ESE®
EFFICIENCY
SAVING
ENVIRONMENT

ant
EFFICIENCY
SAVING
ENVIRONMENT

إنترنت الأشياء (IoT) الصناعة 4.0 جاهزة

صُنع في إيطاليا

تقرير تقني

CLESI®
PREFABBRICATI

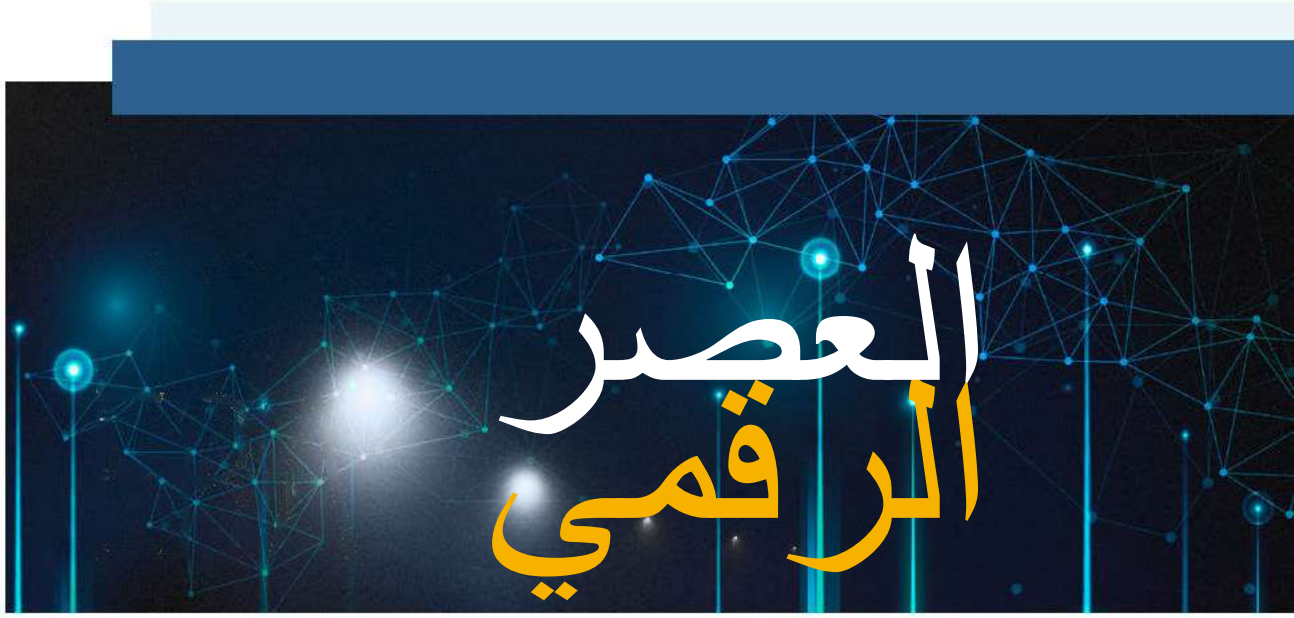
تقسيم تحسين كفاءة وجودة الطاقة

ESE®
EFFICIENCY
SAVING
ENVIRONMENT

» ملخص/

1. **الوضع الحالي لعمليات التوريد** 4
1.1 الانتقال إلى العصر الرقمي 4
1.2 التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء 5
1.3 الجهد الكهربي الزائد أو الجهد الكهربي المنخفض 6
1.4 التشوه التوافقي 7
1.5 موازنة الأطوار الكهربائية 9
1.6 الإزاحة الطورية 10
2. **استجابة الأحمال الكهربائية** 11
2.1 تمهيد 11
2.2 الجهد الكهربي الزائد الثابت على الحِمل الأومي 12
2.3 الإزاحة الطورية 14
2.4 التشوه التوافقي 16
3. **التقنيات الموجودة** 18
3.1 تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي 18
3.2 تحسين معامل القدرة الكهربية 18
3.3 فلترة وتنقية توافقيات الأنظمة الكهربائية 19
3.4 فلتر EMI (التداخل الكهرومغناطيسي) 20
3.5 تنميط معدلات الاستهلاك 20
4. **جهاز النظام ANT** 21
4.1 اعتبارات أولية تمهيدية 21
4.2 المشروع الحالي 22
4.3 بيانات المشروع ونماذج المحاكاة 25

التطور الهائل والمتزايد في مجال التقنيات الرقمية بدأ يخلق وجودًا متزايدًا للأحمال الكهربائية غير الخطية التي أصبحت ذات ارتباط وثيق ومباشرة بشبكات الكهرباء المنتشرة في جميع جوانب حياتنا وأنِشطتنا اليومية.



1. الوضع الحالي لعمليات التوريد

لقد شهدنا ظاهرتين مهمتين للغاية في مجال توزيع الكهرباء واستخداماتها على المستوى العالمي خلال السنوات القليلة الماضية:

- الانتقال إلى العصر الرقمي
- التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء

إن هاتين الظاهرتين لهما تأثيرٌ كبيرٌ على توزيع الكهرباء وإدارتها بشكل صحيح.

فلنتناول هاتين الظاهرتين بالتحليل التفصيلي في السطور التالية.

1.1 الانتقال إلى العصر الرقمي

لقد بدأت منذ ما يزيد قليلاً عن عقد من الزمان ثورةٌ حقيقيةٌ في كافة المجالات يرجع السبب فيها إلى الاستخدام المتزايد للتقنيات الرقمية من أجل تحسين أداء الأنظمة المستخدمة لتأدية أهم الوظائف التكنولوجية في حياتنا وأنشطتنا. فالآن تُستخدم أجهزة الكمبيوتر بشكل مكثف في جميع الهيئات والمؤسسات وفي كافة المجالات، بدءًا من المنازل وحتى المؤسسات والعمليات الصناعية الأكثر تعقيدًا. كما يتم التحكم في جميع الآلات والمعدات الشائعة الاستخدام وإدارتها الآن بواسطة أنظمة كمبيوتر رقمية بالكامل. ولم يقتصر هذا الانتشار على ذلك فحسب، بل بدأت تظهر في حياتنا أدوات حاسوبية لم يكن من الممكن تصورها حتى سنوات قليلة مضت (مثل الأجهزة اللوحية، والهواتف الذكية، وما إلى ذلك). وحتى الاستخدامات الأساسية في حياتنا اليومية، مثل الإضاءة، بدأت تتجه بشكل متزايد نحو الاعتماد على التقنيات الرقمية، خاصة بفضل ظهور مصابيح الإضاءة الثنائية LED. سنتناول فيما بعد نتائج وعواقب هذه الظاهرة على قضايا الطاقة وإدارة كفاءة الطاقة؛ ولكننا نلاحظ في الوقت الحالي أن

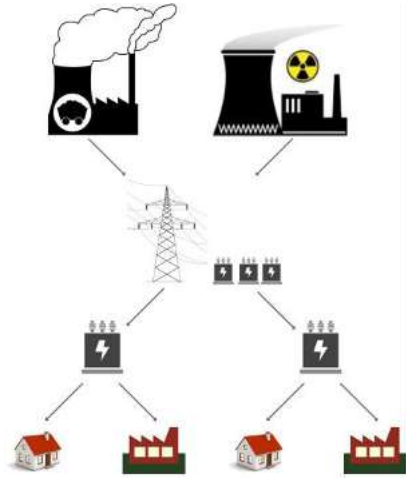
1.2 التوليد الموزع للكهرباء

لقد طرأ تغيرٌ كبيرٌ وعميقٌ على مفهوم توليد الكهرباء في السنوات الأخيرة في جميع أنحاء العالم، وخاصة في أوروبا، فحتى عقدين سابقين من الزمن، كان توليد الكهرباء مركزيًا إلى حد كبير، وذلك بفضل استغلال الطاقة الذرية، الأمر الذي أتاح إمكانية إنشاء محطات توليد طاقة كبيرة لخدمة قاعدة مستخدمين تزداد دائمًا سواء من ناحية الحجم والعدد أو من ناحية معدلات الاستهلاك.

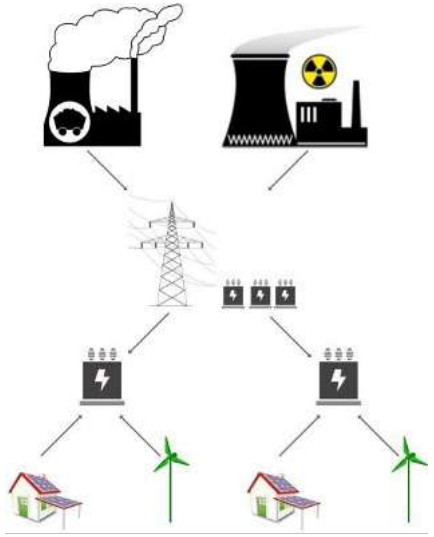
ولكن في السنوات الأخيرة، حدثت أيضًا ثورة ملحوظة في إنتاج الكهرباء، تمثلت في بدء استخدام الخلايا الكهروضوئية التي شقت طريقها بشكل متزايد إلى حياتنا، وذلك بفضل سياسات الحوافز التشجيعية القوية التي تقدمها الجهات المعنية في هذا الصدد، وأيضًا بفضل توفير تقنيات أخرى ذات صلة بهذا القطاع مثل تقنيات طاقة الرياح،

والطاقة الكهرومائية، والتوليد المشترك للطاقة، وغيرها، وهذا جعلنا نعيش مؤخرًا تطورًا أكبر من أي وقت مضى في قطاع الطاقة الكهربائية.

نحن لا نتناول هذا الموضوع بالنقاش هنا لنبين كيفية تأثير هذه الظاهرة الانتقالية في عملية توليد الكهرباء على طُرق نقل الطاقة إلى المستخدمين النهائيين، ولكن قد يكون من المثير للاهتمام هنا بالتأكيد أن تحاول في المقام الأول تحديد وتقييم الاختلافات الرئيسية لهذه التقنيات الجديدة في توليد الطاقة مقارنةً بالطُرق التقليدية الأخرى ذات الصلة. ومن أجل تبسيط هذه المناقشة، دعونا نبدأ فيما يلي بتلخيص وضع شبكة نقل الكهرباء في الحالتين التقليدية والعصرية من أجل إجراء تقييم نوعي لتأثير هذا التعديل على المستخدم النهائي:



الشكل التوضيحي 1: شبكة نقل كهرباء بنظام التوليد المركزي للطاقة الكهربائية



الشكل التوضيحي 2: شبكة نقل كهرباء بنظام التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء

الأجهزة المتصلة بشبكة الكهرباء التي تحدث فيها تلك الظاهرة. بينما في الحالة الثانية، أي عندما تكون هذه الظاهرة ثابتةً، فإنه يمكن اعتبار الاضطراب في جهد التيار الكهربي ثابتًا عندما يكون أعلى باستمرار من مستوى الجهد الاسمي والذي يبلغ في إيطاليا 230 فولت للأنظمة أحادية الطور الكهربي ذات الجهد المنخفض و400 فولت للأنظمة ثلاثية الأطوار الكهربائية ذات الجهد المنخفض. وحتى في هذه الحالة، يمكن أن يتسبب الاضطراب في جهد التيار الكهربي، على المدى الطويل، في تلف الأجهزة المتصلة بشبكة الكهرباء ذات الصلة، حتى لو كان يجب كهربائيًا ربط هذه الظاهرة بتصميم الأجهزة نفسها، والتي يجب أن نسبة التفاوت المسموح بها في جهد الدخل الكهربي +- 10 %، لكن المشكلة الحقيقية ترتبط في كثير من الحالات بكفاءة الطاقة الناتجة عن هذا الاضطراب. وبالنسبة لغالبية الأحمال الخطية المتصلة بالشبكات الكهربائية في هذه الحالة على وجه الخصوص، فإن الزيادة في جهد التيار الكهربي تؤدي إلى انخفاض العُمر الافتراضي والإنتاجي للأجهزة والآلات ذات الصلة، وكما تسبب زيادة استهلاك الطاقة دون خلق تحسينات ملحوظة في أداء هذه الأجهزة والآلات.

كما يمكننا أن نرى من الشكلين التوضيحيين السابقين، فإن الاختلاف الأكثر أهمية بينهما والذي يمكننا اكتشافه هو الاختلاف الهيكلي في طوبولوجيا الشبكة الكهربائية. وتحديدًا، في حالة التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء، تمر القدرة الكهربائية المتدفقة في الشبكة دائمًا عبر أنظمة التوزيع المركزية قبل الوصول إلى المستخدمين النهائيين، ولكن ليس هذا هو الحال دائمًا في حالة التوليد الموزع اللامركزي، فمن الناحية العملية، يمكن أن يحدث توصيل للطاقة الكهربائية مباشرةً من المولد إلى المستخدم دون المرور عبر أنظمة التوزيع المركزية

وهذه الظاهرة لها تأثير كبير على جودة القدرة الكهربائية التي توفرها المولدات، حيث إنه نظرًا لعدم وجود معابر تمرير وسيطة تتمثل في معدات توزيع الطاقة الكهربائية، فالقدرة الكهربائية التي توفرها المولدات الموزعة لا مركزيًا تكون أقل كفاءةً من تلك التي توفرها المولدات المركزية. ففي السنوات الأخيرة، وتحديدًا في مجال الكهرباء والقطاع الكهروتقني، نسمع أكثر فأكثر عن مصطلح جودة الطاقة (Power Quality)، في إشارةٍ إلى جودة الطاقة المنقولة من خطوط الكهرباء إلى المستخدمين.

1.3 الجهد الكهربي الزائد أو الجهد الكهربي المنخفض

الجهد الكهربي الزائد أو الفولطية المفرطة هو ظاهرة كهربائية تحدث عندما تقوم شبكة كهرباء بنقل جهد تيار كهربي أكبر من الجهد الاسمي. ويمكن أن تكون هذه الظاهرة مؤقتةً أو ثابتةً. ففي الحالة الأولى، أي عندما تكون هذه الظاهرة مؤقتةً عابرةً، يحدث انحراف الجهد الكهربي عن القيمة الاسمية لبضع لحظات أو بضع دورات كهربائية، بسعة فولتات قليلة ويمكن أن تصل أيضًا إلى سعات بمئات الفولتات، وغالبًا ما يكون سببها تبديل الأحمال الحثية، والمحولات تحت التحميل، وما إلى ذلك؛ ومن الطبيعي أن هذا النوع من الاضطراب يمكن أن يؤدي أيضًا إلى عدم كفاءة الطاقة، ولكن المشكلة الحقيقية المرتبطة بهذا النوع من الاضطراب تتمثل في إمكانية تسببه في إتلاف

إلى ظاهرة التوافقيات البينية في الوقت الحالي؛ كما أن الأحمال الكهربائية ذات مكونات التيار الناتجة عن الموجات التوافقية الموجودة تكون عادة هي تلك الأحمال الموجودة على الترددات المتعددة للأساس الموجي للتيار الموجود، وبالتالي يمكن ترتيب التوافقيات المنتَجة عدديًا من خلال مضاعف التردد المعني بحيث يصبح التوافقي الثاني، على سبيل المثال، توافقيًا عند ضعف تردد التيار الأساسي ذي الصلة. ويُضاف إلى ذلك أنه بالنسبة لغالبية الأحمال غير الخطية المتصلة بالشبكات (مثل منظمات تبديل إمدادات الطاقة الكهربائية)، فإن التوافقيات ذات الاتساع الموجي الأكبر تكون هي تلك التوافقيات ذات الترتيب الفردي، الثالث، والخامس، والسابع، وما إلى ذلك؛ وعلاوة على ذلك، فإنه في الحالات اللحظية، عادةً ما يكون للتوافقيات مساهمةٌ ذات اتساع موجي أكبر في الأعداد الترتيبية السفلية وبالتالي تصبح في هذه الحالة توافقيات أنظمة كهربائية متناقصة، أي بشكل عام، يكون للتوافقي الثالث اتساعٌ موجيٌ أكبر من الخامس، والخامس يكون أكبر من السابع، وهكذا. وحتى في هذه الحالة بطبيعة الحال، يجب تحليل المواقف الفردية للتيار الموجود حيث إن الأحمال غير الخطية المختلفة المتصلة بشبكة التيار الكهربي المعنية يمكن أن تولِّد مساهمةً توافقيةً مختلفةً فيما بينها، وبالتالي يمكن أن يكون مجموع هذه المساهمات مختلفًا.

1.4 التشوه التوافقي

إن عملية نقل الطاقة الكهربائية ينبغي أن تتم على خطوط الشبكة الكهربائية من خلال موجة جيبية بتردد تيار 50 هرتز (في إيطاليا) وبجهد تيار كهربي اسمي 230 فولت، وعلاوة على ذلك، فإن هذه الموجة الجيبية التي تغلق على معاوقة كهربائية خطية، ينبغي أن تولِّد في شبكة التيار الكهربي دوران شدة تيار كهربي هو أيضًا من النوعية الجيبية بتردد 50 هرتز، مع مستوى اتساع موجي يعتمد على الجزء الأومي من المعاوقة الكهربائية الموجودة ذات الصلة، وينبغي أن تولِّد أيضًا على الأكثر عملية إزاحة طورية لموجة جهد التيار الكهربي تعتمد على الجزء التخيلي من هذه المعاوقة الكهربائية نفسها. لقد استخدمنا هنا فعل "ينبغي" فيما يتعلق بمدخل الجهد الكهربي وتوليد التيار الكهربي الخطي، لأنه في الحالة الأولى، ليس من المؤكد أن تكون موجة الجهد جيبيةً تمامًا عند المدخل الكهربي، ولكن حتى لو كانت كذلك، فليس من المؤكد أيضًا أن تكون موجة التيار الناتجة هي موجة جيبية تمامًا. فمن وجهة النظر الرياضية، فإن الموجة الجيبية المعنية هي موجة دورية في جميع الأحوال، وبالتالي يمكن تطويرها في متسلسلة فوريه (Fourier) الرياضية، وتمثيلها في شكل دالة رياضية كمجموع لا نهائي من المكونات الجيبية ذات مستويات تردد، واتساع موجي، وطور مختلفة عن بعضها البعض. ومن الناحية التقنية، يتم تعريف المكونات الفردية لتطوير متسلسلة فوريه (Fourier) الرياضية على أنها توافقيات طورية، ولا سيما عندما يكون الشكل الجيبي عند التردد الأساسي هو أيضًا توافقيًا.

إننا عندما ننظر في هذا الصدد إلى أي دائرة كهربائية تعمل بموجة جيبية نقية ومغلقة فقط على نوعية الأحمال الخطية الموجودة، كما ذكرنا للتو، فإننا نكتشف أن موجة التيار الناتجة سيكون لها مكوّن واحد عند تردد مصدر الطاقة ولن يكون لها أي مكوّن توافقي بتردد مختلف عن الموجة الأساسية، بينما في الحالة التي يكون فيها أحد الأحمال الكهربائية على الأقل غير خطي، فقد توجد توافقيات تيار كهربي بتردد مختلف عن الموجة الأساسية، مع عدم النظر هنا

للخط والمقاومة الداخلية للمولد.

وبشكل عام، فإن الحمل الخطي يكون له نطاق ترددات تمريرية لا نهائي تقريبًا، فعلى سبيل المثال، يقوم المصباح المتوهج بتحويل كل القدرة الكهربائية المارة فيه إلى طاقة حرارية في نطاق ترددات لا نهائي من الناحية العملية، مما يعني أنه عندما نقوم على سبيل المثال بتوصيل المصباح الكهربائي بتيار كهبي جهده 5 فولت وتردده 400 هرتز فإننا نقوم بتسخين السلك الموجودة فيه، وسيتم بذلك توليد الحرارة المتوهجة من خلال قانون جول.

المشكلة هنا تكمن في أن تحول الطاقة الكهربائية إلى حرارة لا يولد انبعاثات ضوئية في النطاق المرئي، أو بالأحرى سيولد كمية ضئيلة من الانبعاثات الضوئية في النطاق المرئي وربما انبعاثات أخرى في النطاقات الضوئية غير المرئية بالعين المجردة، مثل، على سبيل المثال، الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة تحت الحمراء، وذلك لأن سلك المصباح مصمم للعمل بتردد التيار الكهربائي المغذي له.

وهذا له 3 آثار مهمة للغاية تنتج عنه:

- التشغيل خارج بارامترات الضبط والتشغيل الاسمية ويمكن أن يؤدي بدوره إلى تلف وتعطل الجهاز قبل العُمر الافتراضي المقدر له.
- احتواء الطاقة الضوئية المتوفرة على مكون غير مرغوب فيه في هذه الحالة وهو الحرارة، لذلك يمكن القول أن الطاقة الزائدة لا تُستخدم لتنفيذ العمل الذي تم تصميم الجهاز من أجله وهو الإضاءة، ولكنها تمثل مصدر إزعاج فقط في الأساس يتمثل في الحرارة غير المطلوبة.
- انبعاث الإشعاع خارج الضوء المرئي قد يكون ضارًا بجسم الإنسان المتعرّض له.

وإذا ما رجعنا إلى موجة التيار الكهربي المتولدة فإننا يمكن تعريفه التشوه التوافقي الكلي كما يلي:

$$THD_i = \frac{I_t - I_f}{I_f} = \frac{\sum_2^\infty I_n - I_f}{I_f}$$

حيث إن:

It هي إجمالي شدة التيار

If هي شدة التيار عند التردد الكهربي الأساسي

وينطبق الشيء نفسه على موجة جهد التيار الكهربي:

$$THD_v = \frac{V_t - V_f}{V_f} = \frac{\sum_2^\infty V_n - V_f}{V_f}$$

ويمكننا أن نطبّق الأمر بشكل أعم بالنسبة للقدرة الكهربائية المنقولة:

$$THD_p = \frac{P_t - P_f}{P_f}$$

يوفر لنا هذا المؤشر معلومات هامة، كما يشير الاسم نفسه إلى التشوه الإجمالي الموجود في أشكال الموجة. وبطبيعة الحال، كلما زادت القيمة عن 0، كلما انحرف شكل الموجة عن الحالة المثالية. إن وجود التشوهات التوافقية في التيار الكهربي في حد ذاته يخلق أيضًا مشاكل في شبكات التيار تتعلق بالطاقة نفسها. وفي الواقع يمكن إثبات أن التشوه التوافقي للتيار يكون أيضًا تأثيرات على شكل موجة جهد التيار الكهربي الذي يغذي الأحمال التشغيلية الكهربائية، وبالتالي فإن هذه الظاهرة يكون لها عواقب كهربائية، حتى على الأحمال الخطية المتصلة بشبكات التيار الكهربي، فضلاً عن توليد خسائر أخرى في القدرة الكهربائية ناتجة عن زيادة معدل تبديد الطاقة وتشتيتها على المعاوقة الكهربائية

1.5 موازنة الأطوار الكهربائية

هناك عامل آخر سلبي في جودة توفير الطاقة الكهربائية التشغيلية في حالة الأنظمة ثلاثية الأطوار الكهربائية وهو عدم التوازن الكهربي بين هذه الأطوار الكهربائية الموجودة، أي يوجد اختلاف بين أشكال الموجات الكهربائية في الأطوار الكهربائية التشغيلية الموجودة وهذه الاختلافات يُمكن أن تُعزى بشكل عام إلى عدم انتظام الجهد الكهربي عند مستوى التردد الأساسي والتوافقي. تحدث مثل هذه الاضطرابات عادةً عند استخدام أحمال أحادية الطور الكهربي وثلاثية الأطوار التشغيلية مختلطة على نفس الخط. وأيضًا في هذه الحالة، يكون لهذه الظاهرة عواقب سلبية على الطاقة الكهربائية الموزَّعة على الأحمال ثلاثية الأطوار المتصلة، وعواقب سلبية أيضًا من حيث الكفاءة التشغيلية والعُمر التشغيلي الافتراضي للأجهزة والآلات. ومن منطلق معلوماتنا في هذا المجال فإننا نتعلم أن معظم أوجه القصور ذات الصلة بهذه الظاهرة تظهر في المحركات ثلاثية الأطوار الكهربائية المتصلة بشبكة التيار التي يظهر فيها هذا القصور.

وإذا ما أخذنا في الاعتبار أنواعًا أخرى من الأحمال مثل المحركات الكهربائية أو المضخات أو غيرها، فقد تكون عواقب ذلك أسوأ مما ذكرنا للتو.

ويمكننا القون هنا بأن النتيجة العامة لهذه الظواهر تكمن في أن هذه التشوهات التوافقية تنقل الطاقة إلى الأحمال التي تستخدمها جزئيًا فقط لتنفيذ العمل الذي صُمِّمت من أجله، حيث يُستخدم جزء لتوليد شيء غير مطلوب في هذه الحالة بل يزيد أيضًا من إمكانية كسر الأحمال نفسها وتعرِّضها للتلف قبل عُمرها التشغيلي. ولذلك، فإنه بالإضافة إلى الأضرار الاقتصادية الناتجة عن زيادة استخدام الطاقة في أغراض غير مطلوبة، فإن ذلك يسبب الأضرار أيضًا التي تتمثل في تقصير العُمر الافتراضي والإنتاجي للأجهزة والأحمال الكهربائية نفسها.

وفي هذه الحالة هناك عاملان مهمان في توازن الطاقة والاقتصاد في معدلات الاستهلاك الخاصة بشبكة التيار الكهربي المستخدمة:

- يؤدي استخدام الطاقة التفاعلية في بعض الحالات إلى زيادة التكلفة في فاتورة الاستهلاك الكهربي المفروضة على المستخدم.
- يولد التيار التفاعلي الدائر تبديدًا نشطًا للطاقة على خط التيار الكهربي.

وهذا ليس كل في الأمر فحسب، بل من الممكن ببساطة إثبات أن هذا العامل له أيضًا عواقب على جهد إمداد الأحمال، حيث أن انخفاض الجهد على الخط يولد جهدًا أقل على الحمل نفسه لنفس الطاقة الإجمالية المستخدمة، بمعنى آخر يصبح نقل الطاقة غير فعال للغاية من حيث المنفعة التشغيلية المرجوة.
ففي كثير من الأحيان، عندما نشير إلى شبكات الكهرباء فإننا نتحدث عادة عن عامل القدرة الكهربائية الذي يشير إلى العلاقة النسبية الموجودة بين إجمالي الطاقة المنقولة (الطاقة الظاهرة) والقدرة التشغيلية النشطة، وعادة ما يتم الخلط بين هذا العامل وما يسمى بتكاليف التشغيل الكهربي. وهذه العبارة الاستنتاجية الأخيرة غالبًا ما تكون على وجه الخصوص صحيحة فقط إذا تم أخذ الأحمال الخطية فقط في الاعتبار، وبالتالي يمكننا القول بأنه بالنسبة لشبكة الأحمال الخطية، تتوافق التكاليف مع عامل الطاقة. وبشكل عام في هذا الصدد، فإن عامل القدرة يأخذ أيضًا في الاعتبار التشوه التوافقي الكلي للطاقة الكهربائية.

1.6 الإزاحة الطورية

الإزاحة الطورية بين الشكل الموجي لجهد التيار الكهربي والشكل الموجي لشدة التيار الكهربي هي أيضًا نوع من أنواع الاضطرابات الهامة التي تحدث للأحمال الكهربائية الموصولة بشبكة التيار الكهربي. إن الإزاحة الطورية بين جهد التيار الكهربي وشدة التيار الكهربي بشكل عام، لا تسبب في حد ذاتها مشاكل طاقة على الأحمال الكهربائية، أو على الأقل لا تولِّد مشاكل من حيث الطاقة النشطة التي تمتصها الأحمال الكهربائية، ومن الطبيعي أن يكون وجود الإزاحة الطورية سببًا في عدم كفاءة الطاقة الكهربائية وزيادة استخدام القدرة الكهربائية في مرحلة نقل القدرة الكهربائية. وبشكل عام، فإنه حتى الحمل الكهربي الخطي، الذي لا يكون حِملًا أوميًا تمامًا، يولِّد فرقًا طوريًا بين جهد التيار الكهربي وشدة التيار الكهربي، سواء أكان متقدمًا أو متأخرًا، اعتمادًا على ما إذا أكان الحِمل المعني أوميًا سعويًا أو أوميًا حثيًا. وهذا يولِّد نقل ما يسمى بقدرة المفاعلة الكهربائية، وهي على وجه الخصوص تلك القدرة التفاعلية الكهربائية التي لا تستخدمها الأحمال الكهربائية لتنفيذ العمل المطلوب منها تحديدًا ولكنها تُستخدم ببساطة لدعم المجال المغناطيسي. وتكمُن المشكلة هنا في أن قدرة المفاعلة الكهربائية تنتقل من خلال تيار حثي وهذا يزيد الحِمل على الكابلات الكهربائية المتصلة بشبكة التيار الكهربي، وعلاوة على ذلك، فإن زيادة دوران التيار الكهربي في الدائرة الكهربائية يولِّد في حد ذاته خسائر في القدرة الكهربائية أكبر في مستويات المعاوقة الكهربائية التسلسلية للدائرة نفسها، ولا سيما على المعاوقة الكهربائية الداخلية للمولد وعلى المعاوقة الكهربائية الخطية، وبالتالي يسبب خسائر أومية (وبالتالي القدرة الكهربائية الفاعلة) على النظام نفسه.

المقاومة الكهربائية المضبوطة على 3 أوم تتوافق تقريبًا مع ما يعادل تقريبًا 350 مترًا من الكابل بمتوسط مقطع قُطري 2 ملم مربع.

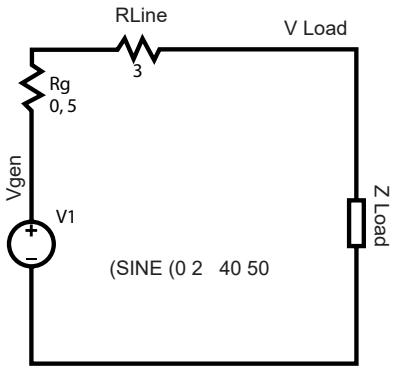
- Z Load هو المعاوقة الكهربائية للحِمل الكهربي، ويتم تمثيلها تخطيطيًا على أنها المعاوقة الكهربائية المكافِئة التي يراها المولد. ويمكن تقسيم الدائرة الكهربائية قيد الفحص إلى قسمين، قسم متعلق بمصدر الطاقة الكهربائية، وقسم آخر متعلق بالأحمال الكهربائية.

ومن أجل تقييم مقدار توازن الطاقة الكهربائية للدائرة الكهربائية نفسها، فإننا سنضع في اعتبارنا سلسلة من العوامل التي ستكون مفيدة من وقت لآخر في تقييمنا هذا، ولكننا سنركز بشكل عام على القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يوفرها المولد، والقدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يمتصها الحِمل الكهربي، بطريقة تمكِّننا من تقييم كفاءة نقل القدرة الكهربائية في المواقف المختلفة.

2. استجابة الأحمال الكهربائية

2.1 تمهيد

سوف نستخدم في هذا القسم بعض نماذج المحاكاة من أجل تحليل طريقة عمل ومدى استجابة الأحمال الكهربائية عند وجود الاضطرابات الكهربائية المذكورة أعلاه. عونا نبسِّط هذا الأمر قليلًا عبر استخدام دائرة تيار كهربائية من النوع المنزلي، بقدرة كهربائية تعاقدية تبلغ 3 كيلو وات، والتي يمكن تمثيلها خطيًا على النحو التالي: سوف نستخدم نموذجًا ذا بارامترات كهربائية مركَّزة لعمليات المحاكاة.

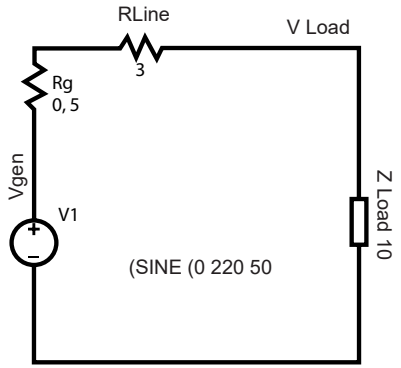


وتحديدًا:

- Rg هي المقاومة "الداخلية" للمولد
- RLine هي مقاومة خط شبكة التيار الكهربي والتي ترجع أساسًا إلى وجود الكابلات الكهربائية لتوزيع القدرة الكهربائية. ومن أجل مزيد من التبسيط لهذه المحاكاة التمثيلية، سيتم أيضًا إهمال التأثيرات السعوية والحثية للمعاوقة الكهربائية نفسها؛ كما سيتم أيضًا اعتبار أن قيمة

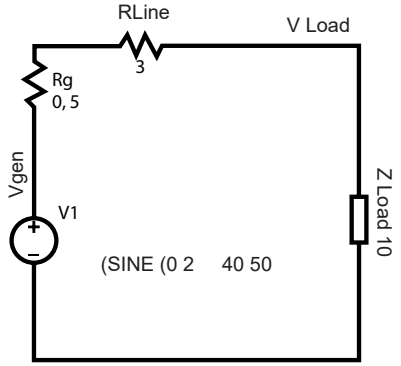
2.2 الجهد الكهربي الزائد الثابت على الحِمل الأومي

فلنعتبر كمثال أول هنا أنه يوجد حِمل أومي بحت، ولنقوم بتحليل تأثُّر مصدر الطاقة الكهربائية بجهد تيار كهربي أعلى من جهد التيار الكهربي المثالي على نظام التشغيل، وسنفترض أن جهد التيار الكهربي المثالي هو 220 فولت:



القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يولّدها المولد: 1785 وات

القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 1322 وات



القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يولّدها المولد: 2124 وات

القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 1573 وات

تلخيصًا:

الحِمل الأومي - تأثيرات التغيرات الثابتة في جهد التيار الكهربي		
	جهد التيار المثالي لشبكة الكهرباء	جهد التيار الكهربي العالي
جهد تيار التشغيل الكهربي:	220 فولت	240 فولت
شدة التيار في شبكة الكهرباء:	16.28 أمبير	17.73 أمبير
معامل القدرة الكهربائية:	1 ≈	1 ≈
إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:	0%	0%
المعاوقة الكهربائية الأومية للحِمل الكهربي:	10 أوم	10 أوم
القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد:	1785 وات	2124 وات
القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي:	1322 وات	1573 وات

أكثر تبديدًا على خط التيار الكهربي، مما يعني المزيد من الطاقة المحسوبة على العداد والتي يُدفع مقابلها ماديًا، بالإضافة إلى زيادة درجة الحرارة والسخونة، وعدم كفاءة الكابلات الكهربائية.

الاعتبارات

الاعتبار الأول الذي يجب مراعاته هنا هو الحالة المعنية التي تكون القدرة الكهربائية الإجمالية التي يستخدمها المولد أقل بنسبة 16% تقريبًا في حالة التغذية الكهربائية المثالية. وبطبيعة الحال هنا، ونظرًا لخطية الدائرة الكهربائية الموجودة، فإن القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي تكون أيضًا أقل بنسبة 16%، ولكن هذا لا يُترجم دائمًا إلى زيادة في كفاءة الحِمل الكهربي المعني هنا، وذلك وفقًا لما قمنا بتقييمه في حالتنا هذه لتأثيرات فولتية الجهد الكهربي العالي على الأحمال الكهربائية، فعلى سبيل المثال، إذا ما تم تمثيل الحِمل الكهربي بواحد أو أكثر من المصابيح المتوهجة المتصلة على التوازي، فإنه بالتأكيد عن طريق تغذيتها بجهد تيار أكبر عند التردد الأساسي، ستكون هناك طاقة مضيئة أكبر في النطاق المرئي، ولكن سيكون هناك طاقة أكبر أيضًا في نطاقات الانبعاث الأخرى للجهاز، وبالتالي لن تزداد طاقة الضوء الإجمالية في النطاق المرئي بنسبة 16% بل بنسبة أقل. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الخروج عن نطاق جهد التيار الكهربي المثالي للجهاز المعني يعني تقصير عُمره الافتراضي بأكثر من نسبة 16%، وقد أظهرت بعض الدراسات التي أجرتها شركة Omran، في حالة المصابيح المتوهجة، أن التغذية الكهربائية لمصباح 240 فولت يقلل من عمره الإنتاجي بنسبة 55% مقارنة بالتغذية الكهربائية له عند جهد التشغيل الكهربي الاسمي.

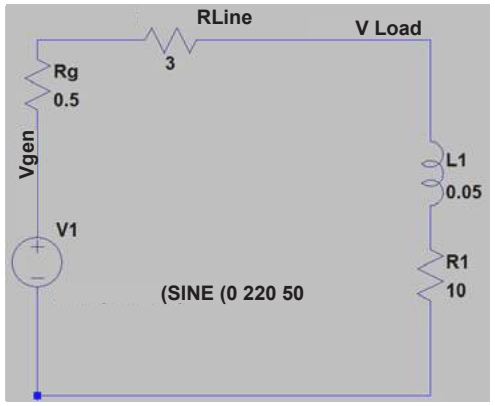
هناك أيضًا عامل آخر يجب أخذه في الاعتبار في حالتنا هذه وهو خسارة الطاقة الأومية عبر شبكة التيار الكهربي، ففي حالة التغذية الكهربائية التشغيلية المثالية تكون لدينا خسارة في القدرة الكهربائية (1785 – 1322) وات = 463 وات، بينما في حالة التغذية الكهربائية بجهد تيار أعلى لدينا خسارة في القدرة الكهربائية (2124 – 1173) وات = 551 وات، وفي هذه الحالة أيضًا، من وجهة نظر نسبية محضة، تكون نسبة الخسارة هي نفسها، ولكن من حيث القيمة المطلقة، تكون الخسارة في القدرة الكهربائية أكبر في حالة التغذية الكهربائية بجهد تيار كهربي أعلى، فلدينا هنا لدينا ما يقرب من 100 وات

2.3 الإزاحة الطورية

تلخيصًا:

الحِمل الأومي - تأثيرات التغيرات الثابتة في جهد التيار الكهربي		
الحِمل الكهربي المكافئ الأومي الحثي	الحِمل الكهربي الأومي المكافئ	
220 فولت	220 فولت	جهد تيار التشغيل الكهربي:
8.03 أمبير	5.73 أمبير	شدة التيار في شبكة الكهرباء:
0.66	0.99	معامل القدرة الكهربائية:
0%	0%	إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:
632 وات	758 وات	القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد:
573 وات	561 وات	القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي:

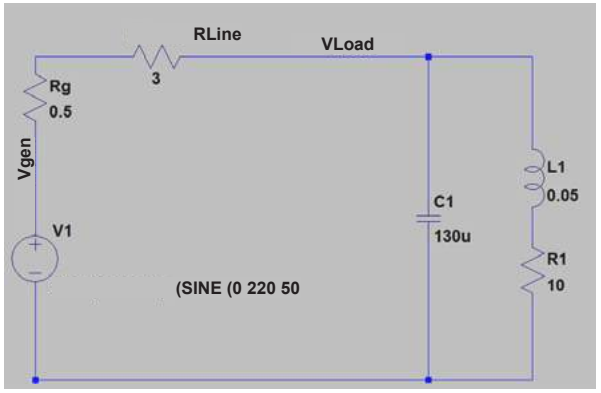
لنفترض هنا وجود حِمل كهربي حثي أومي في الدائرة:



القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد: 632 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 561 وات

فلندخِل هنا معاوقة كهربائية سعوية بنظام التوصيل على التوازي للحمل من أجل الحصول من نفس الدائرة على معاوقة كهربائية أومية مكافئة يراها المولد:



القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد: 758 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 573 وات

المثلى المرجوة، وهذا العامل الأخير يولِّد مزيدًا من التوفير والادخار وبالتالي فهو عنصرٌ مطلوب ومرغوب فيه، وهو الأمر سنتناوله بالمناقشة والتحليلي أدناه.

الاعتبارات

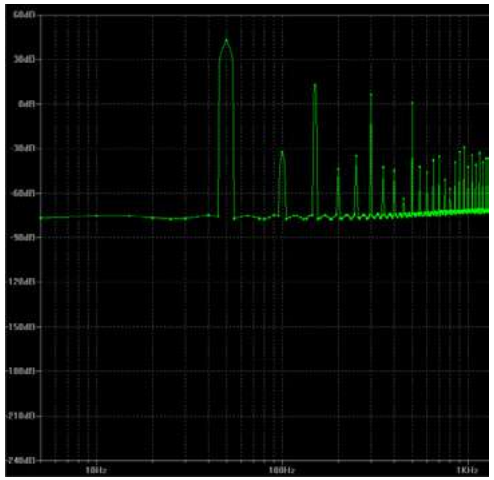
يمكننا ملاحظة وجود اعتبارين مهمين بالنسبة للحالة المعنية محل التمثيل هنا:

1. القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد في حالة الحِمل الكهربي الأومي الحثي، مقارنةً بحالة الحِمل الكهربي الأومي المكافئ، تكون أكبر بنسبة 18% تقريبًا.
2. القدرة الكهربائية المستخدمة فعليًا في الحِمل الكهربي أعلى بنسبة 3% تقريبًا.

إن الاعتبار الأول المذكور أعلاه يضعنا في حالة يمكننا من خلالها القول بأنه من خلال تحسين عامل القدرة الكهربائية للدائرة التشغيلية، فإننا سنحصل أيضًا على توفير كبير في القدرة الكهربائية الإجمالية المستخدمة، وبالتالي سيبدو توازن الطاقة إيجابيًا في هذه الحالة؛ كما أنه علاوة على ذلك نلاحظ كيف يستفيد الحِمل الكهربي نفسه حيث إن القدرة الكهربائية التي يستخدمها في نفس الظروف تصبح أكبر قليلاً مما كانت عليه في الحالة السابقة.
كما يتم هنا بطبيعة الحال التركيز على أن هذه الحالة تتحقق عند وجود جهد تيار للتغذية الكهربائية يبلغ 220 فولت، أما بالنسبة لمستويات جهد التيار الكهربي الأعلى من ذلك، فستكون المشكلة أكثر تعقيدًا، حيث إن إدخال أحمال كهربائية حثية سيولِّد هنا إزاحة طورية مع ما يترتب على ذلك من انخفاض في الجهد الكهربي على الحِمل التشغيلي بسبب تأثير المعاوقة الكهربائية الخطية، وذلك يتم بشكل طبيعي عند إجراء إزاحة طورية لنظام شبكة التشغيل الموجودة، وهنا في هذه الحالة يتحسن الوضع من وجهة نظر الطاقة، بنفس الأساليب التي قمنا بتحليلها للتو، ولكن في الواقع نجد أنفسنا في حالة جهد زائد ثابت للحِمل الكهربي، وبالتالي يجب في جميع الأحوال هنا إعادة تشكيل وتحديد مستويات التبديد الكهربي على الحِمل الموجود لجعله يعمل في ظروف التشغيل

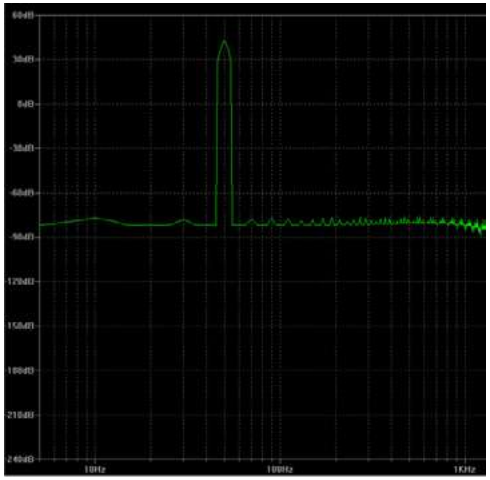
2.4 التشوه التوافقي

ولنتناول هذه الحالة بالتفصيل، دعونا نستخدم عملية تحويل Fourier الرياضية لجهد التيار الكهربي على الحمل في نطاق تردد التيار 0 - 1 كيلو هرتز.



دائرة كهربائية بحِمل غير خطي

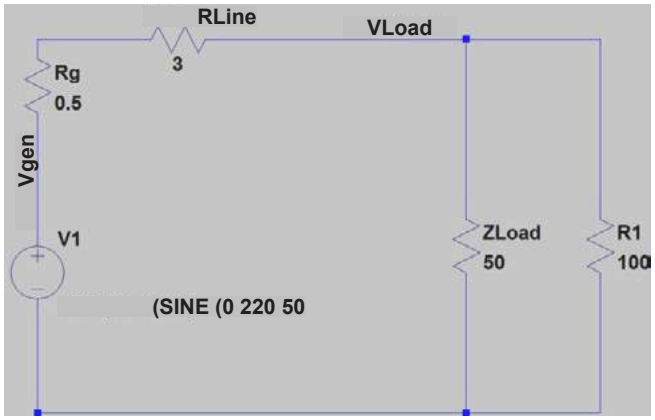
إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 3.550619%



الدائرة الكهربائية خطية بالكامل.

إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 0.000473%

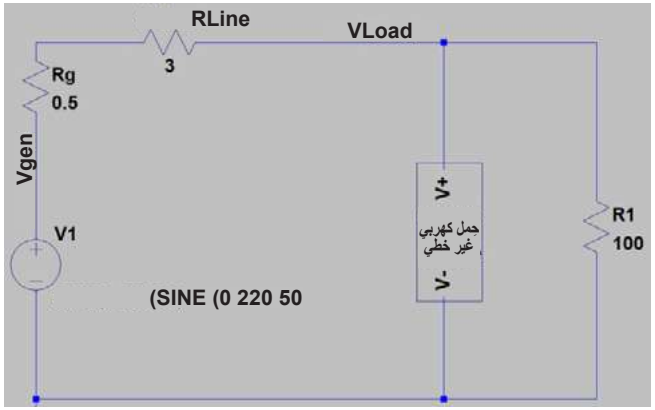
فلنفترض الآن وجود أحمال خطية وغير خطية مختلطة في الدائرة الكهربائية محل التقييم:



القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد: 654 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 592 وات

دعونا نستبدل الحِمل الأومي 50 أوم بحِمل آخر بنفس القدرة الكهربائية ولكن حِمل غير خطي:



القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد: 656 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 586 وات

الأخرى لأنه يدور فقط بين المولد والحِمل الكهربي المعني بذلك. ولكن المشكلة هنا تكمُن في أن تغير جهد التيار الكهربي على المعاوقة الكهربائية الخطية له أيضًا محتوى توافقي عالٍ لموجات التردد الكهربي وبالتالي يتأثر جد التيار الكهربي الإجمالي للتغذية الكهربائية للأحمال بالتشوهات التوافقية الكهربائية التي تعتمد، كما ذكرنا، على القدرة الكهربائية للحِمل الكهربي للتشوه التوافقي وعلى المعاوقة الكهربائية لخط شبكة التشغيل الموجودة، وبطبيعة الحال، يتم امتصاص هذه التشوهات التوافقية الكهربائية بواسطة الأحمال الأومية وتحويلها إلى حرارة، دون أي فائدة من وجهة نظر كفاءة استخدام الطاقة، بل على العكس يتسبب ذلك في مشاكل كبيرة في بعض الأحيان فيما يتعلق بالعُمر الافتراضي للجهاز وكفاءته التشغيلية. ولذلك يمكننا أن نؤكد في هذا الصدد أنه على الرغم من أنه من الوهلة الأولى ومن وجهة نظر مبدأ توازن الطاقة الكهربائية قد يبدو أنه لا توجد اختلافات كبيرة (1%) ملموسة، إلَّا أنه من وجهة نظر كفاءة الأحمال الكهربائية تظهر لنا اختلافات أكثر أهميةً (3-4%)، حيث إن إجمالي الطاقة التي يمتصها الحِمل الكهربي تكون أقل بنسبة 5% تقريبًا إذا ما وضعنا في اعتبارنا القدرة الكهربائية المستفَاد منها فعليًا (التي يتم تسليمها عند 50 هرتز).

تلخيصًا:

الحِمل الاومي الحثي - التاثيرات التوافقية الكهربائية		
الحِمل الكهربي المكافئ الأومي الحثي	الحِمل الكهربي الأومي المكافئ	
220 فولت	220 فولت	جهد تيار التشغيل الكهربي:
4.46 أمبير	4.21 أمبير	شدة التيار في شبكة الكهرباء:
0.95	1 ≈	معامل القدرة الكهربائية:
3.55%	0% ≈	إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:
656 وات	654 وات	القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد:
586 وات	592 وات	القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي:

الاعتبارات

يمكننا ملاحظة وجود ثلاثة اعتبارات مهمة بالنسبة للحالة المعنية محل التمثيل هنا:

- القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد في حالة الدائرة الكهربائية غير الخطية، مقارنةً بحالة الحِمل الكهربي الأومي المكافئ، تكون أكبر بنسبة 0,4% تقريبًا.
- القدرة الكهربائية الإجمالية المنقولة إلى الحِمل الكهربي تكون أعلى بنسبة 1% تقريبًا.
- تقل القدرة الكهربائية المنقولة إلى الحِمل الكهربي عند تردد 50 هرتز بنسبة 3,5%، ويتم نقل هذه النسبة من القدرة الكهربائية خارج نطاق التردد.

وفي هذه الحالة، يولِّد الحِمل الكهربي غير الخطي دوران لشدة التيار خارج نطاق التردد ولكنه عالٍ من حيث المحتوى التوافقي لموجات التردد الكهربي، وهذا التيار في حد ذاته لا يولِّد مشاكل للأحمال الكهربائية

3 التقنيات الموجودة

3.1 تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي

تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي هو تقنية لتوفير الطاقة يتم اعتمادها عن طريق تركيب محول طاقة على التوالي مع خط التيار الكهربي من أجل تقليل أو زيادة جهد التيار الكهربي المتاح للحِمل الكهربي.

ويمكن أن يتم عملية تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي بطريقة إستاتيكية ثابتة أو ديناميكية حركية وذلك اعتمادًا على ما إذا كان الجهد ينخفض بطريقة ثابتة بنسبة مئوية معينة أو يتغير ديناميكيًا أثناء التشغيل العادي للدائرة الكهربائية.

ومن خلال هذه الطريقة عادةً ما يكون هناك توفير في الطاقة، كما أتيحت لنا الفرصة لتقدير مستويات ذلك التوفير في عمليات المحاكاة السابقة، وذلك في ظل وجود أحمال أومية ترافقها في الغالب مشاكل الجهد الزائد الثابتة، أو على أي حال مشاكل خطية، ففي حالة وجود أحمال غير خطية معينة (مثل تبديل مصادر الطاقة على سبيل المثال) يمكن أن يؤدي انخفاض الجهد إلى زيادة في الاستهلاك؛ وفي الواقع، فإن هذه الأحمال تعمل بقدرة ثابتة، أي أنها تمتص دائمًا نفس الكمية من الطاقة حتى في مواجهة اختلافات جهد التيار الكهربي، وبالتالي يؤدي انخفاض الجهد إلى زيادة التيار في عقدة التردد الموجي، وبالتالي في خط التيار الكهربي، وهذا التيار يزيد بطبيعة الحال من الفواقد الكهربائية على كابلات النقل المستخدمة في هذه الحالة.

3.2 تحسين معامل القدرة الكهربية

يتم تعريف مصطلح تحسين معامل القدرة الكهربية بأنه أي إجراء يُستخدم لزيادة (أو كما يقال عادة لتحسين) معامل القدرة الكهربائية (cos φ) لحِمل كهربي معين، بهدف تقليل قيمة شدة التيار الموجود في شبكة التشغيل إلى نفس القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي تمتصها الأحمال. إن الغرض من تحسين معامل القدرة الكهربية يتمثل أولًا وقبل كل شيء في تقليل فواقد الطاقة الكهربائية وتقليل امتصاص القدرة الكهربائية الظاهرية بما يتناسب مع قدرة عمل الآلات والخطوط الموجودة في المواقع الصناعية. لقد اكتسب مصطلح تحسين معامل القدرة الكهربية لشبكات الكهرباء أهميةً كبيرةً منذ أن فرضت شركة توزيع الكهرباء شروطًا تعاقدية من خلال أحكام التعريفة الخاصة بـ CIP (رقم 12/1984 ورقم 26/1989) والتي تلزم المستخدِم بإعادة هيكلة شبكة الكهرباء التي لديه وإلَّا تعرض لدفع غرامات وشروط جزائية أخرى. وفي دوائر التشغيل الكهربي التي بها أحمال معينة محددة مثل مصابيح الإضاءة ذات الأسلاك المتوهجة، وسخانات المياه، وأنواع معينة من الأفران، فإن القدرة الكهربائية الظاهرية الممتصَّة تكون هي كل القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية. وفي الدوائر الكهربائية التي تحتوي على أحمال كهربائية بها لفائف تشغيلية بداخلها مثل المحركات، وآلات اللحام، ومزودات طاقة مصابيح الفلورسنت، والمحولات الكهربائية، فإنه يتم استخدام جزء من القدرة الكهربائية الظاهرية الممتصَّة لإثارة الدوائر المغناطيسية، وبالتالي لا يتم استخدامها كقدرة كهربائية فاعلة حقيقية ولكن كقدرة كهربائية تسمى بشكل عام قدرة مفاعلة كهربائية. وإذا ما نظرنا للأمر هنا من وجهة نظر مقدار التوازن الإجمالي للطاقة الكهربائية، فإن تحسين معامل القدرة الكهربية يؤدي إلى تقليل كمية طاقة المفاعلة الكهربائية التي تمتصها الدائرة الكهربائية التشغيلية، ولكنه لا يقلل بشكل مباشر من مقدار الطاقة الكهربائية الفاعلة الحقيقية المستخدمة، أي أن الانخفاض في الطاقة الكهربائية الفاعلة الحقيقية يكون بشكل عام هو نتيجة لحقيقة أن فواقد الطاقة الكهربية على الموصلات يتم فيها تجاوز المعاوقة

عادةً لتقليل إجمالي التشوه التوافقي الكهربي في شدة التيار، وذلك أيضًا لتحسين تأثيرات التشوه التوافقي الكهربي على جهد التيار أيضًا. هناك فئتان رئيسيتان من الفلاتر المناسبة لهذا الغرض:

- **الفلاتر السالبة**
- **فلاتر الطاقة النشطة**

في حالة الفئة الأولى من الفلاتر، يكون هناك تمييز إضافي بين نوعين من الفلاتر في هذه الفئة وهما الفلاتر المضبوطة الموالفة الزمنية والموجية والفلاتر الحثية. الفلاتر المضبوطة الموالفة الزمنية والموجية هي فلاتر دائرة كهربائية RLC مكوَّنة من مقاومة وملف ومكثف معينة تم ضبطها على تردد معين وعادة ما تكون متصلة بكتلة تأريض، وفي بعض الحالات يمكن أيضًا استخدام فلاتر تمرير نطاق ترددات معينة أو فلاتر تمرير عالي للترددات المرتفعة لإنشاء مسار مقاومة منخفضة إلى كتلة التأريض لمرور هذه الاضطرابات في موجة الترددات والقضاء على السبب الأساسي لها. ولكن في حالة المحاثات الكهربائية لخط التيار الكهربي في الدوائر الكهربائية، تُستخدم فلاتر LR تمرير منخفض للترددات المنخفضة، حيث إن المحاثة الكهربائية لخط التيار الكهربي في الدوائر الكهربائية تكوّن مع الدائرة الأومية فلتر تمرير منخفض للترددات المنخفضة لا يسمح بمرور القدرة الكهربائية عند ترددات بعيدة عن 50 هرتز. يعمل هذا النوع من الحلول بشكل طبيعي على تحسين حالة الحِمل الكهربي عن طريق تخفيف عامل إجمالي التشوه التوافقي الكهربي، ولكن من على مستوى مقدار توازن الطاقة الكهربائية
يبقى الوضع على حاله، حيث تنتقل الاضطرابات في الواقع إلى كتلة التأريض بعد مرورها عبر العداد وبالتالي يتم احتساب الطاقة التي يتم تحويلها إلى الأرض أيضًا من ضمن التكاليف. إن فلاتر الطاقة النشطة من وجهة نظر أحمال الطاقة هي من فئة مولدات التيار على التوازي التي تضخ تيارًا مساويًا ومعاكسًا لتيار الحمل المشوه خارج نطاق الحدود المسموح بها وبالتالي تلغي التيارات التوافقية الناتجة عن الأحمال الموجودة نفسها.

التسلسلية للموصلات نفسها بواسطة تيار أقل إجماليًا، ومع ذلك، في الواقع، لا يتم حفظ كل تلك الطاقة النشطة فعليًا، حيث يؤدي التبديد المنخفض على الموصلات إلى انخفاض الجهد الكهربائي للحمل، وفي حالة الأحمال الأومية فهذا يعني تبديدًا أكبر للطاقة.
ومع ذلك، فمن الواضح أنه في هذه الحالة تكون الطاقة الزائدة إيجابية بالنسبة للحِمل الكهربي، إلا إذا كان ذلك في حالة الجهد الكهربي الزائد الثابت. يمكن أن يكون تحسين معامل القدرة الكهربية مركزيًا أو موزعًا، أو مختلطًا:
في الحالة الأولى يتم تحسين معامل القدرة الكهربائية في كاملة شبكة التيار الكهربي الموجودة مع الحِمل الكهربي ومولد الطاقة، ولذلك يمكن تحسين تكاليف الطاقة عند مخرج مولد الطاقة ولكن هذا لا يضمن توفير هذا التحسين في كابل شبكة التيار الكهربي؛ وفي الحالة الثانية يتم تحسين معامل القدرة الكهربية للأحمال بشكل منفرد وهذا يؤدي إلى تحسين إجمالي لتكاليف الطاقة على المولد؛ وفي الحالة الثالثة يكون الحل المقدَّم خليطًا بين الحلين الأول والثاني. ويتم عادةً تحسين معامل القدرة الكهربية للأحمال عن طريق وضع مولد قدرة مفاعلة كهربائية على التوازي مع الأحمال نفسها، بطريقة تقوم بإلغاء قدرة المفاعلة الكهربائية الخارجة ذات الصلة. إن أبسط مولد قدرة مفاعلة كهربائية في الدوائر الكهربائية الجيبية هو المكثف، لذلك يتم إدخال مكثف واحد أو أكثر من المكثفات على التوازي مع الأحمال الكهربائية من أجل الحصول على تحسين في التكلفة المتكبَّدة لاستهلاك الطاقة وتوليدها أيضًا. وبالإضافة إلى المكثِّفات، توجد تقنيات أخرى لتحقيق ذلك مثل معوِّضات الطاقة الإستاتيكية الثابتة أو فلاتر الطاقة النشطة.

3.3 فلترة وتنقية توافقيات الأنظمة الكهربائية

تتم فلترة وتنقية توافقيات الأنظمة الكهربائية في أنظمة القدرة الكهربائية عادةً عن طريق إدخال بعض الأجهزة في الدوائر الكهربائية، وهذه الأجهزة مصممة

3.4 فلتر EMI (التداخل الكهرومغناطيسي)

إن الفلتر EMI (التداخل الكهرومغناطيسي) هو فلتر سالب موجود في معظم الأجهزة والمعدات الإلكترونية، للسماح لهذه الأجهزة بالامتثال للوائح التوافق الكهرومغناطيسي، ولا سيما تلك المتعلقة بالانبعاثات الموصلة. إن فلتر EMI (التداخل الكهرومغناطيسي) هو في الأساس فلتر تمرير للترددات المنخفضة يتم توصيله كمرحلة أخيرة بين الجهاز ومصدر الطاقة، من أجل تخفيف المكونات المزعجة التي يمكن لأي جهاز إلكتروني أن يسبب انبعاثها. ومن الواضح، فإن الفلتر يجب أن يكون شفافًا عند تردد الطاقة (50-60 هرتز) وذلك للسماح بالعمل الصحيح للجهاز، في حين يجب أن يعمل في نطاق التردد الذي تحدده اللوائح التنظيمية الكهربائية ذات الصلة (150 كيلو هرتز 30- ميجا هرتز).

3.5 تنميط معدلات الاستهلاك

هناك سلسلة من الأجهزة في المتوفرة في الأسواق تتيح تنميط معدلات الاستهلاك الخاصة بالمستخدمين، أي إعداد ملفات تعريفية لمعدلات استهلاك الطاقة من قِبل المستخدمين من أجل فهم كيفية استخدام المستخدمين للكهرباء خلال فترة معينة من الزمن. وهذه الأنظمة بطبيعة الحال لا تنتج في حد ذاتها أي تحسن في استهلاك الطاقة للمستخدم، ولكن لها نتيجتين مهمتين تسمحان بتحسين معدلات الاستهلاك:

- خلق وعي لدى المستخدمين بمعدلات الاستهلاك وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة الاهتمام وتحديد طُرق التوفير والادخار.

إن هذه الفلاتر تعمل من خلال التضمين التشغيلي للتردد جهد خط الكهرباء، وتقوم بتحليل حالة الشبكة، وضخ تيارات التعويض، وبطبيعة الحال، لضخ هذه التيارات بشكل صحيح، تحتاج إلى ترددات تحويل عالية جدًا تزيد عن ضعف التردد التوافقي الأقصى، لذلك تحتاج عادةً إلى استخدام ما يُسمى أدوات IGBTs، وخاصة الأجهزة الداخلية الفعالة والسريعة، لتكون قادرة على العمل بتردد التحويل المطلوب. وهذا بطبيعة الحال يجعل هذه الأجهزة مكلِّفة وباهظة الثمن بشكل خاص. وعلاوة على ذلك، من وجهة نظر توازن الطاقة، فإن الوضع مشابه لحالة الفلاتر السالبة، لأنه اعتمادًا على كفاءة هذه الفلاتر، يتم امتصاص كمية مكافئة من الطاقة للتعويض عن الاضطرابات الموجودة. والشيء اللافت للنظر هنا هو أن فلاتر الطاقة النشطة يمكنها أيضًا تحسين تكاليف النظام لأنها تعمل أيضًا كمولدات طاقة مفاعلة كهربائية. وهناك أيضًا جانب آخر مثير للاهتمام وهو أنه يمكن إدخال فلاتر ذات معدلات تدفق مختلفة على التوازي في شبكة التيار المجمودة وهذا ولا يسبب اضطرابات أو صدى ترددات في الدائرة الكهربائية.

التنبؤ مسبقًا بالجهد الكهربي من أجل الوصول إلى وضع التشغيل الصحيح.

لقد قمنا بعد ذلك بدراسة أنظمة تحسين معامل القدرة الكهربية والفلترة، وفي هذه الحالة أيضًا هناك توضيحات كثيرة يجب تقديمها من وجهة نظر الطاقة وعناصر السلامة والأمان في شبكة التيار الكهربي. فلنفترض تحديدًا هنا أننا أمام شبكة تيار كهربي ذات حِمل كهربي حثي أومي وهناك جهد كهربي زائد إستاتيكي ثابت، وفي هذه الحالة واعتمادًا على عامل قدرة الحِمل الكهربي، سيكون هناك انخفاض في الجهد بقيمة معينة بين المولد والحِمل الكهربي نفسه، وهذا الانخفاض يمكن أن يؤدي إلى رفع الحمل إلى قيمة الجهد الاسمي، كما أن إدخال نظام تحسين معامل القدرة الكهربية والفلترة يجلب فائدة أخرى هنا تتمثل في زيادة معامل القدرة الكهربائية، وبالتالي انخفاض دوران التيار الكهربي في فرع الدائرة الكهربائية المعني بذلك وبالتالي زيادة الجهد المفيد للحمل من الناحية التشغيلية. ولكن وعلى الرغم من ذلك يُترجم هذا الجانب الأخير في كثير من الأحيان إلى هدر أكبر للطاقة النشطة اعتمادًا على النسبة بين المعاوقة الكهربائية الخطية ومقاومة الحِمل الكهربي. وينطبق الشيء نفسه، كما رأينا في عمليات المحاكاة المتعلقة بالمساهمة التوافقية في مستويات جهد وشدة تيار خط التشغيل، وفي هذه الحالة يزداد الأمر تعقيدًا بسبب حقيقة أنه في ظل وجود الاضطرابات التوافقية تكون هناك أيضًا مشكلة سلامة الأحمال الكهربائية وشبكة التشغيل الكهربي بأكملها.

لقد ولد مشروع ANT على وجه التحديد بسبب الحاجة إلى الجمع بين المساهمات الإيجابية للتقنيات الفردية التي تم أخذها بعين الاعتبار من أجل توفيرها وتجميعها في منتج واحد. إن الأمر الجديد والحقيقي في هذا المشروع يمكن على وجه التحديد في نهجه الديناميكي لإدارة الأحمال الكهربائية، ولا سيما أن الجهاز ثمرة هذا المشروع قادر على تحليل الشبكة الكهربائية التي يتصل بها على الفور من حيث مصدر الطاقة والحمل ثم تشغيل الأحمال على النحو الأمثل في أي إعدادات تكوين تشغيلية متاحة. إن الجهاز قادر على تحليل بارامترات الضبط والتشغيل الخاصة بشبكة التيار الكهربي بدقة 0,1% في جميع جوانب جهد وشدة التيار الكهربي، كما أنه من خلال تحليل

- يمكن أن يؤدي تنفيذ نظام متخصص يحلل البيانات المعنية ويعيد معالجتها إلى إدارة أكثر كفاءة للطاقة وتوفير قدر كبير من معدلات الاستهلاك، دون تغيير عادات الاستهلاك الضرورية ذات الصلة.

4. جهاز النظام ANT

4.1 اعتبارات أولية تمهيدية

من الجيد تقديم بعض التوضيحات حول المشاكل التي تناولناها في الفصول السابقة وحول الحلول المطروحة حالياً في السوق قبل الخوض في مزايا هذا المشروع.

لقد قمنا بعد ذلك بتحليل أنظمة تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي، حيث توجد أنواع مختلفة من هذه الأنظمة في السوق، حتى لو كانت هذه الانظمة في الممارسة العملية هي عبارة عن أجهزة تعمل ببساطة على تقليل جهد التيار الكهربائي، بعضها إستاتيكي ثابت، والبعض الآخر ديناميكي متحرك، وأكثر مثبتات الجهد من النوع الثاني. من الواضح أنه في هذه الحالة قد يكون نظام تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي مفيدًا للتوفير ولكن عليك أن تكون حذرًا للغاية بشأن كيفية عمله. من المؤكد أن الخفض الإستاتيكي الثابت لجهد التيار الكهربي ليس حلاً فعالاً لأن رفع أو خفض الجهد يعتمد عادةً على ظروف الحِمل الكهربي الموجود. وبطبيعة الحال، يجب عليك في هذه الحالة أيضًا الانتباه إلى ظروف خط إمداد الطاقة الموجود، حيث قد تتسبب في حدوث مشكلات في التشغيل أو إتلاف الأحمال نفسها إذا لم تراعي مواصفات الشبكة التشغيلية الموجودة. ومن الناحية العملية، يمكن أن يكون الجهد الزائد أو الجهد المنخفض ثابتًا موجبًا أو سالبًا للنظام وذلك اعتمادًا على ما إذا كان لدينا أحمال طاقة متغيرة أو أحمال طاقة ثابتة (مزودة بالطاقة - غير خطية)، لذلك لا يمكن

ونحن في هذا السياق الخاص بعملية تحسين نقل الطاقة، نعمل على توفير سلسلة من التدابير التي تهدف إلى تحسين جودة الطاقة التي تدخل النظام والتعويض عن الآثار السلبية الناجمة عن إدخال الأحمال، وذلك بنفس الطريقة التي تمكنا من خلالها من تقدير الجوانب الكهربائية ذات الصلة عبر عمليات المحاكاة التي تم تحليلها هنا في الأعلى.

تجدر الإشارة هنا إلى أنه في الوقت الحالي، ونظرًا لطريقة تركيب هذا النظام، فإنه لا توجد حلول بديلة متطابقة لطريقة عمل هذا النظام، ولكن لا تزال هناك منتجات بديلة تقترب من توفير مواصفات شبيهة لهذا الحل المقترح.

4.2 المشروع الحالي / وصف الجهاز

إنه نظام لموائمة وتكييف المعاوقة الكهربائية للدوائر الكهربائية للأحمال مع المعاوقة الكهربائية للمولد، وذلك من أجل تحسين كفاءة الأنظمة الكهربائية بشكل عام، وحماية الأجهزة والمعدات، وتوفير الطاقة.

يستطيع هذا الجهاز، بمجرد توصيله بشبكة الكهرباء، تحليل جميع بارامترات ضبط وتشغيل شبكة التيار الكهربي، سواء تلك المتعلقة بجودة الطاقة الخارجية أو عوامل الاضطراب الداخلي. كما أن نفس هذا الجهاز قادر على تخفيف الاضطرابات واستخدام طاقتها لتحسين تدفقات الجهد والتيار الداخلي. وعلاوة على ذلك، فهو قادرٌ أيضًا على موازنة ملف تعريف الحِمل على الأطوار الكهربائية الموجودة وفولتية الإمداد الكهربي ذات الصلة، وهكذا يتمكَّن أيضًا من موازنة التيارات الثلاثة والتيارات ثلاثية الطور. إن ملف تعريف التشغيل الذي يقدمه هذا الجهاز قابل للضبط وتهيئة التكوين بالكامل، ويمكن أيضًا إدارته عن بُعد، كما هو الحال مع البيانات المستمدة من تحليل الشبكة.

يحتوي هذا المنتج على متغير أساسي يسمى ANT الإصدار 2.1، ومتغير TG يتضمن وظائف الإدارة عن بُعد للجهاز، ومتغير TL يتضمن وظائف القراءة عن بُعد.

يجب أن يكون الجهاز متصلاً بشبكة التيار الكهربي، سواء المنزلية أو في مستوى انبعاث الأحمال يتمكن أيضًا من فهم التركيب الداخلي للشبكة وكذلك تفسيرها بالاستدلال من أجل تحديد مساهمات وتأثيرات المعاوقات الكهربائية الفردية، مع الإشارة بشكل خاص إلى الفرق بين المعاوقات الكهربائية للحِمل والمعاوقات الكهربائية لشبكة نقل التيار الكهربي بالإضافة إلى كافة المعوقات التشغيلية الأخرى ذات الصلة، وبهذه الطريقة يكون الجهاز قادرًا على تحسين عملية نقل الطاقة نحو الأحمال الكهربائية ذات الصلة، وهذا كله من شأنه أن يقلل من خسائر عمليات نقل التيار الكهربي والفواقد الانتقالية ذات الصلة.

لقد ولد مشروع جهاز نظام ANT للاستجابة للحاجة المتزايدة لتحسين عملية نقل القدرة الكهربائية بين أي مولد كهربائي وشبكة الأحمال المتصلة به.

الصلة بشكل أكثر دقةً وكفاءة.

المراقبة

يُباع المنتج، بطبيعة الحال، وهو مزودٌ بشبكة استشعار داخلية تتحقق من عمل جميع المكونات الداخلية الفردية، من أجل مراقبة جميع بارامترات تشغيل الجهاز، وبالتالي تكون هذه الشبكة قادرة على الفهم الفوري إذا كانت هناك حالات خلل تشغيلي أو أعطال في شبكة التشغيل الموجودة وإبلاغ خدمة الدعم الفني بالمشكلة التي تمت مواجهتها والحلول الممكنة التي سيتم تطبيقها لحل هذه المشكلة على الفور.

برامج التشغيل

إن المنتج المدار عن بُعد، من وجهة نظر التكوينية، يتكوَّن من خادم شبكة مركزي ومخصص يتواصل مع جميع الأجهزة بطريقة توفر دائمًا فهمًا واضحًا للموقف وبارامترات الضبط والتشغيل لجميع الأجهزة المتصلة. وعلاوة على ذلك، توفر الشركة إمكانية الوصول إلى البرنامج والتحقق من حالة جميع الأجهزة في أي وقت؛ كما أنه من خلال نفس البرنامج، من الممكن تعديل إعدادات ضبط تكوين وتهيئة كل جهاز على حدة وربما فصله عن النظام التشغيلي بالكامل، وكل شيء هنا يتم بسرعة وسهولة. وهناك أيضًا إمكانية توفير برامج مخصصة للمستخدمين الآخرين الذين يقدمون المساعدة والدعم الفني في مختلف المناطق الأخرى، بطريقة تتيح لهم إمكانية إدارة جميع الأجهزة الموجودة في منطقتهم الخاصة محل تخصصهم. وبطبيعة الحال، تتلقى الشركة ومقدمي خدمة الدعم الفني إشعارات حول أي أعطال تحدث في الأجهزة، وربما تذاكر الدعم الفني التي سيتم إدارتها حسب الحالة.

الشركة، أسفل العداد وعند مدخل خط التوزيع الأساسي للتيار الكهربي.
وبمجرد توصيل هذا الجهاز بدائرة التشغيل الكهربي، يكون قادرًا على حساب المعاوقة الكهربائية التي يراها عداد الكهرباء فيما يتعلق بالدائرة التشغيلية ذات الصلة، ثم يبدأ في العمل على تحسين هذه المعاوقة من أجل تحسين نقل الطاقة بين عداد الكهرباء وشبكة التشغيل الكهربي، مما يقلل بشكل فعال من الطاقة التي تهدرها شبكة التيار الكهربي لعوامل أخرى خارجية ليس لها علاقة بالأحمال الكهربائية التشغيلية الموجودة. كما يعمل الجهاز أيضًا كمحسِّن لجودة الطاقة (Power Quality) المتعلقة بخط الدخل الكهربي. إن جودة الطاقة (Power Quality) هي خاصية كفاءة وفاعلية شبكة الكهرباء في نقل الطاقة إلى المستخدمين والقضاء على هدر الطاقة قدر الإمكان.

الإدارة عن بُعد

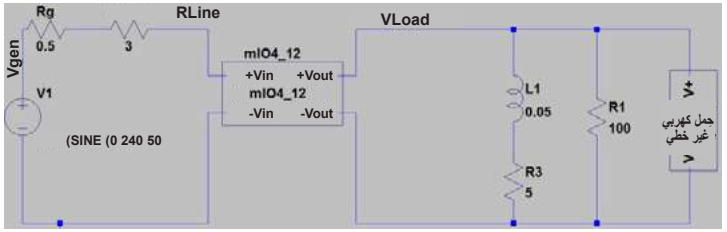
يحتوي الجهاز المُدار عن بُعد على جميع الوظائف الأساسية كما لو كان مُدرًا بشكل محلي موضعي بالإضافة إلى إمكانية إدارة جميع الأجهزة الأخرى المثبتة عن بُعد بشكل كامل. إن إدارة الأجهزة عن بُعد أمرٌ مهم للغاية لأغراض تحسين بارامترات ضبط وتشغيل الجهاز، حيث توجد إمكانية إعادة ضبط وتهيئة تكوين إعدادات كل جهاز على حدة عن بُعد بناءً على حالة التشغيل القياسية لفترة التشغيل. وعلاوة على ذلك، ومن خلال الإدارة عن بُعد يُصبح من المتاح الحصول على صورة كاملة عن حالة تشغيل الأجهزة في أي وقت من مكتبك، وربما عن طريق التدخل وأنت جالس في مكتبك يمكنك ترحيل أي جهاز كهربائيًا عن طريق فصله عن شبكة التيار الموصول بها. كما أنه في حالة حدوث أي خلل في تشغيل الأجهزة، فإنه هناك إمكانية وجود إشعار تنبيهي بنوع هذا الخلل الذي حدث، فربما كُسرت بعض القطع داخليًا، ومن الممكن في هذه الحالة معرفة القطعة التي يجب استبدالها وتجهيزها مسبقًا من خلال خدمة دعم أكثر دقةً وأكثر كفاءةً، بطبيعة الحال مع إمكانية الاتصال بالعميل مباشرة وتنبيهه بوجود خطأ ما ويتم تقديم المساعدة المطلوبة ذات

القراءة عن بُعد

إن المنتج التي تتم قراءة بياناته التشغيلية عن بُعد يمكن التحكم فيه بشكل كامل، مع إمكانية توفر جميع البيانات المتعلقة بمعدلات الاستهلاك، وكل ذلك يتم على منصة مراقبة ودعم واحدة، وبسيطة، وعملية. يمكن للشركة الوصول إلى وظائف القراءة عن بُعد، ويمكن أيضًا، وفقًا لتقدير الشركة، إتاحتها لشبكة الدعم الفني، ولكن قبل كل شيء يمكن إتاحتها للمستخدمين الفرديين الذين يمتلكون الأجهزة المعنية ذات الصلة. وبهذه الطريقة يستطيع المستخدمون الوصول بسهولة إلى ملفات تعريف الاستهلاك الخاصة بهم عبر الإنترنت على موقع الشركة وعبر الهاتف الذكي والكمبيوتر اللوحي، من خلال واجهة استخدام واحدة بسيطة وبديهية. والشيء الجديد في هذا الأمر هم أنه بفضل هذا النظام، أصبح من الممكن ليس فقط مراقبة معدلات استهلاك الكهرباء، ولكن أيضًا معدلات استهلاك المياه والغاز؛ وعلاوة على ذلك، أصبح أيضًا من الممكن إدارة بيانات الإنتاج لأي أنظمة مصادر متجددة موجودة في العقار، مثل الأنظمة الكهروضوئية، وشبكات طاقة الرياح المصغرة، وشبكات الطاقة الشمسية الحرارية وغير ذلك الكثير.

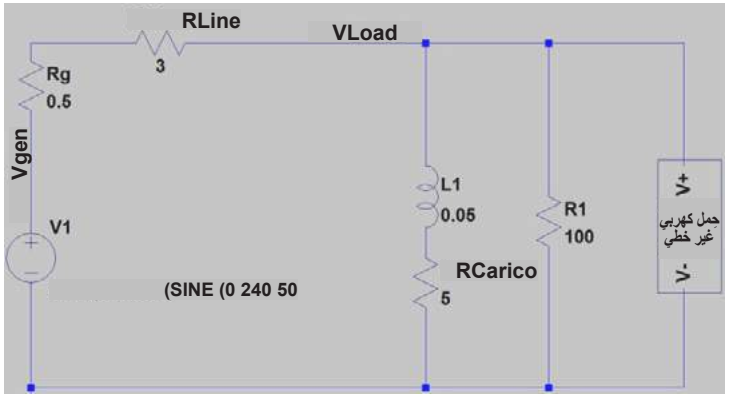
4.2 بيانات المشروع ونماذج المحاكاة

يمكننا في يلي أن ننظر إلى كيفية تفاعل هذا النظام مع شبكة التشغيل الكهربي، ومحاكاة الوضع الحقيقي لشبكة التشغيل بأكملها، حيث توجد ظواهر الجهد الكهربي الزائد الثابت، والإزاحات الطورية، والأحمال غير الخطية، وفي هذه الحالة، كما يتبين من الرسم البياني، فإننا لا نأخذ في اعتبارنا عدم خطية خط التغذية الكهربائية، أي أن الاضطرابات القادمة من الخارج لا تؤخذ بعين الاعتبار في هذه المحاكاة، بل تؤخذ بعين الاعتبار الاضطرابات المتولدة في خط التشغيل الكهربي الداخلي فقط:



القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد: 843 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 756 وات

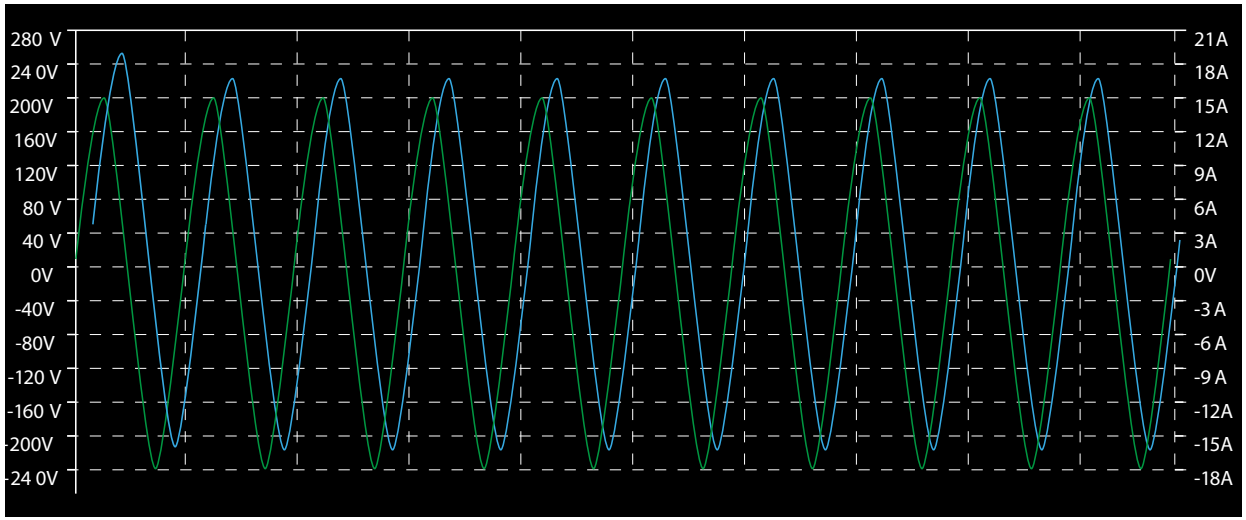


القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد: 1094 وات

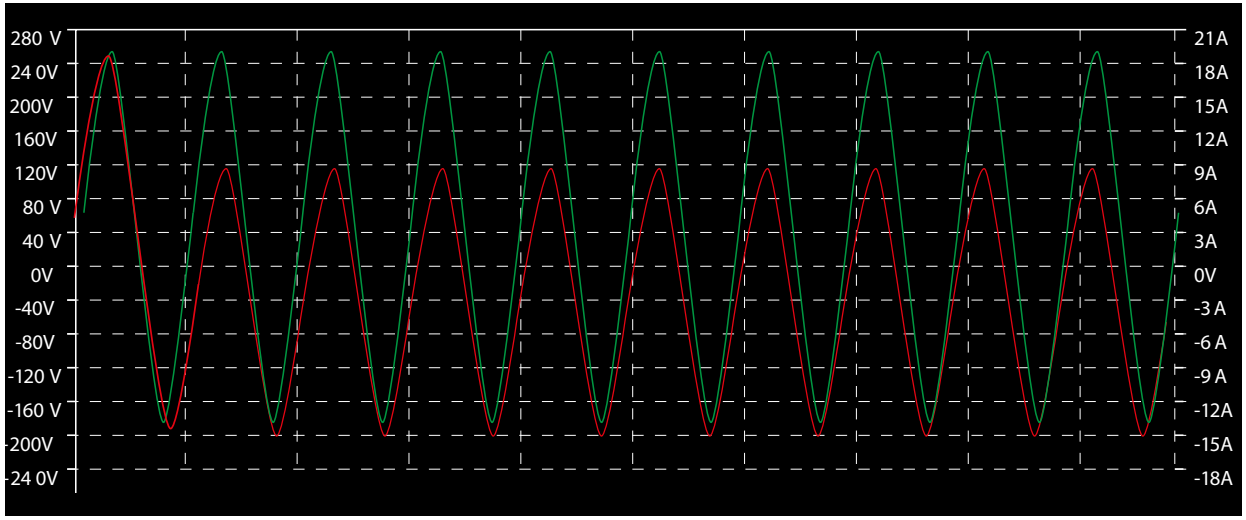
القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 738 وات

أشكال الموجات الناتجة:

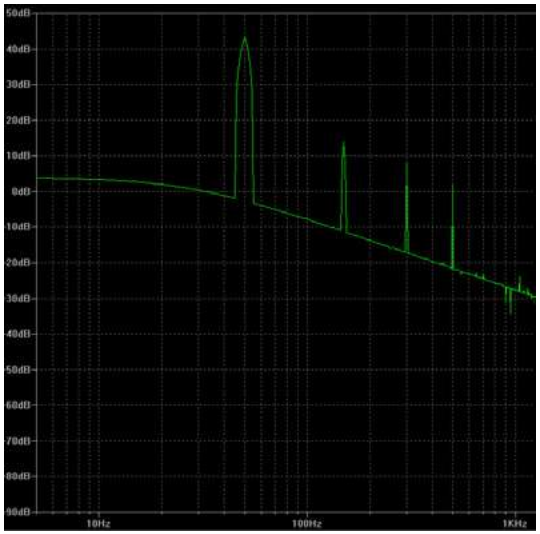
بدون جهاز النظام ANT:



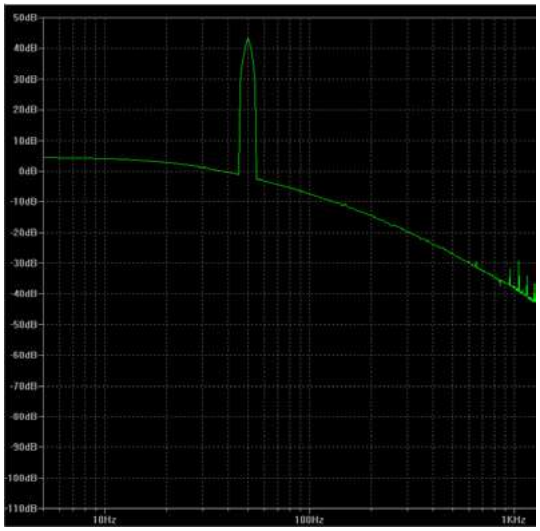
باستخدام نظام الجهاز ANT



تحليل توافقي لجهد التيار الكهربي المغذي للأحمال الكهربائية (VLoad):



إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 3.479955%



إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 3.479955%

تأثيرات إدخال جهاز النظام ANT		
باستخدام نظام الجهاز ANT	بدون جهاز النظام ANT	
240 فولت	240 فولت	جهد تيار التشغيل الكهربي:
5 أمبير	10 أمبير	شدة التيار في شبكة الكهرباء:
0.99	0.64	معامل القدرة الكهربائية:
0.01%	3.5%	إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:
843 وات	1094 وات	القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يولِّدها المولد:
756 وات	738 وات	القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية المبدَّدة على الحِمل الكهربي:

الاعتبارات

- القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يوزعها المولد دون إدخال النظام هي أعلى من نسبة 18%.
- الكفاءة التشغيلية على الحِمل الكهربي هي بنسبة 3% تقريبًا مع تفعيل النظام.
- إجمالي التشوه التوافقي الكهربي لجهد التيار الكهربي على الحِمل الكهربي قليل ولا يكاد يذكر ويمكن تجاهله عند إدخال الجهاز، وإلّا فإنه سيكون حوالي 3.5%. وهكذا تم تحسين الحِمل الكهربي على النظام (50 هرتز) بنسبة تزيد عن 3%.
- يزداد معامل القدرة الكهربائية للدائرة الكهربائية التشغيلية بشكل كبير ويقترب من الحد الأقصى للكفاءة المسموح بها.
- شدة التيار المتدفق تكون بنسبة 50% تقريبًا أكثر بعد إدخال النظام، وبالتالي تكون تشتتات التيار من الكابل أقل بشكل واضح.

« إنها تُكتب ESE،
ويمكن قراءتها "
EASY"، وسهلة
كيفية توفير الطاقة.

» **اكتشف**
عالم ESE
وجميع الإمكانيات المتاحة
لتحسين أعمالك ومشروعاتك!

ESE®
EFFICIENCY
SAVING
ENVIRONMENT

المقر القانوني للشركة
Corso Giuseppe Garibaldi 86
20121 - ميلانو (MI) إيطاليا

المقر الإداري
Via San Martino, 87
Parco dei Ciliegi
82016 (Montesarchio (BN إيطاليا

+39 02 87.368.229
+39 02 87.368.222

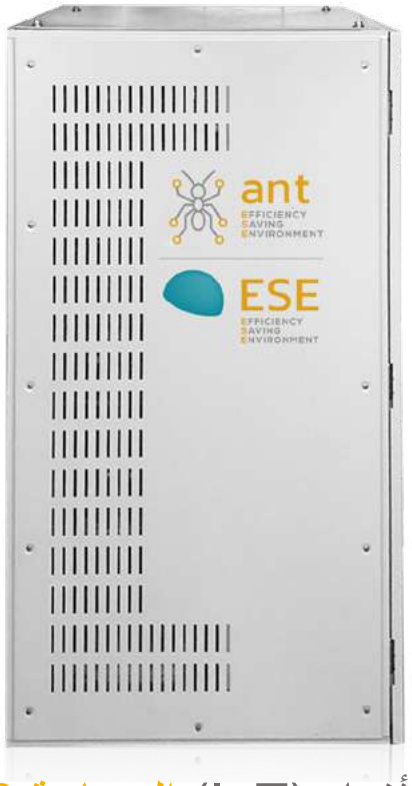
info@ese.energy

خدمة الدعم الفني
service@ese.enery

رقم التسجيل الضريبي ورقم ضريبة القيمة المضافة: 08999150967
رقم التسجيل في المرجع الاقتصادي الإداري .R.E.A الإيطالي: MI2061570

تابعنا على www.ese.energy

استخدم كود الاستجابة السريعة عبر مسحه ضوئيًا (QR-code) وتعرَّف على ESE.ENERGY



إنترنت الأشياء (IoT) الصناعة 4.0 جاهزة

صُنع في إيطاليا

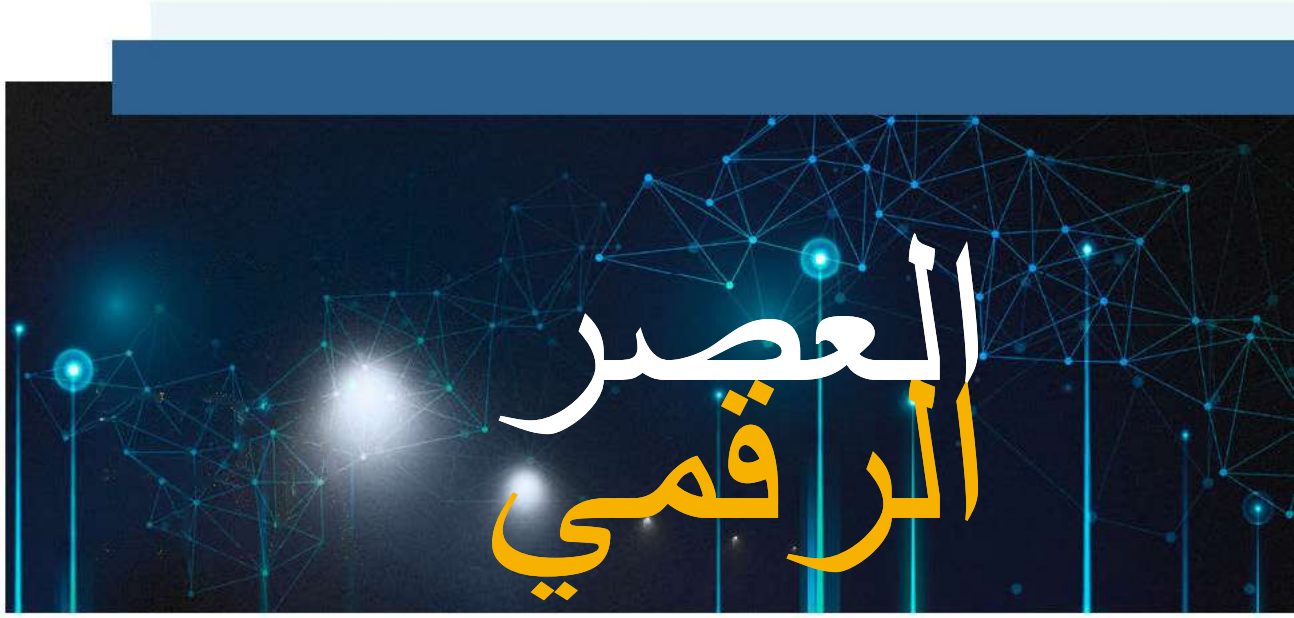
تقرير تقني

ESE
EFFICIENCY
SAVING
ENVIRONMENT

» ملخص/

1. الوضع الحالي لعمليات التوريد 4
1.1 الانتقال إلى العصر الرقمي 4
1.2 التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء 5
1.3 الجهد الكهربي الزائد أو الجهد الكهربي المنخفض..... 6
1.4 التشوه التوافقي 7
1.5 موازنة الأطوار الكهربائية 9
1.6 الإزاحة الطورية 10
2. استجابة الأحمال الكهربائية 11
2.1 تمهيد 11
2.2 الجهد الكهربي الزائد الثابت على الحِمل الأومي..... 12
2.3 الإزاحة الطورية 14
2.4 التشوه التوافقي 16
3. التقنيات الموجودة 18
3.1 تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي..... 18
3.2 تحسين معامل القدرة الكهربية 18
3.3 فلترة وتنقية توافقيات الأنظمة الكهربائية..... 19
3.4 فلتر EMI (التداخل الكهرومغناطيسي)..... 20
3.5 تنميط معدلات الاستهلاك 20
4. جهاز النظام ANT 21
4.1 اعتبارات أولية تمهيدية..... 21
4.2 المشروع الحالي 22
4.3 بيانات المشروع ونماذج المحاكاة 25

التطور الهائل والمتزايد في مجال التقنيات الرقمية بدأ يخلق وجودًا متزايدًا للأحمال الكهربائية غير الخطية التي أصبحت ذات ارتباط وثيق ومباشرة بشبكات الكهرباء المنتشرة في جميع جوانب حياتنا وأنِشطتنا اليومية.



1. الوضع الحالي لعمليات التوريد

لقد شهدنا ظاهرتين مهمتين للغاية في مجال توزيع الكهرباء واستخداماتها على المستوى العالمي خلال السنوات القليلة الماضية:

- الانتقال إلى العصر الرقمي
- التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء

إن هاتين الظاهرتين لهما تأثيرٌ كبيرٌ على توزيع الكهرباء وإدارتها بشكل صحيح.

فلنتناول هاتين الظاهرتين بالتحليل التفصيلي في السطور التالية.

1.1 الانتقال إلى العصر الرقمي

لقد بدأت منذ ما يزيد قليلاً عن عقد من الزمان ثورةٌ حقيقيةٌ في كافة المجالات يرجع السبب فيها إلى الاستخدام المتزايد للتقنيات الرقمية من أجل تحسين أداء الأنظمة المستخدمة لتأدية أهم الوظائف التكنولوجية في حياتنا وأنشطتنا. فالآن تُستخدم أجهزة الكمبيوتر بشكل مكثف في جميع الهيئات والمؤسسات وفي كافة المجالات، بدءًا من المنازل وحتى المؤسسات والعمليات الصناعية الأكثر تعقيدًا. كما يتم التحكم في جميع الآلات والمعدات الشائعة الاستخدام وإدارتها الآن بواسطة أنظمة كمبيوتر رقمية بالكامل. ولم يقتصر هذا الانتشار على ذلك فحسب، بل بدأت تظهر في حياتنا أدوات حاسوبية لم يكن من الممكن تصورها حتى سنوات قليلة مضت (مثل الأجهزة اللوحية، والهواتف الذكية، وما إلى ذلك). وحتى الاستخدامات الأساسية في حياتنا اليومية، مثل الإضاءة، بدأت تتجه بشكل متزايد نحو الاعتماد على التقنيات الرقمية، خاصة بفضل ظهور مصابيح الإضاءة الثنائية LED. سنتناول فيما بعد نتائج وعواقب هذه الظاهرة على قضايا الطاقة وإدارة كفاءة الطاقة؛ ولكننا نلاحظ في الوقت الحالي أن

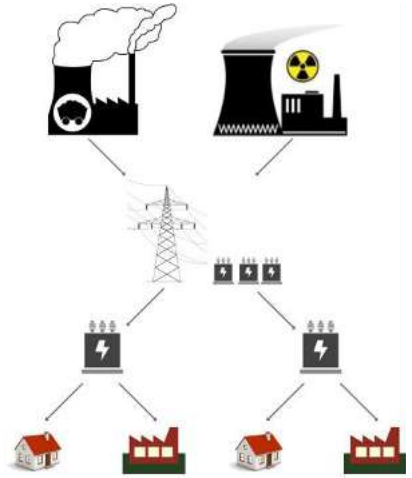
1.2 التوليد الموزع للكهرباء

لقد طرأ تغيرٌ كبيرٌ وعميقٌ على مفهوم توليد الكهرباء في السنوات الأخيرة في جميع أنحاء العالم، وخاصة في أوروبا، فحتى عقدين سابقين من الزمن، كان توليد الكهرباء مركزيًا إلى حد كبير، وذلك بفضل استغلال الطاقة الذرية، الأمر الذي أتاح إمكانية إنشاء محطات توليد طاقة كبيرة لخدمة قاعدة مستخدمين تزداد دائمًا سواء من ناحية الحجم والعدد أو من ناحية معدلات الاستهلاك.

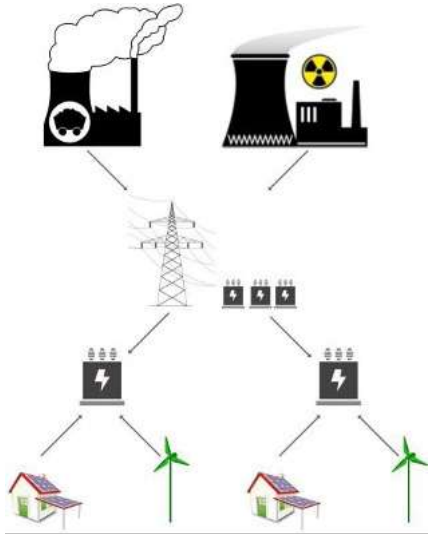
ولكن في السنوات الأخيرة، حدثت أيضًا ثورة ملحوظة في إنتاج الكهرباء، تمثلت في بدء استخدام الخلايا الكهروضوئية التي شقت طريقها بشكل متزايد إلى حياتنا، وذلك بفضل سياسات الحوافز التشجيعية القوية التي تقدمها الجهات المعنية في هذا الصدد، وأيضًا بفضل توفير تقنيات أخرى ذات صلة بهذا القطاع مثل تقنيات طاقة الرياح،

والطاقة الكهرومائية، والتوليد المشترك للطاقة، وغيرها، وهذا جعلنا نعيش مؤخرًا تطورًا أكبر من أي وقت مضى في قطاع الطاقة الكهربائية.

نحن لا نتناول هذا الموضوع بالنقاش هنا لنبين كيفية تأثير هذه الظاهرة الانتقالية في عملية توليد الكهرباء على طُرق نقل الطاقة إلى المستخدمين النهائيين، ولكن قد يكون من المثير للاهتمام هنا بالتأكيد أن تحاول في المقام الأول تحديد وتقييم الاختلافات الرئيسية لهذه التقنيات الجديدة في توليد الطاقة مقارنةً بالطُرق التقليدية الأخرى ذات الصلة. ومن أجل تبسيط هذه المناقشة، دعونا نبدأ فيما يلي بتلخيص وضع شبكة نقل الكهرباء في الحالتين التقليدية والعصرية من أجل إجراء تقييم نوعي لتأثير هذا التعديل على المستخدم النهائي:



الشكل التوضيحي 1: شبكة نقل كهرباء بنظام التوليد المركزي للطاقة الكهربائية



الشكل التوضيحي 2: شبكة نقل كهرباء بنظام التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء

الأجهزة المتصلة بشبكة الكهرباء التي تحدث فيها تلك الظاهرة. بينما في الحالة الثانية، أي عندما تكون هذه الظاهرة ثابتةً، فإنه يمكن اعتبار الاضطراب في جهد التيار الكهربي ثابتًا عندما يكون أعلى باستمرار من مستوى الجهد الاسمي والذي يبلغ في إيطاليا 230 فولت للأنظمة أحادية الطور الكهربي ذات الجهد المنخفض و400 فولت للأنظمة ثلاثية الأطوار الكهربائية ذات الجهد المنخفض. وحتى في هذه الحالة، يمكن أن يتسبب الاضطراب في جهد التيار الكهربي، على المدى الطويل، في تلف الأجهزة المتصلة بشبكة الكهرباء ذات الصلة، حتى لو كان يجب كهربائيًا ربط هذه الظاهرة بتصميم الأجهزة نفسها، والتي يجب أن نسبة التفاوت المسموح بها في جهد الدخل الكهربي +- 10 %، لكن المشكلة الحقيقية ترتبط في كثير من الحالات بكفاءة الطاقة الناتجة عن هذا الاضطراب. وبالنسبة لغالبية الأحمال الخطية المتصلة بالشبكات الكهربائية في هذه الحالة على وجه الخصوص، فإن الزيادة في جهد التيار الكهربي تؤدي إلى انخفاض العُمر الافتراضي والإنتاجي للأجهزة والآلات ذات الصلة، وكما تسبب زيادة استهلاك الطاقة دون خلق تحسينات ملحوظة في أداء هذه الأجهزة والآلات.

كما يمكننا أن نرى من الشكلين التوضيحيين السابقين، فإن الاختلاف الأكثر أهمية بينهما والذي يمكننا اكتشافه هو الاختلاف الهيكلي في طوبولوجيا الشبكة الكهربائية. وتحديدًا، في حالة التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء، تمر القدرة الكهربائية المتدفقة في الشبكة دائمًا عبر أنظمة التوزيع المركزية قبل الوصول إلى المستخدمين النهائيين، ولكن ليس هذا هو الحال دائمًا في حالة التوليد الموزع اللامركزي، فمن الناحية العملية، يمكن أن يحدث توصيل للطاقة الكهربائية مباشرةً من المولد إلى المستخدم دون المرور عبر أنظمة التوزيع المركزية

وهذه الظاهرة لها تأثير كبير على جودة القدرة الكهربائية التي توفرها المولدات، حيث إنه نظرًا لعدم وجود معابر تمرير وسيطة تتمثل في معدات توزيع الطاقة الكهربائية، فالقدرة الكهربائية التي توفرها المولدات الموزعة لا مركزيًا تكون أقل كفاءةً من تلك التي توفرها المولدات المركزية. ففي السنوات الأخيرة، وتحديدًا في مجال الكهرباء والقطاع الكهروتقني، نسمع أكثر فأكثر عن مصطلح جودة الطاقة (Power Quality)، في إشارةٍ إلى جودة الطاقة المنقولة من خطوط الكهرباء إلى المستخدمين.

1.3 الجهد الكهربي الزائد أو الجهد الكهربي المنخفض

الجهد الكهربي الزائد أو الفولطية المفرطة هو ظاهرة كهربائية تحدث عندما تقوم شبكة كهرباء بنقل جهد تيار كهربي أكبر من الجهد الاسمي. ويمكن أن تكون هذه الظاهرة مؤقتةً أو ثابتةً. ففي الحالة الأولى، أي عندما تكون هذه الظاهرة مؤقتةً عابرةً، يحدث انحراف الجهد الكهربي عن القيمة الاسمية لبضع لحظات أو بضع دورات كهربائية، بسعة فولتات قليلة ويمكن أن تصل أيضًا إلى سعات بمئات الفولتات، وغالبًا ما يكون سببها تبديل الأحمال الحثية، والمحولات تحت التحميل، وما إلى ذلك؛ ومن الطبيعي أن هذا النوع من الاضطراب يمكن أن يؤدي أيضًا إلى عدم كفاءة الطاقة، ولكن المشكلة الحقيقية المرتبطة بهذا النوع من الاضطراب تتمثل في إمكانية تسببه في إتلاف

إلى ظاهرة التوافقيات البينية في الوقت الحالي؛ كما أن الأحمال الكهربائية ذات مكونات التيار الناتجة عن الموجات التوافقية الموجودة تكون عادة هي تلك الأحمال الموجودة على الترددات المتعددة للأساس الموجي للتيار الموجود، وبالتالي يمكن ترتيب التوافقيات المنتَجة عدديًا من خلال مضاعف التردد المعني بحيث يصبح التوافقي الثاني، على سبيل المثال، توافقيًا عند ضعف تردد التيار الأساسي ذي الصلة. ويُضاف إلى ذلك أنه بالنسبة لغالبية الأحمال غير الخطية المتصلة بالشبكات (مثل منظمات تبديل إمدادات الطاقة الكهربائية)، فإن التوافقيات ذات الاتساع الموجي الأكبر تكون هي تلك التوافقيات ذات الترتيب الفردي، الثالث، والخامس، والسابع، وما إلى ذلك؛ وعلاوة على ذلك، فإنه في الحالات اللحظية، عادةً ما يكون للتوافقيات مساهمةٌ ذات اتساع موجي أكبر في الأعداد الترتيبية السفلية وبالتالي تصبح في هذه الحالة توافقيات أنظمة كهربائية متناقصة، أي بشكل عام، يكون للتوافقي الثالث اتساعٌ موجيٌ أكبر من الخامس، والخامس يكون أكبر من السابع، وهكذا. وحتى في هذه الحالة بطبيعة الحال، يجب تحليل المواقف الفردية للتيار الموجود حيث إن الأحمال غير الخطية المختلفة المتصلة بشبكة التيار الكهربي المعنية يمكن أن تولِّد مساهمةً توافقيةً مختلفةً فيما بينها، وبالتالي يمكن أن يكون مجموع هذه المساهمات مختلفًا.

1.4 التشوه التوافقي

إن عملية نقل الطاقة الكهربائية ينبغي أن تتم على خطوط الشبكة الكهربائية من خلال موجة جيبية بتردد تيار 50 هرتز (في إيطاليا) وبجهد تيار كهربي اسمي 230 فولت، وعلاوة على ذلك، فإن هذه الموجة الجيبية التي تغلق على معاوقة كهربائية خطية، ينبغي أن تولِّد في شبكة التيار الكهربي دوران شدة تيار كهربي هو أيضًا من النوعية الجيبية بتردد 50 هرتز، مع مستوى اتساع موجي يعتمد على الجزء الأومي من المعاوقة الكهربائية الموجودة ذات الصلة، وينبغي أن تولِّد أيضًا على الأكثر عملية إزاحة طورية لموجة جهد التيار الكهربي تعتمد على الجزء التخيلي من هذه المعاوقة الكهربائية نفسها. لقد استخدمنا هنا فعل "ينبغي" فيما يتعلق بمدخل الجهد الكهربي وتوليد التيار الكهربي الخطي، لأنه في الحالة الأولى، ليس من المؤكد أن تكون موجة الجهد جيبيةً تمامًا عند المدخل الكهربي، ولكن حتى لو كانت كذلك، فليس من المؤكد أيضًا أن تكون موجة التيار الناتجة هي موجة جيبية تمامًا. فمن وجهة النظر الرياضية، فإن الموجة الجيبية المعنية هي موجة دورية في جميع الأحوال، وبالتالي يمكن تطويرها في متسلسلة فورييه (Fourier) الرياضية، وتمثيلها في شكل دالة رياضية كمجموع لا نهائي من المكونات الجيبية ذات مستويات تردد، واتساع موجي، وطور مختلفة عن بعضها البعض. ومن الناحية التقنية، يتم تعريف المكونات الفردية لتطوير متسلسلة فورييه (Fourier) الرياضية على أنها توافقيات طورية، ولا سيما عندما يكون الشكل الجيبي عند التردد الأساسي هو أيضًا توافقيًا.

إننا عندما ننظر في هذا الصدد إلى أي دائرة كهربائية تعمل بموجة جيبية نقية ومغلقة فقط على نوعية الأحمال الخطية الموجودة، كما ذكرنا للتو، فإننا نكتشف أن موجة التيار الناتجة سيكون لها مكوّن واحد عند تردد مصدر الطاقة ولن يكون لها أي مكوّن توافقي بتردد مختلف عن الموجة الأساسية، بينما في الحالة التي يكون فيها أحد الأحمال الكهربائية على الأقل غير خطي، فقد توجد توافقيات تيار كهربي بتردد مختلف عن الموجة الأساسية، مع عدم النظر هنا

للخط والمقاومة الداخلية للمولد.

وبشكل عام، فإن الحمل الخطي يكون له نطاق ترددات تمريرية لا نهائي تقريبًا، فعلى سبيل المثال، يقوم المصباح المتوهج بتحويل كل القدرة الكهربائية المارة فيه إلى طاقة حرارية في نطاق ترددات لا نهائي من الناحية العملية، مما يعني أنه عندما نقوم على سبيل المثال بتوصيل المصباح الكهربائي بتيار كهبي جهده 5 فولت وتردده 400 هرتز فإننا نقوم بتسخين السلك الموجودة فيه، وسيتم بذلك توليد الحرارة المتوهجة من خلال قانون جول.

المشكلة هنا تكمن في أن تحول الطاقة الكهربائية إلى حرارة لا يولد انبعاثات ضوئية في النطاق المرئي، أو بالأحرى سيولد كمية ضئيلة من الانبعاثات الضوئية في النطاق المرئي وربما انبعاثات أخرى في النطاقات الضوئية غير المرئية بالعين المجردة، مثل، على سبيل المثال، الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة تحت الحمراء، وذلك لأن سلك المصباح مصمم للعمل بتردد التيار الكهربائي المغذي له.

وهذا له 3 آثار مهمة للغاية تنتج عنه:

- التشغيل خارج بارامترات الضبط والتشغيل الاسمية ويمكن أن يؤدي بدوره إلى تلف وتعطل الجهاز قبل العُمر الافتراضي المقدر له.
- احتواء الطاقة الضوئية المتوفرة على مكون غير مرغوب فيه في هذه الحالة وهو الحرارة، لذلك يمكن القول أن الطاقة الزائدة لا تُستخدم لتنفيذ العمل الذي تم تصميم الجهاز من أجله وهو الإضاءة، ولكنها تمثل مصدر إزعاج فقط في الأساس يتمثل في الحرارة غير المطلوبة.
- انبعاث الإشعاع خارج الضوء المرئي قد يكون ضارًا بجسم الإنسان المتعرّض له.

وإذا ما رجعنا إلى موجة التيار الكهربي المتولدة فإننا يمكن تعريفه التشوه التوافقي الكلي كما يلي:

$$THD_i = \frac{I_t - I_f}{I_f} = \frac{\sum_2^\infty I_n - I_f}{I_f}$$

حيث إن:

It هي إجمالي شدة التيار

If هي شدة التيار عند التردد الكهربي الأساسي

وينطبق الشيء نفسه على موجة جهد التيار الكهربي:

$$THD_v = \frac{V_t - V_f}{V_f} = \frac{\sum_2^\infty V_n - V_f}{V_f}$$

ويمكننا أن نطبّق الأمر بشكل أعم بالنسبة للقدرة الكهربائية المنقولة:

$$THD_p = \frac{P_t - P_f}{P_f}$$

يوفر لنا هذا المؤشر معلومات هامة، كما يشير الاسم نفسه إلى التشوه الإجمالي الموجود في أشكال الموجة. وبطبيعة الحال، كلما زادت القيمة عن 0، كلما انحرف شكل الموجة عن الحالة المثالية. إن وجود التشوهات التوافقية في التيار الكهربي في حد ذاته يخلق أيضًا مشاكل في شبكات التيار تتعلق بالطاقة نفسها. وفي الواقع يمكن إثبات أن التشوه التوافقي للتيار يكون أيضًا تأثيرات على شكل موجة جهد التيار الكهربي الذي يغذي الأحمال التشغيلية الكهربائية، وبالتالي فإن هذه الظاهرة يكون لها عواقب كهربائية، حتى على الأحمال الخطية المتصلة بشبكات التيار الكهربي، فضلاً عن توليد خسائر أخرى في القدرة الكهربائية ناتجة عن زيادة معدل تبديد الطاقة وتشتيتها على المعاوقة الكهربائية

1.5 موازنة الأطوار الكهربائية

هناك عامل آخر سلبي في جودة توفير الطاقة الكهربائية التشغيلية في حالة الأنظمة ثلاثية الأطوار الكهربائية وهو عدم التوازن الكهربي بين هذه الأطوار الكهربائية الموجودة، أي يوجد اختلاف بين أشكال الموجات الكهربائية في الأطوار الكهربائية التشغيلية الموجودة وهذه الاختلافات يُمكن أن تُعزى بشكل عام إلى عدم انتظام الجهد الكهربي عند مستوى التردد الأساسي والتوافقي. تحدث مثل هذه الاضطرابات عادةً عند استخدام أحمال أحادية الطور الكهربي وثلاثية الأطوار التشغيلية مختلطة على نفس الخط. وأيضًا في هذه الحالة، يكون لهذه الظاهرة عواقب سلبية على الطاقة الكهربائية الموزَّعة على الأحمال ثلاثية الأطوار المتصلة، وعواقب سلبية أيضًا من حيث الكفاءة التشغيلية والعُمر التشغيلي الافتراضي للأجهزة والآلات. ومن منطلق معلوماتنا في هذا المجال فإننا نتعلم أن معظم أوجه القصور ذات الصلة بهذه الظاهرة تظهر في المحركات ثلاثية الأطوار الكهربائية المتصلة بشبكة التيار التي يظهر فيها هذا القصور.

وإذا ما أخذنا في الاعتبار أنواعًا أخرى من الأحمال مثل المحركات الكهربائية أو المضخات أو غيرها، فقد تكون عواقب ذلك أسوأ مما ذكرنا للتو.

ويمكننا القون هنا بأن النتيجة العامة لهذه الظواهر تكمن في أن هذه التشوهات التوافقية تنقل الطاقة إلى الأحمال التي تستخدمها جزئيًا فقط لتنفيذ العمل الذي صُمِّمت من أجله، حيث يُستخدم جزء لتوليد شيء غير مطلوب في هذه الحالة بل يزيد أيضًا من إمكانية كسر الأحمال نفسها وتعرِّضها للتلف قبل عُمرها التشغيلي. ولذلك، فإنه بالإضافة إلى الأضرار الاقتصادية الناتجة عن زيادة استخدام الطاقة في أغراض غير مطلوبة، فإن ذلك يسبب الأضرار أيضًا التي تتمثل في تقصير العُمر الافتراضي والإنتاجي للأجهزة والأحمال الكهربائية نفسها.

وفي هذه الحالة هناك عاملان مهمان في توازن الطاقة والاقتصاد في معدلات الاستهلاك الخاصة بشبكة التيار الكهربي المستخدمة:

- يؤدي استخدام الطاقة التفاعلية في بعض الحالات إلى زيادة التكلفة في فاتورة الاستهلاك الكهربي المفروضة على المستخدم.
- يولد التيار التفاعلي الدائر تبديدًا نشطًا للطاقة على خط التيار الكهربي.

وهذا ليس كل في الأمر فحسب، بل من الممكن ببساطة إثبات أن هذا العامل له أيضًا عواقب على جهد إمداد الأحمال، حيث أن انخفاض الجهد على الخط يولد جهدًا أقل على الحمل نفسه لنفس الطاقة الإجمالية المستخدمة، بمعنى آخر يصبح نقل الطاقة غير فعال للغاية من حيث المنفعة التشغيلية المرجوة.
ففي كثير من الأحيان، عندما نشير إلى شبكات الكهرباء فإننا نتحدث عادة عن عامل القدرة الكهربائية الذي يشير إلى العلاقة النسبية الموجودة بين إجمالي الطاقة المنقولة (الطاقة الظاهرة) والقدرة التشغيلية النشطة، وعادة ما يتم الخلط بين هذا العامل وما يسمى بتكاليف التشغيل الكهربي. وهذه العبارة الاستنتاجية الأخيرة غالبًا ما تكون على وجه الخصوص صحيحة فقط إذا تم أخذ الأحمال الخطية فقط في الاعتبار، وبالتالي يمكننا القول بأنه بالنسبة لشبكة الأحمال الخطية، تتوافق التكاليف مع عامل الطاقة. وبشكل عام في هذا الصدد، فإن عامل القدرة يأخذ أيضًا في الاعتبار التشوه التوافقي الكلي للطاقة الكهربائية.

1.6 الإزاحة الطورية

الإزاحة الطورية بين الشكل الموجي لجهد التيار الكهربي والشكل الموجي لشدة التيار الكهربي هي أيضًا نوع من أنواع الاضطرابات الهامة التي تحدث للأحمال الكهربائية الموصولة بشبكة التيار الكهربي. إن الإزاحة الطورية بين جهد التيار الكهربي وشدة التيار الكهربي بشكل عام، لا تسبب في حد ذاتها مشاكل طاقة على الأحمال الكهربائية، أو على الأقل لا تولِّد مشاكل من حيث الطاقة النشطة التي تمتصها الأحمال الكهربائية، ومن الطبيعي أن يكون وجود الإزاحة الطورية سببًا في عدم كفاءة الطاقة الكهربائية وزيادة استخدام القدرة الكهربائية في مرحلة نقل القدرة الكهربائية. وبشكل عام، فإنه حتى الحمل الكهربي الخطي، الذي لا يكون حِملًا أوميًا تمامًا، يولِّد فرقًا طوريًا بين جهد التيار الكهربي وشدة التيار الكهربي، سواء أكان متقدمًا أو متأخرًا، اعتمادًا على ما إذا أكان الحِمل المعني أوميًا سعويًا أو أوميًا حثيًا. وهذا يولِّد نقل ما يسمى بقدرة المفاعلة الكهربائية، وهي على وجه الخصوص تلك القدرة التفاعلية الكهربائية التي لا تستخدمها الأحمال الكهربائية لتنفيذ العمل المطلوب منها تحديدًا ولكنها تُستخدم ببساطة لدعم المجال المغناطيسي. وتكمُن المشكلة هنا في أن قدرة المفاعلة الكهربائية تنتقل من خلال تيار حثي وهذا يزيد الحِمل على الكابلات الكهربائية المتصلة بشبكة التيار الكهربي، وعلاوة على ذلك، فإن زيادة دوران التيار الكهربي في الدائرة الكهربائية يولِّد في حد ذاته خسائر في القدرة الكهربائية أكبر في مستويات المعاوقة الكهربائية التسلسلية للدائرة نفسها، ولا سيما على المعاوقة الكهربائية الداخلية للمولد وعلى المعاوقة الكهربائية الخطية، وبالتالي يسبب خسائر أومية (وبالتالي القدرة الكهربائية الفاعلة) على النظام نفسه.

المقاومة الكهربائية المضبوطة على 3 أوم تتوافق تقريبًا مع ما يعادل تقريبًا 350 مترًا من الكابل بمتوسط مقطع قُطري 2 ملم مربع.

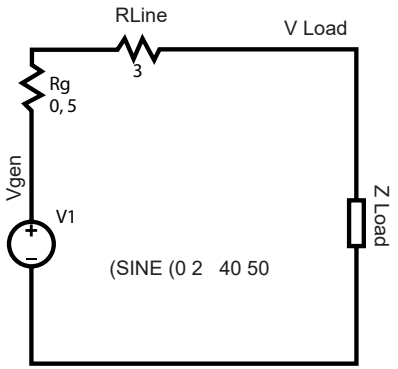
- Z Load هو المعاوقة الكهربائية للحِمل الكهربي، ويتم تمثيلها تخطيطيًا على أنها المعاوقة الكهربائية المكافِئة التي يراها المولد. ويمكن تقسيم الدائرة الكهربائية قيد الفحص إلى قسمين، قسم متعلق بمصدر الطاقة الكهربائية، وقسم آخر متعلق بالأحمال الكهربائية.

ومن أجل تقييم مقدار توازن الطاقة الكهربائية للدائرة الكهربائية نفسها، فإننا سنضع في اعتبارنا سلسلة من العوامل التي ستكون مفيدة من وقت لآخر في تقييمنا هذا، ولكننا سنركز بشكل عام على القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يوفرها المولد، والقدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يمتصها الحِمل الكهربي، بطريقة تمكِّننا من تقييم كفاءة نقل القدرة الكهربائية في المواقف المختلفة.

2. استجابة الأحمال الكهربائية

2.1 تمهيد

سوف نستخدم في هذا القسم بعض نماذج المحاكاة من أجل تحليل طريقة عمل ومدى استجابة الأحمال الكهربائية عند وجود الاضطرابات الكهربائية المذكورة أعلاه. عونا نبسِّط هذا الأمر قليلًا عبر استخدام دائرة تيار كهربائية من النوع المنزلي، بقدرة كهربائية تعاقدية تبلغ 3 كيلو وات، والتي يمكن تمثيلها خطيًا على النحو التالي: سوف نستخدم نموذجًا ذا بارامترات كهربائية مركَّزة لعمليات المحاكاة.

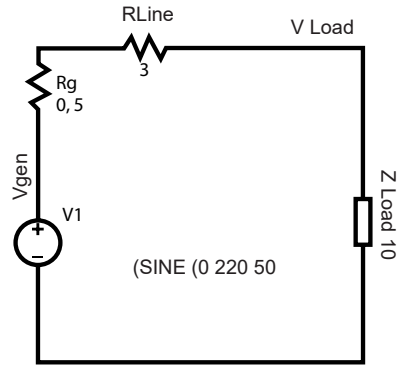


وتحديدًا:

- Rg هي المقاومة "الداخلية" للمولد
- RLine هي مقاومة خط شبكة التيار الكهربي والتي ترجع أساسًا إلى وجود الكابلات الكهربائية لتوزيع القدرة الكهربائية. ومن أجل مزيد من التبسيط لهذه المحاكاة التمثيلية، سيتم أيضًا إهمال التأثيرات السعوية والحثية للمعاوقة الكهربائية نفسها؛ كما سيتم أيضًا اعتبار أن قيمة

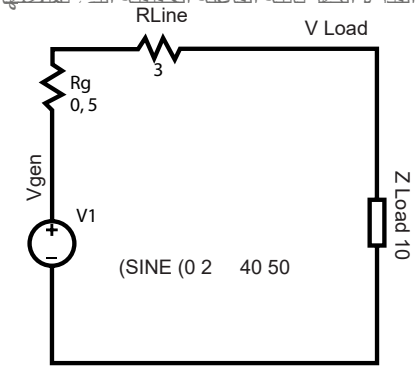
2.2 الجهد الكهربي الزائد الثابت على الحِمل الأومي

فلنعتبر كمثال أول هنا أنه يوجد حِمل أومي بحت، ولنقوم بتحليل تأثُّر مصدر الطاقة الكهربائية بجهد تيار كهربي أعلى من جهد التيار الكهربي المثالي على نظام التشغيل، وسنفترض أن جهد التيار الكهربي المثالي هو 220 فولت:



القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يولّدها المولد: 1785 وات

القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 1322 وات



القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يولّدها المولد: 2124 وات

القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 1573 وات

تلخيصًا:

الحِمل الأومي - تأثيرات التغيرات الثابتة في جهد التيار الكهربي		
	جهد التيار المثالي لشبكة الكهرباء	جهد التيار الكهربي العالي
جهد تيار التشغيل الكهربي:	220 فولت	240 فولت
شدة التيار في شبكة الكهرباء:	16.28 أمبير	17.73 أمبير
معامل القدرة الكهربائية:	1 ≈	1 ≈
إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:	0%	0%
المعاوقة الكهربائية الأومية للحِمل الكهربي:	10 أوم	10 أوم
القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد:	1785 وات	2124 وات
القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي:	1322 وات	1573 وات

الكهربائية بجهد تيار كهربي أعلى، فلدينا هنا لدينا ما يقرب من 100 وات أكثر تبديدًا على خط التيار الكهربي، مما يعني المزيد من الطاقة المحسوبة على العداد والتي يُدفع مقابلها ماديًا، بالإضافة إلى زيادة درجة الحرارة والسخونة، وعدم كفاءة الكابلات الكهربائية.

الاعتبارات

الاعتبار الأول الذي يجب مراعاته هنا هو الحالة المعنية التي تكون القدرة الكهربائية الإجمالية التي يستخدمها المولد أقل بنسبة 16% تقريبًا في حالة التغذية الكهربائية المثالية. وبطبيعة الحال هنا، ونظرًا لخطية الدائرة الكهربائية الموجودة، فإن القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي تكون أيضًا أقل بنسبة 16%، ولكن هذا لا يُترجم دائمًا إلى زيادة في كفاءة الحِمل الكهربي المعني هنا، وذلك وفقًا لما قمنا بتقييمه في حالتنا هذه لتأثيرات فولتية الجهد الكهربي العالي على الأحمال الكهربائية، فعلى سبيل المثال، إذا ما تم تمثيل الحِمل الكهربي بواحد أو أكثر من المصابيح المتوهجة المتصلة على التوازي، فإنه بالتأكيد عن طريق تغذيتها بجهد تيار أكبر عند التردد الأساسي، ستكون هناك طاقة مضيئة أكبر في النطاق المرئي، ولكن سيكون هناك طاقة أكبر أيضًا في نطاقات الانبعاث الأخرى للجهاز، وبالتالي لن تزداد طاقة الضوء الإجمالية في النطاق المرئي بنسبة 16% بل بنسبة أقل. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الخروج عن نطاق جهد التيار الكهربي المثالي للجهاز المعني يعني تقصير عُمره الافتراضي بأكثر من نسبة 16%، وقد أظهرت بعض الدراسات التي أجرتها شركة Omran، في حالة المصابيح المتوهجة، أن التغذية الكهربائية لمصباح 240 فولت يقلل من عمره الإنتاجي بنسبة 55% مقارنة بالتغذية الكهربائية له عند جهد التشغيل الكهربي الاسمي.

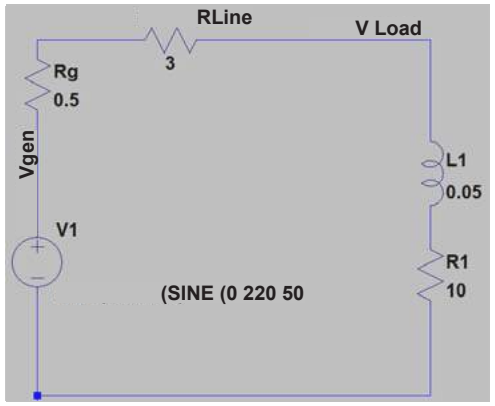
هناك أيضًا عامل آخر يجب أخذه في الاعتبار في حالتنا هذه وهو خسارة الطاقة الأومية عبر شبكة التيار الكهربي، ففي حالة التغذية الكهربائية التشغيلية المثالية تكون لدينا خسارة في القدرة الكهربائية (1785 – 1322) وات = 463 وات، بينما في حالة التغذية الكهربائية بجهد تيار أعلى لدينا خسارة في القدرة الكهربائية (2124 – 1173) وات = 551 وات، وفي هذه الحالة أيضًا، من وجهة نظر نسبية محضة، تكون نسبة الخسارة هي نفسها، ولكن من حيث القيمة المطلقة، تكون الخسارة في القدرة الكهربائية أكبر في حالة التغذية

2.3 الإزاحة الطورية

تلخيصًا:

الحِمل الأومي - تأثيرات التغيرات الثابتة في جهد التيار الكهربي		
الحِمل الكهربي المكافئ الأومي الحثي	الحِمل الكهربي الأومي المكافئ	
220 فولت	220 فولت	جهد تيار التشغيل الكهربي:
8.03 أمبير	5.73 أمبير	شدة التيار في شبكة الكهرباء:
0.66	0.99	معامل القدرة الكهربائية:
0%	0%	إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:
632 وات	758 وات	القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد:
573 وات	561 وات	القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي:

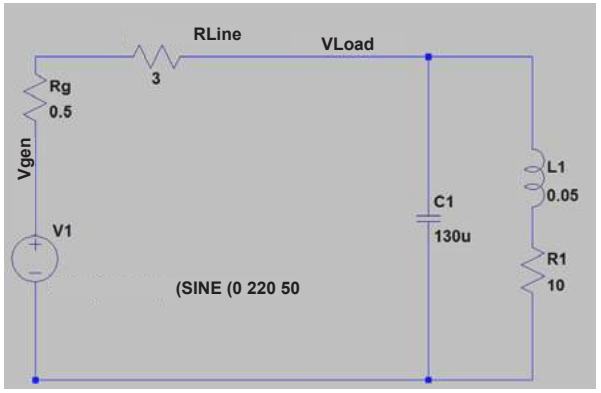
لنفترض هنا وجود حِمل كهربي حثي أومي في الدائرة:



القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد: 632 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 561 وات

فلندخِل هنا معاوقة كهربائية سعوية بنظام التوصيل على التوازي للحمل من أجل الحصول من نفس الدائرة على معاوقة كهربائية أومية مكافئة يراها المولد:



القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد: 758 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 573 وات

مستويات التبديد الكهربي على الحِمل الموجود لجعله يعمل في ظروف التشغيل المثلى المرجوة، وهذا العامل الأخير يولِّد مزيدًا من التوفير والادخار وبالتالي فهو عنصرٌ مطلوب ومرغوب فيه، وهو الأمر سنتناوله بالمناقشة والتحليلي أدناه.

الاعتبارات

يمكننا ملاحظة وجود اعتبارين مهمين بالنسبة للحالة المعنية محل التمثيل هنا:

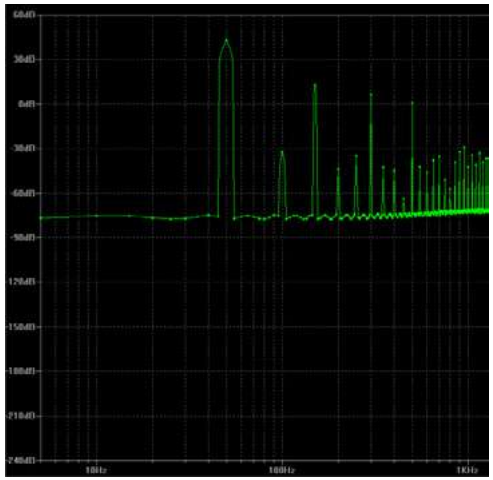
1. القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد في حالة الحِمل الكهربي الأومي الحثي، مقارنةً بحالة الحِمل الكهربي الأومي المكافئ، تكون أكبر بنسبة 18% تقريبًا.
2. القدرة الكهربائية المستخدمة فعليًا في الحِمل الكهربي أعلى بنسبة 3% تقريبًا.

إن الاعتبار الأول المذكور أعلاه يضعنا في حالة يمكننا من خلالها القول بأنه من خلال تحسين عامل القدرة الكهربائية للدائرة التشغيلية، فإننا سنحصل أيضًا على توفير كبير في القدرة الكهربائية الإجمالية المستخدمة، وبالتالي سيبدو توازن الطاقة إيجابيًا في هذه الحالة؛ كما أنه علاوة على ذلك نلاحظ كيف يستفيد الحِمل الكهربي نفسه حيث إن القدرة الكهربائية التي يستخدمها في نفس الظروف تصبح أكبر قليلاً مما كانت عليه في الحالة السابقة.

كما يتم هنا بطبيعة الحال التركيز على أن هذه الحالة تتحقق عند وجود جهد تيار للتغذية الكهربائية يبلغ 220 فولت، أما بالنسبة لمستويات جهد التيار الكهربي الأعلى من ذلك، فستكون المشكلة أكثر تعقيدًا، حيث إن إدخال أحمال كهربائية حثية سيولِّد هنا إزاحة طورية مع ما يترتب على ذلك من انخفاض في الجهد الكهربي على الحِمل التشغيلي بسبب تأثير المعاوقة الكهربائية الخطية، وذلك يتم بشكل طبيعي عند إجراء إزاحة طورية لنظام شبكة التشغيل الموجودة، وهنا في هذه الحالة يتحسن الوضع من وجهة نظر الطاقة، بنفس الأساليب التي قمنا بتحليلها للتو، ولكن في الواقع نجد أنفسنا في حالة جهد زائد ثابت للحِمل الكهربي، وبالتالي يجب في جميع الأحوال هنا إعادة تشكيل وتحديد

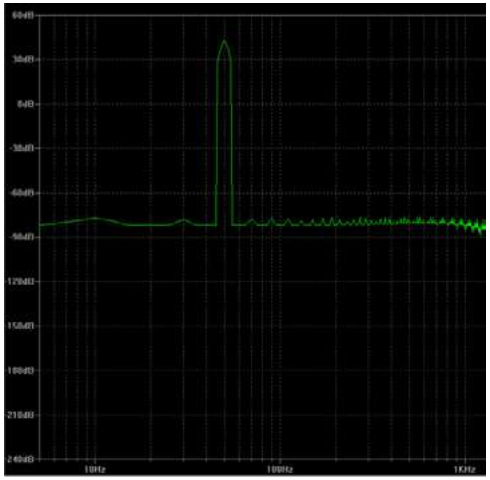
2.4 التشوه التوافقي

ولنتناول هذه الحالة بالتفصيل، دعونا نستخدم عملية تحويل Fourier الرياضية لجهد التيار الكهربي على الحمل في نطاق تردد التيار 0 - 1 كيلو هرتز.



دائرة كهربائية بحِمل غير خطي

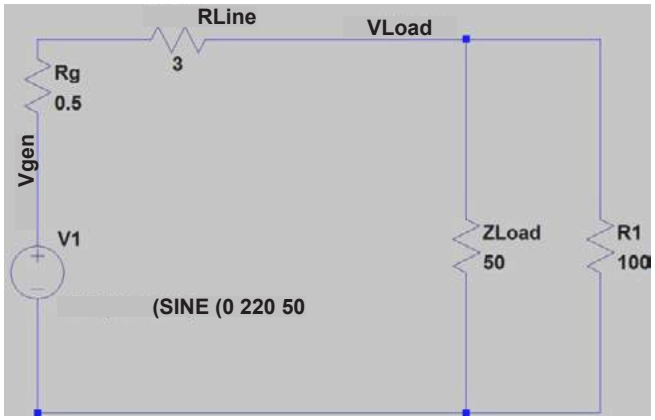
إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 3.550619%



الدائرة الكهربائية خطية بالكامل.

إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 0.000473%

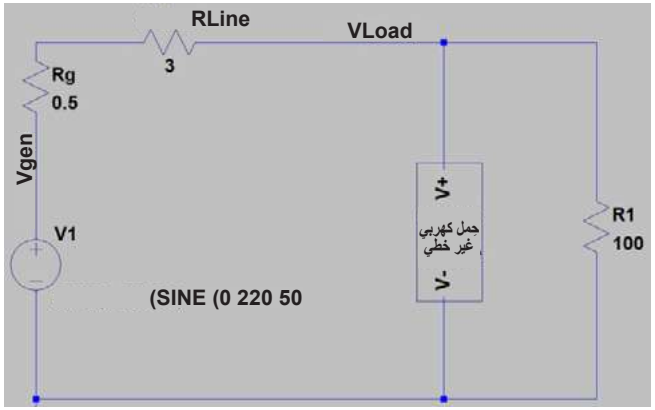
فلنفترض الآن وجود أحمال خطية وغير خطية مختلطة في الدائرة الكهربائية محل التقييم:



القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد: 654 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 592 وات

دعونا نستبدل الحِمل الأومي 50 أوم بحِمل آخر بنفس القدرة الكهربائية ولكن حِمل غير خطي:



القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد: 656 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 586 وات

الأخرى لأنه يدور فقط بين المولد والحِمل الكهربي المعني بذلك. ولكن المشكلة هنا تكمُن في أن تغير جهد التيار الكهربي على المعاوقة الكهربائية الخطية له أيضًا محتوى توافقي عالٍ لموجات التردد الكهربي وبالتالي يتأثر جد التيار الكهربي الإجمالي للتغذية الكهربائية للأحمال بالتشوهات التوافقية الكهربائية التي تعتمد، كما ذكرنا، على القدرة الكهربائية للحِمل الكهربي للتشوه التوافقي وعلى المعاوقة الكهربائية لخط شبكة التشغيل الموجودة، وبطبيعة الحال، يتم امتصاص هذه التشوهات التوافقية الكهربائية بواسطة الأحمال الأومية وتحويلها إلى حرارة، دون أي فائدة من وجهة نظر كفاءة استخدام الطاقة، بل على العكس يتسبب ذلك في مشاكل كبيرة في بعض الأحيان فيما يتعلق بالعُمر الافتراضي للجهاز وكفاءته التشغيلية. ولذلك يمكننا أن نؤكد في هذا الصدد أنه على الرغم من أنه من الوهلة الأولى ومن وجهة نظر مبدأ توازن الطاقة الكهربائية قد يبدو أنه لا توجد اختلافات كبيرة (1%) ملموسة، إلَّا أنه من وجهة نظر كفاءة الأحمال الكهربائية تظهر لنا اختلافات أكثر أهميةً (3-4%)، حيث إن إجمالي الطاقة التي يمتصها الحِمل الكهربي تكون أقل بنسبة 5% تقريبًا إذا ما وضعنا في اعتبارنا القدرة الكهربائية المستفَاد منها فعليًا (التي يتم تسليمها عند 50 هرتز).

تلخيصًا:

الحِمل الاومي الحثي - التاثيرات التوافقية الكهربائية		
الحِمل الكهربي المكافئ الأومي الحثي	الحِمل الكهربي الأومي المكافئ	
220 فولت	220 فولت	جهد تيار التشغيل الكهربي:
4.46 أمبير	4.21 أمبير	شدة التيار في شبكة الكهرباء:
0.95	1 ≈	معامل القدرة الكهربائية:
3.55%	0% ≈	إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:
656 وات	654 وات	القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد:
586 وات	592 وات	القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي:

الاعتبارات

يمكننا ملاحظة وجود ثلاثة اعتبارات مهمة بالنسبة للحالة المعنية محل التمثيل هنا:

- القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد في حالة الدائرة الكهربائية غير الخطية، مقارنةً بحالة الحِمل الكهربي الأومي المكافئ، تكون أكبر بنسبة 0,4% تقريبًا.
- القدرة الكهربائية الإجمالية المنقولة إلى الحِمل الكهربي تكون أعلى بنسبة 1% تقريبًا.
- تقل القدرة الكهربائية المنقولة إلى الحِمل الكهربي عند تردد 50 هرتز بنسبة 3,5%، ويتم نقل هذه النسبة من القدرة الكهربائية خارج نطاق التردد.

وفي هذه الحالة، يولِّد الحِمل الكهربي غير الخطي دوران لشدة التيار خارج نطاق التردد ولكنه عالٍ من حيث المحتوى التوافقي لموجات التردد الكهربي، وهذا التيار في حد ذاته لا يولِّد مشاكل للأحمال الكهربائية

3 التقنيات الموجودة

3.1 تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي

تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي هو تقنية لتوفير الطاقة يتم اعتمادها عن طريق تركيب محول طاقة على التوالي مع خط التيار الكهربي من أجل تقليل أو زيادة جهد التيار الكهربي المتاح للحِمل الكهربي.

ويمكن أن يتم عملية تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي بطريقة إستاتيكية ثابتة أو ديناميكية حركية وذلك اعتمادًا على ما إذا كان الجهد ينخفض بطريقة ثابتة بنسبة مئوية معينة أو يتغير ديناميكيًا أثناء التشغيل العادي للدائرة الكهربائية.

ومن خلال هذه الطريقة عادةً ما يكون هناك توفير في الطاقة، كما أتيحت لنا الفرصة لتقدير مستويات ذلك التوفير في عمليات المحاكاة السابقة، وذلك في ظل وجود أحمال أومية ترافقها في الغالب مشاكل الجهد الزائد الثابتة، أو على أي حال مشاكل خطية، ففي حالة وجود أحمال غير خطية معينة (مثل تبديل مصادر الطاقة على سبيل المثال) يمكن أن يؤدي انخفاض الجهد إلى زيادة في الاستهلاك؛ وفي الواقع، فإن هذه الأحمال تعمل بقدرة ثابتة، أي أنها تمتص دائمًا نفس الكمية من الطاقة حتى في مواجهة اختلافات جهد التيار الكهربي، وبالتالي يؤدي انخفاض الجهد إلى زيادة التيار في عقدة التردد الموجي، وبالتالي في خط التيار الكهربي، وهذا التيار يزيد بطبيعة الحال من الفواقد الكهربائية على كابلات النقل المستخدمة في هذه الحالة.

3.2 تحسين معامل القدرة الكهربية

يتم تعريف مصطلح تحسين معامل القدرة الكهربية بأنه أي إجراء يُستخدم لزيادة (أو كما يقال عادة لتحسين) معامل القدرة الكهربائية (cos φ) لحِمل كهربي معين، بهدف تقليل قيمة شدة التيار الموجود في شبكة التشغيل إلى نفس القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي تمتصها الأحمال. إن الغرض من تحسين معامل القدرة الكهربية يتمثل أولًا وقبل كل شيء في تقليل فواقد الطاقة الكهربائية وتقليل امتصاص القدرة الكهربائية الظاهرية بما يتناسب مع قدرة عمل الآلات والخطوط الموجودة في المواقع الصناعية. لقد اكتسب مصطلح تحسين معامل القدرة الكهربية لشبكات الكهرباء أهميةً كبيرةً منذ أن فرضت شركة توزيع الكهرباء شروطًا تعاقدية من خلال أحكام التعريفة الخاصة بـ CIP (رقم 12/1984 ورقم 26/1989) والتي تلزم المستخدِم بإعادة هيكلة شبكة الكهرباء التي لديه وإلَّا تعرض لدفع غرامات وشروط جزائية أخرى. وفي دوائر التشغيل الكهربي التي بها أحمال معينة محددة مثل مصابيح الإضاءة ذات الأسلاك المتوهجة، وسخانات المياه، وأنواع معينة من الأفران، فإن القدرة الكهربائية الظاهرية الممتصَّة تكون هي كل القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية. وفي الدوائر الكهربائية التي تحتوي على أحمال كهربائية بها لفائف تشغيلية بداخلها مثل المحركات، وآلات اللحام، ومزودات طاقة مصابيح الفلورسنت، والمحولات الكهربائية، فإنه يتم استخدام جزء من القدرة الكهربائية الظاهرية الممتصَّة لإثارة الدوائر المغناطيسية، وبالتالي لا يتم استخدامها كقدرة كهربائية فاعلة حقيقية ولكن كقدرة كهربائية تسمى بشكل عام قدرة مفاعلة كهربائية. وإذا ما نظرنا للأمر هنا من وجهة نظر مقدار التوازن الإجمالي للطاقة الكهربائية، فإن تحسين معامل القدرة الكهربية يؤدي إلى تقليل كمية طاقة المفاعلة الكهربائية التي تمتصها الدائرة الكهربائية التشغيلية، ولكنه لا يقلل بشكل مباشر من مقدار الطاقة الكهربائية الفاعلة الحقيقية المستخدمة، أي أن الانخفاض في الطاقة الكهربائية الفاعلة الحقيقية يكون بشكل عام هو نتيجة لحقيقة أن فواقد الطاقة الكهربية على الموصلات يتم فيها تجاوز المعاوقة

عادةً لتقليل إجمالي التشوه التوافقي الكهربي في شدة التيار، وذلك أيضًا لتحسين تأثيرات التشوه التوافقي الكهربي على جهد التيار أيضًا. هناك فئتان رئيسيتان من الفلاتر المناسبة لهذا الغرض:

- **الفلاتر السالبة**
- **فلاتر الطاقة النشطة**

في حالة الفئة الأولى من الفلاتر، يكون هناك تمييز إضافي بين نوعين من الفلاتر في هذه الفئة وهما الفلاتر المضبوطة الموالفة الزمنية والموجية والفلاتر الحثية. الفلاتر المضبوطة الموالفة الزمنية والموجية هي فلاتر دائرة كهربائية RLC مكوَّنة من مقاومة وملف ومكثف معينة تم ضبطها على تردد معين وعادة ما تكون متصلة بكتلة تأريض، وفي بعض الحالات يمكن أيضًا استخدام فلاتر تمرير نطاق ترددات معينة أو فلاتر تمرير عالي للترددات المرتفعة لإنشاء مسار مقاومة منخفضة إلى كتلة التأريض لمرور هذه الاضطرابات في موجة الترددات والقضاء على السبب الأساسي لها. ولكن في حالة المحاثات الكهربائية لخط التيار الكهربي في الدوائر الكهربائية، تُستخدم فلاتر LR تمرير منخفض للترددات المنخفضة، حيث إن المحاثة الكهربائية لخط التيار الكهربي في الدوائر الكهربائية تكوّن مع الدائرة الأومية فلتر تمرير منخفض للترددات المنخفضة لا يسمح بمرور القدرة الكهربائية عند ترددات بعيدة عن 50 هرتز. يعمل هذا النوع من الحلول بشكل طبيعي على تحسين حالة الحِمل الكهربي عن طريق تخفيف عامل إجمالي التشوه التوافقي الكهربي، ولكن من على مستوى مقدار توازن الطاقة الكهربائية
يبقى الوضع على حاله، حيث تنتقل الاضطرابات في الواقع إلى كتلة التأريض بعد مرورها عبر العداد وبالتالي يتم احتساب الطاقة التي يتم تحويلها إلى الأرض أيضًا من ضمن التكاليف. إن فلاتر الطاقة النشطة من وجهة نظر أحمال الطاقة هي من فئة مولدات التيار على التوازي التي تضخ تيارًا مساويًا ومعاكسًا لتيار الحمل المشوه خارج نطاق الحدود المسموح بها وبالتالي تلغي التيارات التوافقية الناتجة عن الأحمال الموجودة نفسها.

التسلسلية للموصلات نفسها بواسطة تيار أقل إجماليًا، ومع ذلك، في الواقع، لا يتم حفظ كل تلك الطاقة النشطة فعليًا، حيث يؤدي التبديد المنخفض على الموصلات إلى انخفاض الجهد الكهربائي للحمل، وفي حالة الأحمال الأومية فهذا يعني تبديدًا أكبر للطاقة.
ومع ذلك، فمن الواضح أنه في هذه الحالة تكون الطاقة الزائدة إيجابية بالنسبة للحِمل الكهربي، إلا إذا كان ذلك في حالة الجهد الكهربي الزائد الثابت. يمكن أن يكون تحسين معامل القدرة الكهربية مركزيًا أو موزعًا، أو مختلطًا:
في الحالة الأولى يتم تحسين معامل القدرة الكهربائية في كاملة شبكة التيار الكهربي الموجودة مع الحِمل الكهربي ومولد الطاقة، ولذلك يمكن تحسين تكاليف الطاقة عند مخرج مولد الطاقة ولكن هذا لا يضمن توفير هذا التحسين في كابل شبكة التيار الكهربي؛ وفي الحالة الثانية يتم تحسين معامل القدرة الكهربية للأحمال بشكل منفرد وهذا يؤدي إلى تحسين إجمالي لتكاليف الطاقة على المولد؛ وفي الحالة الثالثة يكون الحل المقدَّم خليطًا بين الحلين الأول والثاني. ويتم عادةً تحسين معامل القدرة الكهربية للأحمال عن طريق وضع مولد قدرة مفاعلة كهربائية على التوازي مع الأحمال نفسها، بطريقة تقوم بإلغاء قدرة المفاعلة الكهربائية الخارجة ذات الصلة. إن أبسط مولد قدرة مفاعلة كهربائية في الدوائر الكهربائية الجيبية هو المكثف، لذلك يتم إدخال مكثف واحد أو أكثر من المكثفات على التوازي مع الأحمال الكهربائية من أجل الحصول على تحسين في التكلفة المتكبَّدة لاستهلاك الطاقة وتوليدها أيضًا. وبالإضافة إلى المكثِّفات، توجد تقنيات أخرى لتحقيق ذلك مثل معوِّضات الطاقة الإستاتيكية الثابتة أو فلاتر الطاقة النشطة.

3.3 فلترة وتنقية توافقيات الأنظمة الكهربائية

تتم فلترة وتنقية توافقيات الأنظمة الكهربائية في أنظمة القدرة الكهربائية عادةً عن طريق إدخال بعض الأجهزة في الدوائر الكهربائية، وهذه الأجهزة مصممة

3.4 فلتر EMI (التداخل الكهرومغناطيسي)

إن الفلتر EMI (التداخل الكهرومغناطيسي) هو فلتر سالب موجود في معظم الأجهزة والمعدات الإلكترونية، للسماح لهذه الأجهزة بالامتثال للوائح التوافق الكهرومغناطيسي، ولا سيما تلك المتعلقة بالانبعاثات الموصلة. إن فلتر EMI (التداخل الكهرومغناطيسي) هو في الأساس فلتر تمرير للترددات المنخفضة يتم توصيله كمرحلة أخيرة بين الجهاز ومصدر الطاقة، من أجل تخفيف المكونات المزعجة التي يمكن لأي جهاز إلكتروني أن يسبب انبعاثها. ومن الواضح، فإن الفلتر يجب أن يكون شفافًا عند تردد الطاقة (50-60 هرتز) وذلك للسماح بالعمل الصحيح للجهاز، في حين يجب أن يعمل في نطاق التردد الذي تحدده اللوائح التنظيمية الكهربائية ذات الصلة (150 كيلو هرتز 30- ميجا هرتز).

3.5 تنميط معدلات الاستهلاك

هناك سلسلة من الأجهزة في المتوفرة في الأسواق تتيح تنميط معدلات الاستهلاك الخاصة بالمستخدمين، أي إعداد ملفات تعريفية لمعدلات استهلاك الطاقة من قِبل المستخدمين من أجل فهم كيفية استخدام المستخدمين للكهرباء خلال فترة معينة من الزمن. وهذه الأنظمة بطبيعة الحال لا تنتج في حد ذاتها أي تحسن في استهلاك الطاقة للمستخدم، ولكن لها نتيجتين مهمتين تسمحان بتحسين معدلات الاستهلاك:

- خلق وعي لدى المستخدمين بمعدلات الاستهلاك وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة الاهتمام وتحديد طُرق التوفير والادخار.

إن هذه الفلاتر تعمل من خلال التضمين التشغيلي للتردد جهد خط الكهرباء، وتقوم بتحليل حالة الشبكة، وضخ تيارات التعويض، وبطبيعة الحال، لضخ هذه التيارات بشكل صحيح، تحتاج إلى ترددات تحويل عالية جدًا تزيد عن ضعف التردد التوافقي الأقصى، لذلك تحتاج عادةً إلى استخدام ما يُسمى أدوات IGBTs، وخاصة الأجهزة الداخلية الفعالة والسريعة، لتكون قادرة على العمل بتردد التحويل المطلوب. وهذا بطبيعة الحال يجعل هذه الأجهزة مكلِّفة وباهظة الثمن بشكل خاص. وعلاوة على ذلك، من وجهة نظر توازن الطاقة، فإن الوضع مشابه لحالة الفلاتر السالبة، لأنه اعتمادًا على كفاءة هذه الفلاتر، يتم امتصاص كمية مكافئة من الطاقة للتعويض عن الاضطرابات الموجودة. والشيء اللافت للنظر هنا هو أن فلاتر الطاقة النشطة يمكنها أيضًا تحسين تكاليف النظام لأنها تعمل أيضًا كمولدات طاقة مفاعلة كهربائية. وهناك أيضًا جانب آخر مثير للاهتمام وهو أنه يمكن إدخال فلاتر ذات معدلات تدفق مختلفة على التوازي في شبكة التيار المجمودة وهذا ولا يسبب اضطرابات أو صدى ترددات في الدائرة الكهربائية.

لقد قمنا بعد ذلك بدراسة أنظمة تحسين معامل القدرة الكهربية والفلترة، وفي هذه الحالة أيضًا هناك توضيحات كثيرة يجب تقديمها من وجهة نظر الطاقة وعناصر السلامة والأمان في شبكة التيار الكهربي. فلنفترض تحديدًا هنا أننا أمام شبكة تيار كهربي ذات حِمل كهربي حثي أومي وهناك جهد كهربي زائد إستاتيكي ثابت، وفي هذه الحالة واعتمادًا على عامل قدرة الحِمل الكهربي، سيكون هناك انخفاض في الجهد بقيمة معينة بين المولد والحِمل الكهربي نفسه، وهذا الانخفاض يمكن أن يؤدي إلى رفع الحمل إلى قيمة الجهد الاسمي، كما أن إدخال نظام تحسين معامل القدرة الكهربية والفلترة يجلب فائدة أخرى هنا تتمثل في زيادة معامل القدرة الكهربائية، وبالتالي انخفاض دوران التيار الكهربي في فرع الدائرة الكهربائية المعني بذلك وبالتالي زيادة الجهد المفيد للحمل من الناحية التشغيلية. ولكن وعلى الرغم من ذلك يُترجم هذا الجانب الأخير في كثير من الأحيان إلى هدر أكبر للطاقة النشطة اعتمادًا على النسبة بين المعاوقة الكهربائية الخطية ومقاومة الحِمل الكهربي. وينطبق الشيء نفسه، كما رأينا في عمليات المحاكاة المتعلقة بالمساهمة التوافقية في مستويات جهد وشدة تيار خط التشغيل، وفي هذه الحالة يزداد الأمر تعقيدًا بسبب حقيقة أنه في ظل وجود الاضطرابات التوافقية تكون هناك أيضًا مشكلة سلامة الأحمال الكهربائية وشبكة التشغيل الكهربي بأكملها.

لقد ولد مشروع ANT على وجه التحديد بسبب الحاجة إلى الجمع بين المساهمات الإيجابية للتقنيات الفردية التي تم أخذها بعين الاعتبار من أجل توفيرها وتجميعها في منتج واحد. إن الأمر الجديد والحقيقي في هذا المشروع يمكن على وجه التحديد في نهجه الديناميكي لإدارة الأحمال الكهربائية، ولا سيما أن الجهاز ثمرة هذا المشروع قادر على تحليل الشبكة الكهربائية التي يتصل بها على الفور من حيث مصدر الطاقة والحمل ثم تشغيل الأحمال على النحو الأمثل في أي إعدادات تكوين تشغيلية متاحة. إن الجهاز قادر على تحليل بارامترات الضبط والتشغيل الخاصة بشبكة التيار الكهربي بدقة 0,1% في جميع جوانب جهد وشدة التيار الكهربي، كما أنه من خلال تحليل مستوى انبعاث الأحمال يتمكن أيضًا من فهم التركيب الداخلي للشبكة وكذلك تفسيرها بالاستدلال من أجل تحديد مساهمات وتأثيرات المعاوقات الكهربائية

- يمكن أن يؤدي تنفيذ نظام متخصص يحلل البيانات المعنية ويعيد معالجتها إلى إدارة أكثر كفاءة للطاقة وتوفير قدر كبير من معدلات الاستهلاك، دون تغيير عادات الاستهلاك الضرورية ذات الصلة.

4. جهاز النظام ANT

4.1 اعتبارات أولية تمهيدية

من الجيد تقديم بعض التوضيحات حول المشاكل التي تناولناها في الفصول السابقة وحول الحلول المطروحة حالياً في السوق قبل الخوض في مزايا هذا المشروع.

لقد قمنا بعد ذلك بتحليل أنظمة تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي، حيث توجد أنواع مختلفة من هذه الأنظمة في السوق، حتى لو كانت هذه الانظمة في الممارسة العملية هي عبارة عن أجهزة تعمل ببساطة على تقليل جهد التيار الكهربائي، بعضها إستاتيكي ثابت، والبعض الآخر ديناميكي متحرك، وأكثر مثبتات الجهد من النوع الثاني. من الواضح أنه في هذه الحالة قد يكون نظام تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي مفيدًا للتوفير ولكن عليك أن تكون حذرًا للغاية بشأن كيفية عمله. من المؤكد أن الخفض الإستاتيكي الثابت لجهد التيار الكهربي ليس حلاً فعالاً لأن رفع أو خفض الجهد يعتمد عادةً على ظروف الحِمل الكهربي الموجود. وبطبيعة الحال، يجب عليك في هذه الحالة أيضًا الانتباه إلى ظروف خط إمداد الطاقة الموجود، حيث قد تتسبب في حدوث مشكلات في التشغيل أو إتلاف الأحمال نفسها إذا لم تراعي مواصفات الشبكة التشغيلية الموجودة. ومن الناحية العملية، يمكن أن يكون الجهد الزائد أو الجهد المنخفض ثابتًا موجبًا أو سالبًا للنظام وذلك اعتمادًا على ما إذا كان لدينا أحمال طاقة متغيرة أو أحمال طاقة ثابتة (مزودة بالطاقة - غير خطية)، لذلك لا يمكن التنبؤ مسبقًا بالجهد الكهربي من أجل الوصول إلى وضع التشغيل الصحيح.

ونحن في هذا السياق الخاص بعملية تحسين نقل الطاقة، نعمل على توفير سلسلة من التدابير التي تهدف إلى تحسين جودة الطاقة التي تدخل النظام والتعويض عن الآثار السلبية الناجمة عن إدخال الأحمال، وذلك بنفس الطريقة التي تمكنا من خلالها من تقدير الجوانب الكهربائية ذات الصلة عبر عمليات المحاكاة التي تم تحليلها هنا في الأعلى.

تجدر الإشارة هنا إلى أنه في الوقت الحالي، ونظرًا لطريقة تركيب هذا النظام، فإنه لا توجد حلول بديلة متطابقة لطريقة عمل هذا النظام، ولكن لا تزال هناك منتجات بديلة تقترب من توفير مواصفات شبيهة لهذا الحل المقترح.

4.2 المشروع الحالي / وصف الجهاز

إنه نظام لموائمة وتكييف المعاوقة الكهربائية للدوائر الكهربائية للأحمال مع المعاوقة الكهربائية للمولد، وذلك من أجل تحسين كفاءة الأنظمة الكهربائية بشكل عام، وحماية الأجهزة والمعدات، وتوفير الطاقة.

يستطيع هذا الجهاز، بمجرد توصيله بشبكة الكهرباء، تحليل جميع بارامترات ضبط وتشغيل شبكة التيار الكهربي، سواء تلك المتعلقة بجودة الطاقة الخارجية أو عوامل الاضطراب الداخلي. كما أن نفس هذا الجهاز قادر على تخفيف الاضطرابات واستخدام طاقتها لتحسين تدفقات الجهد والتيار الداخلي. وعلاوة على ذلك، فهو قادرٌ أيضًا على موازنة ملف تعريف الحِمل على الأطوار الكهربائية الموجودة وفولتية الإمداد الكهربي ذات الصلة، وهكذا يتمكَّن أيضًا من موازنة التيارات الثلاثة والتيارات ثلاثية الطور. إن ملف تعريف التشغيل الذي يقدمه هذا الجهاز قابل للضبط وتهيئة التكوين بالكامل، ويمكن أيضًا إدارته عن بُعد، كما هو الحال مع البيانات المستمدة من تحليل الشبكة.

يحتوي هذا المنتج على متغير أساسي يسمى ANT الإصدار 2.1، ومتغير TG يتضمن وظائف الإدارة عن بُعد للجهاز، ومتغير TL يتضمن وظائف القراءة عن بُعد.

يجب أن يكون الجهاز متصلاً بشبكة التيار الكهربي، سواء المنزلية أو في الفردية، مع الإشارة بشكل خاص إلى الفرق بين المعاوقات الكهربائية للحِمل والمعاوقات الكهربائية لشبكة نقل التيار الكهربي بالإضافة إلى كافة المعوقات التشغيلية الأخرى ذات الصلة، وبهذه الطريقة يكون الجهاز قادرًا على تحسين عملية نقل الطاقة نحو الأحمال الكهربائية ذات الصلة، وهذا كله من شأنه أن يقلل من خسائر عمليات نقل التيار الكهربي والفواقد الانتقالية ذات الصلة.

لقد ولد مشروع جهاز نظام ANT للاستجابة للحاجة المتزايدة لتحسين عملية نقل القدرة الكهربائية بين أي مولد كهربائي وشبكة الأحمال المتصلة به.

الصلة بشكل أكثر دقةً وكفاءة.

المراقبة

يُباع المنتج، بطبيعة الحال، وهو مزودٌ بشبكة استشعار داخلية تتحقق من عمل جميع المكونات الداخلية الفردية، من أجل مراقبة جميع بارامترات تشغيل الجهاز، وبالتالي تكون هذه الشبكة قادرة على الفهم الفوري إذا كانت هناك حالات خلل تشغيلي أو أعطال في شبكة التشغيل الموجودة وإبلاغ خدمة الدعم الفني بالمشكلة التي تمت مواجهتها والحلول الممكنة التي سيتم تطبيقها لحل هذه المشكلة على الفور.

برامج التشغيل

إن المنتج المدار عن بُعد، من وجهة نظر التكوينية، يتكوَّن من خادم شبكة مركزي ومخصص يتواصل مع جميع الأجهزة بطريقة توفر دائمًا فهمًا واضحًا للموقف وبارامترات الضبط والتشغيل لجميع الأجهزة المتصلة. وعلاوة على ذلك، توفر الشركة إمكانية الوصول إلى البرنامج والتحقق من حالة جميع الأجهزة في أي وقت؛ كما أنه من خلال نفس البرنامج، من الممكن تعديل إعدادات ضبط تكوين وتهيئة كل جهاز على حدة وربما فصله عن النظام التشغيلي بالكامل، وكل شيء هنا يتم بسرعة وسهولة. وهناك أيضًا إمكانية توفير برامج مخصصة للمستخدمين الآخرين الذين يقدمون المساعدة والدعم الفني في مختلف المناطق الأخرى، بطريقة تتيح لهم إمكانية إدارة جميع الأجهزة الموجودة في منطقتهم الخاصة محل تخصصهم. وبطبيعة الحال، تتلقى الشركة ومقدمي خدمة الدعم الفني إشعارات حول أي أعطال تحدث في الأجهزة، وربما تذاكر الدعم الفني التي سيتم إدارتها حسب الحالة.

القراءة عن بُعد

إن المنتج التي تتم قراءة بياناته التشغيلية عن بُعد يمكن التحكم فيه بشكل كامل، الشركة، أسفل العداد وعند مدخل خط التوزيع الأساسي للتيار الكهربي.

وبمجرد توصيل هذا الجهاز بدائرة التشغيل الكهربي، يكون قادرًا على حساب المعاوقة الكهربائية التي يراها عداد الكهرباء فيما يتعلق بالدائرة التشغيلية ذات الصلة، ثم يبدأ في العمل على تحسين هذه المعاوقة من أجل تحسين نقل الطاقة بين عداد الكهرباء وشبكة التشغيل الكهربي، مما يقلل بشكل فعال من الطاقة التي تهدرها شبكة التيار الكهربي لعوامل أخرى خارجية ليس لها علاقة بالأحمال الكهربائية التشغيلية الموجودة. كما يعمل الجهاز أيضًا كمحسِّن لجودة الطاقة (Power Quality) المتعلقة بخط الدخل الكهربي. إن جودة الطاقة (Power Quality) هي خاصية كفاءة وفاعلية شبكة الكهرباء في نقل الطاقة إلى المستخدمين والقضاء على هدر الطاقة قدر الإمكان.

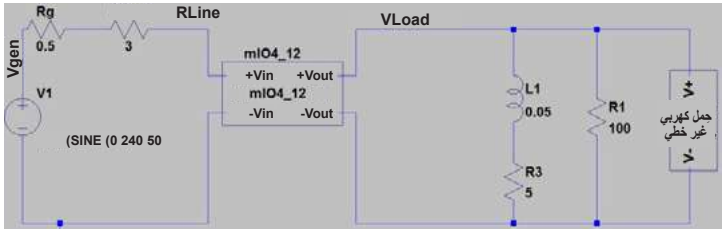
الإدارة عن بُعد

يحتوي الجهاز المُدار عن بُعد على جميع الوظائف الأساسية كما لو كان مُدرًا بشكل محلي موضعي بالإضافة إلى إمكانية إدارة جميع الأجهزة الأخرى المثبتة عن بُعد بشكل كامل. إن إدارة الأجهزة عن بُعد أمرٌ مهم للغاية لأغراض تحسين بارامترات ضبط وتشغيل الجهاز، حيث توجد إمكانية إعادة ضبط وتهيئة تكوين إعدادات كل جهاز على حدة عن بُعد بناءً على حالة التشغيل القياسية لفترة التشغيل. وعلاوة على ذلك، ومن خلال الإدارة عن بُعد يُصبح من المتاح الحصول على صورة كاملة عن حالة تشغيل الأجهزة في أي وقت من مكتبك، وربما عن طريق التدخل وأنت جالس في مكتبك يمكنك ترحيل أي جهاز كهربائيًا عن طريق فصله عن شبكة التيار الموصول بها. كما أنه في حالة حدوث أي خلل في تشغيل الأجهزة، فإنه هناك إمكانية وجود إشعار تنبيهي بنوع هذا الخلل الذي حدث، فربما كُسرت بعض القطع داخليًا، ومن الممكن في هذه الحالة معرفة القطعة التي يجب استبدالها وتجهيزها مسبقًا من خلال خدمة دعم أكثر دقةً وأكثر كفاءةً، بطبيعة الحال مع إمكانية الاتصال بالعميل مباشرة وتنبيهه بوجود خطأ ما ويتم تقديم المساعدة المطلوبة ذات

مع إمكانية توفر جميع البيانات المتعلقة بمعدلات الاستهلاك، وكل ذلك يتم على منصة مراقبة ودعم واحدة، وبسيطة، وعملية. يمكن للشركة الوصول إلى وظائف القراءة عن بُعد، ويمكن أيضًا، وفقًا لتقدير الشركة، إتاحتها لشبكة الدعم الفني، ولكن قبل كل شيء يمكن إتاحتها للمستخدمين الفرديين الذين يمتلكون الأجهزة المعنية ذات الصلة. وبهذه الطريقة يستطيع المستخدمون الوصول بسهولة إلى ملفات تعريف الاستهلاك الخاصة بهم عبر الإنترنت على موقع الشركة وعبر الهاتف الذكي والكمبيوتر اللوحي، من خلال واجهة استخدام واحدة بسيطة وبديهية. والشيء الجديد في هذا الأمر هم أنه بفضل هذا النظام، أصبح من الممكن ليس فقط مراقبة معدلات استهلاك الكهرباء، ولكن أيضًا معدلات استهلاك المياه والغاز؛ وعلاوة على ذلك، أصبح أيضًا من الممكن إدارة بيانات الإنتاج لأي أنظمة مصادر متجددة موجودة في العقار، مثل الأنظمة الكهروضوئية، وشبكات طاقة الرياح المصغرة، وشبكات الطاقة الشمسية الحرارية وغير ذلك الكثير.

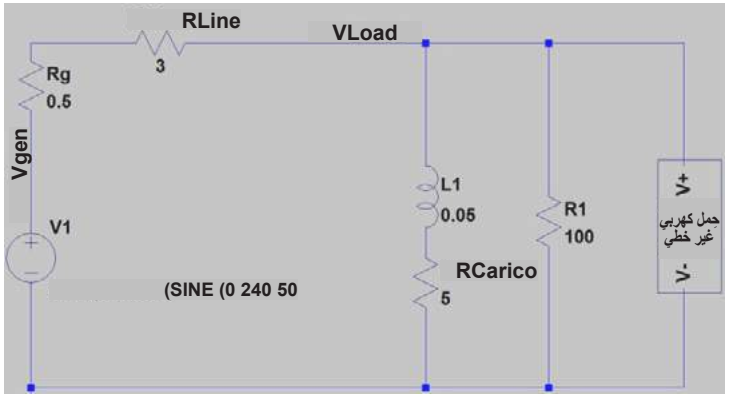
4.2 بيانات المشروع ونماذج المحاكاة

يمكننا في يلي أن ننظر إلى كيفية تفاعل هذا النظام مع شبكة التشغيل الكهربي، ومحاكاة الوضع الحقيقي لشبكة التشغيل بأكملها، حيث توجد ظواهر الجهد الكهربي الزائد الثابت، والإزاحات الطورية، والأحمال غير الخطية، وفي هذه الحالة، كما يتبين من الرسم البياني، فإننا لا نأخذ في اعتبارنا عدم خطية خط التغذية الكهربائية، أي أن الاضطرابات القادمة من الخارج لا تؤخذ بعين الاعتبار في هذه المحاكاة، بل تؤخذ بعين الاعتبار الاضطرابات المتولدة في خط التشغيل الكهربي الداخلي فقط:



القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد: 843 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 756 وات

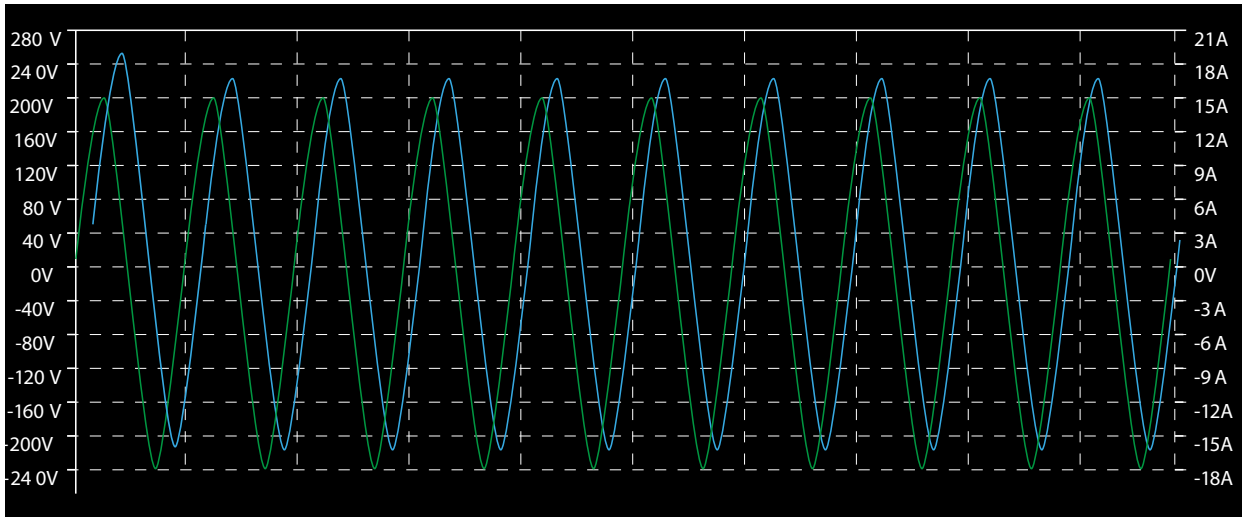


القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد: 1094 وات

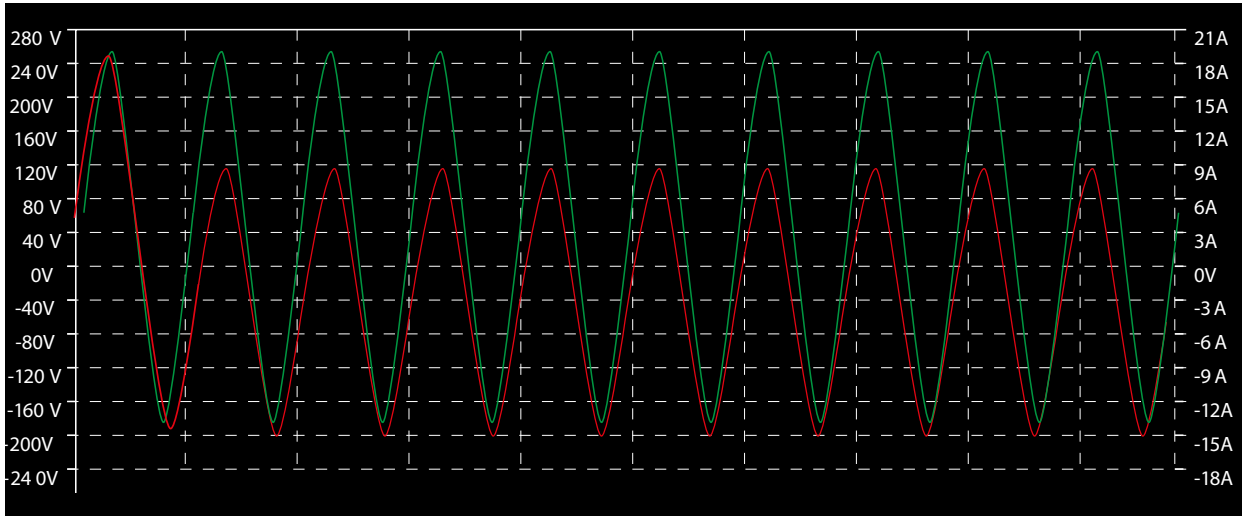
القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 738 وات

أشكال الموجات الناتجة:

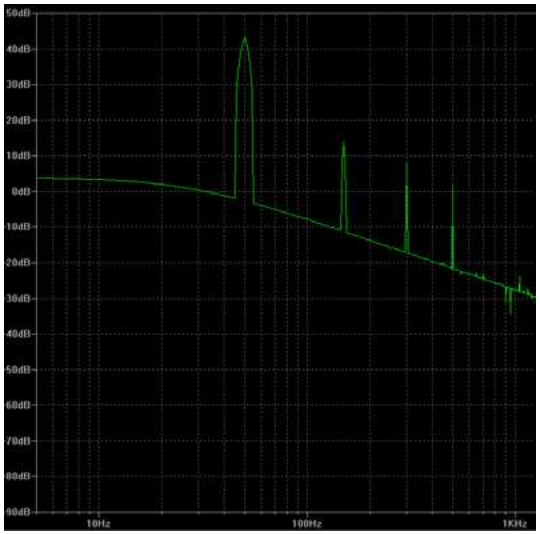
بدون جهاز النظام ANT:



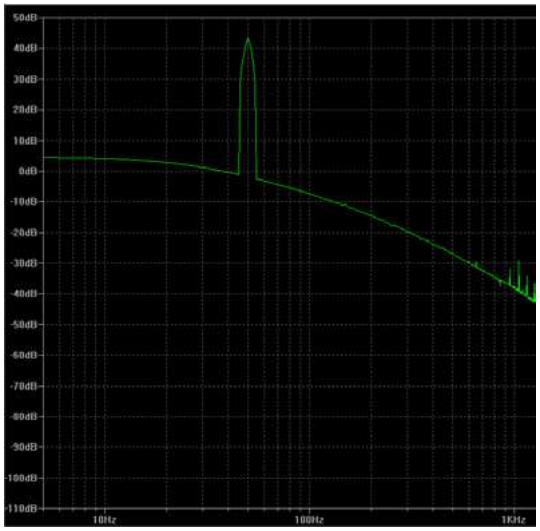
باستخدام نظام الجهاز ANT



تحليل توافقي لجهد التيار الكهربي المغذي للأحمال الكهربائية (VLoad):



إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 3.479955%



إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 3.479955%

تأثيرات إدخال جهاز النظام ANT		
باستخدام نظام الجهاز ANT	بدون جهاز النظام ANT	
240 فولت	240 فولت	جهد تيار التشغيل الكهربي:
5 أمبير	10 أمبير	شدة التيار في شبكة الكهرباء:
0.99	0.64	معامل القدرة الكهربائية:
0.01%	3.5%	إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:
843 وات	1094 وات	القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يولِّدها المولد:
756 وات	738 وات	القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية المبدَّدة على الحِمل الكهربي:

الاعتبارات

- القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يوزعها المولد دون إدخال النظام هي أعلى من نسبة 18%.
- الكفاءة التشغيلية على الحِمل الكهربي هي بنسبة 3% تقريبًا مع تفعيل النظام.
- إجمالي التشوه التوافقي الكهربي لجهد التيار الكهربي على الحِمل الكهربي قليل ولا يكاد يذكر ويمكن تجاهله عند إدخال الجهاز، وإلّا فإنه سيكون حوالي 3.5%. وهكذا تم تحسين الحِمل الكهربي على النظام (50 هرتز) بنسبة تزيد عن 3%.
- يزداد معامل القدرة الكهربائية للدائرة الكهربائية التشغيلية بشكل كبير ويقترب من الحد الأقصى للكفاءة المسموح بها.
- شدة التيار المتدفق تكون بنسبة 50% تقريبًا أكثر بعد إدخال النظام، وبالتالي تكون تشتتات التيار من الكابل أقل بشكل واضح.

« إنها تُكتب ESE،
ويمكن قراءتها "
EASY"، وسهلة
كيفية توفير الطاقة.

» **اكتشف**
عالم ESE
وجميع الإمكانيات المتاحة
لتحسين أعمالك ومشروعاتك!

الشركاء التجاريون

ESE
EFFICIENCY
SAVING
ENVIRONMENT

Innova ICT

عنوان البريد الإلكتروني: e.innovaict@gmail.com
الموقع الإلكتروني: www.innovaict.net

رقم الهاتف: رقم الفاكس: 39+ 0884.090204
رقم الهاتف المحمول: 340 39+ 1238107

Innova ICT s.r.l.
Via Val di Non, 88
00144 روما
ضريبة القيمة المضافة (:P.IVA)
01592450629

استخدم كود الاستجابة السريعة عبر مسحه ضوئيًا (QR-code)
وتعرَّف على ESE.ENERGY
تابعنا على

ESE®
EFFICIENCY
SAVING
ENVIRONMENT

ant
EFFICIENCY
SAVING
ENVIRONMENT

إنترنت الأشياء (IoT) الصناعة 4.0 جاهزة

صُنع في إيطاليا

تقرير تقني

CLESI®
PREFABBRICATI

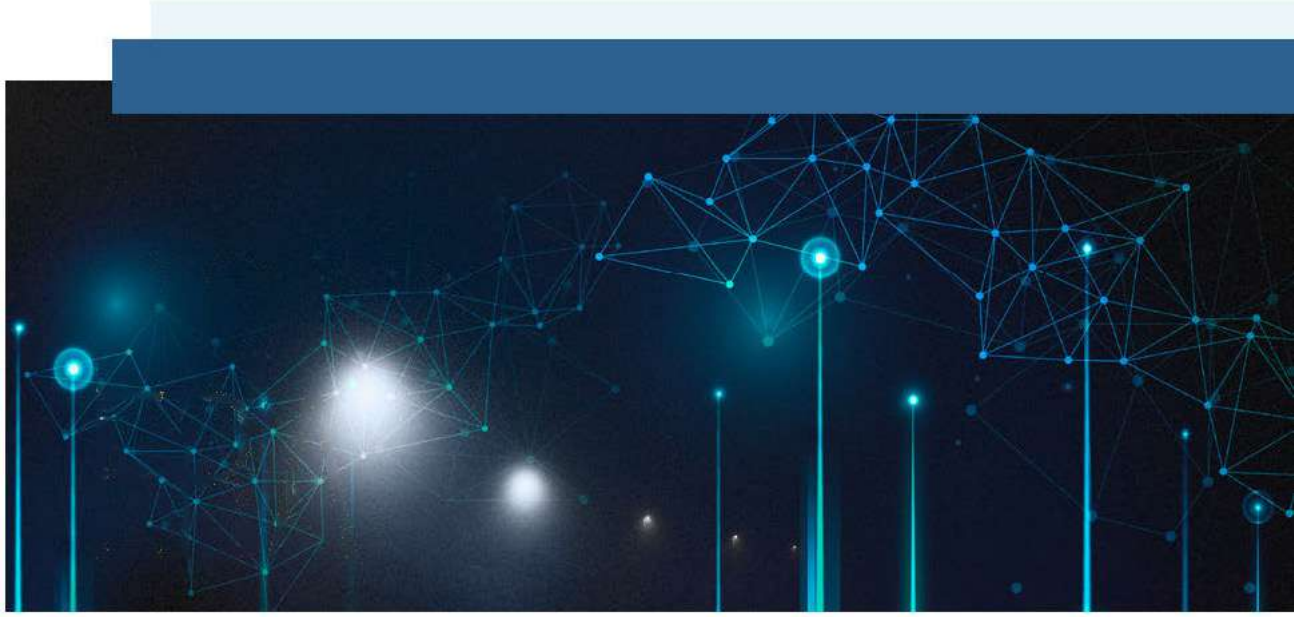
تقسيم تحسين كفاءة وجودة الطاقة

ESE®
EFFICIENCY
SAVING
ENVIRONMENT

» المحتويات/

1. الوضع الحالي لعمليات التوريد 4
1.1 الانتقال إلى العصر الرقمي 4
1.2 التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء 5
1.3 الجهد الكهربي الزائد أو الجهد الكهربي المنخفض 6
1.4 التشوه التوافقي 7
1.5 موازنة الأطوار الكهربائية 9
1.6 الإزاحة الطورية 10
2. استجابة الأحمال الكهربائية 11
2.1 تمهيد 11
2.2 الجهد الكهربي الزائد الثابت على الحِمل الأومي 12
2.3 الإزاحة الطورية 14
2.4 التشوه التوافقي 16
3. التقنيات الموجودة 18
4. جهاز النظام ANT 21

على قضايا الطاقة وإدارة كفاءة الطاقة؛ ولكننا نلاحظ في الوقت الحالي أن التطور الهائل والمتزايد في مجال التقنيات الرقمية بدأ يخلق وجودًا متزايدًا للأحمال الكهربائية غير الخطية التي أصبحت ذات ارتباط وثيق ومباشرة بشبكات الكهرباء المنتشرة في جميع جوانب حياتنا وأنِشطتنا اليومية.



1. الوضع الحالي لعمليات التوريد

لقد شهدنا ظاهرتين مهمتين للغاية في مجال توزيع الكهرباء واستخداماتها على المستوى العالمي خلال السنوات القليلة الماضية:

- الانتقال إلى العصر الرقمي
- التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء

إن هاتين الظاهرتين لهما تأثيرٌ كبيرٌ على توزيع الكهرباء وإدارتها بشكل صحيح.

فلنتناول هاتين الظاهرتين بالتحليل التفصيلي في السطور التالية.

1.1 الانتقال إلى العصر الرقمي

لقد بدأت منذ ما يزيد قليلاً عن عقد من الزمان ثورةٌ حقيقيةٌ في كافة المجالات يرجع السبب فيها إلى الاستخدام المتزايد للتقنيات الرقمية من أجل تحسين أداء الأنظمة المستخدمة لتأدية أهم الوظائف التكنولوجية في حياتنا وأنشطتنا. فالآن تُستخدم أجهزة الكمبيوتر بشكل مكثف في جميع الهيئات والمؤسسات وفي كافة المجالات، بدءًا من المنازل وحتى المؤسسات والعمليات الصناعية الأكثر تعقيدًا. كما يتم التحكم في جميع الآلات والمعدات الشائعة الاستخدام وإدارتها الآن بواسطة أنظمة كمبيوتر رقمية بالكامل. ولم يقتصر هذا الانتشار على ذلك فحسب، بل بدأت تظهر في حياتنا أدوات حاسوبية لم يكن من الممكن تصورها حتى سنوات قليلة مضت (مثل الأجهزة اللوحية، والهواتف الذكية، وما إلى ذلك). وحتى الاستخدامات الأساسية في حياتنا اليومية، مثل الإضاءة، بدأت تتجه بشكل متزايد نحو الاعتماد على التقنيات الرقمية، خاصة بفضل ظهور مصابيح الإضاءة الثنائية LED. سنتناول فيما بعد نتائج وعواقب هذه الظاهرة

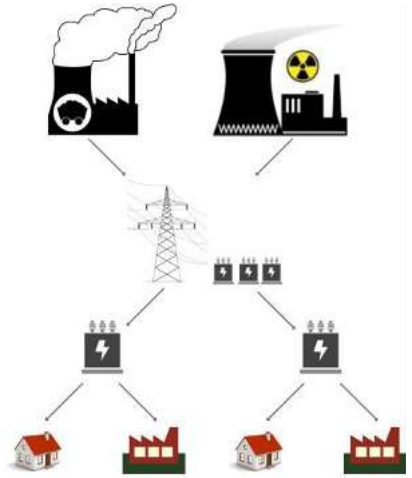
1.2 التوليد الموزع للكهرباء

لقد طرأ تغيرٌ كبيرٌ وعميقٌ على مفهوم توليد الكهرباء في السنوات الأخيرة في جميع أنحاء العالم، وخاصة في أوروبا، فحتى عقدين سابقين من الزمن، كان توليد الكهرباء مركزيًا إلى حد كبير، وذلك بفضل استغلال الطاقة الذرية، الأمر الذي أتاح إمكانية إنشاء محطات توليد طاقة كبيرة لخدمة قاعدة مستخدمين تزداد دائمًا سواء من ناحية الحجم والعدد أو من ناحية معدلات الاستهلاك.

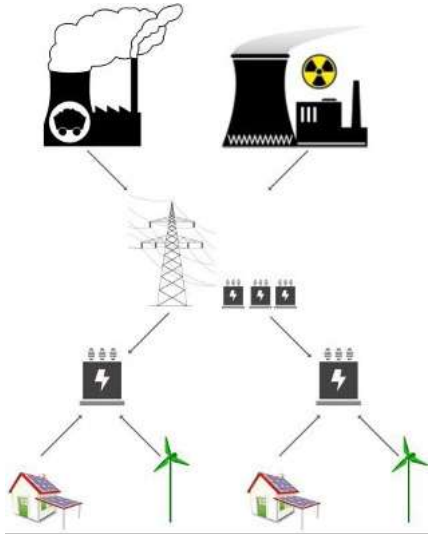
ولكن في السنوات الأخيرة، حدثت أيضًا ثورة ملحوظة في إنتاج الكهرباء، تمثلت في بدء استخدام الخلايا الكهروضوئية التي شقت طريقها بشكل متزايد إلى حياتنا، وذلك بفضل سياسات الحوافز التشجيعية القوية التي تقدمها الجهات المعنية في هذا الصدد، وأيضًا بفضل توفير تقنيات أخرى ذات صلة بهذا القطاع مثل تقنيات طاقة الرياح،

والطاقة الكهرومائية، والتوليد المشترك للطاقة، وغيرها، وهذا جعلنا نعيش مؤخرًا تطورًا أكبر من أي وقت مضى في قطاع الطاقة الكهربائية.

نحن لا نتناول هذا الموضوع بالنقاش هنا لنبين كيفية تأثير هذه الظاهرة الانتقالية في عملية توليد الكهرباء على طُرق نقل الطاقة إلى المستخدمين النهائيين، ولكن قد يكون من المثير للاهتمام هنا بالتأكيد أن تحاول في المقام الأول تحديد وتقييم الاختلافات الرئيسية لهذه التقنيات الجديدة في توليد الطاقة مقارنةً بالطُرق التقليدية الأخرى ذات الصلة. ومن أجل تبسيط هذه المناقشة، دعونا نبدأ فيما يلي بتلخيص وضع شبكة نقل الكهرباء في الحالتين التقليدية والعصرية من أجل إجراء تقييم نوعي لتأثير هذا التعديل على المستخدم النهائي:



الشكل التوضيحي 1: شبكة نقل كهرباء بنظام التوليد المركزي للطاقة الكهربائية



الشكل التوضيحي 2: شبكة نقل كهرباء بنظام التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء

الحقيقية المرتبطة بهذا النوع من الاضطراب تتمثل في إمكانية تسببه في إتلاف الأجهزة المتصلة بشبكة الكهرباء التي تحدث فيها تلك الظاهرة. بينما في الحالة الثانية، أي عندما تكون هذه الظاهرة ثابتةً، فإنه يمكن اعتبار الاضطراب في جهد التيار الكهربي ثابتًا عندما يكون أعلى باستمرار من مستوى الجهد الاسمي والذي يبلغ في إيطاليا 230 فولت للأنظمة أحادية الطور الكهربي ذات الجهد المنخفض و400 فولت للأنظمة ثلاثية الأطوار الكهربائية ذات الجهد المنخفض. وحتى في هذه الحالة، يمكن أن يتسبب الاضطراب في جهد التيار الكهربي، على المدى الطويل، في تلف الأجهزة المتصلة بشبكة الكهرباء ذات الصلة، حتى لو كان يجب كهربائيًا ربط هذه الظاهرة بتصميم الأجهزة نفسها، والتي يجب أن نسبة التفاوت المسموح بها في جهد الدخل الكهربي +- 10 %، لكن المشكلة الحقيقية ترتبط في كثير من الحالات بكفاءة الطاقة الناتجة عن هذا الاضطراب. وبالنسبة لغالبية الأحمال الخطية المتصلة بالشبكات الكهربائية في هذه الحالة على وجه الخصوص، فإن الزيادة في جهد التيار الكهربي تؤدي إلى انخفاض العُمر الافتراضي والإنتاجي للأجهزة والآلات ذات الصلة، وكما تسبب زيادة استهلاك الطاقة دون خلق تحسينات ملحوظة في أداء هذه الأجهزة والآلات.

كما يمكننا أن نرى من الشكلين التوضيحيين السابقين، فإن الاختلاف الأكثر أهمية بينهما والذي يمكننا اكتشافه هو الاختلاف الهيكلي في طوبولوجيا الشبكة الكهربائية. وتحديدًا، في حالة التوليد الموزع اللامركزي للكهرباء، تمر القدرة الكهربائية المتدفقة في الشبكة دائمًا عبر أنظمة التوزيع المركزية قبل الوصول إلى المستخدمين النهائيين، ولكن ليس هذا هو الحال دائمًا في حالة التوليد الموزع اللامركزي، فمن الناحية العملية، يمكن أن يحدث توصيل للطاقة الكهربائية مباشرةً من المولد إلى المستخدم دون المرور عبر أنظمة التوزيع المركزية

وهذه الظاهرة لها تأثير كبير على جودة القدرة الكهربائية التي توفرها المولدات، حيث إنه نظرًا لعدم وجود معابر تمرير وسيطة تتمثل في معدات توزيع الطاقة الكهربائية، فالقدرة الكهربائية التي توفرها المولدات الموزعة لا مركزيًا تكون أقل كفاءةً من تلك التي توفرها المولدات المركزية. ففي السنوات الأخيرة، وتحديدًا في مجال الكهرباء والقطاع الكهروتقني، نسمع أكثر فأكثر عن مصطلح جودة الطاقة (Power Quality)، في إشارةٍ إلى جودة الطاقة المنقولة من خطوط الكهرباء إلى المستخدمين.

1.3 الجهد الكهربي الزائد أو الجهد الكهربي المنخفض

الجهد الكهربي الزائد أو الفولطية المفرطة هو ظاهرة كهربائية تحدث عندما تقوم شبكة كهرباء بنقل جهد تيار كهربي أكبر من الجهد الاسمي. ويمكن أن تكون هذه الظاهرة مؤقتةً أو ثابتةً. ففي الحالة الأولى، أي عندما تكون هذه الظاهرة مؤقتةً عابرةً، يحدث انحراف الجهد الكهربي عن القيمة الاسمية لبضع لحظات أو بضع دورات كهربائية، بسعة فولتات قليلة ويمكن أن تصل أيضًا إلى سعات بمئات الفولتات، وغالبًا ما يكون سببها تبديل الأحمال الحثية، والمحولات تحت التحميل، وما إلى ذلك؛ ومن الطبيعي أن هذا النوع من الاضطراب يمكن أن يؤدي أيضًا إلى عدم كفاءة الطاقة، ولكن المشكلة

1.4 التشوه التوافقي

إن عملية نقل الطاقة الكهربائية ينبغي أن تتم على خطوط الشبكة الكهربائية من خلال موجة جيبية بتردد تيار 50 هرتز (في إيطاليا) وبجهد تيار كهربي اسمي 230 فولت، وعلاوة على ذلك، فإن هذه الموجة الجيبية التي تغلق على معاوقة كهربائية خطية، ينبغي أن تولِّد في شبكة التيار الكهربي دوران شدة تيار كهربي هو أيضًا من النوعية الجيبية بتردد 50 هرتز، مع مستوى اتساع موجي يعتمد على الجزء الأومي من المعاوقة الكهربائية الموجودة ذات الصلة، وينبغي أن تولِّد أيضًا على الأكثر عملية إزاحة طورية لموجة جهد التيار الكهربي تعتمد على الجزء التخيلي من هذه المعاوقة الكهربائية نفسها.

لقد استخدمنا هنا فعل "ينبغي" فيما يتعلق بمدخل الجهد الكهربي وتوليد التيار الكهربي الخطي، لأنه في الحالة الأولى، ليس من المؤكد أن تكون موجة الجهد جيبيةً تمامًا عند المدخل الكهربي، ولكن حتى لو كانت كذلك، فليس من المؤكد أيضًا أن تكون موجة التيار الناتجة هي موجة جيبية تمامًا. فمن وجهة النظر الرياضية، فإن الموجة الجيبية المعنية هي موجة دورية في جميع الأحوال، وبالتالي يمكن تطويرها في متسلسلة فورييه (Fourier) الرياضية، وتمثيلها في شكل دالة رياضية كمجموع لا نهائي من المكونات الجيبية ذات مستويات تردد، واتساع موجي، وطور مختلفة عن بعضها البعض. ومن الناحية التقنية، يتم تعريف المكونات الفردية لتطوير متسلسلة فورييه (Fourier) الرياضية على أنها توافقيات طورية، ولا سيما عندما يكون الشكل الجيبي عند التردد الأساسي هو أيضًا توافقيًا.

إننا عندما ننظر في هذا الصدد إلى أي دائرة كهربائية تعمل بموجة جيبية نقية ومغلقة فقط على نوعية الأحمال الخطية الموجودة، كما ذكرنا للتو، فإننا نكتشف أن موجة التيار الناتجة سيكون لها مكوّن واحد عند تردد مصدر الطاقة ولن يكون لها أي مكوّن توافقي بتردد مختلف عن الموجة الأساسية، بينما في الحالة التي يكون فيها أحد الأحمال الكهربائية على الأقل غير خطي، فقد توجد توافقيات تيار كهربي بتردد مختلف عن الموجة الأساسية، مع عدم النظر هنا إلى ظاهرة التوافقيات البينية في الوقت الحالي؛ كما أن الأحمال الكهربائية ذات مكونات التيار الناتجة عن الموجات التوافقية الموجودة تكون عادة هي تلك الأحمال الموجودة على الترددات المتعددة للأساس الموجي للتيار الموجود، وبالتالي يمكن ترتيب التوافقيات المنتَجة عدديًا من خلال مضاعف التردد المعني بحيث يصبح التوافقي الثاني، على سبيل المثال، توافقيًا عند ضعف تردد التيار الأساسي ذي الصلة. ويُضاف إلى ذلك أنه بالنسبة لغالبية الأحمال غير الخطية المتصلة بالشبكات (مثل منظمات تبديل إمدادات الطاقة الكهربائية)، فإن التوافقيات ذات الاتساع الموجي الأكبر تكون هي تلك التوافقيات ذات الترتيب الفردي، الثالث، والخامس، والسابع، وما إلى ذلك؛ وعلاوة على ذلك، فإنه في الحالات اللحظية، عادةً ما يكون للتوافقيات مساهمةٌ ذات اتساع موجي أكبر في الأعداد الترتيبية السفلية وبالتالي تصبح في هذه الحالة توافقيات أنظمة كهربائية متناقصة، أي بشكل عام، يكون للتوافقي الثالث اتساعٌ موجيٌ أكبر من الخامس، والخامس يكون أكبر من السابع، وهكذا. وحتى في هذه الحالة بطبيعة الحال، يجب تحليل المواقف الفردية للتيار الموجود حيث إن الأحمال غير الخطية المختلفة المتصلة بشبكة التيار الكهربي المعنية يمكن أن تولِّد مساهمةً توافقيةً مختلفةً فيما بينها، وبالتالي يمكن أن يكون مجموع هذه المساهمات مختلفًا.

الكهربائية ناتجة عن زيادة معدل تبديد الطاقة وتشتيتها على المعاوقة الكهربائية للخط والمقاومة الداخلية للمولد.

وبشكل عام، فإن الحمل الخطي يكون له نطاق ترددات تمريرية لا نهائي تقريبًا، فعلى سبيل المثال، يقوم المصباح المتوهج بتحويل كل القدرة الكهربائية المارة فيه إلى طاقة حرارية في نطاق ترددات لا نهائي من الناحية العملية، مما يعني أنه عندما نقوم على سبيل المثال بتوصيل المصباح الكهربائي بتيار كهبي جهده 5 فولت وتردده 400 هرتز فإننا نقوم بتسخين السلك الموجودة فيه، وسيتم بذلك توليد الحرارة المتوهجة من خلال قانون جول.

المشكلة هنا تكمن في أن تحول الطاقة الكهربائية إلى حرارة لا يولد انبعاثات ضوئية في النطاق المرئي، أو بالأحرى سيولد كمية ضئيلة من الانبعاثات الضوئية في النطاق المرئي وربما انبعاثات أخرى في النطاقات الضوئية غير المرئية بالعين المجردة، مثل، على سبيل المثال، الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة تحت الحمراء، وذلك لأن سلك المصباح مصمم للعمل بتردد التيار الكهربائي المغذي له.

وهذا له 3 آثار مهمة للغاية تنتج عنه:

- التشغيل خارج بارامترات الضبط والتشغيل الاسمية ويمكن أن يؤدي بدوره إلى تلف وتعطل الجهاز قبل العُمر الافتراضي المقدر له.
- احتواء الطاقة الضوئية المتوفرة على مكون غير مرغوب فيه في هذه الحالة وهو الحرارة، لذلك يمكن القول أن الطاقة الزائدة لا تُستخدم لتنفيذ العمل الذي تم تصميم الجهاز من أجله وهو الإضاءة، ولكنها تمثل مصدر إزعاج فقط في الأساس يتمثل في الحرارة غير المطلوبة.
- انبعاث الإشعاع خارج الضوء المرئي قد يكون ضارًا بجسم الإنسان المتعرّض له.

وإذا ما رجعنا إلى موجة التيار الكهربي المتولدة فإننا يمكن تعريفه التشوه التوافقي الكلي كما يلي:

$$THD_i = \frac{I_t - I_f}{I_f} = \frac{\sum_2^\infty I_n - I_f}{I_f}$$

حيث إن:

It هي إجمالي شدة التيار

If هي شدة التيار عند التردد الكهربي الأساسي

وينطبق الشيء نفسه على موجة جهد التيار الكهربي:

$$THD_v = \frac{V_t - V_f}{V_f} = \frac{\sum_2^\infty V_n - V_f}{V_f}$$

ويمكننا أن نطبّق الأمر بشكل أعم بالنسبة للقدرة الكهربائية المنقولة:

$$THD_p = \frac{P_t - P_f}{P_f}$$

يوفر لنا هذا المؤشر معلومات هامة، كما يشير الاسم نفسه إلى التشوه الإجمالي الموجود في أشكال الموجة. وبطبيعة الحال، كلما زادت القيمة عن 0، كلما انحرف شكل الموجة عن الحالة المثالية. إن وجود التشوهات التوافقية في التيار الكهربي في حد ذاته يخلق أيضًا مشاكل في شبكات التيار تتعلق بالطاقة نفسها. وفي الواقع يمكن إثبات أن التشوه التوافقي للتيار يكون أيضًا تأثيرات على شكل موجة جهد التيار الكهربي الذي يغذي الأحمال التشغيلية الكهربائية، وبالتالي فإن هذه الظاهرة يكون لها عواقب كهربائية، حتى على الأحمال الخطية المتصلة بشبكات التيار الكهربي، فضلاً عن توليد خسائر أخرى في القدرة

1.5 موازنة الأطوار الكهربائية

هناك عامل آخر سلبي في جودة توفير الطاقة الكهربائية التشغيلية في حالة الأنظمة ثلاثية الأطوار الكهربائية وهو عدم التوازن الكهربي بين هذه الأطوار الكهربائية الموجودة، أي يوجد اختلاف بين أشكال الموجات الكهربائية في الأطوار الكهربائية التشغيلية الموجودة وهذه الاختلافات يُمكن أن تُعزى بشكل عام إلى عدم انتظام الجهد الكهربي عند مستوى التردد الأساسي والتوافقي. تحدث مثل هذه الاضطرابات عادةً عند استخدام أحمال أحادية الطور الكهربي وثلاثية الأطوار التشغيلية مختلطة على نفس الخط. وأيضًا في هذه الحالة، يكون لهذه الظاهرة عواقب سلبية على الطاقة الكهربائية الموزَّعة على الأحمال ثلاثية الأطوار المتصلة، وعواقب سلبية أيضًا من حيث الكفاءة التشغيلية والعُمر التشغيلي الافتراضي للأجهزة والآلات. ومن منطلق معلوماتنا في هذا المجال فإننا نتعلم أن معظم أوجه القصور ذات الصلة بهذه الظاهرة تظهر في المحركات ثلاثية الأطوار الكهربائية المتصلة بشبكة التيار التي يظهر فيها هذا القصور.

وإذا ما أخذنا في الاعتبار أنواعًا أخرى من الأحمال مثل المحركات الكهربائية أو المضخات أو غيرها، فقد تكون عواقب ذلك أسوأ مما ذكرنا للتو.

ويمكننا القون هنا بأن النتيجة العامة لهذه الظواهر تكمن في أن هذه التشوهات التوافقية تنقل الطاقة إلى الأحمال التي تستخدمها جزئيًا فقط لتنفيذ العمل الذي صُمِّمت من أجله، حيث يُستخدم جزء لتوليد شيء غير مطلوب في هذه الحالة بل يزيد أيضًا من إمكانية كسر الأحمال نفسها وتعرِّضها للتلف قبل عُمرها التشغيلي. ولذلك، فإنه بالإضافة إلى الأضرار الاقتصادية الناتجة عن زيادة استخدام الطاقة في أغراض غير مطلوبة، فإن ذلك يسبب الأضرار أيضًا التي تتمثل في تقصير العُمر الافتراضي والإنتاجي للأجهزة والأحمال الكهربائية نفسها.

وفي هذه الحالة هناك عاملان مهمان في توازن الطاقة والاقتصاد في معدلات الاستهلاك الخاصة بشبكة التيار الكهربي المستخدمة:

- يؤدي استخدام الطاقة التفاعلية في بعض الحالات إلى زيادة التكلفة في فاتورة الاستهلاك الكهربي المفروضة على المستخدم.
- يولد التيار التفاعلي الدائر تبديدًا نشطًا للطاقة على خط التيار الكهربي.

وهذا ليس كل في الأمر فحسب، بل من الممكن ببساطة إثبات أن هذا العامل له أيضًا عواقب على جهد إمداد الأحمال، حيث أن انخفاض الجهد على الخط يولد جهدًا أقل على الحمل نفسه لنفس الطاقة الإجمالية المستخدمة، بمعنى آخر يصبح نقل الطاقة غير فعال للغاية من حيث المنفعة التشغيلية المرجوة.
ففي كثير من الأحيان، عندما نشير إلى شبكات الكهرباء فإننا نتحدث عادة عن عامل القدرة الكهربائية الذي يشير إلى العلاقة النسبية الموجودة بين إجمالي الطاقة المنقولة (الطاقة الظاهرة) والقدرة التشغيلية النشطة، وعادة ما يتم الخلط بين هذا العامل وما يسمى بتكاليف التشغيل الكهربي. وهذه العبارة الاستنتاجية الأخيرة غالبًا ما تكون على وجه الخصوص صحيحة فقط إذا تم أخذ الأحمال الخطية فقط في الاعتبار، وبالتالي يمكننا القول بأنه بالنسبة لشبكة الأحمال الخطية، تتوافق التكاليف مع عامل الطاقة. وبشكل عام في هذا الصدد، فإن عامل القدرة يأخذ أيضًا في الاعتبار التشوه التوافقي الكلي للطاقة الكهربائية.

1.6 الإزاحة الطورية

الإزاحة الطورية بين الشكل الموجي لجهد التيار الكهربي والشكل الموجي لشدة التيار الكهربي هي أيضًا نوع من أنواع الاضطرابات الهامة التي تحدث للأحمال الكهربائية الموصولة بشبكة التيار الكهربي. إن الإزاحة الطورية بين جهد التيار الكهربي وشدة التيار الكهربي بشكل عام، لا تسبب في حد ذاتها مشاكل طاقة على الأحمال الكهربائية، أو على الأقل لا تولِّد مشاكل من حيث الطاقة النشطة التي تمتصها الأحمال الكهربائية، ومن الطبيعي أن يكون وجود الإزاحة الطورية سببًا في عدم كفاءة الطاقة الكهربائية وزيادة استخدام القدرة الكهربائية في مرحلة نقل القدرة الكهربائية. وبشكل عام، فإنه حتى الحمل الكهربي الخطي، الذي لا يكون حِملًا أوميًا تمامًا، يولِّد فرقًا طوريًا بين جهد التيار الكهربي وشدة التيار الكهربي، سواء أكان متقدمًا أو متأخرًا، اعتمادًا على ما إذا أكان الحِمل المعني أوميًا سعويًا أو أوميًا حثيًا. وهذا يولِّد نقل ما يسمى بقدرة المفاعلة الكهربائية، وهي على وجه الخصوص تلك القدرة التفاعلية الكهربائية التي لا تستخدمها الأحمال الكهربائية لتنفيذ العمل المطلوب منها تحديدًا ولكنها تُستخدم ببساطة لدعم المجال المغناطيسي. وتكمُن المشكلة هنا في أن قدرة المفاعلة الكهربائية تنتقل من خلال تيار حثي وهذا يزيد الحِمل على الكابلات الكهربائية المتصلة بشبكة التيار الكهربي، وعلاوة على ذلك، فإن زيادة دوران التيار الكهربي في الدائرة الكهربائية يولِّد في حد ذاته خسائر في القدرة الكهربائية أكبر في مستويات المعاوقة الكهربائية التسلسلية للدائرة نفسها، ولا سيما على المعاوقة الكهربائية الداخلية للمولد وعلى المعاوقة الكهربائية الخطية، وبالتالي يسبب خسائر أومية (وبالتالي القدرة الكهربائية الفاعلة) على النظام نفسه.

أن قيمة المقاومة الكهربائية المضبوطة على 3 أوم تتوافق تقريبًا مع ما يعادل تقريبًا 350 مترًا من الكابل بمتوسط مقطع قُطري 2 ملم مربع.

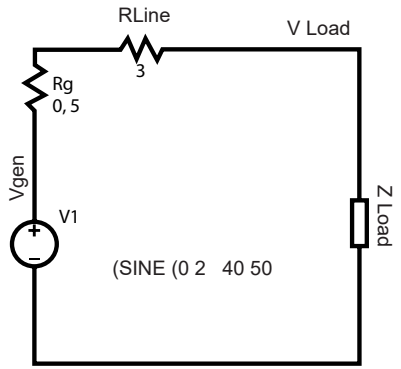
- Z Load هو المعاوقة الكهربائية للحِمل الكهربي، ويتم تمثيلها تخطيطيًا على أنها المعاوقة الكهربائية المكافِئة التي يراها المولد. ويمكن تقسيم الدائرة الكهربائية قيد الفحص إلى قسمين، قسم متعلق بمصدر الطاقة الكهربائية، وقسم آخر متعلق بالأحمال الكهربائية.

ومن أجل تقييم مقدار توازن الطاقة الكهربائية للدائرة الكهربائية نفسها، فإننا سنضع في اعتبارنا سلسلة من العوامل التي ستكون مفيدة من وقت لآخر في تقييمنا هذا، ولكننا سنركز بشكل عام على القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يوفرها المولد، والقدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يمتصها الحِمل الكهربي، بطريقة تمكِّننا من تقييم كفاءة نقل القدرة الكهربائية في المواقف المختلفة.

2. استجابة الأحمال الكهربائية

2.1 تمهيد

سوف نستخدم في هذا القسم بعض نماذج المحاكاة من أجل تحليل طريقة عمل ومدى استجابة الأحمال الكهربائية عند وجود الاضطرابات الكهربائية المذكورة أعلاه. عونا نبسِّط هذا الأمر قليلًا عبر استخدام دائرة تيار كهربائية من النوع المنزلي، بقدرة كهربائية تعاقدية تبلغ 3 كيلو وات، والتي يمكن تمثيلها خطيًا على النحو التالي: سوف نستخدم نموذجًا ذا بارامترات كهربائية مركَّزة لعمليات المحاكاة.

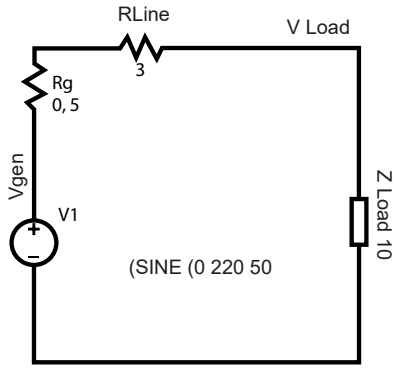


وتحديدًا:

- Rg هي المقاومة "الداخلية" للمولد
- RLine هي مقاومة خط شبكة التيار الكهربي والتي ترجع أساسًا إلى وجود الكابلات الكهربائية لتوزيع القدرة الكهربائية. ومن أجل مزيد من التبسيط لهذه المحاكاة التمثيلية، سيتم أيضًا إهمال التأثيرات السعوية والحثية للمعاوقة الكهربائية نفسها؛ كما سيتم أيضًا اعتبار

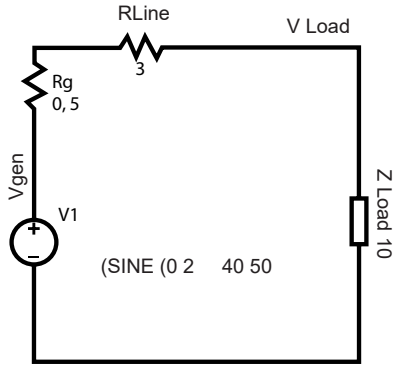
2.2 الجهد الكهربي الزائد الثابت على الحِمل الأومي

فلنعتبر كمثال أول هنا أنه يوجد حِمل أومي بحت، ولنقوم بتحليل تأثُّر مصدر الطاقة الكهربائية بجهد تيار كهربي أعلى من جهد التيار الكهربي المثالي على نظام التشغيل، وسنفترض أن جهد التيار الكهربي المثالي هو 220 فولت:



القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يولّدها المولد: 1785 وات

القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 1322 وات



القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يولّدها المولد: 2124 وات

القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 1573 وات

تلخيصًا:

الحِمل الأومي - تأثيرات التغيرات الثابتة في جهد التيار الكهربي		
	جهد التيار المثالي لشبكة الكهرباء	جهد التيار الكهربي العالي
جهد تيار التشغيل الكهربي:	220 فولت	240 فولت
شدة التيار في شبكة الكهرباء:	16.28 أمبير	17.73 أمبير
معامل القدرة الكهربائية:	1 ≈	1 ≈
إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:	0%	0%
المعاوقة الكهربائية الأومية للحِمل الكهربي:	10 أوم	10 أوم
القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد:	1785 وات	2124 وات
القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي:	1322 وات	1573 وات

أكثر تبديدًا على خط التيار الكهربي، مما يعني المزيد من الطاقة المحسوبة على العداد والتي يُدفع مقابلها ماديًا، بالإضافة إلى زيادة درجة الحرارة والسخونة، وعدم كفاءة الكابلات الكهربائية.

الاعتبارات

الاعتبار الأول الذي يجب مراعاته هنا هو الحالة المعنية التي تكون القدرة الكهربائية الإجمالية التي يستخدمها المولد أقل بنسبة 16% تقريبًا في حالة التغذية الكهربائية المثالية. وبطبيعة الحال هنا، ونظرًا لخطية الدائرة الكهربائية الموجودة، فإن القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي تكون أيضًا أقل بنسبة 16%، ولكن هذا لا يُترجم دائمًا إلى زيادة في كفاءة الحِمل الكهربي المعني هنا، وذلك وفقًا لما قمنا بتقييمه في حالتنا هذه لتأثيرات فولتية الجهد الكهربي العالي على الأحمال الكهربائية، فعلى سبيل المثال، إذا ما تم تمثيل الحِمل الكهربي بواحد أو أكثر من المصابيح المتوهجة المتصلة على التوازي، فإنه بالتأكيد عن طريق تغذيتها بجهد تيار أكبر عند التردد الأساسي، ستكون هناك طاقة مضيئة أكبر في النطاق المرئي، ولكن سيكون هناك طاقة أكبر أيضًا في نطاقات الانبعاث الأخرى للجهاز، وبالتالي لن تزداد طاقة الضوء الإجمالية في النطاق المرئي بنسبة 16% بل بنسبة أقل. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الخروج عن نطاق جهد التيار الكهربي المثالي للجهاز المعني يعني تقصير عُمره الافتراضي بأكثر من نسبة 16%، وقد أظهرت بعض الدراسات التي أجرتها شركة Omran، في حالة المصابيح المتوهجة، أن التغذية الكهربائية لمصباح 240 فولت يقلل من عمره الإنتاجي بنسبة 55% مقارنة بالتغذية الكهربائية له عند جهد التشغيل الكهربي الاسمي.

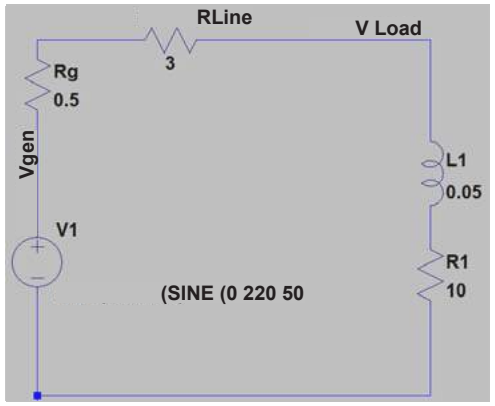
هناك أيضًا عامل آخر يجب أخذه في الاعتبار في حالتنا هذه وهو خسارة الطاقة الأومية عبر شبكة التيار الكهربي، ففي حالة التغذية الكهربائية التشغيلية المثالية تكون لدينا خسارة في القدرة الكهربائية (1785 – 1322) وات = 463 وات، بينما في حالة التغذية الكهربائية بجهد تيار أعلى لدينا خسارة في القدرة الكهربائية (2124 – 1173) وات = 551 وات، وفي هذه الحالة أيضًا، من وجهة نظر نسبية محضة، تكون نسبة الخسارة هي نفسها، ولكن من حيث القيمة المطلقة، تكون الخسارة في القدرة الكهربائية أكبر في حالة التغذية الكهربائية بجهد تيار كهربي أعلى، فلدينا هنا لدينا ما يقرب من 100 وات

2.3 الإزاحة الطورية

تلخيصًا:

الحِمل الأومي - تأثيرات التغيرات الثابتة في جهد التيار الكهربي		
الحِمل الكهربي المكافئ الأومي الحثي	الحِمل الكهربي الأومي المكافئ	
220 فولت	220 فولت	جهد تيار التشغيل الكهربي:
8.03 أمبير	5.73 أمبير	شدة التيار في شبكة الكهرباء:
0.66	0.99	معامل القدرة الكهربائية:
0%	0%	إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:
632 وات	758 وات	القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد:
573 وات	561 وات	القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي:

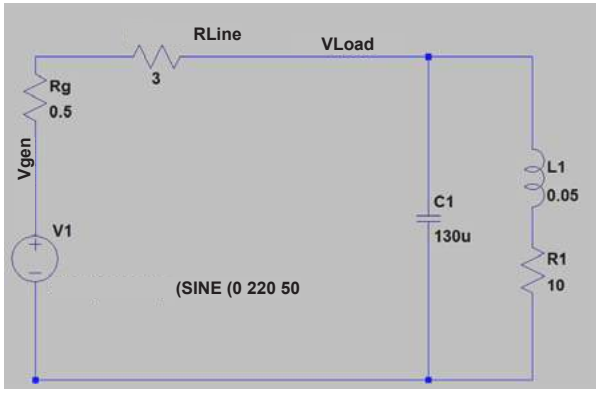
لنفترض هنا وجود حِمل كهربي حثي أومي في الدائرة:



القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد: 632 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 561 وات

فلندخِل هنا معاوقة كهربائية سعوية بنظام التوصيل على التوازي للحمل من أجل الحصول من نفس الدائرة على معاوقة كهربائية أومية مكافئة يراها المولد:



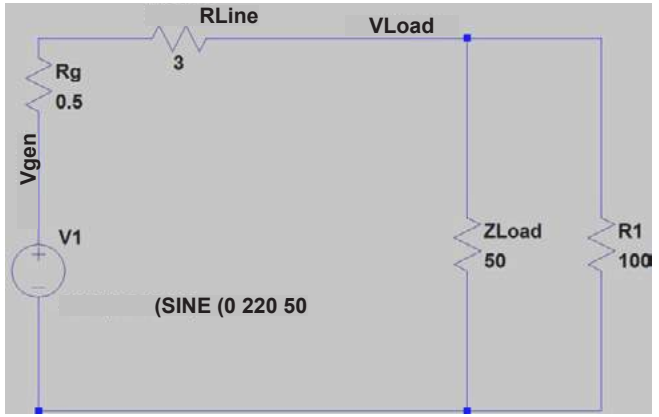
القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد: 758 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 573 وات

فهو عنصرٌ مطلوب ومرغوب فيه، وهو الأمر سنتناوله بالمناقشة والتحليلي أدناه.

2.4 التشوه التوافقي

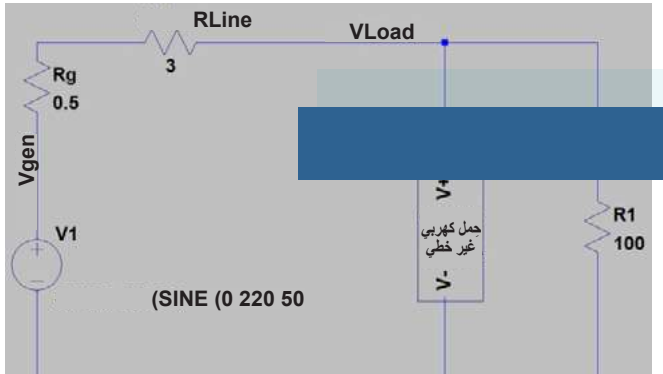
فلنفترض الآن وجود أحمال خطية وغير خطية مختلطة في الدائرة الكهربائية محل التقييم:



القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد: 654 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 592 وات

دعونا نستبدل الحِمل الأومي 50 أوم بحِمل آخر بنفس القدرة الكهربائية ولكن حِمل غير خطي:



الاعتبارات

يمكننا ملاحظة وجود اعتبارين مهمين بالنسبة للحالة المعنية محل التمثيل هنا:

1. القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد في حالة الحِمل الكهربي الأومي الحثي، مقارنةً بحالة الحِمل الكهربي الأومي المكافئ، تكون أكبر بنسبة 18% تقريبًا.
2. القدرة الكهربائية المستخدمة فعليًا في الحِمل الكهربي أعلى بنسبة 3% تقريبًا.

إن الاعتبار الأول المذكور أعلاه يضعنا في حالة يمكننا من خلالها القول بأنه من خلال تحسين عامل القدرة الكهربائية للدائرة التشغيلية، فإننا سنحصل أيضًا على توفير كبير في القدرة الكهربائية الإجمالية المستخدمة، وبالتالي سيبدو توازن الطاقة إيجابيًا في هذه الحالة؛ كما أنه علاوة على ذلك نلاحظ كيف يستفيد الحِمل الكهربي نفسه حيث إن القدرة الكهربائية التي يستخدمها في نفس الظروف تصبح أكبر قليلاً مما كانت عليه في الحالة السابقة.

كما يتم هنا بطبيعة الحال التركيز على أن هذه الحالة تتحقق عند وجود جهد تيار للتغذية الكهربائية يبلغ 220 فولت، أما بالنسبة لمستويات جهد التيار الكهربي الأعلى من ذلك، فستكون المشكلة أكثر تعقيدًا، حيث إن إدخال أحمال كهربائية حثية سيولّد هنا إزاحة طورية مع ما يترتب على ذلك من انخفاض في الجهد الكهربي على الحِمل التشغيلي بسبب تأثير المعاوقة الكهربائية الخطية، وذلك يتم بشكل طبيعي عند إجراء إزاحة طورية لنظام شبكة التشغيل الموجودة، وهنا في هذه الحالة يتحسن الوضع من وجهة نظر الطاقة، بنفس الأساليب التي قمنا بتحليلها للتو، ولكن في الواقع نجد أنفسنا في حالة جهد زائد ثابت للحِمل الكهربي، وبالتالي يجب في جميع الأحوال هنا إعادة تشكيل وتحديد مستويات التبديد الكهربي على الحِمل الموجود لجعله يعمل في ظروف التشغيل المثلى المرجوة، وهذا العامل الأخير يولّد مزيدًا من التوفير والادخار وبالتالي

تلخيصًا:

Ricapitolando:

الحِمل الأومي الحثي - التأثيرات التوافقية الكهربائية		
الحِمل الكهربي المكافئ الأومي الحثي	الحِمل الكهربي الأومي المكافئ	
220 فولت	220 فولت	جهد تيار التشغيل الكهربي:
4.46 أمبير	4.21 أمبير	شدة التيار في شبكة الكهرباء:
0.95	1 ≈	معامل القدرة الكهربائية:
3.55%	0% ≈	إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:
656 وات	654 وات	القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد:
586 وات	592 وات	القدرة الكهربائية المبددة على الحِمل الكهربي:

الدائرة الكهربائية خطية بالكامل. دائرة كهربائية بحِمل غير خطي

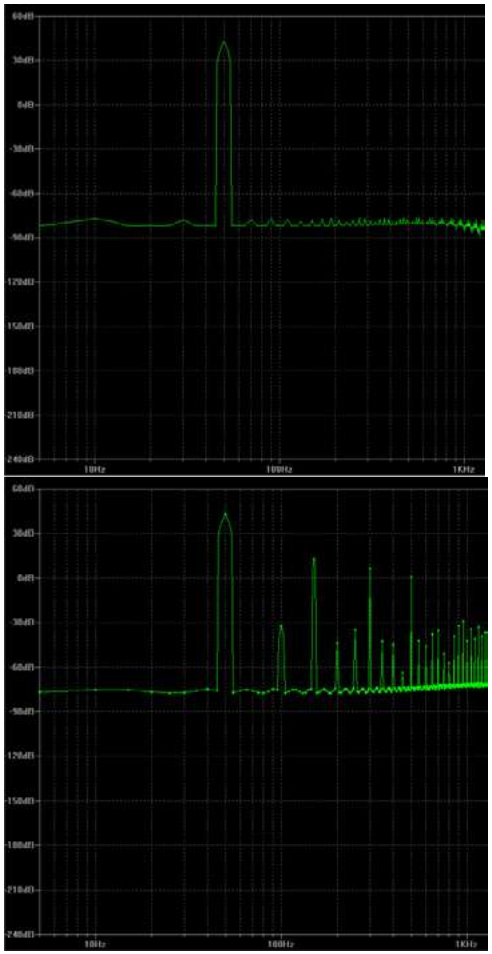
إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 0.000473%

إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 3.550619%

القدرة الكهربائية التي يولّدها المولد: 656 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 586 وات

ولنتناول هذه الحالة بالتفصيل، دعونا نستخدم عملية تحويل Fourier الرياضية لجهد التيار الكهربي على الحمل في نطاق تردد التيار 0 - 1 كيلو هرتز.



3 التقنيات الموجودة

3.1 تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي

تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي هو تقنية لتوفير الطاقة يتم اعتمادها عن طريق تركيب محول طاقة على التوالي مع خط التيار الكهربي من أجل تقليل أو زيادة جهد التيار الكهربي المتاح للحِمل الكهربي.
ويمكن أن يتم عملية تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي بطريقة إستاتيكية ثابتة أو ديناميكية حركية وذلك اعتمادًا على ما إذا كان الجهد ينخفض بطريقة ثابتة بنسبة مئوية معينة أو يتغير ديناميكيًا أثناء التشغيل العادي للدائرة الكهربائية.
ومن خلال هذه الطريقة عادةً ما يكون هناك توفير في الطاقة، كما أتيحت لنا الفرصة لتقدير مستويات ذلك التوفير في عمليات المحاكاة السابقة، وذلك في ظل وجود أحمال أومية ترافقها في الغالب مشاكل الجهد الزائد الثابتة، أو على أي حال مشاكل خطية، ففي حالة وجود أحمال غير خطية معينة (مثل تبديل مصادر الطاقة على سبيل المثال) يمكن أن يؤدي انخفاض الجهد إلى زيادة في الاستهلاك؛ وفي الواقع، فإن هذه الأحمال تعمل بقدرة ثابتة، أي أنها تمتص دائمًا نفس الكمية من الطاقة حتى في مواجهة اختلافات جهد التيار الكهربي، وبالتالي يؤدي انخفاض الجهد إلى زيادة التيار في عقدة التردد الموجي، وبالتالي في خط التيار الكهربي، وهذا التيار يزيد بطبيعة الحال من الفواقد الكهربائية على كابلات النقل المستخدمة في هذه الحالة.

الاعتبارات

يمكننا ملاحظة وجود ثلاثة اعتبارات مهمة بالنسبة للحالة المعنية محل التمثيل هنا:

- القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد في حالة الدائرة الكهربائية غير الخطية، مقارنةً بحالة الحِمل الكهربي الأومي المكافئ، تكون أكبر بنسبة 0,4% تقريبًا.
- القدرة الكهربائية الإجمالية المنقولة إلى الحِمل الكهربي تكون أعلى بنسبة 1% تقريبًا.
- تقل القدرة الكهربائية المنقولة إلى الحِمل الكهربي عند تردد 50 هرتز بنسبة 3,5%، ويتم نقل هذه النسبة من القدرة الكهربائية خارج نطاق التردد.

وفي هذه الحالة، يولِّد الحِمل الكهربي غير الخطي دوران لشدة التيار خارج نطاق التردد ولكنه عالٍ من حيث المحتوى التوافقي لموجات التردد الكهربي، وهذا التيار في حد ذاته لا يولِّد مشاكل للأحمال الكهربائية الأخرى لأنه يدور فقط بين المولد والحِمل الكهربي المعني بذلك. ولكن المشكلة هنا تكمُن في أن تغير جهد التيار الكهربي على المعاوقة الكهربائية الخطية له أيضًا محتوى توافقي عالٍ لموجات التردد الكهربي وبالتالي يتأثر جد التيار الكهربي الإجمالي للتغذية الكهربائية للأحمال بالتشوهات التوافقية الكهربائية التي تعتمد، كما ذكرنا، على القدرة الكهربائية للحِمل الكهربي للتشوه التوافقي وعلى المعاوقة الكهربائية لخط شبكة التشغيل الموجودة، وبطبيعة الحال، يتم امتصاص هذه التشوهات التوافقية الكهربائية بواسطة الأحمال الأومية وتحويلها إلى حرارة، دون أي فائدة من وجهة نظر كفاءة استخدام الطاقة، بل على العكس يتسبب ذلك في مشاكل كبيرة في بعض الأحيان فيما يتعلق بالعُمر الافتراضي للجهاز وكفاءته التشغيلية. ولذلك يمكننا أن نؤكد في هذا الصدد أنه على الرغم من أنه من الوهلة الأولى ومن وجهة نظر مبدأ توازن الطاقة الكهربائية قد يبدو أنه لا توجد اختلافات كبيرة (1%) ملموسة، إلَّا أنه من وجهة نظر كفاءة الأحمال الكهربائية تظهر لنا اختلافات أكثر أهميةً (3-4%)، حيث إن إجمالي الطاقة التي يمتصها الحِمل الكهربي تكون أقل بنسبة 5% تقريبًا إذا ما وضعنا في اعتبارنا القدرة الكهربائية المستفَاد منها فعليًا (التي يتم تسليمها عند 50 هرتز).

3.2 تحسين معامل القدرة الكهربية

يتم تعريف مصطلح تحسين معامل القدرة الكهربية بأنه أي إجراء يُستخدم لزيادة (أو كما يقال عادة لتحسين) معامل القدرة الكهربائية (cos φ) لحِمل كهربي معين، بهدف تقليل قيمة شدة التيار الموجود في شبكة التشغيل إلى نفس القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي تمتصها الأحمال. إن الغرض من تحسين معامل القدرة الكهربية يتمثل أولًا وقبل كل شيء في تقليل فواقد الطاقة الكهربائية وتقليل امتصاص القدرة الكهربائية الظاهرية بما يتناسب مع قدرة عمل الآلات والخطوط الموجودة في المواقع الصناعية. لقد اكتسب مصطلح تحسين معامل القدرة الكهربية لشبكات الكهرباء أهميةً كبيرةً منذ أن فرضت شركة توزيع الكهرباء شروطًا تعاقدية من خلال أحكام التعريفة الخاصة بـ CIP (رقم 12/1984 ورقم 26/1989) والتي تلزم المستخدِم بإعادة هيكلة شبكة الكهرباء التي لديه وإلَّا تعرض لدفع غرامات وشروط جزائية أخرى. وفي دوائر التشغيل الكهربي التي بها أحمال معينة محددة مثل مصابيح الإضاءة ذات الأسلاك المتوهجة، وسخانات المياه، وأنواع معينة من الأفران، فإن القدرة الكهربائية الظاهرية الممتصَّة تكون هي كل القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية. وفي الدوائر الكهربائية التي تحتوي على أحمال كهربائية بها لفائف تشغيلية بداخلها مثل المحركات، وآلات اللحام، ومزودات طاقة مصابيح الفلورسنت، والمحولات الكهربائية، فإنه يتم استخدام جزء من القدرة الكهربائية الظاهرية الممتصَّة لإثارة الدوائر المغناطيسية، وبالتالي لا يتم استخدامها كقدرة كهربائية فاعلة حقيقية ولكن كقدرة كهربائية تسمى بشكل عام قدرة مفاعلة كهربائية. وإذا ما نظرنا للأمر هنا من وجهة نظر مقدار التوازن الإجمالي للطاقة الكهربائية، فإن تحسين معامل القدرة الكهربية يؤدي إلى تقليل كمية طاقة المفاعلة الكهربائية التي تمتصها الدائرة الكهربائية التشغيلية، ولكنه لا يقلل بشكل مباشر من مقدار الطاقة الكهربائية الفاعلة الحقيقية المستخدمة، أي أن الانخفاض في الطاقة الكهربائية الفاعلة الحقيقية يكون بشكل عام هو نتيجة لحقيقة أن فواقد الطاقة الكهربية على الموصلات يتم فيها تجاوز المعاوقة التسلسلية للموصلات نفسها بواسطة تيار أقل إجماليًا، ومع ذلك، في الواقع، لا يتم حفظ كل تلك الطاقة النشطة فعليًا، حيث يؤدي التبديد المنخفض على الموصلات إلى انخفاض الجهد الكهربائي للحمل، وفي حالة الأحمال الأومية فهذا يعني تبديدًا أكبر للطاقة.

ومع ذلك، فمن الواضح أنه في هذه الحالة تكون الطاقة الزائدة إيجابية بالنسبة للحِمل الكهربي، إلا إذا كان ذلك في حالة الجهد الكهربي الزائد الثابت. يمكن أن يكون تحسين معامل القدرة الكهربية مركزيًا أو موزعًا، أو مختلطًا: في الحالة الأولى يتم تحسين معامل القدرة الكهربائية في كاملة شبكة التيار الكهربي الموجودة مع الحِمل الكهربي ومولد الطاقة، ولذلك يمكن تحسين تكاليف الطاقة عند مخرج مولد الطاقة ولكن هذا لا يضمن توفير هذا التحسين في كابل شبكة التيار الكهربي؛ وفي الحالة الثانية يتم تحسين معامل القدرة الكهربية للأحمال بشكل منفرد وهذا يؤدي إلى تحسين إجمالي لتكاليف الطاقة على المولد؛ وفي الحالة الثالثة يكون الحل المقدَّم خليطًا بين الحلين الأول والثاني. ويتم عادةً تحسين معامل القدرة الكهربية للأحمال عن طريق وضع مولد قدرة مفاعلة كهربائية على التوازي مع الأحمال نفسها، بطريقة تقوم بإلغاء قدرة المفاعلة الكهربائية الخارجة ذات الصلة. إن أبسط مولد قدرة مفاعلة كهربائية في الدوائر الكهربائية الجيبية هو المكثف، لذلك يتم إدخال مكثف واحد أو أكثر من المكثفات على التوازي مع الأحمال الكهربائية من أجل الحصول على تحسين في التكلفة المتكبَّدة لاستهلاك الطاقة وتوليدها أيضًا. وبالإضافة إلى المكثِّفات، توجد تقنيات أخرى لتحقيق ذلك مثل معوّضات الطاقة الإستاتيكية الثابتة أو فلاتر الطاقة النشطة.

3.3 فلترة وتنقية توافقيات الأنظمة الكهربائية

تتم فلترة وتنقية توافقيات الأنظمة الكهربائية في أنظمة القدرة الكهربائية عادةً عن طريق إدخال بعض الأجهزة في الدوائر الكهربائية، وهذه الأجهزة مصممة عادةً لتقليل إجمالي التشوه التوافقي الكهربي في شدة التيار، وذلك

تيارًا مساويًا ومعاكسًا لتيار الحمل المشوه خارج نطاق الحدود المسموح بها وبالتالي تلغي التيارات التوافقية الناتجة عن الأحمال الموجودة نفسها.
إن هذه الفلاتر تعمل من خلال التضمين التشغيلي للتردد جهد خط الكهرباء، وتقوم بتحليل حالة الشبكة، وضخ تيارات التعويض، وبطبيعة الحال، لضخ هذه التيارات بشكل صحيح، تحتاج إلى ترددات تحويل عالية جدًا تزيد عن ضعف التردد التوافقي الأقصى، لذلك تحتاج عادةً إلى استخدام ما يُسمى أدوات IGBTs، وخاصة الأجهزة الداخلية الفعالة والسريعة، لتكون قادرة على العمل بتردد التحويل المطلوب. وهذا بطبيعة الحال يجعل هذه الأجهزة مكلِّفة وباهظة الثمن بشكل خاص. وعلاوة على ذلك، من وجهة نظر توازن الطاقة، فإن الوضع مشابه لحالة الفلاتر السالبة، لأنه اعتمادًا على كفاءة هذه الفلاتر، يتم امتصاص كمية مكافئة من الطاقة للتعويض عن الاضطرابات الموجودة. والشيء اللافت للنظر هنا هو أن فلاتر الطاقة النشطة يمكنها أيضًا تحسين تكاليف النظام لأنها تعمل أيضًا كمولدات طاقة مفاعلة كهربائية.
وهناك أيضًا جانب آخر مثير للاهتمام وهو أنه يمكن إدخال فلاتر ذات معدلات تدفق مختلفة على التوازي في شبكة التيار المجمودة وهذا ولا يسبب اضطرابات أو صدى ترددات في الدائرة الكهربائية.

أيضًا لتحسين تأثيرات التشوه التوافقي الكهربي على جهد التيار أيضًا. هناك فئتان رئيسيتان من الفلاتر المناسبة لهذا الغرض:

- **الفلاتر السالبة**
- **فلاتر الطاقة النشطة**

في حالة الفئة الأولى من الفلاتر، يكون هناك تمييز إضافي بين نوعين من الفلاتر في هذه الفئة وهما الفلاتر المضبوطة الموالفة الزمنية والموجية والفلاتر الحثية. الفلاتر المضبوطة الموالفة الزمنية والموجية هي فلاتر دائرة كهربائية RLC مكوَّنة من مقاومة وملف ومكثف معينة تم ضبطها على تردد معين وعادة ما تكون متصلة بكتلة تأريض، وفي بعض الحالات يمكن أيضًا استخدام فلاتر تمرير نطاق ترددات معينة أو فلاتر تمرير عالي للترددات المرتفعة لإنشاء مسار مقاومة منخفضة إلى كتلة التأريض لمرور هذه الاضطرابات في موجة الترددات والقضاء على السبب الأساسي لها. ولكن في حالة المحاثات الكهربائية لخط التيار الكهربي في الدوائر الكهربائية، تُستخدم فلاتر LR تمرير منخفض للترددات المنخفضة، حيث إن المحاثة الكهربائية لخط التيار الكهربي في الدوائر الكهربائية تكوِّن مع الدائرة الأومية فلتر تمرير منخفض للترددات المنخفضة لا يسمح بمرور القدرة الكهربائية عند ترددات بعيدة عن 50 هرتز. يعمل هذا النوع من الحلول بشكل طبيعي على تحسين حالة الحِمل الكهربي عن طريق تخفيف عامل إجمالي التشوه التوافقي الكهربي، ولكن من على مستوى مقدار توازن الطاقة الكهربائية
يبقى الوضع على حاله، حيث تنتقل الاضطرابات في الواقع إلى كتلة التأريض بعد مرورها عبر العداد وبالتالي يتم احتساب الطاقة التي يتم تحويلها إلى الأرض أيضًا من ضمن التكاليف. إن فلاتر الطاقة النشطة من وجهة نظر أحمال الطاقة هي من فئة مولدات التيار على التوازي التي تضخ

3.4 فلتر EMI (التداخل الكهرومغناطيسي)

إن الفلتر EMI (التداخل الكهرومغناطيسي) هو فلتر سالب موجود في معظم الأجهزة والمعدات الإلكترونية، للسماح لهذه الأجهزة بالامتثال للوائح التوافق الكهرومغناطيسي، ولا سيما تلك المتعلقة بالانبعاثات الموصلة. إن فلتر EMI (التداخل الكهرومغناطيسي) هو في الأساس فلتر تمرير للترددات المنخفضة يتم توصيله كمرحلة أخيرة بين الجهاز ومصدر الطاقة، من أجل تخفيف المكونات المزعجة التي يمكن لأي جهاز إلكتروني أن يسبب انبعاثها. ومن الواضح، فإن الفلتر يجب أن يكون شفافًا عند تردد الطاقة (50-60 هرتز) وذلك للسماح بالعمل الصحيح للجهاز، في حين يجب أن يعمل في نطاق التردد الذي تحدده اللوائح التنظيمية الكهربائية ذات الصلة (150 كيلو هرتز 30- ميجا هرتز).

3.5 تنميط معدلات الاستهلاك

هناك سلسلة من الأجهزة في المتوفرة في الأسواق تتيح تنميط معدلات الاستهلاك الخاصة بالمستخدمين، أي إعداد ملفات تعريفية لمعدلات استهلاك الطاقة من قِبل المستخدمين من أجل فهم كيفية استخدام المستخدمين للكهرباء خلال فترة معينة من الزمن. وهذه الأنظمة بطبيعة الحال لا تنتج في حد ذاتها أي تحسن في استهلاك الطاقة للمستخدم، ولكن لها نتيجتين مهمتين تسمحان بتحسين معدلات الاستهلاك:

- خلق وعي لدى المستخدمين بمعدلات الاستهلاك وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة الاهتمام وتحديد طُرق التوفير والادخار.

التنبؤ مسبقًا بالجهد الكهربي من أجل الوصول إلى وضع التشغيل الصحيح.

لقد قمنا بعد ذلك بدراسة أنظمة تحسين معامل القدرة الكهربية والفلترة، وفي هذه الحالة أيضًا هناك توضيحات كثيرة يجب تقديمها من وجهة نظر الطاقة وعناصر السلامة والأمان في شبكة التيار الكهربي. فلنفترض تحديدًا هنا أننا أمام شبكة تيار كهربي ذات حِمل كهربي حثي أومي وهناك جهد كهربي زائد إستاتيكي ثابت، وفي هذه الحالة واعتمادًا على عامل قدرة الحِمل الكهربي، سيكون هناك انخفاض في الجهد بقيمة معينة بين المولد والحِمل الكهربي نفسه، وهذا الانخفاض يمكن أن يؤدي إلى رفع الحمل إلى قيمة الجهد الاسمي، كما أن إدخال نظام تحسين معامل القدرة الكهربية والفلترة يجلب فائدة أخرى هنا تتمثل في زيادة معامل القدرة الكهربائية، وبالتالي انخفاض دوران التيار الكهربي في فرع الدائرة الكهربائية المعني بذلك وبالتالي زيادة الجهد المفيد للحمل من الناحية التشغيلية. ولكن وعلى الرغم من ذلك يُترجم هذا الجانب الأخير في كثير من الأحيان إلى هدر أكبر للطاقة النشطة اعتمادًا على النسبة بين المعاوقة الكهربائية الخطية ومقاومة الحِمل الكهربي. وينطبق الشيء نفسه، كما رأينا في عمليات المحاكاة المتعلقة بالمساهمة التوافقية في مستويات جهد وشدة تيار خط التشغيل، وفي هذه الحالة يزداد الأمر تعقيدًا بسبب حقيقة أنه في ظل وجود الاضطرابات التوافقية تكون هناك أيضًا مشكلة سلامة الأحمال الكهربائية وشبكة التشغيل الكهربي بأكملها.

لقد ولد مشروع ANT على وجه التحديد بسبب الحاجة إلى الجمع بين المساهمات الإيجابية للتقنيات الفردية التي تم أخذها بعين الاعتبار من أجل توفيرها وتجميعها في منتج واحد. إن الأمر الجديد والحقيقي في هذا المشروع يمكن على وجه التحديد في نهجه الديناميكي لإدارة الأحمال الكهربائية، ولا سيما أن الجهاز ثمرة هذا المشروع قادر على تحليل الشبكة الكهربائية التي يتصل بها على الفور من حيث مصدر الطاقة والحمل ثم تشغيل الأحمال على النحو الأمثل في أي إعدادات تكوين تشغيلية متاحة. إن الجهاز قادر على تحليل بارامترات الضبط والتشغيل الخاصة بشبكة التيار الكهربي بدقة

- يمكن أن يؤدي تنفيذ نظام متخصص يحلل البيانات المعنية ويعيد معالجتها إلى إدارة أكثر كفاءة للطاقة وتوفير قدر كبير من معدلات الاستهلاك، دون تغيير عادات الاستهلاك الضرورية ذات الصلة.

4. جهاز النظام ANT

4.1 اعتبارات أولية تمهيدية

من الجيد تقديم بعض التوضيحات حول المشاكل التي تناولناها في الفصول السابقة وحول الحلول المطروحة حالياً في السوق قبل الخوض في مزايا هذا المشروع.

لقد قمنا بعد ذلك بتحليل أنظمة تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي، حيث توجد أنواع مختلفة من هذه الأنظمة في السوق، حتى لو كانت هذه الانظمة في الممارسة العملية هي عبارة عن أجهزة تعمل ببساطة على تقليل جهد التيار الكهربائي، بعضها إستاتيكي ثابت، والبعض الآخر ديناميكي متحرك، وأكثر مثبتات الجهد من النوع الثاني. من الواضح أنه في هذه الحالة قد يكون نظام تحسين الاستفادة من الجهد الكهربي مفيدًا للتوفير ولكن عليك أن تكون حذرًا للغاية بشأن كيفية عمله. من المؤكد أن الخفض الإستاتيكي الثابت لجهد التيار الكهربي ليس حلاً فعالاً لأن رفع أو خفض الجهد يعتمد عادةً على ظروف الحِمل الكهربي الموجود. وبطبيعة الحال، يجب عليك في هذه الحالة أيضًا الانتباه إلى ظروف خط إمداد الطاقة الموجود، حيث قد تتسبب في حدوث مشكلات في التشغيل أو إتلاف الأحمال نفسها إذا لم تراعي مواصفات الشبكة التشغيلية الموجودة. ومن الناحية العملية، يمكن أن يكون الجهد الزائد أو الجهد المنخفض ثابتًا موجبًا أو سالبًا للنظام وذلك اعتمادًا على ما إذا كان لدينا أحمال طاقة متغيرة أو أحمال طاقة ثابتة (مزودة بالطاقة - غير خطية)، لذلك لا يمكن

ونحن في هذا السياق الخاص بعملية تحسين نقل الطاقة، نعمل على توفير سلسلة من التدابير التي تهدف إلى تحسين جودة الطاقة التي تدخل النظام والتعويض عن الآثار السلبية الناجمة عن إدخال الأحمال، وذلك بنفس الطريقة التي تمكنا من خلالها من تقدير الجوانب الكهربائية ذات الصلة عبر عمليات المحاكاة التي تم تحليلها هنا في الأعلى.

تجدر الإشارة هنا إلى أنه في الوقت الحالي، ونظرًا لطريقة تركيب هذا النظام، فإنه لا توجد حلول بديلة متطابقة لطريقة عمل هذا النظام، ولكن لا تزال هناك منتجات بديلة تقترب من توفير مواصفات شبيهة لهذا الحل المقترح.

4.2 المشروع الحالي / وصف الجهاز

إنه نظام لموائمة وتكييف المعاوقة الكهربائية للدوائر الكهربائية للأحمال مع المعاوقة الكهربائية للمولد، وذلك من أجل تحسين كفاءة الأنظمة الكهربائية بشكل عام، وحماية الأجهزة والمعدات، وتوفير الطاقة.

يستطيع هذا الجهاز، بمجرد توصيله بشبكة الكهرباء، تحليل جميع بارامترات ضبط وتشغيل شبكة التيار الكهربي، سواء تلك المتعلقة بجودة الطاقة الخارجية أو عوامل الاضطراب الداخلي. كما أن نفس هذا الجهاز قادر على تخفيف الاضطرابات واستخدام طاقتها لتحسين تدفقات الجهد والتيار الداخلي. وعلاوة على ذلك، فهو قادرٌ أيضًا على موازنة ملف تعريف الحِمل على الأطوار الكهربائية الموجودة وفولتية الإمداد الكهربي ذات الصلة، وهكذا يتمكَّن أيضًا من موازنة التيارات الثلاثة والتيارات ثلاثية الطور. إن ملف تعريف التشغيل الذي يقدمه هذا الجهاز قابل للضبط وتهيئة التكوين بالكامل، ويمكن أيضًا إدارته عن بُعد، كما هو الحال مع البيانات المستمدة من تحليل الشبكة.

يحتوي هذا المنتج على متغير أساسي يسمى ANT الإصدار 2.1، ومتغير TG يتضمن وظائف الإدارة عن بُعد للجهاز، ومتغير TL يتضمن وظائف القراءة عن بُعد.

يجب أن يكون الجهاز متصلاً بشبكة التيار الكهربي، سواء المنزلية أو في 0,1% في جميع جوانب جهد وشدة التيار الكهربي، كما أنه من خلال تحليل مستوى انبعاث الأحمال يتمكن أيضًا من فهم التركيب الداخلي للشبكة وكذلك تفسيرها بالاستدلال من أجل تحديد مساهمات وتأثيرات المعاوقات الكهربائية الفردية، مع الإشارة بشكل خاص إلى الفرق بين المعاوقات الكهربائية للحِمل والمعاوقات الكهربائية لشبكة نقل التيار الكهربي بالإضافة إلى كافة المعوقات التشغيلية الأخرى ذات الصلة، وبهذه الطريقة يكون الجهاز قادرًا على تحسين عملية نقل الطاقة نحو الأحمال الكهربائية ذات الصلة، وهذا كله من شأنه أن يقلل من خسائر عمليات نقل التيار الكهربي والفواقد الانتقالية ذات الصلة.

لقد ولد مشروع جهاز نظام ANT للاستجابة للحاجة المتزايدة لتحسين عملية نقل القدرة الكهربائية بين أي مولد كهربائي وشبكة الأحمال المتصلة به.

الصلة بشكل أكثر دقةً وكفاءة.

المراقبة

يُباع المنتج، بطبيعة الحال، وهو مزودٌ بشبكة استشعار داخلية تتحقق من عمل جميع المكونات الداخلية الفردية، من أجل مراقبة جميع بارامترات تشغيل الجهاز، وبالتالي تكون هذه الشبكة قادرة على الفهم الفوري إذا كانت هناك حالات خلل تشغيلي أو أعطال في شبكة التشغيل الموجودة وإبلاغ خدمة الدعم الفني بالمشكلة التي تمت مواجهتها والحلول الممكنة التي سيتم تطبيقها لحل هذه المشكلة على الفور.

برامج التشغيل

إن المنتج المدار عن بُعد، من وجهة نظر التكوينية، يتكوَّن من خادم شبكة مركزي ومخصص يتواصل مع جميع الأجهزة بطريقة توفر دائمًا فهمًا واضحًا للموقف وبارامترات الضبط والتشغيل لجميع الأجهزة المتصلة. وعلاوة على ذلك، توفر الشركة إمكانية الوصول إلى البرنامج والتحقق من حالة جميع الأجهزة في أي وقت؛ كما أنه من خلال نفس البرنامج، من الممكن تعديل إعدادات ضبط تكوين وتهيئة كل جهاز على حدة وربما فصله عن النظام التشغيلي بالكامل، وكل شيء هنا يتم بسرعة وسهولة. وهناك أيضًا إمكانية توفير برامج مخصصة للمستخدمين الآخرين الذين يقدمون المساعدة والدعم الفني في مختلف المناطق الأخرى، بطريقة تتيح لهم إمكانية إدارة جميع الأجهزة الموجودة في منطقتهم الخاصة محل تخصصهم. وبطبيعة الحال، تتلقى الشركة ومقدمي خدمة الدعم الفني إشعارات حول أي أعطال تحدث في الأجهزة، وربما تذاكر الدعم الفني التي سيتم إدارتها حسب الحالة.

الشركة، أسفل العداد وعند مدخل خط التوزيع الأساسي للتيار الكهربي.
وبمجرد توصيل هذا الجهاز بدائرة التشغيل الكهربي، يكون قادرًا على حساب المعاوقة الكهربائية التي يراها عداد الكهرباء فيما يتعلق بالدائرة التشغيلية ذات الصلة، ثم يبدأ في العمل على تحسين هذه المعاوقة من أجل تحسين نقل الطاقة بين عداد الكهرباء وشبكة التشغيل الكهربي، مما يقلل بشكل فعال من الطاقة التي تهدرها شبكة التيار الكهربي لعوامل أخرى خارجية ليس لها علاقة بالأحمال الكهربائية التشغيلية الموجودة. كما يعمل الجهاز أيضًا كمحسِّن لجودة الطاقة (Power Quality) المتعلقة بخط الدخل الكهربي. إن جودة الطاقة (Power Quality) هي خاصية كفاءة وفاعلية شبكة الكهرباء في نقل الطاقة إلى المستخدمين والقضاء على هدر الطاقة قدر الإمكان.

الإدارة عن بُعد

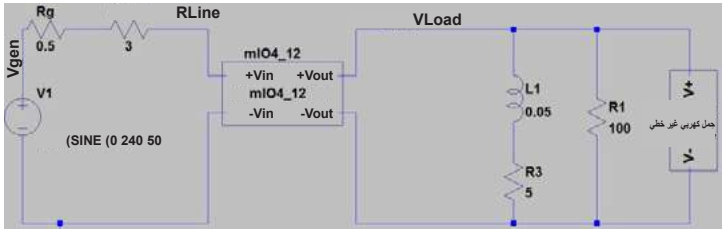
يحتوي الجهاز المُدار عن بُعد على جميع الوظائف الأساسية كما لو كان مُدرًا بشكل محلي موضعي بالإضافة إلى إمكانية إدارة جميع الأجهزة الأخرى المثبتة عن بُعد بشكل كامل. إن إدارة الأجهزة عن بُعد أمرٌ مهم للغاية لأغراض تحسين بارامترات ضبط وتشغيل الجهاز، حيث توجد إمكانية إعادة ضبط وتهيئة تكوين إعدادات كل جهاز على حدة عن بُعد بناءً على حالة التشغيل القياسية لفترة التشغيل. وعلاوة على ذلك، ومن خلال الإدارة عن بُعد يُصبح من المتاح الحصول على صورة كاملة عن حالة تشغيل الأجهزة في أي وقت من مكتبك، وربما عن طريق التدخل وأنت جالس في مكتبك يمكنك ترحيل أي جهاز كهربائيًا عن طريق فصله عن شبكة التيار الموصول بها. كما أنه في حالة حدوث أي خلل في تشغيل الأجهزة، فإنه هناك إمكانية وجود إشعار تنبيهي بنوع هذا الخلل الذي حدث، فربما كُسرت بعض القطع داخليًا، ومن الممكن في هذه الحالة معرفة القطعة التي يجب استبدالها وتجهيزها مسبقًا من خلال خدمة دعم أكثر دقةً وأكثر كفاءةً، بطبيعة الحال مع إمكانية الاتصال بالعميل مباشرة وتنبيهه بوجود خطأ ما ويتم تقديم المساعدة المطلوبة ذات

القراءة عن بُعد

إن المنتج التي تتم قراءة بياناته التشغيلية عن بُعد يمكن التحكم فيه بشكل كامل، مع إمكانية توفر جميع البيانات المتعلقة بمعدلات الاستهلاك، وكل ذلك يتم على منصة مراقبة ودعم واحدة، وبسيطة، وعملية. يمكن للشركة الوصول إلى وظائف القراءة عن بُعد، ويمكن أيضًا، وفقًا لتقدير الشركة، إتاحتها لشبكة الدعم الفني، ولكن قبل كل شيء يمكن إتاحتها للمستخدمين الفرديين الذين يمتلكون الأجهزة المعنية ذات الصلة. وبهذه الطريقة يستطيع المستخدمون الوصول بسهولة إلى ملفات تعريف الاستهلاك الخاصة بهم عبر الإنترنت على موقع الشركة وعبر الهاتف الذكي والكمبيوتر اللوحي، من خلال واجهة استخدام واحدة بسيطة وبديهية. والشيء الجديد في هذا الأمر هم أنه بفضل هذا النظام، أصبح من الممكن ليس فقط مراقبة معدلات استهلاك الكهرباء، ولكن أيضًا معدلات استهلاك المياه والغاز؛ وعلاوة على ذلك، أصبح أيضًا من الممكن إدارة بيانات الإنتاج لأي أنظمة مصادر متجددة موجودة في العقار، مثل الأنظمة الكهروضوئية، وشبكات طاقة الرياح المصغرة، وشبكات الطاقة الشمسية الحرارية وغير ذلك الكثير.

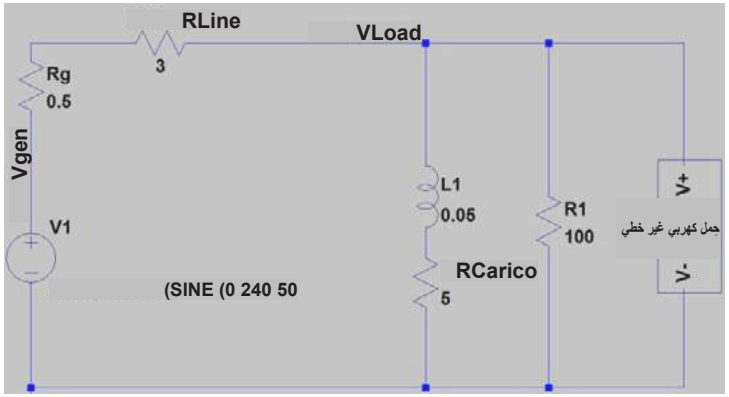
4.2 بيانات المشروع ونماذج المحاكاة

يمكننا في يلي أن ننظر إلى كيفية تفاعل هذا النظام مع شبكة التشغيل الكهربي، ومحاكاة الوضع الحقيقي لشبكة التشغيل بأكملها، حيث توجد ظواهر الجهد الكهربي الزائد الثابت، والإزاحات الطورية، والأحمال غير الخطية، وفي هذه الحالة، كما يتبين من الرسم البياني، فإننا لا نأخذ في اعتبارنا عدم خطية خط التغذية الكهربائية، أي أن الاضطرابات القادمة من الخارج لا تؤخذ بعين الاعتبار في هذه المحاكاة، بل تؤخذ بعين الاعتبار الاضطرابات المتولدة في خط التشغيل الكهربي الداخلي فقط:



القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد: 843 وات

القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 756 وات

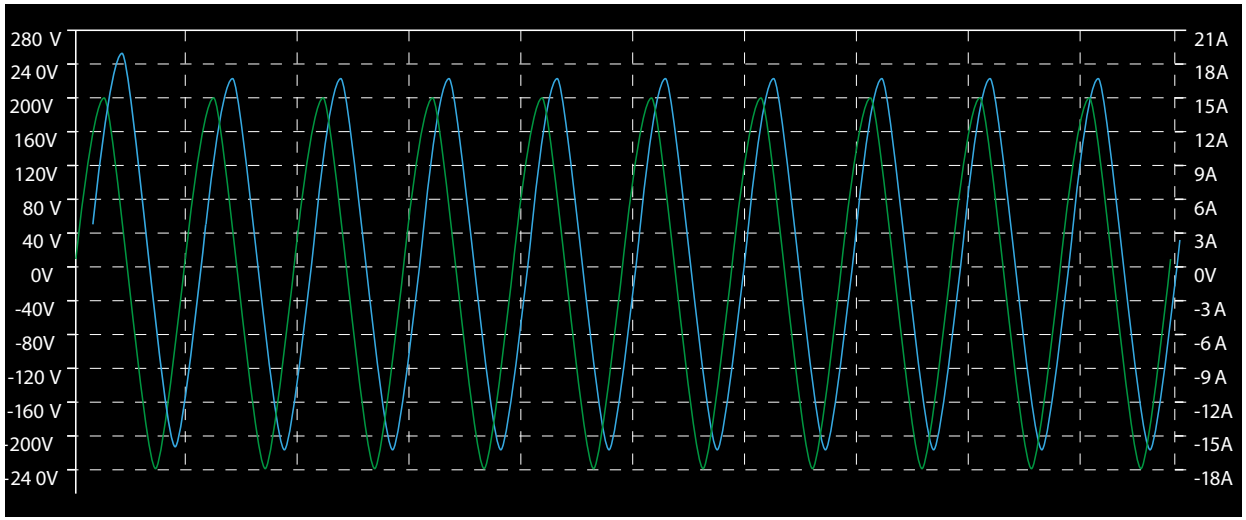


القدرة الكهربائية التي يولِّدها المولد: 1094 وات

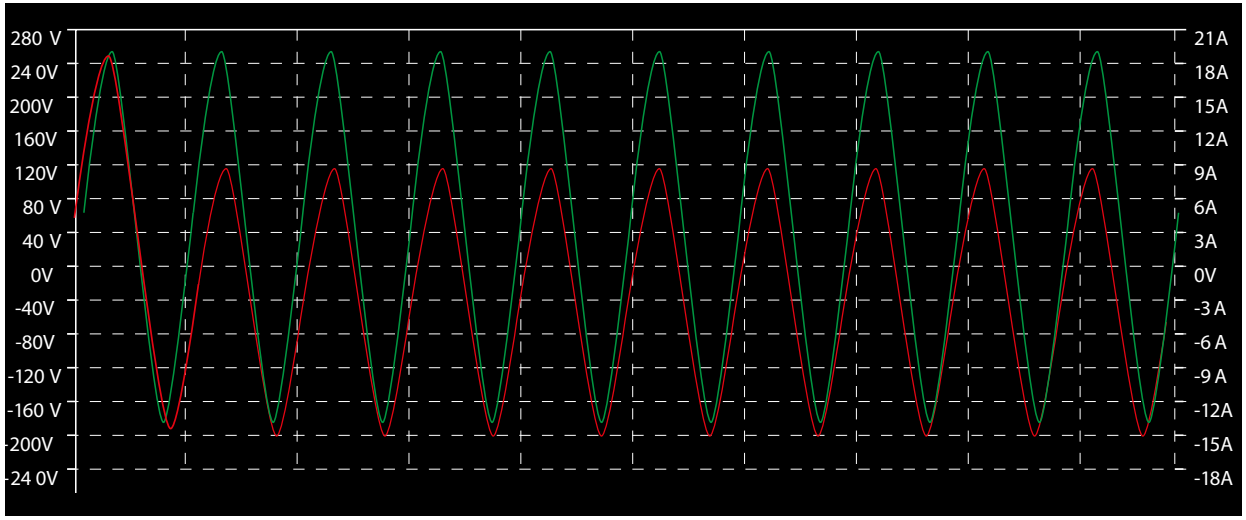
القدرة الكهربائية التي يمتصها الحِمل الكهربي: 738 وات

أشكال الموجات الناتجة:

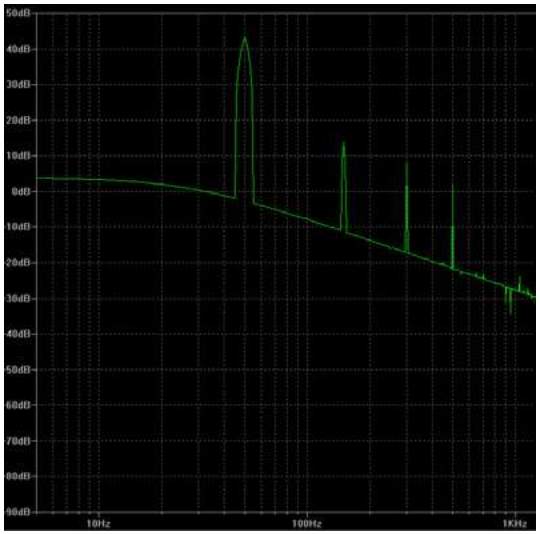
بدون جهاز النظام ANT:



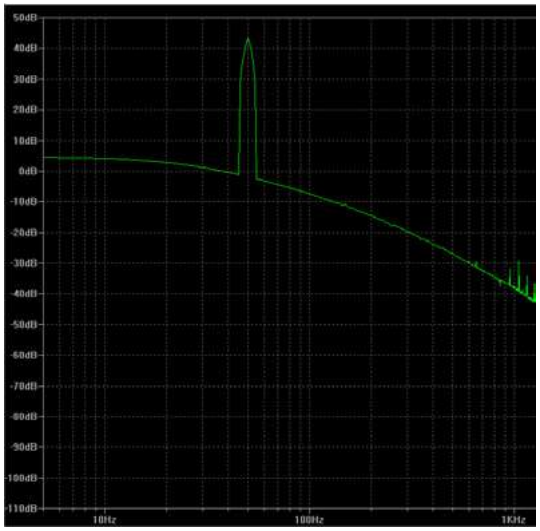
باستخدام نظام الجهاز ANT



تحليل توافقي لجهد التيار الكهربي المغذي للأحمال الكهربائية (VLoad):



إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 3.479955%



إجمالي التشوه التوافقي الكهربي: 3.479955%

تأثيرات إدخال جهاز النظام ANT		
باستخدام نظام الجهاز ANT	بدون جهاز النظام ANT	
240 فولت	240 فولت	جهد تيار التشغيل الكهربي:
5 أمبير	10 أمبير	شدة التيار في شبكة الكهرباء:
0.99	0.64	معامل القدرة الكهربائية:
0.01%	3.5%	إجمالي التشوه التوافقي الكهربي:
843 وات	1094 وات	القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يولِّدها المولد:
756 وات	738 وات	القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية المبدَّدة على الحِمل الكهربي:

الاعتبارات

- القدرة الكهربائية الفاعلة الحقيقية التي يوزعها المولد دون إدخال النظام هي أعلى من نسبة 18%.
- الكفاءة التشغيلية على الحِمل الكهربي هي بنسبة 3% تقريبًا مع تفعيل النظام.
- إجمالي التشوه التوافقي الكهربي لجهد التيار الكهربي على الحِمل الكهربي قليل ولا يكاد يذكر ويمكن تجاهله عند إدخال الجهاز، وإلّا فإنه سيكون حوالي 3.5%. وهكذا تم تحسين الحِمل الكهربي على النظام (50 هرتز) بنسبة تزيد عن 3%.
- يزداد معامل القدرة الكهربائية للدائرة الكهربائية التشغيلية بشكل كبير ويقترب من الحد الأقصى للكفاءة المسموح بها.
- شدة التيار المتدفق تكون بنسبة 50% تقريبًا أكثر بعد إدخال النظام، وبالتالي تكون تشتتات التيار من الكابل أقل بشكل واضح.

« إنها تُكتب ESE،
ويمكن قراءتها "
EASY"، وسهلة
كيفية توفير الطاقة.

» **اكتشف**
عالم ESE
وجميع الإمكانيات المتاحة
لتحسين أعمالك ومشروعاتك!

ESE®
EFFICIENCY
SAVING
ENVIRONMENT

المقر القانوني للشركة
Corso Giuseppe Garibaldi 86
20121 - ميلانو (MI) إيطاليا

المقر الإداري
Via San Martino, 87
Parco dei Ciliegi
Montesarchio (BN 82016) إيطاليا

+39 02 87.368.229
+39 02 87.368.222

info@ese.energy
خدمة الدعم الفني
service@ese.
energy رقم التسجيل الضريبي ورقم
ضريبة القيمة المضافة:

رقم التسجيل في المرجع الاقتصادي
الإداري R.E.A. الإيطالي:
MI2061570

www.ese.energy
تابعنا على

استخدم كود الاستجابة السريعة عبر
مسحه ضوئيًا (QR-code)
وتعرَّف على ESE.ENERGY