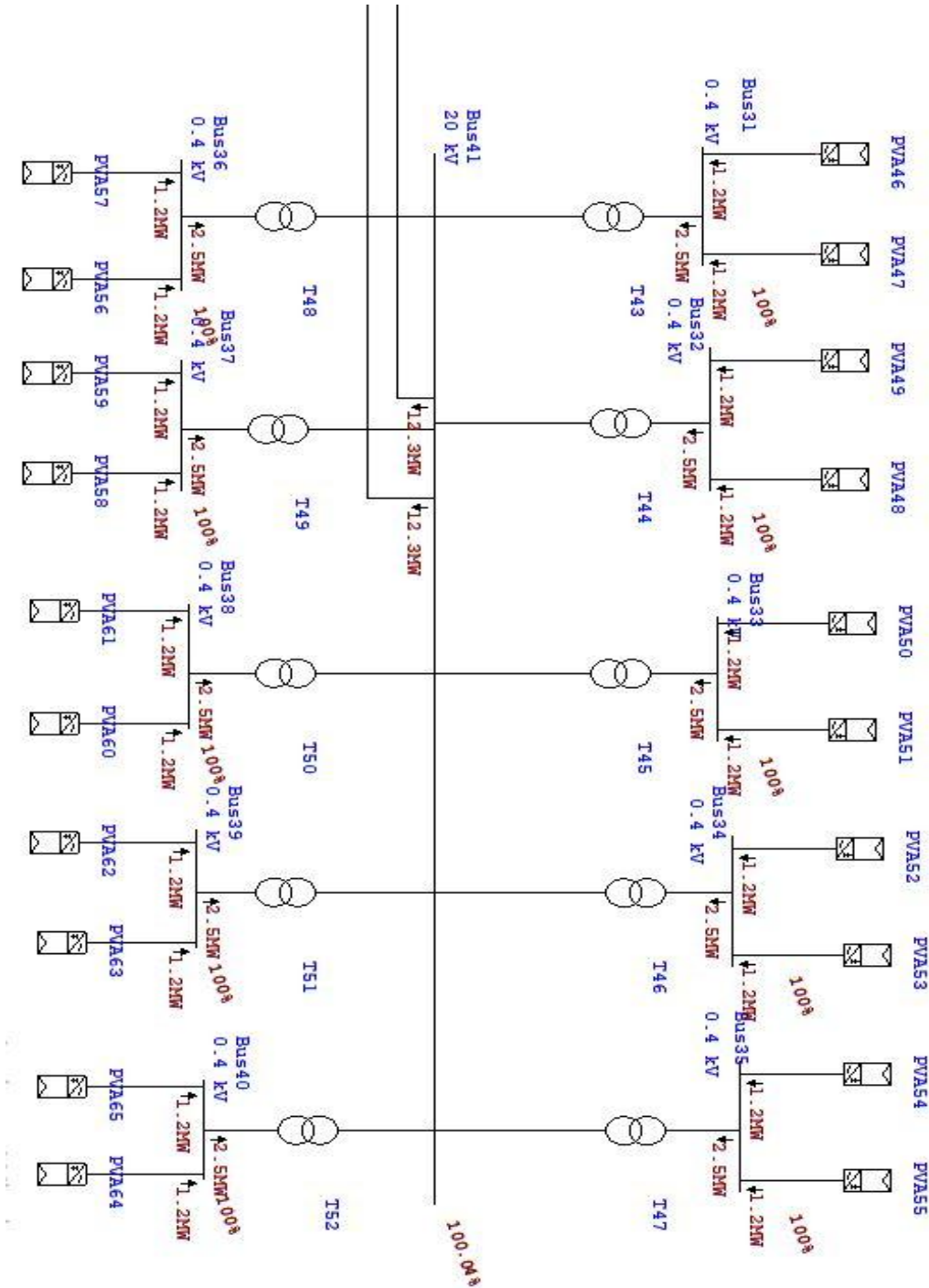
دراسة سريان الحمولة مع إضافة محطة الطاقة الشمسية:

قمنا بتصميم المحطة باستخدام برنامج ETAP كون هذا البرنامج يمكننا من تصميم الشبكة مع محطة الطاقة الشمسية بالإضافة لدراسة سريان الحمولة [12]. الشكل (11) يوضح نموذج اللوح الشمسي المختار في هذه الدراسة وهو من نوع mono-crystalline والعائد إلى شركة Suniva، وكذلك يظهر الشكل منحنيات I-V, P-V الخاصة بهذا النوع من الألواح.



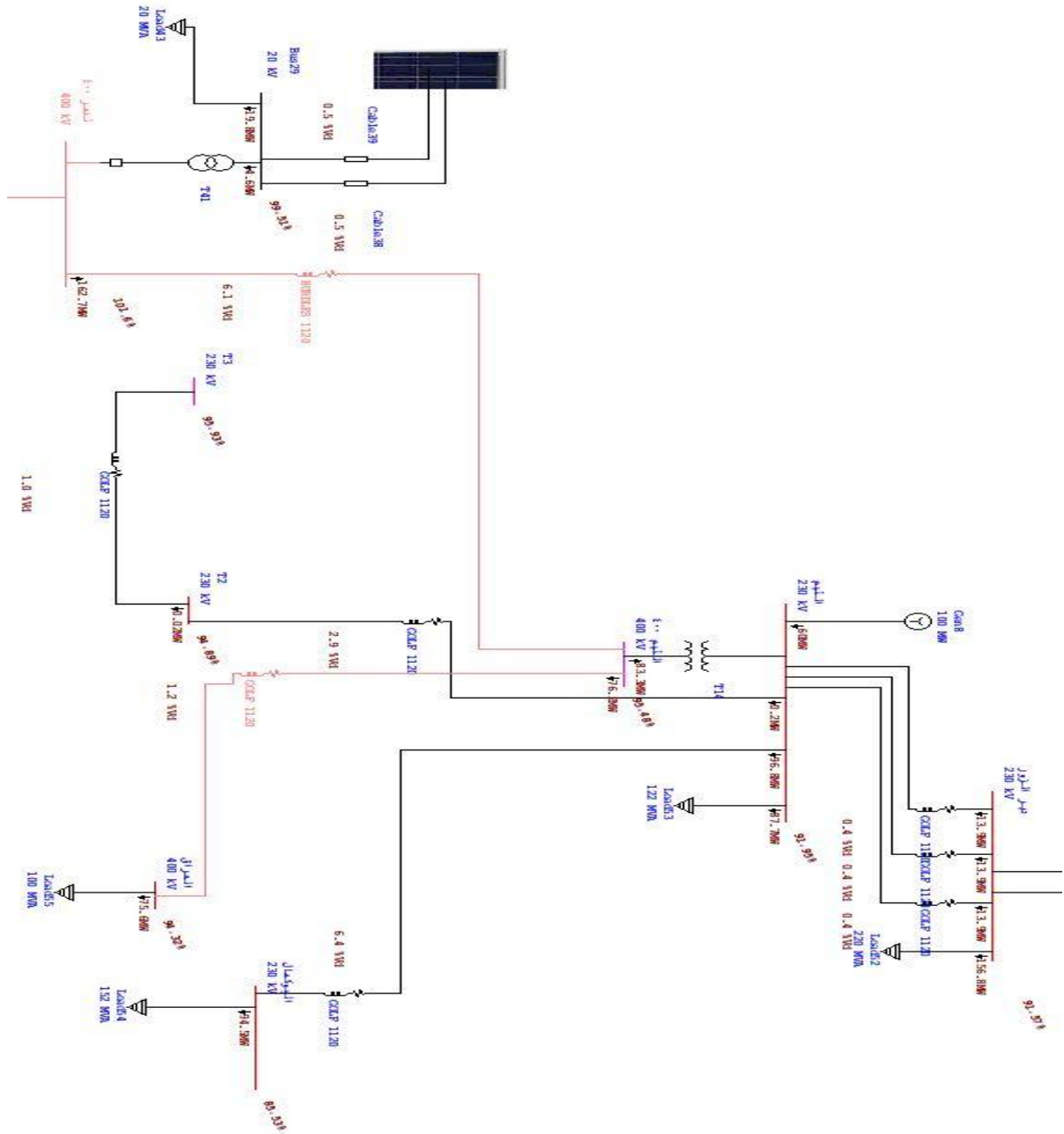
الشكل (11) محاكاة الخلية الشمسية نوع Suniva باستخدام برنامج ETAP

بعد اختيار العناصر وفق الدراسة، قمنا بمحاكاة المشروع، الشكل (12). يوضح تصميم المحطة ويوضح الخلايا الشمسية مع القابلات التي تولد استطاعة بجهد 0.4 [kV] موصولة الى قضيب تجميع اللوحة الرئيسية عن طريق محولات $0.4/20 \text{ [kV]}$. الاستطاعة المولدة هي أعظم استطاعة يمكن أن تقدمها المحطة عند اشعاع شمسي قيمته $1000 \text{ [w/m}^2]$.



الشكل (12) محاكاة المشروع باستخدام برنامج ETAP.

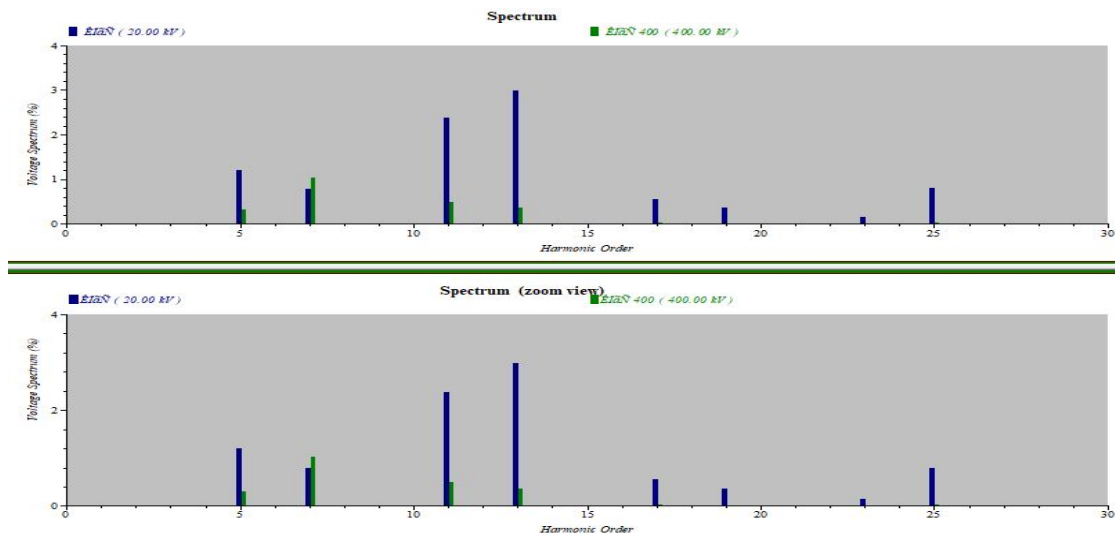
أختارنا في هذه الدراسة تصميم المحطة بحيث تغطي حمولة مدينة تدمر والاستطاعة الزائدة توضع إلى الشبكة العامة عن طريق محولة $400/20$ [kV]، حيث يتضح بأن المحطة تغطي حمولة الذروة لمدينة تدمر والبالغة 20 [MVA] وتوضع في الشبكة العامة استطاعة مقدارها 4.6 [MW]، يوضح الشكل (13) سريان الحمولة في الشبكة الكهربائية السورية بعد إدخال المحطة في الخدمة وقيم الاستطاعات وهبوط الجهد في هذا الجزء من الشبكة.



الشكل (13) دراسة سريان الاستطاعة عند وصل المحطة مع الشبكة العامة.

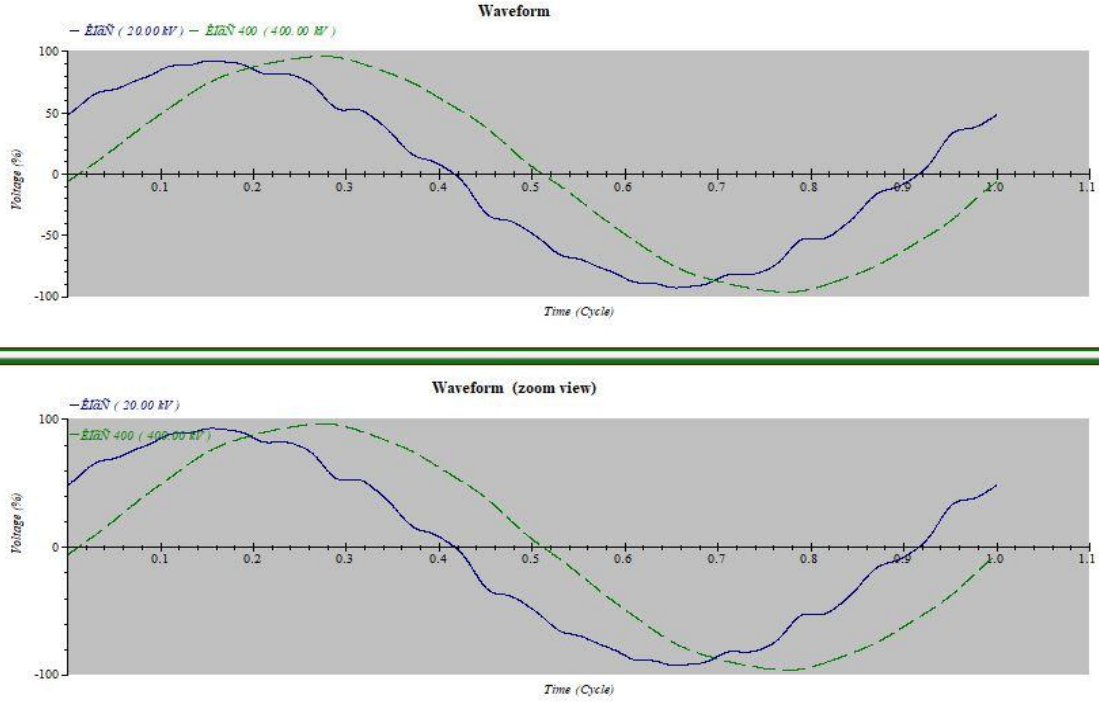
تحليل ودراسة التوافقيات:

كما هو معلوم تعبر العناصر الالكترونية عناصر غير خطية وبالتالي تولد توافقيات تسبب العديد من المشاكل بالنسبة للشبكة العامة وبالنسبة للأحمال الكهربائية الموصولة معها، ومع ازدياد استخدام هذه العناصر مثل أجهزة تغيير سرعة المحركات، أنظمة UPS، مبدلات الطاقة، الشواحن ومختلف أجهزة الكترونيات الطاقة. بما أن محطات الطاقة الشمسية تولد جهد مستمر ونستخدم قالبات لتحويله إلى جهد متناوب من المهم دراسة الأثر التوافقي الناتج عن استخدام هذه القالبات، قمنا بتحديد نسب التوافقيات، الشكل (14) وفق الشركات المصنعة للقالبات ووفق معيار IEEE 519، الشكل (15) يوضح شكل موجة الجهد في قضيب التجميع Bus 29 الذي يربط المحطة مع الشبكة العامة، وقضيب التجميع تدمر 400 الذي من خلاله تحقق الاستطاعة في الشبكة العامة.



الشكل (14) المحتوى التوافقي الصادر عن المحطة.

حيث يتضح أن قيمة معامل التشوه التوافقي THD للجهد في قضيب التجميع Bus 29 هو % 4.65 وفي قضيب التجميع تدمر 400 هو % 1.30. ويتضح مقدار التشوه الكبير الحاصل في موجة الجهد وبالأخص في قضيب التجميع Bus 29.



الشكل (15) دراسة سريان الاستطاعة عند وصل المحطة مع الشبكة العامة.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- يجب إعداد دراسات منظومات الطاقة الشمسية مع الاخذ بعين الاعتبار عدة مواضيع مهمة ومنها طبيعة الأحمال ومكان تنفيذ الدراسة، وقد أختزنا مدينة تدمر لعدة أسباب منها كون الأراضي التي تنشأ عليها المحطة غير مستثمرة زراعياً وارتفاع أسعارها منخفضة مقارنة مع المشاريع المنفذة في مناطق أخرى في سورية بالإضافة إلى ذلك الشبكة الكهربائية في مدينة تدمر تحتوي التجهيزات الكهربائية المطلوبة.
- 2- اتضح لدينا بأنه خلال أوقات الذروة تكفي المحطة لتغذية مدينة تدمر بشكل كامل وحقق جزء من الاستطاعة المولدة في الشبكة العامة.
- 3- دراسة التوافقيات الكهربائية وضح نسبة التشوه في شكل موجة الجهد والنتيجة عن استخدام قالبات الكترونييات القدرة، بالتالي موضوع مهم استخدام مرشحات مناسبة لتحسين شكل موجة الجهد وزيادة جودة الطاقة المولدة.
- 4- شبكة النقل السورية تمتد لمسافات كبيرة وبالتالي موضوع مهم استخدام التقنيات الحديثة لضخ الاستطاعة المولدة من المحطات الشمسية إلى الشبكة العامة مثل استخدام أجهزة نقل الطاقة المرنة (FACTS) بحيث نحصل على عدة ميزات منها التحكم بالاستطاعة المنقولة عبر شبكات النقل وزيادة القدرة التمريرية لهذه الشبكات بالإضافة إلى ضخ الاستطاعة المولدة في الشبكة العامة.
- 5- كذلك أتضح من هذه الدراسة بأنه يمكن تحسين جودة الطاقة المولدة عن طريق محطات الطاقة الشمسية في حال حقق الاستطاعة المولدة في شبكات النقل بدل حقنها في شبكات التوزيع. وبالتالي موضوع مهم عند تصميم محطات الطاقة الشمسية حقق الاستطاعة المولدة في شبكات النقل بشكل مباشر بدل شبكات التوزيع.

6- الأهداف التي حصلنا عليها من هذه الدراسة هي تصميم الشبكة الكهربائية، نمذجة الخلية الشمسية باستخدام برنامج Matlab/Simulink، وتحليل الشبكة الكهربائية باستخدام برنامج ETAP.

References:

- [1] ANGELIM, H. & AFFONSO, M. "Impact of distributed generation technology and location on power system voltage stability,". VOL. 14, NO. 4, APRIL, 2016.
- [2] LEI, W. DONGLAI, J. and Jiannong L. "Design and Research of High Voltage Power Conversion System for Space Solar Power Station,". IEEE, VOL. 9, NO. 7, 2018.
- [3] OLULOPE, K. FOLLY, K. & VENAYAGAMOORTHY, G. "Modeling and simulation of hybrid distributed generation and its impact on transient stability of power system,". IEEE. VOL. 13, NO. 1, 2013.
- [4] STANEK, M. "RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES,". International Renewable Energy Agency, Issue 4/5, 2012.
- [5] ALKA, Y. and LAXMI, S. "Optimal Placement of Distributed Generation: An Overview and Key Issues,". IEEE. Vol. 85, No. 21, 2014.
- [6] Steffel, S. Caroselli, P. Dinkel, A. Liu, J. Sackey, R. and Vadhar, N. "Integrating Solar Generation on the Electric Distribution Grid,". IEEE, VOL. 3, NO. 2, JUNE 2012.
- [7] CAMM, E. and WILLIAMS, S. "Solar Power Plant Design and Interconnection,". IEEE Trans. Vol. 24, No. 5, 2011.
- [8] Coster, E., Myrzik, J., Kruimer, B., Kling, W, "Integration Issues of Distributed Generation in Distribution Grids,". IEEE, Vol. 99, No. 1, January, 2011.
- [9] AFSHIN, I. ARASH, P. AND SARASADAT, M. "Basic Model and Governing Equation of Solar Cells used in Power and Control Applications,". IEEE, Vol. 3, Issue 16, PP. 77-84 2012.
- [10] Denis, K. Victor, S. "Conceptual Design of Solar Power System,". IEEE Trans. Vol. 3, No. 11, 2018.
- [11] Mohammad, G. "A Detailed Study for Load Flow Analysis in Distributed Power System,". International Journal of Industrial Electronics, Control and Optimization, Vol. 1, No. 2, pp. 153-161, 2018.
- [12] Páez, C. Aristizábal, A. "Steady State Analysis Of The Power System Of A Building Incorporating A 6kw Photovoltaic System Interconnected To The Grid,". IOSR Journal of Computer Engineering, Vol. 18, Issue 5, PP. 08-16, 2016.