تحسين الأداء في الشبكات المضطربة

الشبكة الكهربائية للسفن كمثال – دراسة تشبيهية

طارق العائب[1] [*]، سالم العربي الشفاط[2]، محمد إسماعيل باتي [3]

قسم الهندسة الكهربية، المعهد العالي للتقنيات الهندسية ، طرابلس

Tarekalayeb@gmail.com

الملخص

- في هذه الورقة البحثية تم عرض مقترح لتحسين جودة عمل الشبكات المضطربة مثال على ذلك شبكة السفن البحرية. الحل يعتمد على إضافة عاكس جهدي متعدد المستويات للعمل المتوازي مع الشبكة. الشبكة الكهربائية في السفن غالباً تتغذى من مولدات متزامنة يتم دفعها بمحركات احتراق داخلي نوع ديزل. السبب الرئيسي الذي يسبب الاضطرابات في الشبكة هو أن القدرة الكهربائية للأحمال الكبرى في السفينة متقاربة مع قدرة محركات الديزل، وهذه الظاهرة لا توجد في الشبكات العامة، حيث أن قدرة الأحمال الفردية تكاد تكون معدومة بالنسبة لقدرة التوربينات الغازية وبالتالي فصل ووصل هذه الأحمال لا يسبب في ظهور أي مشاكل على عمل التوربينات نفسها. ونخص بالذكر تغير التردد نتيجة تبديل الأحمال الفردية. في الشبكة العامة يمكن ملاحظة هذا فقط في الحالات الطارئة التي يفصل فيها جزء كبير من الشبكة أثناء القصر على خطوط الجهد العالي، أو إرجاع هذا الخط. هذه الظاهرة تحدث بشكل متكرر أثناء العمل العادي في الشبكات المضطربة.

بعد دراسة المقارنة السابقة تبين جلياً أن العاكس الجهدي نوع **OVT** هو الأنسب لإجراء التجارب التشبيهية [1].

تم استخدام برنامج الماتلاب لمحاكاة الحالة التشبيهية التي استخدمت في الدراسة والتي هي عبارة عن شبكة سفينة تتغذى من مولد متزامن مدفوع بمحرك احتراق داخلي نوع

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

ديزل، قدرة المولد 250kVA عليه حمولة قدرها 100kVA، تم توصيل حِمل أخر له نفس القدرة وذلك لملاحظة التغير الذي ينشئ من إضافة هذا الحمل، حيث تمت ملاحظة التغير في قيمة الجذر للمتوسط التربيعي (ج م ت) للجهد، وتغير قيمة التردد. تم تكرار هذا التجربة مرتين؛ مرة بدون الحل المقترح والثانية مع الحل المقترح، حيث تمت ملاحظة وجود تحسن كبير في ثبوت القيمة الفعالة للجهد على الشبكة بعد إضافة الحل المقترح، حيث قلَّ تراوح القيمة الفعالة للجهد من 9% (قبل استعمال العاكس الجهدي) إلى 2% (بعد استعمال العاكس الجهدي).

الكلمات الدالة: العاكس الجهدي OVT، الشبكات المضطربة، شبكات السفن البحرية، المولدات المتزامنة.

Abstract

In this research paper, presented proposal was to improve the performance of turbulent networks, an example of which is the network of marine vessels. The solution is based on adding a multi-level voltage inverter to work in parallel with the network. The electrical grid in ships is often fed by synchronous generators propelled by internal combustion diesel engines. The main reason that causes disturbances in the network is that the electrical capacity of the major loads in the ship is close to the capacity of diesel engines, and this phenomenon does not exist in normal networks, as the capacity of individual loads is almost non-existent in relation to the capacity of gas turbines and thus separating and connecting these loads does not cause any problems on the work of the turbine itself, in particular, frequency changes as a result of switching individual loads.

After the previous comparison study, it was clear that the voltage inverter type OVT is the most suitable for carrying out simulation experiments [1].

The Matlab program was used to simulate the simulated case that was used in the study, which is a ship network fed by a synchronous generator driven by a diesel internal combustion engine, the generator capacity is 250 kVA with a load of 100 kVA, another load of the same capacity is connected to observe the change that arises

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

from adding This load, where the change in the root mean squared value (RMS) of the voltage, and the change in the frequency value were observed. This experiment was repeated twice; Once without the proposed solution and the second time with the proposed solution, where it was noticed that there is a significant improvement in the stability of the effective value of the voltage on the network after adding the proposed solution, where the effective value of the voltage decreased from 9% (before using the voltage inverter) to 2% (after using the voltage inverter).

Key words: OVT voltage inverter, turbulent networks, marine ship networks, synchronous generators.

1. المقدمة

تطور استخدام الكهرباء في السفن البحرية من منظور تاريخي يبدأ بأول استخدام تجاري له في شكل مصابيح كهربائية في SS Columbia في عام 1880 لأغراض الإضاءة، ويمر باستخدامه في أنظمة الدفع الهجينة المزودة بتوربينات بخارية ومحركات ديزل وينتقل إلى أيامنا هذه مع أول حالة كهربائية لسفينة بحرية تعتمد كليًا على استخدام البطاريات في عام 2015 [2].

إن تعقيد أنظمة التيار المتردد أدى بالبحرية البريطانية إلى الاحتفاظ بأنظمة التيار المستمر، على الرغم من أن ألمانيا اتبعت خطى الولايات المتحدة التي تبنت أنظمة التيار المتردد[3]. في عام 1932 ظهرت العديد من الاعتراضات على أنظمة التيار المتردد، ولكن الآن مع الكترونيات القدرة الحديثة والمزايا التكنولوجية الأخرى، تم طرح مناقشة استخدام توزيع التيار المستمر أو التيار المتردد في أنظمة الطاقة على متن السفن وبعض النقاط الرئيسية سواء لاستخدام التيار المتردد أو المستمر في الورقة [4].

في محسنات الجهد للشبكات العامة تكون مهمة دوائر القدرة الإلكترونية هي ترشيح التوافقيات العليا لتيار الحمل عن المصدر، وترشيح التوافقيات العليا لجهد المصدر عن الحمل، ولكنها أبداً لا تعمل على تنظيم تردد الجهد ناهيك عن تثبيت التردد اللحظي. في

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

الشبكات العامة؛ القدرة الإجمالية للمصادر تعتبر كبيرة بشكل غير مقارن مع قدرة الأحمال المنفردة ولهذا فقيمة التردد يحددها فارق الإنتاج والاستهلاك الكلي للشبكة. موضوع اتزان الشبكة العامة الذي قد يتأثر بفصل أجزاء كبيرة من الشبكة أو نتيجة حدوث قصر كهربائي في دوائر الجهد العالي هو خارج نطاق هذا البحث. [5].

2. الطاقة المستخدمة على متن السفن

بعض النقاط التي يجب ملاحظتها حول الطاقة المولدة على متن السفن AC، تُفضل الطاقة ثلاثية الطور على التيار المستمر لأنها تعطي طاقة أعلي لنفس الحجم، ويفضل التيار ثلاثي الطور على الطور الواحد لأن أغلب الأحمال على ظهر السفينة هي أحمال متماثلة، حيث أن ما يقرب من 80٪ من الطاقة المولدة على السفينة قد تذهب في بعض الاحوال إلى أنظمة الدفع [6].

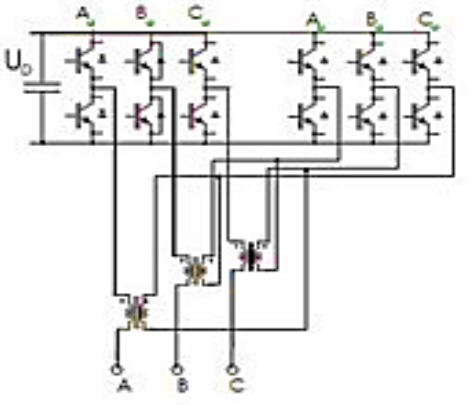
في أنظمة توزيع القدرة، عادةً ما يكون الجهد الذي يعمل في النظام الكهربائي للسفينة هو 440v أو 380v. ومع ذلك هناك بعض القطع البحرية الكبيرة التي يصل فيها الجهد إلى 3.3kv، 6.6kv، وحتى 11kv، إذا كان الجهد أقل من 1 كيلو فولت يسمى نظام الجهد المنخفض (LV) وأي جهد أعلى من 1 كيلو فولت يسمى نظام الجهد العالي.

3. العاكس الجهدي ذي المتجهات المتعامدة (ORTHOGONAL VECTORS BASED TOPOLOGY(OVT))

العاكس الجهدي ذي المتجهات المتعامدة والذي سنشير إليه اختصاراً بـ OVT، تم تقديمه في الورقات البحثية [7][8][9] وهو عبارة عن عاكس جهدي متعدد المستويات لتحسين شكل موجة جهد الخرج في التطبيقات التي تكون فيها حاجة لموجة جهدية شبيهة بالجيبية؛ بتعبير أكثر دقة تحسين قيمة تشوه التوافقيات الكلي THD (Total Harmonic Distortion) ، أي التقليل من إحتواء التوافقيات العليا في الطيف الترددي للموجة الجهدية على مخرج العاكس الجهدي. العواكس الجهدية متعددة المستويات أضحت تستعمل بشكل أكبر في نطاق الجهود المتوسطة والعليا [10][12][13]؛ ويقف وراء هذا التوجه ليس فقط نوعية الموجة الجهدية الشبيهة بالجيبية ولكن أيضاً طبيعة التركيبة لهذه النوعية من العواكس الجهدية يجعل مفاتيح القدرة الإلكترونية (مثلاً ترانزستورات IGBT وتايريستورات

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

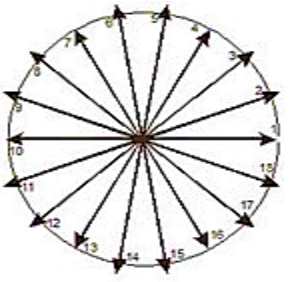
GTO و GCT) تعمل على جزء من الجهد الكلي لدائرة التغذية بالجهد المستمر V_{DC} مما يتيح العمل على جهود أعلى بكثير مما تحدده القيم القصوى لهذه المفاتيح الإلكترونية. الشكل 1 يوضح تركيبة دائرة القوى للعاكسOVT يتكون من عدد 2 عواكس جهدية نمطية ثنائية المستوى؛ الأول (الذي على اليسار) هو العاكس الرئيسي ويمثل عاكس القوى حيث مهمته إنتاج القدرة الفعالة، وبالتالي تغذية الحمل بالطاقة اللازمة. من الرسم يتضح أن أطوار الحمل متصلة مع هذا العاكس ومعزولة عن العاكس المساعد (الذي على اليمين) والذي يمثل العاكس المرشح.



الشكل (1): تركيبة دائرة القوى للعاكس OVT

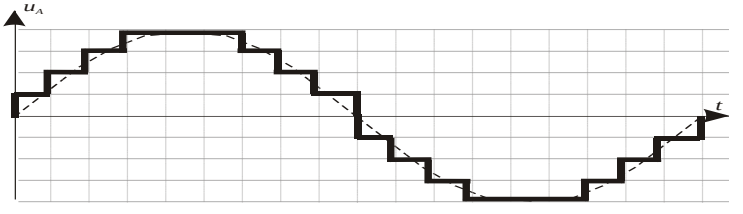
ينتج العاكس الرئيسي ستة متجهات فراغية فعّالة ومتجهين صفريين، ويضيف العاكس المساعد ثلاثة متجهات أحدها صفري مع كل متجه فعّال للعاكس الرئيسي؛ وبالتالي ينتج لدينا 18 متجها فعالا للعاكس OVT ومتجهان صفريان. الشكل 2 يصف المتجهات الفراغية الفعّالة لجهد المخرج؛ ومن الشكل نجد أنه لدينا عدد 18 متجهاً فراغياً. المتجهات 1، 4، 7، 10، 13، 16 هي المتجهات الفعالة الستة للعاكس الرئيسي، بينما باقي المتجهات يتم الحصول عليها بإضافة متجهات عمودية لهذه الستة كما سبق ذكره.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية



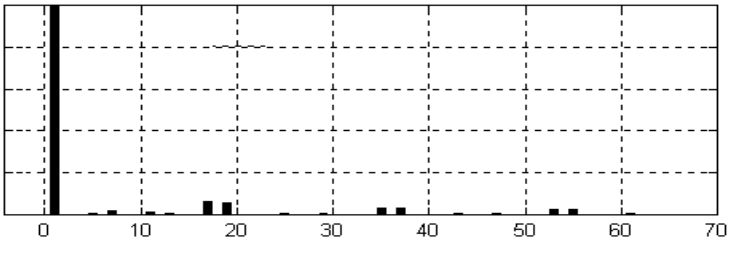
شكل (2): المتجهات الفراغية دائرة القوى للعاكس OVT

هذه المتجهات الفراغية الثمانية عشر الفعّالة؛ عند تفعيلها تسلسليا بالترتيب فإنها تعطي موجة جهدية على المخرج كما بالشكل 3، معامل التشويه الطيفي THD لهذه الموجة هو 10%.



الشكل (3): الموجة الجهدية للمخرج عند تفعيل المتجهات الفراغية تراتيبياً

الشكل 4 يمثل الطيف الترددي للموجة المبينة للعاكس OVT والشكل 5 يمثل الطيف الترددي للموجة الجيبية للعاكس (النمطي).

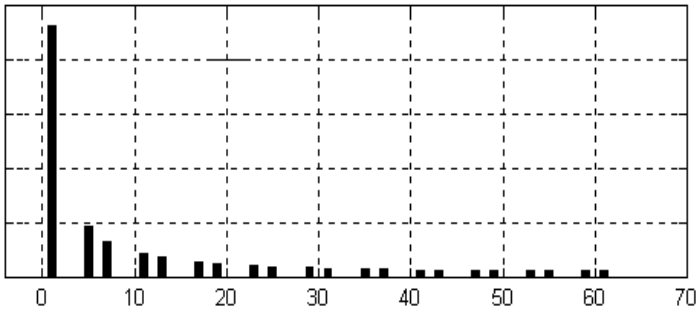


شكل (4): الطيف الترددي للموجة في الشكل (3)

نلاحظ من الشكل 4 اختفاء التوافقيات العليا، ماعدا المحادية لمضاعفات 18 أي 17، 19، 35، 37 حيث (معامل التشويه الطيفي THD لهذه الموجة هو 10%) بالمقارنة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

مع طيف الموجة الجهدية للعاكس الرئيسي (الذي يمثل العاكس النمطي) موضح بالشكل 5، حيث معامل التشويه الطيفي THD لهذه الموجة هو 30%.



شكل (5) الطيف الترددي للموجة الجهدية المربعة للعاكس النمطي

4. دراسة مقارنة بين العواكس الثلاث

الموجة الجهدية بالشكل 3 مماثلة لتلك التي نتحصل عليها من العاكس الجهدي IHC ذي السبع مستويات جهدية (أي ثلاثة خلايا معزولة لكل طور). هذه المحولات تصمم على القدرة الكلية، نفس الأمر يحدث مع العاكس OVT في الشكل 1، في هذه الحالة فإن قدرة المحول لا تتعدى 23% من القدرة الكلية للعاكس الرئيسي؛ حيث يقوم المحول بعمل ترشيح للتوافقيات العليا وليس من مهمته تمرير القدرة للحمل. عدد المستويات الجهدية للعاكس OVT أكبر من عدد المستويات الجهدية للعاكس **IHC** حيث أن هذا الأخير يملتك 5 مستويات جهدية بينما عاكس المتجهات المتعامدة OVT يملك 6 مستويات. عدد مفاتيح القدرة الإلكترونية للعاكس OVT هو 12 منها 6 ذات قدرة تتناسب مع الحمل، والست الأخرى ذات قدرة صغيرة (20% من قدرة المفاتيح الرئيسية) لأنها تعمل كمرشح.

في العاكس الجهدي OVT يمكن إلغاء المحول والعاكس المساعد واستبدالهما بثلاث خلايا معزولة مجموع قدرتها 23% أي بقدرة 8% لكل خليه. العاكس الجهدي OVT سهل التحكم به [14]؛ حيث بنيته أساساً تعتمد على وصف المتجهات الفراغية وبالتالي يمكن تعريف كل المتجهات في مصفوفة توافق وضعية الترانزستورات ومن تم التحكم برقم المتجه. عليه بمقارنة العاكس OVT بالعواكس (عاكس عديد المستويات ذو محول،

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

IHC) فإن الفارق كبير من ناحية التعقيد التركيبي والتحكم وكذلك الحجم والتكلفة، مما يجعل استعماله في تقديرنا هو الحل الأنسب.

من عيوب العاكس الجهدي OVT ثلاثي الطور عدم وجود الخط الصفري. وبالرغم أنه يمكن القضاء على هذا العيب بتقسيم دائرة التيار المستمر إلى قسمين إلا أنه لا يلزمنا هذا في تطبيقنا هذا، ففي الشبكات الكهربائية النمطية البحرية تكون التغذية من غير خط الصفر، والجهد 230 فولت يتم عند طريق محولات احادية الطور متعددة بسبب شروط الأمان.

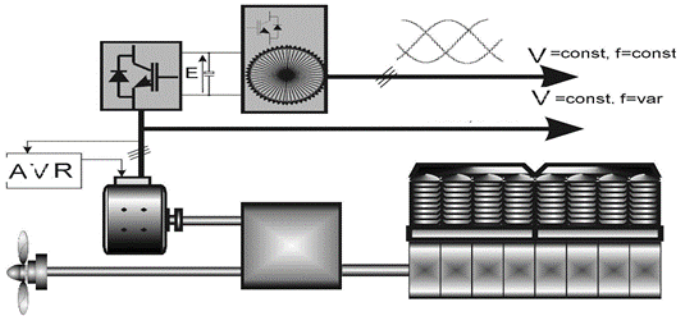
5. الدراسة التشبيهية لتحسين أداء الشبكات "المضطربة"

الشبكة الكهربائية للسفن (كمثال للشبكات الكهربائية المعزولة) قدرة الأحمال الكبيرة تكون مقاربة من قدرة التوليد ولهذا تبديل الأحمال ينعكس مباشرة وبشكل واضح على بارامترات تقييم جودة إنتاج الطاقة الكهربائية بالشبكة. تذبذب القيمة اللحظية لتردد الموجة الجهدية نتيجة لتبديل الأحمال الكهربائية المنفردة، هي ظاهرة تخص هذه الشبكات دون الشبكات العامة التي لا نلاحظ فيها مثل هذه الظواهر. لهذا السبب تسمى هذه الشبكات بالشبكات المضطربة؛ ويستعمل مهندسو السفن بشكل بديل تعبير اصطلاحي أخر هو "الشبكات اللينة" [15].

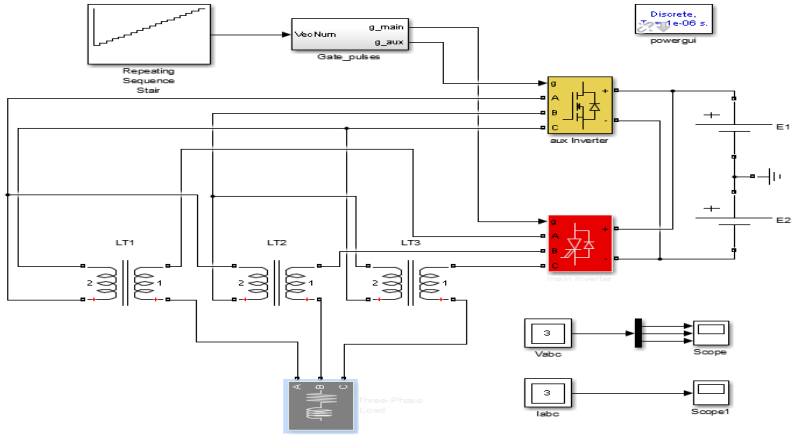
في الشبكات الكهربائية للسفن كانت تستعمل العواكس التيارية مع مولد عمود الرفاس[2]، حالياً توجد تصاميم كثيرة مستعملة ومقترحة يُستبدل فيها العاكس التياري بعاكس جهدي يعمل مع مولد عمود الرفاس سواء على الصعيد التطبيقي أو البحثي. مولدات عمود الرفاس لم تعد جذابة نظراً لأن منظومات الدفع في السفن الحديثة لها اتجاه مختلف تماماً وهو الدفع الكهربائي؛ لذلك فالحل المقترح يجب أن يراعي وجود الحلول القديمة التي لم تخرج من التطبيق العملي وكذلك الحلول الجديدة التي بدأت تفرض نفسها في الواقع التطبيقي والتجاري[15].

يمكن للعاكس الجهدي OVT في الشكل 7 العمل منفرداً أو بالتوازي مع الشبكة، التجارب التشبيهية تم اجرائها علي برنامج الماتلاب على الواجهة الرسومية للمُركبات الديناميكية سيمولينك (Simulink–Matlab) كما هو موضح بالشكل 8.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية



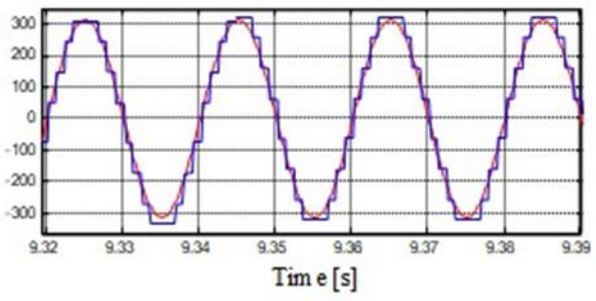
الشكل (7): العاكس OVT مع مولد عمود الرفاس



الشكل (8): دائرة OVT مع حمولة مادية 200kW وحمولة حثية50kVAr

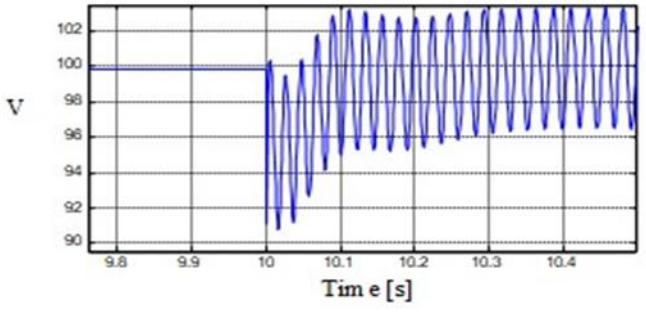
وذلك بتشبيه محطة قدرة كهربائية بها مولد ديزل قدرته 250KVA عليه تحميل حمولة مادية 200kW وحمولة حثية50kVAr . بعد اجراء عملية التزامن كما بالشكل 9 لموجة جهد الخرج للعاكس الجهدي مع موجة الجهد لمولد الديزل.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية



الشكل (9): عملية تزامن الموجة الجهدية للعاكس مع الموجة الجهدية للشبكة

في اللحظة ن=10 ثوان تم إضافة حمل أخر قدرته 100KVA ومعامل قدرة 0.8 حثي، نلاحظ أنه في لحظة إضافة الحمل حدث اضطراب في القيمة الفعالة للجهد كما في شكل 10، وكذلك الاضطراب في قيمة التردد كما في الشكل 11.



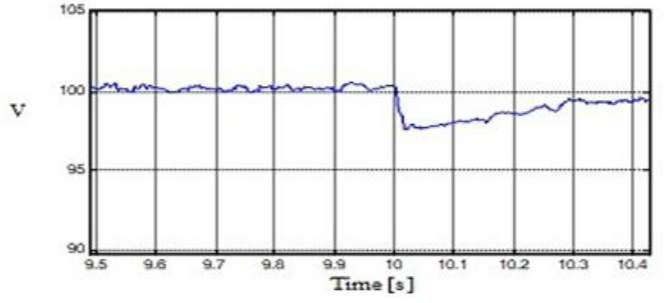
الشكل(10): قيمة الجهد قبل استعمال العاكس الجهدي عند تغير الحمل

ثم بعد ذلك تمت إعادة نفس التجربة مع فارق أنه هذه المرة تم تشغيل العاكس الجهدي OVT على التوازي مع المولد، مما اعطى قدرة إضافية وبالتالي فالقدرة الكلية للمنظومة مع تقليل ممانعة القصر.

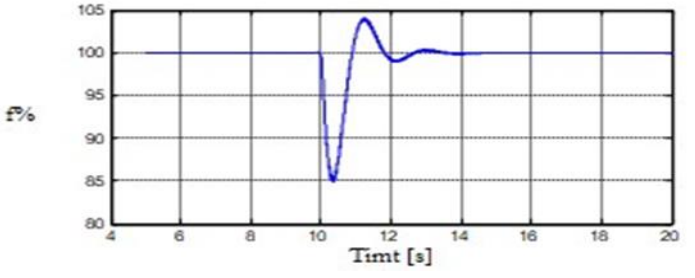
الشكل 11 يوضح التراوح في القيمة الفعالة نتيجة للهبوط الجهدي في الحالة العابرة الناتجة عند توصيل الحمل الثاني. بمقارنة الشكلين (10، 11) نلاحظ تحسن كبير في ثبوت القيمة الفعالة للجهد على الشبكة بعد إضافة الحل المقترح؛ حيث قلَّ تراوح القيمة الفعالة للجهد من 9% (قبل استعمال

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

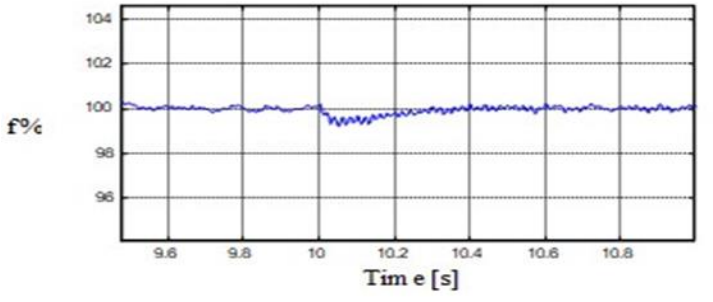
العاكس الجهدي –الشكل 10) إلى 2% (بعد استعمال العاكس الجهدي الشكل 11)؛ وكذلك قلَّ تراوح التردد للجهد من 15% (قبل استعمال العاكس الجهدي –الشكل 12) إلى 1% (بعد استعمال العاكس الجهدي –الشكل 13).



الشكل (11): تراوح القيمة الفعالة للجهد بعد استعمال العاكس الجهدي



الشكل (12): قيمة التردد للجهد قبل استعمال العاكس الجهدي



الشكل (13): قيمة التردد للجهد بعد استعمال العاكس الجهدي

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

الخلاصة

في الورقة البحثية تم عرض مقترح لتحسين جودة عمل الشبكات المضطربة على الشبكة الكهربائية للسفن البحرية. الحل يعتمد في إضافة عاكس جهدي متعدد المستويات للعمل المتوازي مع الشبكة.

لاختيار نوعية العاكس المناسب لحل لمشكلة الاضطرابات بالشبكة، تم عمل دراسة نظرية وذلك بمقارنة ثلاث أنواع مختارة من العواكس الجهدية متعددة المستويات (عاكس عديد المستويات ذو محول، OVT، IHC)، في الدراسة السابقة [1] تم التوصل إلى اختيار العاكس الجهدي نوع OVT لاستخدامه في إجراء الدراسة التشبيهية.

كمؤشرات لتحسن جودة عمل الشبكة تم إعتبار القيمة القصوى لتراوح القيمة الفعالة والتردد اللحظي عند وصل أحمال كبيرة.

النتائج التشبيهية باستخدام برنامج الماتلاب تبدو مشجعة حيث تم تقليل التراوح الجهدي من 9% إلى 2% وتراوح التردد من 15% إلى 1%. تقليل التراوح الترددي في هذه المنظومات شيء يستحق العناء ومن خلال نتائج هذه الورقة البحثية فإن تقليله الى هذه الدرجة شيء جيد.

المراجع

[1] طارق العائب، سالم الشفاط، محمد باتي، تحسين الأداء في شبكات السفن "المضطربة" الجزء الأول دراسة مقارنة، المجلة الدولية للعلوم والتقنية، العدد 27، Vol: 27.

[2] Skjong E., Rodskar E., Molinas M., Johansen T.,"The Marine Vessel's Electrical Power System: From its Birth to Present Day" December 2015 Proceedings of the IEEE 103(12):2410-2424, DOI:10.1109/JPROC.2015.2496722.

[3] Saint-Petersburg.Com,"MoritzHermannVonJacobi," Ttp://Www.Saintpetersburg.Com/Famous-People/Moritz-Hermann-Von-Jacobi/, Accessed:2015-09-26.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

[4] E. Skjong, E. Rødskar, M. Molinas, T. Johansen, And J. Cunningham, "The Marine Vessel's Electrical Power System: From Its Birth To Present Day," Proceedings Of The Ieee, Vol. 103, No.12, Pp. 2410–2424, Dec 2015

[5] Hashad M., A New Proposal of Electrical System Ship Conditioning, Imece 2006 Shanghai China.

[6] Jayasinghe, S.G.; Meegahapola, L.; Fernando, H.; Jin, Z.; Guerrero, J.M. Review Of Ship Microgrids: System Architectures, Storage Technologies And Power Quality Aspects. Inventions 2017, 2, 4.

[7] Hashad M., Iwaszkiewicz J., A Novel Orthogonal Vectors Based Topology Of Multilevel Inverters, Ieee Transactions On Industrial Electronics, Special Issue On Multilevel Inverters, 8/2002.

[8] Iwaszkiewicz J., Hashad M: „Converter Control with Help of Orthogonal Space Vectors – Novel Control Strategy and Novel Topologies", April 2-5-2002, Pcc-Osaka 2002.

[9] Hartman M., Hashad M., Iwaszkiewicz J.: "Developing Inverter Output Voltage Waveforms with Help of Orthogonal Space Vectors" – Iee Conference – Pevd 2000, London.

[10] Leon M., Fang Zheng Peng, Habetler G. Multilevel Converters For Large Electric Drives, Ieee Transaction On Industry Applications, Vol. 35, No. 1, January/February 1999.

[11] Anderson B., Barker C. A New Era In Hvdc, Iee Review, March 2000.

[12] J. Rodriguez, Jih-Sheng Lai, And Fang Zheng Peng, "Multilevel Inverters: A Survey Of Topologies, Controls, And

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

Applications," Ieee Transactions On Industrial Electronics, Vol. 49, No. 4, Pp. 724-738, Aug. 2002.

[13] H. Abu-Rub, J. Holtz, J. Rodriguez, And G. Baoming, "Medium Voltage Multilevel Converters-State Of The Art, Challenges, And Requirements In Industrial Applications," Ieee Transactions Industrial Electronics., Vol. 57, No. 8, Pp. 2581-2596, Aug. 2010.

[14] M. Hashad; J. Iwaszkiewicz, A novel orthogonal-vectors-based topology of multilevel inverters, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol: 49 Issue: 4

[15] Mindykowski M., Szweda M., Tarasiuk T., Voltage And Frequency Deviation In Exemplary Ship's Network – Research For Ship Owner, Electrical Power Quality And Utilisation Magazine, I (2005), N. 2, 61-67

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية