

تحسين أداء واستقرار أنظمة القيادة متغيرة السرعة بمقوم 12 نبضة في المنشآت الصناعية الحديثة

الدكتور غسان حايك*

الدكتور بسام عطية**

صفوان نضوه***

(تاريخ الإيداع 6 / 3 / 2018. قبل للنشر في 6 / 6 / 2018)

□ ملخص □

يعرض هذا البحث استخدام دائرة مقطع الأرباع الأربعة في حلقة التيار المستمر لنظام قيادة متغير السرعة ذي مقوم ديودي 12 نبضة بهدف تحسين مواصفات الجودة في شبكة التغذية وتقليل كل من عملي التموج و الذروة للجهد والتيار في حلقة التيار المستمر وتحسين استقرار نظام القيادة. تمت نمذجة ومحاكاة نظام القيادة متغير السرعة مع مقوم ديودي 12 نبضة، وذلك لتأكيد إمكانية استخدام مقطع الأرباع الأربعة مع مخططات دارات التقويم المختلفة وتحسين استقرار أنظمة القيادة الموجودة في المنشآت الصناعية الحديثة. الكلمات المفتاحية: مقطع الأرباع الأربعة، نظام قيادة متغير السرعة، مقوم 12 نبضة، جودة الطاقة، استقرار المنشآت الصناعية، مقطع الأرباع الأربعة

* استاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
**أستاذ مساعد- قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
***طالب دراسات عليا (دكتوراه)- قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

Enhancement Performance and Stability of Variable Speed Drive Systems with 12-Pulse Rectifier in Modern Industrial Facilities

Dr. Ghassan Hayek*
Dr. Bassam Atyeh**
Safwan Nadweh***

(Received 6 / 3 / 2018. Accepted 6 / 6 / 2018)

□ ABSTRACT □

This paper suggests improving the quality and performance of electrical grid by using Four Chopper circuit in the DC –Link of the variable speed drive system with 12 pulse rectifier. In addition, it analyses the effects on the ripple factor for both current and voltage in DC-link and improving the system's stability.

For this study a variable speed drive system has been simulated and designed with the proposed chopper and 12 pulse rectifiers. In order to confirm the ability of Using four - quadrant chopper with rectifier circuits and its ability to improve the stability of the power systems, a variable speed system has been simulated

Finally, A discussion of the results was introduced. The giving results show the advantages of using the proposed chopper with variable speed drive systems.

Keywords: four quadrant chopper, variable speed drive system, 12 pulse rectifier, power quality, industrial facilities stability, transfer function, four quadrant chopper.

*Professor, Department of Power Electrical Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Lattakia, Syria.

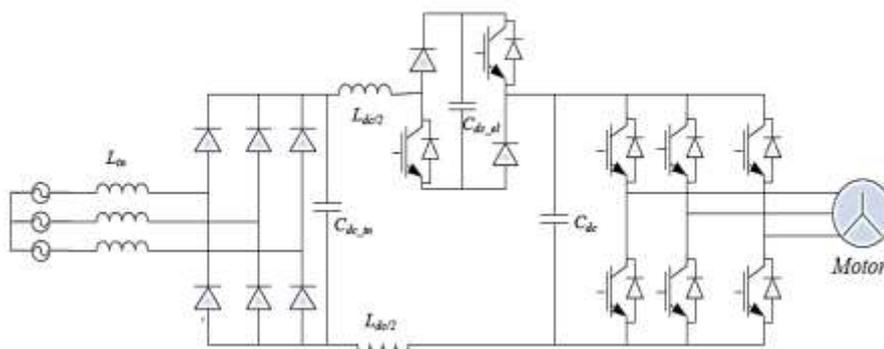
**doctor , Department of Mecatronics Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Lattakia, Syria.

***Doctorate Student, Department of Power Electrical Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Lattakia, Syria

مقدمة:

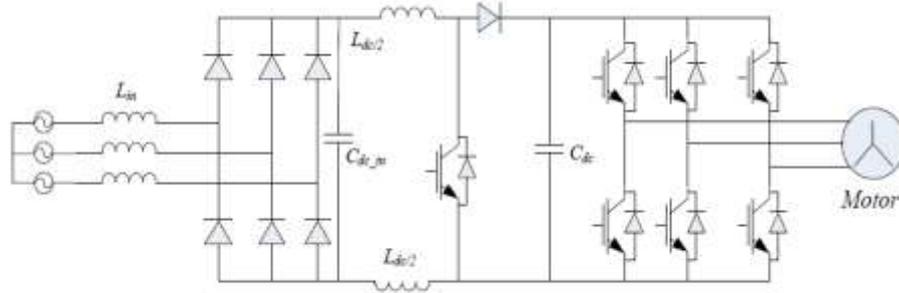
شبكات التوزيع جزء من نظام القدرة الكهربائية تتكون من العديد من الأحمال الخطية واللاخطية، و لقد أدى الاستخدام الواسع لأنظمة القيادة متغيرة السرعة VSDs في المنشآت الصناعية الى حدوث تشوهات في موجات الجهد والتيار، الأمر الذي يؤثر سلبا على النظام الكهربائي مسببا مشاكل في جودة الطاقة. لذلك فإنه لا بد من إيجاد حلول للحفاظ على الحدود المعيارية العالمية لعامل التشويه الكلي لموجات الجهد والتيار، و ذلك من خلال إيجاد الحلول المناسبة لتخميد التوافقيات و التخلص من مشاكلها. من المتطلبات الأساسية لتحسين جودة تيارات الدخل ثلاثية الطور المغذية لأنظمة القيادة متغيرة السرعة هو إيجاد حلول تنافسية قابلة للتطبيق، حيث يجب أن تكون تيارات الدخل جيبيية، ولكن قد تكون التكلفة باهظة. لا توجد قوانين تلزم الصناعيين استخدام أنظمة قيادة ذات تيارات دخل جيبيية، والتي تتطلب في هذه الحالة من تعديل جهة الدخل. يعد تعديل عرض النبضة التثائي المرحلة PWM مع مبدل منبع الجهد VSI و مقوم ديودي لأجل المبدلات المتأوبة ثلاثية الطور هو الخيار الأفضل لبساطته وكلفته المنخفضة نسبيا. عند إجراء أي تعديل لتطوير نظام القيادة لا بد من مراعاة الجوانب الأكثر أهمية وهي (المردود العالي، الحجم الصغير، والكلفة القليلة)، علما بأن المردود العالي والحجم الصغير هما الجانبان الأكثر أهمية عند دمج المحرك مع تطبيقات الكترولنيات القدرة الحديثة.

يعاني مكثف الحلقة المستمرة من مشاكل كبيرة في هذا المجال، حيث تستخدم المكثفات الالكتروليتيية بكثرة حاليا ولكنها ضخمة وغالية الثمن وقصيرة العمر مقارنة مع تجهيزات أنصاف النواقل الأخرى المستخدمة في هذا المجال. استخدمت انواع مختلفة للمبدلات الموجودة ما بين خرج المقوم الديودي ومكثف الحلقة المستمرة للحصول على تيار في مكثف الحلقة المستمرة. أحد هذه الأنواع مقطع تقوية- تضعيف ذي الاستطاعة الصغيرة كما هو موضح في الشكل (1). تم الوصول الى تحسين جودة تيارات الدخل والحصول على تيار ثابت في حلقة التيار المستمر. بما ان جهد الحلقة المستمرة من مرتبة عشرات الفولط فإن العناصر الالكترونية ذات الفصل السريع مثل IGBT وثنائيات شوتكي تسمح بالعمل عند ترددات تصل الى حدود 100 كيلو هرتز مع ضياعات منخفضة، كما و يسمح تردد التبديل العالي الموجود مع جهد تبديل منخفض إلى إنقاص حجم المكونات الساكنة L_{dc} , C_{dc-in} , L_{in} حيث أنه من الممكن تعويض عدم توازن جهد الشبكة بنجاح [1]. تعاني هذه الخطة من عتبة رئيسية هي انخفاض جهد الحلقة المستمرة الى القيمة 490V، وهذا يتطلب حل لهذه المشكلة من خلال التحكم الأمثل في جهد الحلقة المستمرة.



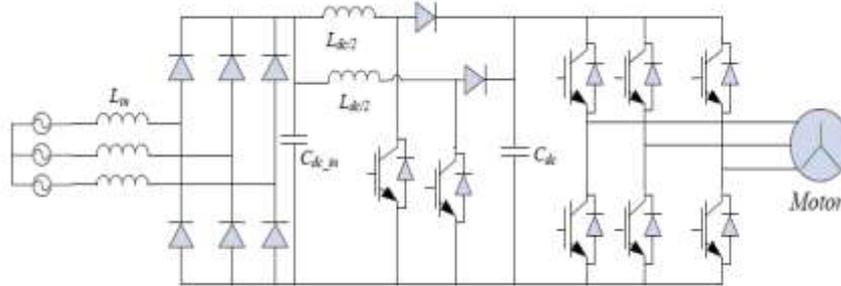
الشكل (1) استخدام مقطع تقوية - تضعيف ذي استطاعة المستمرة في حلقة التيار المستمر.

يبين الشكل (2) استخدام مبدل تقوية ذي نمط التوصيل المستمر (Continuous Conduction Mode CCM) بين خرج المقوم الجسري الثلاثي الطور ومكثف الحلقة المستمرة. يتم التحكم في تيار وجهد الحلقة المستمرة لتأمين تيارات دخل جيبيية وتنظيم جهد الحلقة المستمرة، ولكن من الضروري استخدام مكثف ذي حجم كبير. بالإضافة الى أن التحكم في مثل هذا النوع من الدارات يطلب حلقتي تحكم الأولى بطيئة لجهد الحلقة المستمرة وأخرى أسرع لتيار الحلقة المستمرة، حققت هذه الطريقة عامل تشوية كلي لتيار الدخل 34% [2].



الشكل (2) استخدام مبدل تقوية ذي نمط توصيل مستمر بين خرج المقوم ومكثف حلقة التيار المستمر.

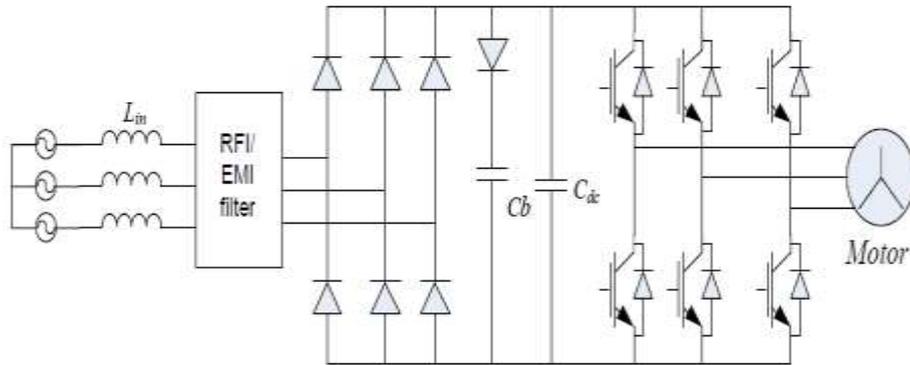
لإنقاص حجم المرشح الساكن استخدمت مبدلات تقوية ذات مدخلين التي تظهر في الشكل (3)، حيث ان جهد التبديل يساوي الى جهد الحلقة المستمرة الكلي، أي أن كل ملف سيجمل فقط نصف تيار الحلقة المستمرة. لقد حققت هذه الطريقة عامل تشوية كلي لتيار الدخل حوالي 35% [3].



الشكل (3) استخدام مبدلات تقوية ذات مدخلين في حلقة التيار المستمر.

في الآونة الأخيرة لقد تم استبدال كل مكونات الحلقة المستمرة التقليدية بمكثف شريطي صغير، سميت بالقيادة المتناوية ذات الحلقة المستمرة الصغيرة. استخدمت هذه القيادة في تطبيقات التحكم بالسرعة ذات الحلقة المغلقة في المراوح لأجل التهوية، بالإضافة الى المضخات المستخدمة في أنظمة التسخين والتبريد والمضخات لأجل تقوية الضغط ومستويات التحكم [4],[5].

تبين هذه القيادة طريقة متكاملة وذات كلفة قليلة حيث ان المكثفات المستخدمة لها عمر أطول وحجم أقل ومعدة خصيصا للدمج مع أنظمة القيادة ذات الحلقة المستمرة الصغيرة. عامل التشوية الكلي لتيارات الدخل حوالي 30% الى 35%. أهم ميزات هذه الطريقة هي أنها ذات كلفة منخفضة ومصممة بشكل مدمج حيث تعطي عامل تشوية كلي أقل في تيارات الدخل ولكنها تعاني من مستوى أداء منخفض، تعتبر هذه القيادة أنها غير مؤذية للشبكة في ضوء انقاص توافقيات التيار المنخفض التردد حيث ان IEC 1000-3-12(2) يتطلب تركيب مفاعلات خارجية عند نقطة الاقتران المشترك [6].



الشكل (4) القيادة المتناوبة ذات الحلقة المستمرة الصغيرة

أهمية البحث وأهدافه:

من المهام الأساسية أنظمة القيادة متغيرة السرعة هي توفير الطاقة، ولتحقيق هذه الميزة يمكن استخدام دائرة مقطع الأرباع الأربعة في الحلقة المستمرة بدون إجراء أي تعديلات في هيكلية النظام مما يحسن في استقرار النظام. الهدف الأساسي عند معالجة الاضطراب في الشبكات الصناعية هو الوصول الى أقل قيمة ممكنة لعامل التشويه الكلي %THD لتيارات وجهود عقد الشبكة، وذلك بغية الوصول الى أداء عالي للمنشآت الصناعية. و نقترح تحقيق ذلك في هذا البحث باستخدام مقطع الأرباع الأربعة في الحلقة المستمرة لنظام قيادة متغير السرعة ذي مقوم ديودي 12 نبضة .

منهجية البحث:

يقوم البحث على تحسين الاستقرار و مواصفات الجودة لشبكة التغذية في أنظمة القيادة متغيرة السرعة الموجودة في المنشآت الصناعية باتباع الخطوات التالية:

1. نمذجة أنظمة القيادة متغيرة السرعة متوسطة الاستطاعة.
2. اختيار التصميم الأنسب لدارات التقويم.
3. نمذجة مقطع الأرباع الأربعة المستخدم في الحلقة المستمرة.
4. اختيار استراتيجية التحكم الأفضل لإعطاء نبضات القدر لترانزستورات مقطع الأرباع الأربعة وللقالبة وفقاً لعامل التموج في الحلقة المستمرة.
5. تقييم أداء نظام القيادة متغير السرعة من خلال مقارنة نتائج معامل التشويه الكلي %THD لكل من موجتي الجهد والتيار مع وبدون استخدام دائرة المقطعات المتحكم بها. بالإضافة إلى مقارنة النتائج مع القيم المحددة في المواصفات العالمية IEC و IEEE 519-1192.
6. إيجاد تابع النقل المكافئ لنظام القيادة قبل وبعد إضافة دائرة المقطع الى الحلقة المستمرة مع رسم مخطط بود للنظام المدروس في كلتا الحالتين لتحليل استقرار نظام القيادة.
7. تحليل استجابة النظام المقترح مع وبدون مقطع الأرباع الأربعة عند دخل خطوة واحدة ونبضي واحدي.

طرائق البحث ومواده:

تتكون المنشآت الصناعية من الأحمال التالية [7]:

1. الأحمال الكهربائية غير الصناعية.
2. الأحمال الكهربائية الصناعية (خفيفة - متوسطة - ثقيلة).
3. المحولات والمفاعلات.

يمكن تقييم جودة أداء أي منشأة صناعية من خلال العديد من العوامل أهمها [8]:

- ❖ التوافقيات.
- ❖ عامل الاستطاعة.
- ❖ الاستقرار الديناميكي والساكن.
- ❖ الضياعات.
- ❖ الانسجامية الكهرومغناطيسية EMC.

يظهر أثر التوافقيات في المنشآت الصناعية من خلال العديد من الظواهر أهمها [9]:

1. زيادة التسخين في المولدات والمحركات.
2. زيادة ضياع الطاقة.
3. مشاكل في كابلات الطاقة.
4. انهيار في مكثفات الطاقة.
5. التشويش على أجهزة القياس.
6. التشغيل غير الموثوق لريليهات الحماية.
7. انخفاض مستويات حدود الاستقرار.

بالإضافة الى تأثير التوافقيات على عامل الاستطاعة فإن قيمته تنخفض إلى النصف [10].

$$PF = \frac{I_{a1}}{I_a} \times \cos \Psi \quad (1)$$

$\frac{I_{a1}}{I_a}$: عامل استطاعة الإزاحة للتوافقية الأولى وهو حاصل قسمة القيمة الفعالة لتيار التوافقية الأولى على القيمة الفعالة للتيار الكلي.

$\cos \Psi$: عامل استطاعة التشويه وهو العامل الذي تركز عليه جميع الدراسات السابقة، يؤخذ بعين الاعتبار في دراسات تحسين عامل الاستطاعة.

و الجدير بالذكر أن للتوافقيات تأثير على أنظمة عمل الشبكة والأحمال الصناعية، حيث تسبب التشوهات في موجة الجهد الى هبوط جهد كبير في المنشآت الصناعية و ظهور حالات عدم استقرار وانهيار المنظومة وخروجها عن الشبكة العامة [11].

اختيار التصميم الأنسب لدارات التقويم:

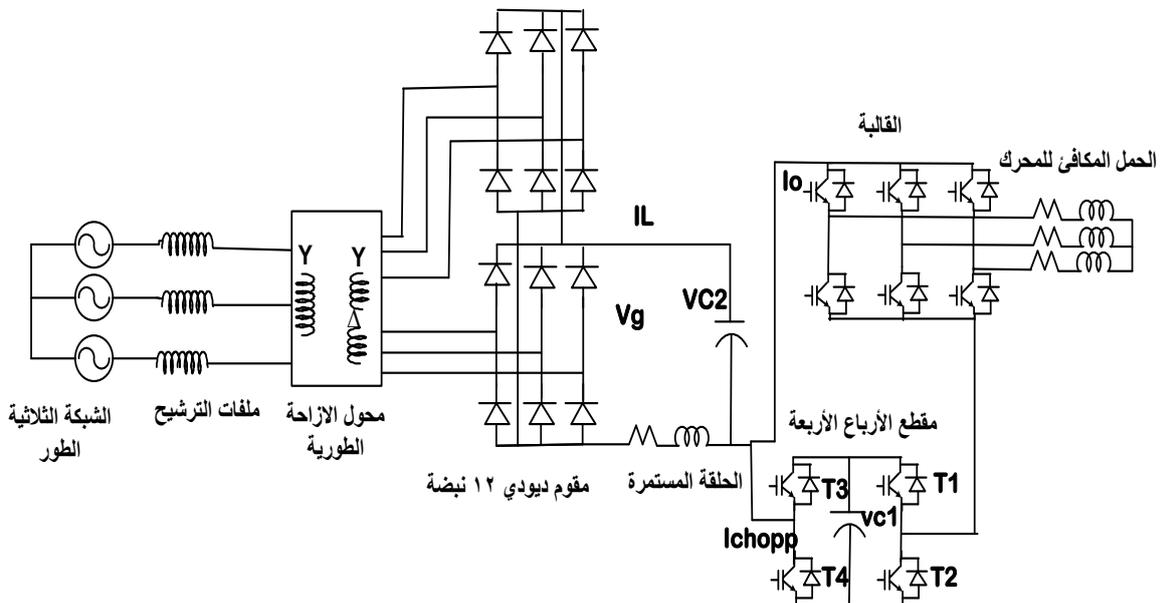
تصنف دارات التقويم حسب عدد النبضات في اشارة الخرج لكل دور وفق التالي:

1. مقوم جسري ذي 6 نبضات.
2. مقوم جسري ذي 12 نبضة.

3. مقوم جسري ذي 18 نبضة.

4. مقوم جسري ذي 24 نبضة.

يتم الحصول على مقوم ذي 12 نبضة عن طريق وصل مقومين ذي 6 نبضات على التوازي، لهذا التركيب فائدة كبيرة تتلخص بإنتاج موجات تيار أكثر نعومة من المقوم السداسي النبضات واعطاء عامل استطاعة أعلى. المحولات الاضافية المستخدمة لتحقيق هذا التركيب جعلت من هذا الحل غالي جدا وزادت من الحجم العام للتركيب. كما ان مقومات ذات 18 و 24 نبضة مكونة من 3 او 4 مقومات ذات 6 نبضات موصولة على التوازي [12]. ولأجل تطوير أداء الشبكة، قمنا بوضع دائرة مقطع الأرباع الأربعة في الحلقة المستمرة بدلا من دائرة مقطع تقوية تضعيف كما هو موضح في الشكل (6)



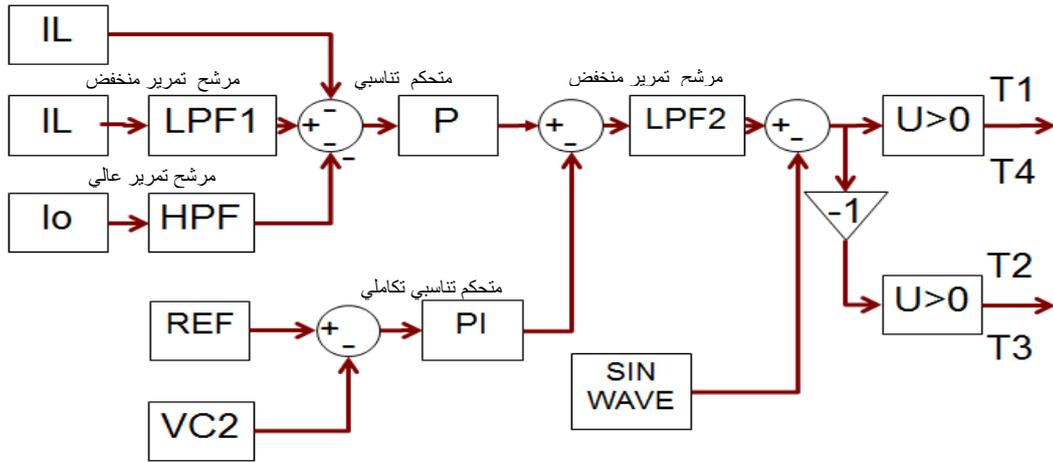
الشكل (6) نظام القيادة متغير السرعة ذي مقوم 12 نبضة مع مقطع الأرباع الأربعة في حلقة التيار المستمر بيئة MATLAB.

في هذه الدارة تيار الحمل الوسطي I_L لا يمر في العناصر الفعالة لدارة المقطع، يسلك مقطع الأرباع الأربعة المستخدم سلوك مرشح هجين (تسلسلي - تفرعي) يمرر التيارات ذات الترددات العالية فقط. شحن وتفريغ مكثف المقطع C_1 محدد من خلال إشارة تيار المقطع I_{CHOPP} وبالتالي فإنه من الضروري التحكم بتيار المقطع الثنائي الاتجاه لذلك تم استخدام أربعة مفاتيح الكترونية.

تعديل جهد ثلاثي المرحلة $V_{c1}, V_{c2}, V_{c2} + V_{c1}, V_{c2} - V_{c1}$ متوفر عند جهد دخل المبدلة V_o . عند التحكم بالتيار المستمر I_L ، يزداد التيار عند الجهد $V_o = V_{c2} - V_{c1}$ وينخفض عند $V_o = V_{c2} + V_{c1}$ كما انه يوجد ممر للتيار بإهمال المكثف C . التيار المار الى الجسر الكامل لدارة المقطع I_{CHOPP} ، مختلف عن تيار المبدلة I_o وتيار الملف I_L .

عندما تعمل المبدلة بدون دائرة المقطع يكون الجهد على مقدمة المبدلة $V_o = V_{c2}$ ، وعندما يعمل ترانزستور واحد فقط من الترانزستورات T_1, T_4 فإن مكثف دائرة المقطع يتم تجاوزه، وبالتالي فإن أحد الترانزستورات T_2, T_3 سيكون مفعلاً خلال هذه الفترة.

ويوضح الشكل (7) مخطط التحكم المستخدم المكون من مرشح تمرير منخفض ومرشح تمرير عالي ومتحكم تناسبي تكاملي، ويتم الحصول على اشارات التحكم من خلال مقارنة الاشارة المثلثية مع اشارة التحكم. يستخدم مرشح تمرير منخفض LPF_1 لتخفيف المكونات ذات الترددات العالية الموجودة في تيارات الأحمال النبضية. أما المتحكم التناسبي P فهو يستخدم للتحكم في شكل التيار I_L . يقوم مرشح تمرير عالي HPF باكتشاف المكونات العالية التردد وحجز المكونات المنخفضة التردد ل I_L . أما مرشح التمرير المنخفض LPF_2 فإنه يخفض من تموجات التبديل الترددي. أما المتحكم التناسبي - التكاملي PI فهو يستخدم للتحكم بجهد مكثف دارة المقطع الذي يوصل على التفرع مع حلقة التحكم الرئيسية، تم ضبط هذا المتحكم باستخدام الموالفة اليدوية.



الشكل (7) مخطط التحكم

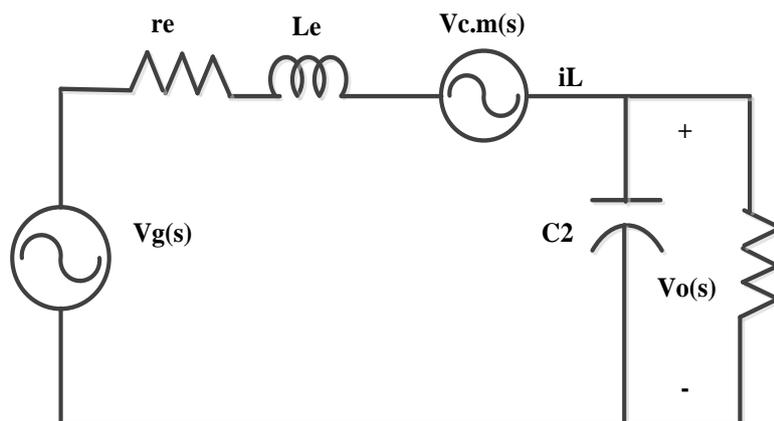
يحدد عامل التوصيل للترانزستورات من خلال التيار I_L وجهد الخرج المستمر V_{c2} . يتم التحكم بتيار الملف I_L الى قيمة ثابتة من خلال تشغيل أربعة ترانزستورات IGBT الترانزستورات $(T_1, T_2), (T_3, T_4)$ يعملان عند اشارات بوابة متتامة تحدد من خلال مقارنة اشارة التحكم M مع الاشارة الجيبية. تكون آلية العمل كالتالي:

- ❖ في الفترة التي يكون فيها كل من T_1, T_2 (ON) في حالة وصل فإن جهد المبدلة $V_o = V_{c2} - V_{c1}$.
- ❖ وعندما يكون كل من T_4, T_3 (OFF) في حالة وصل فإن جهد المبدلة $V_o = V_{c2} + V_{c1}$.

الدارة المكافئة للمقوم والمقطع:

الهدف الاساسي للتحكم هو:

- ✓ تخفيض التموجات في جهد الخرج على المكثف V_{c2} .
 - ✓ الحفاظ على قيمة ثابتة لتيار الملف مساوية الى تيار الحمل.
- سعة مكثف دارة المقطع C_1 هي أكبر بكثير من سعة المكثف C_2 ، حيث يخضع المكثف C_1 خلال فترة التوصيل الواحدة الى كل من الشحن والتفريغ، وبالتالي فإن الجهد V_{c2} يعتبر جهد ثابت، بينما يتم اشتقاق توابع النقل لأجل جهد الخرج V_o وتيار الملف I_L ، يبين الشكل (8) الدارة المكافئة للمقوم والمقطع.



الشكل (8) الدارة المكافئة المتناوية للمقوم والمقطع التابع الى المقوم الثلاثي الأطوار

تم اشتقاق توابع النقل لكل من جهد الخرج وتيار الملف.

حيث m هي الدخل كإشارة تعديل تكون تابعة لفترة توصيل المفاتيح الفعالة T_1, T_2, T_3, T_4 .

m : هي اشارة التعديل التي تستخدم لتوليد نبضات البوابات للترانزستورات T_1, T_2, T_3, T_4 ، وستكون قيمة عامل

التعديل m مساوية الى $m = 1 - 2D$ حيث D : عامل التوصيل

V_g الجهد المكافئ و L_e , r_e المقاومة والمفاعلة المكافئة.

اشتقاق توابع نقل الحلقة المفتوحة للمبدل:

تحتوي الدارة المكافئة للمقطع والمقوم الجسري الثلاثي الطور على تابعي دخل متغيرين مستقلين هما مدخل التحكم

$m(s)$ ودخل الخط $V_g(s)$. تغيرات جهد الخرج المتناوب لجهد خرج المكثف $V_o(s)$ يمكن ان نعبر عنه كتابع

لمتحولي دخل مستقلين.

$$V_o(s) = G_{vg}(s) \cdot V_g(s) + G_{vm}(s) \cdot m(s) \quad (2)$$

نعرف كل من تابعي النقل $G_{vg}(s)$, $G_{vm}(s)$ كالتالي:

$$G_{vg}(s) = \left. \frac{V_o(s)}{V_g(s)} \right|_{m(s)=0} \quad (3)$$

$$G_{vm}(s) = \left. \frac{V_o(s)}{m(s)} \right|_{V_g(s)=0} \quad (4)$$

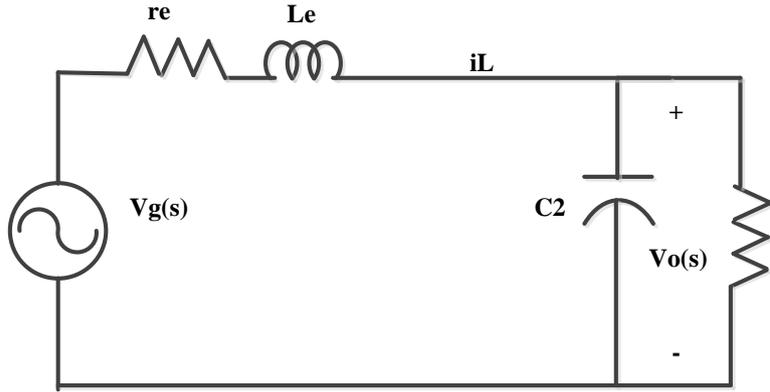
$G_{vg}(s)$: تابع نقل جهد الخرج الى جهد الدخل.

$G_{vm}(s)$: تابع نقل جهد الخرج الى اشارة التحكم.

تابع نقل جهد الخرج الى جهد الدخل:

نحصل على تابع نقل $G_{vg}(s)$ بضبط تغيرات مدخل التحكم على القيمة صفر وبعدها حل الدارة لأجل ايجاد تابع

النقل كما في الشكل التالي:

الشكل (9) تابع نقل $G_{vg}(s)$ من خلال ضبط تغيرات مدخل التحكم على القيمة صفر

يتم حساب تابع النقل $G_{vg}(s)$ من خلال حل هذه الدارة البسيطة باستخدام قوانين حل الدارات الأساسية.

$$V_o(s) = \frac{R \cdot \frac{1}{C_o \cdot S}}{\frac{R \cdot C_o \cdot S + 1}{C_o \cdot S}} \cdot I_L(s) \quad (5)$$

$$V_o(s) = \frac{R}{R \cdot C_o \cdot S + 1} \cdot I_L(s) \quad (6)$$

$$V_g(s) = r_e + L_e \cdot s + \frac{R}{R \cdot C_o \cdot S + 1} \cdot I_L(s) \quad (7)$$

$$V_g(s) = \frac{R \cdot r_e \cdot C_o \cdot S + r_e + L_e \cdot S + L_e \cdot R \cdot C_o \cdot S^2 +}{R \cdot C_o \cdot S + 1} \cdot I_L(s) \quad (8)$$

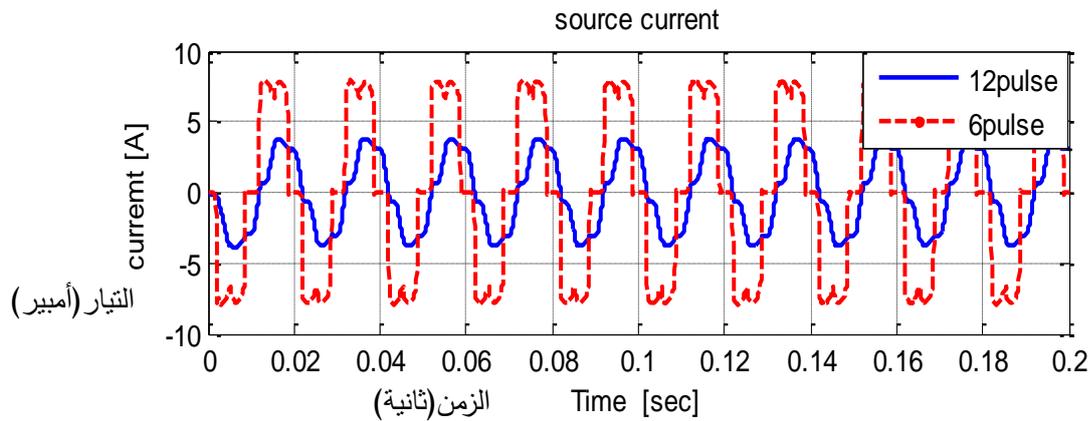
$$\frac{V_o(s)}{V_g(s)} = \frac{R}{L_e \cdot R \cdot C_o \cdot S^2 + (R \cdot r_e \cdot C_o + L_e) \cdot S + r_e + R} \quad (9)$$

يصف تابع النقل كيف تؤثر التغيرات أو الاضطرابات الحاصلة في جهد الدخل المطبق على جهد الخرج $V_o(s)$.

النتائج والمناقشة:

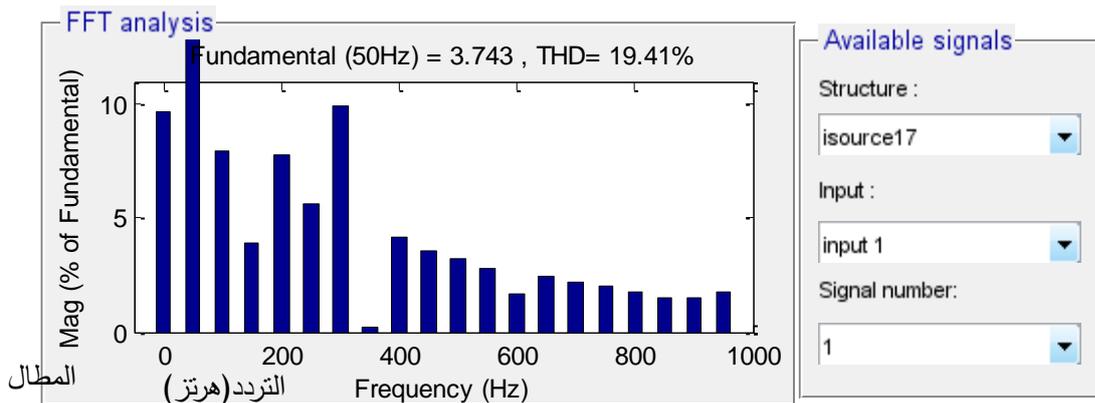
يبين الشكل (13) تيارات الشبكة لنظام القيادة متغير السرعة ذي دارة تقويم ذات 12 نبضة مع دارة مقطع الأرباع الأربعة المضافة في الحلقة المستمرة . نلاحظ انخفاض تيار الشبكة بشكل واضح حيث تمثل الحالة الأولى 12 pulse استخدام دارة مقطع الأرباع الأربعة مع مقوم ذي 12 نبضة والحالة الثانية 6 pulse استخدام مقطع الأرباع الأربعة مع مقوم ذي 6 نبضات.

تيارات الشبكة

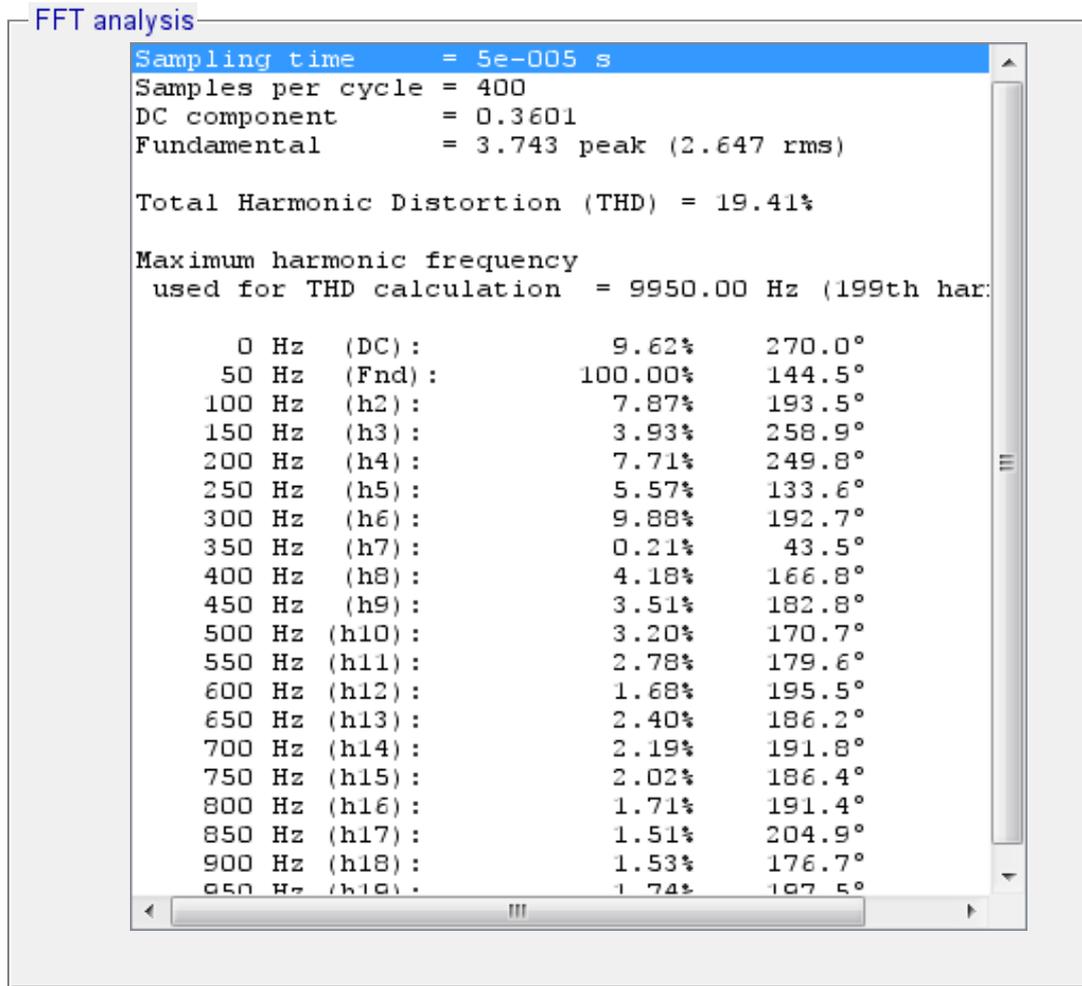


الشكل (13) تيارات الشبكة لنظام قيادة متغير السرعة مع مقوم 12 نبضة

إن عامل التشويه الكلي لتيار دخل نظام القيادة متغير السرعة قد انخفض من القيمة %25.53 الى القيمة %19.41 كما هو موضح في الشكل (14)، ويبين الشكل (15) القيمة العظمى والفعالة لهذا التيار ومقدار التشويه في كل توافقية من التوافقيات الموجودة في هذه الموجة.

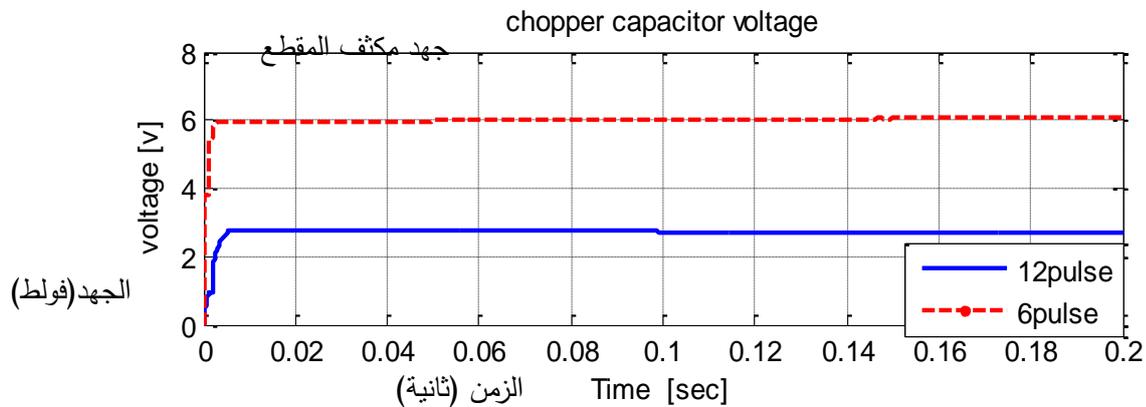


الشكل (14) عامل التشويه الكلي لتيار دخل نظام القيادة متغير السرعة



الشكل (15) مقدار التشويه في كل توافقيات من توافقيات تيار الدخل.

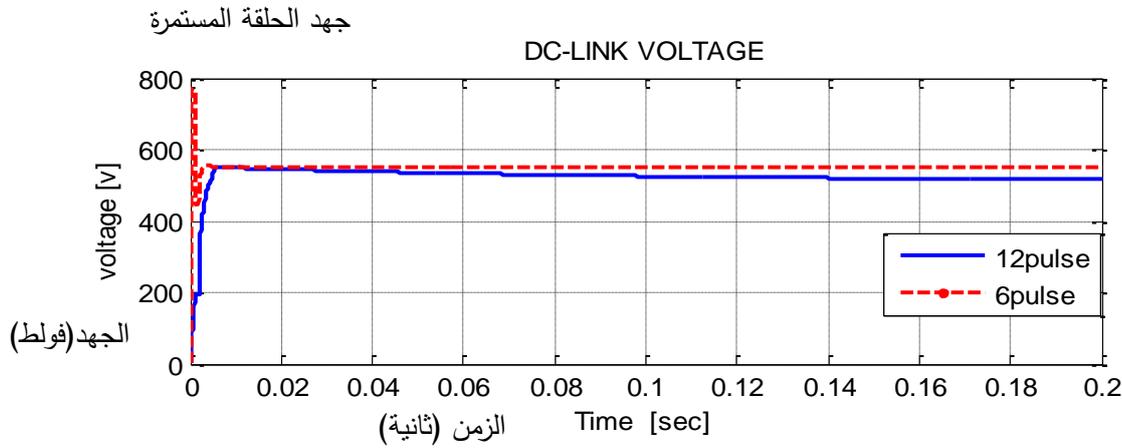
و من الشكل (16) نجد ان جهد مكثف دائرة المقطع قد انخفض الى قيمة حوالي 3 V عند استخدام دائرة مقطع الأرباع الأربعة مع دائرة التقويم ذات 12 نبضة، بينما كانت هذه القيمة 6 V عند استخدام دائرة المقطع مع مقوم ذي 6 نبضات.



الشكل (16) جهد مكثف دائرة مقطع الأرباع الأربعة.

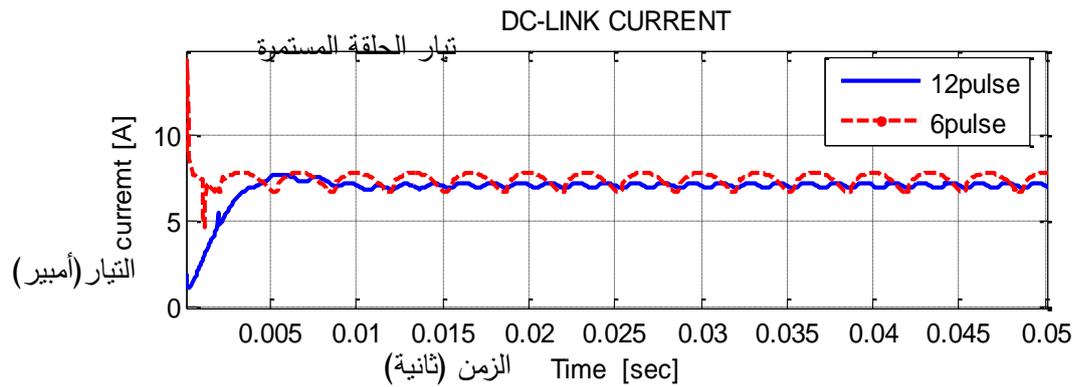
جهد الحالة المستقرة لحلقة التيار المستمر لم يتغير كثيرا عند استخدام مقطع الأرباع الأربعة مع مقوم ذي 12 نبضة عنه في حالة استخدام مقوم ذي 6 نبضات. ولكن الاستجابة العابرة لجهد حلقة التيار المستمر في حالة مقوم 12

نبضة أفضل منها في حالة مقوم ذي 6 نبضات من ناحية التجاوز الأعظمي الامر الذي يبين تحسين الأداء الديناميكي لنظام القيادة من خلال استخدام مقوم ذي 12 نبضة مع مقطع الأرباع الأربعة ولكن سرعة الاستجابة تبقى نفسها.



الشكل (17) جهد حلقة التيار المستمرة.

يبين الشكل (18) تيار خرج المقوم الديودي (تيار حلقة التيار المستمر) في كلا الحالتين المذكورتين سابقا حيث يبين الجدول أدناه قيم عامل التموج، عامل الذروة، وعامل الاستطاعة لنظام قيادة متغير السرعة التقليدي وعند استخدام دائرة لمقطع الأرباع الأربعة مع مقوم 6 نبضات و 12 نبضة.



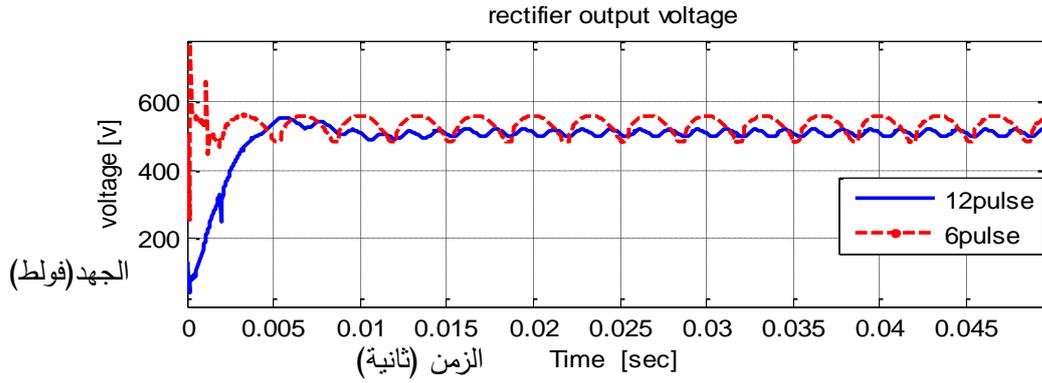
الشكل (18) تيار حلقة التيار المستمر

الجدول (1) مقارنة بين مواصفات الجودة لنظام القيادة متغير السرعة عند حالات عمل مختلفة.

القيمة	نظام القيادة التقليدي	مقطع مع مقوم 6 نبضات	مقطع مع مقوم 12 نبضة
عامل التموج	4.9	1.105	0.3
عامل الذروة في جهة الشبكة	1.74	1.30	1.27
عامل الذروة في جهة الحلقة المستمرة	1.40	1.05	1.01
عامل الاستطاعة	0.956	0.951	0.948

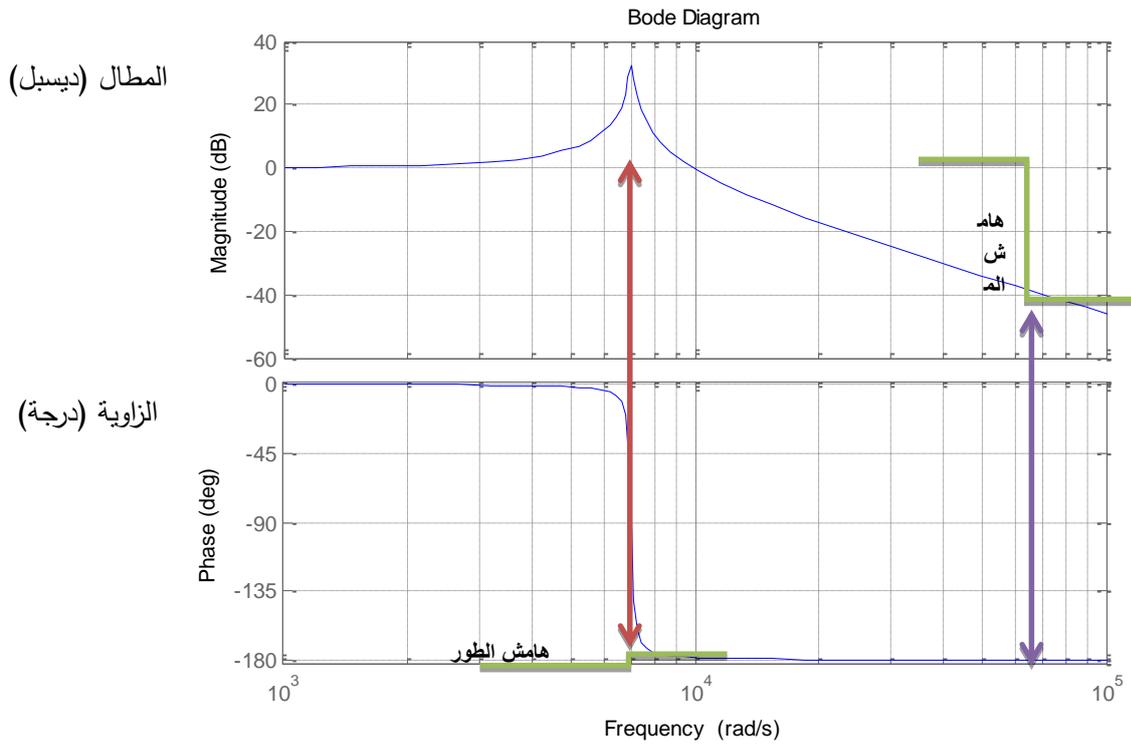
وكما هو واضح من الشكل (19) ان عامل التموج لجهد خرج الجسر الديودي هو اقل منه عند استخدام مقطع الأرباع الأربعة مع مقوم ذي 12 نبضة مقارنة مع مقوم 6 نبضات، كما نلاحظ انخفاض زمن الاستقرار والتجاوز الاعظمي عند استخدام مقوم 12 نبضة.

جهد خرج المقوم



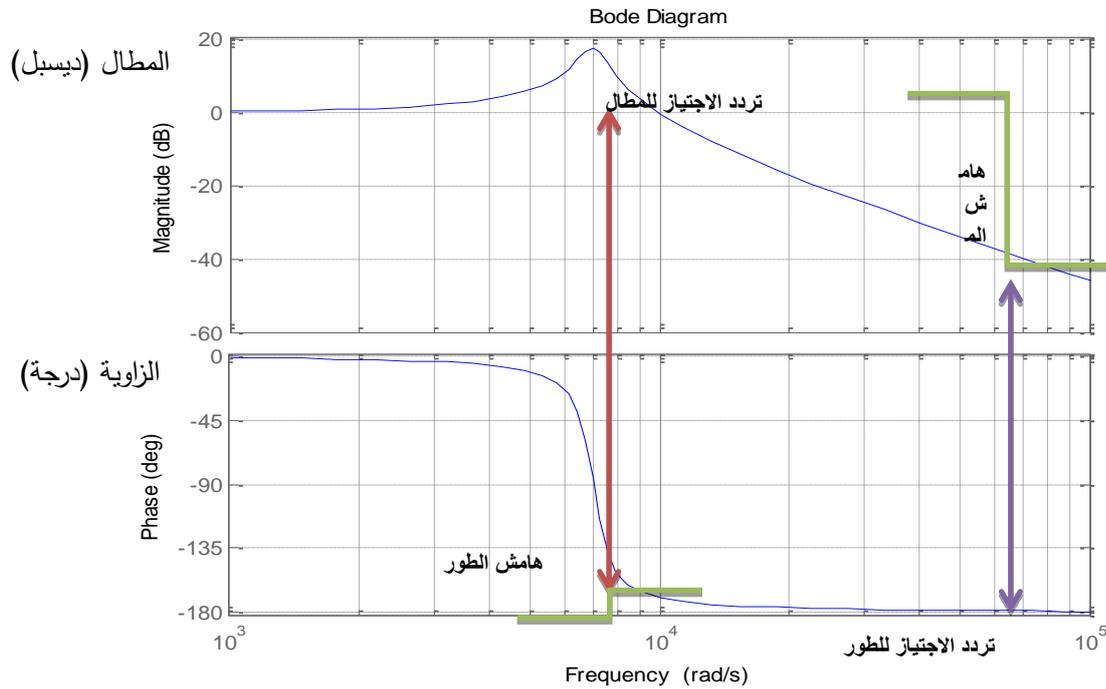
الشكل (19) الجهد على خرج المقوم

لدراسة تأثير استخدام دائرة مقطع الأرباع الأربعة على استقرار النظام نجد استجابة جهد الخرج الى جهد الدخل مع و بدون دائرة المقطع من خلال رسم مخطط بود للنظام قبل وبعد استخدام دائرة مقطع الأرباع الأربعة. يوضح الشكل (20) استجابة جهد الخرج الى جهد الدخل قبل توصيل دائرة المقطع



الشكل (20) مخطط بود لجهد الخرج بالنسبة لجهد الدخل قبل استخدام دائرة المقطع.

ويوضح الشكل (21) الاستجابة جهد الخرج الى جهد الدخل بعد توصيل دائرة المقطع:

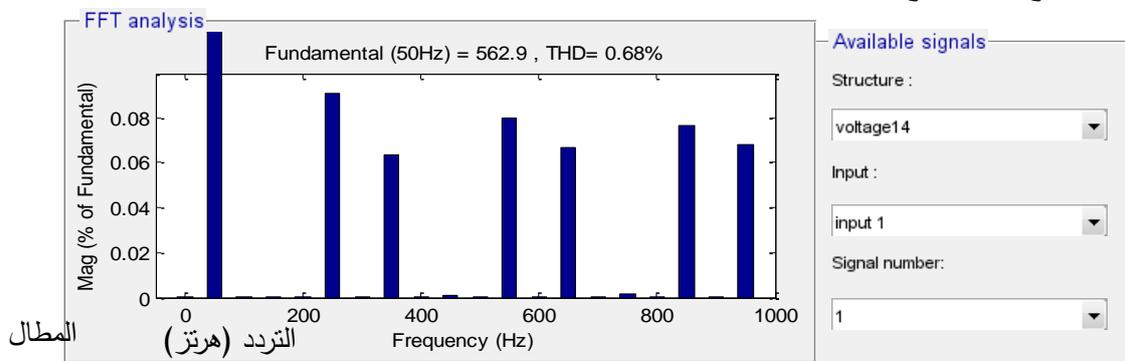


الشكل (21) مخطط بود لجهد الخرج بالنسبة لجهد الدخل بعد استخدام دائرة المقطع

الجدول (2) قيم عوامل مخطط بود لنظام القيادة متغير السرعة قبل وبعد إضافة دائرة المقطع.

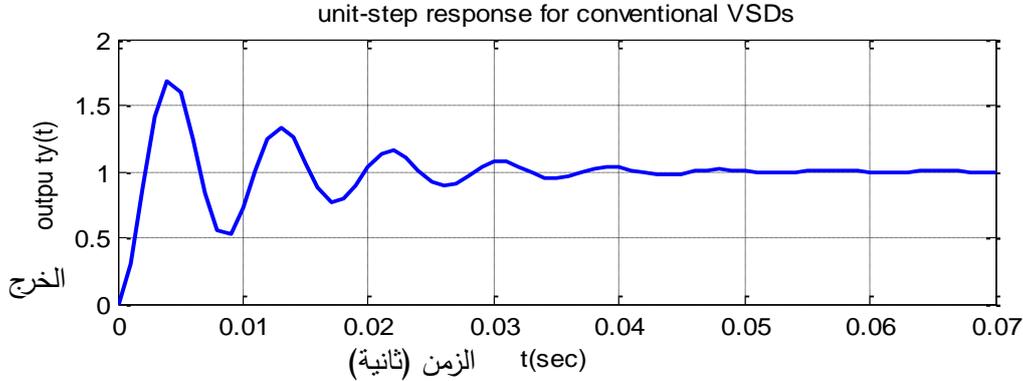
القيمة	قبل دائرة المقطع	بعد دائرة المقطع
هامش الريح	60	65
هامش الطور	1.9289	10.91
تردد الاجتياز للمطال	9900	9862
تردد الاجتياز للطور	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$

ونلاحظ من الشكلين (20) و(21) زيادة كل من هامش المطال وهامش الطور عند إضافة دائرة المقطع مما يؤثر ايجابا على استقرار النظام. كما ونلاحظ من الشكل (22) انخفاض عامل التشويه الكلي لجهد الدخل الخطي لنظام القيادة مع مقطع الارباع الأربعة الى القيمة 0.68 %، بينما كانت قيمتها 2.53% عند استخدام المقوم ذي 6 نبضات مع دائرة المقطع.

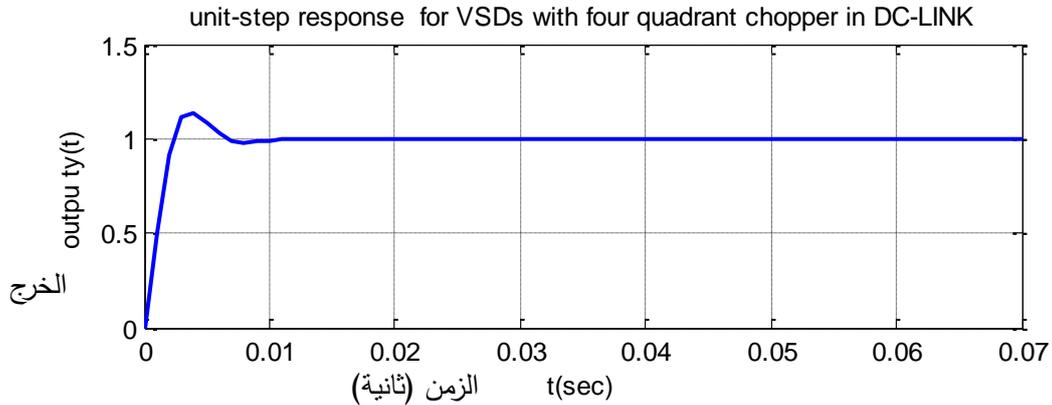


الشكل (22) عامل التشويه الكلي لجهد الدخل الخطي

يظهر كل من الشكلين (22) و (23) استجابة النظام لدخل خطوة واحدة كإشارة اختبار مع وبدون دائرة المقطع المضافة إلى حلقة التيار المستمر، يعد تابع الخطوة الواحدة إشارة اختبار جيدة إذا تعرض النظام إلى اضطرابات مفاجئة. نلاحظ من الشكل تحسن استجابة النظام لدخل خطوة واحدة مع وجود دائرة المقطع من خلال انقاص كل من التجاوز الأعظمي وزمن القمة وزمن الاستقرار للنظام مع وجود مقطع الأرباع الأربعة كما هو موضح في الجدول (3).



الشكل (22) استجابة النظام إلى دخل خطوة واحدة قبل إضافة مقطع الأرباع الأربعة إلى الحلقة المستمرة.

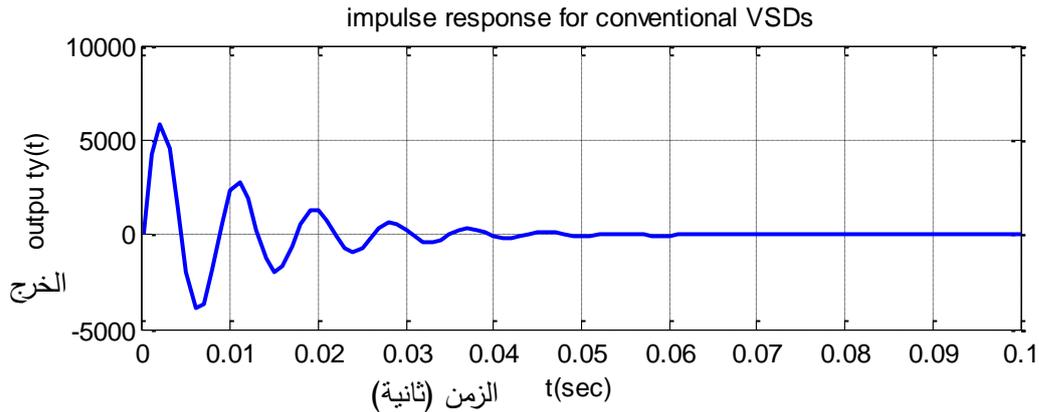


الشكل (23) استجابة النظام إلى دخل خطوة واحدة وبعد إضافة مقطع الأرباع الأربعة إلى الحلقة المستمرة.

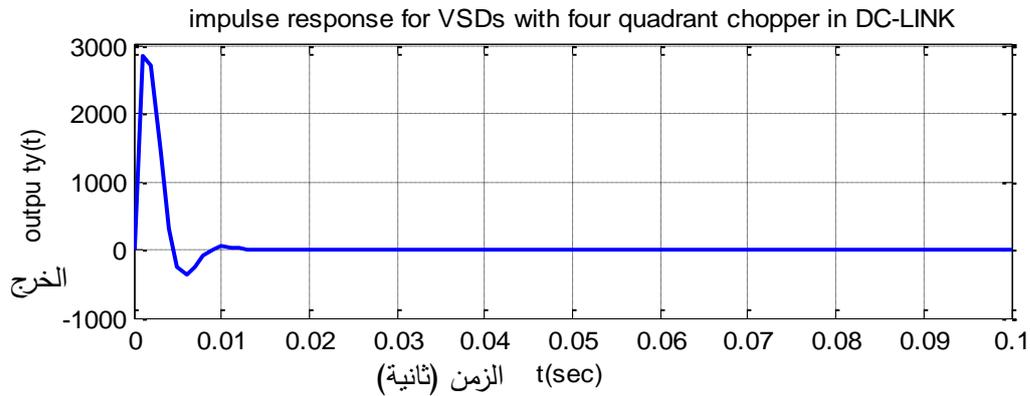
الجدول (3) مقارنة بين خصائص الاستجابة العابرة لنظام القيادة مع وبدون مقطع الأرباع الأربعة عند دخل خطوة واحدة

مع دائرة مقطع الأرباع الأربعة	بدون دائرة المقطع	القيمة
0.001	0.002	زمن الارتفاع
0.004	0.004	زمن القمة
0.139	0.6882	التجاوز الأعظمي
0.008	0.044	زمن الاستقرار

يبين الشكلين (24) و (25) استجابة النظام لدخل نبضي واحد كإشارة اختبار مع وبدون دائرة المقطع المضافة إلى حلقة التيار المستمر، يعد تابع النبضي الواحد إشارة اختبار جيدة إذا تعرض النظام إلى إشارات دخل صدمية. نلاحظ من الشكل تحسن استجابة النظام لدخل خطوة واحدة مع وجود دائرة المقطع من خلال انقاص كل من التجاوز الأعظمي وزمن القمة وزمن الاستقرار للنظام مع وجود مقطع الأرباع الأربعة كما هو موضح في الجدول (4).



الشكل (24) استجابة النظام الى دخل نبضي قبل اضافة مقطع الأرباع الاربعة الى الحلقة المستمرة.



الشكل (25) استجابة النظام الى دخل نبضي بعد اضافة مقطع الأرباع الاربعة الى الحلقة المستمرة.

الجدول (4) مقارنة بين خصائص الاستجابة العابرة لنظام القيادة مع وبدون مقطع الأرباع الأربعة عند دخل نبضي واحد

مع دائرة مقطع الأرباع الأربعة	بدون دائرة المقطع	القيمة
0.001	0.002	زمن القمة
2855	5871	التجاوز الأعظمي
0.099	0.099	زمن الاستقرار

الاستنتاجات والتوصيات:

- ❖ اعتمادا على ماسبق، يمكن استخلاص النتائج والتوصيات التالية:
- ❖ تحسين خصائص الجودة لتيارات دخل أنظمة القيادة متغيرة السرعة نتيجة انخفاض عامل التشويه الكلي وزيادة عامل الاستطاعة.
- ❖ انخفاض عامل التموج وعامل الذروة لتيار حلقة التيار المستمر.
- ❖ انخفاض قيمة جهد مكثف دائرة المقطع الى قيمة مقبولة لا ينهار عندها المكثف.
- ❖ تحسين استقرار النظام من خلال زيادة هامش المطال وهامش الربح.
- ❖ تحسين الاداء الديناميكي لأنظمة القيادة متغيرة السرعة.
- ❖ إزالة التآرجحات في جهد حلقة التيار المستمر.
- ❖ خطة الدراسة باستخدام SPWM أثبتت فعالية عالية في إعطاء نبضات القرح المناسبة لترانزستورات دائرة المقطع.
- ❖ نوصي بمتابعة العمل باستخدام تقنية SVPWM في توليد (إرسال) نبضات القرح لترانزستورات دائرة المقطع.

المراجع:

- [1] J. W. Kolar, M. Baumann, F. Schafmeister and H. Ertl, "Novel three-phase AC-DC-AC sparse matrix converter," in Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2002. APEC 2002. Seventeenth Annual IEEE, 2002, pp. 777-791 vol.2.
- [2] J. Salmon and D. Koval, "Improving the operation of 3-phase diode rectifiers using an asymmetrical half-bridge DC-link active filter," in Industry Applications Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE, 2000, pp. 2115-2122 vol.4.
- [3] M. Hengchun, C. Y. Lee, D. Boroyevich and S. Hiti, "Review of high-performance three-phase power-factor correction circuits," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 44, pp. 437-446, 1997.
- [4] J. S. Kim and S. K. Sul, "New control scheme for AC-DC-AC converter without DC link electrolytic capacitor," in Proc. IEEE PESC'93, vol. 1, Seattle, WA, June 1993, pp. 300-306.
- [5] Siemens Building Technologies Inc., "Harmonics White Paper," 2002.
<http://www.sbt.siemens.com/HVP/Components/Documentation/SI033WhitePaper.pdf>
- [6] S. D. Sudhoff, K. A. Corzine, S. F. Glover, H. J. Hegner, and H. N. Robey, Jr., "DC link stabilized field oriented control of electric propulsion systems," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 13, no. 1, pp. 27- 33, Mar. 1998.
- [7]. ROBAK .S , WASILEWSKI . J . , DAWIDOWSKI . P . , SZEWCZYK . M, "Variable Speed Drive (VSD) – towards modern industry and electric power systems, " 2016.
- [8]. J. Meyer, M. Bollen, H. Amarus, A. M. Blanco, A. G. De Castro, J. Desmet, M. Klatt, L. Kocewiak, S. Rönnberg and K. Yang, "Future Work on harmonics – Some Expert Opinions Part II – Supraharmonics, Standards and Measurements," in Proc. 2014 IEEE
- [9]. "Harmonics in power systems Causes, effects and control, " Printed in USA
© 2013 Siemens Industry, Inc
- [10]. Raneru Nageswara Rao, " Harmonic Analysis of Small Scale Industrial Loads and Harmonic Mitigation Techniques in Industrial Distribution System," *International Journal of Engineering Research and Applications* Vol. 3, Issue 4, Jul-Aug 2013, pp.1511-1540
- [11]. Stephen Prachyl. "Variable frequency drives and energy savings,". Technical report, Siemens, April 2010.
- [12]. T.C. Sekar and B. J. Rabi, "A Review and Study of Harmonic Mitigation Techniques," in Proc. 2012 International Conference on Trends in Electrical Engineering and Energy Management
- [13]. ABB, "Technical note td2 en reducing harmonics caused by variable speed drives," 14772, 2009.