

## النمذجة والتمثيل على الحاسبة لمنظومة المغير المزوج

ياسر أحمد محمود  
مدرس مساعد

ضياء علي النعمة  
أستاذ مساعد

قسم الهندسة الكهربائية - جامعة الموصل

### الخلاصة

تعد جرارات التيار المباشر من أقدم الجرارات التي استخدمت في التطبيقات الصناعية والتي من أهمها صناعة الطواحين صناعة عجينة الورق والصلب. تعد دائرة المغير المزوج إحدى أبرز دوائر إلكترونيات القدرة التي تستخدم في سوق محركات التيار المباشر. إذ يختص كل مغير فيها بتشغيل المحرك بربعين مختلفين ضمن مخطط العزم- السرعة لتصبح بذلك هذه الدائرة مع المحرك جرار التيار المباشر الرباعي. تم الحصول على نتائج تشغيل للحالة المستقرة لفولتيات وتيارات المحرك والمغيرين عند زوايا قرح مختلفة. وللتأكد من مدى صحة نموذج التمثيل على الحاسبة بمحاكاة النموذج المخبري العملي، تم الحصول على نتائج عملية في المختبر ومقارنتها بنتائج التمثيل، كما تم الحصول على بعض الحالات الحركية مثل البدء وتم مقارنة النتائج العملية مع نتائج التمثيل. يضاف إلى ذلك كله بعض حالات تشغيل غير طبيعية مثل حالات العطب وذلك من خلال النموذج الحاسوبي.

## Modeling and Computer Simulation of a Dual Converter System

Dhaiya Ali Al-Nimma  
assist. Prof

Yasser Ahmed Mahmood  
assist. Lecturer

Elect. Eng. - University of Mosul

### Abstract

DC Drives have been used and still being used in many industrial applications as adjustable speed drives. Among these applications are robotics, mill, steel, cement...etc, [1] industries. The dual converters are the most common power electronics equipments that are used in driving DC motors. Each converter drives the motor in two different quadrants in the torque-speed diagram, thus the drive system becomes a four-quadrant. Computer Simulation results has been obtained for the steady state condition. The results are in the form of motor and converters currents and voltages for different trigger angles. In order to validate the simulated results, practical results have been obtained for the same triggering angles. For dynamic conditions such as starting condition have been obtained practically and compared with the simulated results, besides that studying some abnormal conditions such as fault condition with in the motor or in the dual converter.

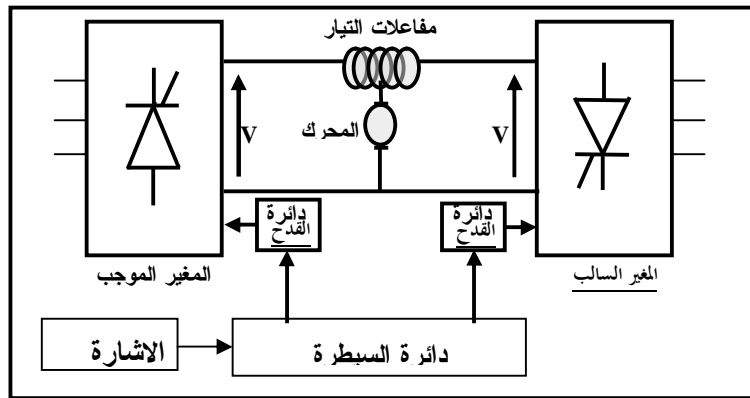
**Key words:** DC drives, simulation of DC drive, dual converter.

**1: المقدمة**

هناك العديد من الرزم البرمجية (software packages) التي تم استخدامها لتمثيل المنظومات الكهربائية ومن بين تلك البرمجيات هي برمجيات (Matlab/Simulink/P.S.B) والتي تتميز بسهولة استخدامها إضافة إلى مرونة تمثيل الأجزاء المعقدة في المنظومة العملية مع قابليتها على تطوير أي جزء من أجزاء المنظومة كما يتميز هذا النوع من الرزم البرمجية بتمثيل بفصل أجزاء دائرة القدرة عن دوائر السيطرة من خلال الربط بين (Simulink) مع (Power system Block sets)[1].

سبق وان نشرت بحوث لدراسة وتحليل منظومة جرار المغير المزودج مثل [2]، [3]، [4]. إلا إن هذه الدراسات تفقر إلى تمثيل نموذج شامل يحاكي المنظومة بمختلف أجزائها التفصيلية. لذلك جاء هذا البحث محاولة لتمثيل المنظومة بشموليتها مع الأخذ بنظر الاعتبار خصائص مكونات المنظومة بضمنها مفاتيح القدرة المستخدمة.

استند هذا البحث على بناء نموذجين بخطين متوازيين لدراسة جرار التيار المباشر الرباعي. الأول هو النموذج الحاسوبي باستخدام برمجيات (Matlab/Simulink/P.S.B). والثاني هو النموذج العملي أمختبري [5]. تتكون أنظمة الجرارات الكهربائية بشكل عام من جزأين، الأول منظومة السيطرة هي بمثابة العقل البشري والخاصة بالسيطرة على سرعة المحرك و تيار كل من المحرك والمغير وذلك إعطاء الأوامر باتجاه وقيمة السرعة المراد أن يدور بها المحرك. أما الجزء الثاني والمتمثل بالمغير المتكون من نبائط إلكترونيات القدرة، التي تقوم بترجمة تلك الأوامر إلى الواقع بإدارة المحرك بالسرعة المطلوبة من حيث قيمة واتجاه السرعة. ونظرا لأهمية هذه المنظومات أصبح من الأهمية بمكان تمثيلها لغرض إجراء المزيد من الدراسات ومعرفة خواص وثوابت كل جزء من أجل تحسين أدائها. يوضح الشكل (1) المخطط الكتلي لمنظومة جرار التيار المباشر التي تستخدم المغير المزودج [6].

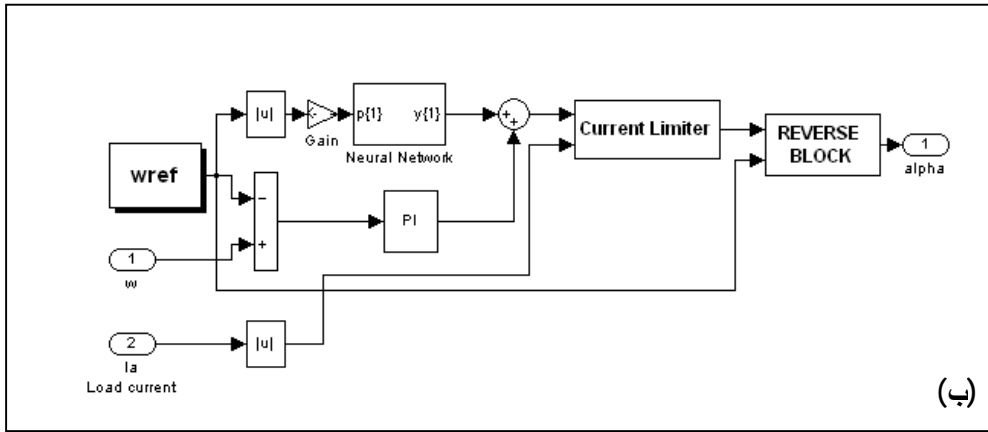
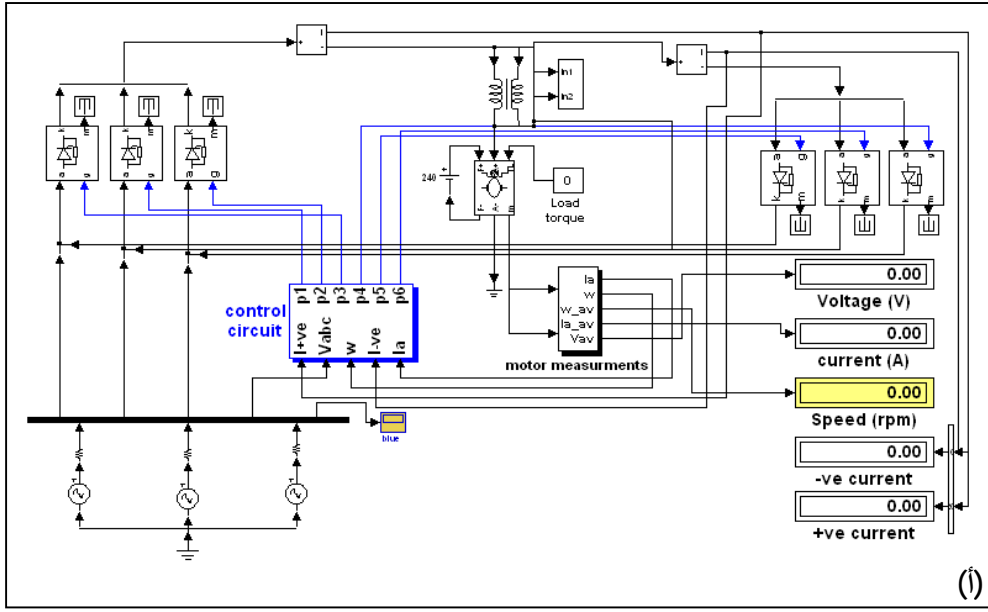


الشكل (1): منظومة جرار التيار المباشر التي تستخدم المغير

**2: تمثيل منظومة الجرّار باستخدام (P.S.B)**

يوضّح الشكل (2) النموذج الذي تم بناؤه في تمثيل جرّار مُحرّك التّيار المُباشِر الرّباعي على الحاسبة وذلك باستخدام برمجيات (P.S.B). تم تقسيم التّموذج إلى جزأين، استخدمت في الأول القوالب الأساسية الموجودة ضمن مكتبة البرمجيات مثل مُحرّك التّيار المُباشِر ونبائط إلكترونيات القدرة أي جميع عناصر دائرة القدرة، ومنها ما تم بناؤه باستخدام برمجيات (Simulink) ثمّ مواعته مع برمجيات (P.S.B) مثل دوائر القذح المستخدمة لقذح المغيرين الموجب والسالب، ومحتويات دائرة السيطرة.

تم تمثيل دائرة القدرة لجرّار التّيار المُباشِر وهي كما موضحة بالشكل (2-أ) من مصدر التّيار المتناوب الثلاثي الطور الذي يُجَهّز المُغَيِّرِينَ الموجب والسالب بالتّيار المتناوب والتّين يَدُورُهُمَا جُهْزَانُ المُحرّك عبر ملف التّيار الدوّار بالتّيار المُباشِر. لقد تم تمثيل جميع عناصر دائرة القدرة باستخدام القوالب الأساسية للبرنامج مع مراعاة وضع قيم ثوابت كل عنصر من تلك العناصر بما يُناظرها لقيمها الواقعية وذلك بأخذ كل من فولتية المصدر وقيمة ممانعته الداخلية وقيمة كل من محاطة ومقاومة ملف التّيار الدوار ومقاومة حالة التوصيل لنبائط إلكترونيات القدرة وكذلك مقاومة أسلاك التوصيل المستخدمة في الربط.



الشكل(2): (أ) النموذج الحاسوبي للمنظومة. (ب) مخطط تمثيل دائرة السيطرة.

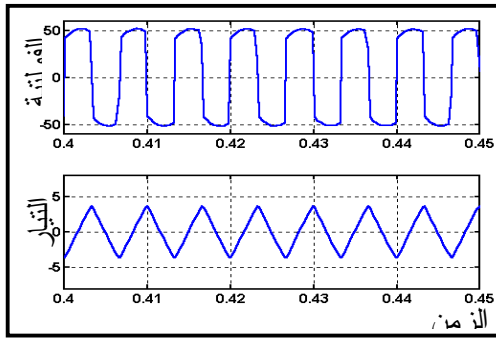
هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى لقد تم استخدام عناصر إلكترونيات القدرة ذات الخصائص غير الخطية والأقرب من الخصائص الواقعية للثايرستور المستخدم وعدم تمثيل الثايرستور على أنه مفتاح مثالي، وأيضا الأخذ بنظر الاعتبار قيم كل من مقاومة وامتسعة الامتصاص للثايرستور وزمن قدحه وإخماده. ولكن هناك بعض الفرضيات التي تم فرضها في هذا الجزء من النموذج والتي هي، إهمال حالة التشبع في المحرك. كما يعتبر مصدر التجهيز ذا قيمة ثابتة ولا يحصل فيه أي هبوط في الفولتية عند التحميل ما عدا الهبوط الحاصل في ممانعة المصدر. كما أن جميع قيم عناصر الدائرة ثابتة ولا تتغير بارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة أو أي عامل آخر.

تم استخدام الشبكة العصبية من خلال استخدام نظام سيطرة التغذية الأمامية ( Feedforward Control System) التي تعمل الشبكة العصبية فيها على تحديد قيمة زاوية القدح المناسبة حسب قيمة الإشارة المرجعية (Reference Signal). وبهذه الطريقة يتم تحجيم عمل المسيطر النسبي التكاملي إلى تقليل أو زيادة من قيمة هذه الزاوية حسب قيمة إشارة الخطأ الناتجة من الفرق بين الإشارة المرجعية والإشارة الصادرة من عنصر التحسس للقيمة الفعلية للسرعة. يعمل هذا المسيطر عند مدى محدود جدا من قيمة زاوية القدح (0 إلى 5) درجة قياسا بمدى تغيير إخراج الشبكة العصبية (0 إلى 90) درجة والتي تمثل زاوية القدح للمغيرين. تعتبر الشبكة العصبية هي المسؤول الأول لاختيار قيمة الزاوية المطلوبة ومن ثم يقوم المسيطر النسبي التكاملي على تعديل أو تقليل خطأ الحالة المستقرة إلى الصفر في حالة تغيير الحمل وذلك لكون الشبكة العصبية قد تم تدريبها في حالة انعدام الحمل. تم استخدام الشبكة العصبية ذات الانتشار العكسي (Back Propagation) بإدخال واحد يمثل السرعة المرجعية وإخراج واحد والذي يمثل زاوية القدح. لاحظ الشكل (2-ب).

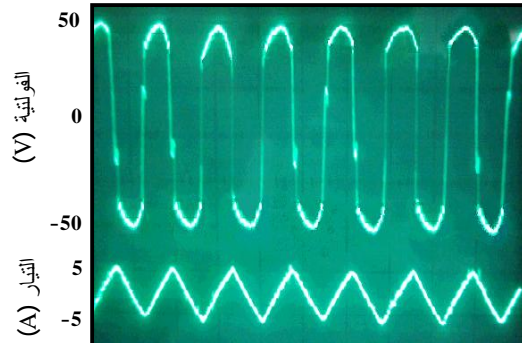
## 3: نتائج التمثيل على الحاسبة

## 1-3: نتائج الحالات الطبيعية

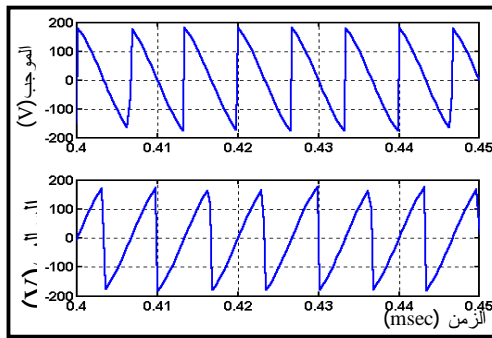
استخدم النموذج لدراسة حالات عديدة لتشغيل المغير المزوج بوصفه جرار لمحرك التيار المباشر، وتشمل حالات التشغيل هذه، الحالة العابرة والتي تشمل حالات البدء وعكس الدوران والكبح والتغيير المفاجئ للحمل والسرعة وتأثير هذه الحالات على قيمة التيار الدوار الذي تؤثر قيمته سلباً على كفاءة الجرار. وأيضاً حالات التشغيل غير الطبيعية في حال حصول أي عطل في أحد عناصر إلكترونيات القدرة أي أما أن تكون دائرة مفتوحة أو قد تكون دائرة قصر. إن الحالة المستقرة والتي تشمل الأشكال الموجية لفولتية وتيار المحرك وكذلك فولتيات كل من المغيرين الموجب والسالب والتيار الدوار عند زوايا قرح مختلفة تم أخذها لبيان مدى تشابه النموذجين وكما سيأتي. حيث يبين الشكل (3) فولتية وتيار المحرك للنموذج المختبري عند زاوية قرح  $(90^\circ)$  درجة حيث تكون قيمة معدل تلك الفولتية مساوية للصفر بسبب تساوي قيمتي الفولتيات على كل مغير بحيث تكون النتيجة مساوية للصفر. في حين يبين الشكل (4) فولتية وتيار المحرك لنموذج التمثيل عند نفس قيمة زاوية القرح. أما الشكل (5) فيبين الشكل الموجي لفولتيتي المغيرين الموجب والسالب للنموذج المختبري عند زاوية قرح  $(90^\circ)$  درجة. في حين يبين الشكل (6) الشكل الموجي لنموذج التمثيل لفولتيتي كل من المغير الموجب والسالب عند هذه الزاوية. بينما يبين الشكل (7) الشكل الموجي لفولتية وتيار المحرك للنموذج المختبري عند زاوية قرح  $(30^\circ)$  درجة. أما الشكل (8) فيبين الشكل الموجي لفولتية وتيار المحرك للنموذج المختبري عند زاوية قرح  $(30^\circ)$ . بينما يوضح الشكل (9) والشكل (10) فولتية كل من المغير الموجب والسالب عند زاوية قرح  $(30^\circ)$ .



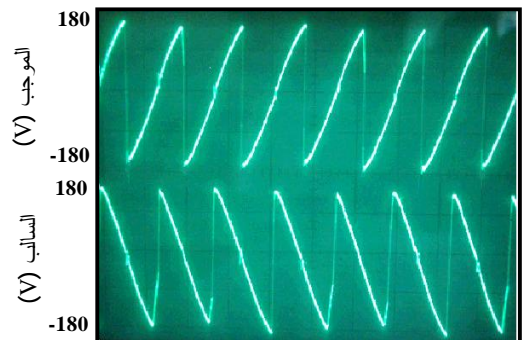
الشكل (4): نتائج التمثيل على الحاسبة لفولتية وتيار

المحرك عند زاوية قرح  $(90^\circ)$ .

الشكل (3): نتائج الدائرة العملية لفولتية وتيار

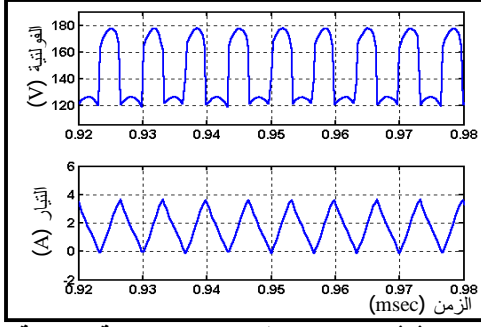
المحرك عند زاوية قرح  $(90^\circ)$ .

الشكل (6): نتائج التمثيل على الحاسبة لفولتية

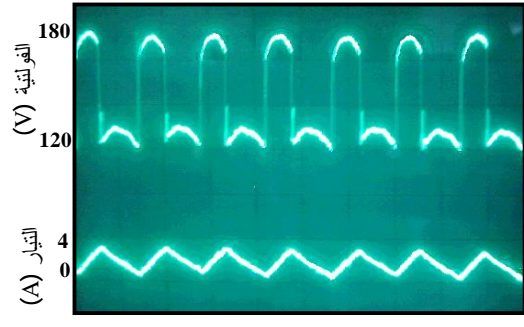
المغير الموجب والسالب عند زاوية قرح  $(90^\circ)$ .

الشكل (5): النتائج العملية لفولتية المغيرين

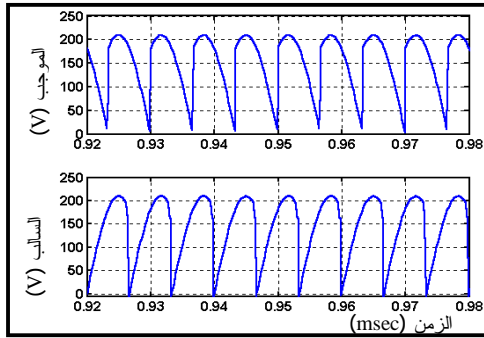
الموجب والسالب عند زاوية قرح  $(90^\circ)$ .



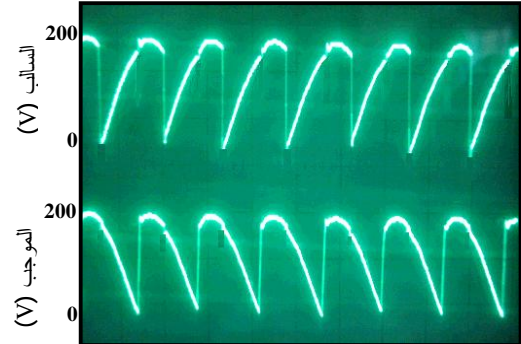
الشكل(8): نتائج التمثيل على الحاسبة لفولتية وتيار المحرك عند زاوية قذح (30°).



الشكل(7): نتائج الدائرة العملية لفولتية وتيار المحرك عند زاوية قذح (30°).



الشكل(10): نتائج التمثيل على الحاسبة لفولتية المغيرين الموجب والسالب عند زاوية قذح (30°).



الشكل(9): النتائج العملية لفولتية المغيرين الموجب والسالب عند زاوية قذح (30°).

كما تم دراسة حالة البدء كإحدى الحالات الحركية (Dynamic) وذلك لغرض برهنة صحة نموذج التمثيل ومطابقته مع النموذج المختبري من ناحية ثابت الزمن للمنظومتين الكهربائية والميكانيكية. حيث يبين الشكلين (11) و(12) سرعة وتيار المحرك عند البدء من السكون إلى سرعة (1000) دورة بالدقيقة والزمن المستغرق لذلك.

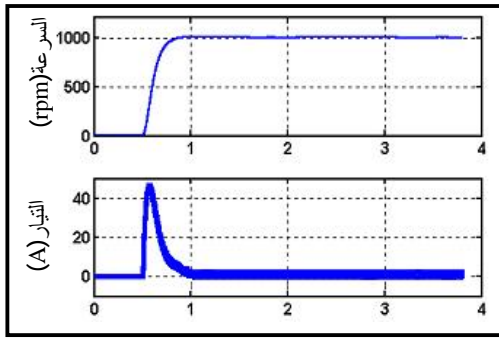
### 2-3: نتائج الحالات غير الطبيعية

يوضح الشكلان (13) و(14) سرعة وتيار المحرك عند عكس اتجاه الدوران من السرعة (500) دورة بالدقيقة إلى السرعة (-500) دورة بالدقيقة، يستنتج من الشكلين ان الجرار يعمل بالأرباع الأربعة ضمن مخطط العزم السرعة. يوضح الشكلان (14) و(15) فولتية وتيار المحرك إذا أصبح أحد ثايرسترات المغير السالب دائرة مفتوحة،

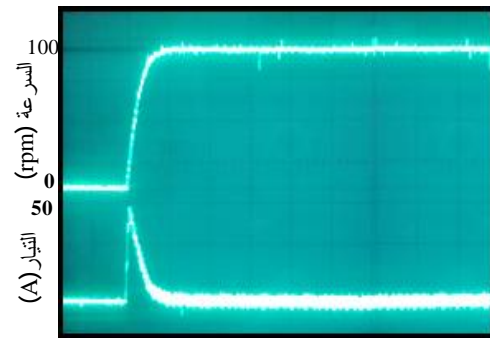
مما يؤدي إلى نقصان قيمة معدل تيار المحرك وأيضا نقصان قيمة معدل التيار الدوار بسبب عدم مرور تيار دوار في فترة توصيل هذا الثايرستور وبالتالي انخفاض سرعة المحرك بمقدار (10%) من سرعة ما قبل العطل. إن نقصان معدل تيار المحرك ناتج بسبب زيادة الجزء السالب من التيار بمقدار ثلاثة أضعاف والتي تعمل على حدوث تذبذب في سرعة المحرك أي تذبذب نقطة العمل بين الربع الأول والثاني.

في حين يوضح الشكلان (16) و(17) فولتية وتيار المحرك إذا أصبح أحد ثايرسترات المغير الموجب دائرة مفتوحة مما يؤدي إلى ارتفاع معدل الفولتية على المحرك وبالتالي زيادة سرعة المحرك بمقدار (10%). وتؤدي كذلك إلى تذبذب نقطة العمل وبالتالي تذبذب سرعة المحرك.

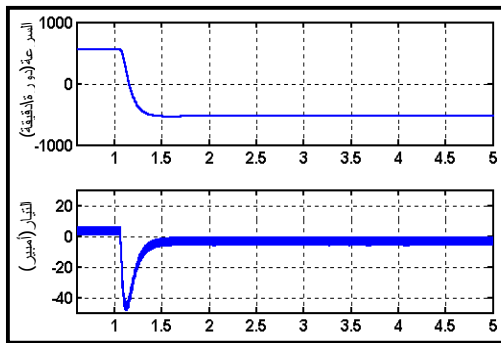
توضح الأشكال السالفة النتائج العملية للمنظومة تحت نفس الظروف الواردة في نتائج التمثيل ويلاحظ مدى التشابه الكبير بينها مما يدل على صحة نتائج النموذج في التمثيل. وبذلك يمكن استخدام النموذج لدراسة حالات تشغيل أخرى غير طبيعية تحصل كالإعطاب التي قد تحصل إما في المحرك أو في المغير.



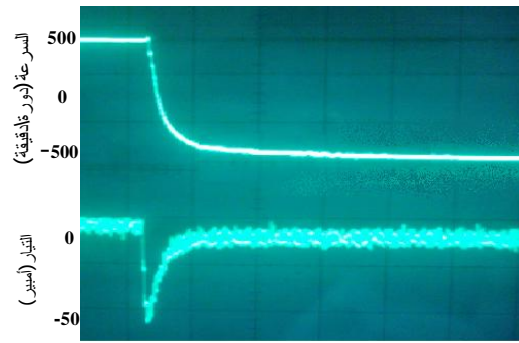
الشكل (12): نتيجة التمثيل لسرعة و تيار المحرك عند سرعة مرجعية مقدارها (1000 دورة/دقيقة).



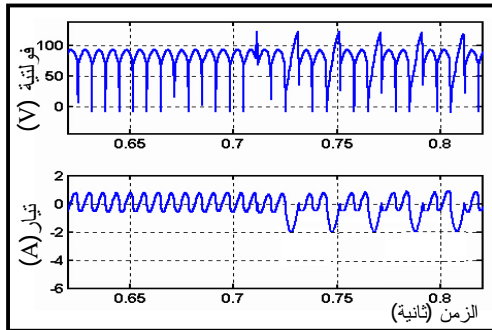
الشكل (11): النتيجة العملية لسرعة و تيار المحرك عند سرعة مرجعية مقدارها (1000 دورة/دقيقة).



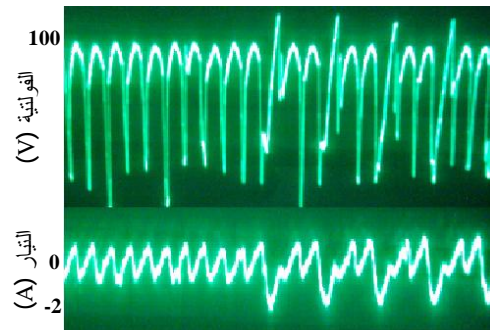
الشكل (14): نتيجة التمثيل لسرعة و تيار المحرك عند عكس اتجاه الدوران بالطريقة المباشرة.



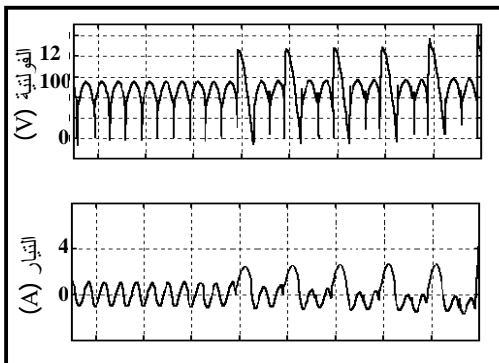
الشكل (13): النتيجة العملية لسرعة و تيار المحرك عند عكس اتجاه الدوران بالطريقة المباشرة.



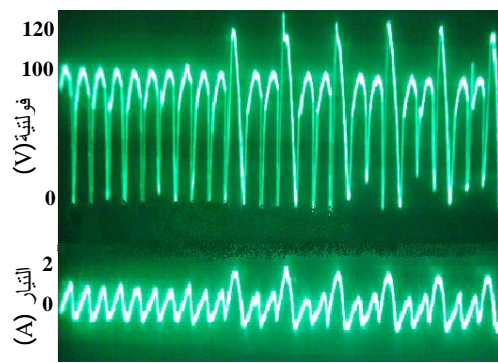
الشكل (15): النتيجة العملية لفولتية و تيار المحرك إذا أصبح أحد ثايرسترات المغير السالب دائرة مفتوحة.



الشكل (14): النتيجة العملية لفولتية و تيار المحرك إذا أصبح أحد ثايرسترات المغير السالب دائرة مفتوحة.



الشكل (17): نتيجة التمثيل لفولتية و تيار المحرك إذا أصبح أحد ثايرسترات المغير الموجب دائرة مفتوحة.



الشكل (16): النتيجة العملية لفولتية و تيار المحرك إذا أصبح أحد ثايرسترات المغير الموجب دائرة مفتوحة.

في حين يبين الشكل (18) فولتية وتيار المحرك إذا أصبح أحد ثايرسترات المغير الموجب دائرة قصر مما يسبب بنقصان معدل تيار المحرك وتذبذبه بشكل كبير بين القيمة السالبة والموجبة. وبالتالي تذبذب السرعة بين ربعين من أرباع مخطط العزم-السرعة، وأيضاً نقصان قيمة معدل السرعة إلى (15%) من قيمة سرعة ما قبل العطل. أما الشكل (19) فيبين فولتية وتيار المحرك إذا أصبح أحد ثايرسترات المغير السالب دائرة قصر. الأمر الذي يسبب بنقصان معدل التيار وتذبذبه وكذلك تذبذب السرعة بشكل كبير ونقل بنسبة (65%) عن سرعة ما قبل العطل. إن بعض حالات العطب مثل الحالة الأولى كما في الشكلين (14) و(15) يمكن اعتبارها حالة تشغيلية غير طبيعية ولا تسبب خطورة لا على المحرك ولا على المغير. وإن بعض حالات العطب الأخرى مثل الحالة الأخيرة كما في الشكلين (18) و(19) قد تكون شديدة بحيث تكون خطرة على المغير، فيجب في هذه الحالة اتخاذ حماية ملائمة لفصل الجزء المعطوب. عندئذ تتحول إلى الحالة الأولى الأقل ضرراً.

#### 4: الاستنتاجات

يهدف هذا البحث إلى تمثيل إحدى أهم منظومات جرارات التيار المباشر الرباعي على الحاسبة بدءاً من إشارة القدرح التي تحمل الزاوية التي يعمل بها كل مغير مروراً بتمثيل المغير المكون من مجموعة من نبائط القدرة وانتهاءً بتمثيل كل من المحرك ومحاثات التيار الدوار التي تربط كل من المغيرين مع المحرك. وذلك لأجل دراسة بعض خواص عمل هذا النوع من الجرارات الكهربائية ومعرفة أداؤها ومعالجة حالات الخطأ التي تحصل أثناء استخدام هذا النوع من الجرارات الكهربائية. فلقد تم أخذ حالات تشغيل مختلفة ومقارنتها مع النتائج العملية وملاحظة مدى مطابقتها حيث يصل التطابق (85-90%) من النتائج التي تم الحصول عليها عملياً في المختبر. ويفيد النموذج الحاسوبي لتشخيص الأعطاب التي قد تحصل في المنظومة وخاصة في نبائط الكتروليات القدرة وتحديد مدى خطورتها على كل من المغير والمحرك مع مدى تأثيرها بالتالي على سرعة المحرك وهو أحد أهم الغايات في الجرارات الكهربائية الحديثة.

#### 5: المصادر:

- [1] Matlab Function Reference "The Language of Technical Computing" "MATLAB User Guide Version 6.5" 2001 by Mathworks Inc.
- [2] T. Sebastian and S. B. Dewan "Comparison of Dual-Converter-Based Power Supply System" IEEE Transactions on Industry Application, vol 25 No 2, March/April 1989.
- [3] D. Ali Al-nimma and A. Akram Mahmood "Digital Computer Simulation of a Four Quadrant DC Drive System" Al-Rafidain Engineering, vol 12, No2, 2004.
- [4] Iqbal Husain and Mohammad S. Islam "Design, Modeling and Simulation of an Electric Vehicle System" International Congress and Exposition, Detroit, Michigan, March 1-4, 1999.
- [5] Y. A. Mahmood "Computer Simulation and Computer based Control of a Four Quadrant DC Drive System" Thesis, University of Mosul, 2005.
- [6] B. K. Bose "Power Electronics and Motor Drive – Advances and Trends" Burlington, MA: Elsevier, 2006.

#### 6: ملحق ثوابت المنظومة

##### D.C Motor Ratings:

Rated Power	=2.3 kW
Rated Speed	=1250 rpm
Rated Voltage	=220 V
Rated Current	=15 A
Armature Resistance	= 2.1Ω
Armature Inductance	=24mH

##### Tachogenerator Ratings:

Rated Speed	=1000 rpm
Rated Voltage	=20V
Rated Power	=12W

**Thyristor Ratings:**

Maximum repetitive off-state voltage	=1200V
Maximum mean on-state current	=70A
Maximum r.m.s on-state current	=110A
Maximum surge on-state current	=1200A
Maximum gate trigger current	=100mA
Maximum admissible gate current	=10A
Maximum holding current	=100mA
Maximum latching current	=0.5A
Turn-on time	=10 $\mu$ sec
Turn-off time	=250 $\mu$ sec
On-state voltage drop	=1.1V
On-state Resistance	=5m $\Omega$

**Interphase Reactor:**

Rated current	=40A
Energy capacity	=19w.sec
Inductance	=45mH

تم اجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل