

The Effect of Harmonic Distortion in Capacitive and Inductive Loads on the Performance of Electrical Grids in Huge Projects (FADEN Spectrum Phenomenon - an example)

Dr. Hazar Shtat*

(Received 1 / 9 / 2023. Accepted 8 / 10 /2023)

□ ABSTRACT □

This research deals with the study, analysis and treatment of a strange phenomenon that suddenly appeared during the installation of a huge screen belonging to FADEN Spectrum Company on one of the huge towers in the city of Al-Khobar in the Kingdom of Saudi Arabia with area of 2000 m², consisting of 2000 cabins and feeding 2000 cells, each cell having an area of 1 m².

This phenomenon includes two things: The first is the appearance of an annoying noise emanating from the main feed box (MDB), and the noise increases exponentially with the increase in lighting intensity to become a noise of 90 dB at 60% illumination and 155 dB at 100% illumination.

As for the second, most surprising thing, it is the cables getting hot at a point that exiting from the panel ceiling only, where the temperature reached #83C, noting that the cables before and after this point were not affected by this temperature at all, so that temperature was #28C before the entry point, and the same temperature after the exit point, while the iron metal of the panel ceiling was clearly affected, that also recorded #83C.

Keywords: Faden phenomenon - capacitive loads - harmonics - inductive loads - electrical power factor – PF – PFCB – power factor capacitor bank.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

*Doctor Engineer - Member of IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Membership No' (95692956) – JORDAN. hazarshtat@gmail.com

أثر تشوّه التوافقيات في الأحمال السعوية والحثية على أداء الشبكات الكهربائية في المشاريع الكبرى (ظاهرة فادن سبيكتروم - نموذجاً)

د. هزارة شتات*

(تاريخ الإيداع 1 / 9 / 2023. قُبِل للنشر في 8 / 10 / 2023)

□ ملخّص □

يتناول هذا البحث دراسة وتحليل ومعالجة ظاهرة غريبة ظهرت بمجرد الانتهاء من تركيب شاشة عملاقة تابعة لشركة فادن سبيكتروم على أحد الأبراج الضخمة في مدينة الخبر في المملكة العربية السعودية مساحتها 2000 m^2 ومؤلفة من 2000 كيبين وتغذي 2000 خلية مساحة كل خلية منها 1 m^2 . تشمل هذه الظاهرة أمرين: يتمثل الأول بظهور ضجيج مزعج ينبعث من علبة التغذية الرئيسة MDB ، ويزداد الضجيج طردياً مع زيادة شدة الإضاءة ليصبح ضجيجاً يبلغ 90 dB عند استضاءة 60% و 155 dB عند استضاءة 100% ، وأما الأمر الثاني الأكثر غرابة فهو سخونة الكيبيلات عند نقطة خروجها من سقف اللوحة فقط حيث بلغت درجة الحرارة عندها 83°C علماً أن الكابلات قبل هذه النقطة وبعدها لم تتأثر بهذه الحرارة قط ، فكانت درجة حرارتها 28°C قبل نقطة الدخول ، ونفس الدرجة بعد نقطة الخروج ، بينما تأثر المعدن الحديدي لسقف اللوحة بشكل جلي مسجلاً هو الآخر 83°C .

الكلمات المفتاحية: ظاهرة فادن - أحمال سعوية - توافقيات - أحمال حثية - معامل القدرة الكهربائية - اختصارات قياسية لمعامل القدرة وبنك مكثفات معامل تحسين الاستطاعة

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* دكتور مهندس - عضو معهد الكهرباء والالكترونيات IEEE (رقم العضوية : 95692956) - الأردن.
hazarsttat@gmail.com

مقدمة :

قبل عشرين أو ثلاثين عاماً لم تكن الأحمال السعوية بهذا الانتشار ، وبالتالي لم تكن الشبكات الكهربائية تعاني بأكثر من تشوهات الموجة الكهربائية على الأحمال الحثية (محركات كهربائية وخطوط إنتاج ومضخات صناعية وضواغط تبريد وحقق ...) ، وكانت معظم المشاكل محصورة بزواوية الطور في مثلث القدرة الكلاسيكي حيث يمكن التغلب على معظم هذه المشاكل بإدخال مكثفات معامل تحسين الاستطاعة [1-3].

لكن الإفراط باستعمال أجهزة الكمبيوتر ولمبات التوفير وشواحن الموبايل والراوترات لاحقاً خلق تشوهات كبيرة تسمى تشوهات التوافقيات على الأحمال السعوية مما سبب مشاكل كبرى على أداء الشبكات الكهربائية مع ما يصاحبها من حرارة وضياعات وتأثير مباشر على محطات التحويل نفسها .

لقد تنبتهت شركات توليد وتوزيع الطاقة الكهربائية الحكومية والخاصة على مستوى العالم لهذه المشاكل مؤخراً ففرضت غرامات باهظة على هذا النوع من الاستمرار كونه يعيق مبدأ التوزيع العادل للتيار من جهة ، ويسبب انخفاض مستوى كفاءة محطات التوزيع على مستوى الدولة من جهة أخرى .

وخلال الأربعينيات من القرن المنصرم وما قبل ، كان تعريف التيار الكهربائي أنه مجرد دفق منظم للإلكترونات السطحية في معدن الناقل مما أتاح تطبيق قانون أوم في التيار الكهربائي المستمر ، وكانت كل التعريفات مبنية على قاعدة : عند مرور تيار كهربائي متناوب في مقاومة جيبيية نقية فإنه يمكن تطبيق قانون أوم في التيار المستمر عليه ، وكانت الأمور بسيطة حيث لم تكن المحركات الكهربائية والمغناطيسات الصناعية بهذه الضخامة المفرطة والتشعبات ، وكان معظم التيار يتم استهلاكه في الإنارة عبر لمبات التنغستين أو في التسخين (طبابخات وشائع التنغستين والحمامات الكهربائية والمرجل) وجميعها مقاومات جيبيية شبة نقية تتسجم مع التعريف السابق[4].

بدأت أولى المشاكل مع تعميم لمبة النيون ، حيث تبين أن التيار ليس مجرد محصلة مركبة موجتين متطابقتين على الدوام ، بل عبارة عن محصلة موجتين متطابقتين على موجة شدة التيار وموجة الفولطية ضمن شروط محددة ، وفي حالة لمبة النيون ولمبات الزئبق كانت موجة شدة التيار تسبق موجة الفولطية خالفة تشوهاً من نوع ما في المحصلة الكلية لكلتا الموجتين ، وكان لمجموعها الجبري علاقة مباشرة بمضاعفات التردد .

وقد تم تقسيم الأحمال الكهربائية في البداية إلى نوعين[5] :

- أحمال خطية وهي الأحمال شبة النقية التي يمكن تطبيق قانون أوم بالتيار المستمر عليها بشكل مباشر ودون أي بارمترات اضافية .
- أحمال غير خطية تسبب مشاكل بالتوافقيات (لاحقاً تبين أن التوافقي الثالث هو المؤثر الرئيس على هذا النوع من الأحمال) .

ثم توسع المفهوم ليميز بين الأحمال غير الخطية نفسها ، حيث تبين أنها نوعان كذلك :

- أحمال حثية تسبق فيها موجة الفولط موجة الأمبير .
 - أحمال سعوية تسبق فيها موجة الأمبير موجة الفولط .
- ومع ذلك كانت المشاريع الكهربائية في السابق تحوي بشكل متقارب كلا النوعين من الأحمال مما سمح للشبكات العملاقة بترميم نفسها ومطابقة محصلة الموجتين فيزيائياً دون الحاجة لأية حلول أخرى .

لكن الاعتماد الكلي للمصانع الحديثة على التيار الكهربائي وهي في معظمها أحمال حثية أعطت أسبقية لموجة الفولط على موجة الأمبير ، وهذا خلق تشوهات لا يمكن تجاهلها عرفت فيما بات يعرف بـ THDV مما جعل شركات الكهرباء في العالم تفرض على تلك المصانع تركيب أجهزة معاملات تحسين الاستطاعة لتحسين عامل المراكسة (KVar) وتقليل زاوية الطور .

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث أولاً في إلقاء الضوء على ظهور مشكلة تشوه الأحمال السعوية THDi وولادة فلتر النبضات النشطة وكذلك على نظم التوزيع الكهربائي من عائلة TN كونها الأكثر استعمالاً في العالم ، وثانياً التعريف بالتأريض وأنواعه وأهميته بالنسبة للمشاريع الكبرى وكيفية استعمال الماركونايت ومسحوق الخبث البركاني كبداية فعالة عن الفحم والملح الصخري في تقليل المقاومة النوعية للتربة .

ويهدف البحث إلى التعريف بظاهرة فادن سبيكتروم (FADEN Spectrum) وإيجاد الحلول لها وقد أُطلقت هذه التسمية نسبة إلى شركة فادن سبيكتروم وهي شركة عملاقة في الخليج تقوم بتوريد وتركيب شاشات العرض الطرقية العملاقة على الأبراج والجسور الضخمة ، وقد حصلت هذه الظاهرة الغريبة عند تركيبها لشاشة عملاقة على أحد الأبراج الضخمة في مدينة الخبر بالسعودية .

طرائق البحث ومواده:

1- ظهور مشكلة تشوه الأحمال السعوية THDi وولادة فلتر النبضات النشطة :
تم توصيف مشاكل الأحمال السعوية في المواصفة القياسية IEEE-519 التي ربما تكون أشمل مواصفة لهذا النوع من المشاكل ، وخصوصاً التعديلات التي تمت عليها بالمواصفة رقم 14-519 IEEE [6].
فمنذ بداية الألفية الثالثة تم التوسع باستعمال لمبات التوفير وشواحن الموبايل وأجهزة الكمبيوتر مما سبب مشاكل كبرى في المولات الضخمة والفنادق الكبرى والقصور نتيجة الأحمال السعوية التي تسبق فيها موجة الأمبير موجة الفولط .
كانت الضياعات الكهربائية مهولة ، والتيارات الراجعة إلى محطات التحويل لا يمكن السكوت عنها ، وكان لا بد من حل ، وعليه نشأ مبدأ مولد النبضات النشطة [7]، وهو عبارة عن فلتر يقوم بتوليد موجة فولط تسبق موجة الأمبير لتتم بالمحصلة مطابقة الموجتين وتخفيف التشوه الكلي إلى الحد الأدنى ويسمى (Active Power Filter) واختصاراً (APF) كما يسمى أحياناً (Active Harmonic Filter) واختصاراً (AHF) ولكليهما المعنى نفسه وهذا النوع من الفلاتر هو نسخة متقدمة عن مولد النبضات الحثي الاستاتيكي الذي يعرف بـ (Static VAR Generator) واختصاراً (SVG)

2- نظم التوزيع الكهربائي من عائلة TN :

هناك نظم عديدة معتمدة في إمداد الطاقة والتوزيع الكهربائي ، لكن ما يهمنا هنا نظام التوزيع TN كونه الأكثر استعمالاً في العالم والذي تم توصيفه بدقة في المواصفة IEC 60364 وتعديلاتها وفي المواصفة IEEE80-13 وتعديلاتها ، إضافة لمواصفات BS و DIN وغيرها [8] .

ينقسم هذا النظام إلى نوعين :

- نظام التوزيع TN-S وهو نظام يفصل بين الحيادي والأرضي لدى المستثمر ، وقد تقوم شركات الكهرباء بتركيب محولات من نوع زكراك لفصل الأرضي عن الحيادي بشكل كامل في بعض الحالات التي تتطلب هذا الشكل من الربط.
 - نظام التوزيع TN-C وهو نظام يسمح بتأريض نقطة الصفر للمحولة عبر ربط الخط الحيادي بشكل مباشر مع الأرضي .
- وعادة ما يكون النظام المتبع هو TN-C عند المحولة و TN-S في منشأة المستثمر لأنه نظام توازن فعال ورخيص الثمن .

3- أهمية التأريض :

قد يغفل بعض المهندسين أهمية الأرضي الجيد ، كما أن المواصفات القياسية الدولية تساهلت نوعاً ما به لتخفيف الأعباء المالية الضخمة الناجمة عن تأريض نموذجي في منشآت صغيرة فسمحت أحياناً بأن تصل مقاومة التأريض لغاية 16 أوم في بعض المناطق التي يصعب الوصول فيها إلى قيم نموذجية ، كما أن تأريض الملامسة هو الذي يهتم في تلك المواصفات بغية حماية المعدات والأفراد من الصعق الكهربائي [9].

وقد عانى الكثير من المهندسين المحترفين بسبب سوء التأريض في المشاريع الكبرى ، حيث يتم التعامل معه بلا مبالاة وتفتير شديدين أثناء تأسيس البنية التحتية ثم يدفع صاحب المنشأة الثمن لاحقاً لعدم تمكن التأريض من مواكبة الأحمال الضخمة والحساسية في المستشفيات على سبيل المثال ، وقد عانيت شخصياً من هذا في العديد من المشافي ، حيث لم يتمكن جهاز ايكو دولر المتطور للغاية في أحد المشافي ، من التمييز بين كتلة البراز والورم الخبيث في بطن المريضة . كما كان جهاز آخر لاختبار ترقق العظام يعطي نتائج ترقق عظام وعوز شديد في الكالسيوم لكل الناس بمن فيهم الذي يتمتعون بصحة جيدة .

وكانت القيم الاسمية الموضوعية على تلك الأجهزة تتطلب مقاومة أقل من 1 أوم للأرضي ، وفرق كمون أقل من نصف فولط بين الأرضي والحيادي ليعطي نتائج دقيقة ، وهذا لم يكن متحققاً بسبب التأريض الارتجالي . وقد تم حل تلك المشاكل بسهولة بمجرد بناء أرضي نموذجي يحقق تلك الشروط .

4- أنواع التأريض :

هناك أنواع عديدة للتأريض [10] نذكر منها:

- التأريض ضد تيار الملامسة ، وهو تأريض يهدف بالدرجة الأولى لحماية الأفراد والمعدات من التكهرب.
- التأريض ضد ثوتر الخطوة ، وهو التأريض الذي يهدف لحماية الأفراد طوال القامة والحيوانات الكبيرة كالجمال والأبقار من الصعق في / وقرب محطات التحويل وعند خطوط وأعمدة التوتر المتوسط والعالي .
- التأريض ضد التيارات السكونية ، وهو التأريض الذي يهدف لحماية المعدات الثمينة كالأجهزة الطبية من التأثير بالتيارات السكونية التي تنشأ بينها وبين مستخدميها وخصوصاً في الصيف والخريف .
- التأريض ضد التوافقيات السعوية في نظم التوزيع النجمية وهو يهدف لموازنة نقطة الصفر في المحولات بشكل نموذجي ورخيص .

- تأريض التقطيس والتجيب ، ويهدف لعزل التيارات الضعيفة وشبكات نقل الداتا عن خطوط التيار المنخفض والمتوسط والعالي .

5- استعمال الماركونايت Marconite والخبث البركاني Slag بدلاً من الملح والفحم عند بناء التأريض:

يعتبر الماركونايت (الاسمنت منخفض المقاومة الكهربائية) ومسحوق الخبث البركاني (Slag) نموذجيان في تقليل المقاومة النوعية للتربة ، وعلى العكس من الملح العادي الذي سرعان ما يتلاشى مع الأمطار خلال عام أو عامين فإن

الماركونايت والخبث البركاني لا يتحللان مما يجعلهما جيدان جداً في بناء أرضي نموذجي كما يسهلان الوصول لمقاومة أقل من 2 أوم ، وقد أعطى معنا الماركونايت من نوع ABB-FURSE/25kg نتائج ممتازة للغاية وصلت في بعض المناطق الصحراوية لمقاومة أقل من 1 أوم بعد الحصول على المقاومة النوعية للتربة بطريقة وينر بينما أعطت أقل من 5 أوم في المناطق الصخرية [11] .

6- التعريف بظاهرة فادن :

شركة فادن سيكتروم (Faden Spectrum) هي شركة عملاقة في الخليج [12] تقوم بتوريد وتركيب شاشات العرض الطرقية العملاقة على الأبراج والجسور الضخمة وقد حصلت معها ظاهرة غريبة للغاية عند تركيبها لشاشة عملاقة على أحد الأبراج الضخمة في مدينة الخبر بالسعودية .

تبلغ مساحة الشاشة على واجهة البرج 2000 m^2 ومؤلفة من 2000 كيبين تغذي 2000 خلية مساحة كل خلية منها 1 m^2 ويتم تبريدها قسرياً عن طريق 63 مكيف سبيلت 2 طن بالإضافة لمكيف باكيج 25 طن يتم تشغيلها أوتوماتيكياً سناً للاستضاءة (يزداد معدل التبريد بزيادة الاستضاءة) .

وتتغذى الشاشة من علبة توزيع MDB ثلاثية الطور سعتها الأمبيرية 2250 أمبير وعليها قاطع هوائي ACB 2500A/3P 400V-60Hz. يتغذى بشكل مباشر من محولة تم تخصيصها لها بقدرة 1.5 ميغا فولط أمبير (1500 ك.ف.أ) انظر الشكل (1).

يخرج من المحولة عبر منهل أرضي نحو علبة الـ MDB 11 كيبيل مفرد مساحة مقطع كل منها 630 mm^2 بالإضافة للخط الأرضي ، وتتنوع كما يلي :

- ثلاث كيبيلات 630 مم لكل طور نشط
- كيبيلان 630 مم للحيادي
- كيبيل 120 مم للأرضي

ويخرج من سقف اللوحة نحو علبة توزيع وتحكم أخرى من نمط MCC وتبعد عنها 12 متراً نفس الكيبيلات بعد أن تم ثقب سقف اللوحة 12 ثقباً وتركيب 12 غلاند معدني 2 أنش لتمر الكيبيلات عبره نحو الأعلى وقد تم حمل الكيبيلات بعدها مباشرة على كيبيل تراي (صينية) مثبتة بالسقف وفق معطيات مبينة في الجدول التالي (جدول 1) :

جدول (1):

Distributing Type	ACB Ampacity	Voltage	Frequency	Number of Cables
TN-S	2500A	3P 400V	60 Hz	[11 x (1C 630 mm^2 XLPE/PVC)]+ 1C 120 mm^2 Y/G for PE

شاشة فادن محور هذه الدراسة :



شكل (1): شاشة شركة فادن محور هذه الدراسة (الخبر - المملكة العربية السعودية)

7- توصيف المشكلة :

نوضح أولاً أن علبة التغذية الرئيسة MDB موجودة في غرفة كهرباء البرج وهي غرفة نموذجية مبردة بشكل ممتاز بواسطة مكيف سيبلت 2 طن ، ولكن ، وبمجرد تشغيل الشاشة على استضاءة تبلغ 20 % يبدأ صوت ضجيج مزعج ينبعث من علبة التغذية الرئيسة MDB ، ويزداد الضجيج طردياً مع زيادة شدة الإضاءة ليصبح ضجيجاً يبلغ 90 dB عند استضاءة 50 % و 155 dB عند استضاءة 100 % (تم قياس مستوى الضجيج باستعمال جهاز Sound Meter LUTRON SL-4022).

اعتقد المهندسون أولاً أن الأصوات المنبعثة من علبة التغذية هي مجرد سوء شد في بعض براغي التثبيت وظلوا لأكثر من أسبوع يشدون ويبدلون كل برغي وعزقة دونما فائدة .

وبالصدفة فقط تبين أن حرارة سقف علبة التوزيع تتجاوز 80 درجة مئوية ، حين صرخ أحد العمال من الألم وهو يشد براغي الصينية الحاملة للكيبلات ، وذلك بمجرد وضع يده على سقف اللوحة .

تم إحضار مقياس حرارة بالأشعة تحت الحمراء من النوع (Fluke HVAC Pro 561) على عجل وهنا كانت المفاجأة : كانت درجة حرارة الكيبلات النحاسية عادية للغاية ومقاربة لدرجة حرارة الوسط على طول الخط (28.3 درجة مئوية) ، لكن عند نقطة خروج الكيبلات من سقف اللوحة تصبح حرارة الكيبلات 83.4 درجة لأقل من سنتيمتر واحد ثم تعود الحرارة لطبيعتها فوراً (28.3 درجة) بمجرد الابتعاد عن سقف اللوحة ، وكان هذا مغايراً لقوانين التيرموديناميكا المعروفة ، حيث كان من المفترض أن يتم التبادل الحراري وبالتالي رفع درجة حرارة الكيبلات على طول الخط. لقد كان هذا النوع من الأنتروبيا الحرارية عصياً على الفهم.

انظر الصورة الحرارية شكل (2) لمخارج الكيبلات من سقف علبة MDB لفهم عمق الظاهرة .



الشكل (2): الصورة الحرارية لمخارج الكيبلات من سقف علبة MDB لفهم عمق الظاهرة.

أرسلت شركة فادن سبيكتروم كل النتائج والمعطيات إلى الشركة الصانعة لتفسير الظاهرة وحل المشكلة ، لكن الصانع عجز عن تقديم أي فهم للظاهرة أو مساعدة من أي نوع ، فقامت الشركة بالتواصل مع مكاتب استشارية عالمية في ألمانيا وبلجيكا دون جدوى كذلك .

شكلت فادن سبيكتروم حينها فريق عمل دولي متعدد الجنسيات تحت إشراف الدكتور هزار شتات من الأردن لحل هذه المعضلة.

فريق العمل

- الدكتور المهندس هزار شتات من الأردن - رئيس فريق العمل
- المهندس عبد الله هبرة من سوريا - مسؤول الأتمتة والبرمجة
- المهندس أشرف علي من مصر - مسؤول تحليل البيانات والنظم
- المهندس محمد هيكل من مصر - مسؤول تطوير معاملات تحسين الاستطاعة
- المهندس محمد اسماعيل من مصر - مشرفاً
- المهندس محمد صقر من مصر - مشرف تطوير الملفات الحثية

ومن شركة فادن سبيكتروم :

- الأستاذ محمد القرعاوي من السعودية - مديراً
- الدكتور أوزير سيد من الهند - مشرفاً عاماً
- المهندس سليم الشيخ من الهند - مشرفاً
- المهندس يونس أزهر من الهند - مشرفاً

التعليل النظري المقترح:

لقد افترضنا منذ البداية أن الضجيج ناجم عن تشوهات التردد التوافقي الثالث وكنا موقفين في ذلك ، وأما الظاهرة الحرارية الغريبة المصاحبة فقد عللناها بكونها ناجمة عن تدفق الكترونات التيار الكهربائي مشوهة الموجة أصلاً بسبب مشاكل التوافقيات حيث نتقدم بين ذرات المعدن الحديدي (سقف اللوحة) وتصطم بذراته (التي لا تنتقل من مكان لآخر لكنها تتذبذب في مكانها ولذلك لها طاقة حركية) دون توقف ، وخلال هذه التصادمات تفقد الالكترونات المتحركة كل طاقتها الحركية تقريباً وينتقل جزء من هذه الطاقة الحركية الى ذرات المعدن وهذا يؤدي الى زيادة سرعة تذبذب الذرات وبالتالي ترتفع درجة حرارة المعدن وهذا الارتفاع بدوره يؤدي إلى زيادة التذبذب بشكل مضطرب بدرجة كبيرة مما يؤدي الى تصادمها مع بعضها البعض وتنتج حرارة عالية من جراء ذلك وبمجرد تحرر الإلكترونات من تأثير المعدن الحديدي فإنها تعود لطبيعتها الحرارية الأصلية.

وفي نفس السياق وضعنا خطة عمل متكاملة وكانت بالترتيب كما يلي:

- اللجوء لشركة تحليل نظم كهربائية محترفة لتقديم تقرير شامل عن تيارات الدخل والخرج وتحديد الشكل الموجي بدقة لمعرفة قيم وشكل التشوهات الحاصلة .
- بناء تأريض نموذجي كما هو موصف أعلاه عوضاً عن التأريض السابق الذي تم اعتماده لتأريض الملامسة فقط وذلك للأسباب التالية :

- 1- كانت مقاومة التأريض السابق حوالي 5 أوم في وضع اللاحمل وهي قيمة مقبولة
- 2- بمجرد تشغيل الشاشة كانت مقاومة التأريض تبلغ 2 ميغا أوم
- 3- عند رفع الاستضاءة لـ 50 % تبلغ مقاومة التأريض 20 ميغا أوم
- 4- عند استضاءة 100 % تصبح مقاومة التأريض مقاربة للانهاية

- 5- تأريض نقطة الصفر للمحولة عبر التأريض الجديد ضمن علبه MDB نفسها لتعذر التأريض والربط عند المحولة لأسباب فنية بحتة ، وقد تم بعد الحصول على موافقة الشركة العامة للكهرباء على هذا .
- 6- تقطيع وتحجيب الأرضي الجديد عند مروره عبر الجدران باتجاه غرفة كهرباء البرج (قفص فاراداي) لأن الكيبل المستعمل من آخر وتد نحو علبه MDB هو 240 مم2 من نوع SDBC
- 7- استبدال المعدن الحديدي لسقف لوحة MDB بلوح من مادة النفلون بسماكة 3 سم بمساحة 1 م2 لتحديد أي مجال مغناطيسي ناشئ .
- 8- دعم الخط الحيادي المكون من (2x(1C 630mm² XLPE/PVC بخط ثالث من نفس النوع والحجم سناً لتوصيات ونواظم شنايدر رقم ION7400 الموافقة لمتطلبات المواصفة EN50160-10 وتعديلاتها
- 9- تركيب فلتر توافقيات نشط بعد القيام بالإجراءات أعلاه بالكامل فيما لو دعت الحاجة لهذا .
- استغرقت هذه الأعمال حوالي 13 شهراً ميلادياً .
- وكان الوضع العام لحظة بدئنا العمل ، وفقاً لتقرير شركة تحليل نظم الطاقة كما يبينه الجدول (2) .

جدول (2):الوضع العام لحظة بدئنا العمل فيما يخص الأطوار النشطة ، وفقاً لتقرير شركة تحليل نظم الطاقة

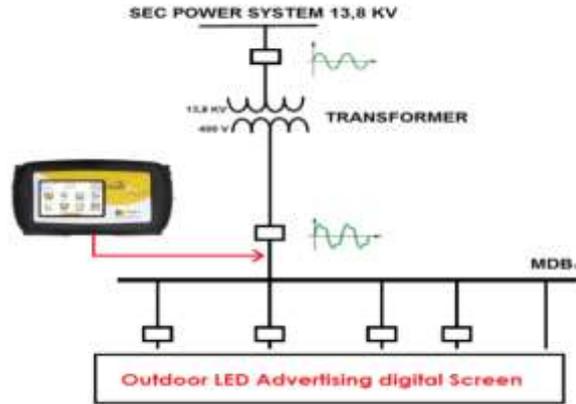
LED BRIGHTNESS (%)	15%	30%	50%	70%	100%
MEASURED CURRENT (A)	347	460	605	744	995
TRANSFORMER LOAD CURRENT (BASED ON 2160A)	16%	22%	28%	35%	46%
ACCEPTED THD-CURRENT AS PER IEEE 519-2014	31%	22%	17%	14%	11%
ACCEPTED THD-VOLTAGE AS PER IEEE 519-2014	5%	5%	5%	5%	5%
MEASURED THD-CURRENT	93%	97%	95%	80%	77%
MEASURED THD-VOLTAGE	5.70%	7.7%	9.90%	11%	13%
RESULT AS PER IEEE 519- 2014	NOT ACCEPTED				

وبالنسبة للخط الحيادي (البارد) كان الوضع كما في (الجدول 3) .

جدول (3): الوضع العام لحظة بدئنا العمل وفقاً لتقرير شركة تحليل نظم الطاقة بالنسبة للخط الحيادي

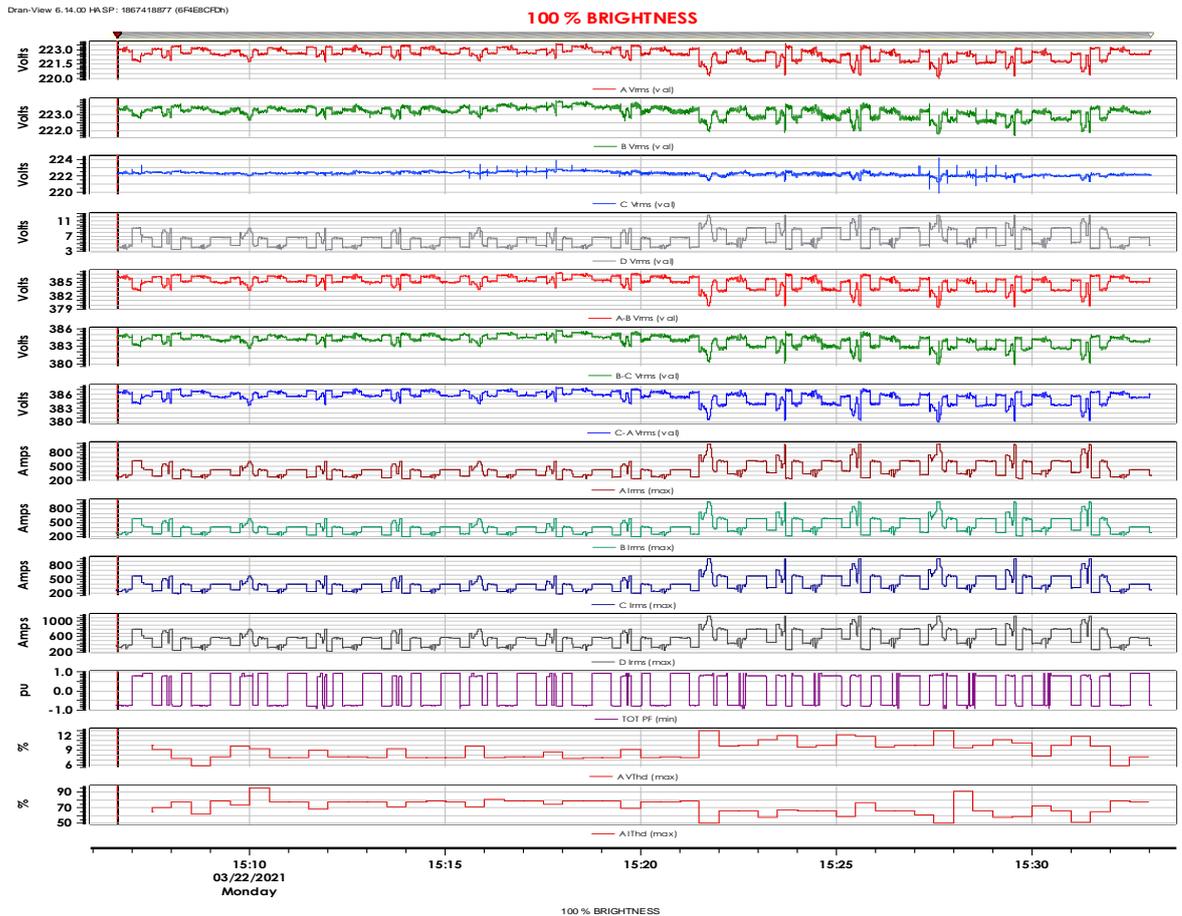
LED BRIGHTNESS (%)	15%	30%	50%	70%	100%
MEASURED CURRENT (A)	347	460	605	744	995
MEASURED NEUTRAL (A)	443	638	811	930	1134

وكان المخطط الصندوقي لمجموعة التغذية من المحولة لغاية علبه MDB كما يوضحه الشكل (3).



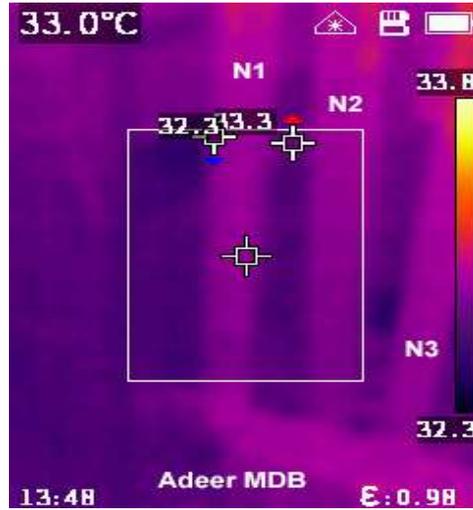
شكل (3): المخطط الصندوقي لمجموعة التغذية من المحولة لغاية علبه MDB

بينما كان التشوه الموجي لـ THDv and THDi عند استضاءة 100 % لحظة بدء العمل كما يوضحه الشكل (4) :



شكل (4): التشوه الموجي لـ THDv and THDi عند استضاءة 100 % لحظة بدء العمل

- وبعد انتهاء الأعمال التي استغرقت 13 شهراً وطبقنا فيها جدول الأعمال أعلاه بحذافيره حصلنا على نتائج مقبولة وهي :
- تخفيف التوافقيات فيزيائياً على الخط الحيادي إلى 47 % عوضاً عن 95 % عند معدل استضاءة 50 %
- تخفيف السعة الأمبيرية الظاهرية على الخط الحيادي إلى 438 أمبير عوضاً عن 811 أمبير عند معدل الاستضاءة نفسه .
- تخفيف الضجيج ليصبح 55 dB عند معدل الاستضاءة المذكور .
- غياب الحقل الحراري بالكامل ، وخصوصاً عند منطقة خروج الكيبلات من سقف علبة MDB وقد تم التأكد من ذلك بعد استعمال جهاز تصوير حراري منطور من نوع Fluke TiS55 ، انظر الشكل (5).
- نشوء حقل حراري كبير على طول الخط البارد المغذي لنظام التحكم والاداءات في غرفة التحكم وهو خط ذو مقطع صغير من النوع (1C 35mm2 XLPE/PVC) ، وقد تم حل هذه المشكلة الطارئة بفصل الخط كلياً وتغذية المعطيات من لوحة MCC بشكل مباشر .
- تخفيف فاتورة الكهرباء بمعدل 45 % تقريباً مقارنة بنفس الشهر من العام الذي سبقه بالرغم من تساوي ساعات التشغيل ورفع معدل الاستضاءة من 50 % لغاية 65 % .



الشكل (5): الصورة الحرارية بعد التغلب على الحقل الحراري المبهم

النتائج والمناقشة :

- تميل حقول التوافقيات للتأثير على الخطوط ذات المقطع الأقل فالأعلى ، ويظهر الأثر الحراري جلياً على الخطوط الأضعف
- يمكن تخفيف التوافقيات السعوية عبر مضاعفة مقطع الخط الحيادي ، لكنه لا يمكن أن يكون حلاً سحرياً يغني عن الفلاتر النشطة في المشاريع الضخمة ، وإن الحل الفيزيائي الذي قدمناه كان حلاً مقبولاً لكنه لم يكن نموذجياً ولا يغني عن الفلاتر النشطة ، ومع ذلك فقد قدمنا حلاً خلاقاً سيخفف الكتلة الحجمية والسعوية للفلاتر النشطة إلى النصف على الأقل فيما لو قررت فادن تركيبه ، مما يعني توفير المزيد من المال حيث أن تكلفة فلتر 400 أمبير أقل كثيراً من تكلفة فلتر 1200 أمبير حتى ولو كان وفق نظام 3 X 400

- يستطيع التأريض الجيد المتصل بالحيادي (على أساس نظام TN-C) تحسين التشوه السعوي بدرجة كبيرة شريطة وجود تأريض آخر مستقل ضد تيار الملامسة لحماية الأفراد من التكهرب لأي سبب .
- مشكلة الأثر الحراري عند التقاء الكيبلات بمعدن حديدي في الأحمال الضخمة (ظاهرة فادن) هي مشكلة ناجمة عن التوافقيات ضمن اشتراطات محددة لكنها ما تزال تحتاج للمزيد من الدراسة لوضع القوانين الرياضية الناظمة.
- نخلص الى القول بأن الحلول الفيزيائية المدروسة جيداً تستطيع حل جزء كبير من هذا النوع من المشاكل مع إزالة مقبولة (غير نموذجية) للخطورة ، وبالرغم من هذا فلا يمكن الاستغناء عن الفلاتر النشطة في هذا النوع من الأحمال بالرغم من أن الحلول الواردة في هذه الدراسة يمكنها تخفيف معدل الاستهلاك بشكل مؤثر كما هو واضح من الشكل (6) الذي يبين معدل الاستهلاك لحظة صدور الفاتورة مقارنة مع الشهر نفسه في العام الذي سبقه بالرغم من رفع معدل الاستضاءة من 50 إلى 65 %



شكل (6): معدل الاستهلاك بعد تنفيذ الحلول المنوه عنها أعلاه

الاستنتاجات والتوصيات :

- نوصي بشدة في هذا النوع من المشاكل المصاحبة لهذه النوعية من الأحمال بما يلي :
- توزيع الحمل على عدة محولات صغيرة (وهذا ما كان متعذراً في مشروع فادن لاعتبارات تقنية متعلقة بشركة الكهرباء نفسها)
- استعمال CTs على الباسبارات الداخلية لعلمية التوزيع MDB من النوع المضاد للاهتزاز

- استعمال مولد نبضات حثية ستاتيكي SVG ، وهو الآخر متعذر لأسباب تقنية تتعلق بالمساحة المتاحة .
- استعمال مولد نبضات نشطة APF بعد القيام بكافة الإجراءات التي قمنا بها أعلاه ، ومشكلة هذا النوع من الفلاتر أنه غالي الثمن جداً
- وعند تعذر القيام بالإجراءات أعلاه فإنه يمكن الاكتفاء بالحلول الفيزيائية التي قمنا بها وفق شروط صارمة أهمها أن يكون تخرب محولات التيار من نوع 5-9VDC هو ضمن معدل التخرب المسيطر عليه نسبياً ، وشريطة أن لا يزيد معدل الاستضاءة وقت القليظ ظهراً عن 60 - 65 % في درجة حرارة وسط لا تتجاوز 45 درجة مئوية .

التطلعات :

نتطلع للاستفادة من ظاهرة فادن من خلال تعميم الحلول - التي وردت في هذه الورقة البحثية - في المشاريع الأخرى لتحسين THD بأقل كلفة من جهة ، وتحقيق وفرة في فاتورة الكهرباء من جهة أخرى ، كما حصل مع فادن بالضبط . كما يمكن موائمة الحل ليتناسب مع المشاريع المختلطة التي تعاني عدم استقرار في THDv أيضاً . وقد لاحظنا في المولات الضخمة والمشافي الكبرى حالة من عدم الثبات في THDi و THDv بين الصيف والشتاء ، حيث يغلب على تلك المشاريع عدم استقرار فيما يخص THDv صيفاً نتيجة الإفراط باستعمال أجهزة التكيف وخصوصاً التريلرات وفي المقابل تعاني تلك المشاريع من اختلال مطاورة ومشاكل THDi شتاءً نتيجة الإفراط باستعمال إنارة التوفير دون وجود THDv يذكر بسبب عدم الحاجة للمكثفات في هذه الفترة من السنة . وعليه يمكن الموائمة بين الحالين من خلال تصميم PFCB (Power Factor Capacitor Bank) وفق ما يلي :

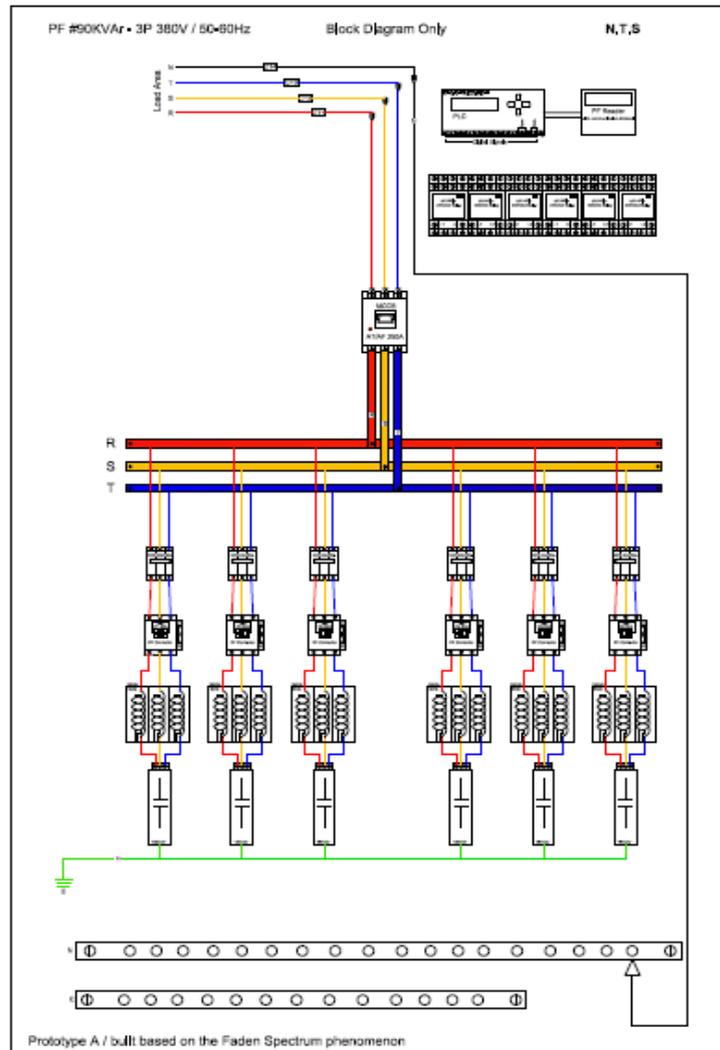
- يتم أولاً احتساب القيمة العليا من الـ KVAR من خلال استعمال جهاز تحليل نظم كهربائية موثوق ، بعد تشغيل كل المشروع
- يتم تصميم PF بناء على القيمة الأعظمية من الـ KVAR مضروبة بهامش الأمان 1.2
- يتم استعمال قارئ PF من نوع جيد وموثوق من النوع الرباعي PPPN ويستطيع قراءة كل فاز نشط بالإضافة للحمل الظاهري على الحيادي .
- يتم استعمال PLC مزود بمعالج قوي ووحدة تبادل اتصال وداتا موثوقة للحصول على القراءات ومعالجة البيانات ومن ثم برمجته بما يتوافق مع طبيعة المشروع لإدخال مجموعة المكثفات وإخراجها ، كل على حده وبالتعاقب كلما دعت الحاجة .
- لأن التوافقية الكبيرة تؤثر على أداء المتحكمات فتجبرها على ارسال إشارات خاطئة ، ومنعاً لأي تداخل إشارات غير حميد كذلك ، يتم استعمال CT خاصة بالخط الحيادي بحيث تمنع عمل بنك PF كله عند وصول الأمبير الظاهري على الحيادي إلى الحد الحرج ، لأنه يعني بشكل دقيقاً كبيراً من THDi ولا نحتاج لدخول أي مكثفات لزيادته .
- يتم ربط مكثفات KVAR بملفات خانقة ثلاثية لتفريغ شحنات المكثفات بشكل مأمون عند خروجها من العمل .
- يتم استعمال كونتاكتورات PF قياسية مزودة بوشائع حرارية لتفريغ الشحنات الزائدة عليها منعاً من تهنكها .
- وإن هذا التصميم يحقق عمل PFCB بوثوقية عند وجود أي نوع من THDv ، ويوقفها عن العمل قسرياً في حال تغلب موجة THDi على موجة THDv حتى في حال تداخل الأوامر لأن أولوية الفتح والإغلاق سعطى لنتائج القراءة على الخط الحيادي ، وهو بالتالي صالح للعمل في جميع الظروف .

أما للتعامل مع موجة THDi كبيرة فإن المشروع يتطلب وجود تأريض قوي ضد التوافقيات وفق نظام TN-C كما تم شرحه سابقاً في هذه الورقة البحثية ، ومن الضروري الحفاظ على التأريض الأساسي في المشروع الموجود وفق نظام TN-S للحماية ضد تيار الملامسة فقط .

النموذج التنفيذي الأولي :

الشكل المقترح ل نموذج PFCB (Power Factor Capacitor Bank) الأولي ليكون صالحاً للربط على الشبكة الداخلية للمشروع والعمل في كافة فصول السنة ، وسيكون 90 KVar مما يسمح لنا بتجربته - بعد بنائه على مشاريع قد تصل استطاعتها لغاية 300-400KW (ومع ذلك فإن تحليل النظم الدقيق هو ما يحدد صلاحية النموذج للتجربة في هذا المشروع أو ذاك ، ويمكن زيادة السعة الحجمية للنموذج ليتواءم مع المشاريع الأضخم عبر زيادة المراحل) :
وإن النموذج الأولي الذي وضعناه ، قد بدأ تنفيذه من قبل فريق عمل شركة فادن سبيكتروم ، وسيكون جاهزاً خلال 4 أشهر على أبعد تقدير .

فضلاً راجع النموذج الصندوقي المقترح في الشكل (7) والمبني على نتائج ظاهرة فادن سبيكتروم .



شكل (7): المخطط الصندوقي المقترح لتحسين معامل القدرة بناء على ظاهرة فادن سبيكتروم

References:

- [1] Instructor: Joseph E. Fleckenstein, PE, Calculating and Measuring Power in Three Phase Circuits, PDH online Course E344 (6 PDH), 2020.
- [2] V.Hima Bindu , V.V.S Madhuri, Chandrashekar.D: BASIC ELECTRICAL ENGINEERING, GOKARAJU RANGARAJU INSTITUTE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY.
- [3] Karthik Subramanian: Power factor correction using capacitors & filters April 2018, International Journal of Engineering & Technology, Northeastern University, ,7(2.12):234, DOI:10.14419/ijet.v7i2.12.11288
- [4] SANTOSH DAS:Types of Electric Current, LAST UPDATED ON MAY 25, 2022,
- [5] C.K. Duffey; R.P. Stratford: Update of harmonic standard IEEE-519: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, Publisher: IEEE
- [6] New York Engineers Electrical Load Types | Resistive, Inductive & Capacitive, <https://www.ny-engineers.com> › blog › top-3-types-of-el.
- [7] LOUIS N. RIDENOUR, Ediam-in-Chiej, PULSE GENERATORS, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY RADIATION LABORATORY SERIES, 1948
- [8] lsp-international.com, <https://www.lsp-international.com> › power-supply-system, Power Supply System (TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT)
- [9] Mohammad alsharaby, Book of grounding and lightning rod design, Nov 28, 2022
- [10] C&C Technology Group, <https://cc-techgroup.com> › Electrical Engineering, Types of Electrical Grounding Systems & Techniques, Jun 8, 2023
- [11] ETS Cable Components, <https://www.etscablecomponents.com> › Product, Bentonite vs Marconite – Earthing Compound Comparison
- [12] Zoominfo.. Faden Spectrum - Overview, News & Competitors <https://www.zoominfo.com> › Faden-spectrum