

نمذجة الآلات الكهربائية باستخدام Matlab And Simulink

الدكتور علي أحمد محمود *

(قبل للنشر في 2006/8/9)

□ الملخص □

إنّ استخدام الكمبيوتر في العملية التدريسية أضحى من الوسائل التعليمية التي تحقق مردودية عالية من حيث إيصال المعلومة بسهولة إلى ذهن الطالب كما أنها تحقق تقديم أكبر كمية من المعلومات في نفس الفترة الزمنية مقارنة بالطريقة الكلاسيكية للمحاضرة.

من أجل تحقيق هذا الهدف لابد من صياغة المادة العلمية بطريقة يمكن عرضها من خلال الكمبيوتر وبتيح مناقشتها ودراسة النتائج والحالات المختلفة لعمل الآلة.

في هذا العمل محاولة لصياغة طريقة لتدريس الجانب العملي لمقرر الآلات الكهربائية وذلك باستخدام النمذجة الرسومية بمساعدة برنامج Matlab & Simulink . هذه الطريقة ستنجح للطالب التعرف على:

- 1 - التجربة ومكوناتها والنتائج المتوقعة منها قبل إجرائها في المختبر .
- 2 - فهم التجربة واستيعاب المقرر .

الكلمات المفتاحية: Matlab ، Simulink ، Power System Blockset ، induction motor

* أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية سوريا .

Modeling Electrical Machines Using Matlab and Simulink

Dr. Ali Ahmad Mahmoud *

(Accepted 9/8/2006)

□ ABSTRACT □

Using computer in the instructional process became one of the educational instruments, which provide high productivity in delivering information easily to the student. It also concludes the production of the highest quantity of information in the same period of the time compared with the traditional way of lecturing. To conclude this aim, the scientific material must be formed in a way that can be presented through the computer and give the chance to discuss and study the different results of how the machine works.

The research tries to formulate a way to study the practical side of the electrical machines subject using sketching samples with the help of the Matlab and Simulink program. This way will give the student the chance to be acquainted with this experiment and its components as well as the expected results before concluding it in the laboratory. It will help students to understand the experiment and increase clearly the possibility of understanding the course.

Key words: *Matlab, Simulink, Power system blockset, induction motor.*

* Associate Professor, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen, University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن استخدام - Simulink & Matlab - لتمثيل واختبار الآلات الكهربائية يسهم في تطوير العملية التعليمية في الجانب العملي والنظري لمقررات الآلات الكهربائية التي يتم تدريسها في السنوات والتخصصات المختلفة في كليات الهندسة التقنية خاصة وإن استخدام الكمبيوتر الشخصي أصبح متاحاً في المختبرات العملية وفي قاعات المحاضرات النظرية وفي البيت أيضاً.

إن توفر التجهيزات الحاسوبية كجزء من مختبرات التجارب العملية تمكن الطلاب من زيادة خبرتهم، وذلك من خلال مقارنة النتائج التي يحصلون عليها من إجراء التجارب العملية مع تلك النتائج التي يتم الحصول عليها من خلال النماذج الممثلة حاسوبياً للآلات نفسها.

هذا الأمر إضافة إلى إمكانية مقارنة النتائج سيساعد الطلاب في التقليل من الزمن المطلوب لإجراء التجارب العملية على المكونات الحقيقية للآلات لكن بالوقت نفسه لا بد من التنويه أن هذه الطريقة لا يمكن أن تكون بديلاً عن التجارب العملية.

علاوة على ما تم ذكره ونظراً للتطور الدائم في مناهج مقررات الآلات الكهربائية ونظم القيادة وللتطور الدائم في تجهيزات الكمبيوتر والحزم البرمجية كل ذلك يجعلنا نتوقع تزايد الرغبة لدى الطلاب في استخدام الكمبيوتر لتمثيل ودراسة معظم المقررات الدراسية.

إن المقررات الدراسية لصفوف المرحلة الجامعية الأولى تتألف بشكل أساسي من قاعة المحاضرات والمختبر. إن المحاضرة النظرية تقوم بتغطية الحالة الستاتيكية على سبيل المثال للمحرك التحريضي حيث يتم استخدام الدارة المكافئة لطور واحد لحساب البارامترات المختلفة للمحرك التحريضي مثل تيار الدخل والاستطاعة وعامل الاستطاعة والعزم المطبق والمردود.

إن الحسابات المرافقة لدراسة الحالة المستقرة للآلة تتطلب معرفة مكونات الدارة المكافئة. يتم الحصول على بارامترات الآلة من خلال إجراء ثلاثة اختبارات وهي: اختبار DC واختبار اللاحمل واختبار القصر، وذلك في المختبرات التقليدية.

إن الجانب العملي الذي يضم الاختبارات المذكورة أعلاه إضافة إلى اختبار التحميل يساعد الطالب على فهم عمليات المحرك التحريضي ويعطيه معلومات قيمة عن التعامل الفعلي مع هذه المحركات وخبرة عملية في عمليات القياس.

لقد لاحظ مدرسو الجانب العملي صعوبة في تأقلم الطلاب مع التجهيزات المخبرية أثناء محاولتهم فهم ما تعلموه في الجانب النظري من خلال إجراء التجارب خاصة تلك المحاضرات التي تلقوها خلال أسبوع قبل إجراء التجارب. إن الطلاب لم يألفوا مسبقاً المختبرات التي تضم آلات متنوعة ومختلفة والتي تحتاج أثناء عملية الاختبار إلى مجموعة من القياسات مختلفة الطرق.

إن التركيز أثناء الجلسة العملية ليس سهلاً دوماً حيث إن الجانب العملي يخصص عادة بساعتين يجب على الطالب خلالها أن يتعرف على الآلة التي سيتم اختبارها وعلى التجهيزات اللازمة لترتيب التجربة ومن ثم إجراء التوصيلات وأخذ القياسات اللازمة ويحقق حالة الاستقرار عند حالات تحميل مختلفة.

وبسبب ضيق الوقت المخصص للتجربة فإن الطلاب ينجزون اختباراتهم على عجل ليتمكنوا من إنهاء مهمتهم في الوقت المحدد. هذا الأمر يؤدي وللأسف لعدم تمكن الطلاب من التعرف الجيد على عمل المحرك ولعدم الفهم الكافي لما تم إنجازه في المختبر.

من هنا فإن استخدام أدوات النمذجة يجب أن يطور تجارب المحركات الكهربائية ويقدم تمرينات مفيدة جدا قبل البدء بإجراء الاختبارات في المختبر. في هذا العمل سيتم وضع نماذج تمثيلية لبعض المحركات الكهربائية واختباراتها في محاولة لإنشاء مختبر حاسوبي.

إن النماذج التي سيتم إعدادها لإجراء اختبارات التيار المستمر (dc) واللاحممل واختبارات القصر ستشكل تطبيق متميز ضمن مكتبة نظم القدرة في matlab.

يتألف هذا العمل بالإضافة إلى المقدمة أعلاه من: اختبارات التيار المستمر dc واللاحممل والقصر. من أجل إتمام هذا الهدف يقوم الطالب بإعداد مذكرة إيضاحية لكل اختبار، كيف يتم التوصيل وكيف يتم اخذ القياسات المتوافقة مع التجربة والتي تمكن من حساب عناصر الدارة المكافئة. ومن أجل كل اختبار يتم عرض الأنموذج التمثيلي العائد لـ Simulink/PSB ومقارنة ذلك مع التجربة الفعلية وذلك لإبراز نقاط التقاض والاختلاف.

كما سيتم مقارنة عناصر الدارة المكافئة الناتجة من الأنموذج التمثيلي مع العناصر الناتجة من التجربة الفعلية ثم بعض الملاحظات لتطوير المنهج الدراسي لطلاب المرحلة الجامعية الأولى بما يتوافق مع النتائج التي تم استنتاجها من الدراسة التمثيلية.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في أنه يضع أنموذجاً تمثيلاً رسومياً للمحرك التحريضي يمكن من خلاله دراسة حالات العمل المختلفة للمحرك في نظام العمل المستقر والديناميكي كما يتيح إمكانية دراسة أثر العوامل المختلفة على نظام العمل. كما يهدف البحث إلى تقديم وسيلة إيضاح تعليمية مفيدة في المحاضرات النظرية والعملية وذلك في مقرر الآلات الكهربائية ويمكن الاعتماد عليه في وضع نماذج تمثيلية لمختلف أنواع الآلات الكهربائية الأخرى.

طريقة البحث والمواد المستخدمة:

لقد أنجز هذا البحث بالاعتماد على الأسس النظرية للمحرك التحريضي وخاصة التجارب المخبرية الخاصة بوضع الدارة المكافئة للمحرك التحريضي كما تم اعتماد النمذجة الرسومية باستخدام الحزمة البرمجية Matlab & Simulink لتمثيل المحرك التحريضي. وقد استخدم أنموذجاً تطبيقياً للتمثيل، وهو عبارة عن المحرك التحريضي ثلاثي الطور ذي الدائر المقصور المتوفر في مخبر نظم القدرة الكهربائية بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين وهو المحرك نفسه الذي يستخدم في الدروس العملية للطلاب. المحرك يحمل اللوحة الأسمية الآتية:

$$f = 50 \text{ Hz} \text{ ، التردد ، } U_{phn} = 220 \text{ V} \text{ الجهد الاسمي}$$

$$P_n = 175 \text{ W} \text{ الاستطاعة الاسمية}$$

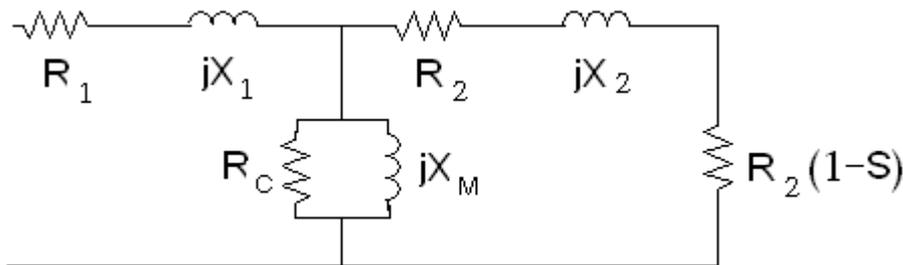
السرعة الاسمية: $n_n = 1360 \text{ r.p.m}$

أجريت الدراسة في مختبرات كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين خاصةً مخبر نظم القدرة وتحليل الشبكات الكهربائية خلال العام الدراسي 2005 - 2006 .

إعداد النموذج التمثيلي لاختبار المحرك التحريضي ذي الدائر المقصور:

1- إعداد التجارب والنموذج التمثيلي.

إن مميزات العمل المستقر للمحرك التحريضي ثلاثي الطور يتم الحصول عليها عادة من الدارة المكافئة لطور واحد وفق الشكل (1)



شكل (1) - الدارة المكافئة لطور واحد من المحرك التحريضي

حيث :

R_1 : مقاومة الثابت، X_1 : مفاعلة التسرب للثابت ،

R_2 : مقاومة الدائر منقولة إلى الثابت، X_2 : مفاعلة التسرب للدائر المنقولة للثابت .

R_C : المقاومة المكافئة للضیاعات في القلب الحديدي.

X_m : المفاعلة المكافئة للقلب الحديدي. S : الانزلاق.

هذه الدارة المكافئة تستخدم لحساب جميع محددات التشغيل مثل تيار الثابت ، استطاعة الدخل المفاقيد، العزم

المنتج والمردود.

عند القيام بالحسابات الطاقية يمكن إهمال المقاومة التفرعية R_C ، وفي هذه الحالة يمكن اخذ مفاقيد القلب الحديدي بالاعتبار عند حساب المردود عبر الاحتكاك والضياعات التسريبية. إن محددات الدارة المكافئة يمكن الحصول عليها عبر اختبارات dc واللاحمل واختبار القصر [3].

تعتبر مكتبة عناصر نظم الطاقة عبارة عن حزمة برمجية مناسبة لوضع نماذج تمثيلية لتطبيقات نظم الطاقة، كما أن الواجهة الرسومية لـ MATLAB/Simulink تزود مهندسي الطاقة والباحثين بأدوات تصميم تفاعلية لبناء نماذج تمثيلية بسرعة وسهولة [5] .

يستخدم MATLAB/Simulink من قبل المدرسين لتطوير العملية التعليمية في مجال المميزات في

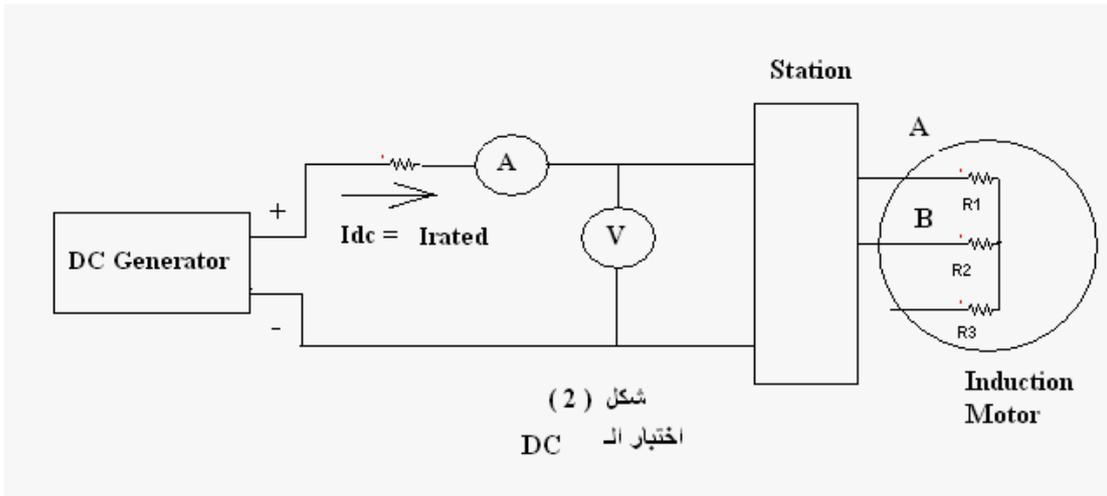
الحالات العابرة والساتاتيكية . [1]، [2]، [4].

1-1 - اختبار dc:

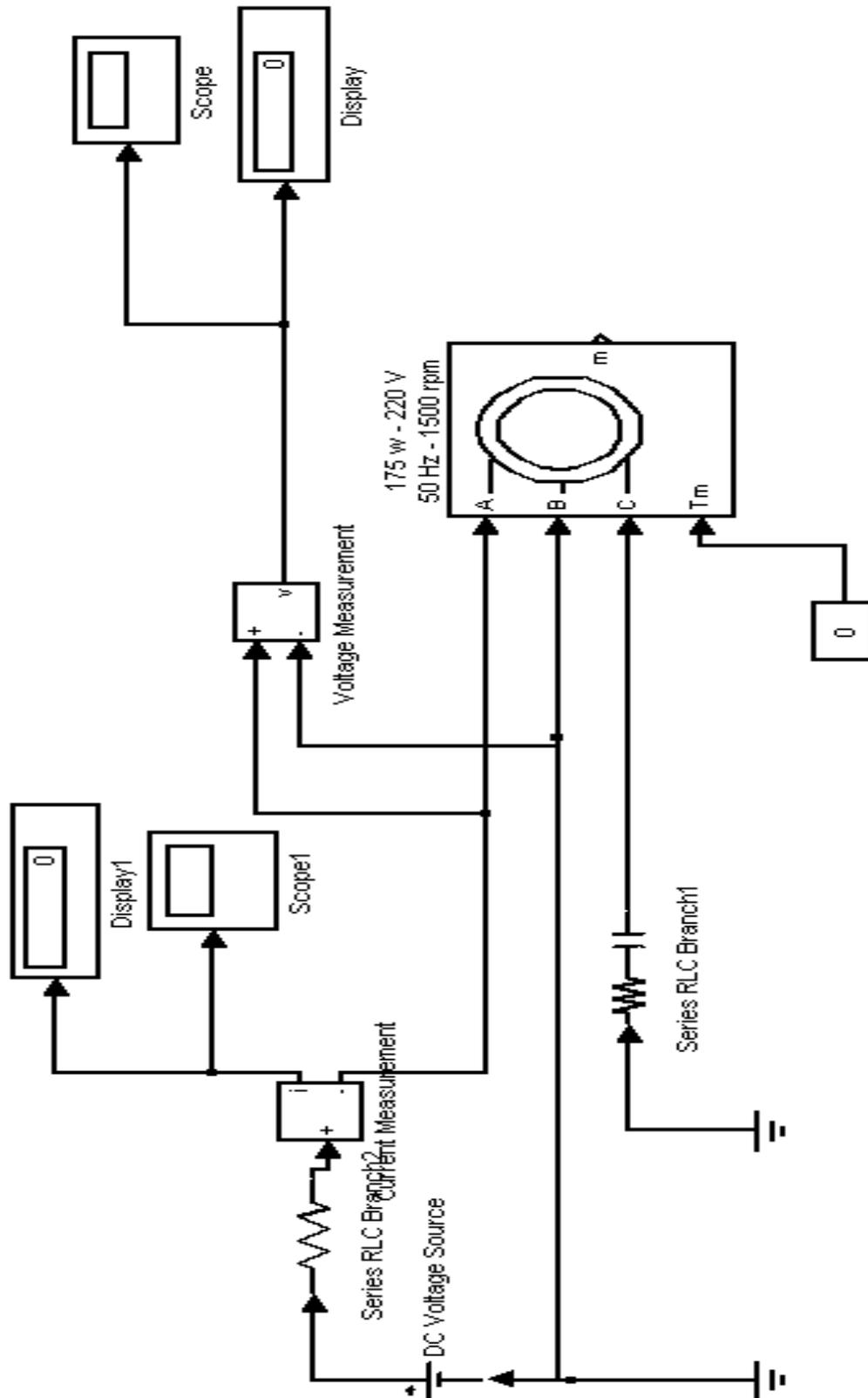
يتم إجراء اختبار dc وذلك لحساب مقاومة ملفات الثابت. وذلك بتطبيق جهد مستمر على ملفات ثابت المحرك التحريضي. نتيجة ذلك يمر في ملفات الثابت تيار مستمر لن يتعرض في الدائر أي تيار حيث سيكون رد فعل المحرك (المفاعلة) مساوي للصفر. الشكل (2) يبين التوصيلة اللازمة لإجراء الاختبار المذكور. حيث يطبق جهد مستمر عبر طورين لمحرك تحريضي موصل بشكل نجمي وذلك عبر مجزئ جهد للحصول على تيار مساوي أو أقل من التيار الاسمي للمحرك. الشكل (3) يصف النموذج التمثيلي الذي يمثل تجربة dc.

بالاعتماد على مكتبة PSB سيتم اختيار الصندوق الممثل للمحرك التحريضي ذو مواصفات كهربائية (مثل: الجهد الاسمي ومحددات الدارة المكافئة) ومواصفات ميكانيكية (مثل عزم العطالة وعدد الأقطاب) وذلك باعتماد وحدة القياسات الدولية (SI) أو بالقيم الواحدية.

وبالتماثل مع النموذج التجريبي يتم تطبيق جهد مستمر عن طريق منبع للجهد على الطورين A, B عبر مقاومة تسلسلية أما الطور C فيوصل إلى الأرض عبر مقاومة وذلك لاكتمال الدارة. تختار المقاومة التسلسلية مع منبع الجهد بحيث تحافظ على التيار المار بحدود التيار الاسمي. يتم اخذ قراءات صندوق مقياس التيار و صندوق مقياس الجهد عبر الطورين كما يستخدم في الدارة صندوق مقياس تيار رقمي وراسم إشارة لتتبع إشارة التيار ونفس الأمر بالنسبة للجهد [5].



شكل (2) - دائرة اختبار الـ DC



شكل (3) - النموذج التمثيلي لاختبار DC

من هاتين القراءتين يمكن حساب مقاومة الثابت من العلاقة:

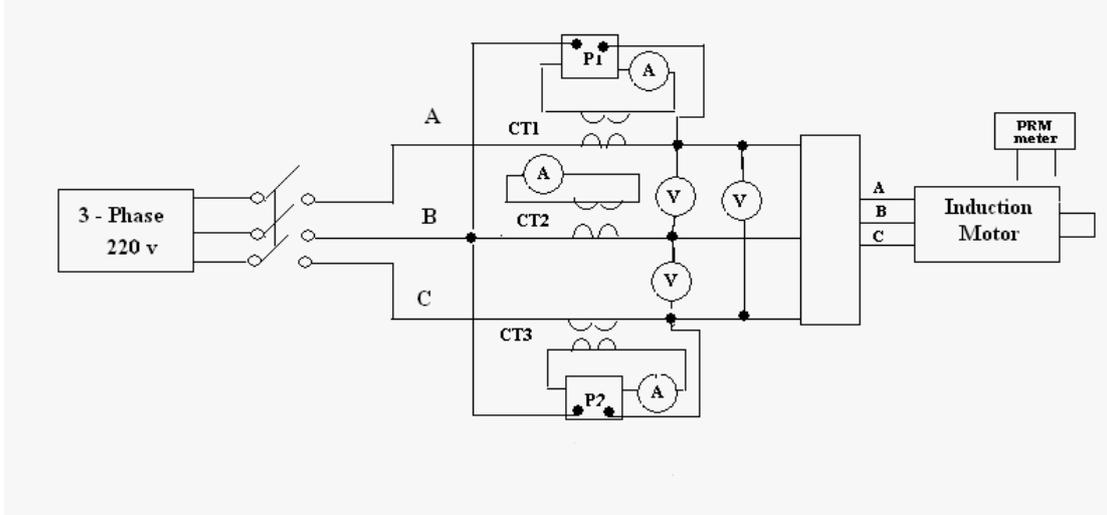
$$R_1 = 0.5 \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \quad (1)$$

إن المقاومة المحسوبة من تجربة dc عبارة عن قيمة تقريبية حيث لا تأخذ بعين الاعتبار الظاهرة القشرية عند العمل على التيار المتناوب كما لا تأخذ بالاعتبار تأثير درجة الحرارة. على كل الأحوال يعتبر هذا التقريب مقبولاً ولا يؤثر على الهدف التعليمي.

2 - اختبار اللاحمل:

يتم إجراء اختبار اللاحمل لقياس ضياعات الدوران للمحرك ولتحديد قيم بعض عناصر الدارة المكافئة. يتم في هذا الاختبار تطبيق جهد متناوب متوازن على الثابت وذلك عند عمل المحرك من دون حمل ويتم قياس استطاعة الدخل والجهد والتيار الطور في حالة عدم التحمي. الشكل (4) يبين مخطط التوصيل المخبري لإجراء اختبار اللاحمل.

يبين الشكل (5) النموذج التمثيلي المقترح وفق simulink/psb في حالة اللاحمل حيث تم تطبيق منبع جهد ثلاثي الطور متوازن وموصل بشكل نجمي وبجهد 120v بتردد 50Hz، وذلك على أطراف ثابت المحرك التحريضي.

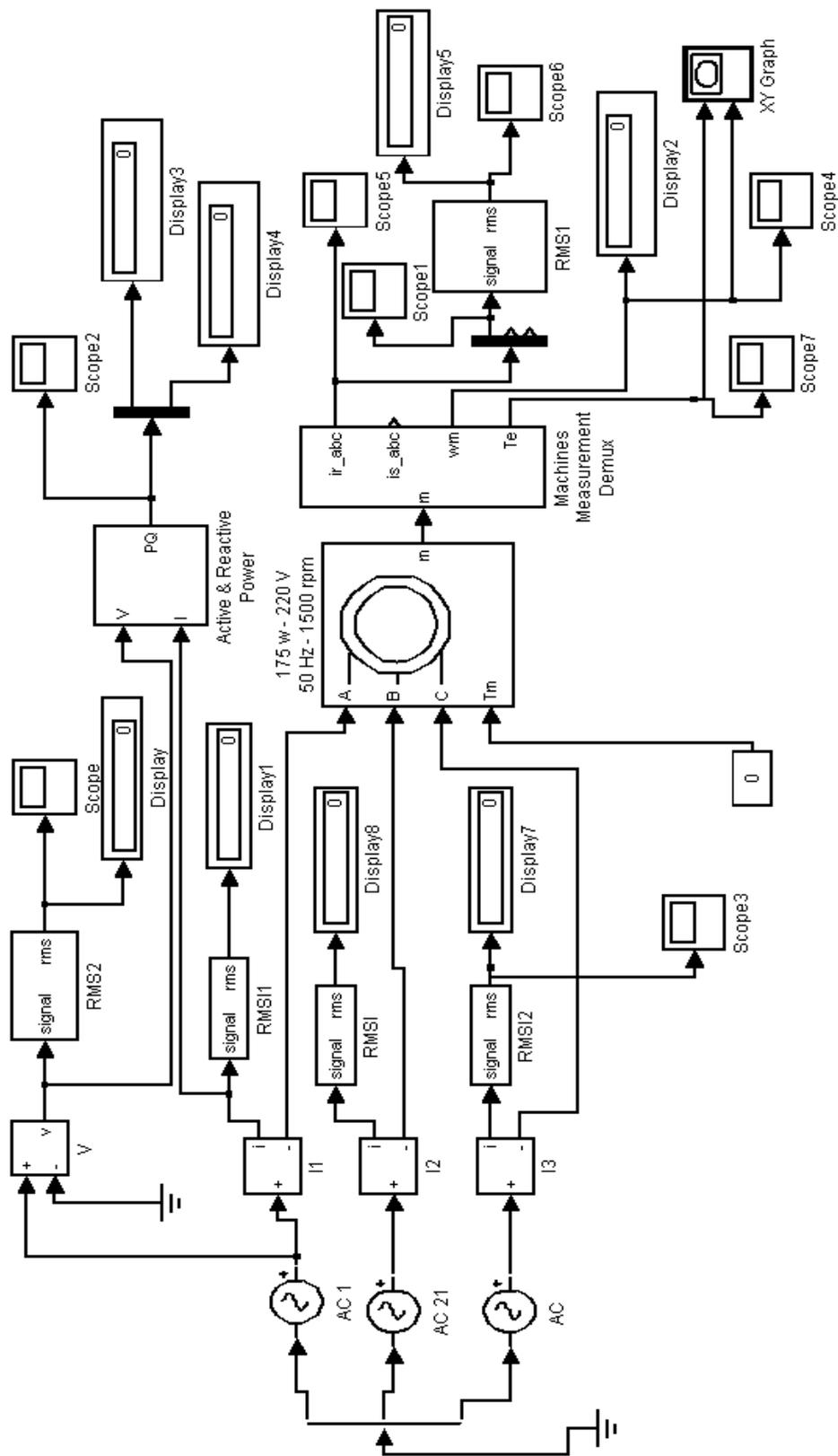


شكل (4) - دارة اختبار اللاحمل

تشكل النقاط (A-B-C) نقاط الدخل للمحرك التحريضي بينما تشكل النقاط (a-b-c) نقاط الخرج للمحرك التحريضي، حيث يتم قصر أطراف الخرج (a-b-c).

إن صندوق الدخل (T_m) تمثل العزم الميكانيكي على محور المحرك. يتم وضع قيمة صفر ($T_m=0$) عند إجراء اختبار اللاحمل.

يتم استخدام ثلاثة صناديق قياس، وذلك لقياس التيار اللحظي في الأطوار الثلاثة. كما يتم تطبيق إشارة خرج كل صندوق من صناديق قياس التيار اللحظي على دخل صندوق لقياس القيمة الفعالة (rms) (root-mean-square). وذلك لحساب القيمة الفعالة لتيار كل من الأطوار الثلاثة.

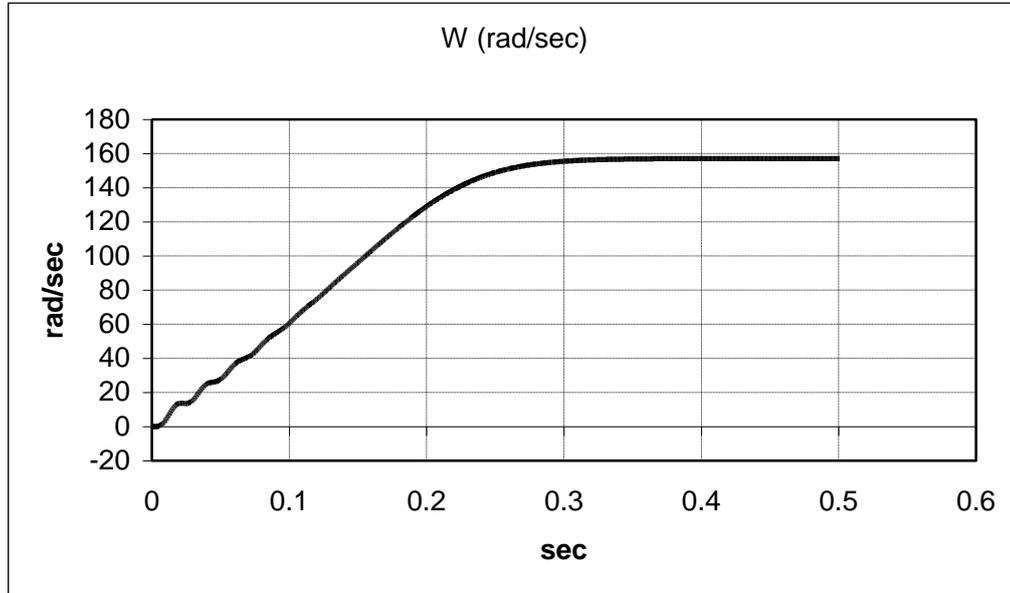


شكل (5) - النموذج التمثيلي لاختبار اللاحمل

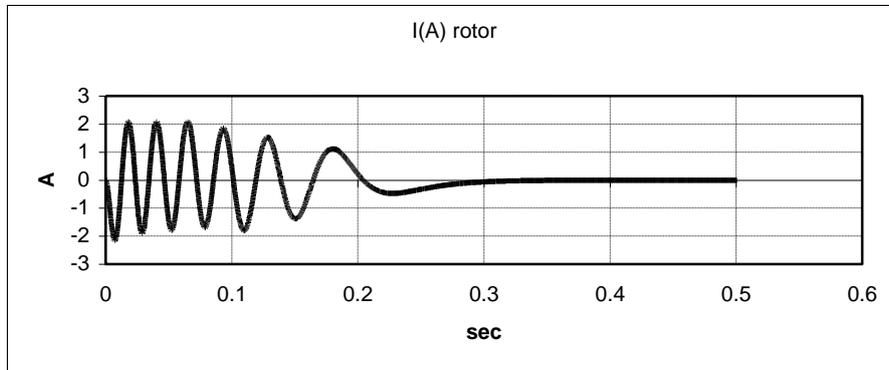
صناديق حساب القيمة الفعالة للتيار تقوم بحساب القيم الفعالة لإشارات دخلها خلال دور واحد ذات التردد الخاص 50Hz. كما يتم استخدام ثلاثة صناديق إظهار لإظهار هذه القيم الفعالة في الأطوار الثلاثة. بشكل مماثل يتم استخدام صندوق لقياس القيمة الفعالة ولإظهارها وذلك لجهد الطور A.

إن قيم الخرج للجهد المقاس من صندوق قياس الجهد وكذلك قيمة التيار المقاس من خرج صندوق قياس التيار يتم وصلها إلى صندوق لقياس الطاقة ويسمى صندوق قياس الاستطاعة الفعلية والردية (active and reactive power). يقوم هذا الصندوق بحساب قيمة الاستطاعة الفعلية وقيمة الاستطاعة الردية (Q_a, P_a). خرج صندوق الاستطاعة يوصل إلى جهاز لقراءة قيمة كل من الاستطاعة الردية والفعلية كما يوصل إلى الجهاز راسم إشارة لمعرفة شكل إشارة كل من الاستطاعة الردية والاستطاعة الحقيقية.

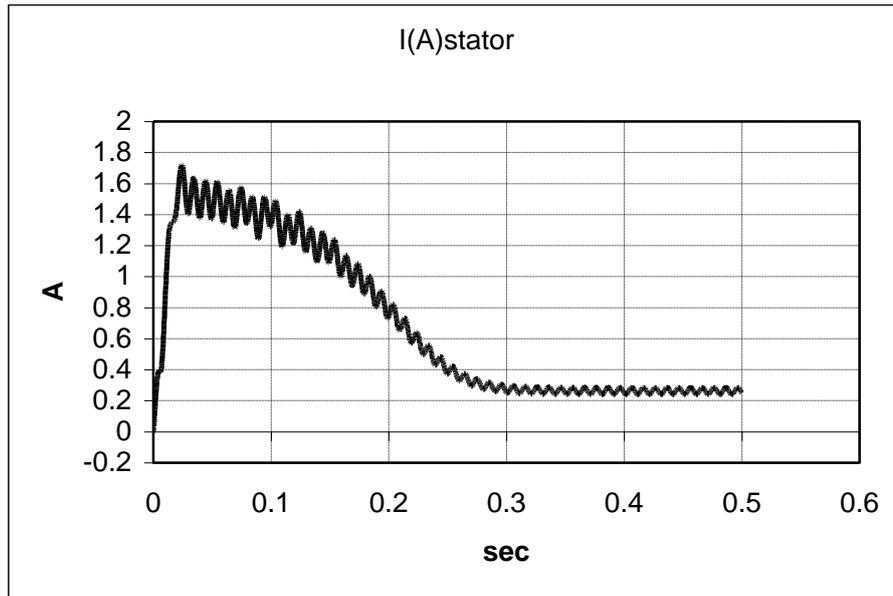
إن النهاية (m-Si) في خرج صندوق المحرك التحريضي تسمح بقياس عدة متغيرات مثل السرعة والعزم الميكانيكي. يمكن من خلال صندوق راسم الإشارة وصندوق جهاز إظهار القيمة المقاسة قياس القيمة المستقرة لإشارة سرعة الدائر للمحرك كما يمكن إظهار إشارة هذه السرعة على راسم الإشارة وذلك مقاسة بـ (rad/sec). كما يمكن تسجيل هذه القيم المقاسة ضمن صفحة العمل لـ MATLAB.



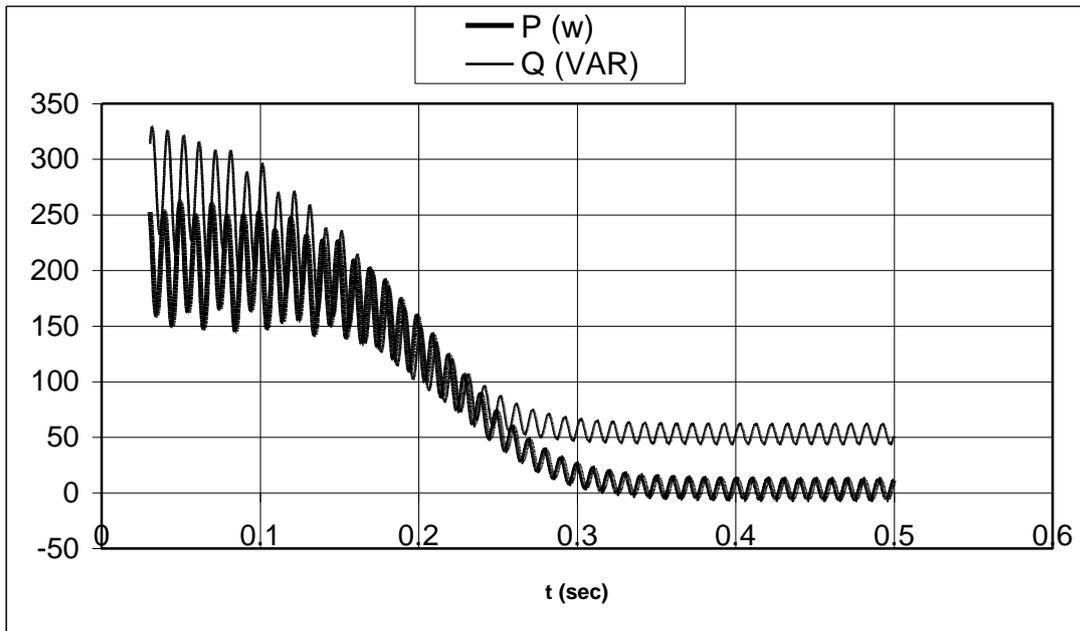
شكل (6) منحنى سرعة اللاحمل



شكل (7) الحالة العابرة لتيار الدائر



شكل (8) الحالة العابرة لتيار الثابت



شكل (9) الحالة العابرة للاستطاعة الفعلية والردية

الشكل (6) يبين تغير السرعة خلال تجربة اللاحمل وفق النموذج التمثيلي `SIMULINK\PSB`. يتم الوصول إلى القيمة المستقرة للسرعة (157 rad/sec للمحرك المختبر) بسرعة. وهذا يؤشر إلى أن أدوات البرنامج `MATLAB\simulink` مناسبة لدراسة السلوك المستقر للمحرك التحريضي بشكل جيد. يمكن ملاحظة وجود بعض الاختلاف بين التجربة الفعلية في المختبر والتجربة باستعمال النماذج التمثيلية `SIMULINK\PSB`. على سبيل المثال في النموذج التمثيلي يتم قياس القيمة الفعلية والردية للاستطاعة في طور واحد من أطوار الدارة المكافئة. بينما في التجربة المخبرية يتم قياس الاستطاعة الكلية في الأطوار الثلاثة.

على كل حال الاختلاف ليس له قيمة في حالة الأطوار الثلاثة المتوازنة ويمكن من خلال قيمة الطور الواحد حساب القيمة الكلية للاستطاعة.

إن القياسات من التجربة المذكورة أعلاه تسمح بالقيام بالحسابات التقريبية للمفاعلة المغناطيسية X_m وكذلك المفاعلة التسريعية للثابت وفق الآتي [3]:

$$|Z_{nl}| = \frac{V_h}{I_h} \approx X_1 + X_m$$

أو:

$$|Z_{nl}| = X_1 + X_m = \frac{Q_a}{I_h^2} \quad (2)$$

حيث:

V_{PH} : جهد الطور ($V_{PH}=V_a$).

Q_a : الاستطاعة الردية المقاسة الأطوار المقاسة.

I_{ph} : القيمة المتوسطة لتيار الأطوار المقاسة.

$$I_{ph} = (I_a + I_b + I_c) / 3$$

و من خلال القيم المقاسة لتيار من تجربة لـ dc وتجربة اللاحمل تمكن من حساب قيم ضياعات الدوران (مجموع ضياعات الاحتكاك وضياعات التشتت والاحتكاك) من العلاقة:

$$P_{rot} = 3P_a - 3I_a^2 R_1 \quad (3)$$

3 - اختبار الدائر المكبوح (القصر):

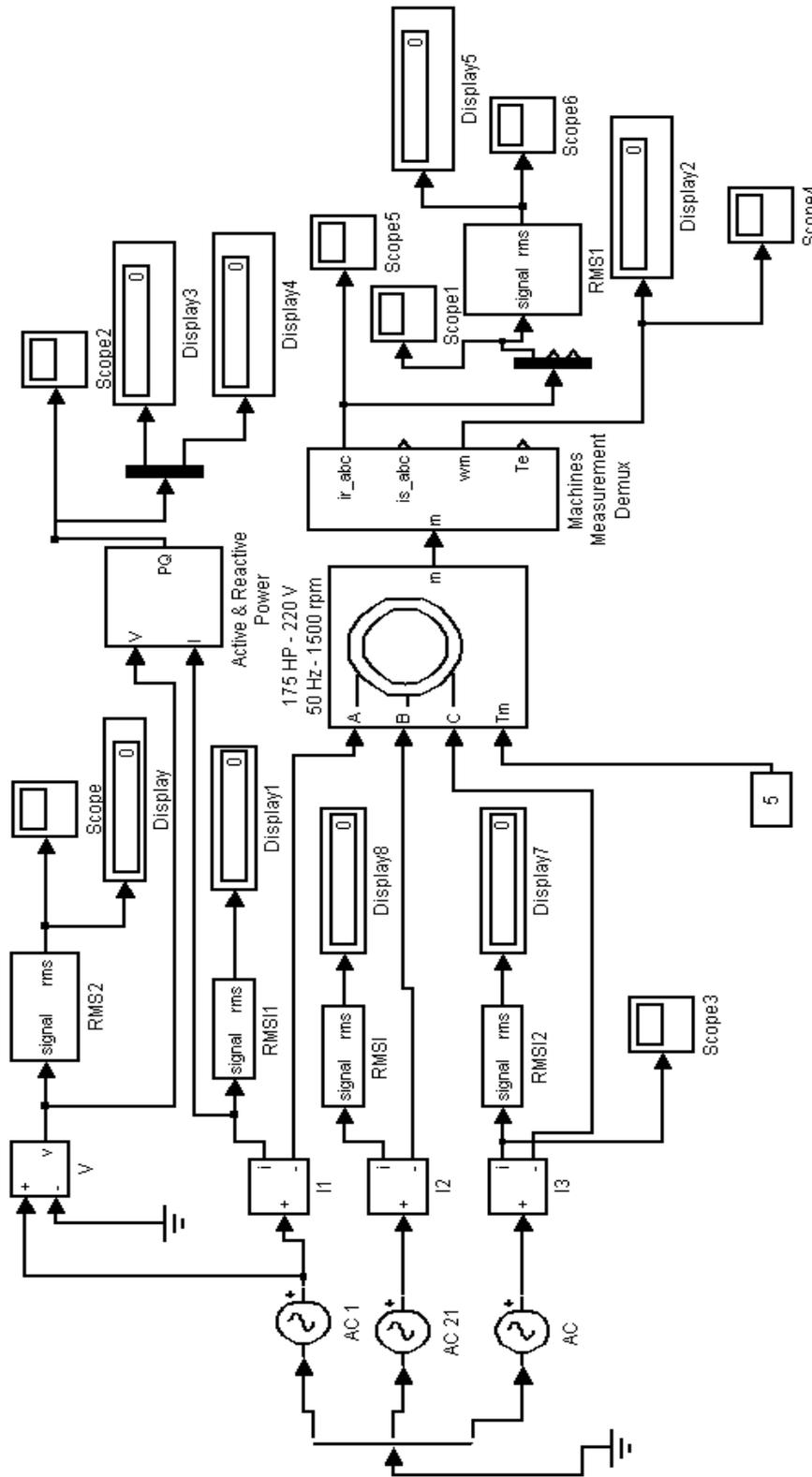
يمكن من خلال اختبار القصر تحديد بعض عناصر الدارة المكافئة حيث يكون في هذا الاختبار دوائر المحرك التحريضي مكبوح ويتم تطبيق جهد على الثابت اقل من الجهد الاسمي بحيث لا يمر في ملفات الثابت تيار اكبر من التيار الاسمي. وفي هذه الحالة يتم قياس الاستطاعة والتيار والجهد.

الشكل (10) يبين النموذج التمثيلي (PSB) لتجربة الدائر المقصور. وهذا الشكل يشابه توصيلة تجربة اللاحمل والمبينة في الشكل (3) الاختلاف بين الدائرتين يمكن إهماله. في نموذج تجربة الدائر المقصور يتم وضع عزم العطالة للمحرك التحريضي مساو اللانهاية. $J = \infty$.

كما تستخدم الصناديق نفسها لقياس المقادير (التيار، الجهد، الاستطاعة الفعلية والردية). العزم الميكانيكي المطبق على محور المحرك يؤخذ كقيمة عشوائية (غير الصفر). [في هذه الحالة نطبق عزم قدرة $T_m=5Nm$] حيث لا تأثير لهذه القيمة عندما يكون عزم العطالة في تجربة اللاحمل يساوي اللانهاية، وحيث تبقى سرعة الدوران في تجربة القصر مساوية للصفر بسبب أن عزم العطالة يساوي اللانهاية.

إن معطيات القياس للدائر المقصور تمكننا من حساب قيم مقاومة القصر وكذلك مفاعلة القصر.

$$Z_{br} = R_{br} + jX_{br} = \frac{V_a}{I_{ph}} \quad (4)$$



شكل (10) النموذج التمثيلي لاختبار القصر

حيث : R_{br} : قيمة مقاومة القصر، X_{br} : مفاعلة القصر.

$$R_{br} = \frac{P_a}{I_{ph}^2}$$

$$X_{br}^2 = X_1'^2 + X_2'^2 = \sqrt{|Z_{br}|^2} R_{br}^2 \quad or \quad (5)$$

$$X_{br}' = X_1' + X_2' = \frac{Q_a}{I_{ph}^2}$$

عند الانتهاء من الاختبارات الثلاثة، يمكن ببساطة حساب محددات الدارة المكافئة.

1. مقاومة الثابت R_1 : يتم حسابها مباشرة من اختبار dc.
2. اختبار اللاحمل يعطي مجموع مفاعلات: المغنطة X_m وكذلك مفاعلة التثنت للثابت X_1 .
3. اختبار القصر: يعطي مفاعلة التثنت للثابت والدائر.

الآن من الضروري إيجاد نسبة كل من مفاعلة التسرب للثابت والدائر وذلك بالاستفادة من معطيات المحاضرة النظرية وذلك حسب مواصفات المحرك. وعندما يكون صنف المحرك غير معلوم يتم اعتبار $(X_1=X_2=0.5X_{br})$ يمكن الآن حساب المفاعلة المغناطيسية X_m باستخدام العلاقة 2 كما يلي:

$$X_m = X_{nl} - X_1 \quad (6)$$

يمكن حساب قيمة مقاومة الدائر R_2 من العلاقة التقريبية الآتية اعتماداً على محددات الدارة المكافئة أثناء

$$R_2 = (R_{nl} - R_1) \left(\frac{X_2 + X_M}{X_M} \right)^2 \quad (7) \quad \text{القصر [3].}$$

4 - مقارنة قيم عناصر الدارة المكافئة:

لمعرفة قيمة إجراء الاختبارات باستخدام Simulink\PSB تم إجراء مقارنة لنتائج الاختبارات هذه مع الاختبارات الفعلية لمحرك تحريضي ثلاثي الطور موصل على شكل نجمي باستطاعة 175 w- 220v وبسرعة اسمية 1360 r.p.m. وذلك بإجراء الاختبارات لثلاثة محركات وكانت القياسات كما هو مبين في الجدول (1).

الجدول رقم (2) يبين نتائج حسابات عناصر الدارة المكافئة وفق الاختبارات الفعلية.

جدول رقم (1) نتائج قياسات الاختبارات الفعلية للمحرك التحريضي

		Ia (A)	Ib (A)	Ic (A)	Va (v)	Pa (w)	Qa (VAR)
M1	No- Load	0.25	0.279	0.274	215	12	56.8
	Blocked - Rotor	0.49	0.509	0.506	75	21.6	28.6
M2	No- Load	0.251	0.281	0.276	214	12.1	57.6
	Blocked - Rotor	0.49	0.508	0.505	66	21.5	27.9
M3	No- Load	0.25	0.279	0.274	215	11.8	57.1
	Blocked - Rotor	0.493	0.508	0.505	67.52	21.6	28.8

جدول رقم (2) عناصر الدارة المكافئة حسب الاختبارات الفعلية

	R1 (Ω)	Znl (Ω)	Zsc (Ω)	Rsc (Ω)	Xsc (Ω)	X1 (Ω)	X2 (Ω)	Xm (Ω)	R2 (Ω)
M1	36.634	803.238	149.502	85.827	113.641	56.821	56.821	746.417	56.968
M2	36.634	794.554	131.737	85.657	111.155	55.577	55.577	738.977	56.675
M3	36.634	803.238	134.502	85.713	114.284	57.142	57.142	746.096	56.885

نتائج الاختبارات التمثيلية لاختبارات اللاحمل والقصر من اجل المحرك (1) مبينة في الجدول (3) حيث إن المحددات المختلفة كالجهد والتيار والاستطاعة اللازمة لحساب عناصر الدارة المكافئة مبينة في هذا الجدول اختبارات الـ dc للمحرك (1) هي كما يلي:

Vdc (v)	Idc (A)
37	0.505

جدول رقم (3) نتائج قياسات الاختبارات التمثيلية

	Ia (A)	Ib (A)	Ic (A)	Va (v)	Pa (w)	Qa (VAR)
No- Load	0.254	0.284	0.25	213.5	11	51
Blocked - Rotor	0.51	0.49	0.492	66.22	21.4	29.9

نتائج اختبار الـ DC للنموذج التمثيلي كانت :

Vdc (v)	Idc (A)
38	0.505
3	0.505

نتائج الاختبارات التمثيلية للمحركات الثلاثة الأخرى هي اختبارات المحرك نفسها (1) لذلك لم يتم عرضها في الجدول. ويبين الجدول رقم (4) يبين قيم عناصر الدارة المكافئة وفق نتائج الاختبارات على النموذج التمثيلي:

جدول رقم (4) قيم عناصر الدارة المكافئة وفق نتائج الاختبارات على النموذج التمثيلي

R1 (Ω)	Znl (Ω)	Zsc (Ω)	Rsc (Ω)	Xsc (Ω)	X1 (Ω)	X2 (Ω)	Xm (Ω)	R2 (Ω)
37.624	812.817	133.150	86.520	120.886	60.443	60.443	752.374	57.069

في الجدول (6) نبين قيم الخطأ بين القيم المحسوبة من التجارب المخبرية الفعلية والنتائج من تجارب الاختبارات للنماذج التمثيلية قيم الخطأ النسبية المبينة تعتبر مقبولة.

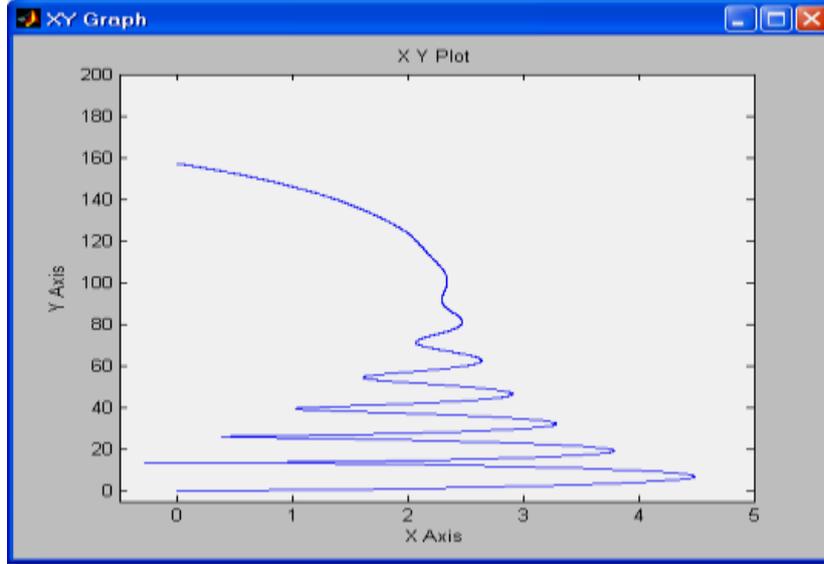
جدول رقم (5) قيم عناصر الدارة المكافئة وفق النموذج التمثيلي

R1	R2	X1	X2	Xm
37.62	57.10	60.44	60.44	752.37

جدول رقم (6) مقارنة نتائج القياس

R1	Error%	R2	Error%	X1	Error%	X2	Error%	Xm	Error%
36.63	2.62	56.97	0.23	56.82	5.99	56.82	5.99	746.42	0.79
36.63	2.62	56.67	0.74	55.58	8.05	55.58	8.05	738.98	1.78
36.63	2.62	56.88	0.38	57.14	5.46	57.14	5.46	746.10	0.83

من دراسة النتائج المبينة في الجدول (6) نستنتج أن النماذج المقترحة لتمثيل المحرك التحريضي قد أعطت نتائج مقبولة في حساب عناصر الدارة المكافئة وبدقة مقبولة حيث كانت أكبر قيمة للخطأ بين نتائج الدراسة المخبرية الفعلية ونتائج الدراسة التمثيلية كانت 8.05% وهي قيمة مقبولة ولا تقلل من أهمية المادة العلمية. يمكن من النموذج التمثيلي استنتاج العديد من مميزات المحرك التحريضي، على سبيل المثال يمكن معرفة مميزات العزم - السرعة من خلال صندوق راسم (X-Y) حيث ندخل على المدخل X إشارة من مقياس العزم وإلى المدخل Y إشارة السرعة. المميزة مبينة في الشكل (11)



الشكل (11) مميزة العزم - السرعة

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1 - تم في هذا العمل وضع نماذج تمثيلية رسومية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور تسمح بالتعرف على المميزات المختلفة لعمل هذا المحرك من خلال استنتاج قيم عناصر الدرة المكافئة لطور واحد.
- 2 - بينت نتائج الدراسة أن الحزمة البرمجية MATLAB والتي تضم Simulink/Power System Blockset تعتبر وسيلة جيدة لتمثيل ونمذجة المحرك التحريضي ثلاثي الطور.
- 3 - إن نتائج هذه النمذجة يمكن أن تقدم وسيلة مهمة تدعم العملية التدريسية في قاعات المحاضرات النظرية كما في المختبرات العملية.
- 4 - إن النماذج المقترحة إضافة إلى أنها وسيلة تعليم إيضاحية مهمة يمكن أن تستخدم في عمليات بحث مختلفة لدراسة المحركات التحريضية في حالات العمل الستاتيكية والديناميكية.
- 5 - نوصي بإدخال الكمبيوتر المزود بالحزمة البرمجية MATLAB & Simulink إلى جانب منصات التجارب العملية في مخابر الآلات الكهربائية لما تقدمه من إضافة مهمة للدراسة المخبرية توفر على الطالب الوقت والجهد لفهم واستيعاب المواضيع المدروسة.
- 6- نوصي باعتماد هذه الطريقة في النمذجة لإعداد نماذج حاسوبية رسومية لمختلف أنواع الآلات الكهربائية.

المراجع:

1. NEHRIR, M., GEREZ, H. V. "Computer modeling for enhancing instruction of electric machinery," IEEE Trans. Educ., vol. 38, May 1998.
2. CHAPMAN, S. J. *Electric Machinery and Power System Fundamentals*, McGraw-Hill, New York, 2002.
3. SARMA, M. S. *Electric Machines: Study-State theory and dynamic performance*, 2nd ed. St, paul, MN: West, 1994.
4. SHI, K. L., CHAN, T. F., WONG, Y. K. and HO, S. L. "Modeling and Simulation of three-phase induction motor using Simulink," *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, vol.36, 1999.
5. HANSELMAN, D. "Matlab user guide ," New Jersey 1995.