مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (10) العدد (10) 2026
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (10) 2026

تحليل جودة الطاقة الكهربائية في شبكة خط معفى من التقنين/دراسة حالة في طرطوس/

د.م. ضحى خالد جديد*

م. محمد علي الديري**

(تاريخ الإيداع 2026/2/18 . قُبِل للنشر في 2026/5/31)

□ ملخّص □

تمّ في هذا البحث تقييم وتحليل جودة الطاقة الكهربائية في شبكة خاصة لـ "معفى من التقنين" يغذي منشأة سياحية بمحافظة طرطوس، تتعلق بمؤشرات مثل التوافقيات، عامل الاستطاعة، توازن الجهد والتيار، والتشوه التوافقي الكلي (THD)، بهدف تحديد أسباب التدهور في جودة الطاقة، وكيفية تأثيرها على التجهيزات في هذه البنية الخاصة من الشبكات الكهربائية، وكيفية انتقال هذا التأثير عبر محولات الربط إلى المنشآت الأخرى المربوطة إلى هذا الخط الساخن. تم إجراء قياسات باستخدام مقياس محلل الطاقة، لتحليل تأثير الأحمال غير الخطية، مثل الأجهزة الإلكترونية وأنظمة التكييف، على الشبكة والأجهزة المربوطة بها. أظهرت النتائج وجود توافقيات مرتفعة، خاصة في الطور الأول، مما أدى إلى انخفاض جودة الطاقة وزيادة درجات حرارة التجهيزات الكهربائية، كما تبين أن عدم التوازن في الأحمال وتوزيعها غير المتوازن على الأطوار يزيد من احتمالية حدوث عطل وارتفاع التكاليف التشغيلية.

الكلمات المفتاحية:

التوافقيات، عامل التشوه التوافقي الكلي، توازن الجهد، بنية الشبكة الكهربائية، عامل الاستطاعة

* دكتوراه في الهندسة، عضو هيئة تدريسية، مدرّس، جامعة طرطوس، كلية الهندسة التقنية، قسم هندسة الأتمتة الصناعية– كلية الهندسة التقنية– جامعة طرطوس–طرطوس–سورية– dohajdeed@tartous-univ.edu.sy / doha_jdeed@hotmail.com

** مهندس، باحث، إجازة في هندسة نظم القدرة الكهربائية–جامعة حلب، الشركة العامّة لكهرباء طرطوس، mohamedaldiry.sy@gmail.com

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (10) العدد (10) 2026
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (10) 2026

Analysis of Power Quality in an Electric line exempt from rationing: A Case Study in Tartous

Dr. Eng. Doha Khaled Jdeed*

Eng. Mohamed Ali Aldiry**

(Received 18/2/2026. Accepted 31/5/2026)

□ ABSTRACT □

This research evaluates and analyzes the power quality in a private network supplying a tourism facility in Tartous Governorate. The study focuses on indicators such as harmonics, power factor, voltage and current balance, and Total Harmonic Distortion (THD). The aim is to identify the causes of power quality deterioration and assess how these issues affect the connected equipment within this specialized electrical network. Additionally, the study investigates how this impact propagates through linking transformers to other facilities connected to the hot line. Measurements were conducted using a Power Analyzer to analyze the effects of nonlinear loads, such as electronic devices and air conditioning systems, on the network and its connected equipment. The results revealed high harmonic levels, particularly in the first phase, leading to reduced power quality and increased temperatures in electrical equipment. It was also observed that imbalance and uneven distribution of loads across phases increase the likelihood of faults and elevate operational costs.

Keywords: Harmonics, Total Harmonic Distortion (THD), Voltage Balance, Electrical Network Structure, Power Factor

[1]Dr. Eng, Faculty member, Department of Industrial Automation Engineering-Faculty of Technical Engineering- Tartous University, Tartous-Syria, doha_jdeed@hotmail.com / dohajdeed@tartous-univ.edu.sy
[2] Engineer, Researcher, Bachelor's Degree in Electrical Power Systems Engineering- Aleppo University-Tartous General Electricity Company, mohamedaldiry.sy@gmail.com

1- مقدمة:

تعد جودة الطاقة الكهربائية من العوامل الحيوية لضمان استقرار وأداء فعال لأنظمة النقل والتوزيع الكهربائية، وهي مؤشر مهم يعبّر عن مدى الحفاظ على الشكل الجيبي لموجتي الجهد والتيار خلال عمليات النقل والتوزيع، يؤثر بشكل مباشر على موثوقية الخدمة وأداء التجهيزات الكهربائية (Bollen 2003). تنخفض جودة الطاقة بشكل رئيسي بسبب وجود أحمال كهربائية منخفضة الجودة، أو نتيجة لوجود أحمال لاخطية تؤدي إلى تشوّه الشكل الجيبي لإشارتي التيار والجهد، أو نتيجة لوجود أحمال رديّة تؤدي إلى حدوث إزاحة في الطور مسببة انخفاض في عامل الاستطاعة Power Factor (PF)، عدم توازن توزع الأحمال على الأطوار، وغيرها من الأسباب (Bollen 2003).

وأهم مؤشرات جودة الطاقة الكهربائية هي عدم توازن الجهود والتيارات الثلاثية الطور، والتقلبات العابرة، وانحراف التردد، وعامل الاستطاعة، والتوافقيات (Ronnber and Bollen, 2016)، حيث تُعد التوافقيات من الظواهر الشائعة نتيجة للأحمال اللاخطية، مثل الأجهزة الإلكترونية والمصابيح الموفرة للطاقة، والتي تستجر تيارات غير جيبية، مسببة تشويهً في شكل إشارتي الجهد والتيار، مما قد يؤدّي إلى ضياعات حرارية وتشويش في عمل التجهيزات الحساسة (Bollen 2003). تُقاس التشوهات التوافقية باستخدام مؤشر التشوه التوافقي الكلي (Total Harmonic Distortion (THD))، الذي يُعد أحد أهم مؤشرات جودة الطاقة، ويحدد نسبة مجموع مطالات التوافقيات بالنسبة لمطال المركبة الأساسية (Abbas et al, 2023) (Grupp, 2010). يمكن من خلال تحليل الطيف الترددي التوافقي باستخدام تحويل فوريه السريع Fast Fourier Transfer (FFT) لموجة التيار أو الجهد الجيبة تحديد مطالات جميع التوافقيات الفردية والزوجية فيها، من أجل دراسة تأثيراتها السلبية على كفاءة وأمان أنظمة التوليد والنقل (Arranz-Gimon et al,2024).

كما تؤثر التوافقيات بشكل مباشر على أداء المحولات، حيث تتسبب في ارتفاع درجة حرارتها وقد يؤدي ذلك إلى ارتفاع معدلات التآكل في المواد العازلة، وقد يؤدي تراكمها إلى أعطال خطيرة في الشبكة، خاصة عند وجود أجهزة مرشحات أو توصيلات غير نظامية (Arranz-Gimon et al,2024) (Purwadi et al, 2011). يختلف تأثير التوافقيات على المحولات وانتقالها من خلالها بحسب طرائق توصيلها، كالتوصيل المثلثي (Δ) والنجمي (Y)، حيث يُفضل استخدام التوصيل الذي يقلل من تمرير التوافقيات الصفرية ذات الرتبة الثالثة والمضاعفات (Veliz et al, 2022) (Haider et al, 2016) (Saleh et al, 2016).

تُصمم شبكات التوزيع بتركيبات مختلفة، أهمها الشبكات الشعاعية والشبكات الحلقية، والتي تختلف في مرونتها وموثوقيتها. ففي الشبكة الشعاعية، يكون الاعتماد على مسار واحد لتوزيع الطاقة، مما يسهل الصيانة ولكنه يقلل من موثوقيتها، في حين أن الشبكة الحلقية توفر مرونة أكبر في التعامل مع الأعطال، وتُعزز من استقرار النظام (Purwadi et al, 2011) (Huda et al, 2017).

نتيجة لضعف التغذية، تم التوجّه في السنوات الأخيرة إلى تطبيق برامج التقنين الكهربائي، بما يضمن استمرار التغذية الكهربائية على فترات متقطّعة، لكن بوجد بعض المنشآت التي تتطلب تغذية دائمة بالطاقة الكهربائية، حيث جرت تغذيتها خلال الفترة السابقة باستخدام خطوط تغذية دائمة معفاة من التقنين، وهي حالة محدثة بحسب الحاجة، ولم تتم دراستها وتحليلها من حيث جودة الطاقة الكهربائية وتأثيرها على الأحمال المغذاة منها.

لذلك سيتم في هذه الدراسة تقييم مؤشرات جودة الطاقة في أحد شبكات الخطوط الساخنة بمحافظة طرطوس من حيث التوافقيات، عامل الاستطاعة، تغيرات الجهد والتيار وتوازن الأطوار، بهدف تحديد أسباب التدهور في جودة الطاقة، وكيفية تأثيرها على التجهيزات في هذه البنية الخاصة من الشبكات الكهربائية، وكيفية انتقال هذا التأثير عبر محولات الربط إلى المنشآت الأخرى المربوطة إلى هذا الخط الساخن وتقديم مقترحات عملية لتحسين الأداء مما يؤدي إلى تقليل المخاطر على التجهيزات وتحقيق استقرار أكبر في الشبكة الكهربائية. تمّ استخدام مقياس محلل الطاقة لأخذ القياسات لمدة يوم عمل كامل في أحد المنشآت المغذاة من هذا الخط وهي عبارة عن فندق سياحي بسوية أربعة نجوم، وقد تم تحليل أداء مختلف الأحمال الموجودة فيه من حيث مؤشرات جودة الطاقة وتأثيره عليها وتأثره بانخفاضها.

1-1 أهمية البحث وأهدافه:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم وتحليل مؤشرات جودة الطاقة الكهربائية في شبكة خط معفى من التقنين بمحافظة طرطوس، مع التركيز على التوافقيات، عامل الاستطاعة، توازن الجهود والتيارات، بهدف تحديد أسباب التدهور في جودة الطاقة وتأثيرها على أداء التجهيزات الكهربائية.

تكتسب هذه الدراسة أهمية كبيرة نظراً لارتباط جودة الطاقة الكهربائية بأداء واستدامة الأنظمة الكهربائية، خاصة في المنشآت ذات الأحمال اللاخطية مثل الفنادق والمنشآت السياحية التي تعتمد على أجهزة تكنولوجية حديثة وأحمال غير متوازنة. حيث أن ارتفاع التوافقيات وتدهور مؤشرات الجودة قد يؤدي إلى زيادة الأعطال، وتآكل المكونات، وانخفاض العمر الافتراضي للأجهزة، مما يهدد استمرارية الخدمة ويزيد من التكاليف التشغيلية. لذلك، فإن تقييم وتحليل هذه المؤشرات يساهم في تحسين أداء الشبكة، وتقليل المخاطر، وتعزيز موثوقية واستقرار التغذية الكهربائية.

1-2- منهجية البحث:

تعتمد منهجية البحث على القياسات الميدانية المستمرة لمؤشرات جودة الطاقة في منشأة سياحية (فندق الرويال إن) المرتبطة بشبكة خط معفى من التقنين بمحافظة طرطوس، باستخدام جهاز محلل طاقة نوع C.A 8335 (Qualistar). تم تسجيل البيانات على مدى 20 ساعة متواصلة، حيث تم قياس وتحليل التوافقيات، عامل التشوه التوافقي الكلي (THD)، توازن الجهد والتيارات، وعامل الاستطاعة. كما تم استخدام أدوات التحليل الطيفي لتحديد التوافقيات الفردية والزوجية، وتحليل تأثيرها على أداء الأجهزة الكهربائية. وتم مقارنة النتائج مع المعايير الدولية (مثل IEEE STD 519) لتحديد مدى مطابقتها، واستنتاج أسباب التدهور في جودة الطاقة، واقتراح الحلول المناسبة لتحسين الأداء.

2- مواد البحث وطرائقه:

تنخفض جودة الطاقة الكهربائية بشكل رئيسي نتيجة اضطرابات في خطوط أو كابلات توزيع الطاقة، مثل: تذبذبات الجهد والتيار، تغيرات عامل الاستطاعة، والتشوه التوافقي. تعد الأحمال اللاخطية مصدر أساسي للتوافقيات وانخفاض جودة الطاقة، ولمراقبة جودة الطاقة الكهربائية، يلزم إجراء قياسات مُستمرة للبارامترات الكهربائية، ومعظم المشكلات في نظم التوزيع مثل الأعطال في قواطع الحماية أو المحولات، سوء توزيع الأحمال والضياعات الحرارية وغيرها. من أهم مؤشرات قياس جودة الطاقة الكهربائية هي عامل التشوه التوافقي الكلي الذي يحدد نسبة التوافقيات في إشارات التيار والجهد، وتنتج التوافقيات عن الأحمال اللاخطية مثل مبدلات القدرة والمحركات متعددة السرعة وأفران القوس

الكهربائي، حيث ينتج عنها توافقيات الجهد. تظهر التوافقيات في المحولات عند التحميل غير المتوازن أو بسبب تشبع الدارة المغناطيسية (Perera and Elphick, 2023)، يمكن لبعض توصيلات ملفات المحولات حصر توافقيات معينة في جانب دون الآخر من الشبكة الكهربائية (Purwadi et al, 2011)، حيث تُحذف التوافقيات الثلاثية بكفاءة عند استخدام التوصيل المثلثي، بينما تظهر بشكل أوضح في توصيلة نجمي–نجمي (Y–Y) غير المؤرضة (Purwadi et al, 2011)، تمنع التوصيلات مثلثي–نجمي ونجمي–مثلثي انتقال توافقيات الرتبة الثالثة إلى الشبكة (Benoist, 2021)، لكنها لا تُلغى بشكل كامل إلا إذا كانت الأحمال متوازنة تماماً (Kumar, 2016)، أما توصيلة مثلثي–مثلثي (Δ–Δ) فتسمح بدوران التوافقيات ضمن مسار مغلق (John and Mertens, 2020)، في حين توصيلة نجمي–نجمي تعاني من مشاكل استقرار ناتجة عن التوافقيات مما يتطلب حلول ترشيح مناسبة (Fallows et al, 2018). يُعد عامل التشوه التوافقي الكلي من أكثر مؤشرات جودة الطاقة استخداماً وانتشاراً (Grupp, 2010) (Arranz–Gimon et al,2024). هناك عدّة مواصفات قياسية عالمية تحدد القيم العليا المسموحة لعامل التشوّه التوافقي الكلي، ويعد المعيار الأمريكي IEEE STD 519 وتحديثاته أحد أهم هذه المواصفات القياسية التي تستخدم في الشبكات الكهربائية (IEEE, 2022).

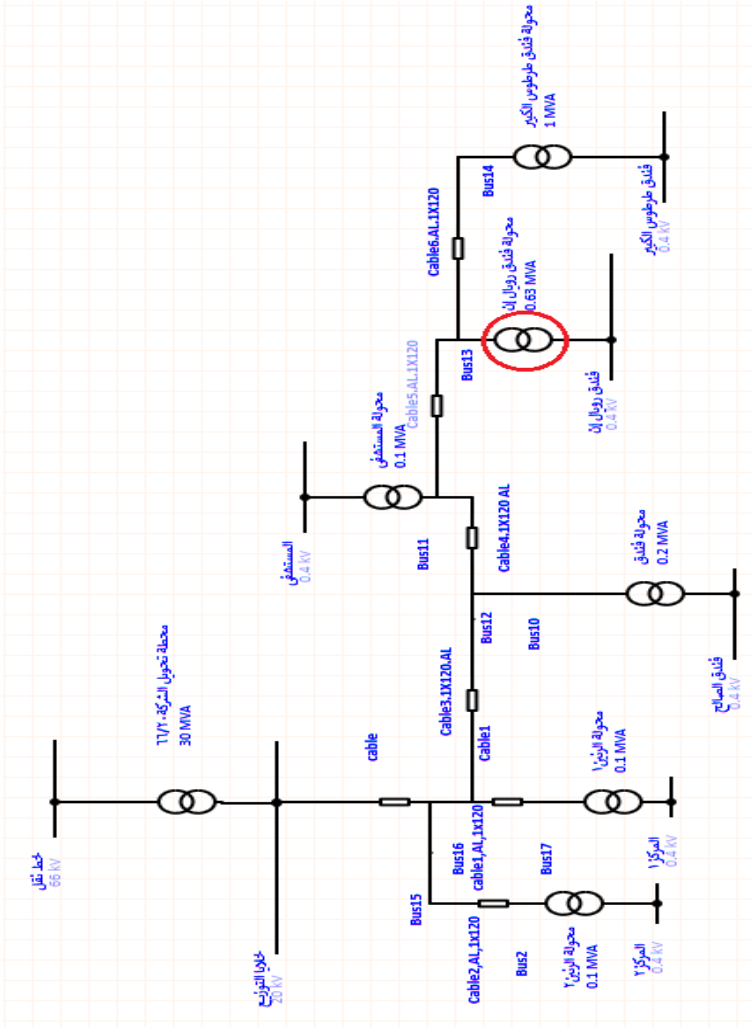
2–1– الحالة المدروسة:

تمّت دراسة وتحليل مؤشرات جودة الطاقة الكهربائية في منشأة سياحية (فندق الرويال إن) والتي يتم تغذيها مع عدّة منشآت أخرى من خلال شبكة كهربائية خاصّة (خط ساخن). هذه الشبكة الكهربائية الخاصّة عبارة عن خط جهد متوسط معفى من التقنين ينقل الطاقة الكهربائية من المنبع (محطة تحويل الشركة 66\20 kV) إلى المستهلك. يوضح الجدول (1) المنشآت المغذاة من الخط المدروس، يبلغ طول الخط الرئيسي 2 km، تم إجراء القياسات لمؤشرات جودة الطاقة الكهربائية على مركز تحويل خاص بالمنشأة المدروسة.

جدول (1): استطاعات مراكز التحويل الفرعية المغذاة من الخط المدروس

التسلسل	اسم مركز التحويل	استطاعة المركز k VA
1	مركز تحويل الرنين المغناطيسي 1	100
2	مركز تحويل الرنين المغناطيسي 2	100
3	مركز تحويل فندق الصالح	200
4	مركز تحويل مشفى الحكمة	100
5	مركز تحويل فندق رويال إن	630
6	مركز تحويل الفندق الكبير	1000

يبين الشكل (1) مخطط شبكة يوضح مراكز التحويل المغذاة من خط التوتر المتوسط المدروس.



الشكل (1): مخطط شبكة كابل الجهد المتوسط الرئيسي المغذي للمركز المدروس

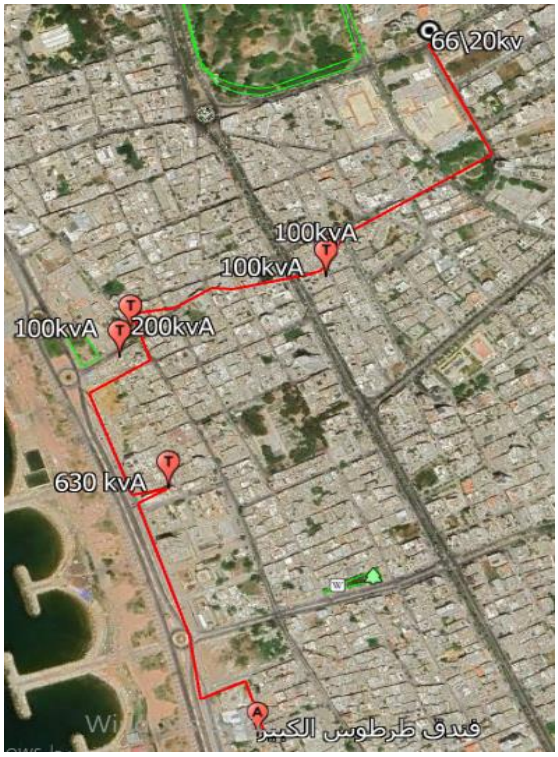
يبيّن الشكل (2) مسار الخط الساخن المدروس بدءاً من مركز التحويل الرئيسي الموجود في موقع الشركة العامة لكهرباء طرطوس وصولاً إلى المنشأة الأخيرة فندق طرطوس الكبير، ونلاحظ أماكن توزع المنشآت المربوطة إليه.

2-1-1 مواصفات مركز التحويل للمنشأة المدروسة (فندق الرويال):

يتألف مركز التحويل من محولة (20/0.4 kV) باستطاعة 630 kVA مربوطة بشكل مثلثي لملفات الجهد المتوسط نجمي لملفات الجهد المنخفض، يمنع الوصل المثلثي انتقال مركبات التوافقية الثالثة من جانب المصدر إلى الطرف الثانوي.

2-1-2- مواصفات كابل التغذية:

مواصفات كابل الجهد: هو كابل جهد متوسط أرضي AL\XLPE مقطع mm^2 (1×120)*3 يعمل بجهد اسمي 12\20 kV، ومصمم وفق المعايير IEC 60502.



الشكل (2): مسار الخط الساخن المدروس

2-1-3- توصيف الأحمال في المنشأة السياحية (الفندق):

تتوزع الأحمال ضمن الفندق على 5 طوابق يضم كل طابق 15 غرفة، بالإضافة إلى صالة أفراح وقاعة اجتماعات، التغذية الرئيسية للفندق هي ثلاثية الطور، كما تمّ تركيب لوحة مكثفات لتصحيح عامل الاستطاعة ثلاثية الطور تعمل بثلاثة مراحل بشكل أوتوماتيكي بحسب قيم عامل الاستطاعة، تتألف المرحلة الأولى من مجموعتين 15 kVAR، وتتألف المرحلة الثانية من مجموعتين 30 kVAR، والمرحلة الثالثة تتألف من مجموعتين 50 kVAR، تدخل في العمل على التوالي بحسب قيم عامل الاستطاعة. يبين الجدول (2)**الجدول** (توصيف الأحمال ضمن الفندق.

الجدول (2): أحمال الفندق

التسلسل	الحمل	نمط التغذية	ملاحظات	العدد
1	أجهزة تكييف	أحادي الطور	العمل بنظام اقلاع inverter 7.24 kW لكل جهاز	75
2	براد	أحادي الطور	-	75
3	جهاز تسخين مياه	أحادي الطور	-	75
4	شاشة	أحادي الطور	-	75
5	ثلاجة	أحادي الطور	-	3
6	غسالة	أحادي الطور	(وقت التشغيل بين 1pm و 8pm) 1kW لكل غسالة	3

7	أجهزة شفط هواء	أحادي الطور	استطاعة 3.73 kW	5
8	سخان مياه مركزي	أحادي الطور	تشغيل دائم	3
9	مصعد	ثلاثي الطور	–	4
10	أجهزة تكييف	ثلاثي الطور	14 kW لكل جهاز	7
11	فرن كهربائي	ثلاثي الطور	(يعمل عند الحاجة)	1
12	مضخة مياه	ثلاثي الطور	استطاعة 5.6 kW لكل مضخة	2

تم توزيع الأحمال ذات التسلسل من 1 إلى 5 بشكل متوازن على الأطوار الثلاثة بحيث تُشكل مجتمعة حمل متوازن في حال التحميل الأقصى، وبالتالي يتأثر هذا التوازن على الاطوار الثلاثة بحالة إشغال الغرف، حيث يمكن أن يتم إشغال مجموعة من الغرف في طوابق الفندق وتكون هذه الغرف تتغذى من طور واحد مما سيسبب تحميل زائد على هذا الطور وخلل في التوازن بين أحمال الأطوار.

3- نتائج البحث ومناقشتها:

تم أخذ القياسات باستخدام جهاز محلل الطاقة نوع (Qualistar) C.A 8335، تم التوصيل على خرج ملفات الجهد المنخفض للمحولة الكهربائية وأُخذت القياسات خلال فترة 20 ساعة متواصلة.

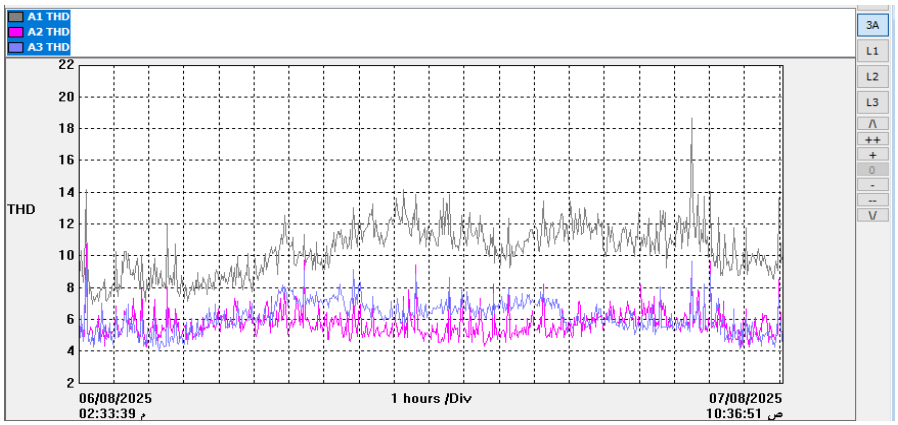
تم استخلاص المنحنيات البيانية التي تصف تغيرات البارامترات المدروسة بالنسبة للزمن على كامل الفترة الزمنية للقياس، وتم تحليل مختلف مؤشرات جودة الطاقة في المنشأة المدروسة مثل عامل التشوه التوافقي الكلي وعامل الاستطاعة وتوازن الجهد، وتحديد أسباب انحراف قيمها عن القيم المعيارية، وتأثيرها على مكونات الشبكة وعمل التجهيزات داخل المنشأة. تم حساب نسبة الدارة القصيرة SCR بالنسبة للنظام المدروس وذلك من خلال قيم الاستطاعات المقاسة (الظاهرية والفعلية) عند نقطة الربط، وذلك من أجل تحديد المجال الذي سيتم العمل ضمنه بالنسبة للمعيار IEEE STD 519، وكانت قيمة SCR=1.2، أي أنّ الحد الأعلى لـ THD المسموح هو 5%.

3-1 تحليل التوافقيات والطيف التوافقي للتيار:

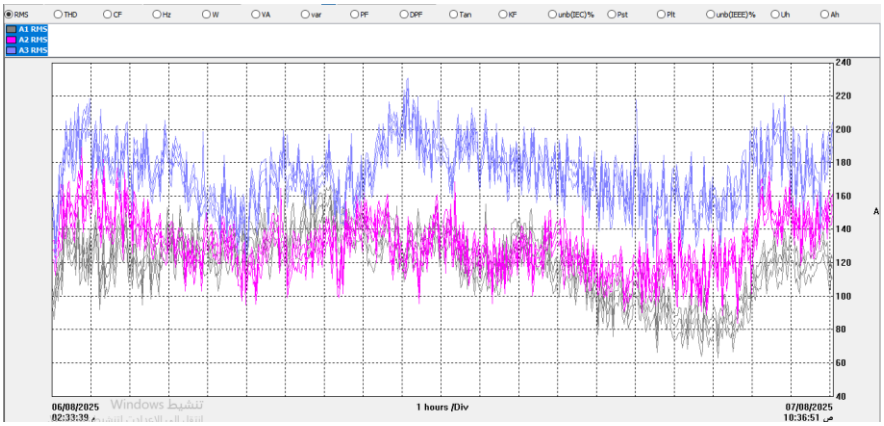
يبين الشكل (3) تغيرات قيم عامل التشوّه التوافقي الكلي لتيارات الأطوار الثلاثة خلال فترة القياس، القيمة المتوسطة للتيارات بالنسبة للطورين الثاني والثالث تساوي تقريباً 6% وهي تتجاوز بقيمة منخفضة الحدود المعيارية للمعيار IEEE STD 519، بينما بلغت قيمة التغير بالنسبة للطور الأول 12% كقيمة متوسطة وهي قيمة تتجاوز بشكل كبير الحدود المسموحة ضمن المعيار IEEE STD 519، ذروة التشوه سجلت قيم بين 14% و12% خلال الفترة الممتدة بين الساعة 7 صباحاً والساعة 9 صباحاً.

يبيّن الشكل (4) تغيرات قيم تيارات الأطوار الثلاثة خلال فترة القياس، ويلاحظ عدم توزان القيم على هذه الأطوار. بالعودة إلى تحليل عمل الأحمال خلال فترة القياس يتبين أن سبب التغير الكبير في مطالات التيارات خلال هذه الفترة ناتج عن تشغيل فرن كهربائي بالإضافة إلى أجهزة شحن لأجهزة كهربائية وهي أحمال غير خطية، إضافةً لمضخات المياه، حيث أن هذه الفترة تعد ذروة حمل صباحية للفندق.

تدل القيم المرتفعة لعامل التشوّه التوافقي الكلي للتيار على انخفاض في جودة الطاقة، وانخفاض في مستوى استقرار وموثوقية التغذية الكهربائية، مما يؤثر على أداء وكفاءة التجهيزات الكهربائية ضمن المنظومة المدروسة، حيث تؤدي إلى زيادة في سخونة الأسلاك والمحولات وهذا قد يؤدي لتآكل وانهيار عازليتها بشكل أسرع، بالتالي قد تحدث أعطال في التجهيزات الكهربائية ضمن المنظومة دون أسباب مرئية واضحة بل بسبب آثار ارتفاع مستوى التشوه وانخفاض جودة الطاقة.



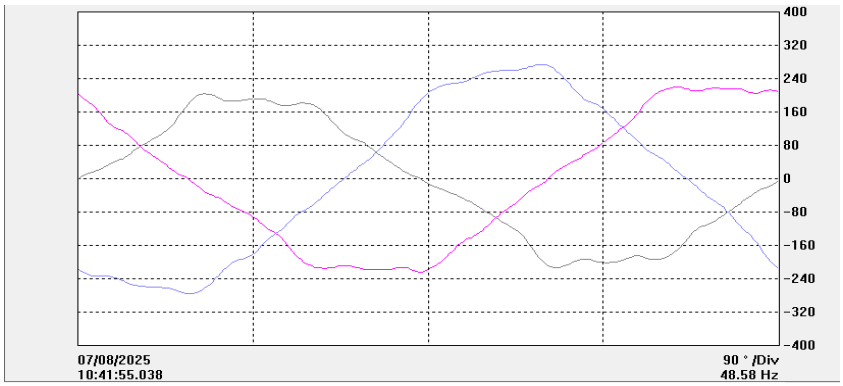
الشكل (3): منحنيات THD$_i$ لتيارات الأطوار الثلاثة



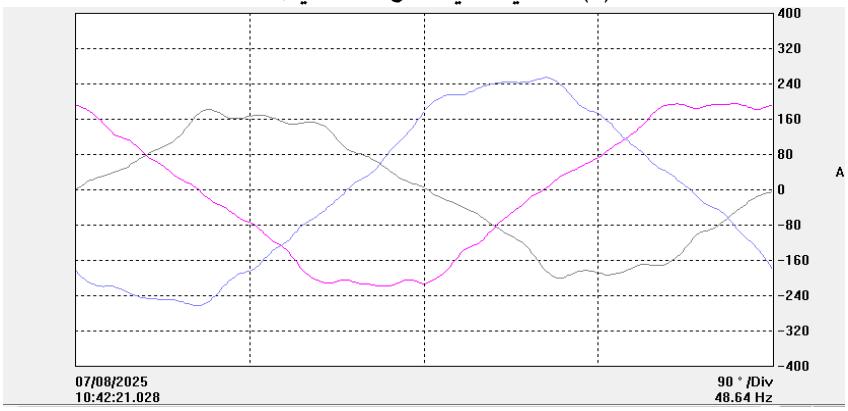
الشكل (4): تغيرات قيم تيارات الأطوار الثلاثة

يبين الشكلين (5) و(6) تشوه إشارات التيار بالنسبة للأطوار الثلاثة عند الساعة 10:41:51am، والساعة 10:42:21am على التوالي. نلاحظ التشوّه الكبير في إشارات التيار بالنسبة للأطوار الثلاثة مع انخفاض في قيم تيار الطور الأول، حيث بلغت قيمة الذروة 205.5 A، بينما قيمة الذروة بالنسبة للطور الثالث وصلت إلى 275.5 A، وذلك بسبب عدم توزع الأحمال العاملة في تلك اللحظة بشكل متوازن على الأطوار الثلاثة، وقد يسبب عدم توازن تيارات الأطوار الثلاثة زيادة ضياعات الطاقة، وارتفاع درجة حرارة التجهيزات وانخفاض كفاءتها.

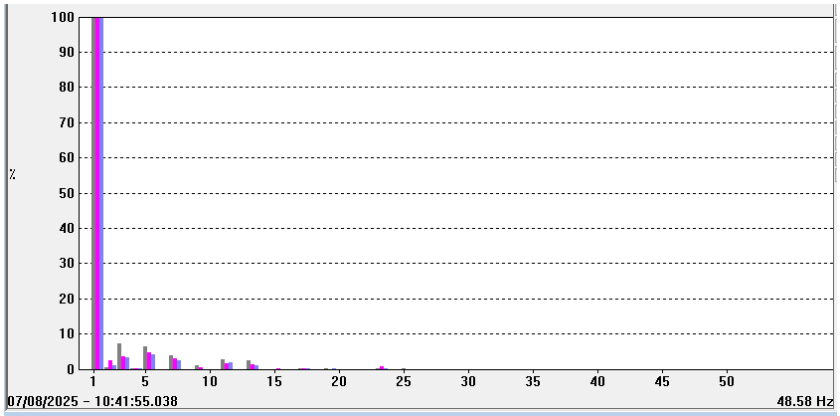
كما أن عدم التوازن في الأطوار قد يسبب على المدى الطويل تخفيض العمر الزمني لاستخدام بعض التجهيزات الكهربائية ثلاثية الطور، يبين الشكلين (7) و (8) الطيف الترددي للتوافقيات في لحظات القياس السابقة نفسها 10:41:51am، والساعة 10:42:21am على التوالي.



الشكل (5): منحني لحظي يوضح التشوه في إشارات التيار



الشكل (6): تيارات الأطوار خلال لحظة قياس ثانية

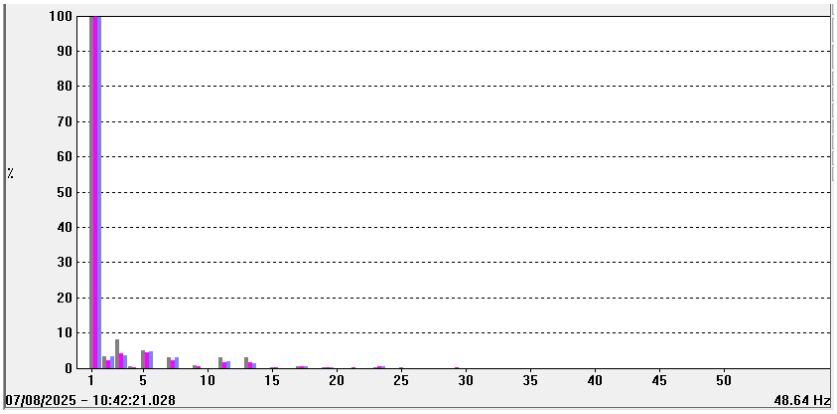


الشكل (7): الطيف التوافقي للتيار في اللحظة الأولى

نلاحظ وجود التوافقية الثانية، وهي توافقية زوجية وناتجة عن تشغيل أحمال لاخطية ومحركات تعمل بنظام inverter (أجهزة التكييف في غرف الفندق)، مما يخفض من جودة الطاقة ويؤثر على أداء التجهيزات الحساسة، كما أن

وجود التوافقيات الزوجية قد يسبب حدوث حالة طنين في الأنظمة التي تستخدم لوحة مكثفات لتصحيح عامل الاستطاعة كما هو في حالة هذه المنشأة.

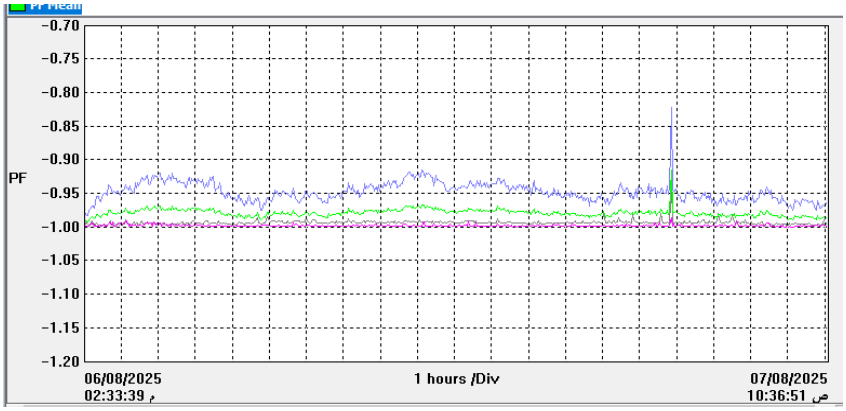
كما نلاحظ القيم المرتفعة لنسب مطالات التوافقية الثالثة والخامسة وهي توافقيات صفرية وتنتج في النظم الثلاثية الطور رباعية الخطوط، ونلاحظ أن قيمها أعلى بالنسبة للطور الأول وذلك نتيجة وجود أحمال لاخطية. يسبب هذا النوع من التوافقيات تيارات مرتفعة تُجمع في الناقل الحيادي للنظام الكهربائي مما يؤدي إلى تلفه وانهيار عازليته بمرور الوقت نتيجةً لارتفاع درجات الحرارة، نلاحظ أيضاً وجود التوافقيات الفردية الخامسة والسابعة والحادية عشر والثالثة عشر، وهي ناتجة عن وجود الأحمال اللاخطية ومحركات التردد المتغير، ولأن هذه التوافقيات هي من الرتب العالية فإن وجودها سيؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة التجهيزات، وانخفاض عامل الاستطاعة، هذا يؤدي إلى سحب تيار أكبر من المصدر لتأمين نفس القدرة المفيدة المطلوبة.



الشكل (8): الطيف التوافقي للتيار في اللحظة الثانية

3-2 تحليل تغيرات قيم عامل الاستطاعة:

ويوضح الشكل (9) منحني تغيرات عامل الاستطاعة على الأطوار الثلاثة خلال فترة القياس، نلاحظ من الشكل أن متوسط قيم عامل الاستطاعة بالنسبة للطورين الأول والثاني تقريباً 0.98، بينما تكون قيمته بالنسبة للطور الثالث أقل من ذلك وتصل إلى 0.92، ويعزى ذلك إلى عدم توازن الأحمال على الأطوار الثلاثة ووجود أحمال تحريضية، حيث يؤدي عدم توازن الأحمال إلى الاختلاف في قيم الاستطاعة الفعلية والاستطاعة الظاهرية وهذا يسبب اختلاف في قيم عامل الاستطاعة المقاس على الأطوار، وانخفاضه على الطور الثالث يدل على أنَّ نسبة الأحمال التحريضية على هذا الطور أعلى من الطورين الآخرين مما سبب هذا الانخفاض في قيم PF. كما نلاحظ ذروة انخفاض حادة عند الساعة 6.30 صباحاً تستمر لعدة دقائق وهي ناتجة عن إقلاع حمل تحريضي (الفرن).



الشكل (9): تغيرات عامل الاستطاعة على الأطوار الثلاثة

3-3 مناقشة النتائج:

نلاحظ من المنحنيات وقيم البارامترات المبينة سابقاً ارتفاعاً في قيم التيارات الإجمالية في النظام، تظهر الزيادة في قيم التيار بشكل واضح على الطور الأول خلال فترة القياس، كذلك يظهر ارتفاع في قيم التيار على الطورين الآخرين ولكن بقيم أقل من الطور الأول مما يشير إلى عدم توازن في توزع الحمولات على الأطوار الثلاثة، الفترات الزمنية التي يظهر فيها ارتفاع في قيمة التيار على الطور الأول نلاحظ خلالها ارتفاع في قيمة THD_I، وتكون قيمة THD_I على الطور الأول هي الأعلى خلال كامل فترة القياس تقريباً وتتراوح قيمته بين 8% وحتى 14% تقريباً في لحظات معينة، بينما تحافظ قيم THD_I للطورين الآخرين عل قيم تتراوح بين 5% و7% مع فترات ذروة متفرقة وقصيرة الزمن تصل إلى 9%، وهذا يشير إلى أن التشوه الحاصل هو مرتبط بحمل على الطور الأول، تدل قيم الطيف التوافقي إلى أن التشوه الحاصل هو نتيجة وجود الأحمال اللاخطية في المنشأة، والتشوه على الطور الأول يدل على أن الأحمال اللاخطية التي تعمل خلال فترة القياس كانت على الطور الأول مثل (شواحن، أجهزة حاسوب، أجهزة تكييف تعمل بنظام inverter) ، زيادة الحمل على الطور الأول وتشغيل الأحمال اللاخطية، رفع القيمة الفعلية للتيار الكلي ورفع كذلك قيمة عامل التشوه THD_I في نفس الوقت، التفاوت بين قيم تيارات الأطوار الثلاثة يدل على تحميل غير متوازن بين الاطوار.

المشكلة ليست فقط في ارتفاع عامل التشوه التوافقي الكلي، ولكن أيضاً في ارتفاع قيمة التيار على أحد الأطوار بشكل غير متوازن مع الطورين الآخرين، تترافق التشوهات الناتجة عن التوافقيات مع ارتفاع التيار مما يدل على أن مصدر هذه التوافقيات هي أحمال الكترونية عالية الاستهلاك وبدأت العمل بنفس الفترة.

قيم عامل الاستطاعة الواضحة من المنحني في الشكل (9) قريبة من الواحد وهذا طبيعي بسبب وجود لوحة مكثفات في المنشأة، ولكن يظهر تغير طفيف في قيم عامل الاستطاعة على الطور الأول حيث نلاحظ تذبذب في القيم بين 0.93 و0.98 مترافق مع تغيرات الحمل على هذا الطور، نلاحظ وجود ذروة لحظية واضحة على الطور الثاني وهذا يحدث بسبب عملية تبديل مفاجئ للمكثفات مثل إدخال أو إخراج مجموعة كبيرة من المكثفات التعويض دفعة واحدة (تأثير الحمل السعوي المؤقت)، أو بسبب حدوث تغير لحظي كبير في الحمل (كتشغيل أو إيقاف تشغيل محرك)، وتظهر قيم عامل الاستطاعة على الطور الثالث بشكل مستقر، مما يدل أن الحمل على هذا الطور مستقر وتحسين عامل الاستطاعة عليه فعال وبدون تذبذب.

بما أن القياسات مأخوذة في منشأة سياحية (فندق) فإن المصادر الشائعة لارتفاع التيار وارتفاع قيم THD هو تشغيل الأفران الكهربائية ومحضرات الطعام، أنظمة التكييف المركزية، أجهزة غسيل وتجفيف، نظام إنارة، شواحن وأجهزة الكترونية وكل هذه الأجهزة تشكل أحمالاً غير خطية تؤدي إلى تغيرات كبيرة في القيم الفعالة للتيار عند تشغيلها.

4- الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1- ارتفاع القيمة الفعالة للتيار على أحد الأطوار بالنسبة للطورين الآخرين مما يدل على عدم توازن في الحمولة على الأطوار الثلاثة.

2-ارتفاع قيمة معامل التشوه التوافقي الكلي للتيار THD_I على الطور الأول مما يشير إلى أحمال لاخطية.

3-سيطرة توافقيات من المرتبة الثالثة والمرتبة الخامسة في تحليل طيف التوافقيات بشكل مترافق مع تغيرات الحمل.

4-استقرار قيم عامل الاستطاعة مع وجود تذبذبات واضحة في القيم على الطور الأول مترافقة مع عدم توازن الحمولة، ومتأثرة بالتوافقيات العالية التي تمت ملاحظتها عند دراسة تغيرات THD، وجود التوافقيات يشكل خطر حدوث حالة طنين، خاصة مع وجود لوحة مكثفات لتعويض الاستطاعة الردية.

التوصيات:

-مراقبة بارامترات جودة الطاقة بشكل دوري وتحليل طيف التوافقيات، لتحديد رتبتها ومراقبة قيم العامل THD.

-إعادة توزيع الأحمال الكهربائية على الأحمال الثلاثة.

-تركيب مرشحات فعالة تعالج التوافقيات المتعددة وتحسن عامل الاستطاعة بشكل أتوماتيكي.

5-المراجع:

ABBAS, L. F.; AHMED, R. E. A.; MAHMMOUD, O. N.; GAEID, K.; MOKHIS, H. B. 2023. *Single Phasing Effects on the Behavior of Three-Phase Induction Motor*, Tikrit Journal of Engineering Sciences, Volume 30, Issue 4, Pages11-18.

Arranz-Gimon, A.; ZORITA-LAMADRID, A.; MORINGO-SOTELO, D.; FERNANDEZ-CAVERO, V.; DUQUW-PEREZ,O. 2024, *Harmonic measurement and analysis system for characterization of adjustable speed drives*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 162.

BENOIST, Y. 2021. *Positive harmonic functions on the Heisenberg group II*. Journal de l'École polytechnique-Mathématiques, Volume 8, Pages 973-1003.

BOLLEN, M. 2003, *What is power quality?,* Electric Power Systems Research Volume 66, Issue 1 , Pages 5-14.

FALLOWS, D.; NUZZO, S.; COSTABEBER, A. ; GALEA, M. 2018, *Harmonic reduction methods for electrical generation: a review*. IET Gener, Transm, Distrib, Volume 12, Issue 13, Pages 3107-3113.

GRUPP, W. 2010, *Optical performance monitoring in optical transport networks, Optical Performance Monitoring*, Sciencedirect, Academic Press, Pages 385-421.

KUMAR, R.; SINGH, B.; SHAHANI, D. T. 2016. *Symmetrical components-based modified technique for power-quality disturbances detection and classification*. IEEE Transactions on Industry Applications, Volume 52, Issue 4, Pages 3443-3450

PERERA, S.; ELPHICK, S. 2023, *Applied Power Quality*, Elsevier, Pages 185-258

PURWADI, A.; HERYANA, N.; NURAFIAT, D.; MAWARDI, A.; PRANYOTO, M. F, 2011. *A study of harmonic impacts on high voltage, medium voltage and low voltage networks in PT. PLN distribution system*, 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, Lisbon, Portugal, pp. 1-7

RONNBER, S.; BOLLEN, M. 2016, *Power quality issues in the electric power system of the future*, The Electricity Journal, Volume 29, Issue 10 ,Pages 49-61.

SALEH, S.; ONGE, X. S.; RICHARD, C.; OZKOP, E.; McDONALD, K.; PANETTA, S. 2018. *Impacts of grounding and winding configurations on voltage harmonics in 3φ power transformers*. In 2018 IEEE/IAS 54th Industrial and Commercial Power Systems Technical

VELIZ, F. C.; VARRICCHIO, S. L.; COSTA, C. O. 2022, *Determination of harmonic contributions using active filter: Theoretical and experimental results*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems,Volume 137.

HAIDER, R.; KIM, C. 2016, *Integration of Distributed Energy Resources in Power Systems*, Academic Press, Sciencedirect, Pages 157-192.

HUDA, A.S.; R. ŽIVANOVIC, R. 2017, *Large-scale integration of distributed generation into distribution networks: Study objectives, review of models and computational tools, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Sciencedirect,Volume 76, Pages 974-988.

IEEE Standard Accossiation, 10 des. 2025. https://standards.ieee.org/ieee/519/10677/

JOHN, M.; MERTENS, A. 2020. *Frequency-Domain Modeling of Harmonic Interactions in Voltage-Source Inverters with Closed-Loop Control*. Energies, Volume 13, Issue 21.