

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَمَا أُوتِيتُمْ مِنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا

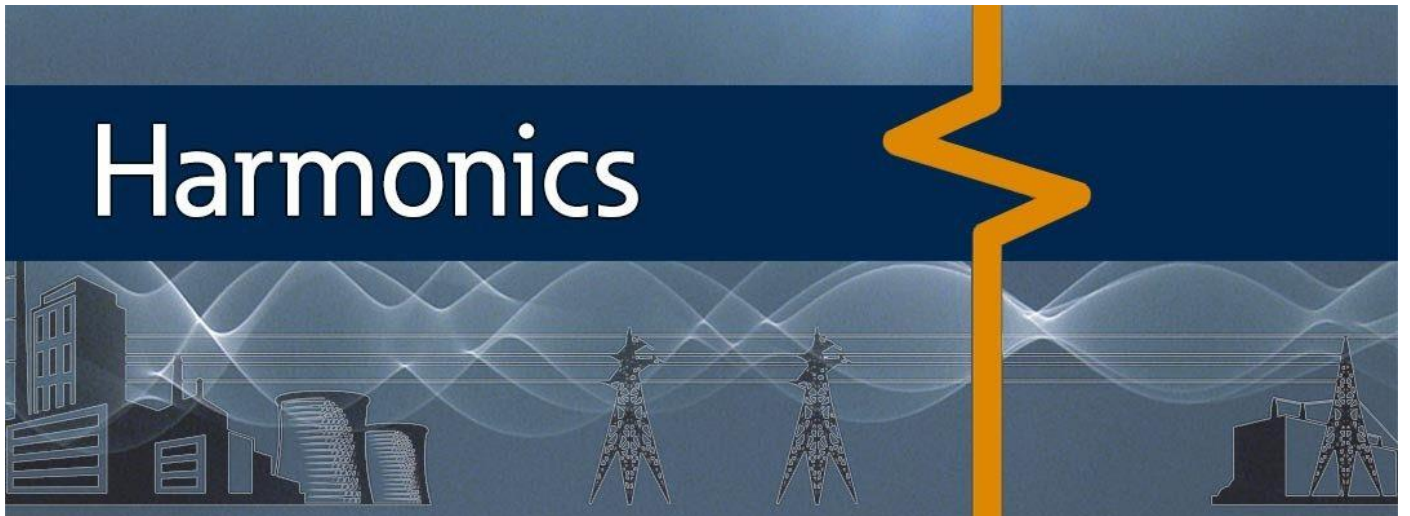
صدق الله العظيم

بحث عن / التناغم Harmonics

من اعداد المهندس

بارزان أقدر عمر فوزي

Harmonics



المقدمة :

مع التطور الذي يشهده علم الالكترونىك و استخدامنا اليومي للاجهزة الالكترونية اثرت هذه الاجهزة بشكل مباشر على شكل الموجة الجيبية بشكل سلبي لذلك وجب على الباحثون ايجاد طرق لحل هذه المشكلة فما هي التوافقيات (harmonic) و كيف يؤثر على النظام الكهربائي و ما هي الحلول , في هذا البحث نقدم لكم الحلول العملية لحل هذه المشكلة.

و شكرا

ما هو التناغم وما الذي يسببه؟

إن التناغم (الهارمونيك) هو تيارات أو جهود يكون ترددها مساوياً لحاصل ضرب عدد صحيح بالتردد الاسمي للشبكة والذي يكون عادة HZ50 أو HZ. 60 على سبيل المثال إذا كان التردد الاسمي HZ50 يكون المدروج الثاني بتردد $HZ 100=50*2$ والمدروج الثالث بتردد $HZ 150=50*3$ وهكذا. وباستخدام المعدات الحديثة يمكن حالياً قياس التناغم

عندما يسود التناغم في الشبكات الكهربائية فإن لوحات التوزيع الكهربائية وكذلك المحولات تصبح في حالة طنين ميكانيكي وذلك مع الحقول المغناطيسية التي تولدها المدروجات ذات التردد العالي. وعندما يحدث ذلك تبدأ لوحة التوزيع الكهربائية أو المحولة بالاهتزاز وتطلق صوت أزيز متناسب مع تردد كل مدروج، وتعتبر المدروجات من المدروج الثالث وحتى المدروج الخامس والعشرين من المدروجات الأكثر شيوعاً التي يتم قياسها داخل أنظمة التوزيع الكهربائي.

بالإضافة إلى ذلك، تنتج المدروجات أو تتولد بفعل استخدام الأجهزة الالكترونية الحديثة كالحواسيب الشخصية والمكتبية والطابعات الليزرية وأجهزة الفاكس وأنظمة الهاتف والراديو والتلفزيون وأجهزة قيادة المحركات (الانفرترات) وشواحن البطاريات ووحدات تزويد الاستطاعة غير القابلة للانقطاع (UPS) وأي جهاز الكتروني آخر يتم تزويده بوحدة تزويد استطاعة قابلة للفصل والوصل.

إن الأجهزة المذكورة أعلاه يشار إليها أيضاً بالأحمال غير الخطية، وهذا النوع من الأحمال غير الخطية يقوم بتوليد التناغمات أو المدروجات التي تأتي من منازلنا أو منشآتنا، والجدير بالذكر أن هذه الأجهزة وبالرغم من أنها تصدر المدروجات إلا أنها حساسة جداً تجاهها.

إن هذه الأجهزة و التي سنسميها (SMPS: Switch Mode Power Supply equipment) تشكل جزءاً كبيراً من الأحمال غير الخطية في معظم شبكات التوزيع الكهربائية. وبشكل أساسي هناك نوعان من الأحمال غير الخطية: الأحادية والثلاثية.

الأحمال غير الخطية أحادية الطور منتشرة بشكل كبير في المنازل و المكاتب، أما الثلاثية فهي منتشرة في المعامل والمنشآت الصناعية.

و حالياً تستخدم معظم أجهزة الكمبيوتر وحدات SMPS والتي تحول جهد الشبكة المتناوب إلى جهد منخفض مستمر لتغذية الالكترونيات الدقيقة الموجودة داخل الحاسوب. إن هذه الوحدات (الغير خطية) لتزويد الاستطاعة تقوم بتوليد تيار قيمة ذروته مرتفعة ونبضات قصيرة وهذه النبضات تقوم بتشويه كبير في شكل موجة التيار والجهد (الموجة الجيبية).

وتسمى هذه العملية بالتشويه الكلي للهارمونيك ويتم قياسه كنسبة كلية مئوية (THD%) وهذا التشويه يعود إلى منبع الطاقة (يسري في الشبكة) ويمكن أن يؤثر على عناصر أخرى مرتبطة بنفس الشبكة.

ما يحدث في نظام التوزيع الكهربائي الذي يحتوي على أحمال غير خطية تولد المدروجات حيث أن أجهزة SMPS سوف تسبب تشويه مستمر لمنبع الطاقة الذي يؤثر بدوره على معدات وأنظمة توزيع الطاقة في الشبكة.



ما هي المشاكل التي يسببها التناغم؟

في أنظمة وشبكات التوزيع الكهربائية يقوم التناغم بتوليد ما يلي:

تيارات كبيرة في الخط الحيادي بالنسبة للنظام ثلاثي الطور ونظريا يمكن أن يمر في هذا الخط مجموع التيارات التي تمر في الخطوط الثلاثة مجتمعة مما يسبب زيادة كبيرة في درجة حرارة الخطوط الحيادية. وعادة تكون الخطوط الثلاثة الأساسية محمية بشكل مناسب بواسطة القواطع والمنصهرات أما الخطوط الحيادية فلا تكون محمية بشكل مناسب مما يرفع إمكانية حدوث حرائق.

زيادة درجة حرارة محولات التغذية والذي يؤدي إلى إنقاص العمر الفني لها وتدميرها في نهاية المطاف، وعند حدوث أي عطل في هذه المحولات فإن كلفة التوقف عن الإنتاج فقط تتخطى كلفة تغيير المحولة.

تشويه كبير في الجهد يتجاوز المواصفات القياسية "IEEE 110-1992 Recommended practice for powering and grounding sensitive electronic equipment" كما يتجاوز المواصفات الفنية للعديد من مصنعي الأجهزة الكهربائية.

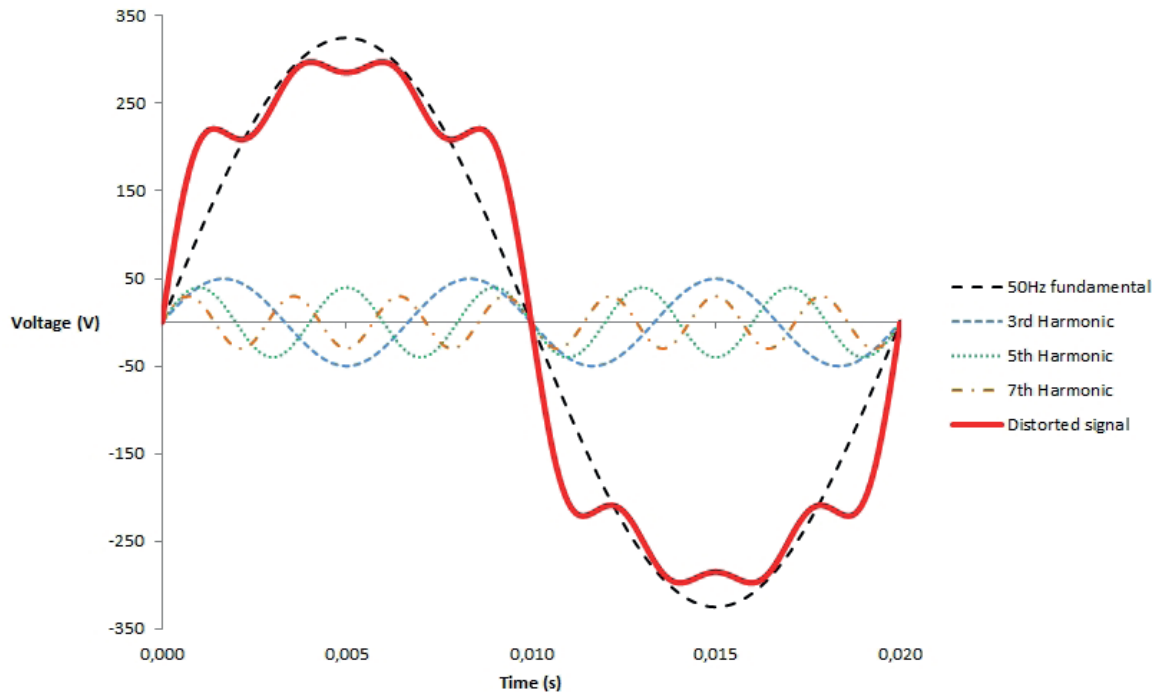
تشويه عالي في التيار والتيارات كبيرة تمر في الدارات الفرعية بما يتجاوز المواصفات القياسية IEEE 110-1992 والمواصفات الفنية للعديد من مصنعي الأجهزة الكهربائية.

فرق جهد مرتفع بين الخطين الحيادي والأرضي وعادة ما يكون أكبر من 2 V بما يتجاوز المواصفات القياسية IEEE 110-1992.

انخفاض عامل الاستطاعة مما يؤدي إلى استجرار أكبر للاستطاعة الرديئة وغرامات مفروضة من شركة تزويد الطاقة الكهربائية.

طنين يؤدي إلى توليد نبضات تيار عالية مما يؤدي إلى تدمير المكثفات والمنصهرات التي تحميها كما يؤدي إلى تدمير أجهزة الحماية من النبضات مما يؤدي إلى شلل عام في النظام.

فصل غير مبرر للقواطع في الدارات الفرعية.



Decomposition example of a complex distorted signal, as addition of 50Hz fundamental and 3rd, 5th and 7th harmonics (150Hz, 250Hz, 350Hz respectively).

كيف يؤثر التناغم على المنشأة؟

إن النقاط السابقة توضح المشاكل التي تؤثر مباشرة على نظام التوزيع الكهربائي إلا أن هذه المشاكل تؤثر على المباني والمنشآت والأماكن الصناعية بطرق مختلفة وبشكل غير مباشر ويمكن إيجاز ذلك في النقاط التالية:

إن التشويه والانخفاض في الجهد سيؤثر على المعدات الموصولة بالدارات الفرعية والتي تستجر تيار أكبر للمحافظة على معدل الاستطاعة الاسمي الخاص بها (واط) وكلما كان استجرار التيار أكبر كلما زادت درجة حرارة هذه المعدات والتي لم تكن مهينة عند تصنيعها لهذا الارتفاع في درجة الحرارة. وبدورها فإن الحرارة الزائدة تسبب أعطال لبعض مكونات هذه المعدات. بالإضافة إلى ذلك، سوف تحدث عمليات جمود للحواشيب وأعطال تشغيلية أخرى غير مبررة وهذه المشاكل مؤرقة جدا بحد ذاتها حيث لا يمكننا اكتشاف العطل والسبب الحقيقي وراء هذه الأعطال. وبشكل عام فإن الحرارة الناجمة عن المعدات التي تتعرض للتناغم بشكل عام سوف تسبب العديد من المشاكل بدءاً بالتهوية التي ستصبح ضرورية في هذه الحالة والتي ستحتاج إلى تكلفة إضافية خصوصا في أماكن الإنتاج التي تلعب فيها درجة حرارة الوسط المحيط دورا حاسما في عملية الإنتاج، وانتهاء بالأعطال غير المبررة التي يستغرق الكشف عنها أياما دون جدوى.

في المنشآت التي تحمل طابعا خاصا كمراكز الاتصالات ونقل المعلومات فإن الحرارة الزائدة الناتجة عن العدد الكبير من للشاشات المختلفة وشاشات الحواسيب سوف تفرض تكلفة مرتفعة واستجرار إضافي للطاقة وذلك من أجل نظام التهوية والتكييف (بسبب التناغم ارتفاع في درجة حرارة الشاشات أيضا).

عادة ما تكون كبلات الاتصالات ملاصقة لكبلات الطاقة، وعند ارتفاع التشويه الكلي للتناغم فوق حد معين (أكثر من 5% THD) كما هو مبين في المواصفات القياسية IEEE 110-1992 فإن التناغم يتم نقله إلى (تحريضه في) خطوط الهاتف وكبلات المعلومات والنتيجة هي خطوط هاتف غير نقية وفقدان غير مبرر للمعلومات في الشبكات السلكية واللاسلكية.

لماذا لم يتم التعرف على التناغمات ومعالجتها في شبكات التوزيع الكهربائية؟

أولا يجب علينا أن نأخذ بعين الاعتبار أن أنظمة التوزيع الكهربائية لمعظم المباني والمنشآت لم يتم تصميمها للتعامل مع هذا الكم من الأحمال غير الخطية، وقد بدأنا برؤية آثار هذه المشكلة حديثا فقط.

خلال العقد الماضي أدى الانتشار الهائل للحواشيب وأجهزة SMPS إلى تحويل المباني والمنشآت والأماكن الصناعية وباختصار كل شيء من حولنا إلى بيئة متطورة تعتمد بشكل أساسي على الحواشيب. ولكن للأسف فإن المباني القديمة التي يتم تجديدها وأيضا المباني والمنشآت التي يتم بناءها لا يتم تزويدها بمعدات حديثة لإلغاء التناغم، والنتيجة هي منشآت غير قادرة على مواكبة التكنولوجيا الحديثة والمشاكل التي أتت بها تلك التكنولوجيا.

ومن الواضح انه في ضوء المشكلات التي يسببها التناغم أصبح من الحتمي تصميم شبكات التوزيع الكهربائية اليوم لتكون جاهزة للتعامل مع الأحمال غير الخطية (وليس فقط الأحمال الخطية) وللأسف فإن قوانين البناء والتصميم الهندسي المعتمد لا يفيان بمتطلبات التكنولوجيا الحديثة ومع ازدياد أعداد أجهزة SMPS فإن مشكلة التناغم سوف تزداد سوءا خصوصا مع عدم كفاية أو ملائمة أو حتى وجود نظام تأريض للمنشآت والذي يستخف به عادة أو يعتبر شيئا ثانويا في معظم الأحيان.

كيف يمكننا تهيئة الشبكات الكهربائية للتناغم؟

إن التوصيات التي سوف نستعرضها أدناه هي فقط للحفاظ على سلامة شبكات التوزيع الكهربائية ولكنها لا تلغي أو تتخلص من التناغم أو أي من مدروجاته كما أن بعض هذه التوصيات متعذرة التطبيق في المنشآت القائمة:

استخدام مقاطع كبيرة نسبيا (الضعف) للكابلات الحياضية أو مد خطوط حياضية لكل طور على حدى.

إنشاء نظام تأريض فعال ومدروس بعناية.

في الدارات الفرعية ينصح بتمديد كبل تأريض منعزل وذلك للحواشيب والأجهزة الالكترونية الحساسة.

ينصح باستخدام لوحات فرعية خاصة بتغذية الحواشيب والأجهزة الحساسة وتغذى من اللوحة الأساسية بشكل مباشر.

ينصح بتركيب حلقة نحاسية كبيرة مع عدد من القضبان المدفونة بعمق تحت الأرض كجزء من نظام التأريض وذلك للحصول على مقاومة 5 OHM أو أقل لنظام التأريض.

تكبير مقاطع الكبلات الرئيسية و الذي بدوره يساعد على تقليل هبوط الجهد على الدارات الفرعية.

تقليل المسافة بين الدارات الفرعية واللوحه الأساسية للتقليل من هبوط الجهد.

كيف يمكننا معالجة التناغم؟

ينبغي معالجة مشكلة التناغم وذلك للحصول على أكبر نفع ممكن من شبكات التوزيع الكهربائية وضمان جودتها وتجنب المشاكل الناجمة عن التناغم، ومعالجة التناغم تتم بطريقتين أساسيتين: التصفية أو الإلغاء.

إن جهاز تصفية التناغم يتألف من مجموعة من المكثفات مع ملف تحريضي، وهذا الجهاز يتم تصميمه من أجل معطيات معينة للشبكة قيد الدراسة إلا أن هذا النوع من المعالجة غير فعال تماما إذ يمكن فقط تصفية مدروج واحد كما أنه عند تغيير معطيات الشبكة (إضافة أو إلغاء عناصر) يجب إعادة الدراسة من جديد.

أما الطريقة الأخرى فتتم بواسطة محولات إلغاء أو ما يعرف بالمحولات القابلة للصفحة وهذا النوع من المحولات جديد نسبيا وتحمل تكنولوجيا كهرومغناطيسية تقوم بإزالة التيارات العالية من الخط الحياضي وإلغاء المدروجات الأكثر خطورة من المدروج الثالث وحتى الخامس والعشرين (هناك أيضا جيل جديد يعتمد في عمله على الالكترونيات الدقيقة الذي يمكن برمجتها لإلغاء أي مجموعة كانت من المدروجات) ويمكن استخدام هذه المحولات لمعالجة وإلغاء المدروجات الموجودة في المباني والمنشآت الصناعية كما يمكن وضعها ضمن خطة التصميم للأبنية والمنشآت الحديثة.



1. الحد من التيارات المتولدة الناتجة

يمكن تقليل التيارات المتولدة الناتجة عن طريق

1.1 خط الاختناق

أنه يقلل من (لمحولات التردد DC أو مدمج في ناقل) يتم توصيل خنق ثلاثي الطور في سلسلة مع مزود الطاقة خاصة التوافقيات عالية العدد) وبالتالي قيمة جذر متوسط التربيع للاستهلاك الحالي والتنشويه (التوافقيات الحالية خط عند نقطة اتصال العاكس

من الممكن تثبيت الاختناق دون التأثير على مولد التوافقيات واستخدام الاختناقات لعدة محركات أقراص



خندق خط ثلاثي المراحل

2.1 باستخدام مقومات المرحلة 12

هذه غالبا ما (هنا ، من خلال الجمع بين التيارات ، التوافقيات منخفضة الترتيب مثل 5 و 7 يتم التخلص من المنبع تسبب معظم الاضطرابات بسبب السعة الكبيرة). يتطلب هذا المحول محولاً ذا ملفين ثانويين (النجم والدلتا) ، وينتج فقط التوافقيات مرقمة 12 كيلو ± 1 .

3.1 إدخال الأجهزة الحالية Sinewave

لامتصاص التيار الجيبي PWM هذه الطريقة تتكون في باستخدام محولات ساكنة حيث يستخدم المقوم تبديل

2. تعديل التثبيت

تعديل التثبيت يمكن أن يؤديها عن طريق تحسين الأحمال الحساسة مع المرشحات، زيادة قوة ماس كهربائي للتركيب ، أو إلى derating معدات

1.2 فصل الأحمال الملوثة

كخطوة أولى ، يجب توصيل الجهاز الحساس أقرب ما يمكن إلى مصدر إمداد الطاقة

بعد ذلك ، يجب تحديد الأحمال الملوثة وفصلها عن الأحمال الحساسة ، على سبيل المثال من خلال توفير الطاقة لهم من مصادر منفصلة أو من محولات مخصصة. تتضمن هذه الحلول العمل على هيكل التثبيت وعادة ما تكون صعبة ومكلفة

2.2 تعديل الأجهزة الواقية والمكثفات المعتاد

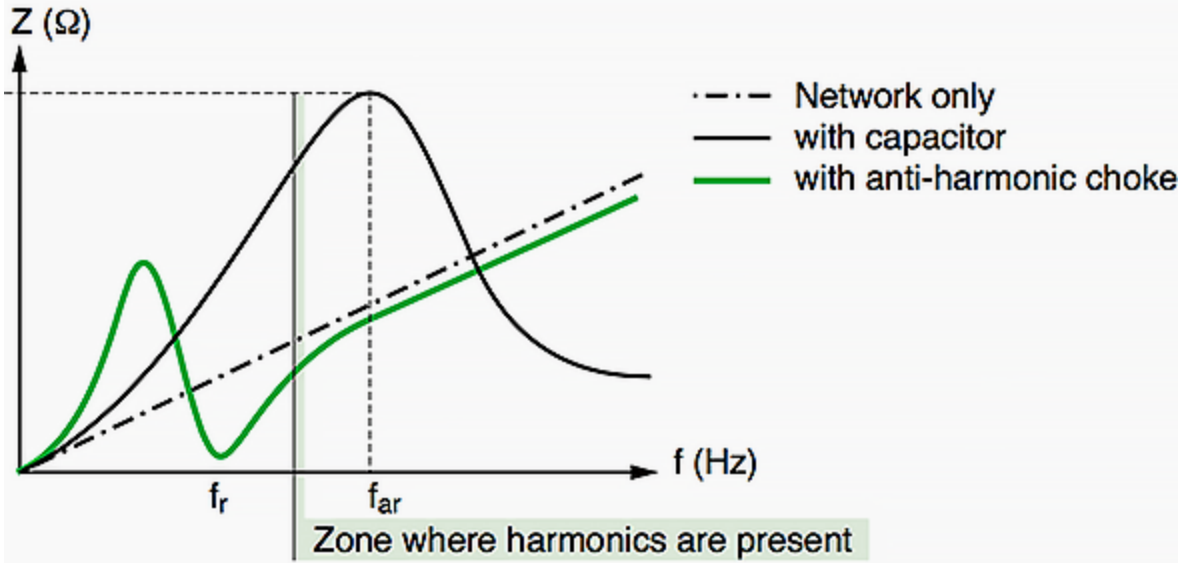
هي القوة Gh يعتمد اختيار الحل على خصائص التثبيت. يتم استخدام قاعدة بسيطة لاختيار نوع المعدات حيث هي القوة الظاهرة المحولات Sn الظاهرة لجميع مولدات التوافقيات المقدمة من نظام بسبار نفسه كما المكثفات ، و (المراحل) الأولية

- المعدات القياسية مناسبة $Gh / Sn \leq 15$ إذا
 - هناك نوعان من الحلول الممكنة $Gh / Sn > 15$ إذا
- (% 25) $Gh / Sn \leq$ للشبكات الملوثة (15 %):

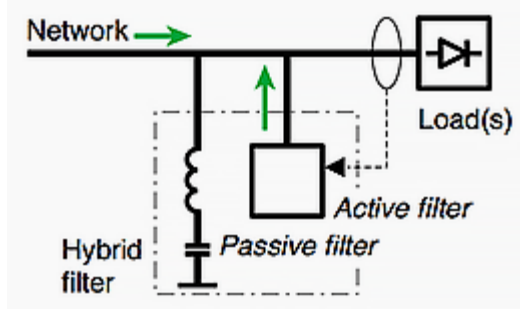
يجب أن يكون التصنيف الحالي للوصلات الكهربائية والمفاتيح في السلسلة مبالغاً فيه ، كما يجب أن يكون تقدير الجهد للمكثفات أكثر من اللازم

(% 60) $Gh / Sn \leq$ للشبكات الملوثة للغاية (25 %):

يجب أن تكون متصلاً الاختناقات مكافحة التوافقي لثم ضبط المكثفات على تردد أقل من تردد أدنى التوافقي (على سبيل المثال ، 215 هرتز لشبكة 50 هرتز) انظر الشكل 1 أدناه. هذا يلغي أي خطر الرنين ويساعد على الحد من التوافقيات



منقي	المبدأ	مميزات
مبني للمجهول	<p>سلسلة ضبطها إلى كل تردد LC الالتفافية الدائرة </ P>التوافقي ليتم القضاء عليها</p>	<p>لا حدود في التيار التوافقي تعويض القوة التفاعلية القضاء على واحد أو أكثر من أوامر التوافقي (عموما 5 ، 7 ، 11). مرشح واحد لواحد أو اثنين من الأوامر لتعويض خطر تضخيم التوافقيات في حالة تعديل الشبكة خطر الحمل الزائد الناجم عن التلوث الخارجي. ج "مرشح الشبكة" (عالمي) دراسة حالة بكل حالة على حدة</p>
نشط	<p>الجيل الحالي يلغي جميع التوافقيات التي أنشأتها </ P>الحمل</p>	<p>الحل مناسب بشكل خاص للترشيح "الآلي" (محلي) التصفية على نطاق تردد عريض (إلغاء الأوامر التوافقية من 2 إلى 25) التكيف الذاتي: تعديل الشبكة ليس له تأثير ، تتكيف مع جميع الاختلافات في الحمل والطيف التوافقي ، حل مفتوح ومرن لكل نوع من أنواع الحمل دراسة هندسية بسيطة</p>



يقدم مزايا حلول التصفية السلبية والنشطة ويغطي مجموعة $\langle P \rangle$: واسعة من الطاقة والأداء الترشيح على نطاق واسع التردد (القضاء على التوافقيات المرقمة من 2 إلى 25) ، تعويض القدرة التفاعلية ، ج سعة كبيرة للترشيح الحالي ، "حل تقني واقتصادي جيد لتصفية" الشبكة

الشكل 1 - آثار خنق مكافحة التوافقي على مقاومة الشبكة

3. تصفية (السليبي ، نشط والهجين)

مبادئ - % ، يجب على المتخصصين حساب وتثبيت مرشح التوافقيات (انظر الشكل 2 أدناه) $Gh / Sn > 60$ حيث وخصائص الترشيح السليبي والفعال والهجين

1.3 التصفية السلبية

وهذا ينطوي على ربط مقاومة منخفضة الالتفافية للترددات التي يتم تخفيفها باستخدام مكونات سلبية (مغو ، مكثف ، مقاوم). قد يكون من الضروري وجود عدة مرشحات سلبية متصلة بشكل متواز للتخلص من عدة مكونات

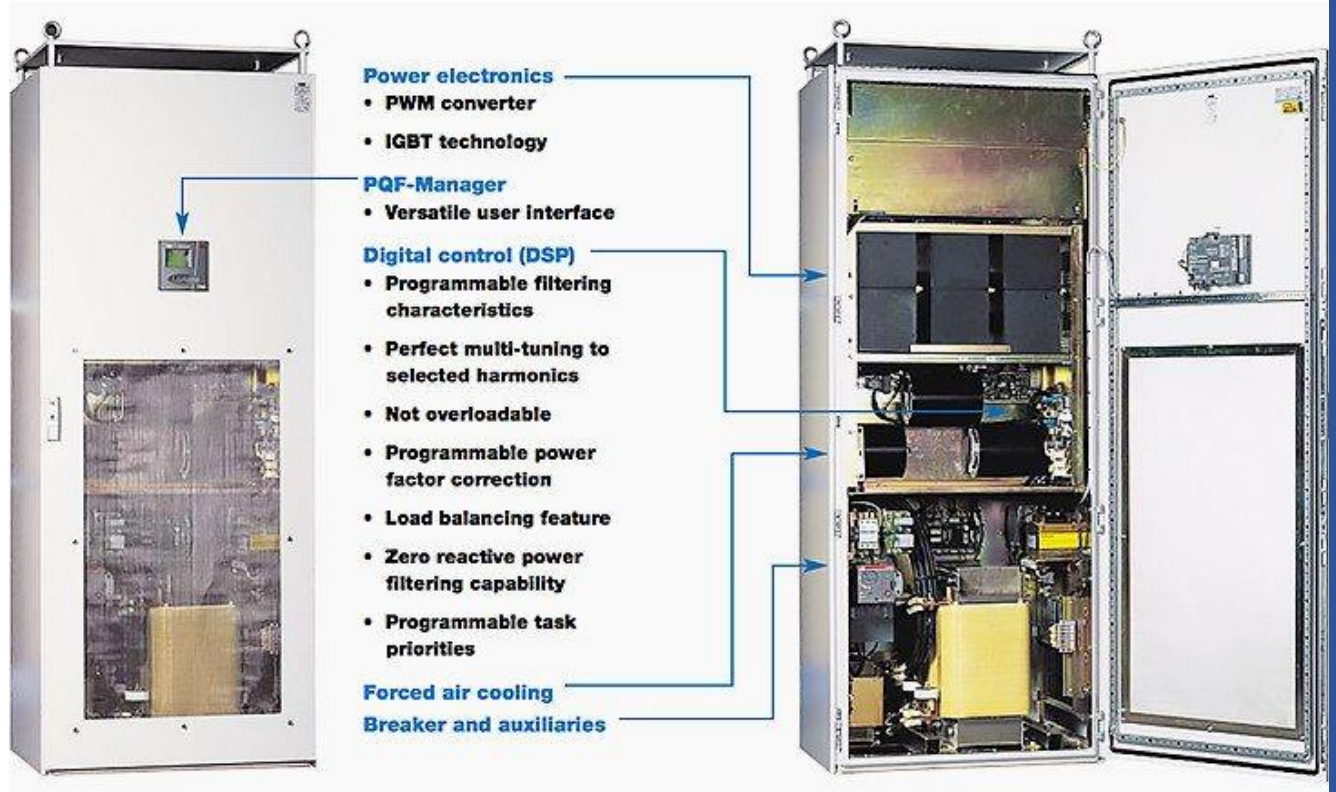
قد يؤدي عامل التصفية السليبي المصمم بشكل سيئ إلى الرنين : يجب الانتباه بعناية إلى تحجيم المرشحات التوافقية وتضخيم الترددات التي لم تسبب أي اضطراب قبل تثبيت المرشح



(الصورة الائتمان: enspecpower.com) في الوقت الحقيقي مرشح التوافقي السلبي 400V

3.2 تصفية نشطة

أولا يحدد تحليل للتيار لهم في السعة والمرحلة. ثم يتم إنتاج. هذا يتكون في تحييد التوافقيات الناجمة عن الحمل التوافقيات نفسها ولكن المعاكس بواسطة عامل التصفية النشط. من الممكن توصيل عدة مرشحات نشطة بالتوازي لتقليل التوافقيات التي تم حقنها المنبع **UPS** مرشح نشط قد على سبيل المثال أن تكون متصلا



، Amps إلى 450 Amps متاح في التصنيفات من 30- PQC Active Harmonic لمرشحات ABB مجموعة تصفية ما يصل إلى 20 PQC ويمكن ترتيب الوحدات بمضاعفات للحصول على التصنيف المطلوب. يمكن لوحدة التوافقيات في وقت واحد في 3 أنظمة الأسلاك (15 التوافقيات في 4 أنظمة الأسلاك) ، وحتى 50 التوافقيات

3.3 تصفية الهجين

هذا يتكون من مرشح نشط ومجموعة مرشح السلبي حسب ترتيب التوافقي المهيمن (على سبيل المثال ، 5) الذي يوفر الطاقة التفاعلية اللازمة

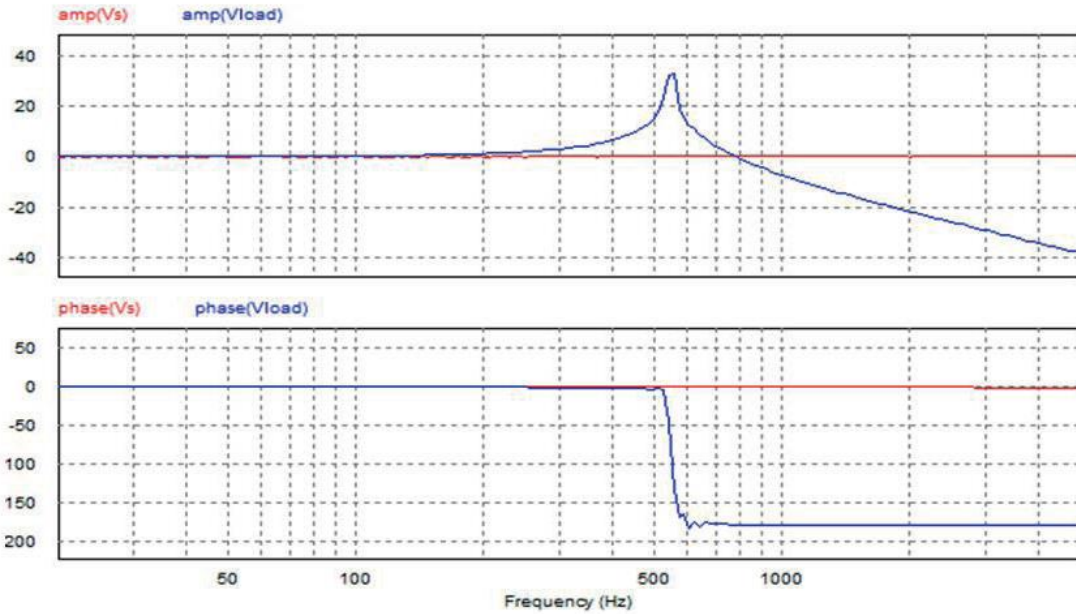
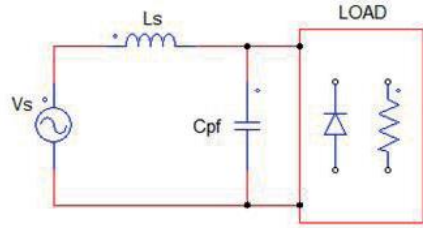
4. حالة خاصة - قواطع الدائرة

يجب توخي الحذر عند اختيار أجهزة واقية لتجنب التوافقيات قد تسبب التعثر غير المرغوب فيه من الأجهزة الواقية ذلك

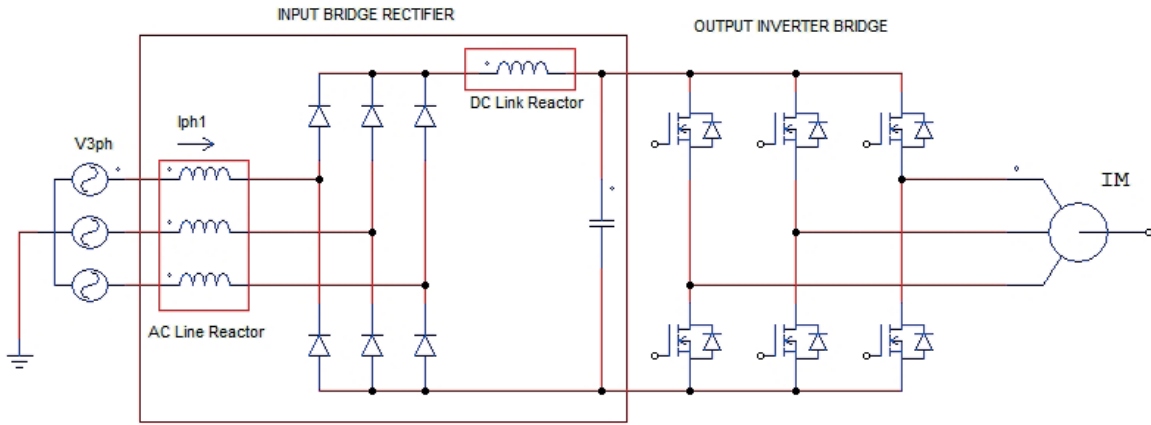
يمكن تزويد قواطع الدائرة بنوعين من أجهزة الرحلات ، الحرارية المغناطيسية أو الإلكترونية

أجهزة استشعار الحرارة من الدائرة الحرارية المغناطيسية تعتبر القواطع حساسة بشكل خاص للتوافقيات ويمكنها تحديد الحمل الفعلي على الموصلات الناتجة عن وجود التوافقيات. وبالتالي فهي مناسبة تمامًا للاستخدام في دوائر التيار المنخفض ، خاصة في التطبيقات المحلية أو الصناعية

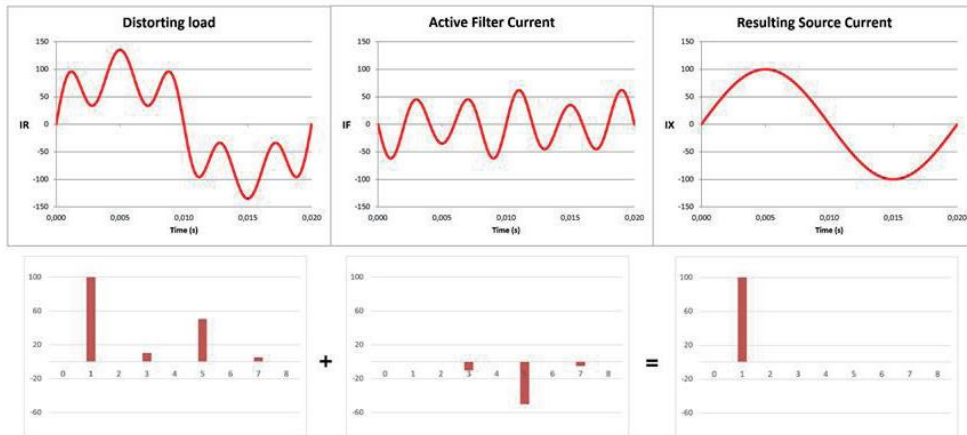
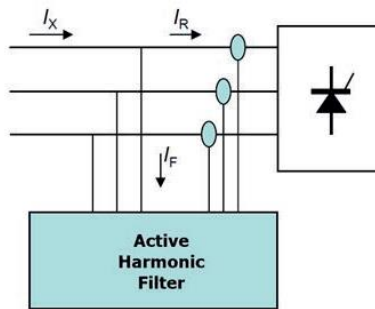
الطريقة المستخدمة بواسطة قواطع الدوائر الإلكترونية لحساب التيار الجاري قد تشكل خطرا على التعثر غير المرغوب الحقيقية للتيار rms فيه لذا يجب توخي الحذر عند اختيار هذه الأجهزة التي تقاس بها قيمة هذه الأجهزة لديها ميزة كونها أفضلقدارة على تتبع التغيرات في درجة حرارة الكابلات ، وخاصة في حالة الأحمال الدورية ، حيث أن ذاكرتها الحرارية تفوق تلك الموجودة في الشرائط ثنائية المعدن التي يتم تسخينها بشكل غير مباشر



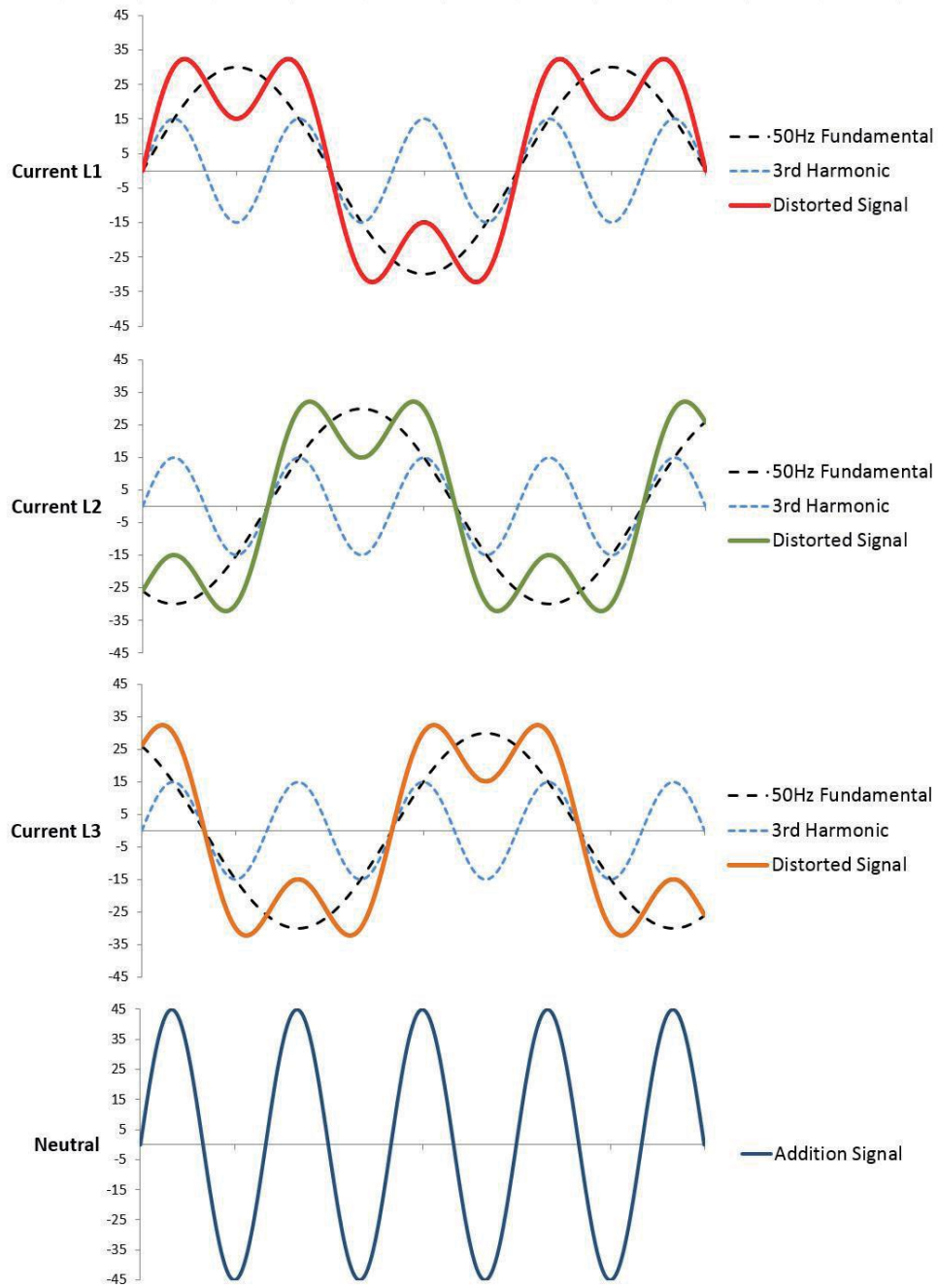
Resonance example
circuit and its voltage Bode
frequency diagram. Observe
the resonance
frequency at around 550Hz at
the voltage applied to the load
(V load), corresponding to 11th
harmonic
of a 50Hz signal. Special
care will need to be taken if
there is a load generating this
harmonic.



Complete circuit of a Variable Frequency Drive for Motors.
Observe location of AC line and DC link reactors.



Active filter disposition, and its corrective behaviour over a non-linear load: the AHF generates the compensation current I_f , that once is added to the distorted current of the load I_R , composes a "clean" source current I_x with a very low THD. Harmonic spectrum for each current is shown at the bottom, and the result of the equation $I_x = I_R + I_f$.



Effects of triplen harmonics addition into Neutral conductor, derived from three-phase distorted currents.

المصادر

- 1.. مجلة جامعة دمشق
- 2.. كتاب التوافقيات في شبكات الكهربائية
- 3.. موقع جامعة أسوان – كلية هندسة