Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

اقتراح طريقتين لإيجاد قيمتي المحاثة المصطفة وغير المصطفة لمحركات المعاوقة المفتاحية

عمر غياث ابراهيم بشير[1] **ضياء علي**[2]

قسم الكهرباء / كلية الهندسة / جامعة الموصل[1,2]

Alsarafomar89@gmail.com[1] dalnimma@yahoo.com[2]

الخلاصة

لتمثيل المحرك المعاوقي المفتاحي حاسوبياً نحتاج لحساب قيمة المحاثة المصطفة وغير المصطفة. تم في هذا البحث اقتراح طريقتين مبسطتين للقياس. تمت المقارنة بين الطريقتين بالاعتماد على شكل تيار المحرك المأخوذ عملياً مع تيار نموذج التمثيل بعد تعويض قيم المحاثة في نموذج التمثيل الحاسوبي واختيار الطريقة الادق للقياس. وكانت القيم التي تم الحصول عليها من الفحصين و لكل من المحاثة المصطفة وغير المصطفة وعلى الترتيب (١٠١ ، ٧٠ ، ٧٤,٥ ، ٥٩,٥) ملي هنري. ومن خلال تعويض قيم المحاثات في النموذج الحاسوبي ومقارنة اداء هذا النموذج مع الاداء العملي، تم التوصل الى ان الفحص الاول اقرب بنسبة ٩٣% من القيمة العملية مقارنة مع الفحص الثاني والتي تصل نسبة التطابق الى ٧٩% ، وكانت مواصفات المحرك المستخدم من نوع SRM80L ذو قدرة مقننة 550 واط و ٤ اطوار وعدد اقطاب الساكن ٨ وعدد اقطاب الدوار ٦ والسرعة المقننة للمحرك كانت ١٠٠٠ دورة/دقيقة والعزم المقنن ٥ نيوتن.متر والتيار المقنن ٤.٥ امبير وكانت فولتية المسوق Driver AC تساوي 230 فولت وفولتية المحرك Motor DC تساوي ٢٨٥ فولت.

الكلمات الدالة: محرك معاوقي مفتاحي ، دائرة السوق ، محاثة مصطفة وغير مصطفة

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

Propose Two Methods To Find Values of The Aligned And Unaligned Inductance of The Switched Reluctance Motor

Dhiya Ali ***Omar Ghayath Ibrahim[1]***

Basher[2]

Electrical Department/ College of Engineering/ University of Mosul[1,2]

Alsarafomar89@gmail.com[1] dalnimma@yahoo.com[2]

Abstract

Aligned and unaligned inductances of SRM are needed for modeling and simulation program. Two simple methods have been suggested in this research to measure value of these inductances. It has been compared between two method depending on the shape of the motor current taken practically with the simulation current after compensating the value of the inductance in the simulation model and chose the most accurate method to measure the inductance. The values of the aligned and unaligned inductance in both methods in sequence are (101, 70, 74.5, 59.5). Through compensation the inductance values in the simulation model and compare the performance of this model with the practical performance, it was reached that the first test the nearest 93% of the practical value compared with the second test, which reaches matching ratio to 79%.

The specification motor used was: type motor-SRM80L, Power rated=550watt, Number of phases=4, Number of poles 8 in stator and 4 in rotor, rated speed=1000rpm, rated torque=5N.m, rated current=4.5A, Driver AC=230v, Motor DC=285v.

Keywords: *Switched Reluctance Motor , Drive Circuit , Aligned and Unaligned Inductance .*

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

١. المقدمة (Introduction)

إنَّ المُحَركات الكهربائية تؤدي دَوراً مُهماً في جَميعِ مَجالاتِ الحَياة، وكذلك تعد جزءاً لا غنى عنهَ في حياتنا اليومية، ومن المحركات التي ازداد الاهتمام بها واستعمالها في كثير من التطبيقات هو المحرك المعاوقي المفتاحي Switched Reluctance Motor (SRM) وذلك للمحاسن التي تتوفر فيه وبضمنها محاسن لا تتوفر في بقية المحركات الاخرى. منها انه لا يحتوي على مغناطيس دائمي ولا على فرش ولا على مبدل كما ان الدوار خالٍ من اللفائف فضلاً عن ذلك بالإمكان تغيير سرعته بسهولة والعديد من المزايا الاخرى التي لا تملكها باقي المحركات [1][2] وهنالك تطبيقات واسعة للمحرك المعاوقي المفتاحي، فهو يستخدم في تطبيقات صناعية عديدة فضلاً عن عدد مِن الأجهزة الكهربائية المنزلية. وفي سبعينيات القرن الماضي طُورتْ نماذج للسيارات الكهربائية لتكون قاعدة أساسية للسيارات الكهربائية الحديثة [3][4]، و قد توجهت الانظار إلى تطوير السيارات الكهربائية وتصنيعها. ومن المحركات التي دخلت في مجال صناعة السيارات الكهربائية والهجينة [5] هو المحرك المعاوقي المفتاحي SRM و ذلك للمزايا التي يمتلكها المذكورة انفاً فضلاً عن مزايا اخرى ملائمة للسيارات الكهربائية. كما ان المحرك المعاوقي المفتاحي SRM لا يمكن ان يخلو من بعض المساوئ ومنها الضوضاء و الاهتزاز و الحاجة لمتحسس لموقع الدوار.

ان المحرك المستخدم في هذا البحث يحتوي على ثمانية اقطاب في الساكن وستة اقطاب في الدوار ويعد الافضل عن بقية المحركات المعاوقية المفتاحية التي تملك عددا اكبر او اقل من الاقطاب. فقد وجد ان هذا العدد من الاقطاب يعطي عزما ذا تموج قليل ripple torque و معدلا اعلى average torque نسبيا نتيجة بحوث سابقة [6].

يتم التحكم في المحرك المعاوقي المفتاحي SRM من خلال تلقي اشارات من متحسس موقع الدوار وادخالها الى متحكم الذي يقوم بدوره بإعطائه اشارات الملائمة للمسوق. من هذا التعريف المبسط المختصر، يتضح ان اداء مسوق المحرك المعاوقي المفتاحي SRM يعتمد على دائرة السوق.

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

ولتمثيل المحرك المعاوقي المفتاحي حاسوبيا يحتاج لحساب عناصر المحرك عمليا وتكمن الصعوبة في حساب قيمة المحاثة المصطفة وغير المصطفة، ان الطرق التقليدية لحساب المحاثة التي تعتمد على قيمة V, I غير دقيقة وذلك لان قيمة المحاثة تعتمد على قيمة التيار الاني تحت ظروف التشبع المغناطيسي لهيكل الجزء الساكن [7]. في هذا البحث استعملت طريقتان لإيجاد قيمة المحاثة. الاولى- بالاعتماد على فحص مصدر تيار مستمر والثانية- باستخدام فحص مصدر تيار متناوب مع اجراء الحسابات الرياضية لإيجاد قيمة المحاثة. تم اجراء فحصين للحصول على قيمتي المحاثة المطلوبة وتم اخذ الفحص الاكثر دقة اعتمادا على شكل التيار الاقرب لشكل التيار العملي.

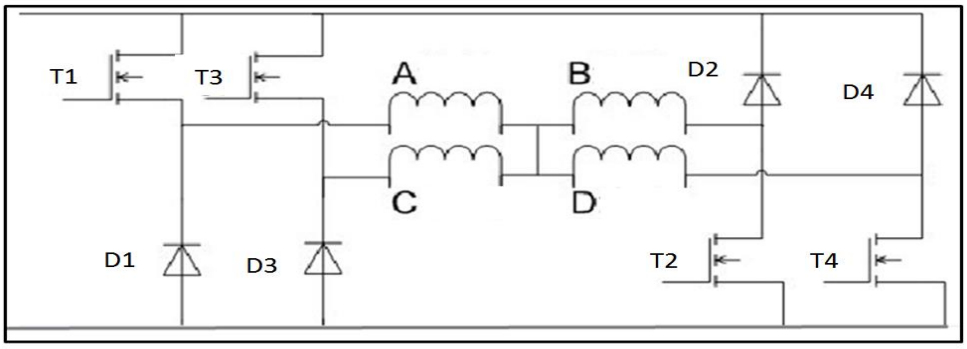
٢.الجزء العملي (Experimental Part)

١.٢. الفحص الاول- مصدر تيار مستمر (Test One-D.c Source Current)

تتكون منظومة المحرك المعاوقي المفتاحي من محرك ودائرة السوق ودائرة السيطرة. دائرة السوق من نوع (H-bridge converter) ويمتلك هذا النوع عددا من مفاتيح القدرة اقل من الانواع الاخرى وتعتبر هذه ميزه من ناحية الكلفة لهذا المغير [8]. كما موضحة في الشكل (١ أ، ب).

الشكل (١ أ) منظومة المحرك المعاوقي المفتاحي

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

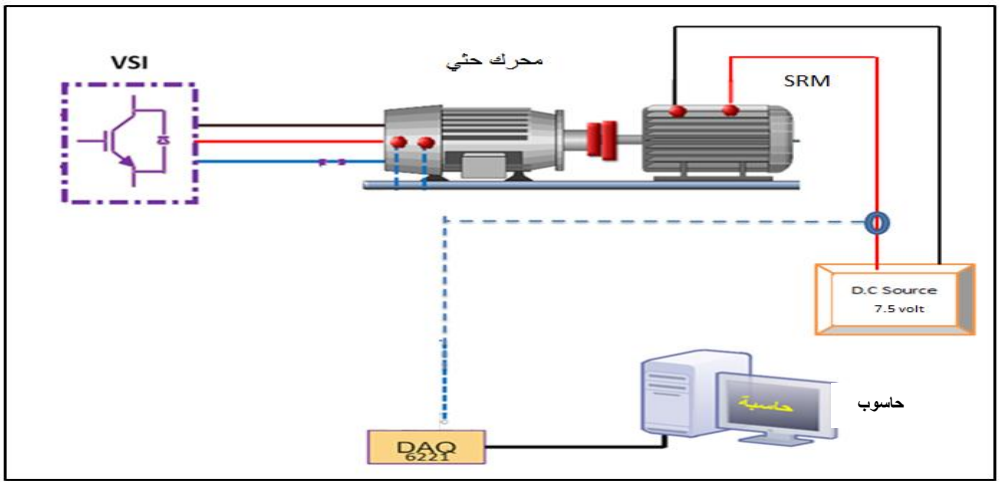


الشكل (١ ب) دائرة السوق

AC الى DC غير محكوم وتتكون الدائرة من ٤ ثنائيات و٤ ترانزستورات فقط وتسمى هذه الدائرة (H-bridge converter).

تم فصل المحرك عن دائرة السوق Drive وتم تسليط فولتية مستمرة قيمتها ٧.٥ فولت على لفائف المحرك خط-خط ، وتم ربط دوار المحرك المعاوقي المفتاحي مع دوار محرك حثي ثانوي، تم تشغيل المحرك الثانوي prime mover يتغذى من مغير فولتية Voltage Source Inverter VSIحيث يتم التحكم بسرعة المحرك الحثي الثانوي وعزمه عن طريق التغير في الفولتية و تردد المغير الذي يعمل بتقنية تضمين عرض النبضة PWM . تم ضبط سرعة دوران المحرك الثانوي بسرعة تقرب من ٥ دورة/ثانية أي ما يعادل 10*pi زاوية نقية \ ثانية. تم ربط متحسس التيار بتأثير المجالHall effect من نوع Current Transducer LTS 15-NP على التوالي مع طوري المحرك تحت الفحص. يستعمل هذا المتحسس مع الموجات غير الجيبية المتوقعة للتيار بسبب تغير قيم المحاثات مع زاوية الدوران، ومن ثم يتم إدخال اشارة التيار المذكورة آنفاً إلى الحاسبة عن طريق نظام تحصيل ومعالجة البيانات Data acquisition system لإدخال البيانات الى برنامج الماتلاب والاستفادة منها لتحليل الموجات وكما موضح في الشكل (٢) و الشكل (٣) اما الشكل (٤) يوضح شكل التيار الداخل للمحرك في هذه الحالة.

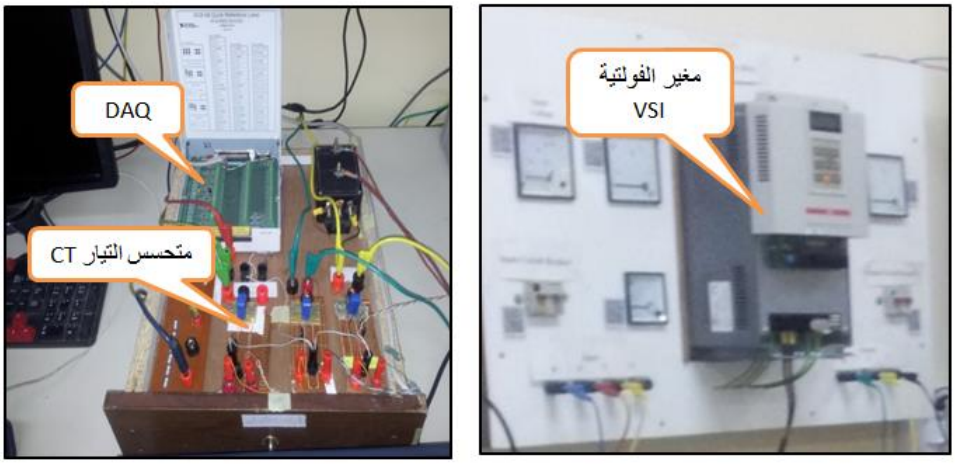
Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849



الشكل (٢) مخطط ربط الدائرة العملية – الفحص الاول

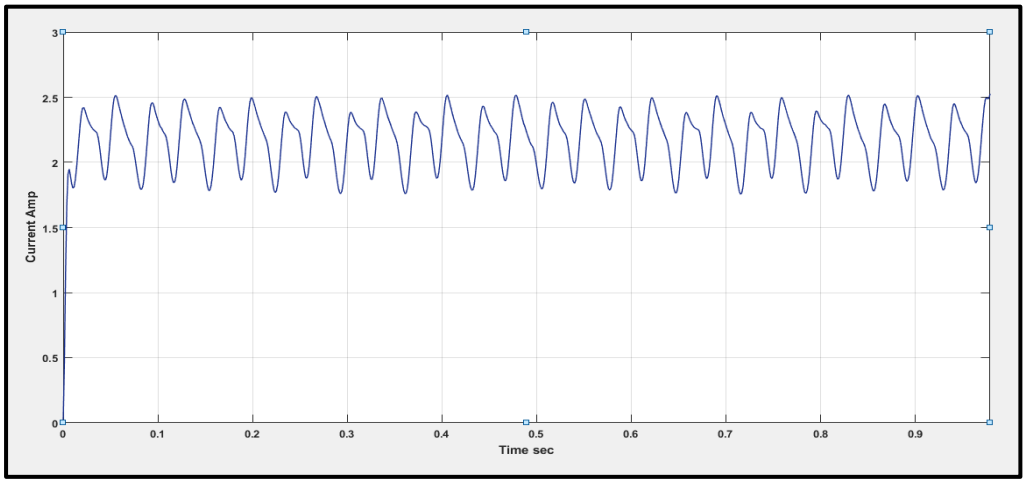
(أ: ربط المحرك المعاوقي مع محرك ثانوي)

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849



(ب: مغير الفولتية)　　(ج: نظام تحصيل ومعالجة البيانات ومتحسس التيار)

الشكل (٣ أ، ب، ج) صور الدائرة الدائرة العملية – الفحص الاول



الشكل (٤) التيار الداخل الى المحرك – الفحص الاول

يتضح من الشكل (٤) ان التيار يحتوي على توافقيات بسبب الشكل غير الجيبي لتغير المحاثة مع زاوية الدوران فضلاً عن عدم خطية الدائرة المغناطيسية بسبب التشبع.

تم بناء نموذج لحساب قيم المحاثة المصطفة والمحاثة غير المصطفة اعتمادا على اشارة التيار من هذا الفحص وذلك باستعمال برامجية MATLAB/Simulink وكما في الشكل (٥) والشكل (٦) يوضح مجموع المحاثتين، والبرنامج هذا عبارة عن حل للمعادلة الاتية.

$$E = Ri + \frac{d(l_T, i)}{dt} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

$$E = Ri + l_T \frac{di}{dt} + i\frac{dl_T}{dt} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

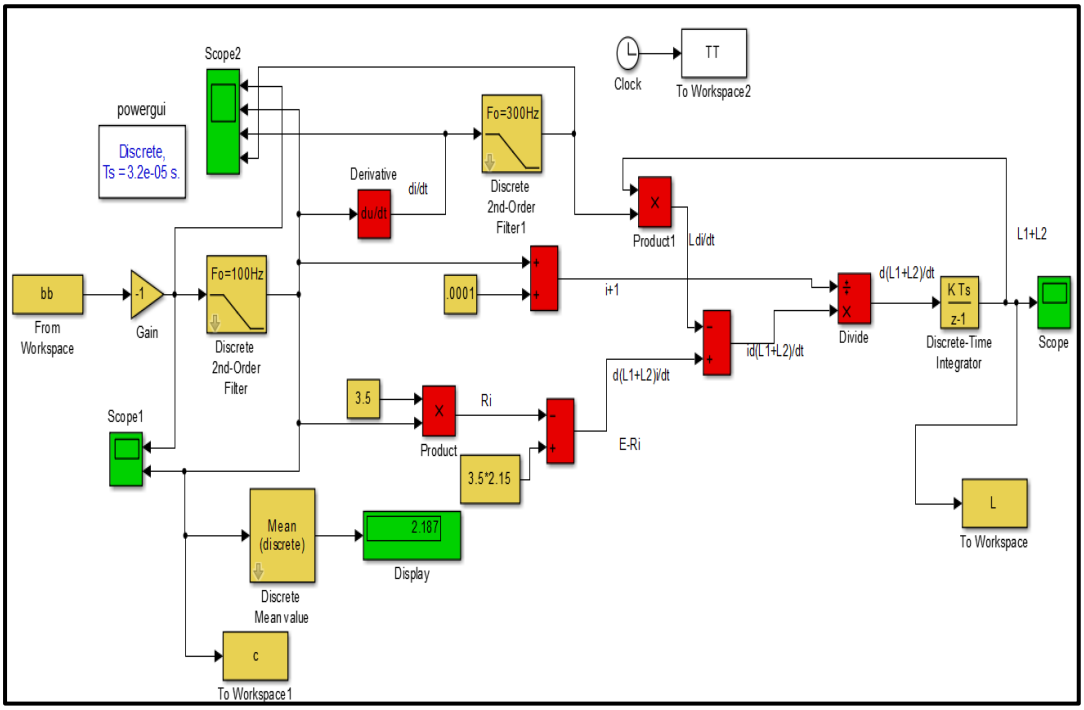
$$l_T = \frac{E - Ri - i\frac{dl_T}{dt}}{\frac{di}{dt}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

E = الفولتية المسلطة على اللفائف

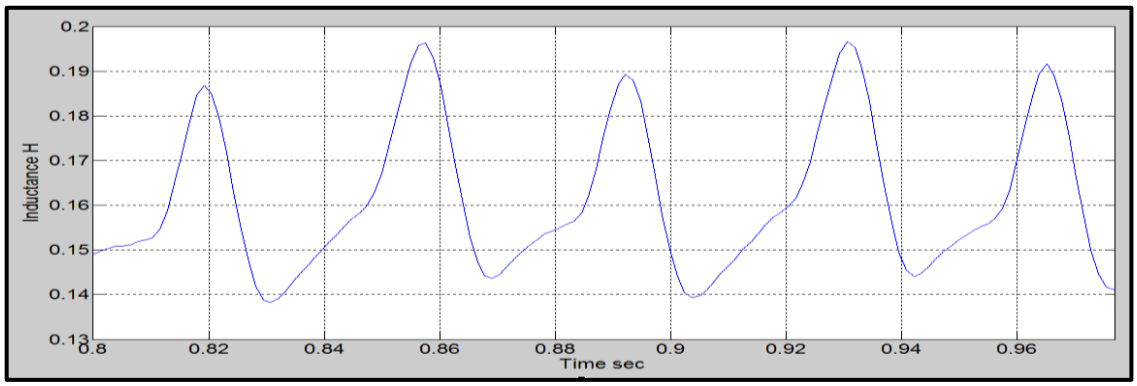
R = المقاومة لكل طور بالاوم

i = التيار المار باللفائف بالأمبير

l_T = المحاثة الكلية بالهنري



الشكل (٥) نموذج لحساب قيم المحاثة



الشكل (٦) مجموع المحاثتين المصطفة وغير المصطفة

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

من الرسم في الشكل (٦) و باستعمال المعادلات (٢، ٣، ٤) نجد قيمة المحاثة غير المصطفة L_{Tmin} و قيمة المحاثة المصطفة L_{Tmax}. نفرض ان دالة محاثة الطور الاول مع زاوية الدوران Θ هي مقربة بشكل موجة جيبية:

$$L_1 = K + Asin\theta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

وبسبب كون الزاوية بين بروزين متتالين في الجسم الدوار تساوي $\frac{\pi}{3}$ اذن تكون دالة محاثة الطور الثاني المربوط على التوالي مع الطور الاول هي:

$$L_2 = K + Asin\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

وبما ان

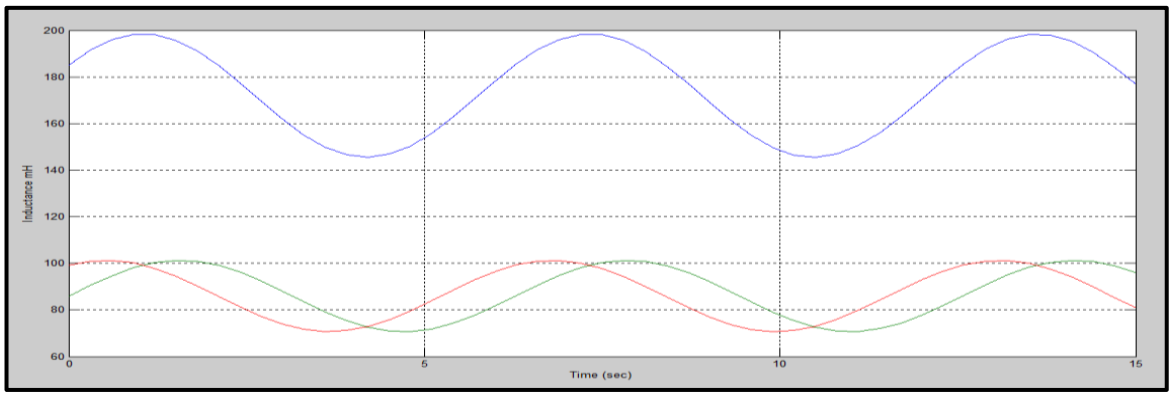
$$L_T = L_1 + L_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

إذ

$$L_T = 2K + A\left[sin\theta + sin\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right)\right] =$$

$$2K + \sqrt{3}Asin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

ويبين الشكل (٧) محاثتي الطور الاول والثاني مع مجموعهما.



الشكل (٧) محاثة الطور الاول والثاني ومجموع المحاثتين

من الرسم في الشكل (٧)

$$L_{1\,max} = K + A \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$
$$L_{1\,min} = K - A \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$
$$L_{T\,max} = 2K + \sqrt{3}\,A \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$
$$L_{T\,min} = 2K - \sqrt{3}\,A \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

L_1 = محاثة الطور الاول

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

L_2= محاثة الطور الثاني

من المعادلة (٨) نوجد A

$$A = \frac{L_{T\,max} - 2K}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (10)$$

نعوض A في المعادلة (٦)

$$L_{1\,max} = K + \frac{L_{T\,max} - 2K}{\sqrt{3}} =$$

$$\frac{L_{T\,max} - (2-\sqrt{3})K}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (11)$$

$$L_{1\,max} = \frac{L_{T\,max}}{\sqrt{3}} - \frac{(2-\sqrt{3})}{\sqrt{3}} K \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (12)$$

من الشكل (٨) نوجد القيمة العظمى و القيمة الصغرى للمحاثة الكلية ومتوسط القيمتين

$$L_{T\,max} = 196.4mH \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (13)$$
$$L_{T\,min} = 140mH \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (14)$$
$$2K = 162mH \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (15)$$
$$K = 81mH \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (16)$$

نعوض القيم السابقة في المعادلة (١٢)

$$L_{1\,max} = 101\ mH \dots\dots\dots (17)$$

بنفس الطريقة السابقة نوجد $L_{1\,min}$

$$L_{1\,min} = K - A \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (18)$$

$$L_{T\,min} = 2K - \sqrt{3}\,A \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (19)$$

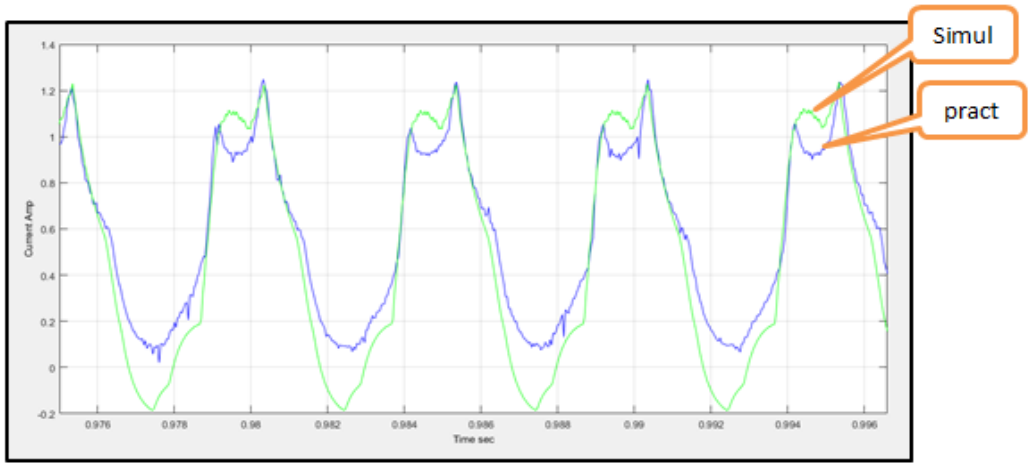
$$A = \frac{2K - L_{T\,min}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (20)$$

$$L_{1\,min} = 70\ mH \dots\dots\dots\dots\dots (21)$$

$$L_{Aligned} = 101\ mH$$
$$L_{Unaligned} = 70\ mH$$

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

لغرض التأكد من قيم العناصر التي تم الحصول عليها من الفحص الاول تم تشغيل المحرك بدون حمل وبسرعة (٢٠٠٠ دورة\دقيقة) كحالة تشغيل اعتيادية وتم الحصول على شكل موجة التيار الداخل الى المحرك من خلال نظام تحصيل ومعالجة البيانات وكما موضح في الشكل (٨). ثم استعملت قيم المحاثات في نموذج حاسوبي للتمثيل والذي سيعرض لاحقا لغرض محاكاة حالة التشغيل هذه وتم الحصول على شكل التيار الداخل الى المحرك كما هو معروض في الشكل السابق نفسه لغرض المقارنة.



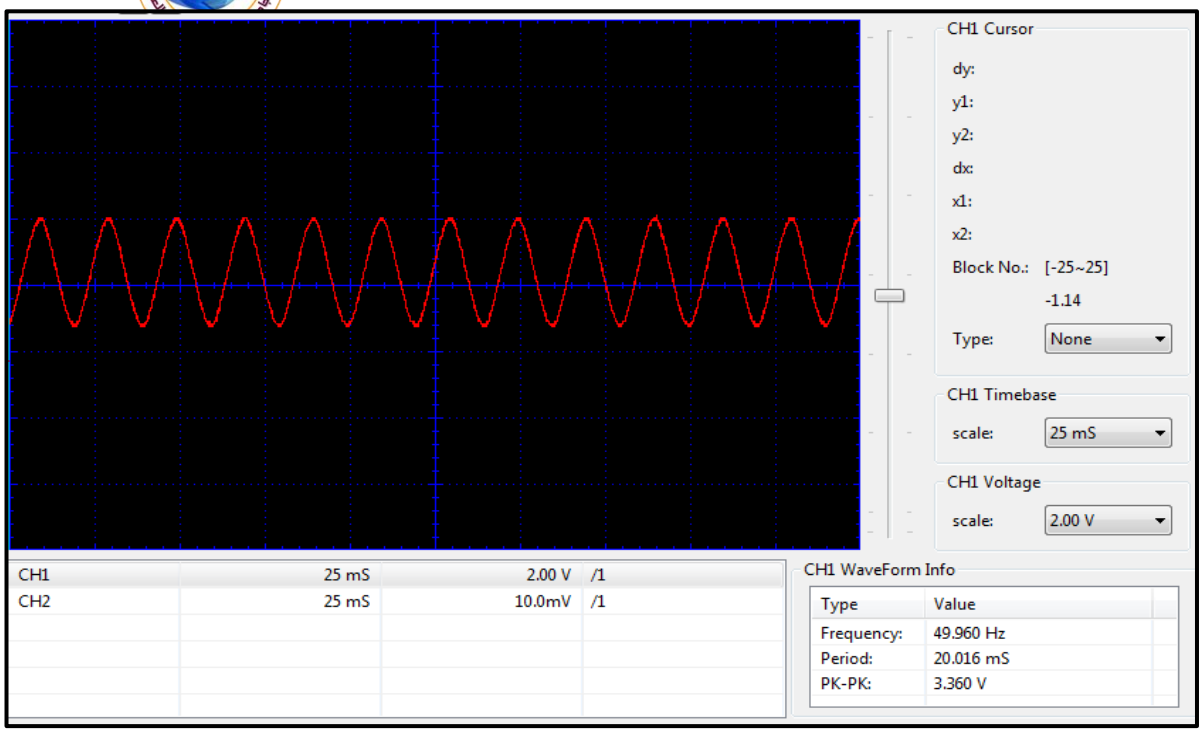
الشكل (٨) مقارنة بين تيار المحرك العملي وتيار تمثيل المحرك ببرنامج الماتلاب نتيجة الفحص الاول

يوجد تطابق عام بين الموجتين حيث اخذت عدة قيم للموجتين وتم ايجاد نسبة التطابق بينهما وكانت ٩٣% مع اختلافات بسيطة سببها تغير المحاثة جيبيا مع زاوية الدوران واهمال حالة التشبع، وفضلاً عن ذلك ثوابت دائرة الامتصاص snubber circuit حيث اعتمدت قيمة ١٠٠٠ اوم وبدون متسعة في البرنامج لأجل الاقتراب من خصائص المفتاح المثالي للترانستور، ولهذا السبب ظهر الجزء السالب للتيار في نتائج التمثيل الحاسوبي.

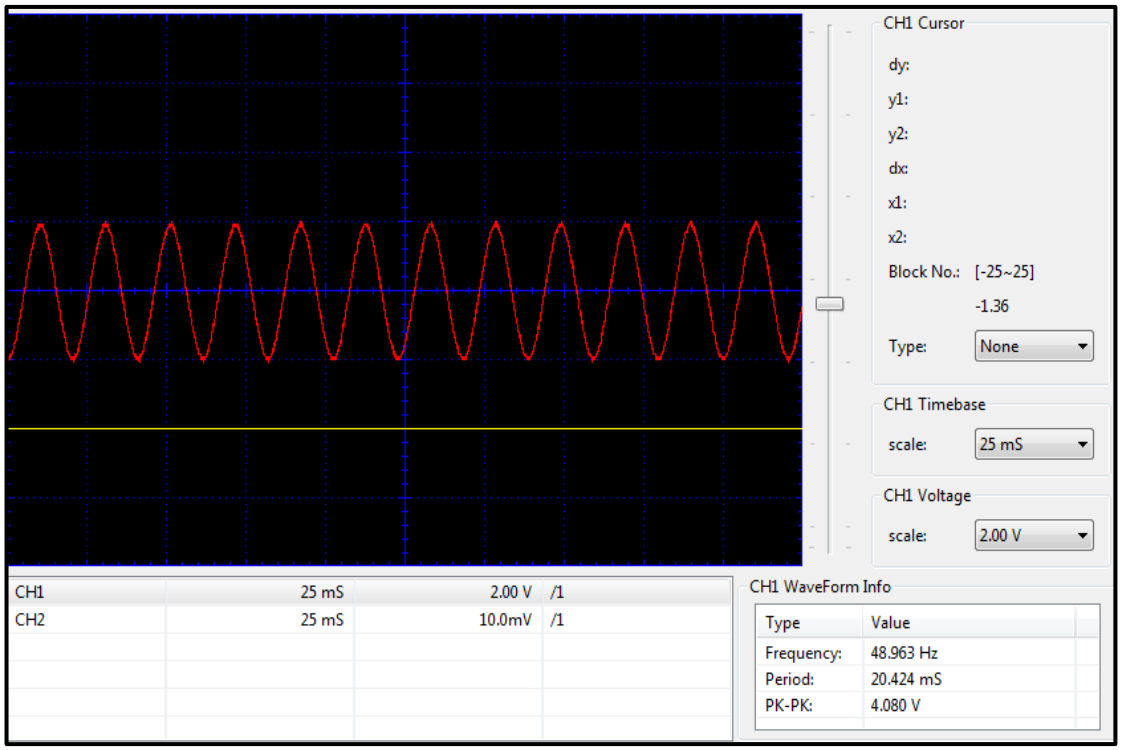
٢.٢. الفحص الثاني- مصدر تيار متناوب (Test Two-A.c Source Current)

تم فصل المحرك عن دائرة السوق Drive وتم تسليط فولتية متناوبة قيمتها ٥٥.١ فولت وبتردد ٥٠ هرتز على لفائف المحرك خط-خط والمحرك يبقى ساكنا [9]، اخذت اشارة التيار الى الراسمة scope، تم تغيير موضع الجسم الدوار للمحرك يدويا لتحسس اعلى واقل قيمة للتيار تظهر على الراسمة، وكما موضح في الشكل (٩ أ، ب).

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849



الشكل (٩ أ) القيمة الصغرى للتيار عند موضع معين للجسم الدوار



الشكل (٩ ب) القيمة العظمى للتيار عند موضع اخر للجسم الدوار

و (٩

ب).

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

من الشكل (٩ أ) نوجد قيمة التيار الصغرى.

Minimum current = 3.36 A peak-peak

من الشكل (٩ ب) نوجد قيمة التيار العظمى

$Maximum\ current = 4.08\ A\ peak - peak$

$V = 55.1\ rms$

$R = 3.5\ \Omega$

$\boldsymbol{To\ find\ L_{Tmax}}$

$Z = \frac{V}{I} = 46.382\ \Omega$

$Xl = 46.249\ \Omega$

$L_{Tmax} = 147\ mH\ max$

$\boldsymbol{To\ find\ L_{Tmin}}$

$Z = \frac{V}{I} = 38.19\ \Omega$

$Xl = 38\ \Omega$

$L_{Tmin} = 121\ mH\ min$

$2K = \frac{L_{Tmin} + L_{Tmax}}{2} = \frac{121 + 147}{2} = 134$

$\therefore K = \frac{134}{2} = 67\ mH$

$\sqrt{3}\mathrm{A} = \frac{\mathrm{L_{Tmin}} - \mathrm{L_{Tmax}}}{2} = 13\mathrm{mH}$

$\therefore A = 7.5\ mH$

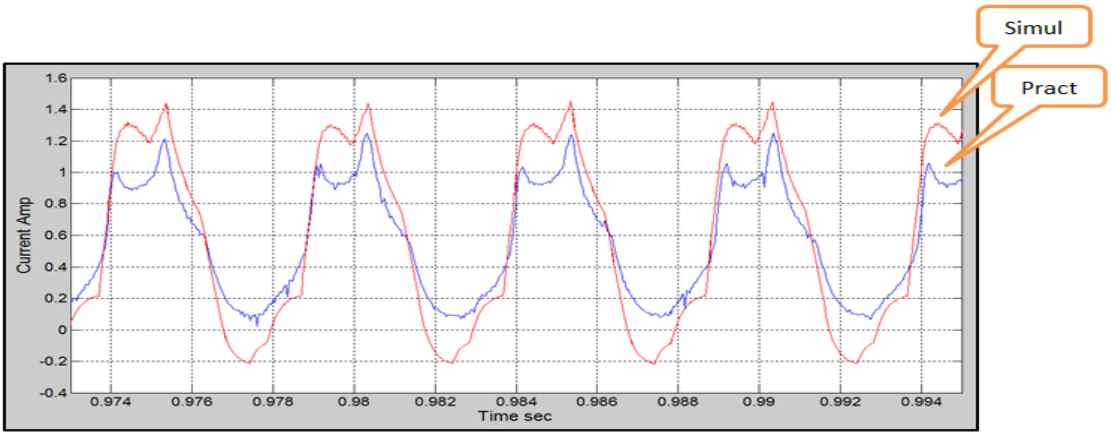
تم اجراء الحسابات لقيم المحاثة المصطفة و غير المصطفة و باستعمال المعادلات (٢، ٣، ٤، ٥).

$\mathrm{L_{min}} = 67 - 7.5 = 59.5\ \mathrm{mH}$

$\mathrm{L_{max}} = 67 + 7.5 = 74.5\ \mathrm{mH}$

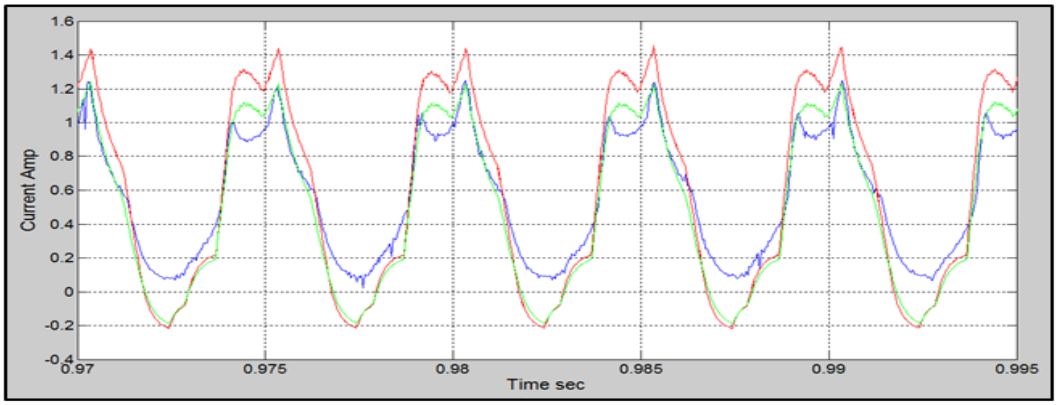
Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

تم استعمال قيم المحاثات في نموذج حاسوبي للتمثيل والذي سيعرض لاحقا لغرض محاكاة حالة التشغيل هذه وتم الحصول على شكل التيار الداخل الى المحرك كما هو معروض في الأشكال السابقة نفسه لغرض المقارنة وكما موضحة في الشكل (١٠).



الشكل (١٠) مقارنة بين تيار المحرك العملي وتيار تمثيل المحرك ببرنامج الماتلاب نتيجة الفحص الثاني

يوجد تطابق عام بين الموجتين بنسبة تصل الى ٧٩% مع اختلافات بسيطة سببها تغير المحاثة جيبيا مع زاوية الدوران واهمال حالة التشبع، ويضاف الى ذلك ثوابت دائرة الامتصاص *snubber circuit* حيث اعتمدت قيمة ١٠٠٠ اوم وبدون متسعة في البرنامج لأجل الاقتراب من خصائص المفتاح المثالي للترانستور، ولهذا السبب ظهر الجزء السالب للتيار في نتائج التمثيل الحاسوبي. تم دمج نتيجتي الفحصين الاول والثاني في شكل واحد لغرض المقارنة وهو الشكل (١١).

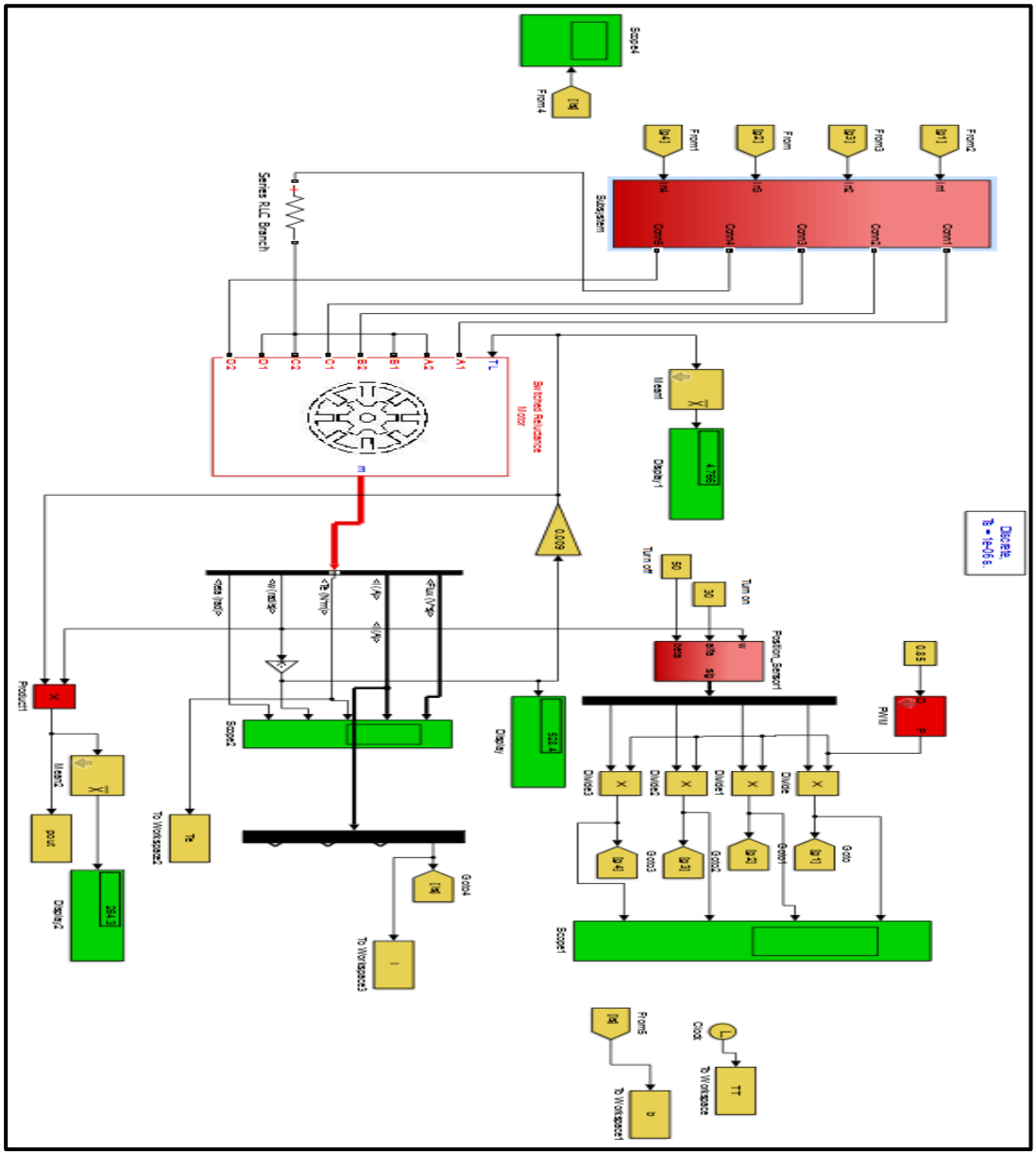


الشكل (١١) مقارنة بين تيار المحرك العملي وتيار تمثيل المحرك ببرنامج الماتلاب للفحص الاول والثاني

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

يلاحظ من الشكل (١١) ان نتائج الفحص الاول وبنسبة ٩٣% هي اقرب الى النتائج العملية من نتائج الفحص الثاني بنسبة ٧٩% ولذلك سيتم الاعتماد عليها في الحصول على بقية نتائج التمثيل.

ويمثل الشكل (١٢) نموذج التمثيل الحاسوبي للمحرك المعاوقي المفتاحي.



الشكل (١٢) نموذج منظومة المحرك المعاوقي المفتاحي

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

٣. الاستنتاجات (Conclusions)

تضمن البحث اقتراح طريقتين لايجاد قيمة المحاثة المصطفة وغير المصطفة وما تم التوصل اليه هو انه في الفحص الاول تم الحصول على نتائج ادق من الفحص الثاني بنسبة ٩٣% بالنسبة للفحص الاول و ٧٩% للفحص الثاني، ومن الممكن اعتماد هذه الطريقة لبناء نموذج مختص لايجاد قيمة المحاثة وهذا النموذج يكون اما نموذج حاسوبي او تصميم جهاز للقياس بالاعتماد على المعالج الدقيق وبذلك يصبح من السهل قياس قيمة المحاثة.

المصادر (References)

[1] Michael T.DiRenzo, "***Switched Reluctance Motor Control-Basic Operation and Example Using the TMS320F240***" TEXAS INSTRUMENTS, SPRA420A-February (2000).

[2] Z. Lin, D. Reay, B. Williams, X. He "***High performance current Control for switched reluctance motors based on on-line estimated parameters***" IET Electri. Power Appli., (2010), vol. 4, pp. 67-74.

[3] Mehrdad Ehsani , Yimin Gao, Ali Emadi " ***Modern electric, Hybrid electric and Fuel cell vehicles***, " Second Edition, CRC Press Taylor & Francis Group,(2010),p. 519.

[4] K. Rajashekara, "***History of electric vehicles in General Motors,***" in Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meeting, (1993), vol. 1, pp. 447–454.

[5] K.M. Rahman, B. Fahimi, G. Suresh, A.V. Rajarathnam, M. Ehsani, "***Advantages of Switched Reluctance Motor Applications to EV and HEV: Design and Control Issues***," *IEEE trans Ind. App.*, Vol. 36.1, January (2000).

[6] Tsuyoshi Higuchi, Kazuaki Suenaga, Takashi Abe, "***Torque Ripple Reduction of Novel Segment Type Switched Reluctance Motor by Increasing Phase Number***". Department of Electrical and Electronic Engineering, Nagasaki University, Japan (2009).

[7] Nikolay Radimov, Natan Ben-Hail, and Raul Rabinovici, "***Inductance Measurements in Switched Reluctance Machines***", University of the Negev, VOL. 41, NO. 4, APRIL (2005).

[8] Alireza Siadatan and Ebrahim Afjei, "***An 8/6 Two Layers Switched Reluctance Motor: Modeling, Simulation and Experimental Analysis***", Majlesi Journal of Electrical Engineering Vol. 6, No. 1, March (2012).

[9] Torsten Wichert, "***Design and Construction Modifications of Switched Reluctance Machines***", Ph.D. THESIS, Warsaw University of Technology (2008).