DOI: 10.51984/94DTC462

وقائع مؤتمرات جامعة سبها
Sebha University Conference Proceedings
Confrence Proceeeding homepage: http://www.sebhau.edu.ly/journal/CAS

دمج محطة طاقة كهروضوئية بالشبكة الكهربائية الليبية بمنطقة القطرون

*محمد عبد الله حسين و علي عبدالله ابودربالة و إبراهيم سليمان نصر وحامد عبد الحق سعيد ومحمد عبد الجواد حمودة و شرف الدين إبراهيم الدرمون

قسم الطاقات، المتجددة كلية الهندسة، جامعة سبها، ليبيا

الملخص

تُعدّ الطاقة الشمسية الكهروضوئية تقنية متقدمة لإنتاج كهرباء نظيفة بكفاءة عالية وانبعاثات منخفضة، وتمثل خيارًا استراتيجيًا للدول ذات الإشعاع الشمسي المرتفع. تأتي أهمية هذا البحث من التحديات التي تواجه المنطقة، بما في ذلك انخفاض الجهد وتكرار انقطاع التيار الكهربائي نتيجة بُعد مراكز التوليد، وطول خطوط النقل، وارتفاع الأحمال، إلى جانب محدودية القدرة التوليدية المتاحة لدى الشركة العامة للكهرباء. اعتمد البحث على بيانات الإشعاع الشمسي الفعلية المستخرجة من قاعدة بيانات PVGIS-SARAH2 الخاصة بالموقع، تم تقييم أداء المنظومة عند ثلاث سعات مختلفة للمحطة الكهروضوئية، وهي 15 , 20 ,و 25 MVA، بهدف تحديد السعة الأنسب لتغذية حمل محلي يبلغ حوالي 21 MVA وتحسين الجهد عند البسبارات البعيدة. حققت سعة 25 MVA أفضل أداء تشغيلي، حيث وفّرت تغطية مناسبة للحمل مع احتياطي تشغيلي، وأسهمت في رفع قيم الجهد إلى النطاق المسموح به فنيًا.

الكلمات المفتاحية:

الجهد
خلية شمسية
لوح شمسي
العاكس
القدرة التفاعلية
الكهروضوئية

Integration of Photovoltaic Power Plant into Libyan Electrical Network in the Al-Qatrun Region

*Mohamad A. Hossin, Ali A. Abu Dirbalah, Ibrahim S. Naser, Hamed A. Said, Mohamed A. Hamoudah, and Sharfuldeen A. Aldarmoun

Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Engineering, Sebha University, Libya

ABSTRACT

Solar photovoltaic energy is an advanced technology for producing clean electricity with high efficiency and low emissions, and represents a strategic option for countries with high solar irradiation. The importance of this research stems from the challenges faced by the area, including low voltage and frequent power outages due to the remoteness of generation centres, long transmission lines, high loads, and limited generation capacity available at the General Electricity Company. The research relied on actual solar irradiance data extracted from the PVGIS-SARAH2 database specific to the site, The system performance was evaluated at three different capacities of the photovoltaic plant, namely 15, 20, and 25 MVA, with the aim of determining the most appropriate capacity to supply a local load of approximately 21 MVA and improving the voltage profile at the remote buses. a capacity of 25 MVA achieved the best operational performance, as it provided adequate load coverage with operating reserve and contributed to raising voltage values within the technically permissible range.

Keywords:

Inverter
Photovoltaic
Reactive power
Solar cell
Solar panel
Voltage

1. المقدمة

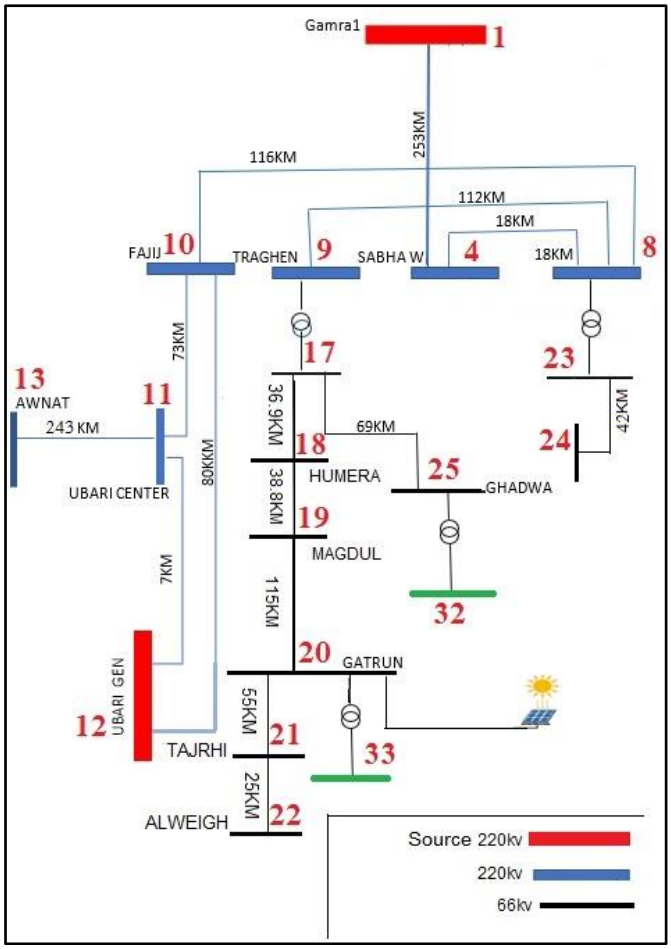
تمتلك ليبيا موارد وفيرة من الطاقة الشمسية بفضل موقعها الاستراتيجي في قلب شمال أفريقيا بمساحة شاسعة تبلغ 1,759,540 كيلو متر مربع. تتمتع ليبيا بساحل طويل يمتد 1,900 كيلو متر على طول البحر الأبيض المتوسط وتغطي المناطق الصحراوية جزء كبير منه (حوالي 88% من مساحتها [1].

تُعدّ ليبيا من الدول ذات الإمكانات العالية في مجال الطاقة الشمسية، إذ تقع ضمن الحزام الشمسي العالمي الذي يوفّر مستويات مرتفعة من الإشعاع الشمسي على مدار العام. وقد تناولت دراسة حديثة تقدير الإشعاع الشمسي الشهري في اثنتي عشرة مدينة رئيسية موزعة جغرافيًا عبر البلاد، مُبرزة التباين بين المناطق الساحلية والداخلية والجنوبية. وأظهرت النتائج أن المناطق

*Corresponding author:
E-mail addresses: moh.hossin@sebhau.edu.ly , (A. A. Abu Dirbalah) Ali.Amhimmid@sebhau.edu.ly , (I. S. Naser) ibra.nasr@sebhau.edu.ly , (M. A. Hamoudah) moh.hamoudah@sebhau.edu.ly
Article History : Received 10 March 2026 - Received in revised form 15 April 2026 - Accepted 16 May 2026

الجنوبية، مثل سبها والكفرة، تسجل معدلات إشعاع أعلى مقارنة بالمدن الساحلية [2].

الشركة العامة للكهرباء تدير صناعة الطاقة في البلاد بما في ذلك التوليد والنقل والتوزيع. تتركز معظم محطات إنتاج الطاقة الكهربائية في شمال البلاد على الشريط الساحلي، باستثناء محطتي السرير تقع في الجنوب الشرقي ومحطة أوباري تقع في الجنوب الغربي من ليبيا، وتتكون شبكة النقل في ليبيا من خطوط هوائية ذات مستويات جهدKV 400 و220 و66. تتكون منطقة الجنوب من مجموعة محطات تحويل KV 66/220 تربطها خطوط هوائية ويتم تغذيتها من الشمال عن طريق محطة تحويل قمرة 1 الواقعة بجبل الحساونة ومن الجنوب محطة اوباري الغازية، كذلك توجد محطات تحويل KV66/11 وخطوط نقل الجهد KV 66 لتغذية المناطق المختلفة. منطقة القطرون تبتعد عن أقرب محطة تحويل KV220/66 بمنطقة تراغن حوالي 200 كيلومتر بجهد KV66 مما يسبب انخفاض كبير في الجهد عند نقل قدرات عالية[3]. يبن الشكل (1) جزء من الشبكة الجنوبية المغدي لمنطقة القطرون.



شكل 1: مخطط أحادي الطور لجزء من الشبكة الكهربائية الجنوبية المغد للقطرون.

ناقشت الدراسة (التي فاما بها Albarrcin [4] تحليل حدود القدرة التفاعلية للأنظمة الكهرو MATLAB`لتقييم أداء العاكسات في حقن القدرة الفعالة والتفاعلية تحت ظروف أحمال وتقلبات جهد مختلفة. وأظهرت النتائج أن القدرة التفاعلية محدودة بقيود العاكس ومستوى الجهد، إلا أن تحسين استراتيجيات التحكم يمكن أن يعزز دعم الجهد ويقلل تقلبات الشبكة.

استعرضت الدراسة بها F. Alasli واخرون [5]تأثير دمج محطة كهروضوئية بقدرة 10 MW في الكفرة على استقرار نظام الحماية في الشبكة الكهربائية الليبية، من خلال نموذج محاكاة مكوّن من ثمانية بسبارات باستخدام برامج ETAP . أظهرت النتائج تحسن الجهد وانخفاض الفواقد بنسبة 8.2%، مقابل زيادة ملحوظة في تيارات القصر وتأثر أداء مرحّلات الحماية، حيث بلغت القدرة الفعالة أثناء بعض الأعطال 261MW والقدرة غير الفعالة 938MVAR وأوصت الدراسة بتطوير مخططات حماية متقدمة لضمان موثوقية mالتشغيل مع التوسع في محطات الطاقة الشمسية.

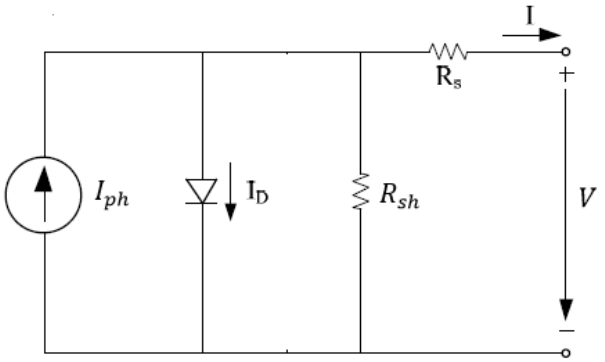
تناولت الدراسة (2025)الواردة في [6] التحديات التقنية والمؤسساتية التي تواجه دمج مصادر الطاقة المتجددة في الشبكة الكهربائية الليبية، استنادًا إلى تحليل بيانات الشركة العامة للكهرباء والهيئة العامة للطاقة المتجددة في ليبيا ومراجعة وثائقية مدعومة بخبرة تشغيلية. وأبرزت النتائج ارتفاع القدرات التقليدية المركبة (10 MW) مع نمو سنوي للطلب يتراوح بين 6–9% ومتوقع أن يتجاوز 14.5 GW بحلول 2030. كما أشارت إلى الإمكانات العالية للطاقة الشمسية (≈7.5 kWh/m²) يوميًا وسرعة الرياح على الساحل (6–7.5 m/s)، مقابل مساهمة كهروضوئية حالية لا تتجاوز(0.03%). وخلصت الدراسة إلى أن غياب التشريعات الداعمة وضعف البنية التحتية للنقل والتوزيع تمثل عوائق رئيسية أمام التوسع في مشاريع الطاقة المتجددة.

2. وصف النظام

تعُرض في هذا الجزء العناصر الرئيسية لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية. يتكون نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية النموذجي المتصل بالشبكة من الواح كهروضوئية وعاكس يقوم بتحويل تيار مستمر إلى تيار متردد.

أ. الالواح لكهروضوئية Solar panels

يتكوّن النظام الكهروضوئي من خلايا شمسية solar cell متصلة على التوالي لتكوين لوح شمسي .تتكون الخلية الشمسية من وصلةلات p–n. هذه الوصلات عبارة عن طبقات مختلفة من اشباه الوصلات المعالجة. الدائرة لمكافئة للخلية الشمسبة كما هي موضح بالشكل (2).تولّد تيارًا I_{ph} نتيجة امتصاص الفوتونات وتحويل الطاقة الضوئية إلى تيار كهربائي مستمر يغذي الدائرة الخارجية.



شكل 2: الدائرة المكافئة للخلية الشمسية.

وفقًا لهذا النموذج، يُعطى تيار خرج الخلية الشمسية بالعلاقة [7] :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \qquad (1)$$

المعادلة العامة للخلية الشمسية لدائرة المكافئة أحادية الدايود

$$I = I_{ph} - I_D \times \left(e^{\frac{V+I\times R_s}{m\times V_T}} - 1\right) - \frac{V + I \times R_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

حيث:

I :التيار الكلي الخارج من الخلية الشمسية.(Output Current)

I_{ph} :التيار المتولد ضوئياً نتيجة سقوط الإشعاع الشمسي على الخلية (Photocurrent).

I_D :تيار الدايود داخل الخلية الشمسية.(Diode Current)

I_{sh} :تيار التسريب عبر مقاومة التوازي.(Shunt Leakage Current)

V :الجهد عبر أطراف الخلية الشمسية.(Terminal Voltage)

R_s :مقاومة التوالي للخلية الشمسية.(Series Resistance)

R_{sh} :مقاومة التوازي أو مقاومة التسريب.(Shunt Resistance)

m :معامل مثالية الدايود (Diode Ideality Factor) ويتراوح غالباً بين 1و**2**.

V_T : **الجهد الحراري** (Thermal Voltage) **ويحسب من العلاقة:**

$$V_T = \frac{k\times T}{q}$$

حيث:

K:ثابت بولتزمان 1.38×10^{-23}J/K

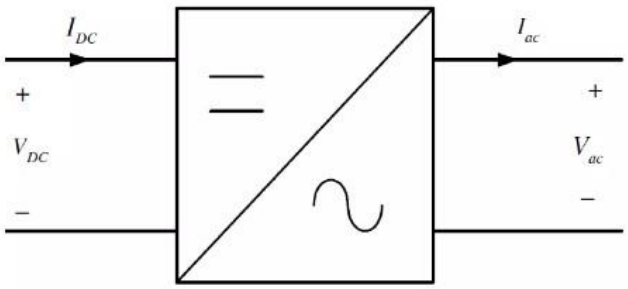
T :درجة الحرارة المطلقة بالكلفن(K)

q : شحنة الإلكترون 1.602×10^{-19}C

ب. العاكس (inverter)

يقوم بتحويل التيار المستمر الناتج من الالوح الشمسية إلى تيار متردد. ويتم عن طريقه تغذية الأحمال من محطات الطاقة الشمسية. يمكن استخدام العاكس للمساهمة في التحكم في الجهد عن طريق التحكم بالقدرة التفاعلية الخارجة منه .شكل (3) الرمز الكهربائي للعاكس,

العاكس عنده قدرة ظاهرية S تقاس (MVA) ويمكن تجزئتها حسب الأحمال ومعامل القدرة. وعند اختيار العاكس .يمكن حساب القدرة الظاهرية بالمعادلات التالية:



شكل 3: العاكس DC-AC

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

$$P_{inv_{output}} = S_{inv} \times PF \quad (4)$$

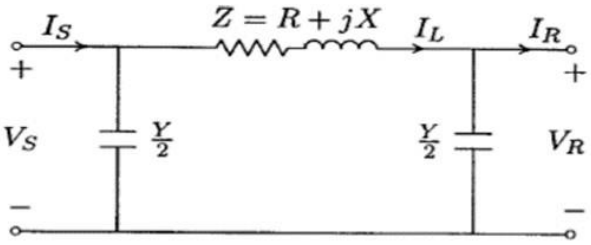
$$Q_{inv_{output}} = S_{inv} \times sin(\varphi) = S_{inv} \times \sqrt{(1-(PF)^2)} \quad (5)$$

حيث ان p القدرة الفعالة و Qالقدرة غير الفعالة و pf معامل القدرة. عند تحميل العاكس يجب ان لا تتعدى الأحمال القدرة الظاهرية لاسمية للعاكس.

ج. خطوط النقل

يتم تمثيل خطوط النقل في نظام القدرة على أساس طول الخط إلى ثلاثة أصناف رئيسية: خط قصير (عادةً بطول أقل من نحو 60–80 km)، وخط متوسط (حوالي 80–250 km)، وخط طويل يتجاوز 250 km.

تم في هذا البحث اعتماد نموذج الخط المتوسط لتمثيل سلوك منظومة الربط بين المحطة الكهروضوئية والشبكة العامة باستخدام و المبين في شكل 4 [8]:



شكل 4:الدائرة المكافئة (π) لخط النقل متوسط الطول.

يمكن حساب معاملات الخط بالمعادلات التالية:

$$V_s = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)V_R + ZI_R \quad (6)$$

$$I_S = Y\left(1 + \frac{ZY}{4}\right)V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)I_R \quad (7)$$

$$Z_{Line} = R + jX \quad (8)$$

$$Y = \left(\frac{1}{2}\right) * j * \omega * C_{line} * le \quad (9)$$

حيث:

V_s : جهد الإرسال او جهد الدخل.

V_R : جهد الاستقبال او جهد الخرج.

I_S : تيار الإرسال.

I_R **:** تيار الاستقبال.

Z : ممانعة خط النقل الكلية.

R : مقاومة خط النقل.

X : المفاعلة الحثية لخط النقل.

j :الوحدة التخيلية.

Y**:** المواصلة الكلية لخط النقل .

ω: السرعة الزاوية($\omega=2\pi f$) وتقاس بوحدة راديان/ثانية.

C_{line} :السعة لكل وحدة طول لخط النقل.

le **:**الطول المكافئ لخط النقل.

3-المواد وطرق العمل

تم إدراج بيانات الشبكة على شكل مصفوفات توضح بيانات الخطوط على الصورة التالية:

[From Bus To Bus Y R X C V]

تم تحويل البيانات إلى نظام الوحدة (P.U) من خلال استخدام برنامج الماتلاب تم حل المعادلات باستخدام طريقة نيوتن_رافسون لما لها من خاصة التقارب

في اقل عدد من التكرارات وتظهر النتائج على الصورة التالية:

$$\begin{bmatrix} Bus & Voltage & Angle & -Load- & & Generation- & & Injected \\ No. & Mag. & Degree & MW & Mvar & MW & Mvar & Mvar \end{bmatrix}$$

تم أخذ بيانات خطوط النقل والمحولات من الدليل الفني لشبكة الكهرباء كما هو موضح في الجدول 1، وتم استخدام هذه البيانات في حساب ثوابت خطوط النقل كما هو مبين في الجدول 2 [9]:

جدول 1: معاملات خطوط النقل، والمحولات، والكابلات في الشبكة الكهربائية الجنوبية

NO	R ($\frac{\Omega}{km}$)	X ($\frac{\Omega}{km}$)	C ($\frac{\mu f}{km}$)	Area (mm^2)	Voltage (kV)
1	0	0.1	0	20	66
2	0.21	0.41	0	150	66
3	0	0.09	0	20	66
4	0.248	0.3	11.18e-3	428	220
5	0.0407	0.3031	11.8e-3	723.7	220
6	0.0920	0.4231	8.5e-3	322.9	220
7	0	0.125	0	63	220

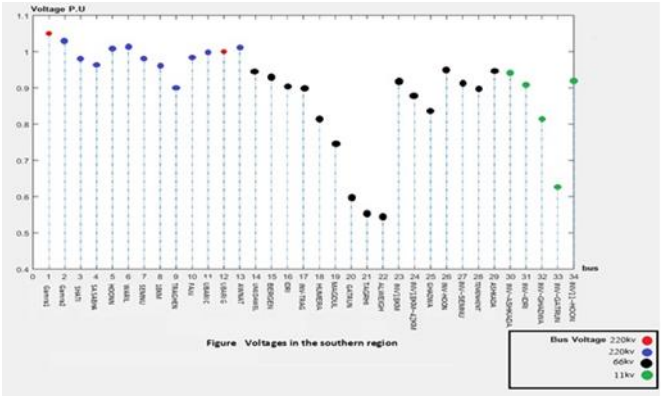
جدول 2: بيانات خطوط النقل والمحولات

NO	From Bus	To Bus	Length (km)	Line Type	Tap Changer	Number of Circuits
1	1	4	253	16	1	1
2	4	8	18	15	1	1
3	8	9	112	16	1	2
4	8	10	116	16	1	2
5	10	11	73	16	1	1
6	10	12	80	16	1	2
7	11	12	7	16	1	1
8	11	13	243	16	1	1
9	9	17	0	19	1	1
10	17	18	36.9	10	1	2
11	18	19	38.8	10	1	2
12	19	20	115	10	1	2
13	20	21	55	10	1	1
14	21	22	25	10	1	1
15	20	33	0	12	1	2

4 النتائج والمناقشة

الحالات التي تم دراستها:

1. الجهود عند احمال طبيعية

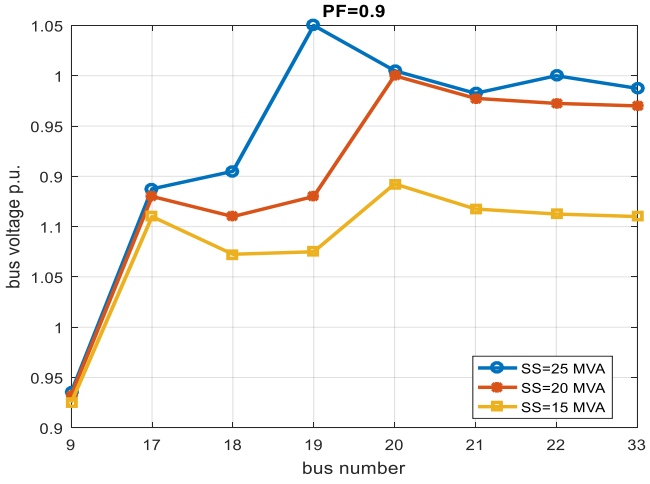


شكل 5: الأحمال في المنطقة الجنوبية.

يوضح الشكل البياني (5) توزيع الجهد (p.u)عبر بسبارات شبكة المنطقة الجنوبية الموضحة في شكل 1، المصنّفة وفقًا لمستوى الجهد إلى ثلاث مجموعات رئيسية: بسبارات الجهد العالي (220KV) من الرقم 1 إلى 13، بسبارات الجهد المتوسط (66KV) من 14 إلى 29، وبسبارات الجهد المنخفض (11KV) من 30 إلى 34. تُعد البسبارات رقم 1 ورقم 12 المصدر الرئيسي للطاقة الكهربائية التي تُغذي بقية العقد. لكن مع التقدم نحو الأطراف الجغرافية للشبكة، تظهر نقاط واضحة لانخفاض الجهد وتحديدًا من البسبار 17 وحتى البسبار 22. وسبب هذا التدهور في الجهد ناتجًا عن زيادة مسافة النقل، وغياب مصادر توليد موزعة قريبة.

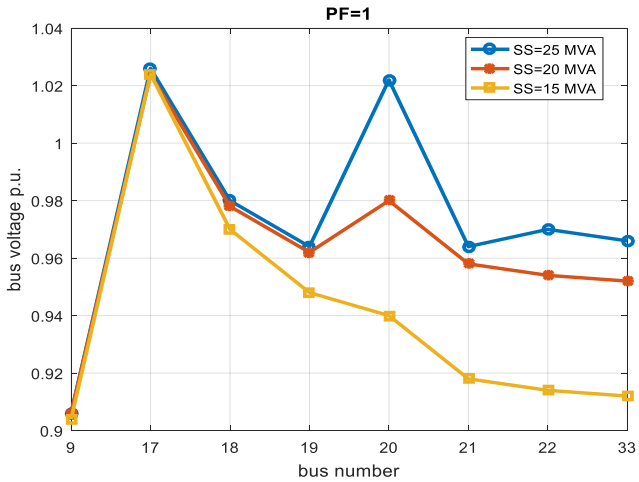
2. **إضافة نظام PV في القطرون**

لدراسة تاثير ضخ طاقة كهربائية من محطات كهروضوئية على الشبكة الجنوبية. تم ادخال قدرات ظاهرية 15و 20و 25 MVA على بسبارات33 و22و21و20 بمنطقة القطرون



شكل 6: الجهد على البسبارات عند PF=0.9 وقدرات مختلفة

يظهر الشكل (6) تأثيرات مختلفة للقدرة الظاهرية على الجهود عبر المحطات عند معامل قدرة PF=0.9 عند زيادة القدرة الظاهرية (SS = 25 MVA) ، تزداد الجهود بشكل ملحوظ عبر جميع البسبارات، مما يشير إلى استقرار أفضل في الشبكة. مع انخفاض القدرة الظاهرية (SS = 20 MVA، SS = 15 MVA)، تنخفض الجهود تدريجياً، مما يوضح أن القدرة الظاهرية الأقل تؤدي إلى تراجع في استقرار الجهود.

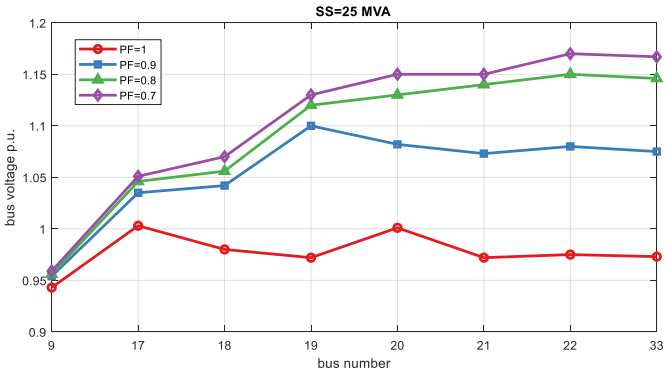


شكل 7: الجهد على البسبارات عند PF=1وقدرات مختلفة

في هذا الشكل (7)، يتم تحليل تأثير القدرة الظاهرة (SS) على الجهد عند معامل قدرة (PF=1)عبر نقاط البسبارات المختلفة. يُلاحظ أن القدرة الظاهرة 25MVA تحافظ على أعلى مستويات الجهد، تليها 20MVA، بينما

تظهر قدرة 15MVA أقل مستويات الجهد، مما يشير إلى أن زيادة القدرة الظاهرة تساهم في تحسين استقرار الجهد عبر الشبكة.

ومن خلال المنحنيات السابقة تم اختيار نموذج محطة 25 MVA.

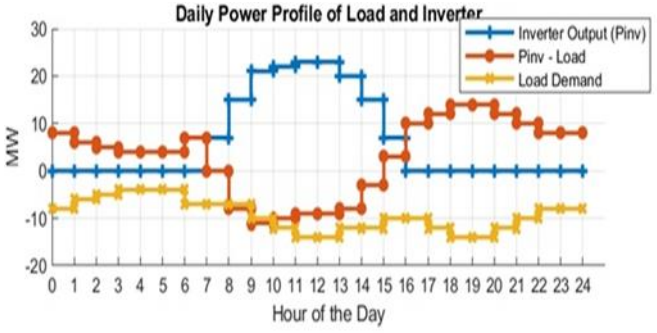


شكل 8: SS=25 MVA.

يبين الشكل (8) أن محطة الطاقة بقدرة ظاهرية 25 MVA قادرة بكفاءة على تغذية الحمل البالغ 21 MVA ، مع وجود احتياطي يتيح استمرارية التشغيل في حال فقدان الاتصال بالشبكة العامة في الفترة النهارية.

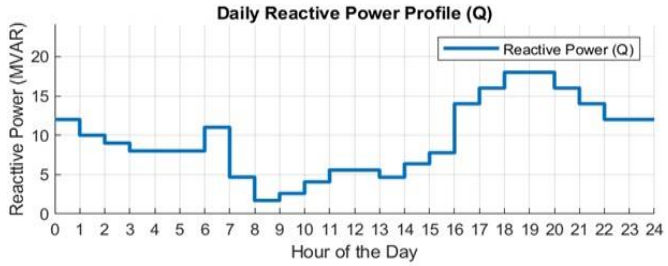
ويُظهر الشكل أن استخدام معامل قدرة PF=0.9 يحقق دعماً ممتازاً للجهد عند البسبارات المستهدفة، دون تجاوز الحدود المسموح بها. هذا التوازن بين القدرة الحقيقة والتفاعلية يحقق أفضل توازن بين كفاءة التشغيل واستقرار الجهد.

3. منحى السلوك اليومي للمحطة



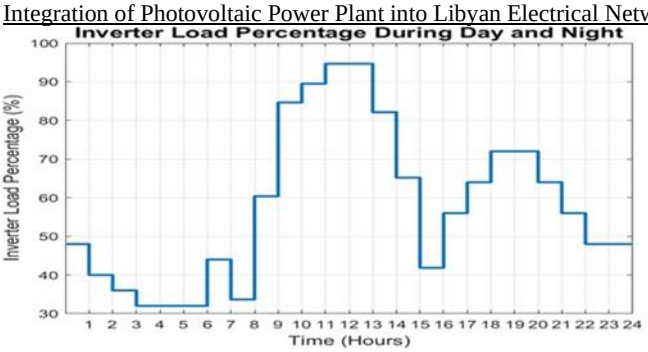
شكل9: منحنى القدرة اليومي للحمل والعاكس الكهربائي.

يوضح الشكل (9) مدى مساهمة نظام الطاقة الشمسية في تقليل طلب الطاقة على الشبكة خلال فترات النهار، ووجود فائض في الطاقة يتم حقنه في الشبكة. ومع ذلك الحاجة إلى الشبكة ضرورية في الفترات الليلية أو عند انخفاض الإشعاع الشمسي.



شكل 10: منحنى القدرة اليومي للحمل والعاكس الكهربائي.

يوضح الشكل (10) التغير الزمني للقدرة التفاعلية (بالـMVAR) على مدار 24 ساعة، ويظهر كيف يساهم العاكس الشمسي (PV Inverter) في حقن أو امتصاص القدرة التفاعلية لتعويض تأثير الأحمال وتحسين جودة الطاقة.



شكل 11: نسبة تحميل العاكس خلال فترتي النهار والليل.

يوضح هذا الشكل (11) النسبة المئوية لتحميل العاكس (Inverter load%)خلال اليوم على مدار 24 ساعة، وهو مستنتج من العلاقة بين القدرة الحقيقية والتفاعلية الخارجة من العاكس مقارنة بأقصى قدرة ممكنة له. تم حساب النسبة في برنامج الماتلاب باستخدام:

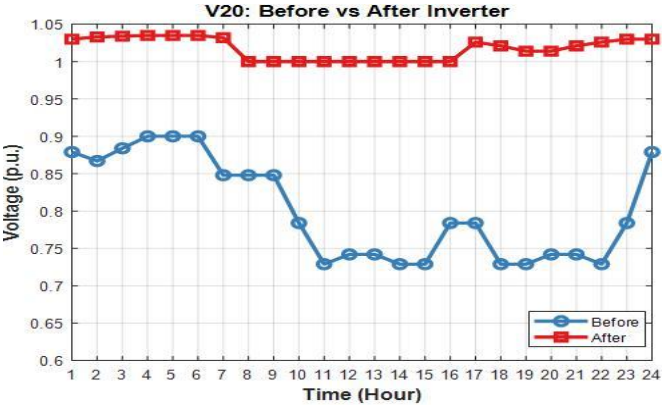
$$Inverter\ load\% = \frac{\sqrt{P_{inv}^2+Q_{inv}^2}}{S_{max}} \times 100 \qquad (10)$$

حيث:

P_{inv} : القدرة الحقيقية الخارجة من العاكس MW.

Q_{inv} : القدرة التفاعلية الخارجة من العاكس MVAR.

S_{max}: أقصى قدرة ظاهرة ممكنة للعاكس MVA.



شكل 12: V20 – مقارنة قبل وبعد العاكس.

يوضح الشكل (12) المقارنة بين ملف الجهد عند البسبار 20 بمحطة القطرون قبل وبعد توصيل العاكس الموصل بمحط طاقة شمسية PV خلال 24 ساعة:

قبل توصيل العاكس: يظهر تدهور واضح في الجهد خلال ساعات الذُروة (من الساعة 10إلى 18)، حيث ينخفض الجهد إلى أدنى مستوى له عند حوالي.(0.73p.u.)

بعد توصيل العاكس: لم يهبط الجهد في اغلب الساعات، بل ارتفع قليلاً في الفترات الليلية مما يشير إلى أن العاكس ساهم بضخ قدرة تفاعلية.؟5.

5.الخلاصة و الاستنتاجات:

من خلال الدراسة تبين انه يمكن الاستفادة من محطات الطاقة الكهروضوئية عندما ترتبط بالشبكة في منطقة القطرون لتحسين الجهد إلى مستويات مقبولة طول اليوم وكذلك في إضافة قدرة حقيقية في فترة النهار إلى الشبكة مما يؤدي إلى زيادة كفاءة الشبكة. من خلال الدراسة كانت الجهود عند مدينة القطرون قبل إضافة محطات الطاقة الشمسية PV لا تتعدى .0.75 P.U وبعد الإضافة تحسن الجهد حسب سعة المحطات

ومعامل القدرة للعاكس فعند محطة قدرتها MVA 15 ومعامل قدرة 0.9 كان الجهد P.U. 0.9 وعند محطة قدرتها MVA 25 كان الجهد 1.02 P.U.

6.قائمة المراجع

[1] 1. A. Elbaz, M. Bashiri, A. Almorabet, N. B. Elhatmi, F. Zreeq, and T. Elbouashi, "Evaluation of Power Quality in a 62.4 kW PV Grid-Connected System in Libya," The Libyan Center for Solar Energy Research and Studies, vol. 14, pp. 540–550, 2025.

[2] 2.A. A. Teyabeen, N. B. Elhatmi, A. A. Essnid, and F. Mohamed, "Estimation of monthly global solar radiation over twelve major cities of Libya," Energy and Built Environment, vol. 5, no. 1, pp. 46–57, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.enbenv.2022.07.006.

[3] 3. **مجلس التخطيط الوطني** ," **البرنامج الوطني للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة**(2025-2040).," **طرابلس**, 2025.

[4] 4. R. Albarracin and M. Alonso, "Photovoltaic reactive power limits," 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering, EEEIC 2013, pp. 13–18, 2013, doi: 10.1109/EEEIC.2013.6549630.

[5] 5.F. Alasali, A. S. Saidi, N. El-Naily, O. Alsmadi, M. Khaleel, and I. Ghirani, "Assessment of the impact of a 10-MW grid-tied solar system on the Libyan grid in terms of the power-protection system stability," Clean Energy, vol. 7, no. 2, pp. 389–407, 2023, doi: 10.1093/ce/zkac084.

[6] 6. I. A. N. Salem A. Al-Hashmi , Abdulgader Alsharif , Ali Omar Almathnani, "The infrastructure of the Libyan electric grid & the opportunities and obstculs of utlizing solar and wind Energies," African Journal of Academic Publishing in Science and Technology, vol. 1, no. February, pp. 42–50, 2025.

[7] 7.K. Mertens, Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice, First Edition. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2014.

[8] 8. H. Saadat, Power System Analysis, 3st Edition. Boston, MA, USA: McGraw-Hill, 2011.

[9] 9.**الشركة العامة للكهرباء**," **الدليل الفني لخطوط النقل والمحولات للشبكة الكهربائية**," **ليبيا**, 2020.