

تعديل محرك مقاومة مغناطيسية متغيرة ذو 6/4 أقطاب لتحسين مميزة العزم الخاصة به

م. عمار حسين كنعان¹ د.م. رائد الشرع² أ.د.م. عباس صندوق³

1طالب دكتوراه في قسم هندسة الطاقة الكهربائية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق
2عضو هيئة تدريسية في قسم الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق
3عضو هيئة تدريسية في قسم الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

الملخص:

تتميز محركات المقاومة المغناطيسية المتغيرة ببساطة تركيبها ورخص ثمنها مما ساعد في انتشارها بشكل واسع في التطبيقات الصناعية وأنظمة الجر الكهربائية. تبين هذه الدراسة كيفية تحسين مميزة العزم الخاصة بمحرك المقاومة المغناطيسية المتغيرة ذو 6/4 أقطاب وذلك بالتخلص من مناطق ضعف العزم في مواضع محددة للدوائر خلال دورانه ضمن كل طور.

اعتمدت هذه الدراسة على تعديل شكل الجزء الدائر وتعديل طول الثغرة الهوائية للوصول لقيم العزم المرغوبة. تم في هذا البحث نمذجة ومحاكاة المحرك قبل وبعد التعديل وفق طريقة العناصر المنتهية ضمن بيئة Ansys Maxwell ثلاثي الأبعاد وبيئة Matlab.

يقدم هذا البحث طريقة فعالة لرفع كفاءة هذا النوع من المحركات في التطبيقات التي تحتاج إلى سرعات دوران عالية.

الكلمات المفتاحية: محرك المقاومة المغناطيسية المتغيرة، طريقة العناصر المنتهية، برنامج Ansys، العزم.

تاريخ الإيداع: 2022/2/15

تاريخ القبول: 2022/5/30



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

Modify of Switched Reluctance Motor Type 6/4 to Improve its Torque Characteristics

Eng. Ammar Kanaan¹ Dr.Raed Alcharea²
Prof. Abass Sandouk³

1Ph.D. student at Electric Power Engineering Department, Faculty of mechanical&Electrical Engineering, Damascus University.

2 Dr. at Electric Power Engineering Department, Faculty of mechanical&Electrical Engineering, Damascus University

3 Professor at Electric Power Engineering Department, Faculty of mechanical&Electrical Engineering, Damascus University.

Abstract

The switched reluctance motor (SRM) is widely used over other motors for variable speed drive application and several industrial application because of low cost and simple structure .

This paper describes improvement the torque characteristics of switched reluctance motor type 6/4 by remove the weakness torque zone in rotor position at each phase.

This study depends on modify the rotor and air gap geometry to get a desired torque.

The torque characteristics of the switched reluctance motor 4/6 are analyzed by finite element method (FEA) in Ansys Maxwell 3D and Matlab Simulink.

This research is very essential to increase efficiency this type of motor in high speed applications.

Key Words: Switched Reluctance Motor, Finite Element Analysis, Ansys, Torque

Received: 15/2/2022

Accepted: 30/5/2022



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

1- المقدمة:

يمتلك محرك المقاومة المغناطيسية المتغيرة بنية بسيطة لأنه مكون جزأين ثابت ودائر تتمركز فيه الملفات حول أقطاب الجزء الثابت فقط أما الدائر فهو عبارة عن كتل حديدية بدون أي ملفات.

انتشر هذا المحرك بشكل واسع في مختلف التطبيقات بسبب بساطة تركيبه و رخص ثمنه و متانته و قدرته على العمل في مختلف الظروف.

يتميز هذا النوع من المحركات بقدرته على العمل مع منابع تيار مستمر أو متناوب و لا يحتاج إلى طرق تبريد معقدة كما أن اقلعه بسيط آمن دون أي تركيبات إضافية.

2- أهمية البحث:

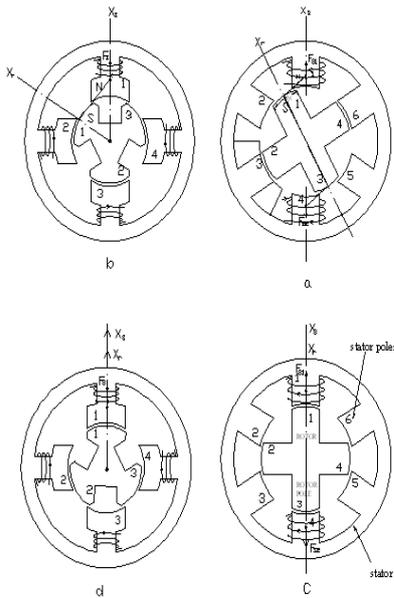
تبرز أهمية البحث في مجال تطبيقات و استخدامات محركات المقاومة المغناطيسية المتغيرة ولا سيما التي تتطلب وجود سرعة عالية في عملها.

يهدف البحث إلى تحسين مميزة عزم محرك المقاومة المغناطيسية المتغيرة ذو 6/4 أقطاب المستخدم في التطبيقات ذات السرعات العالية عن طريق التخلص من مناطق ضعف العزم في مواضع معينة للدائر خلال مجال عمله في كل طور.

3- بنية المحرك ذو المقاومة المغناطيسية**المتغيرة:**

يتكون المحرك الدوار ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة - مثل باقي المحركات الكهربائية الأخرى الدوارة - من جزأين أحدهما ثابت والآخر دائر، يتكون الجزء الثابت (Stator) من إطار حديدي يحمل على سطحه الداخلي مجموعة من الكتل الحديدية التي تحمل ملفات (Winding). عند مرور التيار الكهربائي في هذه الملفات تصبح هذه الكتل بمثابة أقطاب مغناطيسية ثابتة للمحرك ونرمز لعدد هذه الأقطاب عادة بـ m بينما يتكون الجزء الدائر (Rotor)

من أسطوانة حديدية (نواة) تحمل على محيطها الخارجي مجموعة أخرى من الكتل الحديدية عددها n لا توضع عليها أي ملفات وتعتبر هذه الكتل بمثابة أقطاب (أسنان) الدائر. والشرط الأساسي لبناء هذا النوع من المحركات ألا يتساوى m مع n وتتميز المحركات عن بعضها البعض بنسبة هذين العددين وهذان العددان إما أن يكونا زوجيين أو فرديين أو أحدهما فردي والآخر زوجي ولكل من هذه الخيارات العددي ميزاته والشكل رقم 1-a يبين رسماً تخطيطياً لمحرك 6/4 بينما الشكل 1-b يبين رسماً للمحرك 4/3 (حيث يرمز العدد في الجهة اليسرى إلى عدد أقطاب الثابت بينما العدد الأيمن يرمز إلى عدد أسنان الدائر). في معظم الدراسات يتم دراسة تصميم المحرك إما عن طريق محدداته أو من خلال حساب السليالة المغناطيسية أو الحل العددي للمعادلة التفاضلية وغيرها من الطرق وبعضها يستخدم الحاسوب لإجراء الحسابات المطلوبة وكل هذه الأنواع يتم فيها تغذية كل ملفين متقابلين مع بعضهما البعض في آن واحد ويمكن تغذية أربعة ملفات في نفس الوقت لأسباب واعتبارات تتعلق بالعزم والسرعة وغيرها [2].



الشكل (1) رسم تخطيطي لنماذج مختلفة من محرك المقاومة المغناطيسية المتغيرة

4- مبدأ عمل المحرك:

عند تغذية أحد ملفات الثابت وليكن الملف رقم 1 على الشكل (1) تنشأ في الكتلة الحديدية الموجود عليها هذا الملف سيالة مغناطيسية (magnetic flux) ونرى على الشكل وحسب اتجاه التيار المار في الملف أن هذه الكتلة تصبح بمثابة قطباً شمالياً تخرج السيالة المغناطيسية منه وتتجه نحو أسنان الجزء الدائر وتمر في أقرب سن لهذا القطب وعند مرورها في هذا السن يصبح بمثابة قطب مغناطيسي أيضاً ولكنه قطب جنوبي، ويحدث التجاذب بين القطب الشمالي للثابت المغذى والقطب الجنوبي للدائر، والذي هو سن الدائر، مما يؤدي إلى تحرك هذا السن وبالتالي إلى دوران الجزء الدائر ويمكن أن نتخيل قوى الجذب هذه مماثلة للقوة Fs المبينة على الشكل، تسبب هذه القوة عزمًا حول محور الدوران تتغير قيمتها من قيمة عظمى ربما توافق الشكل المرسوم (1-a-b) إلى أن يبلغ قيمة الصفر عند وضع مماثل للشكل (1-c-d) أي عندما يصبح سن الدائر منطبقاً تماماً على قطب الثابت أي أن محور سن الدائر X r منطبق على محور قطب الثابت Xs وعندها تصبح قوة الجذب Fs التي كانت قوة مماسية قوة جذب مركزية أي تمر من مركز الدوران، وهكذا نتابع في تغذية الملفات واحدة تلو الأخرى بحيث يستمر المحرك في الدوران [1].

5- نمذجة محرك المقاومة المغناطيسية

المتغيرة ثلاثي الطور ذو 6/4 أقطاب باستخدام

برنامج Ansys:

يتعلق عزم محرك المقاومة المغناطيسية المتغيرة بشكل

أساسي بعاملين:

الأول: الزاوية المحصورة بين الثابت والدائر.

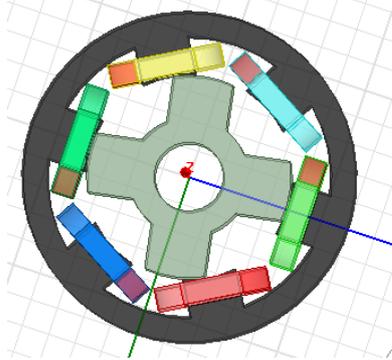
الثاني: طول الشفرة الهوائية.

سنقوم بالحصول على مميزة العزم لمحرك المقاومة المغناطيسية المتغيرة ذو 6/4 أقطاب عن طريق النمذجة والمحاكاة باستخدام طريقة العناصر المنتهية. تم نمذجة محرك ثلاثي الطور ذو 6/4 أقطاب وله الأبعاد المبينة في الجدول (1) (و هي لأكثر المحركات استخداماً من هذا النوع وفيه الزاوية بين الثابت والدائر محددة وفقاً للعزم الامثل) ودراسته وفق طريقة العناصر المنتهية باستخدام بيئة Ansys وهو من البرامج الضخمة جدا والتي تسمح لنا بنمذجة هذا المحرك بشكل ثلاثي الأبعاد حتى نحصل على نتائج دقيقة كالفيض المغناطيسي والعزم وغيرها [6],[3].

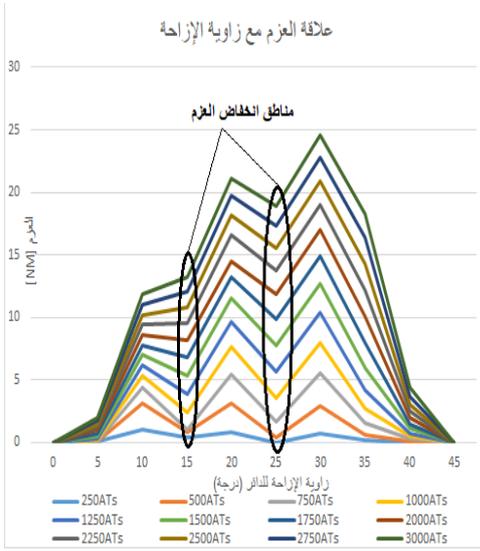
الجدول (1) أبعاد المحرك ثلاثي الطور ذو المقاومة المغناطيسية

المتغيرة 6/4

الجزء الدائر		الجزء الثابت	
القطر الداخلي	25mm	القطر الداخلي	75mm
القطر الخارجي	74.5 mm	القطر الخارجي	120 mm
سماكة النواة	9mm	سماكة النواة	9mm
عدد الأقطاب	4	عدد الأقطاب	6
نسبة البناء	0.38	نسبة البناء	0.5



وذلك عندما يكون الطور A في حالة عمل أي عندما تتغير قيمة زاوية الإزاحة للدوائر من 0 إلى 45 درجة .
نلاحظ من هذه المنحنيات البيانية وجود منطقتين ينخفض عندها العزم عند موضعين للدوائر الأول عند الزاوية 15 درجة والثاني عند الزاوية 25 درجة ثم يعود العزم للارتفاع عند المواضع الأخرى .
تعتبر هذه المناطق هي مناطق ضعف للعزم تؤثر سلباً على أداء المحرك عند استخدامه في بعض التطبيقات وخاصة التي تتطلب سرعات عالية.



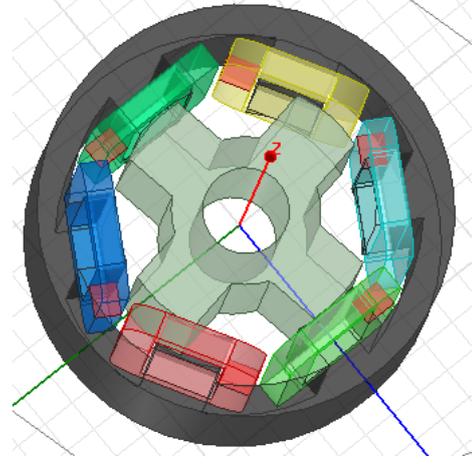
الشكل (3) علاقة العزم مع زاوية الإزاحة للمحرك ومناطق ضعف العزم

6- نموذج محرك المقاومة المغناطيسية

المتغيرة ثلاثي الطور ذو 6/4 أقطاب المعدل:

انطلاقاً من العلاقة الوثيقة بين قيمة العزم والثغرة الهوائية فإنه يتركز تعديل المحرك بشكل كامل على تعديل الشكل الهندسي لجزئه الدائر مما يؤدي إلى تعديل الثغرة الهوائية و بالتالي تغيير المقاومة المغناطيسية تبعاً لموضع الدائر .

سيتم انقاص القطر الخارجي للدائر بمقدار 1[mm] حتى الزاوية 25 درجة من موضع الدائر ليصبح الشكل الهندسي للدائر كما هو مبين بالشكل /4/ .



الشكل (2) مقطع عرضي ثلاثي الأبعاد للمحرك وفق الأبعاد

المبينة بالجدول 1/ في برنامج Ansys

يبين الجدول رقم 2/ قيم العزم المقدم من الطور A على محور الدوران عند كل زاوية إزاحة للدوائر ضمن مجال عمل الطور وذلك عند كل حالة من حالات التحميل الكهربائي ضمن المجال من 250ATs إلى 3000 ATs وبمعدل 250 ATs لكل خطوة و عند كل زاوية إزاحة حيث ATs هي (الأمبير لفة) واحدة التحميل الكهربائي.

الجدول (2) نتائج تغير العزم المقدم عند الطور A للمحرك مع

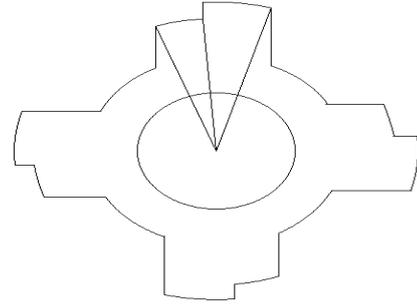
تغير التحميل الكهربائي عند مختلف زوايا الإزاحة

زاوية إزاحة الدائر [درجة]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	التحميل الكهربائي [ATs]
250	0.08	1.05	0.4	0.83	0.04	0.75	0.16	0.03	0	0	250
500	0.1	3.18	0.8	3.12	0.38	2.93	0.67	0.12	0	0	500
750	0.12	4.37	1.06	5.48	1.7	5.54	1.53	0.28	0	0	750
1000	0.17	5.33	2.42	7.63	3.57	8.03	2.71	0.49	0	0	1000
1250	0.24	6.18	3.87	9.61	5.64	10.41	4.22	0.77	0	0	1250
1500	0.34	7	5.36	11.5	7.76	12.7	6	1.11	0	0	1500
1750	0.4	7.8	6.81	13.28	9.85	14.88	7.99	1.51	0	0	1750
2000	0.49	8.62	8.21	14.5	11.85	16.99	10.1	1.97	0	0	2000
2250	0.58	9.43	9.55	16.63	13.76	19	12.22	2.5	0	0	2250
2500	0.68	10.23	10.84	18.2	15.57	20.93	14.3	3.06	0	0	2500
2750	0.78	11.03	12.09	19.71	17.3	22.79	16.4	3.7	0	0	2750
3000	0.88	11.83	13.28	21.14	18.93	24.58	18.24	4.4	0	0	3000

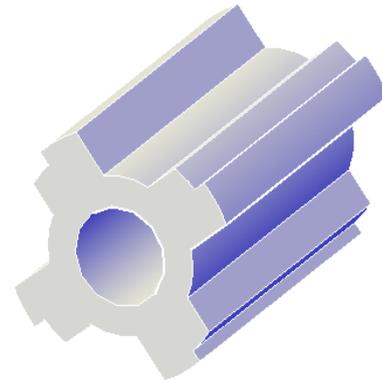
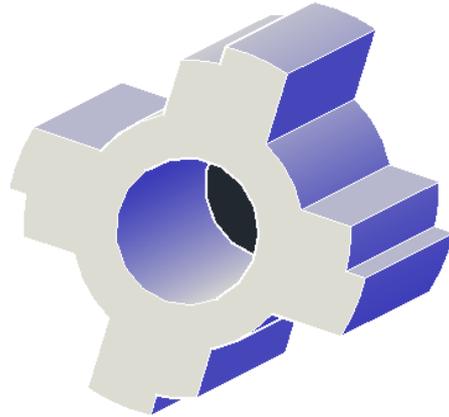
يبين الشكل 3/ الناتج من التمثيل البياني لقيم العزم المذكورة في الجدول 2/ أن قيم العزم تزداد مع زيادة التحميل الكهربائي أي مع زيادة القوة المحركة المغناطيسية

الجدول (3) نتائج تغير العزم المقدم عند الطور A للمحرك المعدل مع تغير التحميل الكهربائي عند مختلف زوايا الازاحة

التحميل الكهربائي [Ats]	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	زاوية الإزاحة للدائر (درجة)
250	0	0.7	0.85	0.94	0.95	0.22	0.14	0.22	0.16	0	العزم [Nm]
500	0	1.4	1.7	3.25	2.2	0.94	0.6	0.94	0.68	0	
750	0	2.45	3.56	5.78	4.5	2.14	1.35	2.07	1.41	0	
1000	0	3.47	6.4	8.29	7	3.7	2.38	3.26	1.96	0	
1250	0	4.74	8.37	10.7	9.5	5.6	3.5	4.16	2.33	0	
1500	0	5.07	10.26	12.98	11	7.5	4.7	4.95	2.64	0	
1750	0	6.1	12.69	15.19	13.69	9.3	5.9	5.66	2.9	0	
2000	0	6.9	13.58	17.3	15.58	10.9	7.1	6.33	3.01	0	
2250	0	7.4	16.52	19.35	17.52	12.63	8.3	6.99	3.3	0	
2500	0	7.95	18.25	21.35	19.25	14.2	9.4	7.66	3.47	0	
2750	0	8.55	20.85	23.3	21.83	15.69	10.53	8.31	3.64	0	
3000	0	10.2	21.45	25.19	23.45	17.13	11.62	8.9	3.81	0	



الشكل (4) مقطع عرضي ثنائي البعد للدائر المعدل

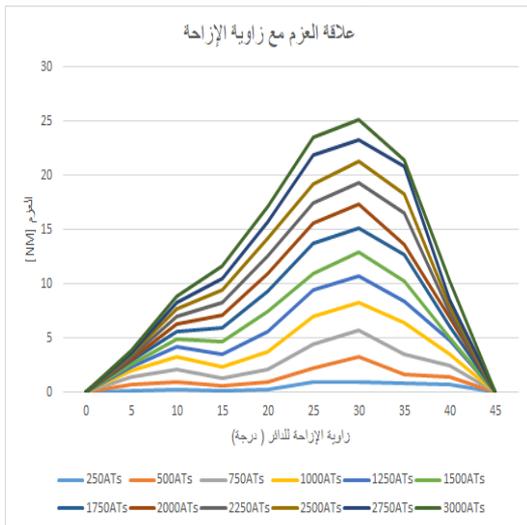


الشكل (5) الجزء الدائر المعدل بشكل ثلاثي البعد كما يبدو في

برنامج Ansys

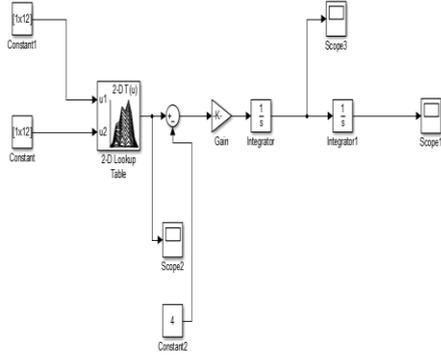
باستخدام طريقة العناصر المنتهية وفق بيئة Ansys لنمذجة ومحاكاة نموذج محرك المقاومة المغناطيسية ذو 6/4 أقطاب المعدل و بإيجاد قيم العزم المقدم من الطور A على محور الدوران عند كل موضع من مواضع الدائر وبتغيير التحميل الكهربائي من 250ATs حتى 3000ATs نحصل على القيم المبينة في الجدول /3/

حيث يبين الشكل (6) التمثيل البياني للعزم كتابع لزاوية الازاحة للدائر وذلك للمحرك المعدل حيث نلاحظ من هذا الشكل تغير واضح في شكل مميزة العزم لمحرك المقاومة المغناطيسية المتغيرة ذو 6/4 أقطاب بعد تعديل الشكل الهندسي للجزء الدائر وقد تخلصنا فيه من مناطق ضعف العزم وخاصة عند زاوية الازاحة 25 درجة .

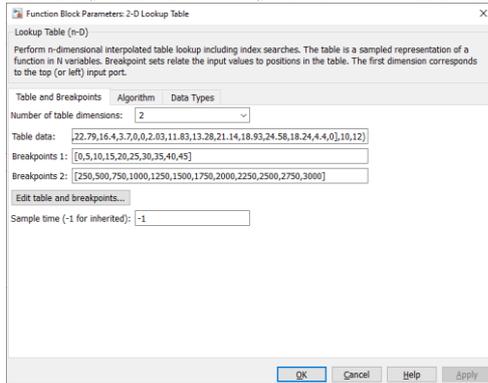


الشكل (6) علاقة العزم مع زاوية الإزاحة للمحرك المعدل

للزمن وإجراء التكامل لهذه الإشارة نصل لقيم سرعة المحرك وإجراء تكامل آخر نحصل على موضع الدائر من جديد. حيث تم العمل والحصول على النتائج على مرحلتين: **المرحلة الأولى:** قبل تعديل المحرك وقد تم فيها ادخال النتائج التي حصلنا عليها من برنامج Ansys وهي تغيرات قيم العزم الكهروميكانيكي مع تغير وضع الدائر عند مختلف قيم التحميل الكهربائي والمبينة في الجدول رقم /2/ إلى الصندوق Lookup-table وحصلنا عندها بنتيجة النمذجة وبعد التكامل الأول على راسم الإشارة على خطوط السرعة الزاوية المبينة في الشكل رقم /9/.



الشكل (7) المخطط الصندوقي لنمذجة السرعة في Matlab



الشكل (8) نافذة الصندوق Lookup-table

7- النمذجة والمحاكاة باستخدام Matlab:

تهدف عملية النمذجة والمحاكاة باستخدام Matlab إلى دراسة تأثير التعديل الذي قمنا به في المحرك على السرعة أي إيجاد تأثير تحسن مميزة العزم وإيجابية هذا التعديل على السرعة.

تم نمذجة معادلة العزم التالية:

$$T = T_e - T_L = J \frac{d_w}{d_t}$$

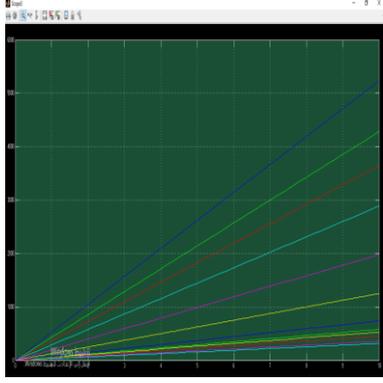
في برنامج Matlab ضمن مكتبة Simulink

حيث J هو عزم العطالة للمحرك و قيمته $J=0.05$ [kg.m²]

T هو العزم، T_e هو العزم الكهروميكانيكي، T_L هو عزم الحمل و قيمته هي 4 [N.M] W السرعة الزاوية.

يعبر الشكل 7 عن المخطط الصندوقي اللازم لنمذجة علاقة السرعة مع العزم للمحرك السابقة ويتألف هذا المخطط بشكل أساسي من الصندوق Lookup-table والذي يتيح لنا ادخال كافة قيم العزم المختلفة والمقابلة لزاويا إزاحة الدائر (وهي الطريقة الوحيدة التي نستطيع من خلالها نمذجة كافة قيم العزم المختلفة والمقابلة لمواضع الدائر) حيث نلاحظ أن للصندوق Lookup-table مدخلين كل منهما هو قيمة ثابتة الأولى تعبر عن عدد صفوف والثانية عن عدد أعمدة جدول العزم وذلك حتى يتم ادخال الجدول رقم /2/ قبل التعديل وإيجاد السرعة المقابلة و تم إعادة ادخال الجدول رقم /3/ بعد التعديل وإيجاد السرعة المقابلة حيث يبين الشكل رقم / 8 / نافذة الصندوق Lookup-table و نافذة الجدول ضمنها.

تعبّر إشارة الخرج من Lookup-table عن قيمة العزم الكهرومغناطيسي للمحرك والتي يطرح منها عزم الحمل الذي تم ادخاله كثابت حتى نحصل على إشارة العزم النهائي للمحرك بعد التحميل والتي يتم ضربها بمقلوب عزم العطالة للمحرك فنحصل على إشارة تعبر عن تغير السرعة بالنسبة



الشكل (10) منحنيات السرعة الزاوية للمحرك بعد التعديل

بالمقارنة بين خطوط السرعة في الشكل /9/ قبل تعديل المحرك وخطوط السرعة في الشكل /10/ بعد تعديل المحرك نلاحظ ما يلي:

1- أصبحت خطوط السرعة عند قيم التحميل (2000,2250,2500) متباعدة عن بعضها حيث لكل حالة قيم سرعة خاصة بها مختلفة عن الأخرى وهذا يمنحنا مرونة أكبر عند استخدام المحرك في تطبيقات تحتاج إلى تبديل سرعة من قيمة إلى أخرى.

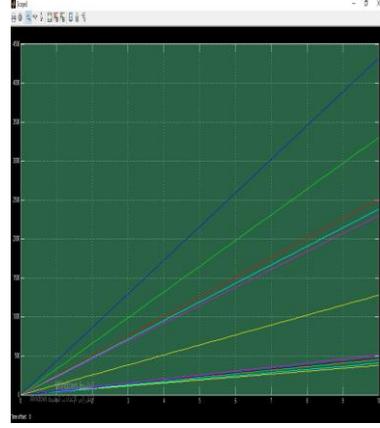
2- نلاحظ أن قيم السرعة في الشكل رقم /10/ أكبر من قيم السرعة في الشكل رقم /9/ عند نفس قيم التحميل الكهربائي مما يبين أن التخلص من نقاط ضعف المحرك وتعديله أدى إلى زيادة سرعة المحرك.

وبالتالي نجد أن التغير في السرعة ظهر بعد التحسن الحاصل في عزم المحرك بعد التعديل والتخلص من نقاط الضعف الظاهرة في مميزة العزم.

الجدول (4) القيمة المتوسطة لكامل قيم العزم المقدم عند الطور A

القيمة المتوسطة للعزم المقدم من المحرك عند الطور A مقدراً بـ [NM]	
قبل التعديل	بعد التعديل
11.53	6.36

يبين الجدول /4/ القيمة المتوسطة لكامل قيم العزم المقدم من المحرك عند الطور A وعند كامل مواضع الدائر لمحرك المقاومة المغناطيسية المتغيرة ذو 6/4 أقطاب قبل وبعد التعديل حيث نلاحظ أن القيمة قد تناقصت بعد تعديل المحرك و هذا يقودنا إلى عدم فائدة التعديل في حال كان



الشكل (9) منحنيات السرعة الزاوية للمحرك قبل التعديل

نلاحظ من الشكل /9/ أن كل خط من الخطوط يعبر عن سرعة المحرك عند قيمة من قيم التحميل الكهربائي (حيث محور السينات هو الزمن ومحور العينات هو السرعة الزاوية) ونلاحظ وجود عدم تناسق في تسلسل هذه الخطوط حيث الخطوط الناتجة من قيم التحميل الكهربائي ATs (2000,2250,2500) متقاربة من بعضها أي قيم سرعة المحرك عند هذه النقاط متقاربة وتعتبر شبه ثابتة و بالتالي أصبح الفرق بين قيم السرعة عند التحميل الكهربائي 1750ATs أصغر بكثير من قيم السرعة عند التحميل الكهربائي 2500ATs وهذه حالة عمل غير منتظمة للمحرك بسبب وجود نقاط ضعف العزم التي تحدثنا عنها والمبينة في الشكل /3/.

المرحلة الثانية: بعد تعديل المحرك و قد تم فيها ادخال نتائج تغيرات العزم التي حصلنا عليها من برنامج Ansys ولكن بعد تعديل المحرك أي قمنا بإدخال النتائج المبينة في الجدول /3/ على الصندوق Lookup-table وعنده نحصل على خطوط السرعة الزاوية المبينة في الشكل /10/.

المطلوب من المحرك تقديم عزم عال وبالمقابل هو مفيد جداً عندما تكون الأولوية للسرعة العالية والتحكم بها وخاصة في تطبيقات منفاخ الهواء أو التطبيقات التي تحتاج وسادة هوائية وما يماثلها.

8- النتائج:

- نلاحظ أن العزم مرتبط ارتباط وثيق مع طول الثغرة الهوائية التي تؤثر بشكل كبير على قيم المقاومة المغناطيسية في المحرك.
- نلاحظ تحسن كبير في منحنيات سرعة المحرك المعدل من حيث القيمة ومن حيث التباعد والاختلاف عند تغير قيم التحميل الكهربائي.

- الحصول على مرونة أكبر بتعديل السرعة عند التطبيقات التي تتطلب ذلك
- يعتبر هذا التعديل ضروري وذو كفاءة عالية في التطبيقات التي تحتاج طبيعة عملها لسرعة عالية دون عزم عال مثل منفاخ الهواء والوسادة الهوائية.
- نلاحظ انخفاض القيمة المتوسطة الكليّة للعزم المقدم من المحرك بعد التعديل عما كان عليه قبل التعديل و لذلك يعتبر هذا التعديل غير مفيد إلى حد ما إذا كانت التطبيقات تتطلب عزم كبير أكثر من حاجتها لسرعة عالية.

9- المراجع العلمية:

1	د. عباس صندوق، " تصميم محرك ذي مقاومة مغناطيسية متغيرة لاستخدامه في وسائل النقل و بخاصة في السيارة الكهربائية" رسالة ماجستير، قسم هندسة الطاقة الكهربائية، جامعة دمشق، 2003
2	د. عباس صندوق، " تحقيق نموذج محرك كهربائي ذي مقاومة مغناطيسية متغيرة و التحكم به لاستخدامه في السيارة الكهربائية" رسالة دكتوراه، قسم هندسة الطاقة الكهربائية، جامعة دمشق، 2005
3	Ashwin Raj , Sreekanth P K, Design of a Switched Reluctance Motor in Ansys Maxwell, International journal of Innovative Research in Science ,Engineering and Technology,India,2011
4	H.Geno,N.A.Mad Yusof,and A.Sabiri, Effect of Air Gap in Switched Reluctance Linear Motor, Komuniti Journal of Engineering and Technology, Vol. 5, No. 1, 2020
5	M. Hamouda, László Száme, Optimum Excitation Angles for Switched Reluctance Motor Drives, XXXIII. Kando Conference,2017
6	K.Abdul Karim , N.Abdullah , M.N..Othman , R.N.Firdaus , Z.M.Zulfattah , N.Z.Zainal, Quick Design of Switched Reluctance Motor and Effect of Switching Angle ANSYS MAXWELL, Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering, ISSN: 2180-1843,P 107-110,2018