

تحليل أداء نظام كهروضوئي اعتماداً على استقرار الجهد والتردد والتوافقيات (دراسة حالة نظام كهروضوئي باستطاعة 6.188 MW متصل مع الشبكة)

د.م. علي خضور *

د.م. صفاء الأحمد **

د.م. سامر ربيع ***

م. لمى يونس جديد ****

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/٧/٢٦ . قُبِلَ للنشر في ٢٠٢٣/١٠/٢٢)
□ ملخّص □

تم في هذا البحث تحليل أداء نظام كهروضوئي باستطاعة 6.188 MW متصل مع الشبكة اعتماداً على استقرار الجهد والتردد والتوافقيات في ريف طرطوس، وذلك من خلال قياس وتحليل المتغيرات الكهربائية (الجهد (V) - التردد (HZ) - عامل الاستطاعة (P.F) - التوافقيات الكلية للجهد - التوافقيات الكلية للتيار - التوافقيات المنفصلة في كل من موجتي التيار والجهد) والذي يعطينا فكرة واضحة عن تأثير ربط المحطة مع الشبكة العامة وذلك باستخدام جهاز قياس وتحليل المتغيرات الكهربائية (Power Analyzer Device) حيث تم أخذ القياسات خلال فترتين عند ظروف مختلفة.

وجدنا أن التشوه الكلي الناتج عن توافقيات الجهد والتيار خلال الفترة الأولى على الترتيب (٠.٦%، ١.٧%) والتوافقيات المنفصلة (الواحدة) للجهد والتيار وكذلك انحراف واهتزاز الجهد خلال الفترة الأولى على الترتيب (٥%، ٤%) وكذلك انحراف التردد (١.١%) ضمن الحدود القياسية في الشبكة السورية وبالنسبة لانحراف واهتزاز الجهد في الفترة الثانية على الترتيب (-٠.٣٦%، ٢.٦٣%) وانحراف التردد (١.٥٩%) كانت أيضاً ضمن الحدود القياسية أما اهتزاز التردد في الفترتين فقد تجاوز القيمة المسموحة، ولوحظ ارتفاع التشوه التوافقي لموجتي الجهد والتيار خلال الفترة الثانية عند ظروف التوليد المنخفض على الترتيب (١.٤%، ١.٨%) بنسبة طفيفة لكنها بقيت ضمن الحدود القياسية.

الكلمات المفتاحية: التوليد الكهروضوئي - تحليل المتغيرات الكهربائية - انحراف الجهد - انحراف التردد - التوافقيات.

* مشرف رئيس - قسم تقانات الطاقات المتجددة - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - سوريا.

** مشرف مشارك - قسم تقانات الطاقات المتجددة - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - سوريا.

*** مشرف متعاون - قسم الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث - سوريا.

**** طالبة دراسات عليا (دكتوراه) - قسم تقانات الطاقات المتجددة - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - سوريا.

**Analysis of the performance of a photovoltaic system depending
on the stability of voltage, frequency and harmonics
(A case study of a photovoltaic system with a capacity of 6.188
MW connected to the network)**

dr.Ali khaddour*
dr.Safa Al ahmad**
dr.Samer Rabih***
eng.Lama jdeed****

(Received 26/7/2023 . Accepted 22/10/2023)

□ **ABSTRACT**

In this research, the performance of a photovoltaic system with a capacity of 6,188 MW connected to the network was analyzed based on the stability of voltage, frequency, and harmonics in the countryside of Tartous, by measuring and analyzing electrical variables (voltage (V) - frequency (HZ)) - power factor (P.F.) - total harmonics. For the voltage - the total harmonics of the current - the separate harmonics in both the current and voltage waves), which gives us a clear idea of the effect of connecting the station to the public network, using a device for measuring and analyzing electrical variables (Power Analyzer Device), where the measurements were taken during two periods under different conditions. We found that the total distortion resulting from the voltage and current harmonics during the first period, respectively, is (0.6%, 1.7%), and the discrete (single) harmonics of the voltage and current, as well as the voltage deviation and vibration during the first period, respectively, are (5%, 4%), as well as the frequency deviation (1.1%).) within the standard limits in the Syrian network. As for the voltage deviation and vibration in the second period, respectively (-0.36%, 2.63%), the frequency deviation (1.59%) was also within the standard limits. As for the frequency vibration in the two periods, it exceeded the permissible value, and an increase in the harmonic distortion of the two waves was observed. The voltage and current during the second period at low generation conditions respectively (1.4%, 1.8%) increased slightly but remained within the standard limits.

Keywords: photovoltaic generation - analysis of electrical variables - voltage deviation - frequency deviation - harmonics

١-المقدمة:

تتجه الأنظار في الآونة الأخيرة إلى استثمار الطاقة الشمسية في محطات كهروضوئية باستطاعات كبيرة لإنتاج الطاقة الكهربائية وضخها إلى الشبكة العامة، حيث تعد كلفة إنشاء هذا النوع من المحطات أقل بشكل ملحوظ من كلفة إنشاء محطات التوليد التقليدية (بخارية - غازية) بالإضافة إلى سهولة تركيبها وبساطة مكوناتها وانخفاض كلفة صيانتها كونها لا تحتاج إلى نظام التخزين، وكما لا ننسى أن هذه المحطات تعد صديقة للبيئة حيث لا ينطلق منها أي نوع من الغازات الدفيئة مقارنة بالمحطات التقليدية والتي تعد ملوثاً كبيراً للبيئة بسبب الغازات التي ترافق عملية إنتاج الطاقة الكهربائية [1].

تعد محافظة طرطوس رائدة على مستوى القطر في مجال المحطات الكهروضوئية، حيث تم ربط أول محطة كهروضوئية، والضخ على الشبكة باستطاعة 180 kW ، وهي أول محطة في سوريا من نوعها، وتم وصلها إلى الشبكة بشهر حزيران عام 2017، ثم توالى المشاريع الكهروضوئية في ظل دعم وتشجيع وزارة الكهرباء واستطاعات مختلفة حيث بلغ عدد مشاريع الطاقة الشمسية المنفذة بمحافظة طرطوس لغاية الآن /٣٩/ مشروع باستطاعة إجمالية حوالي 28MW، وإن الطلب على الاستثمار بإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية متزايد من قبل المستثمرين لما تقدمه الوزارة من تسهيلات وأسعار تشجيعية للاستثمار بهذا المجال، وقد أصدرت الدولة مجموعة من القوانين والقرارات الناظمة لهذا النوع من الاستثمارات وأهمها كود توزيع الكهرباء لعام ٢٠١٦ وقانون الكهرباء رقم /32/ والقرار رقم ١٦٩١ لعام ٢٠٢٢ والذي يحدد جودة الطاقة المنتجة من المشاريع والأنظمة الكهروضوئية والقيم العظمى للتوافقيات الناجمة عن المشروع أو النظام الكهروضوئي وفق IEEE 519-1992 – Harmonic Limits حيث أن المستوى الأعظمى للتوافقيات في حالات التشغيل الطبيعية يجب أن لا يتجاوز القيم المبينة في الجدول رقم (١).

الجدول (١) المستوى الأعظمى للتوافقيات في الشبكة السورية

توتر نقطة الربط	المجموع الإجمالي للتوافقيات	التوافقية الواحدة
التوتر المنخفض	5%	3%
التوتر المتوسط	4%	2.5%
التوتر العالي ٦٦	3%	2%
التوتر العالي ٢٣٠	2%	1.5%

وكذلك حدد القرار القيمة العظمى لانحراف واهتزاز الجهد والذي يعد من أهم معايير جودة الطاقة الكهربائية بنسبة لا تتجاوز $\pm 6\%$ حيث إن ارتفاع الجهد يؤثر في إجهاد المواد العازلة للتجهيزات الكهربائية الذي يؤدي مع الزمن إلى انهيارها، وتسبب النبضات العالية للجهد تخريب للبيانات المخزنة في الحواسيب، وحدوث تشوهات في الدارات الالكترونية، وانهيار بعض أجزائها، أما انخفاض الجهد فيؤدي إلى زيادة المفايد في الآلات الكهربائية وزيادة التسخين، والاهتزازات والتي قد تسبب انهياراً ميكانيكياً للمحركات، وكذلك يؤثر في عزم الإقلاع للمحركات الذي يتناسب مع مربع الجهد وانحراف الجهد يؤثر بشكل مباشر في أداء منابع الضوئية وأجهزة الإنارة وعدم استقرار عملها [2].

أما بالنسبة لإنحراف واهتزاز التردد حسب المواصفات القياسية السورية يجب أن لا يتجاوز $\pm 2\%$ ويؤثر اهتزاز التردد في عمل ووثوقية التجهيزات الكهربائية وزيادة مفايد الاستطاعة والتوتر، وفي بعض الحالات يؤدي في بعض التجهيزات إلى حدوث الطنين [3].

ومع تزايد أعداد أنظمة الطاقة الكهروضوئية الموصولة على شبكة التوزيع بدأت العديد من التحديات والمشاكل بالظهور والتأثير على الشبكة، ويختلف هذا التأثير حسب موقع ربط محطة الطاقة الشمسية وحجمها ونسبة تغلغل المحطات الكهروضوئية [4]، مما أدى إلى إجراء العديد من الدراسات حيث قام الباحثون بدراسة التأثيرات المحتملة لأنظمة الكهروضوئية على شبكة التوزيع حيث تم دراسة النظام الكهروضوئي لشركة تنمية النفط في عمان - ميناء الفحل، وتوصل الباحثون من خلال القياسات بواسطة جهاز محلل الشبكة أن التوافقيات ضمن الحدود المنصوص عليها في كودي التوزيع العماني والعالمي، ولكن وجد الباحثون تذبذب في الجهد وعدم استقراره والذي لا يتوافق مع كود التوزيع مما يتطلب مراقبة النظام عن كثب [5].

كما قام مجموعة من الباحثين بإجراء دراسة لتقييم تأثيرات الأنظمة الكهروضوئية المربوطة مع شبكة التوزيع وذلك بدراسة حالة نظام كهروضوئي باستطاعة 9570 kW مركبة على سطح مشفى في السعودية ووجد الباحثون أن القيم العظمى لتوافقيات الجهد والتيار تجاوزت القيم المسموحة في الكود IEEE 519-2014 Harmonic Limits -، لذلك اقترح الباحثون استخدام انفرترات ذات موجة جيبيية نقية ذو نظام ملاحقة شمسية نوع MPPT (maximum power point Tracking) عوضاً عن الانفرترات ذات نظام الملاحقة نوع PWM (Pluse-width modulation) أو استخدام مرشحات لتقليل تأثير التوافقيات [6].

كذلك قام الباحثون بإجراء محاكاة باستخدام الماتلاب لنظام كهروضوئي مربوط مع الشبكة في الجزائر، ومن نتائج المحاكاة توصل الباحثون أن نسبة توافقيات التيار 11.3% وبالتالي تجاوزت الحدود في IEEE Harmonic Limits - 1992-519، لذلك قام الباحثون بتصميم مرشح LC وإجراء المحاكاة وتبين انخفاض نسبة توافقيات التيار لتصبح ضمن الحدود المسموح بها [7].

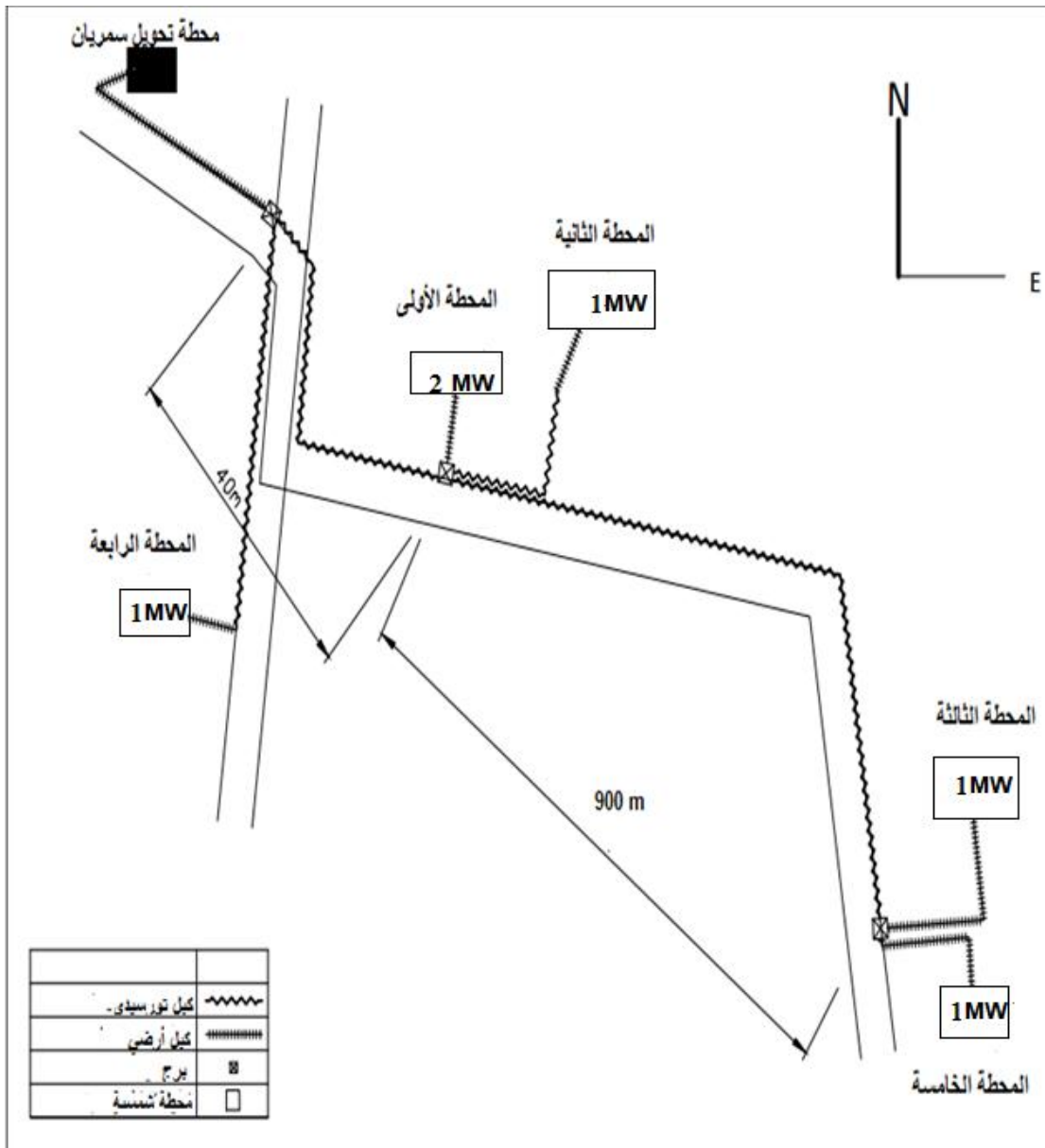
2- أهمية البحث وأهدافه:

من خلال ما سبق نجد أن تحليل أداء نظام كهروضوئي من خلال قياس وتحليل المتغيرات الكهربائية وكذلك دراسة استقرار الجهد والتردد يعطينا فكرة واضحة عن تأثير ربط المحطة مع الشبكة العامة في المحطة قيد الدراسة وهذه المتغيرات هي (الجهد (V) - التردد (HZ) - عامل الاستطاعة (P.F) - التوافقيات الكلية في الجهد - التوافقيات الكلية في التيار - التوافقيات المنفصلة في كل من موجتي التيار والجهد)، وعليه تم في هذا البحث تحليل أداء نظام كهروضوئي باستطاعة 6.188 MW متصل مع الشبكة في ريف طرطوس موزع في قريتي سمريان ودير الحجر، حيث تم أخذ القياسات على خرج النظام على خط توتر متوسط 20kV في محطة تحويل سمريان 20/66kV، وذلك باستخدام جهاز قياس وتحليل المتغيرات الكهربائية Power Analyzer Device.

3- مواد البحث وطرقه:

قمنا بإجراء قياس المتغيرات الكهربائية في محطة كهروضوئية باستطاعة 6.188 MW في منطقة سمريان في محافظة طرطوس، بالاعتماد على جهاز محلل الشبكة الكهربائية (Power Analyzer Device) المتواجد في الشركة العامة لكهرباء طرطوس، حيث تتألف المحطة من 5 محطات منفصلة، وتم ربط المحطة مع الشبكة العامة على خط (الطاقة الشمسية) جهد متوسط 20kV من محطة تحويل سمريان 20/66kV،

والانفرتيرات موصولة من خلال 6 محولات استطاعة كل منها 1000 kVA، توتر 20/0.4 kV، والشكل (1) يوضح توزيع المحطات الشمسية:



الشكل (1) توزيع المحطات الكهروضوئية على مخرج محطة سمريان (خط الطاقة الشمسية)

3-1- وصف المحطة الكهروضوئية:

قبل إجراء دراسة المتغيرات الكهربائية في المحطة لابد من وصفها وتحديد التجهيزات الموجودة فيها، حيث تتألف المحطة من ٥ محطات منفصلة (محطة باستطاعة 2.188 MW وأربعة محطات استطاعة كل منها 1000 MW)، والشكل (٢) لجزء من المحطة المدروسة.



الشكل (٢): المحطة الكهروضوئية قيد الدراسة

المحطة الأولى باستطاعة 2.188 MW تتألف من ٦٦٣٠ لوح استطاعة كل منها 330W نوع متعدد البلورات (Polycrystalline) و 32 أنفرتير باستطاعة 60 kW، والمحطات الباقية يتألف كل منها من 3030 لوح شمسي استطاعة كل لوح 330 W نوع أحادي البلورة (Monocrystalline)، و ١٦ أنفرتير استطاعة كل منها 60 kW، ويوجد ٦ محولات استطاعة كل منها 1000 kVA لرفع الجهد من 0.4 kV إلى 20 kV لأن مستوى التوتر المناسب لربط الطاقة المولدة هو 20 kV.

٢-٣ القياسات الكهربائية:

تم قياس المتغيرات الكهربائية للمحطة باستخدام جهاز قياس وتحليل المتغيرات الكهربائية (Power Analyzer Device)، حيث تم تركيب الجهاز على خط توتر متوسط 20kV (خط الطاقة الشمسية) في محطة تحويل سمران خلال فترتين الأولى في ٢٥ / ٨ / ٢٠٢٣ لمدة خمس ساعات بمعدل قياس كل ٣ دقائق الساعة الحادية عشرة صباحاً عند درجة حرارة ٣٢ درجة مئوية ومتوسط الإشعاع شمسي حوالي (1124 w/m^2) والسماء صافية لا يوجد غيوم، والفترة الثانية في ١٢ / ٩ / ٢٠٢٣ لمدة خمس ساعات بمعدل قياس كل 3 دقائق الساعة السابعة صباحاً عند درجة حرارة ٢١ درجة مئوية ومتوسط الإشعاع شمسي حوالي (٥٤٧ w/m^2) ولوحظ وجود بعض الغيوم في السماء خلال فترة القياس.

وتمت مقارنة نتائج القياسات (التوافقية الكلية في الجهد والتيار والتوافقيات المنفصلة لكل منهما) مع الحدود القياسية في الشبكة السورية التي حددها القرار رقم ١٦٩١ لعام ٢٠٢٢ والذي يحدد جودة الطاقة المنتجة من المشاريع والأنظمة الكهروضوئية والقيم العظمى للتوافقيات الناجمة عن المشروع أو النظام الكهروضوئي وفق IEEE 519-1992 – Harmonic Limits. حيث أن المستوى الأعظمي للتوافقيات في حالات التشغيل الطبيعية يجب أن لا يتجاوز القيم المبينة في الجدول رقم (١)، وقمنا بدراسة التوافقيات الفردية ولم نتطرق للتوافقيات الزوجية كونها مطابقة بفرق الصفحة للموجة الجيبية أما الفردية تختلف بفرق صفحة عن التوافقية الأساسية حيث تتحد مع شكل موجة الجهد أو التيار وتندمج معها مما يؤدي إلى حدوث تشويه والذي يسبب زيادة التيار وبالتالي تسخين الكابلات و زيادة الضياعات وتشغيل خاطئ للحمايات.

٤ - النتائج والمناقشة:

من خلال نتائج القياسات نلاحظ أن التوافقية الكلية في الجهد والتيار والتوافقيات المنفصلة لكل منهما ضمن الحدود القياسية في الجدول (١)، ويوضح الجدول (٢) القياسات الكهربائية خلال الفترة الأولى والجدول (٣) القياسات الكهربائية خلال الفترة الثانية.

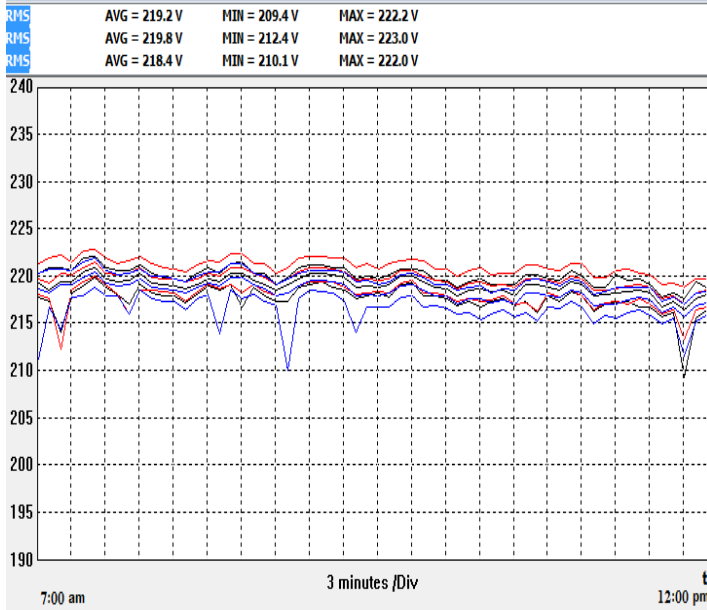
جدول(٢): القياسات الكهربائية خلال الفترة الأولى باستخدام جهاز Power Analyzer Energy

نتيجة القياس		المتغيرات الكهربائية	
234.5 – 225.6		الجهد (V)	
٤٨.٥٣ – ٤٨.٥٣		التردد (HZ)	
٠.٩		عامل الاستطاعة (P. F)	
التوافقيات			
١.٧- ٠.٥	التوافقية الكلية في التيار %	٠.٦ – ٠.٣	التوافقية الكلية في الجهد %
٠.٤ – ٠	التوافقية الثالثة في التيار %	٠.١ – ٠	التوافقية الثالثة في الجهد %
١.٥ – ٠.١	التوافقية الخامسة في التيار %	٠.٥ – ٠.٢	التوافقية الخامسة في الجهد %
١ – ٠	التوافقية السابعة في التيار %	٠.٤ – ٠.١	التوافقية السابعة في الجهد %
٠	التوافقية التاسعة في التيار %	0	التوافقية التاسعة في الجهد %
٠.٢ – ٠	التوافقية الحادية عشر في التيار %	٠.١ – ٠	التوافقية الحادية عشر في الجهد %
٠.٣ – ٠	التوافقية الثالثة عشر في التيار %	٠.١ – ٠	التوافقية الثالثة عشر في الجهد %
٠	التوافقية الخامسة عشر في التيار %	٠	التوافقية الخامسة عشر في الجهد %

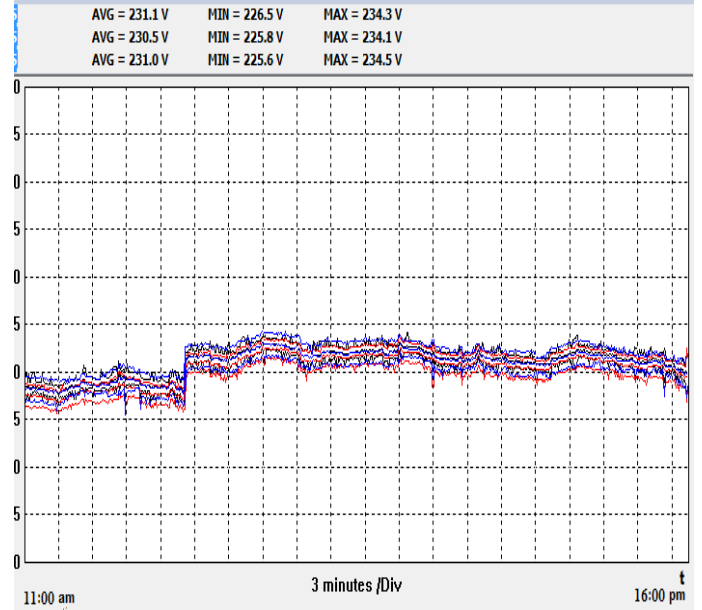
جدول(٣): القياسات الكهربائية خلال الفترة الثانية باستخدام جهاز Power Analyzer Energy

نتيجة القياس		المتغيرات الكهربائية	
221.6 – 215.8		الجهد (V)	
٥٠.٠٩ – ٤٨.٥٥		التردد (HZ)	
٠.٦٩		عامل الاستطاعة (P. F)	
التوافقيات			
١.٨- ١.٣	التوافقية الكلية في التيار %	١.٤ – ٠.٣	التوافقية الكلية في الجهد %
٠.٦ – ٠	التوافقية الثالثة في التيار %	٠.٢ – ٠	التوافقية الثالثة في الجهد %
١.٦ – ٠.٩	التوافقية الخامسة في التيار %	١ – ٠	التوافقية الخامسة في الجهد %
١.١ – ٠.٣	التوافقية السابعة في التيار %	٠.٩ – ٠.٣	التوافقية السابعة في الجهد %
٠.١ – ٠	التوافقية التاسعة في التيار %	0	التوافقية التاسعة في الجهد %
٠.٤ – ٠.١	التوافقية الحادية عشر في التيار %	٠.٢ – ٠	التوافقية الحادية عشر في الجهد %
٠.٣ – ٠	التوافقية الثالثة عشر في التيار %	٠.٢ – ٠	التوافقية الثالثة عشر في الجهد %
٠	التوافقية الخامسة عشر في التيار %	٠	التوافقية الخامسة عشر في الجهد %

ويوضح الشكلان (٣-a) و (٣-b) تغير الجهد في المحطة المدروسة مع الزمن:



الشكل (3-b): التغير في الجهد مع الزمن خلال الفترة الثانية



الشكل (3-a): التغير في الجهد مع الزمن خلال الفترة الأولى

من الشكل (3-a) نلاحظ انحراف في الجهد حيث يعرف على أنه الفرق بين قيمة الجهد المقاس U والجهد الاسمي U_n بالنسبة للجهد الاسمي للمحطة قيد الدراسة:

$$\nabla U\% = \frac{U - U_n}{U_n} \times 100 \quad (1)$$

$$\Delta U\% = \frac{231 - 220}{220} \times 100 = 5\%$$

ومن الشكل (3-b) خلال الفترة الثانية كان انحراف الجهد كما يلي:

$$\Delta U\% = \frac{219.2 - 220}{220} \times 100 = -0.36\%$$

ووفق القواعد الخاصة بربط هذا النوع من المشاريع على شبكة التوزيع السورية يسمح بتغير الجهد بنسبة أقصاها $\pm 6\%$ ، ونلاحظ أن تغيرات الجهد مقبولة تماماً رغم تغيير الظروف الجوية والإشعاع الشمسي. وبالنسبة إلى اهتزاز الجهد والذي يعرف على أنه الفرق بين القيمة العظمى والقيمة الدنيا لتغيرات الجهد المتتابة وفق العلاقة التالية:

$$\Delta U\% = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_n} \times 100 \quad (2)$$

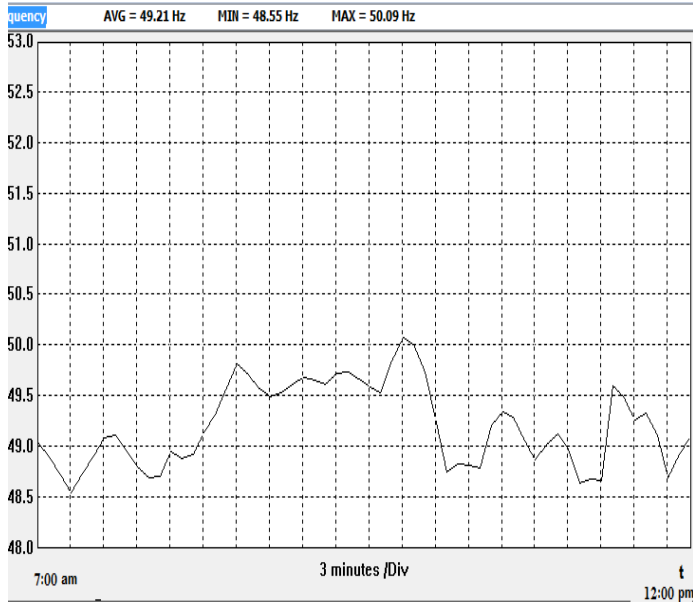
ومن المنحنى (3-a) نلاحظ أن انحراف الجهد كما يلي :

$$\Delta U\% = \frac{234.5 - 225.6}{220} \times 100 = 4\%$$

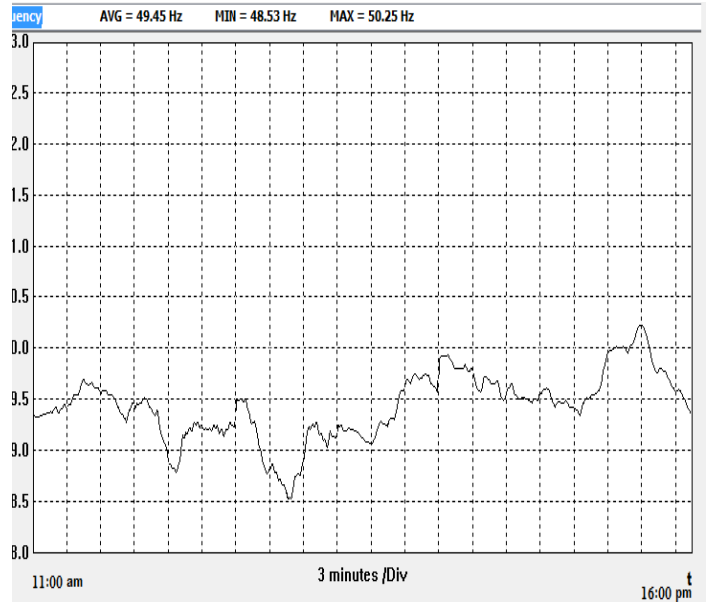
ومن المنحنى (3-b) نلاحظ أن انحراف الجهد كما يلي :

$$\Delta U\% = \frac{221.6 - 215.8}{220} \times 100 = 2.63\%$$

وهذه القيم أصغر من القيمة المسموحة 6% لاهتزاز الجهد حسب النظم القياسية في الشبكة السورية. أما الشكلان (4-a) و (4-b) يوضحان تغير التردد مع الزمن في المحطة المدروسة:



الشكل (a-٤): التغير في التردد مع الزمن خلال الفترة الثانية



الشكل (a-٤): التغير في التردد مع الزمن خلال الفترة الأولى

نلاحظ من المنحني في الشكل (a-٤) انحراف في التردد وهو الفرق بين قيمة التردد الفعلي والتردد الاسمي:

$$\Delta f\% = \frac{f - f_n}{f_n} \times 100 \quad (3)$$

$$\Delta f\% = \frac{50 - 49.45}{50} \times 100 = 1.1\%$$

ومن المنحني في الشكل (b-٤) فإن انحراف التردد كالتالي:

$$\Delta f\% = \frac{50 - 49.21}{50} \times 100 = 1.59\%$$

هذه القيم هي أصغر من القيم المسموحة وهي $\pm 2\%$ حسب النظم القياسية في الشبكة السورية.

أما اهتزاز التردد فهو الفرق بين القيمة العظمى للتردد والقيمة الدنيا له خلال مدة زمنية محددة ومن المنحني في

الشكل (a-٤):

$$\Delta f\% = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_n} \times 100 \quad (4)$$

$$\Delta f\% = \frac{50.25 - 48.53}{50} \times 100 = 3.4\%$$

أما من المنحني في الشكل (b-٤) فكان اهتزاز التردد كما يلي:

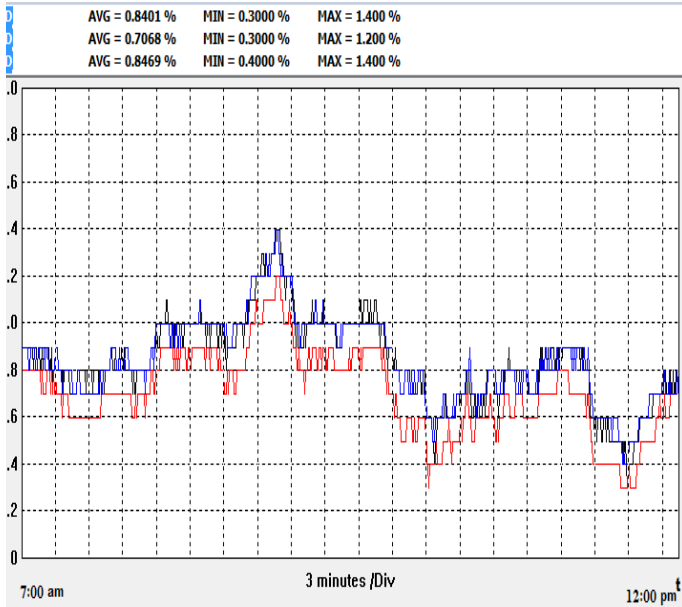
$$\Delta f\% = \frac{50.09 - 48.55}{50} \times 100 = 3.08\%$$

وهذه القيم أكبر من القيمة المسموحة 2% لاهتزاز التردد حسب النظم القياسية في الشبكة السورية ويعود سبب

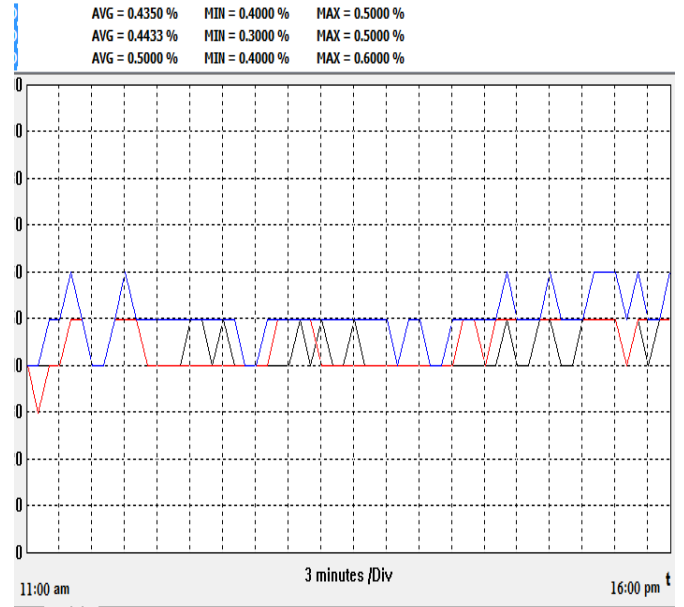
انخفاض التردد إلى عملية المزامنة مع تردد الشبكة العامة حيث تعاني الشبكة حالياً من انخفاض التردد بسبب ظروف

التقنين وزيادة التحميل.

أما بالنسبة للتوافقيات فالأشكال التالية توضح نسب التشوه التوافقي في موجات الجهد والتيار:

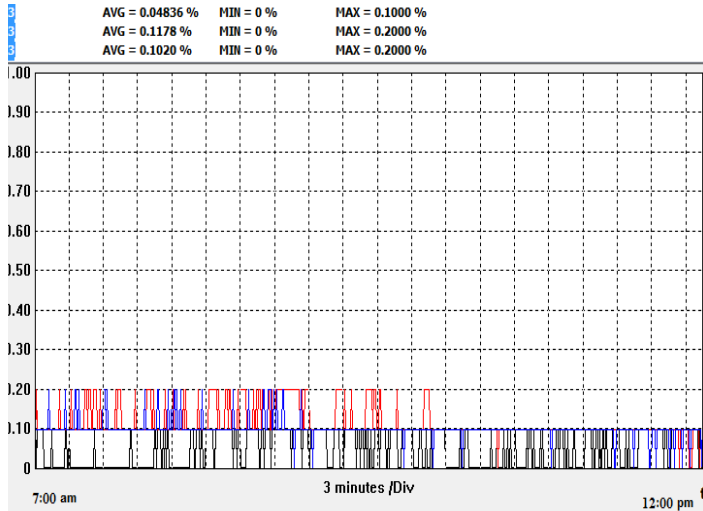


الشكل (٥-b): التوافقية الكلية في الجهد خلال الفترة الثانية

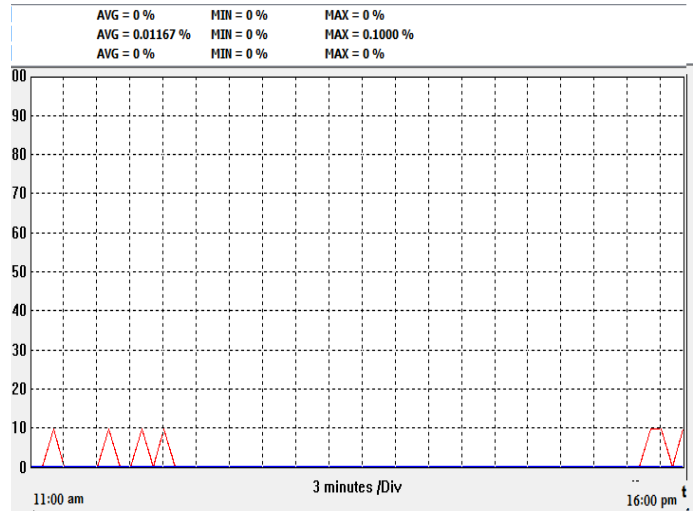


الشكل (٥-a): التوافقية الكلية في الجهد خلال الفترة الأولى

من الشكل (٥-a) نلاحظ أن القيمة العظمى للتوافقية الكلية في الجهد هي ٠.٦ % بينما كانت القيمة الصغرى ٠.٣ %، أما في الشكل (٥-b) فكانت القيم بالترتيب ١.٤ % و ٠.٣ % وفي الحالتين كانت ضمن الحدود القيم المسموح بها في الشبكة السورية.



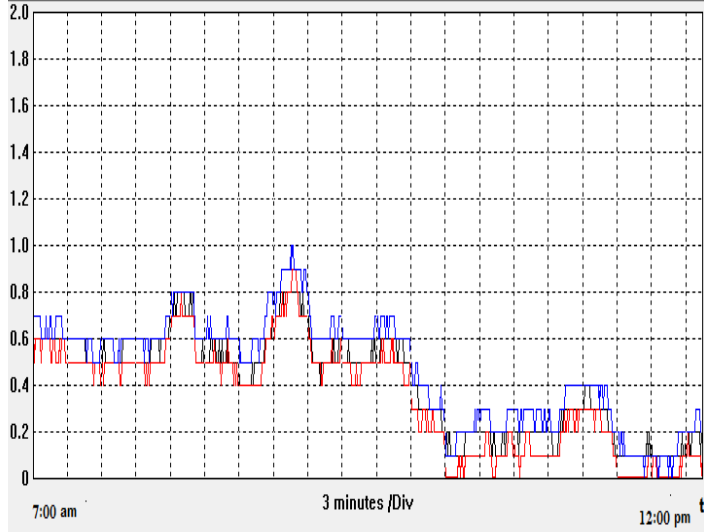
الشكل (٦-b): التوافقية الثالثة في الجهد خلال الفترة الثانية



الشكل (٦-a): التوافقية الثالثة في الجهد خلال الفترة الأولى

أما بالنسبة للتوافقية الثالثة في الجهد فنلاحظ من الشكل (٦-a) أن القيمة العظمى للتوافقية الثالثة في الجهد هي ٠.١ % بينما كانت القيمة الصغرى ٠ %، أما في الشكل (٦-b) فكانت القيم بالترتيب ٠.٢ % و ٠ % وفي الحالتين كانت ضمن الحدود القيم المسموح بها في الشبكة السورية.

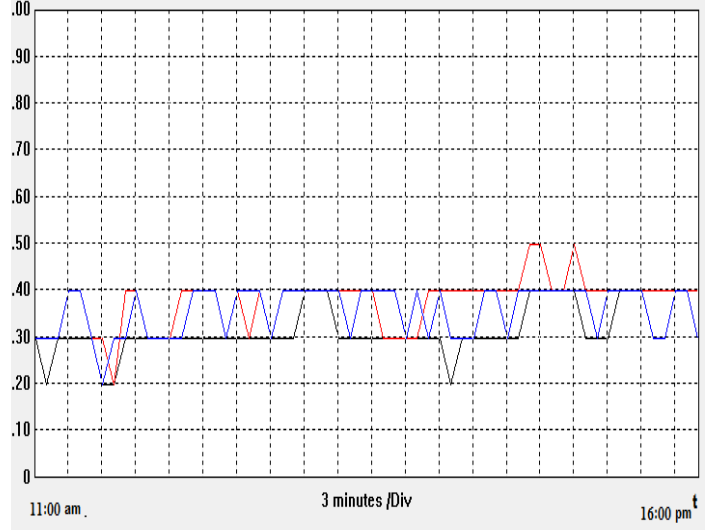
AVG = 0.4097 % MIN = 0.1000 % MAX = 0.8000 %
 AVG = 0.3561 % MIN = 0 % MAX = 0.9000 %
 AVG = 0.4725 % MIN = 0 % MAX = 1.000 %



الشكل (٧-b): التوافقية الخامسة في الجهد خلال الفترة الثانية

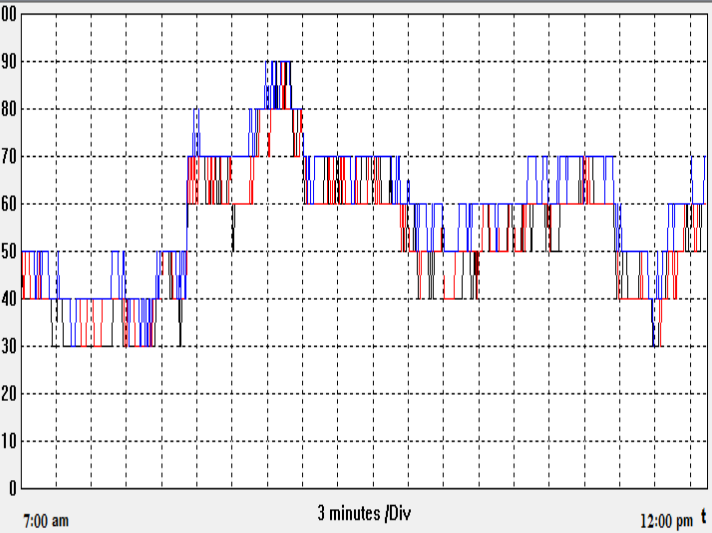
وكذلك الأمر بالنسبة للتوافقية الخامسة كانت القيمة العظمى كما هو موضح في الشكل (٧-a) قيمتها ٠.٥% بينما كانت القيمة الصغرى ٠.٢%، أما في الشكل (٧-b) فكانت القيم بالترتيب ١% و ٠% وفي الحالتين كانت ضمن الحدود القيم المسموح بها في الشبكة السورية.

AVG = 0.3150 % MIN = 0.2000 % MAX = 0.4000 %
 AVG = 0.3767 % MIN = 0.2000 % MAX = 0.5000 %
 AVG = 0.3583 % MIN = 0.2000 % MAX = 0.4000 %



الشكل (٧-a): التوافقية الخامسة في الجهد خلال الفترة الأولى

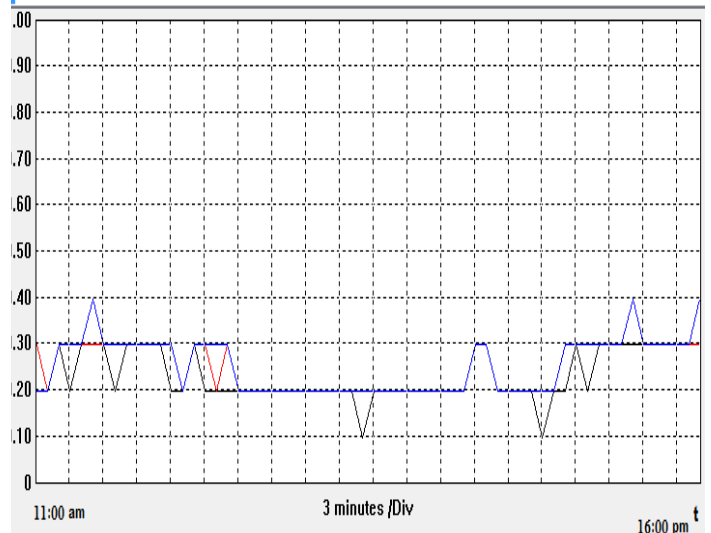
AVG = 0.5201 % MIN = 0.3000 % MAX = 0.9000 %
 AVG = 0.5334 % MIN = 0.3000 % MAX = 0.9000 %
 AVG = 0.5936 % MIN = 0.3000 % MAX = 0.9000 %



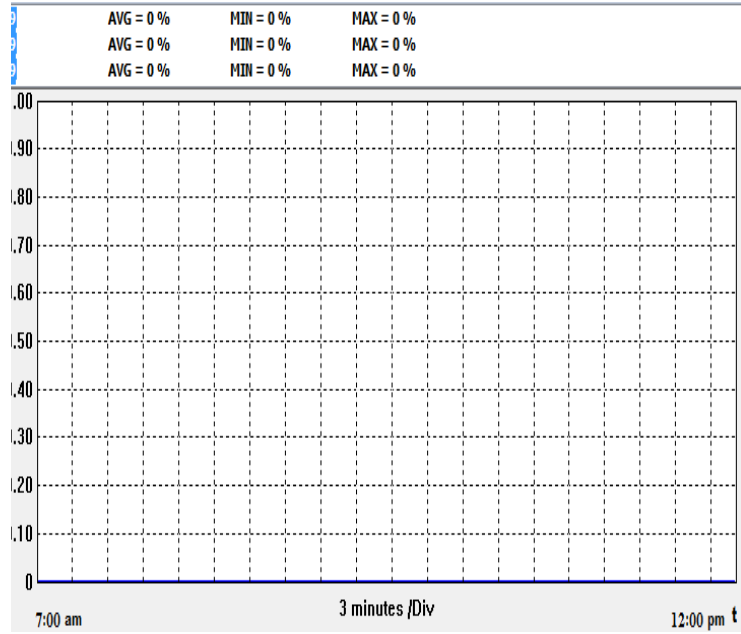
الشكل (٨-b): التوافقية السابعة في الجهد خلال الفترة الثانية

وكما نلاحظ من الشكلين (٨-a) و (٨-b) أن قيم التوافقية السابعة للجهد وفق ما يلي: القيم العظمى (٠.٤% و ٠.٩%) أما القيم الصغرى (٠.١% و ٠.٣%) وهذه القيم أيضاً ضمن الحدود المسموح بها.

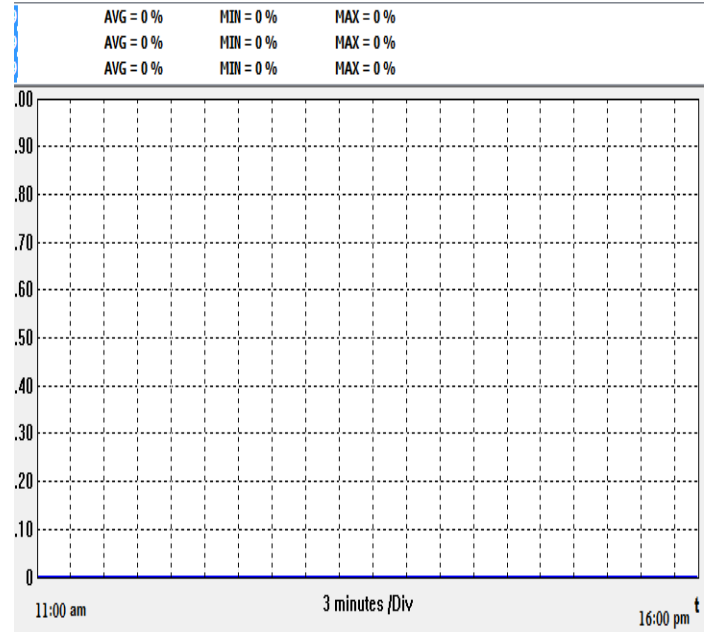
AVG = 0.2333 % MIN = 0.1000 % MAX = 0.3000 %
 AVG = 0.2517 % MIN = 0.2000 % MAX = 0.4000 %
 AVG = 0.2550 % MIN = 0.2000 % MAX = 0.4000 %



الشكل (٨-a): التوافقية السابعة في الجهد خلال الفترة الأولى

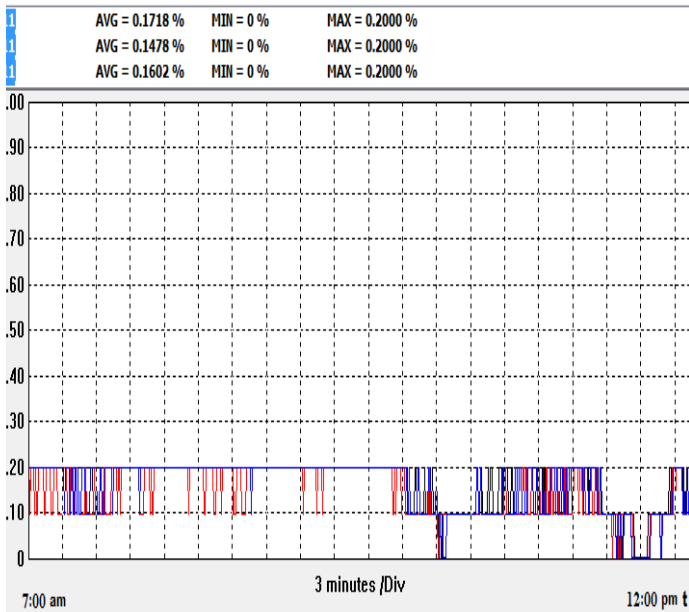


الشكل (٩-ب): التوافقية التاسعة في الجهد خلال الفترة الثانية

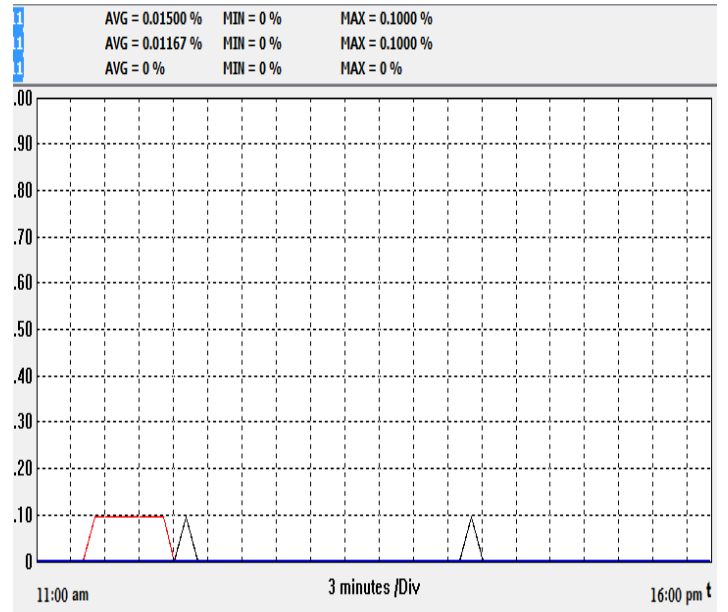


الشكل (٩-ا): التوافقية التاسعة في الجهد خلال الفترة الأولى

وبالنسبة للتوافقية التاسعة في الجهد كما هو واضح في الشكلين (٩-ا) و(٩-ب) فهي صفر.



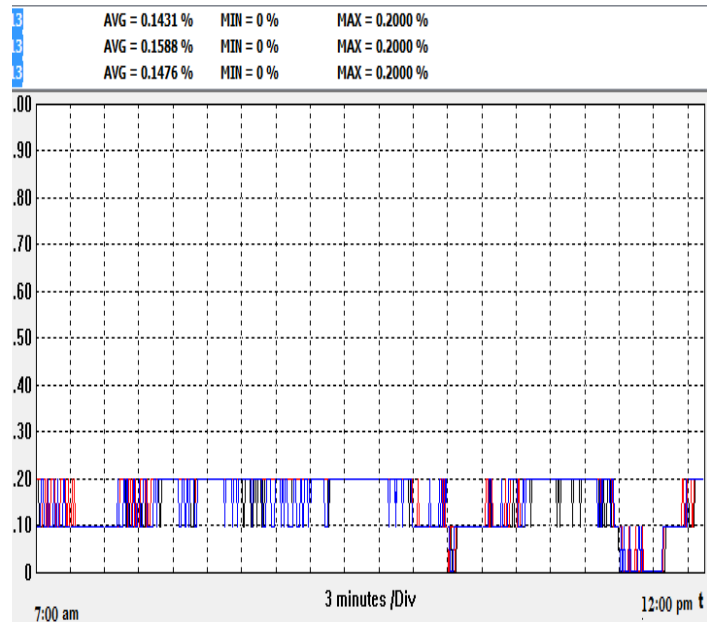
الشكل (١٠-ب): التوافقية الحادية عشرة في الجهد خلال الفترة الثانية



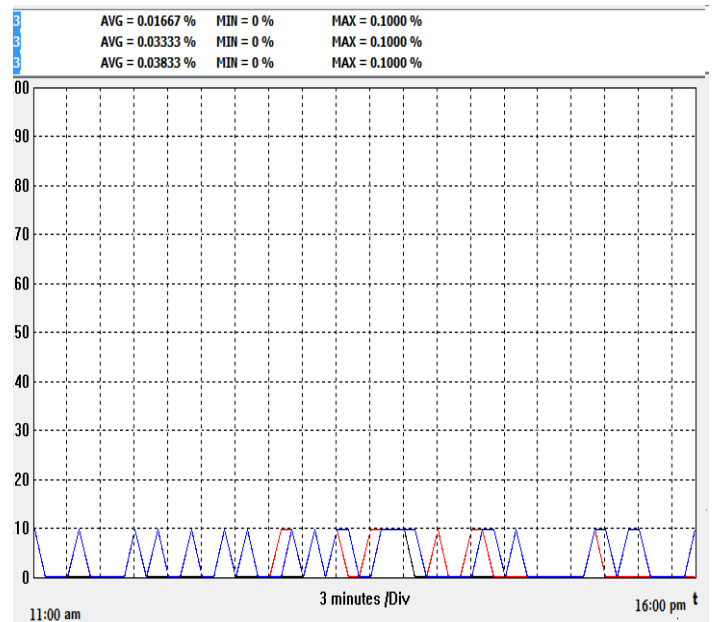
الشكل (١٠-ا): التوافقية الحادية عشرة في الجهد خلال الفترة الأولى

والشكل (١٠-ا) يبين أن القيمة العظمى للتوافقية الحادية عشرة في الجهد هي ٠.١% بينما الصغرى

٠% وفي الشكل (١٠-ب) كذلك الأمر (٠.٢% و ٠%) وهي ضمن القيم القياسية.

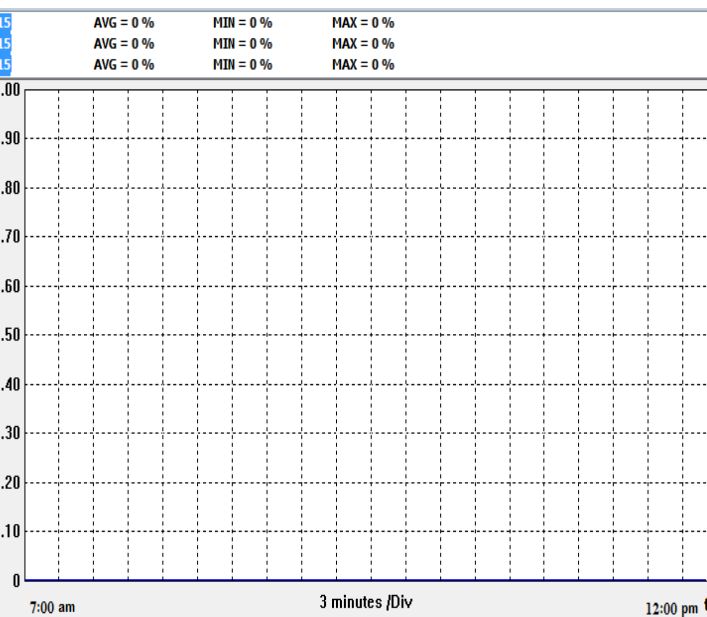


الشكل (١١-b): التوافقية الثالثة عشرة في الجهد خلال الفترة الثانية

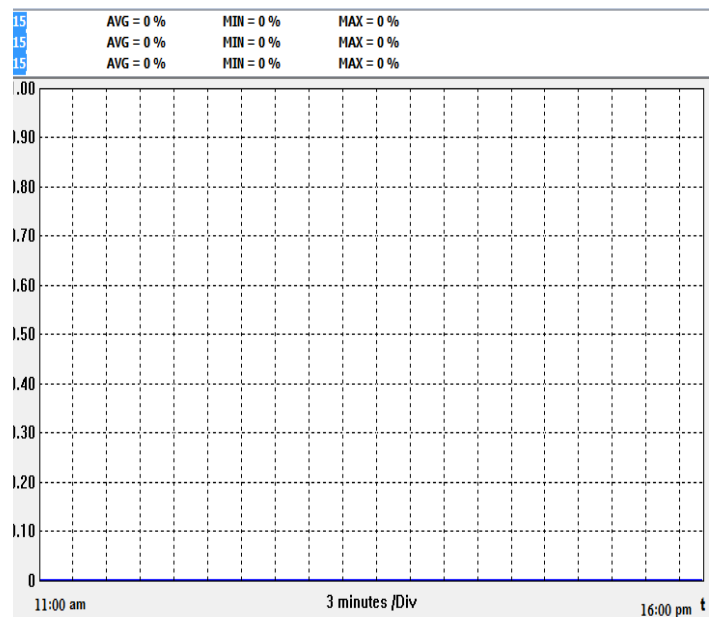


الشكل (١١-a): التوافقية الثالثة عشرة في الجهد خلال الفترة الأولى

أما بالنسبة للتوافقية الثالثة عشرة في الجهد فنلاحظ من الشكل (١١-a) أن القيمة العظمى ٠.١% بينما كانت القيمة الصغرى ٠%، أما في الشكل (١١-b) فكانت القيم بالترتيب ٠.٢% و ٠% وفي الحالتين كانت ضمن الحدود القيم المسموح بها في الشبكة السورية.

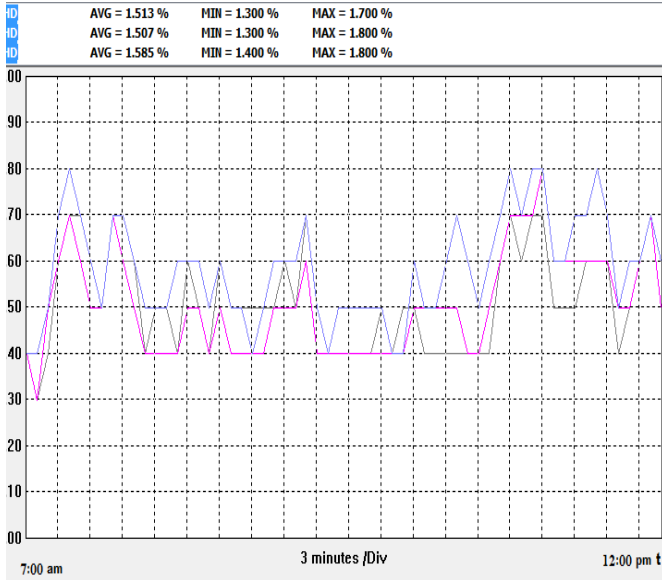


الشكل (١٢-b): التوافقية الخامسة عشرة في الجهد خلال الفترة الثانية

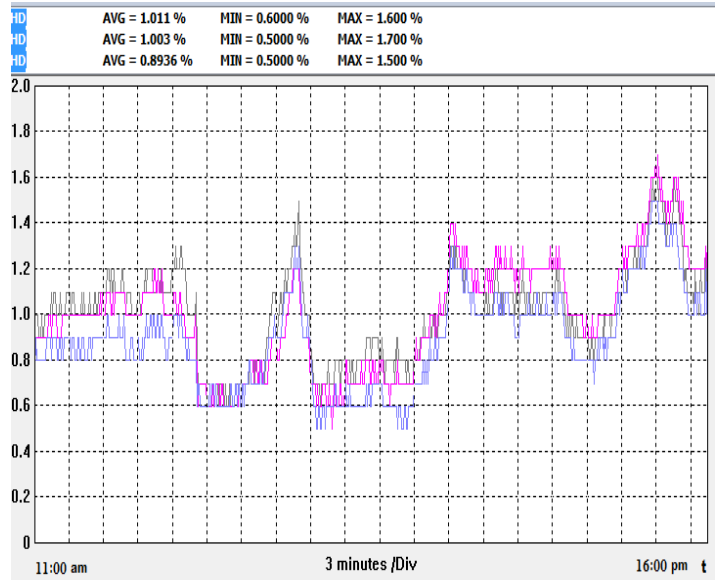


الشكل (١٢-a): التوافقية الخامسة عشرة في الجهد خلال الفترة الأولى

وبالنسبة للتوافقية الخامسة عشرة في الجهد كما هو واضح في الشكلين (١٢-a) و (١٢-b) فهي صفر.

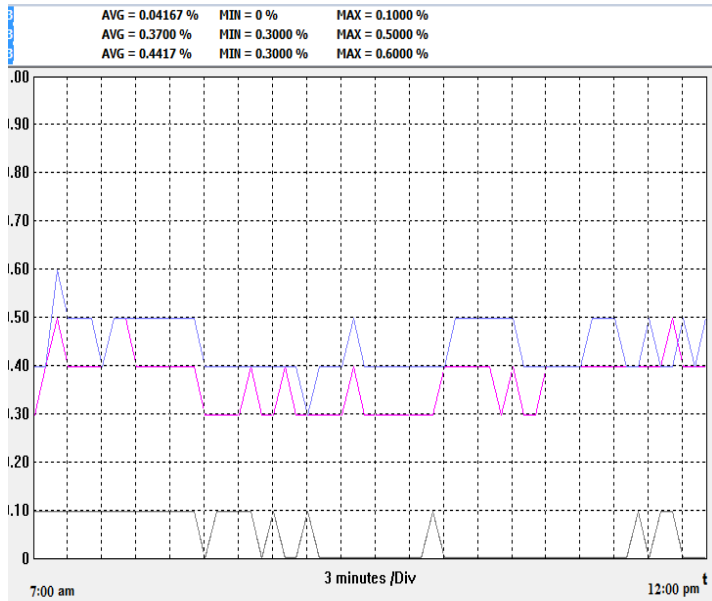


الشكل (١٣-ب): التوافقية الكلية في التيار خلال الفترة الثانية

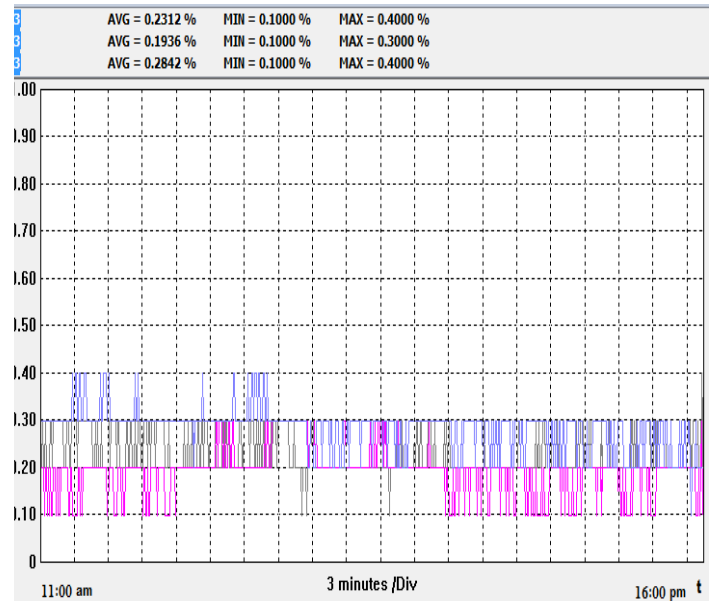


الشكل (١٣-أ): التوافقية الكلية في التيار خلال الفترة الأولى

وبالانتقال إلى توافقيات التيار نلاحظ من الشكل (١٣-أ) أن القيمة العظمى للتوافقية الكلية في التيار هي ١.٧% بينما كانت القيمة الصغرى ٠.٥%، أما في الشكل (١٣-ب) فكانت القيم بالترتيب ١.٨% و ١.٣% وفي الحالتين كانت ضمن الحدود القيم المسموح بها في الشبكة السورية.

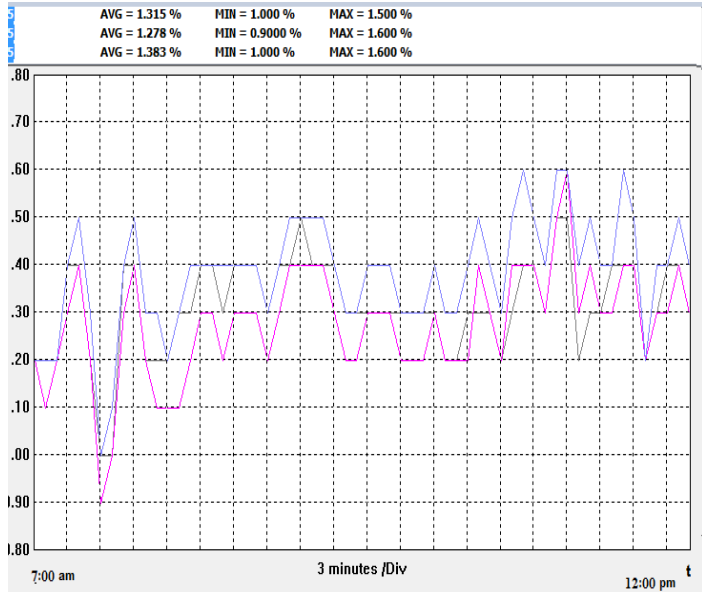


الشكل (١٤-ب): التوافقية الثالثة في التيار خلال الفترة الثانية

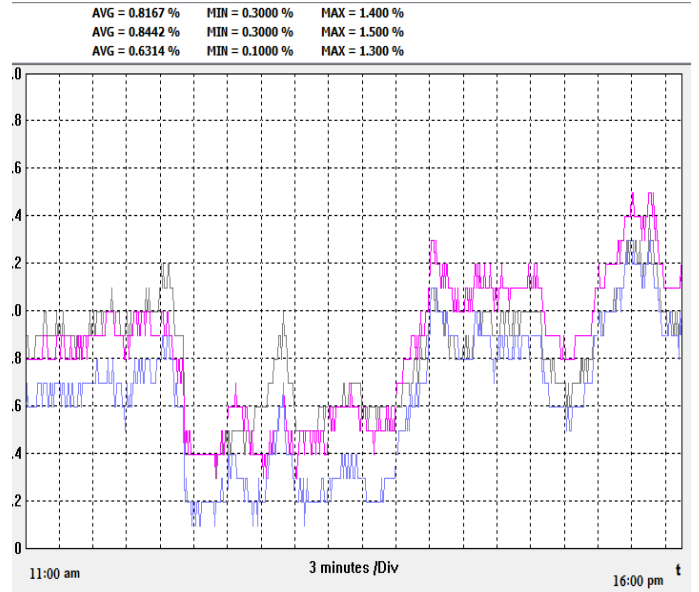


الشكل (١٤-أ): التوافقية الثالثة في التيار خلال الفترة الأولى

أما بالنسبة للتوافقية الثالثة في التيار فنلاحظ من الشكل (١٤-أ) أن القيمة العظمى للتوافقية الثالثة في التيار هي ٠.٤% بينما كانت القيمة الصغرى ٠.١%، أما في الشكل (١٤-ب) فكانت القيم بالترتيب ٠.٦% و ٠% وفي الحالتين كانت ضمن الحدود القيم المسموح بها في الشبكة السورية.

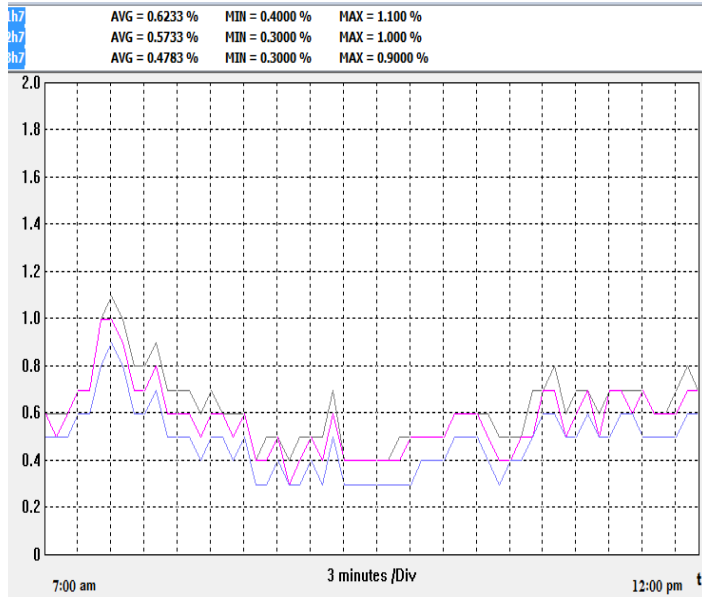


الشكل (١٥-b): التوافقية الخامسة في التيار خلال الفترة الثانية

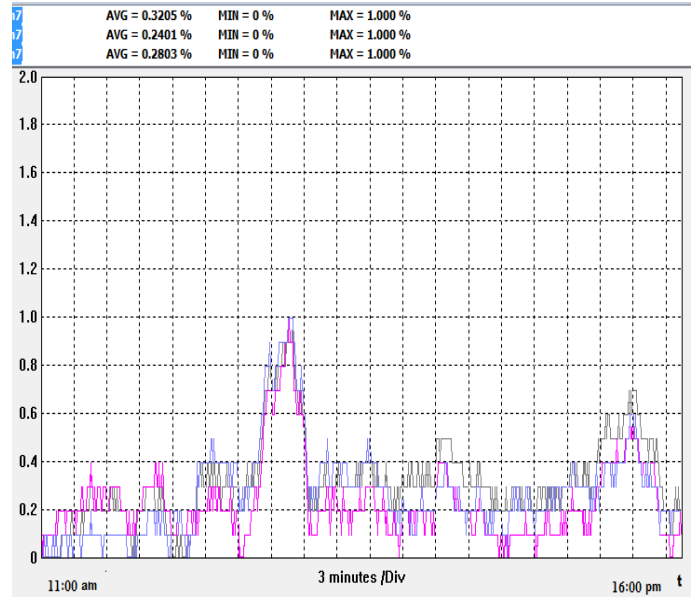


الشكل (١٥-a): التوافقية الخامسة في التيار خلال الفترة الأولى

وكذلك الأمر بالنسبة للتوافقية الخامسة كانت القيمة العظمى كما هو موضح في الشكل (١٥-a) ١.٥% بينما كانت القيمة الصغرى ٠.١%، أما في الشكل (١٥-b) فكانت القيم بالترتيب ١.٦% و ٠.٩% وفي الحالتين كانت ضمن الحدود القيم المسموح بها في الشبكة السورية.

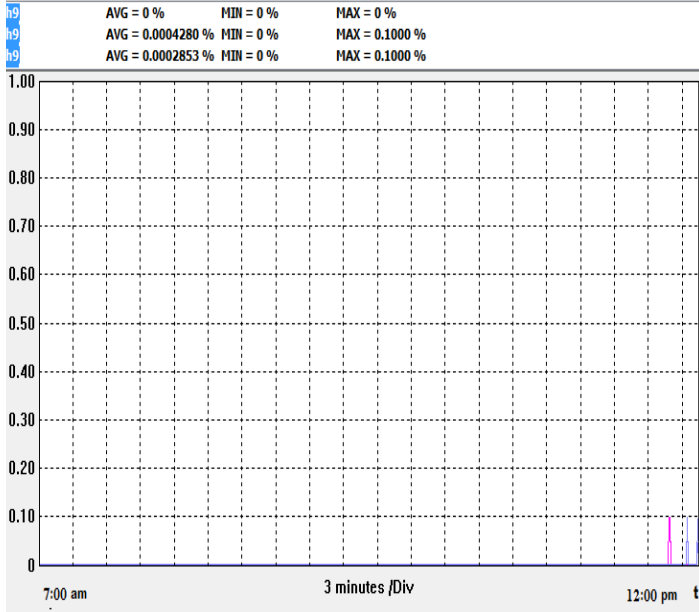


الشكل (١٦-b): التوافقية السابعة في التيار خلال الفترة الثانية

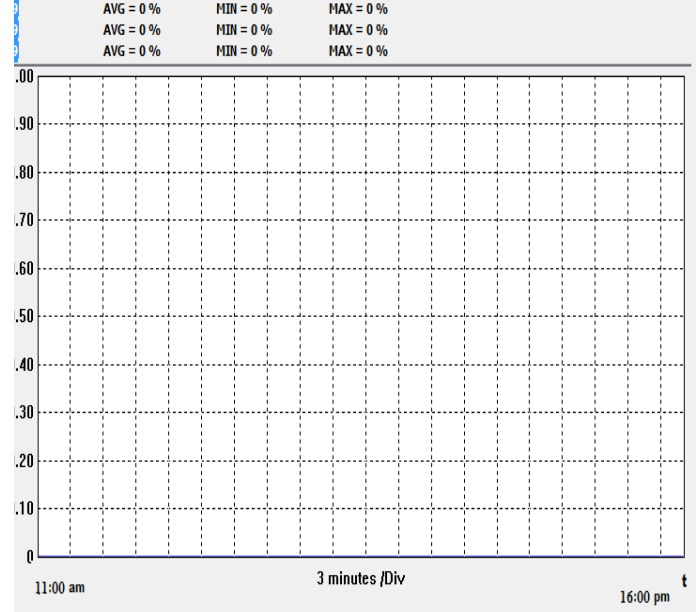


الشكل (١٦-a): التوافقية السابعة في التيار خلال الفترة الأولى

وكما نلاحظ من الشكلين (١٦-a) و (١٦-b) أن قيم التوافقية السابعة للتيار كما يلي القيم العظمى (١% و ١.١%) أما القيم الصغرى (٠% و ٠.٣%) أيضاً ضمن الحدود المسموح بها.

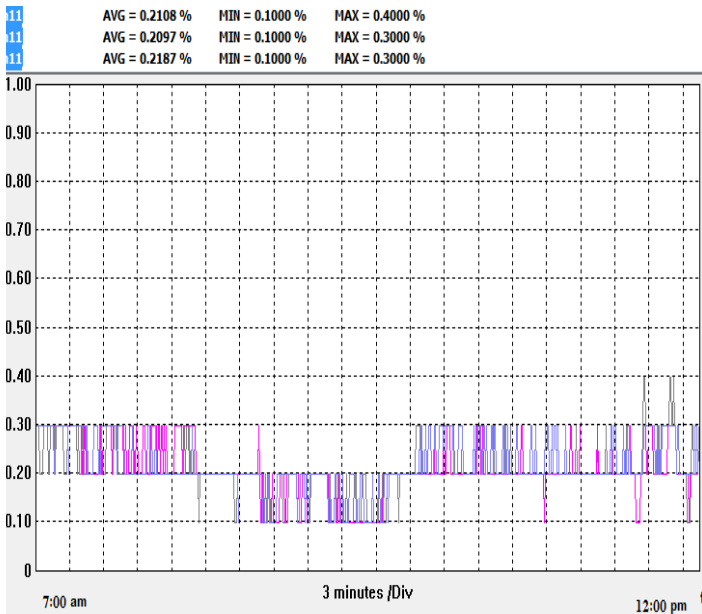


الشكل (17-b): التوافقية التاسعة في التيار خلال الفترة الثانية

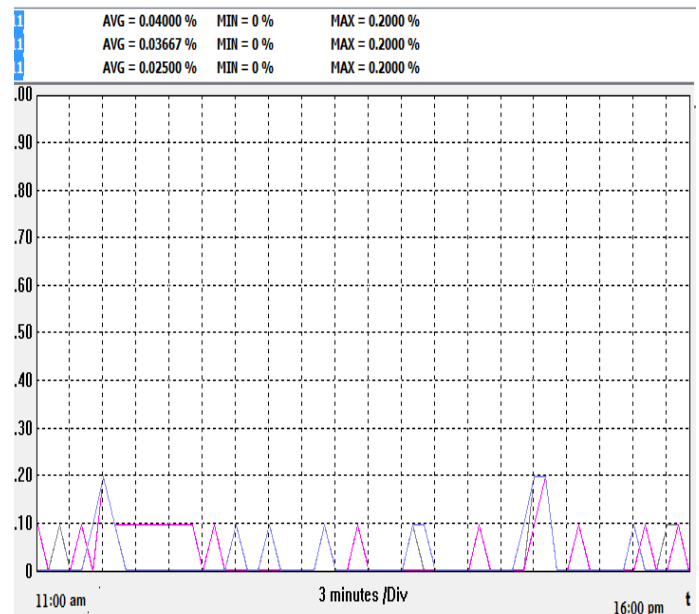


الشكل (17-a): التوافقية التاسعة في التيار خلال الفترة الأولى

وبالنسبة للتوافقية التاسعة في التيار كما هو واضح في الشكلين (17-a) و(17-b) فهي صفر.



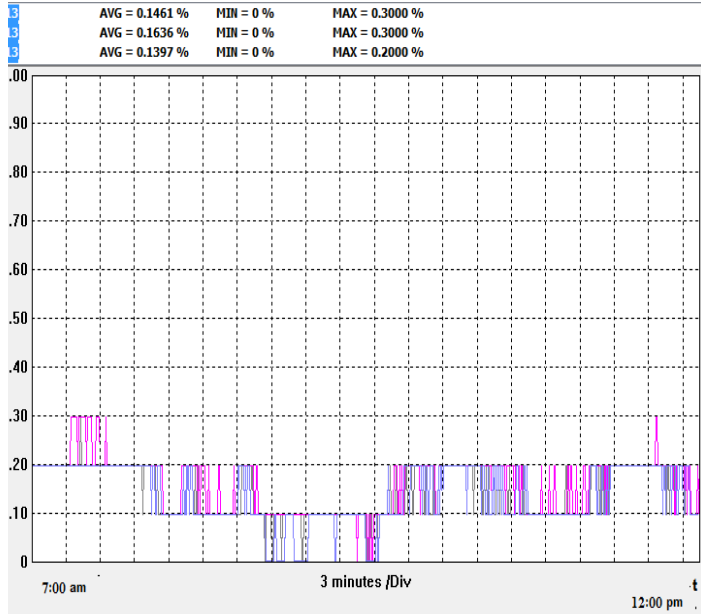
الشكل (18-b): التوافقية الحادية عشرة في التيار خلال الفترة الثانية



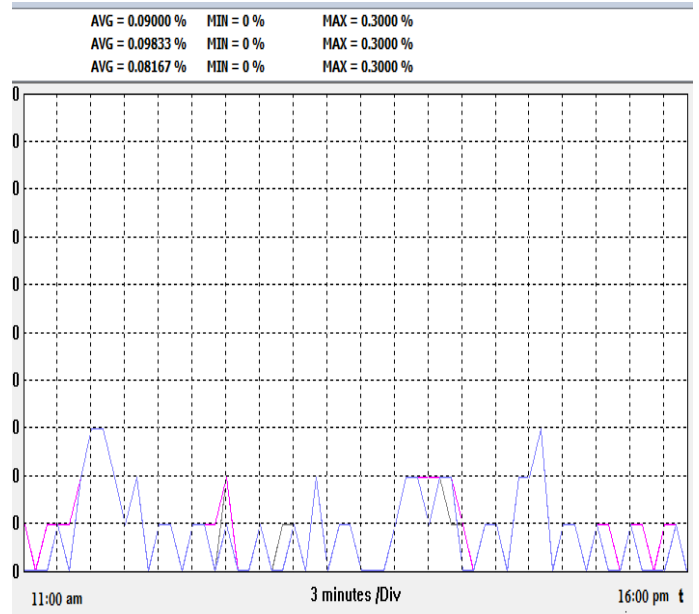
الشكل (18-a): التوافقية الحادية عشرة في التيار خلال الفترة الأولى

والشكل (18-a) يبين أن القيمة العظمى للتوافقية الحادية عشرة في التيار هي 0.2% بينما الصغرى

0% وفي الشكل (18-b) كذلك الأمر (0.4% و 0.1%) وهي ضمن القيم القياسية.

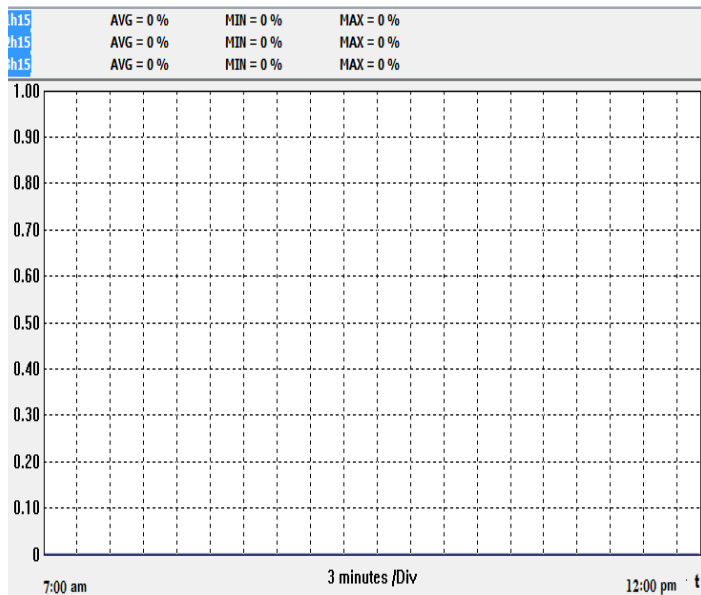


الشكل (١٩-ب): التوافقية الثالثة عشرة في التيار خلال الفترة الثانية

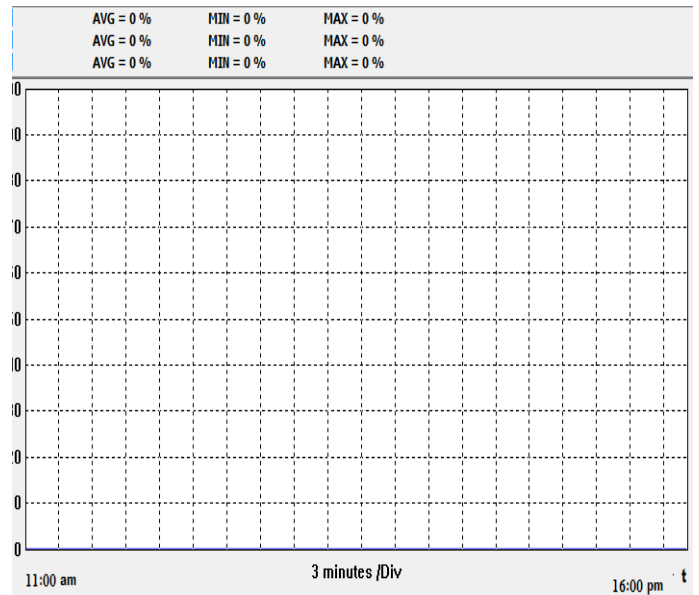


الشكل (١٩-أ): التوافقية الثالثة عشرة في التيار خلال الفترة الأولى

أما بالنسبة للتوافقية الثالثة عشرة في التيار فنلاحظ من الشكل (١٩-أ) أن القيمة العظمى هي ٠.٣% بينما كانت القيمة الصغرى ٠%، أما في الشكل (١٩-ب) فكانت القيم بالترتيب ٠.٣% و ٠% وفي الحالتين كانت ضمن الحدود القيم المسموح بها في الشبكة السورية.



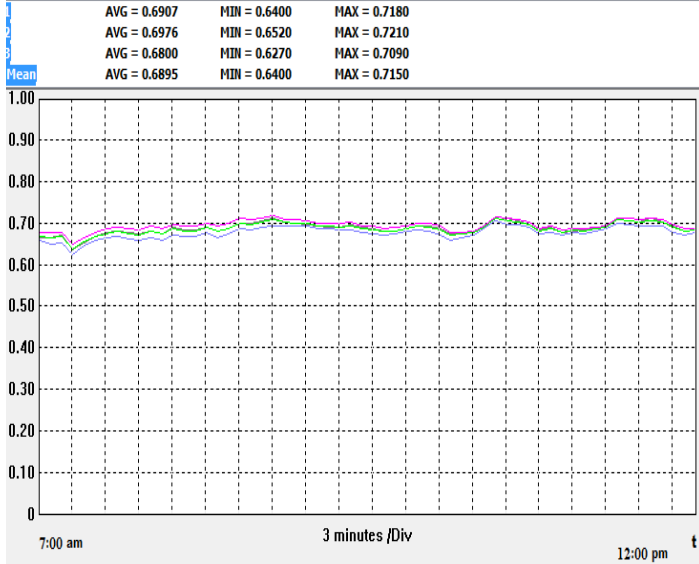
الشكل (٢٠-ب): التوافقية الخامسة عشرة في التيار خلال الفترة الثانية



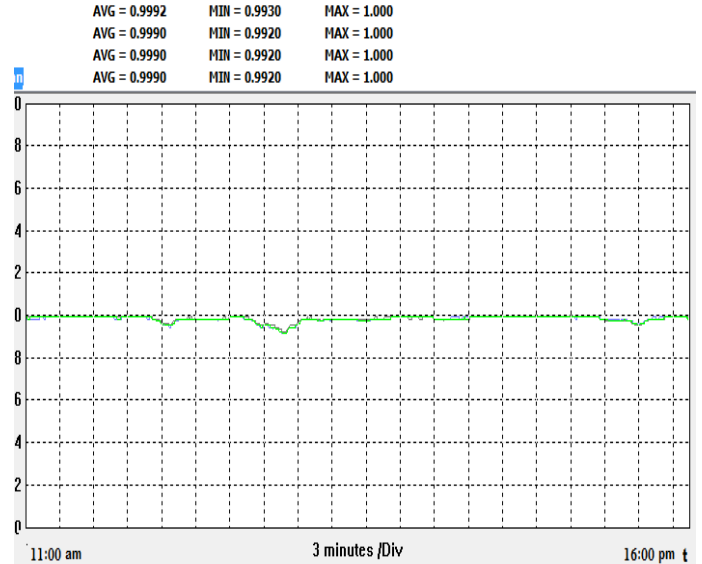
الشكل (٢٠-أ): التوافقية الخامسة عشرة في التيار خلال الفترة الأولى

وبالنسبة للتوافقية الخامسة عشرة في التيار كما هو واضح في الشكلين (٢٠-أ) و (٢٠-ب) فهي صفر. وكما نلاحظ من المنحنيات أن التوافقيات ضمن القيم المسموحة حسب الجدول (١) وذلك لأن الانفترتات في المحطة المدروسة ذات كفاءة عالية (٩٨.٦%) وعامل الاستطاعة (٠.٩٩) ويحوي على مرشحات ($AC\ Filter\ THD < 3\%$) ذات موجة جيبية نقية ذو ملاحقة شمسية نوع MPPT حسب شهادات المطابقة مع المواصفات العالمية EN 26109- EN

وبالتالي تؤدي إلى تشويهاً خاصاً عند مستويات منخفضة من الطاقة وفي هذه الحالة يمكن أن تتوقف حلقات التحكم بالتيار عن العمل، ولا نستطيع أن نهمل أيضاً تأثير المستهلكين على التشوه التوافقي وفي حالتنا المدروسة معظم الأحمال زراعية ومنزلية (أحمال خطية) ولا يوجد أحمال صناعية (أحمال لاخطية).



الشكل (21-b): عامل الاستطاعة في التيار خلال الفترة الثانية



الشكل (21-a): عامل الاستطاعة خلال الفترة الأولى

وكما نلاحظ من الشكلين (21-a) و (21-b) أن قيم عامل الاستطاعة كما يلي (0.69 و 0.9).

ونلاحظ انخفاض عامل الاستطاعة عند مستويات التوليد المنخفضة.

٥ - الاستنتاجات والتوصيات:

تعد مسألة تحليل أداء نظام كهروضوئي متصل مع الشبكة العامة ضرورة ملحة في ظل انتشار هذا النوع من المحطات في سوريا، إذ ينظر إلى هذا النوع من الدراسات كوسيلة لتحديد تأثير الأنظمة الكهروضوئية على الشبكة العامة، ومن خلال القياسات العملية عند نقطة ربط النظام الكهروضوئي مع شبكة التوزيع باستخدام جهاز محلل الشبكة خلال فترتين وبظروف جوية مختلفة حيث وجدنا ما يلي:

١- خلال الفترة الأولى انحراف واهتزاز الجهد على الترتيب (٥%، ٤%) وكذلك انحراف التردد (١.١%) كانت ضمن الحدود القياسية الموصى فيها في الشبكة السورية والنسب المئوية للتوافقيات الكلية لموجتي الجهد والتيار على الترتيب (٠.٦%، ١.٧%) أيضاً ضمن الحدود القياسية.

٢- خلال الفترة الثانية عند إشعاع شمسي منخفض وعندما تكون الطاقة المولدة من الألواح أقل من ٢٠% من الطاقة المقدرة (في الصباح) وظروف التظليل والغيوم لاحظنا أنه كلما نقص التوليد بسبب سلوك الانفترتات كلما زاد التشوه التوافقي في موجتي الجهد والتيار على الترتيب (١.٤%، ١.٨%) لكنها بقيت ضمن الحدود المسموح بها وكذلك الأمر بالنسبة لإنحراف واهتزاز الجهد على الترتيب (٠.٣٦%، ٢.٦٣%) وانحراف التردد (١.٥٩%).

٣- اهتزاز التردد خلال الفترة الأولى (٣.٤%) والثانية (٣.٠٨%) تجاوز النسب القياسية المسموح بها.

٦ - التوصيات:

دراسة محطات كهروضوئية أخرى في مواقع مختلفة من الشبكة وباستطاعات أخرى.

7- المراجع:

- [1] Gusai,A; Joshi,S.N; Sharma,K.G; Gupta,N.K.2020, *Harmonic Analysis in PV Connected Power System*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), India.
- [2] Uzum,B; Onen,A; Hasanien,M.H; Muyeen,S.M.2021, *Rooftop Solar PV Penetration Impacts on Distribution Network A Comprehensive Review* . Faculty Electrical-Computer Engineering Department, Abdullah Gül University, Turkey.
- [3] Saidi,A.S.2022, *Impact of grid-tied photovoltaic systems on voltage stability of tunisian distribution networks using dynamic reactive power control*. Ain Shams Engineering Journal, Egypt.
- [4] Sacoto,D.M; González,L.G; Callejo,L.H; Perez,D.O.2023, *Harmonic Distortion and Hosting Capacity in Electrical Distribution Systems with High Photovoltaic Penetration: The Impact of Electric Vehicles*, mdpi journal electronics, Spain.
- [5] Al-Harhi,F; Albadi,M; Al-Abri,R; Al-Badi,A. 2021, *Power Quality Impacts of PV Systems Integration on Petroleum Development Oman(PDO) Mina Al-Fahal (MAF) Distribution Network*. Renewable Energies and Power Quality, Spain.
- [6] Al-Sharif,M.Y; Sowilam,M.G; Kawady,A.T.2022, *Harmonic Analysis of Large Grid-Connected PV Systems in Distribution Networks: A Saudi Case Study*. International Journal of Photoenergy, Egypt.
- [7] Djeghader,Y; Boumous,S; Boumous,Z. 2023, *Study and analysis of the propagation of harmonics in electrical grid connected photovoltaic system*. Diagnostyka, Algeria.