موافقة لجنة الحكم على طباعة رسالة الماجستير

بالإشارة إلى قرار مجلس كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية رقم /٥١٨/ تاريخ ٢٠٢٢/٩/١٢ وبعد الرجوع إلى اللائحة التنفيذية لقانون تنظيم الجامعات الصادر بالمرسوم الجمهوري رقم /٢٥٠/ لعام ٢٠٠٦ وقرار مجلس جامعة دمشق رقم /٥١٨/ ص.م تاريخ ١/٢٩ /٢٠٢٢ القاضي بشأن الموافقة على تسجيل رسالة الماجستير لطالب الدراسات العليا المهندس سليمان ذياب في هندسة الطاقة الكهربائية بعنوان :

الكشف عن أعطال قصر جزئي بين لفات الجزء الثابت لمحرك تحريضي سداسي الطور

واستناداً لأحكام المادتين ١٦٣ و١٦٤ من اللائحة التنفيذية لقانون تنظيم الجامعات الصادرة بالمرسوم الجمهوري رقم /٢٥٠/ تاريخ ٢٠١٦/٧/١٠ وقرار مجلس الجامعة رقم ١٠٣٥ تاريخ ٢٠٢٥/٢/٢٣ المتضمن إجراءات القيد في الدراسات العليا وتشكيل لجان الحكم واجراءات المناقشة العلنية للرسائل والأطروحات والدفاع عنها ومنح الدرجات العلمية، وقرار مجلس البحث والدراسات العليا رقم /٢٣٠١/ المتخذ في الجلسة رقم /١٧/ المنعقدة بتاريخ ٢٠٢٥/٤/٢٨ القاضي بتشكيل لجنة الحكم على رسالة الماجستير في هندسة الطاقة الكهربائية التي أعدها المهندس سليمان ذياب من السادة الأساتذة:

الدكتور علي السيد:	أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة دمشق	عضواً
الدكتور رائد الشرع:	أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة دمشق	عضواً مشرفاً
الدكتور أبي سلمان:	أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة دمشق	عضوا

وبعد أن قامت لجنة الحكم بمناقشة رسالة الماجستير التي تقدم بها المهندس سليمان ذياب علنياً في تمام الساعة الحادية عشرة من صباح يوم الثلاثاء الموافق ٢٠٢٥/٥/٢٠ فقد قام الباحث بالتعديلات المطلوبة من اللجنة على الرسالة وأصبحت جاهزة للطباعة.

دمشق ٢٥ / ٥ /٢٠٢٥

الدكتور	الدكتور	الدكتور
رائد الشرع	علي السيد	أبي سلمان

السيد الدكتور عميد كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قام المهندس سليمان ذياب بإجراء كافة التعديلات المطلوبة منه بعد جلسة الدفاع العلنية لرسالة الماجستير بعنوان:

الكشف عن أعطال قصر جزئي بين لفات الجزء الثابت لمحرك تحريضي سداسي الطور

والتي كانت بتاريخ يوم الثلاثاء الموافق لـ ٢٠٢٥/٥/٢٠

يرجى الاطلاع

الدكتور علي السيد	أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة دمشق	عضواً
الدكتور رائد الشرع:	أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة دمشق	عضواً مشرفاً
الدكتور أبي سلمان:	أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة دمشق	عضواً

الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

ماجستير هندسة الطاقة الكهربائية

/نظم القدرة الكهربائية/

الكشف عن أعطال قصر جزئي بين لفات الجزء الثابت لمحرك تحريضي سداسي الطور

Detection of partial short-circuit faults between the stator windings of a six-phase induction motor

أطروحة أُعِدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الطاقة الكهربائية اختصاص(نظم القدرة الكهربائية) بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق

إعداد الطالب: سليمان خالد ذياب

إشراف:

د.م رائد محمد الشرع

أستاذ مساعد في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق

2024/2025

إهداء :

أتقدّم بجزيل الشّكر والامتنان لكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ولكادر الكليّة من دكاترة ومهندسين لما قدموا لنا من معلومات وخبرات ونصائح لإنجاز هذا العمل ومساعدتنا على تجاوز العقبات الّتي اعترضت طريقنا.

أخصّ بالشّكر الدّكتور القدير رائد الشرع الدكتور المشرف على رسالة الماجستير المقدمة، وأعبر عن امتناني له بالاستماع الدقيق والتوجه القيّم الذي زاد من قيمة هذا البحث.

الفهرس

فهرس المحتويات:

الملخص ١٣

1-الفصل الأول ١٥

الإطار العام للبحث والدراسات المرجعية ١٥

1-1-مقدمة Introduction : ١٥

1-2- مشكلة البحث: ١٥

1-3-تساؤلات البحث: ١٦

1-4-أهمية موضوع البحث: ١٦

1-5-الهدف من البحث: ١٦

1-6-منهج البحث: ١٦

1-7- الدراسات المرجعية: ١٧

1-7-1- الدراسة المرجعية الأولى: ١٧

الكشف عن عطل كهربائي بين لفات آلة تحريضية ذات التغذية المزدوجة مع تمثيلها على المحور dq ١٧

1-7-2-الدراسة المرجعية الثانية: ١٩

كشف وتشخيص الأعطال الكهربائية للجزء الثابت والدائر للمحرك التحريضي ثلاثي الطور من خلال تحليل الأمواج ١٩

1-7-3- الدراسة المرجعية الثالثة: ٢١

تطوير التحكم الرقمي لآلة تحريضية سداسية الطور ٢١

1-7-4- الدراسة المرجعية الرابعة: ٢٣

تصميم ونمذجة محرك تحريضي ثلاثي الطور إلى سداسي الطور ودراسة بعض حالات أعطاله ٢٣

1-7-5- الدراسة المرجعية الخامسة: ٢٥

الكشف عن عطل كسر الدائر باستخدام تحويل هيلبرت والشبكات العصبونية عن طريق التحكم المباشر في عزم دوران المحرك التحريضي. ٢٥

1-8- الخلاصة:..... ٢٧

2- الفصل الثاني: المحرك التحريضي سداسي الطور..... ٢٨

Six-phase Induction motor (SPIM)..... ٢٨

2-1- مقدمة:..... ٢٨

2-2- بنية المحرك التحريضي:..... ٢٨

2-2-1- الجزء الثابت أو المحرض:..... ٢٩

2-2-2- الجزء الدائر أو المتحرض:..... ٣٠

2-2-3- الفجوة الهوائية:..... ٣٢

2-3- لف المحركات التحريضية:..... ٣٢

2-3-1- لف المحرك التحريضي بملف ثلاثي الطور:..... ٣٤

2-3-2-لف المحرك التحريضي بملف سداسي الطور **60°**:..... ٣٨

2-4-تمثيل مخطط اللف باستخدام برنامج محاكاة العناصر الإلكترونية(Circuit Wizard 2 SE)..... ٤٢

2-5- تغذية المحرك التحريضي سداسي الأطوار:..... ٤٤

2-5-1-استخدام معرج التوتر:..... ٤٤

2-5-2- استخدام محولة ذات الملفات المقسمة:..... ٤٥

2-6- مميزات وسلبيات الآلات متعددة الأطوار:..... ٤٦

2-7- الشروط الأساسية في تصميم المحرك سداسية الأطوار:..... ٤٨

2-8-الخلاصة:..... ٤٩

3-الفصل الثالث..... ٥٠

الأعطال في نظام الآلة التحريضية سداسية الطور..... ٥٠

3-1- مقدمة:..... ٥٠

2-3- اعطال المحركات التحريضية ٥٠

3-2-1- الأعطال الكهربائية:..... ٥١

3-2-2- الأعطال الميكانيكية: ٥٥

3-2-2-a- عدم مركزية الفجوة الهوائية:..... ٥٥

3-2-2-b-أعطال المساند الكروية: ٥٦

3-2-2-c- أعطال الحمل: ٥٧

3-3-تقنية العزل الكهربائي للأعطال : ٥٨

3-4- الخلاصة:..... ٦٠

4-الفصل الرابع ٦١

نمذجة ومحاكاة المحرك التحريضي سداسي الطور باستخدام بيئة Matlab/Simulink. ٦١

4-1-مقدمة ٦١

4-2- نمذجة ومحاكاة المحرك التحريضي سداسي الطور ٦١

4-2-1- نمذجة الآلة سداسية الأطوار في الحالة الطبيعية:..... ٦٣

4-2-2-نموذج الآلة في المستوي d-q z1-z2 z3-z4 ..... ٦٦

4-2-3- معادلة العزم الكهرومغناطيسي:..... ٧٠

4-3-مخططات نمذجة المحرك التحريضي سداسي الطور: ٧١

5-الفصل الخامس.....٧٦

التطبيق العملي. ٧٦

1- الدراسة العملية على المحرك الأول ذو الاستطاعة 1HP..... ٧٧

أولا: تغيرات التيار بالنسبة للزمن للمحرك ذو الاستطاعة 1hp عند نسب قصر متغيرة:..... ٧٨

ثانياً: نتائج تجريبية لتأثير عطل قصر جزئي على طور على التوترات ٨١

ثالثا: تغيرات العزم بالنسبة للزمن تبينها المخططات التالية بتغيير نسب القصر ٨٢

رابعاً: تغيرات السرعة بالنسبة للزمن تبينها المخططات التالية بتغيير نسب القصر μ ٨٣

خامساً: تغيرات $\boldsymbol{Idq}$ بتغيير نسب القصر μ ٨٤

سادساً: تغيرات $\boldsymbol{Iz1z2z3z4}$ بالنسبة للزمن بتغيير نسبة القصر μ ٨٥

سابعاً: ظهور التوافقيات بتغيير نسب القصر ٨٦

2- الدراسة العملية على المحرك الثاني ذو الاستطاعة0.5HP ٨٩

3– الحصول على أمواج تيار دخل المحرك لستة أطوار عن طريق Digital oscilloscope : ٩٣

الفصل السادس ٩٤

النتائج والتوصيات ٩٤

6-1-النتائج ٩٤

6-2- التوصيات: ٩٤

ملخص الدراسة: ٩٥

قائمة المراجع (References): ٩٦

فهرس الجداول:

الجدول(1-7-1-a) محددات المحرك المستخدم.....١٧

الجدول (1-7-1-c) النتائج بطريقة المربعات الصغرية.....١٨

الجدول(1-7-2-a) الأعطال الممكن حدوثها في المحرك.....٢٠

الجدول (1-7-3-a) محددات المحرك التحريضي سداسي الطور ٢١

الجدول (2-3-1-b) توصيل وشائع الطور الثاني لملف ثلاثي الطور.....٣٦

الجدول (2-3-1-c) توصيل وشائع الطور الثالث لملف ثلاثي الطور.....٣٦

الجدول (2-3-2-b) توصيل وشائع الطور الرابع لملف سداسي الطور ٣٨

الجدول (2-3-2-c) توصيل وشائع الطور الثاني لملف سداسي الطور ٣٩

الجدول (2-3-2-d) توصيل وشائع الطور الخامس لملف سداسي الطور ٣٩

الجدول (2-3-2-e) توصيل وشائع الطور الثالث لملف سداسي الطور ٣٩

الجدول (5-1) محددات المحرك التجريبي ذو الاستطاعة 1hp ٧٧

الجدول(5-2) القيم المأخوذة بواسطة مقياس الأفومتر لقيم تيارات دخل المحرك بتغيرات نسب القصر μ.....٨٨

الجدول (5-3) نتائج تغيرات التيار والعزم والتوتر المغذي بتغيير نسبة القصر ٨٨

الجدول (5-3) محددات المحرك التجريبي سداسي الطور ذو استطاعة 0.5hp.....٨٩

فهرس الأشكال:

الشكل (1-7-1-a) تيارات الجزء الثابت (٪ 5) و ٪10القياس والمحاكاة.....١٨

الشكل(1-7-2-a) التجهيزات المستخدمة لإكتشاف الاعطال باستخدام(تحويل الحزمة المويجية WPT) ١٩

الشكل (1-7-2-b) تيارات الأطوار بحالة اللاحمل عند عطل 25% من الطور ٢١

الشكل (1-7-3-a) المخطط الصندوقي لنمذجة موديل المحرك التحريضي سداسي الطور ٢٢

الشكل (1-7-3-b) مخطط نمذجة المحرك سداسي الطور في بيئة.MATLAB-SIMULINK. ٢٢

الشكل (1-7-4-b) تغيرات التيار مع الزمن بحالة انقطاع طور ٢٣

الشكل (1-7-4-c) تغيرات العزم مع الزمن بحالة انقطاع طور ٢٤

الشكل (1-7-4-d) تغيرات التيار مع الزمن بحالة انقطاع طورين متجاورين.....٢٤

الشكل (1-7-4-e) تغيرات العزم مع الزمن بحالة انقطاع طورين متجاورين.....٢٤

الشكل(1-7-5-a) نموذج مقترح لإكتشاف الأعطال باستخدام تحويل هيلبرت ٢٥

الشكل(1-7-5-b) النتائج في الاداء الديناميكي(حالة سليمة).....٢٦

الشكل (1-7-5-c) النتائج في الاداء الديناميكي (حالة عطل).....٢٦

الشكل (2-2-a) مقطع داخلي في المحرك التحريضي.....٢٩

الشكل (2-2-1-a) نواة الثابت في المحرك التحريضي ٣٠

الشكل (2-2-2-1-a) المظهر العام الجزء الدائر ذو القفص السنجابي للمحرك التحريضي.....٣١

الشكل (2-2-2-1-b) المظهر العام الجزء الدائر الملفوف للمحرك التحريضي.....٣٢

الشكل (2-3-a) ملف من ملفات للجزء الثابت في المحرك التحريضي.....٣٣

الشكل (2-3-1-b) مخطط لف المحرك التحريضي ثلاثي الطور ٣٧

الشكل (2-3-1-c) موجات التوتر لمنبع ثلاثي الطور ٣٧

الشكل (2-3-2-a) ملفات الثابت للمحرك التحريضي سداسي الطور ٣٨

الشكل (2–3–2–b) مخطط لف المحرك التحريضي سداسي الطور ٤١

الشكل (2–3–2–c) مخطط التوصيل لتشغيل الآلة كمحرك تحريضي سداسي الطور ٤١

الشكل (2–3–2–d) تغيرات التوتربالنسبة للزمن لمنبع سداسي الطور ٤٢

الشكل (2–4–a) الدارة الإلكترونية المعبرة عن طبقة واحدة في مجرى واحد في المحرك التحريضي ٤٢

الشكل (2–4–b) الدارة الإلكترونية المعبرة عن مجرى واحد في المحرك التحريضي ٤٣

الشكل (2–4–c) مسارات التيارات في ملفات المحرك ٤٣

الشكل(2–5–1–a) بنية معرج التوتر سداسي الطور ٤٤

الشكل(2–5–1–b) معرج التوتر سداسي الطور ٤٥

الشكل (2–5–2–a) بنية المحولة ذات ملفات مقسمة ٤٥

الشكل (2–5–2–b) المحولة ذات ملفات مقسمة..... ٤٦

الشكل (3–1–a) المخطط العام لتحويل الطاقة في المحرك التحريضي..... ٥٠

الشكل (3–2–a) النسب المئوية لأكثر الأعطال شيوعا في المحركات التحريضية..... ٥٠

الشكل (3–2–1–b–1) الأعطال المتعلقة بملفات الثابت لمحرك تحريضي سداسي الطور ٥٤

الشكل (3–3–a) تقنية فصل طور للمعرج لذراع متعرض لعطل..... ٥٨

الشكل (3–3–b) تقنيات عزل كهربائي للعطل باستخدام قواطع الكترونية. ٥٩

الشكل(4–1–a) مخطط نمذجة المعرج سداسي الطورفي بيئة.MATLAB–SIMULINK..... ٧١

الشكل(4–1–b) مخطط نمذجة المحرك سداسي الطور في بيئة.MATLAB–SIMULINK ٧١

الشكل (4–1–c)حساب الفيوض على المحورين d–q ٧٢

الشكل (5–1) الهيكل المخبري لتوصيل الأجهزة والمعدات المستخدمة..... ٧٦

الشكل (5–2) التجهيزات المخبرية المستخدمة..... ٧٦

الشكل(5–3) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر $\mu = 0$ ٧٨

الشكل(5-4) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر 0.083= μ ٧٨

الشكل(5-5) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر 25%= μ ٧٩

الشكل(5-6) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر 33.3%= μ ٧٩

الشكل(5-7) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر 41.6%= μ ٨٠

الشكل(5-8) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر 50%= μ ٨٠

الشكل (5-9) نتائج النمذجة لتغيرات التوتر مع الزمن بتغيير تسب القصر ٨١

الشكل (5-10)تغيرات العزم بالنسبة للزمن بتغيير نسب القصر ٨٣

الشكل (5-11) تغيرات السرعة بالنسبة للزمن بتغيير نسبة القصر μ..... ٨٤

الشكل (5-12) تغيرات $\boldsymbol{Idq}$ عند حالات قصرمختلفة μ ٨٥

الشكل (5-13) تغيرات $\boldsymbol{Iz1z2z3z4}$ عند حالات قصرمختلفة μ ٨٦

الشكل (5-14) ظهور التوافقيات عند حالات قصر مختلفة μ ٨٧

الشكل(5-15) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر 0 = μ ٩٠

الشكل(5-16) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر 0.083= μ ٩٠

الشكل(5-17) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر 25%= μ ٩١

الشكل(5-18) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر 33.3%= μ ٩١

الشكل(5-19) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر 41.6%= μ ٩٢

الشكل(5-20) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر 50%= μ ٩٢

الملخص

يشكل التطور السريع في المنظومات الصناعية الحديثة أحد الأسباب المهمة التي أدت لإهتمام الخبراء في هذا المجال للبحث عن تقنيات ومكونات حديثة لبناء هذه المنظومات، وكان استخدام الآلات التحريضية بسبب جساءتها وموثوقيتها إضافة إلى بساطة تركيبها وسهولة صناعتها واستثمارها حيث تتمتع بكفاءة عالية وتشكل المحركات التحريضية أكثر من 90% من المحركات المستخدمة في القطاعين الصناعي والتجاري .

ونظراً للحاجة إلى المحركات التحريضية وضرورة متابعة عملها ومراقبتها وصيانتها بدأت الأبحاث والدراسات المتخصصة في هذا المجال بالعمل من أجل ايجاد أفضل التقنيات لتأمين العمل الأمثل والمستمر والآمن لها، حيث يكون من الصعب التعامل مع الأعطال التي تتعرض لها من قبل المستثمر نفسه ، وقد دلت الدراسات الإحصائية للحالات الطارئة في عمل هذه المنظومات بأنه يمكن للأعطال التي تؤدي إلى التوقف الجزئي أو الكلي لمنظومة ما أن تتسبب بخسائر اقتصادية كبيرة إضافة إلى آثارها السلبية وأخطارها على الأشخاص .

لقد أثبتت التجارب أنه يمكن تجنب وقوع الكثير من الحوادث في حال تم كشف العطل والإشارة إليه في الوقت المناسب.

تتطلب التطبيقات ذات الوثوقية العالية والإستطاعة الكبيرة مثل الحفارات البحرية ومحركات الطائرات ونظام القيادة الكهربائية في السيارات الكهربائية، استخدام المحركات متعددة الأطوار لأنها تملك القدرة على الإقلاع والعمل حتى لو فقدت طوراً أو أكثر.

يهدف هذا البحث إلى تصميم وتنفيذ محرك سداسي الأطوار بالإعتماد على آلة ثلاثية الأطوار بتقسيم كل طور إلى طورين فرق الصفحة بينهما 180 درجة نحصل على آلة عدد أطوارها 6 فرق الصفحة بين كل طورين 60 درجة ، من ثم دراسة حالات تشغيل مختلفة لحالة عمل طبيعي وحالة وجود قصر بين عدد من لفاته وتحديد مدى شدتها وذلك من خلال وضع نموذج رياضي لهذه الحالة ومقارنتها مع التطبيق العملي.

تبّين انه كلما زادت نسبة القصر نلاحظ زيادة في استجرار التيار وزيادة في تموجات العزم وظهور للتوافقيات فبزيادة نسبة القصر إلى حد معين قد يؤدي إلى خروج الآلة عن العمل .

مكونات البحث:

يتكون هذا البحث من الفصول التالية:

الفصل الأول: يوضّح الإطار العام للبحث وبعض الدراسات المرجعية والأبحاث العلمية التي قدّمها البعض من الباحثين في مجال دراسة حالات عمل وأعطال المحركات التحريضية وتشخيص أعطالها.

الفصل الثاني: بنية ولف المحرك التحريضي سداسي الطور وتمثيل مخطط اللف باستخدام محاكاة العناصر الالكترونية (Circuit Wizard 2 SE) ودراسة تغذية هذه الآلة عن طريق معرج التوتر أو باستخدام محولة ذات ملفات مقسمة . وسيتم شرح مزايا و سلبيات الآلات التحريضية متعددة الأطوار بالمقارنة مع الآلات التقليدية ثلاثية الطور.

الفصل الثالث: يقدم بشكل مختصر للأعطال الكهربائية والميكانيكية في الآلة سداسية الطور وتقنيات العزل الكهربائي للأعطال.

الفصل الرابع: سيتم نمذجة ومحاكاة المحرك التحريضي سداسي الطور بمحددات معيّنة.

الفصل الخامس: يقدم النتائج المخبرية ومقارنتها مع نتائج النمذجة.

الفصل السادس: مناقشة النتائج التي تم التوصل إليها وتقديم التوصيات المستندة إلى هذه النتائج.

الكلمات المفتاحية: المحرك التحريضي سداسي الطور– أعطال المحرك التحريضي– اللفات في المحرك التحريضي– القصر بين اللفات.

1-الفصل الأول

الإطار العام للبحث والدراسات المرجعية

1-1-مقدمة Introduction :

نقدم في هذا الفصل مشكلة البحث ومبرراته وأهدافه بالإضافة إلى بعض الدراسات المرجعية والأبحاث العلمية التي قدمها البعض من الباحثين في مجال دراسة حالات عمل وأعطال المحركات التحريضية وتشخيص أعطالها والتنبؤ المستقبلي بحالات عملها وهذا يندرج تحت فكرة تقديم وتوطين الأفكار العلمية في هذا المجال على مستوى العالم ضمن دراستنا لتكون نقاط استناد يمكن الاستفادة من بعض نتائجها في تحقيق هدفنا من هذه الدراسة.

1-2- مشكلة البحث:

إن تعطل أحد الأطوار في المحركات ثلاثية الطور يولد حتماً زيادة محسوسة في تموجات العزم وفقد السيطرة على الآلة، بالمقابل فإنه يتم التحكم بالمحركات سداسية الطور حتى مع بقاء ثلاث أطوار فعالة.

تمثل الأعطال في ملفات الآلة سداسية الأطوار قسم كبير من الإخفاقات التي تنشأ خلال عمل المحرك.

عندما يتم تغذية المحرك من خلال معرج التوتر فإن الحالة تميل إلى أن تصبح أكثر سوءاً بسبب قيود التوتر الناتجة عن التبديل السريع لأنصاف النواقل في المعرج التي كثيراً ما تؤدي إلى انهيار العازلية بين الملفات والذي يؤدي إلى قصر دارة في الملفات .

تعتبر حالة القصر بين اللفات هو الأكثر ضرراً، التيار الذي يجري في اللفة المقصورة هو عدة مرات أكبر من القيمة الأسمية مما يؤدي إلى زيادة في درجة الحرارة والأثر التراكمي يؤدي إلى تدهور عمل الآلة.

1-3- تساؤلات البحث:

- ماهي مزايا ومساوئ المحرك سداسي الطور؟
- ماهي الأعطال التي يمكن ان تواجه المحرك سداسي الطور؟
- كيف يتم الكشف المبكر عن قصر جزئي بين لفات محرك سداسي الطور؟
- ما هي الآثار السلبية الناجمة عن القصر بين لفات محرك سداسي الطور؟
- كيف يتم معالجة مشكلة القصر بين لفات محرك سداسي الطور قبل خروج المحرك عن العمل؟

1-4- أهمية موضوع البحث:

- زيادة الوثوقية .
- التخلص من مشكلة ارتفاع درجة حرارة الآلة.
- عدم استجرار قدرة عالية من الشبكة.

1-5- الهدف من البحث:

تصميم وتنفيذ محرك سداسي الأطوار من ثم دراسة حالات تشغيل مختلفة لحالة عمل طبيعي وحالة وجود قصر بين عدد من لفاته وتحديد مدى شدتها وذلك من خلال وضع نموذج رياضي لهذه الحالة ومقارنتها مع التطبيق العملي.

1-6- منهج البحث:

- تصميم وتنفيذ محرك سداسي الطور خاضع للتجارب
- نمذجة محرك سداسي الطور
- الكشف عن أعطال قصر بين لفات الجزء الثابت لمحرك سداسي الطور

1-7- الدراسات المرجعية:

نستعرض فيما يلي موجز عن كل بحث بشكل مختصر بغية أيصال الفكرة من هذا البحث بأبسط صورة ممكنة.

1-7-1- الدراسة المرجعية الأولى:

الكشف عن عطل كهربائي بين لفات آلة تحريضية ذات التغذية المزدوجة مع تمثيلها على المحور dq

Detection of Inter-Turn Short-Circuit on a Doubly Fed Induction

Machine with D-Q Axis Representation

الهدف من البحث:

الكشف المبكر عن عطل قصر جزئي بين لفات آلة ذات تغذية مزدوجة وتحديده كمياً، حيث تم أولاً تحليل نموذج الآلة بدون وجود عطل من ثم بوجود عطل، تم إجراء هذا التحليل بالاعتماد على تحويل بارك(dq) على محرك بالمواصفات الموضحة في الجدول (1-7-1-a)

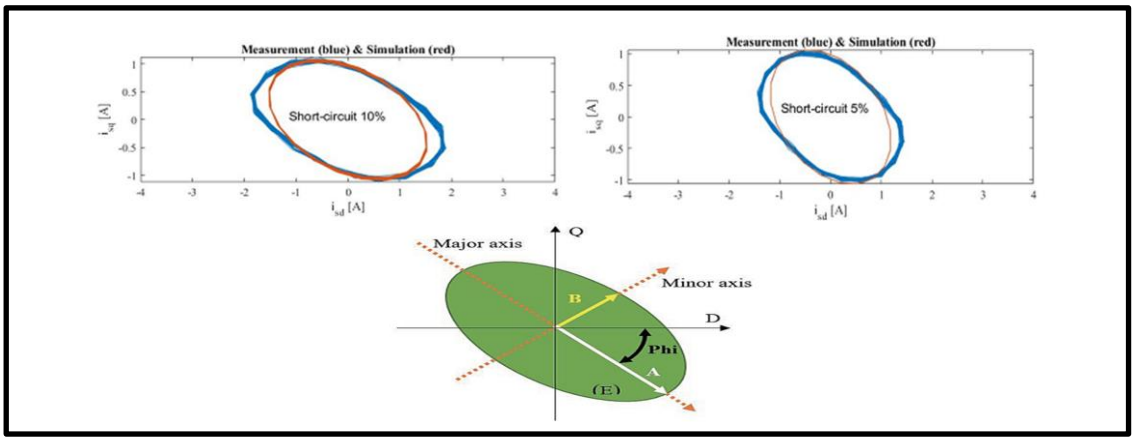
الجدول(1-7-1-a) محددات المحرك المستخدم

Specifications	Values	Units
Rated frequency, f	50	Hz
Rated voltage	230/400	V
Rated power, P_n	0.27	kW
Nominal speed	1480	rpm
Rated current	1.5/0.87	A
Self inductances, L_s, L_r	0.79/0.79	H
Moment of inertia	0.0023976	$kg.m^2$
Resistances, R_s, R_r	33/4.8	Ω
Number of pole pairs, p	2	

النتيجة:

تم اكتشاف وجود عطل قصر جزئي بين عدد من اللفات حيث تم التشخيص من الشكل الهندسي للتيارات ففي الواقع تأخذ هذه التيارات شكل قطع ناقص فبزيادة نسبة القصر يلاحظ بأن محور القطع يزداد ويتغير اتجاهه(Shen *et all,*2019,342)

كما هو موضح بالاشكال التالي:



الشكل (1–7–1–a) تيارات الجزء الثابت (٪ 5) و٪10القياس والمحاكاة

والجداول التالية تؤكد النتائج التي تم التوصل إليها:

الجدول (1–7–1–b) نتائج الطريقة الحسابية

Short-circuit rate (%)	A model measurement	A model simulation
2.5	1.19	1.08
40	4.21	3.94
Short-circuit rate (%)	B model measurement	B model simulation
2.5	0.85	0.88
40	1.08	1.07
Short-circuit rate (%)	Phi model measurement (rad)	Phi model simulation (rad)
2.5	0.51	0.53
40	0.15	0.16

الجدول (1–7–1–c) النتائج بطريقة المربعات الصغرية

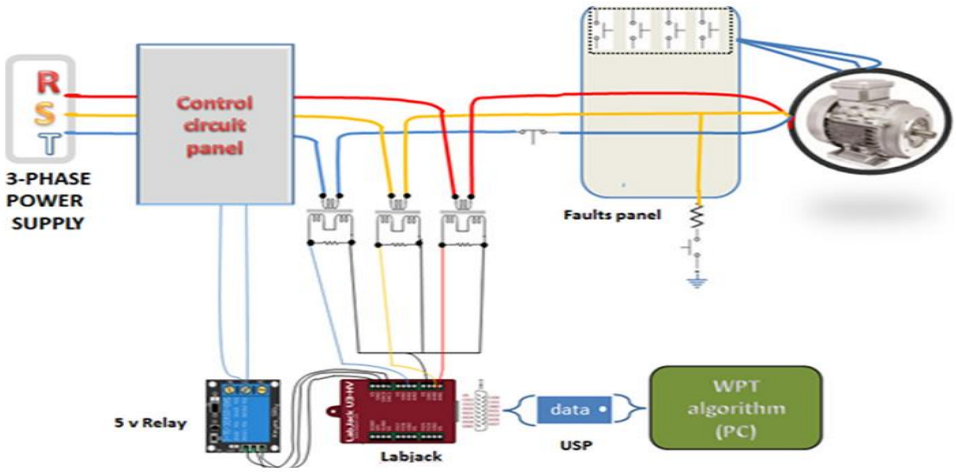
Short-circuit rate (%)	A model measurement	A model simulation
2.5	1.20	1.18
40	4.72	4.64
Short-circuit rate (%)	B model measurement	B model simulation
2.5	0.85	0.89
40	1.05	0.99
Short-circuit rate (%)	Phi model measurement (rad)	Phi model simulation (rad)
2.5	0.51	0.53
40	0.18	0.12

1-7-2- الدراسة المرجعية الثانية:

كشف وتشخيص الأعطال الكهربائية للجزء الثابت والدائر للمحرك التحريضي ثلاثي الطور من خلال تحليل الأمواج

Detection and Diagnosis of Stator and Rotor Electrical Faults for

Three-Phase Induction Motor via Wavelet Energy Approach



الشكل(1-7-2-a) التجهيزات المستخدمة لإكتشاف الاعطال باستخدام((WPT (wavelet packet transform)

الهدف من البحث:

يقدم هذا البحث طريقة لإكتشاف الأعطال في المحركات التحريضية ثلاثية الطور باستخدام(تحويل الحزمة المويجية (WPT)) حيث تقوم هذه التقنية بأخذ إشارات تيار دخل المحرك بعد ذلك يتم دمج هذه الإشارات لتوليد إشارة واحدة تسمى (s) يتم بعد ذلك أخذ عينات من هذه الإشارة مما يؤدي إلى توليد إشارة منفصلة أي تقوم تقنية (WPT) بتقسيم عينات تيار الدخل للمحرك التحريضي إلى عينات فرعية أربعة حيث يتم استخدام المعلومات الموجودة في هذه العينات للكشف عن حالات وجود عطل مع تحديدها.

حيث aa2 تكون تقريبا ثابتة وتتعلق بقيمة التيار المستجر.

da2 تبين فيما إذا كان المحرك معيبا أم لا.

dd2, ad2 من خلالها تبين نوع العطل(Hussein,2022)

فالجدول(1−7−2−b) التالي يتم من خلاله التعرف على الأعطال الممكن حدوثها في المحرك

الجدول(1−7−2−a)الأعطال الممكن حدوثها في المحرك

Fault \ Entropy	aa2	ad2	da2	dd2
Healthy no load	-5.08×10^5	7.41×10^{-5}	4.30×10^{-4}	8.37×10^{-5}
Healthy full load	-2.65×10^6	2.78×10^{-4}	1.30×10^{-3}	2.85×10^{-4}
No load to full load healthy	-1.52×10^7	0.0014	7.06×10^{-4}	9.30×10^{-4}
10% fault phase-b	-2.13×10^6	−0.5372	0.1605	−3.4479
15% fault phase-b	-2.39×10^6	−6.6746	0.2593	−20.04
25% fault phase-c	-3.28×10^6	-1.36×10^2	0.5235	-3.14×10^2
25% fault phase-b	-3.29×10^6	−48.5216	0.4773	−121.5733
50% fault phase-b	-7.83×10^6	−446.9326	0.2243	-1.02×10^3
50% phase-b and 10% phase-a	-8.08×10^6	−448.9294	0.2169	-1.02×10^3
25% phase-b and 10% phase-a	-3.43×10^6	−48.5382	0.4742	−121.5034
Loss phase-a	-1.48×10^8	-3.13×10^3	−7.15	-6.64×10^3
Phase-c to ground	-3.16×10^7	-3.04×10^3	−8.88	-6.65×10^3
Three-phase fault	-1.88×10^7	−17.2076	0.1901	0.5652
Line-a to line-b fault	-3.91×10^7	0.5976	−2.6355	−78.3431
Line-a to line-b to ground fault	-1.55×10^8	-3.55×10^4	-1.63×10^3	-2.97×10^4
rotor broken 1-bar fault	-2.07×10^6	0.0025	0.0704	6.44×10^{-4}
rotor broken 2-bars fault	-1.97×10^6	3.08×10^{-4}	0.068	2.69×10^{-4}

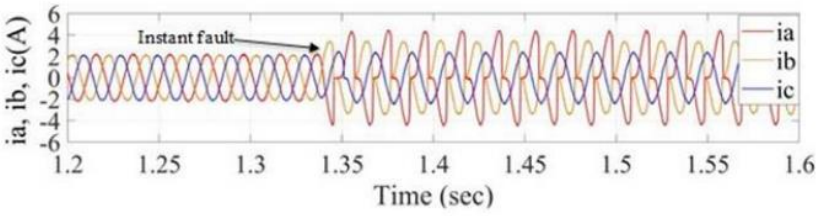
التنفيذ العملي:

محرك تحريضي ثلاثي الطور ذو استطاعة 1HP توتر[v]380

- نمذجة هذا المحرك في حالته السليمة وحالة وجود اعطال بالثابت والدائر

- تطبيق نموذج (WPT) تم الحصول على نتائج مقاربة للنتائج الموضحة بالجدول (1−7−2−a)

-باستخدام بيئة(MATLAB) تم تبيان بعض حالات العطل كما هي موضحة بالأشكال التالية:



الشكل (1-7-2-b) تيارات الأطوار بحالة اللاحمل عند عطل 25% من الطور

1-7-3- الدراسة المرجعية الثالثة:

تطوير التحكم الرقمي لآلة تحريضية سداسية الطور

develop a digital control for six-phase induction machine (SPIM)

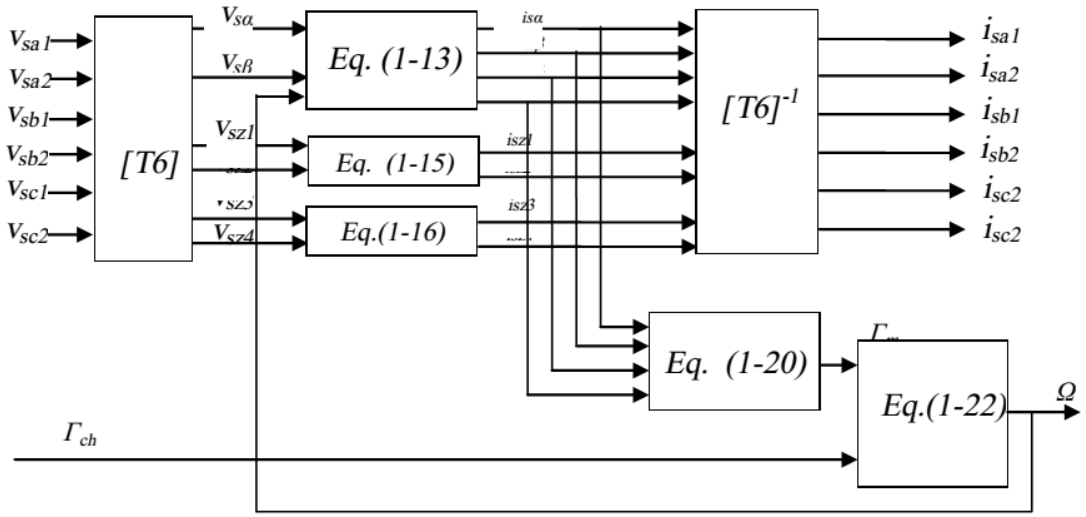
تقدّم هذه الدراسة نمذجة للمحرك التحريضي سداسي الطور بشكل سليم

يبين الجدول التالي محددات المحرك التحريضي المستخدم في النمذجة:

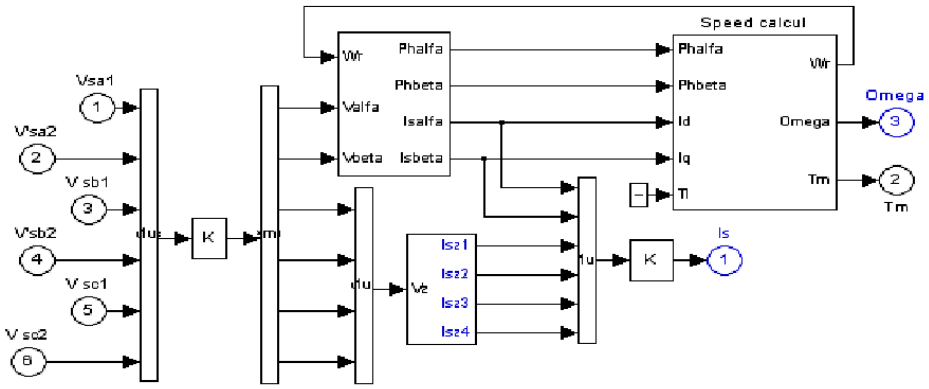
الجدول (1-7-3-a)محددات المحرك التحريضي سداسي الطور

التوتر الاسمي	Vn	٣٠٠V	محارضة الثابت التسريبية	Lls	6.7 mH
التيار الاسمي	In	10A	محارضة الدائر التسريبية	Llr	6.7 mH
عدد أزواج الأقطاب	p	4	المحارضة المتبادلة	M	0.0513 H
السرعة الاسمية	N_n	720 rpm	عزم العطالة	J	0.03 Kg.m
مقاومة الثابت	Rs	2.34 Ω	معامل الاحتكاك	F	0.001 N/rd/s
مقاومة الدائر	Rr	1.17 Ω			

بعد وضع النموذج الرياضي للمحرك التحريضي سداسي الطور أصبح بالإمكان نمذجتها باستخدام بيئة Matlab/Simulink وذلك بالاعتماد على علاقات محددة(Bangura,2021)



الشكل (1–7–3–a) المخطط الصندوقي لنمذجة موديل المحرك التحريضي سداسي الطور



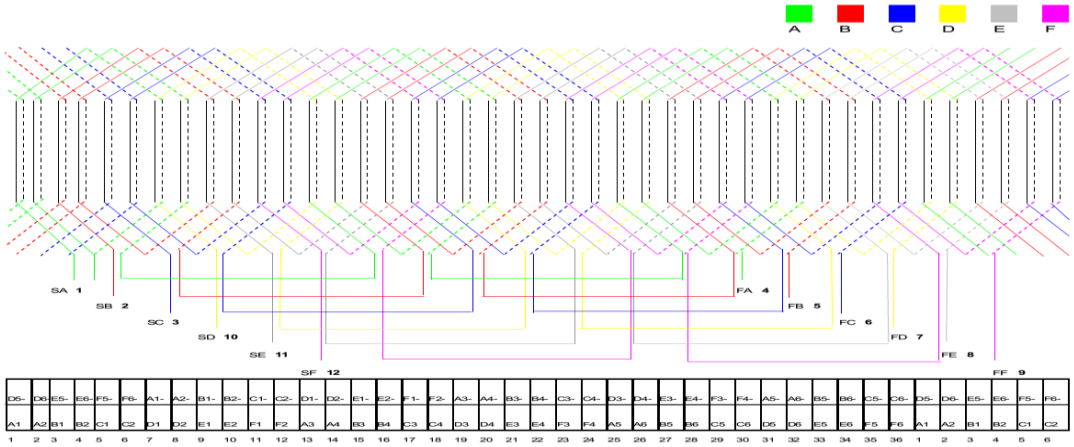
الشكل (1–7–3–b) مخطط نمذجة المحرك سداسي الطور في بيئة.MATLAB–SIMULINK.

1-7-4- الدراسة المرجعية الرابعة:

تصميم ونمذجة محرك تحريضي ثلاثي الطور إلى سداسي الطور ودراسة بعض حالات أعطاله.

DESIGN AND MODELING OF A REVERSIBLE 3PHASE TO 6–PHASE INDUCTION MOTOR FOR IMPROVED SURVIVABILITY UNDER FAULTY CONDITIONS

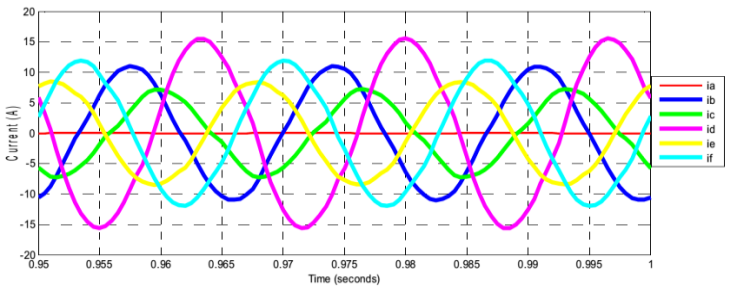
الهدف من البحث : تصميم وتنفيذ محرك سداسي الطور ودراسة حالات لأعطال فتح طور أو أكثر



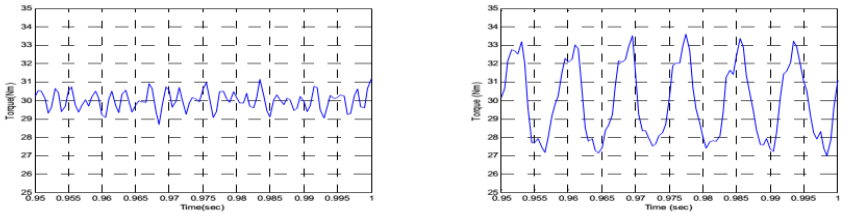
الشكل (1–7–4–a) مخطط اللف لآلة سداسية الطور

بعد ذلك تم دراسة حالات انقطاع للأطوار (Jacobina *et all,*2014)

- حالة انقطاع طور

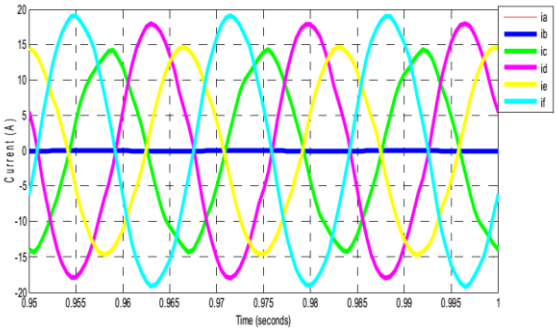


الشكل (1–7–4–b) تغيرات التيار مع الزمن بحالة انقطاع طور

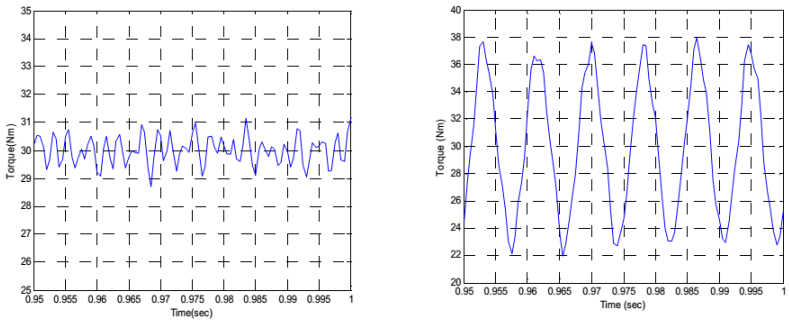


الشكل (1-7-4-c) تغيرات العزم مع الزمن بحالة انقطاع طور

- حالة انقطاع طورين متجاورين:



الشكل (1-7-4-d) تغيرات التيار مع الزمن بحالة انقطاع طورين متجاورين



الشكل (1-7-4-e) تغيرات العزم مع الزمن بحالة انقطاع طورين متجاورين

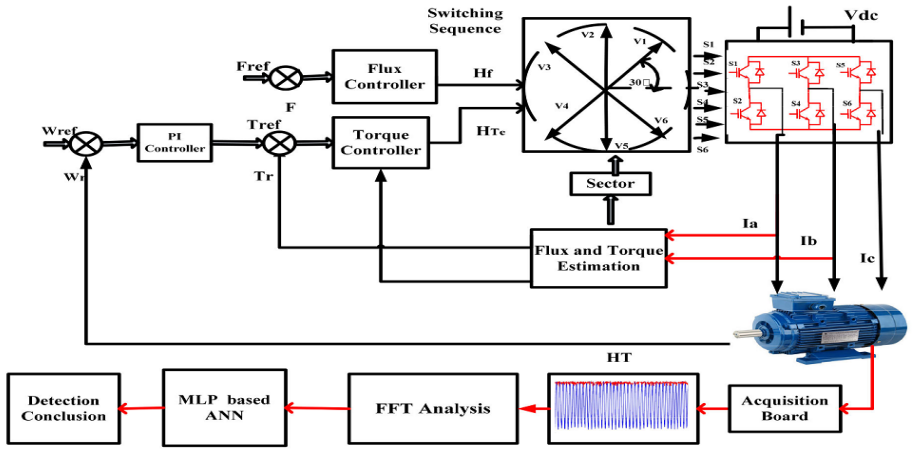
1-7-5- الدراسة المرجعية الخامسة:

الكشف عن عطل كسر الدائر باستخدام تحويل هيلبرت والشبكات العصبونية عن طريق التحكم المباشر في عزم دوران المحرك التحريضي.

Broken rotor bar fault detection using Hilbert transform and neural networks applied to direct torque control of induction motor drive

الهدف من البحث:

اكتشاف الأعطال في دائر محرك تحريضي ذو قفص سنجابي(حالة انكسار قضيب أو اكثر في الدائر) باستخدام تحويل هيلبرت (HT) والشبكات الذكية (ANNS) بعد أن تتم معالجة الإشارة باستخدام تحويل فوريه كما هو موضح بالشكل التالي: (Ameid *et all*,2018,217)



الشكل(1-7-5-a) نموذج مقترح لإكتشاف الأعطال باستخدام تحويل هيلبرت

تم إجراء تجريبي على محرك ذو استطاعة [KW] 2.2

الاشكال التالية تبين النتائج:



الشكل (c-5-7-1) النتائج في الاداء الديناميكي

(حالة عطل)



الشكل(b-5-7-1) النتائج في الاداء الديناميكي

(حالة سليمة)

1-8- **الخلاصة:**

تم في هذا الفصل إجراء مسح لبعض الأبحاث المرجعية والدراسات السابقة في مجال مراقبة حالة عمل وتشخيص أعطال المحركات التحريضية، حيث تبين أن هناك العديد من الأبحاث والدراسات المقدمة، ولكل بحث بصمته المميزة في المراقبة والكشف عن الأعطال في حال ظهورها .

2- الفصل الثاني: المحرك التحريضي سداسي الطور

Six-phase Induction motor (SPIM)

2-1- مقدمة:

إن الآلة التحريضية حالياً من أكثر الآلات الكهربائية شيوعاً في مجال الصناعة. تكمن الميزة الرئيسية لهذه الآلات في غياب المسفرات الكهربائية الذي يؤدي إلى بنية بسيطة وسهولة في القيادة و متانة التصنيع. تسمح هذه الآلة أيضاً بتحقيق جر بسرعة متغيرة وإن المكانة التي تشغلها في هذا المجال لا تتوقف عن الإتساع. في الصناعة أكثر من 60% من الطاقة الكهربائية المستهلكة يتم تحويلها إلى طاقة ميكانيكية بواسطة وسائل تستخدم الآلات الكهربائية. في التطبيقات ذات الإستطاعة الكبيرة (الدفع البحري) و(الجر بسكك الحديد)، أيضاً من أجل التطبيقات التي تتطلب وثوقية عالية (صناعة الطائرات) وتطبيقات السيارة الكهربائية فإن المحركات الكهربائية متعددة الأطوار يتم استخدامها بكثرة .

يقدم الجزء الأول بشكل أساسي بنية ولف المحرك التحريضي سداسي الطور وتمثيل مخطط اللف باستخدام محاكاة العناصر الإلكترونية (Circuit Wizard 2 SE)

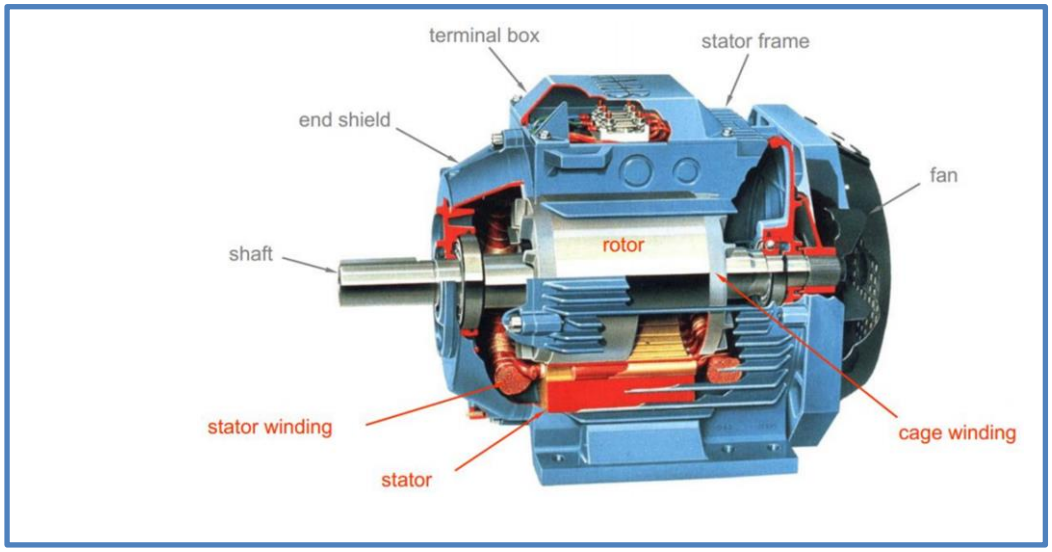
ودراسة تغذية هذه الآلة عن طريق معرج التوتر أو باستخدام محولة ذات ملفات مقسمة . وسيتم شرح مزايا و سلبيات الآلات التحريضية متعددة الأطوار بالمقارنة مع الآلات التقليدية ثلاثية الطور.

2-2- بنية المحرك التحريضي:

يتطلب مبدأ عمل المحرك التحريضي وجود ملفين فيه أحدهما هو الملف الابتدائي الذي يربط إلى منبع التوتر المتناوب والآخر هو الملف الثانوي الذي يكون مقصوراً، وفي المحركات التحريضية يكون الملف الابتدائي متوضعاً على الثابت بينما يركب الملف الثانوي المقصور على الجزء الدائر.

إلا إن هذا الترتيب ليس أمراً جوهرياً بالنسبة لمبدأ عمل هذه الآلة، يكون الملف الابتدائي دوماً على شكل ملف موزع ملفوف بطريقة تمكننا من الحصول على العدد المطلوب من الأقطاب والأطوار في الآلة، أما الملف الثانوي فيتميز بنوعين يحدد كل منها نوع موافق للمحرك التحريضي هما الملف ذو الحلقات المنزلقة الموافق للمحرك التحريضي ذي الدائر الملفوف، والملف المقصور على شكل قفص سنجابي الموافق للمحرك التحريضي ذو القفص السنجابي.

يبين الشكل صورة توضيحية لهيكلية المحرك التحريضي.



الشكل (2–2–a) مقطع داخلي في المحرك التحريضي

2–2–1– الجزء الثابت أو المحرض:

وهو عبارة عن جسم اسطواني مصنوع من مادة فيرومغناطيسية ذات مقاومة مغناطيسية صغيرة ونفوذية عالية على شكل صفائح رقيقة تتراوح سماكتها بين $(0.35 \div 0.50)mm$ معزولة عن بعضها، وذلك لتقليل الضياعات المغناطيسية الناشئة عن التيارات الإعصارية والبطاء المغناطيسي، يحتوي السطح الداخلي للجزء الثابت على مجار كما هو في الشكل (2–2–1–a) ، تملأ بوشائع نحاسية معزولة ومتصلة لتولد ساحة مغناطيسية دوارة.

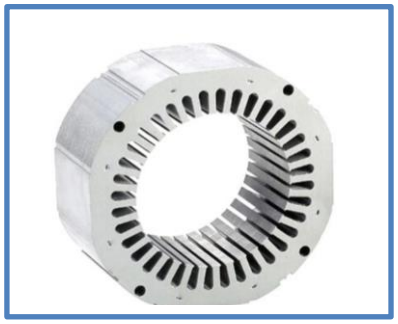
وإن لكل محرك هيكلاً أساسياً يقوم بعدة وظائف، ومنها:

١. حمل نواة الثابت.

٢. حماية الملفات الكهربائية.

٣. نقل العزم إلى قاعدة المحرك.

يمكن للهكيل أن يأخذ أشكالاً متعددة وذلك حسب نوع العمل الذي يقوم به المحرك وشروط التشغيل.



الشكل (2-2-1-a) نواة الثابت في المحرك التحريضي

2-2-2- الجزء الدائر أو المتحرض:

وهو جسم أسطواني يتألف من صفائح رقيقة من مادة فيرومغناطيسية لها نفس خصائص معدن الجزء الثابت، ويحتوي في سطحه الخارجي على مجاري تملأ بنواقل من النحاس أو الألمنيوم أو خلائطهما، ويمكن أن نميز بين نوعين من أنواع الجزء الدائر وذلك حسب طبيعة تكوين ملفاته:

١. الجزء الدائر ذو القفص السنجابي.

٢. الجزء الدائر الملفوف أو ذو حلقات الانزلاق.

2-2-2-a- الجزء الدائر ذو القفص السنجابي:

تملأ المجاري في هذا النوع بنواقل على شكل قضبان Bars من النحاس أو الألمنيوم غير معزولة ، مقصورة معاً عند أطرافها بواسطة حلقتين قفصاً سنجابياً مفتوحاً عند نهايتيه، إن القضبان المقصورة والمتوضعة في المجاري تكون عادة غير معزولة عن جسم الجزء الدائر الحديدي للتوترات المنخفضة وذلك لأن القوى المحركة الكهربائية المتحرضة فيها تكون صغيرة عند التشغيل النظامي للآلة.

وإن بناء القفص السنجابي بسيط بالإضافة إلى انه رخيص الثمن ومتين، ومن إحدى عيوبه مميزاته الثابتة، إذ لا يمكن إضافة أي ممانعة خارجية إلى دارة الجزء الدائر وذلك لتخفيض تيار الإقلاع مثلاً، كما أن القفص السنجابي يتواءم مع أي عدد من أقطاب أو أطوار ملفات الجزء الثابت.



الشكل (2-2-2-a-1) المظهر العام الجزء الدائر ذو القفص السنجابي للمحرك التحريضي

2-2-2-b- الجزء الدائر الملفوف أو الدائر ذو حلقات الانزلاق:

تملأ مجاري هذا النوع بوشائع نحاسية ملفوفة بطريقة تمكن من الحصول على عدد الأطوار و الأقطاب المطلوب الموافق لعدد الأطوار والأقطاب المحدد من الجزء الثابت، وإن ملف الجزء الدائر يربط عادة بشكل نجمي وحيث تثبت نقطة النجمة بجسم الدائر أو بمحور الدوران، أما الأطراف الأخرى لهذه الملفات فتوصل نهاياتها إلى الحلقات المنزلقة المركبة على محور المحرك، وتمسح الفحمات الكربونية التي تتلامس مع الحلقات المنزلقة بوصل مقاومات خارجية إلى دارة ملف الجزء الدائر من أجل تحسين خصائص إقلاع الآلة (إذ يقل تيار الإقلاع ويزداد عزم الإقلاع).

وعند عمل الآلة في نظام العمل الطبيعي تكون الحلقات المنزلقة مقصورة على نفسها وعندها يكتسب المحرك سرعته الإسمية، ويطلق على هذا النوع من المحركات أحيانا بمحركات ذات حلقات انزلاق.



الشكل (2-2-2-b-1) المظهر العام الجزء الدائر الملفوف للمحرك التحريضي

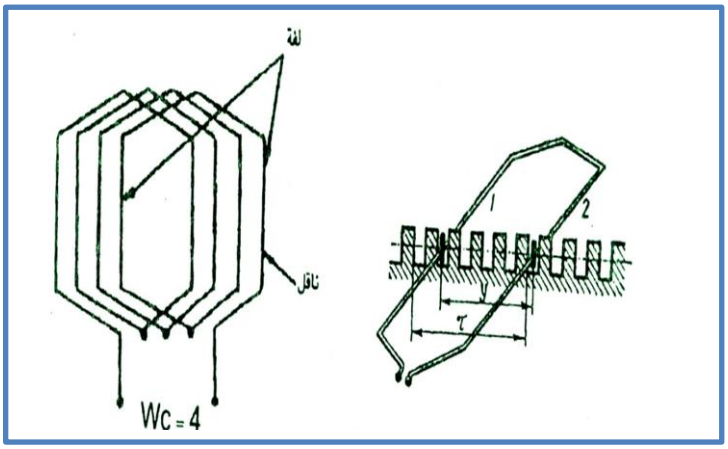
2-2-3- الفجوة الهوائية:

تفصل ما بين الجزء الثابت والجزء الدائر في المحرك التحريضي، تكون ذات أبعاد صغيرة لتخفيض قيمة سيالة التهييج وأيضاً السيالة المغناطيسية المتسربة عند اختراقها الفجوة الهوائية، وبالتالي تخفيض الاستطاعة المغناطيسية الضائعة وتيار اللاحمل مما يؤدي إلى تحسين عامل الاستطاعة ومردود المحرك، ومع ذلك فإن العامل الرئيسي المؤثر في تحديد طول الفجوة الهوائية يبقى معامل الاستطاعة الذي يقتضي أخذ هذه الفجوة بالطول الأصغري الممكن من الناحية الميكانيكية المحقق لفصل الدائر عن الثابت بشكل مضمون(بوغوص وآخرون، 2016)

2-3- لف المحركات التحريضية:

تلف المحركات التحريضية بعدد من الوشائع تتوضع في المجاري الواقعة على السطح الداخلي بجزء الثابت والسطح الخارجي للجزء الدائر في المحرك ذي الدائر الملفوف، توصل هذه الوشائع مع بعضها بطريقة تنتج فيها عدد محدد من الأطوار والأقطاب، بحيث يحتوي كل طور على نفس العدد من الوشائع، تتكون الوشيعة من عدد من اللفات وتتكون اللفة بدورها من ناقلين.

كما هو موضح في الشكل (2-3-a) ملف من ملفات للجزء الثابت في المحرك التحريضي، يبعدان عن بعضهما مسافة y التي تساوي تقريباً الخطوة القطبية τ والتي تمثل القوس المحصور بين مركزي قطبين متتاليين.



الشكل (2-3-a) ملف من ملفات للجزء الثابت في المحرك التحريضي

تقدر الخطوة القطبية بعدد المجاري وتساوي:

$$\tau = \frac{Z}{2P} \qquad {}^{slots}/_{pole} \qquad (2-1)$$

حيث إن: Z عدد المجاري الكلية في الجزء الثابت أو الدائر.

$2P$ عدد الأقطاب المشكلة في الثابت أو الدائر.

إن الخطوة القطبية مقدرة بالدرجات الكهربائية تساوي دوماً 180^{o} درجة كهربائية مهما كان عدد الأقطاب.

وظيفة ملفات الأطوار هي إنتاج الساحة المغناطيسية الدوارة والضرورية لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية بسبب القوة المحركة الكهربائية المتحرضة في كل طور بشكل جيبي أو بمعنى آخر إلغاء تأثير التوافقيات الدخيلة المختلفة.

2-3-1- لف المحرك التحريضي بملف ثلاثي الطور:

وتم اعتماد لتصميم ملف المحرك نوع اللف التطابقي ذو خطوة اللف تساوي الخطوة القطبية، أي: $y = \tau$ ، ومع إهمال عامل تقصير الخطوة القطبية، عدد أقطاب المحرك $2P = 6\ pole$.

- ولإنجاز عملية اللف نقوم بالحسابات التالية:

حساب الخطوة القطبية τ :

$$\tau = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{6} = 6 \qquad Slots/pole \qquad (2-2)$$

$$\tau = y = 6 \qquad Slots/pole \qquad (2-3)$$

حساب عدد المجاري تحت كل قطب ولكل طور q :

$$q = \frac{Z}{2P \times m} = \frac{36}{6 \times 3} = 2 \qquad Slots/pole/phole \qquad (2-4)$$

حيثm تعبّر عن عدد الأطوار

حساب عدد الوشائع الكليةW_c :

$$W_c = Z = 36 \qquad Coils \qquad (2-5)$$

عدد الوشائع العائدة لكل طور W_{ph} :

$$W_{ph} = \frac{Z}{m} = \frac{36}{3} = 12 \qquad Coils \qquad (2-6)$$

زاوية انزياح المجرى الواحدγ :

$$\gamma = \frac{2\pi}{Z} \times P = \frac{2 \times 180}{36} \times 3 = 30 \qquad ele.\deg \qquad (2-7)$$

بما أن ملفات الأطوار الثلاثة تتوضع فراغياً بحيث تصنع محاورها بين بعضها $120°$ درجة كهربائية تكون عدد المجاري التي توافق هذه الزاوية:

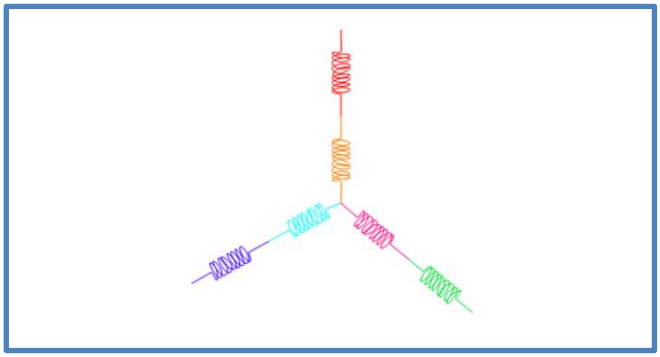
$$Z_{ph} = \frac{120}{\gamma} = \frac{120}{30} = 4 \qquad Slots \qquad (2-8)$$

أي أنه إذا وقع الطرف الأول من الملف الأول للطور الأول في المجرى رقم 1، فإن الطرف الأول للملف الأول للطور الثاني سيقع في المجرى رقم 5، أي:

$$1 + Z_{ph} = 1 + 4 = 5 \qquad (2-9)$$

أما الطرف الأول من الملف الأول للطور الثالث سيقع في المجرى رقم 9، أي:

$$5 + Z_{ph} = 5 + 4 = 9 \qquad (2-10)$$



الشكل(2-3-1-a) ملفات الجزء الثابت للمحرك التحريضي ثلاثي الطور

يمكن اظهار طريقة توصيل وشائع كل طور حسب الجداول الآتية:

للطور الأول: الجدول (2–1–3–a) توصيل وشائع الطور الأول لملف ثلاثي الطور

$A_1 \Rightarrow 1 - 7' - 2 - 8' \Rightarrow X_1$

$A_2 \Rightarrow 7 - 13' - 8 - 14' \Rightarrow X_2$

$A_3 \Rightarrow 13 - 19' - 14 - 20' \Rightarrow X_3$

$A_4 \Rightarrow 19 - 25' - 20 - 26' \Rightarrow X_4$

$A_5 \Rightarrow 25 - 31' - 26 - 32' \Rightarrow X_5$

$A_6 \Rightarrow 31 - 1' - 32 - 2' \Rightarrow X_6$

للطور الثاني : الجدول (2–1–3–b) توصيل وشائع الطور الثاني لملف ثلاثي الطور

$B_1 \Rightarrow 5 - 11' - 6 - 12' \Rightarrow y_1$

$B_2 \Rightarrow 11 - 17' - 12 - 18' \Rightarrow y_2$

$B_3 \Rightarrow 17 - 23' - 18 - 24' \Rightarrow y_3$

$B_4 \Rightarrow 23 - 29' - 24 - 30' \Rightarrow y_4$

$B_5 \Rightarrow 29 - 35' - 30 - 36' \Rightarrow y_5$

$B_6 \Rightarrow 35 - 5' - 36 - 6' \Rightarrow y_6$

للطور الثالث : الجدول (2–1–3–c) توصيل وشائع الطور الثالث لملف ثلاثي الطور

$C_1 \Rightarrow 9 - 15' - 10 - 16' \Rightarrow Z_1$

$C_2 \Rightarrow 15 - 21' - 16 - 22' \Rightarrow Z_2$

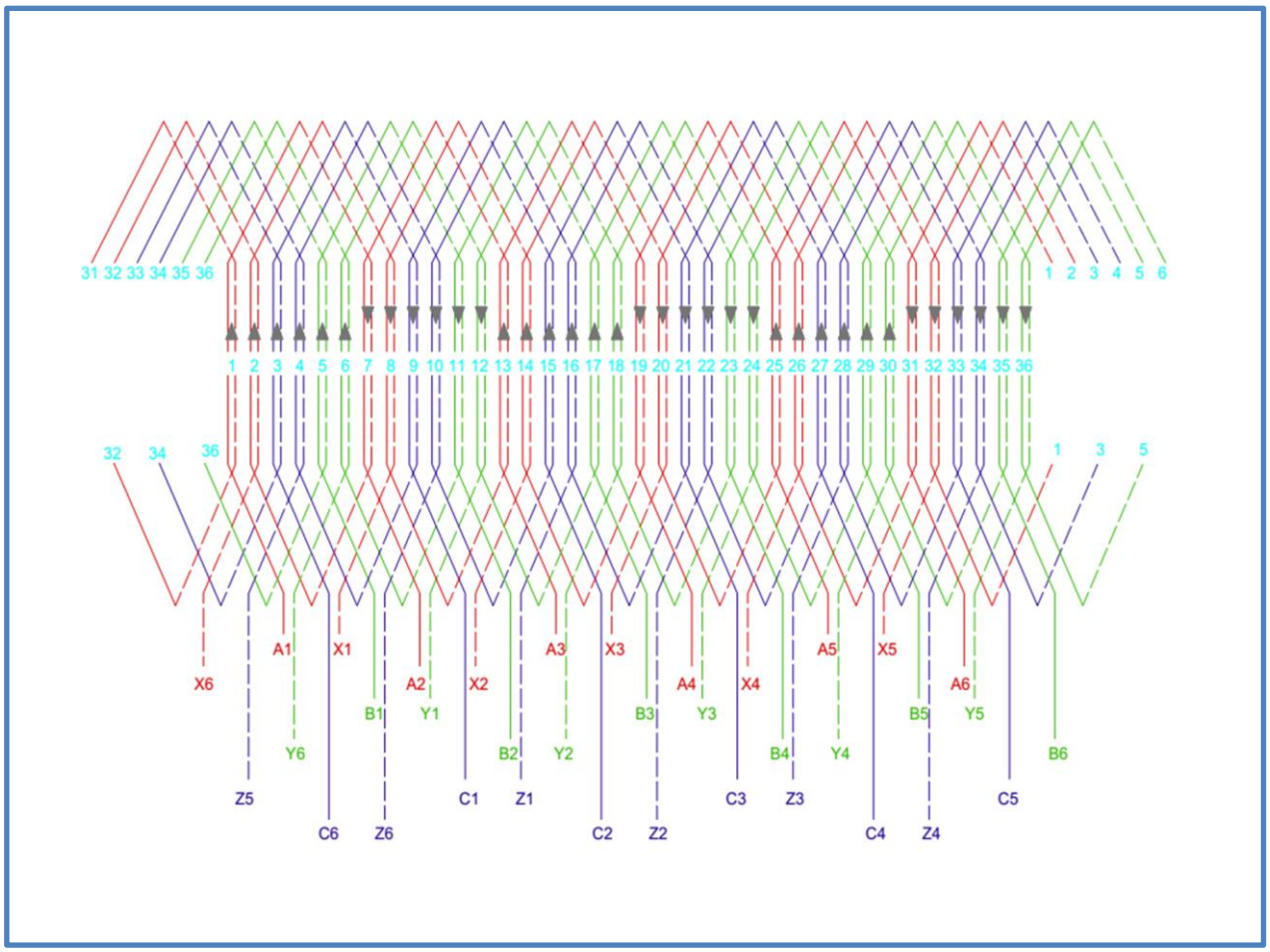
$C_3 \Rightarrow 21 - 27' - 22 - 28' \Rightarrow Z_3$

$C_4 \Rightarrow 27 - 33' - 28 - 34' \Rightarrow Z_4$

$C_5 \Rightarrow 33 - 3' - 34 - 4' \Rightarrow Z_5$

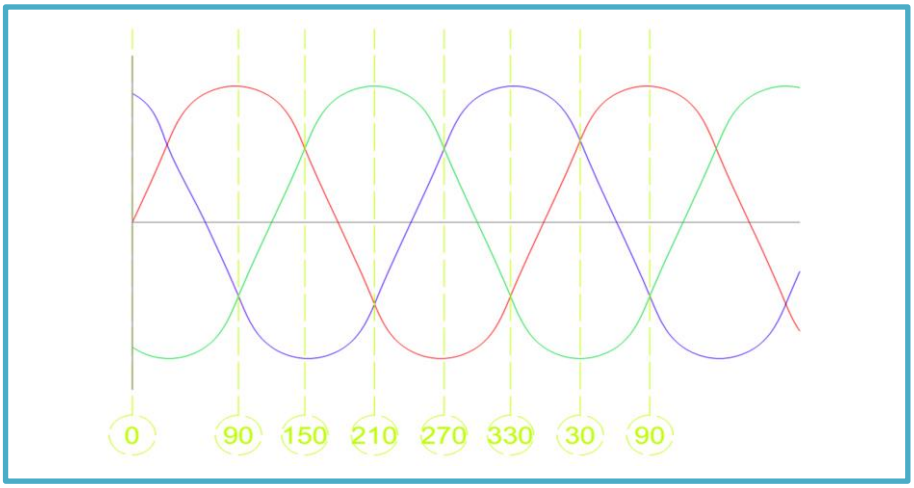
$C_6 \Rightarrow 3 - 9' - 4 - 10 \Rightarrow Z_6$

فمخطط اللف للمحرك التحريضي ثلاثي الطور مبين في الشكل (2-3-1-b)



الشكل (2-3-1-b) مخطط لف المحرك التحريضي ثلاثي الطور

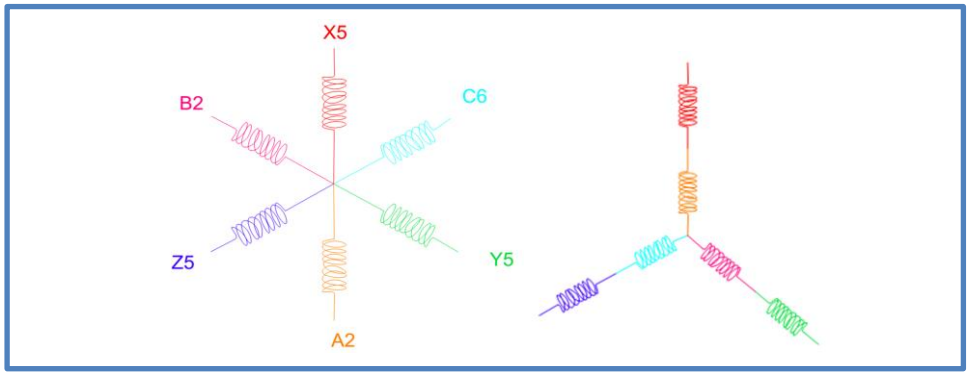
يتم تغذيتها بمنبع ثلاثي الطور:



الشكل (2-3-1-c) موجات التوتر لمنبع ثلاثي الطور

2-3-2-لف المحرك التحريضي بملف سداسي الطور **60°:**

تم تشكيل الملف سداسي الطور اعتماداً على الملف ثلاثي الطور، أي بتقسيم كل مجموعات الثلاثي إلى مجموعتين نحصل على آلة تحريضية سداسية الطور، عدد أقطابها ستة، أي $2P = 6, pole$ (G.K. Singh,2017,139)



الشكل (2-3-2-a) ملفات الثابت للمحرك التحريضي سداسي الطور

فنحصل على المجموعات التالية:

الجدول (2-3-2-a) توصيل وشائع الطور الأول لملف سداسي الطور

للطور الأول:

$$A_1 \Longrightarrow 1 - 7' - 2 - 8' \Longrightarrow X_1$$
$$A_3 \Longrightarrow 13 - 19' - 14 - 20' \Longrightarrow X_3$$
$$A_5 \Longrightarrow 25 - 31' - 26 - 32' \Longrightarrow X_5$$

الجدول (2-3-2-b) توصيل وشائع الطور الرابع لملف سداسي الطور

للطور الرابع:

$$A_2 \Longrightarrow 7 - 13' - 8 - 14' \Longrightarrow X_2$$
$$A_4 \Longrightarrow 19 - 25' - 20 - 26' \Longrightarrow X_4$$
$$A_6 \Longrightarrow 31 - 1' - 32 - 2' \Longrightarrow X_6$$

الجدول (2-3-2-c) توصيل وشائع الطور الثاني لملف سداسي الطور

للطور الثاني:

$B_1 \Rightarrow 5 - 11' - 6 - 12' \Rightarrow y_1$

$B_3 \Rightarrow 17 - 23' - 18 - 24' \Rightarrow y_3$

$B_5 \Rightarrow 29 - 35' - 30 - 36' \Rightarrow y_5$

الجدول (2-3-2-d) توصيل وشائع الطور الخامس لملف سداسي الطور

للطور الخامس:

$B_2 \Rightarrow 11 - 17' - 12 - 18' \Rightarrow y_2$

$B_4 \Rightarrow 23 - 29' - 24 - 30' \Rightarrow y_4$

$B_6 \Rightarrow 35 - 5' - 36 - 6' \Rightarrow y_6$

الجدول (2-3-2-e) توصيل وشائع الطور الثالث لملف سداسي الطور

للطور الثالث:

$C_1 \Rightarrow 9 - 15' - 10 - 16' \Rightarrow Z_1$

$C_3 \Rightarrow 21 - 27' - 22 - 28' \Rightarrow Z_3$

$C_5 \Rightarrow 33 - 3' - 34 - 4' \Rightarrow Z_5$

للطور السادس : الجدول (2-3-2-f) توصيل وشائع الطور السادس لملف سداسي الطور

$C_6 \Rightarrow 3 - 9' - 4 - 10' \Rightarrow Z_6$

$C_2 \Rightarrow 15 - 21' - 16 - 22' \Rightarrow Z_2$

$C_4 \Rightarrow 27 - 33' - 28 - 34' \Rightarrow Z_4$

حيث تم التأكد من طريقة اللف والمجموعات السابقة عن طريق العلاقات الرياضية التالية، يجب أن نحقق فرق الطور بين طورين متتاليين $60°$ على مخطط اللف.

زاوية انزياح المجرى الواحد:

$$\gamma = \frac{2\pi}{Z} \times P = \frac{2 \times 180}{36} \times 3 = 30 \qquad ele.\deg \qquad (2-11)$$

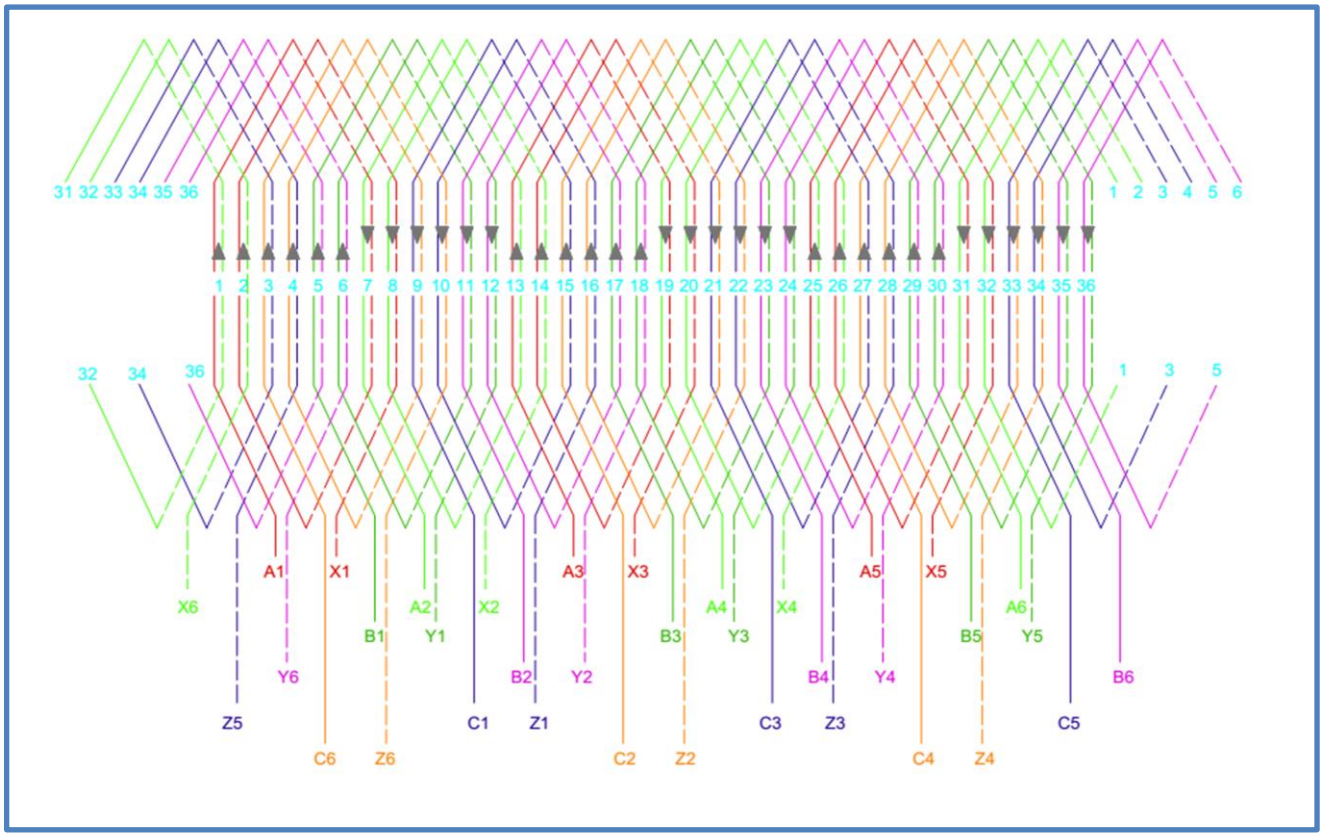
بما أن ملفات الأطوار الستة تتوضع فراغياً بحيث تصنع محاورها بين بعضها $60°$ درجة كهربائية تكون عدد المجاري التي توافق هذه الزاوية:

$$Z_{ph} = \frac{60}{\gamma} = \frac{60}{30} = 2 \qquad Slots \qquad (2-12)$$

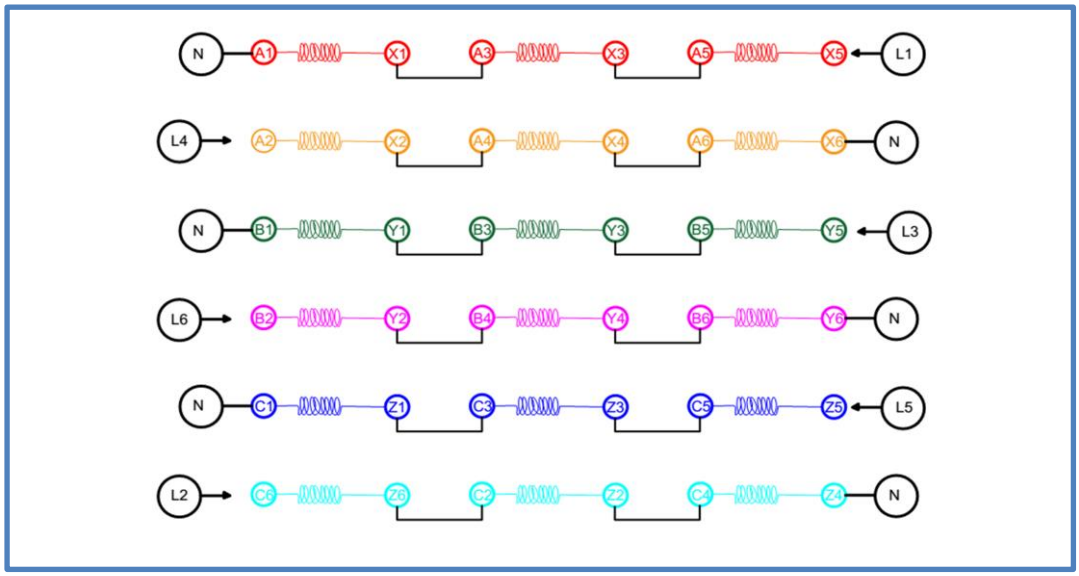
أي أنه إذا وقع الطرف الأول من الملف الأول للطور الأول في المجرى رقم 1، فإن الطرف الأول للملف الأول للطور الذي يليه سيقع في المجرى رقم 3.أي:

$$1 + Z_{ph} = 1 + 2 = 3 \qquad (2-13)$$

فمخطط لف المحرك التحريضي سداسي الطور يكون مبين في الشكل (2–3–2–b) .

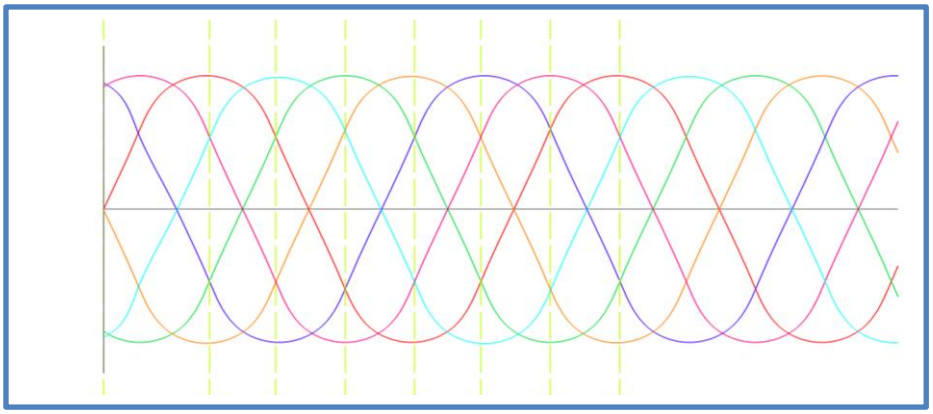


فيكون مخطط التوصيل كما هو موضح بالشكل (2–3–2–c)



الشكل (2–3–2–c) مخطط التوصيل لتشغيل الآلة كمحرك تحريضي سداسي الطور

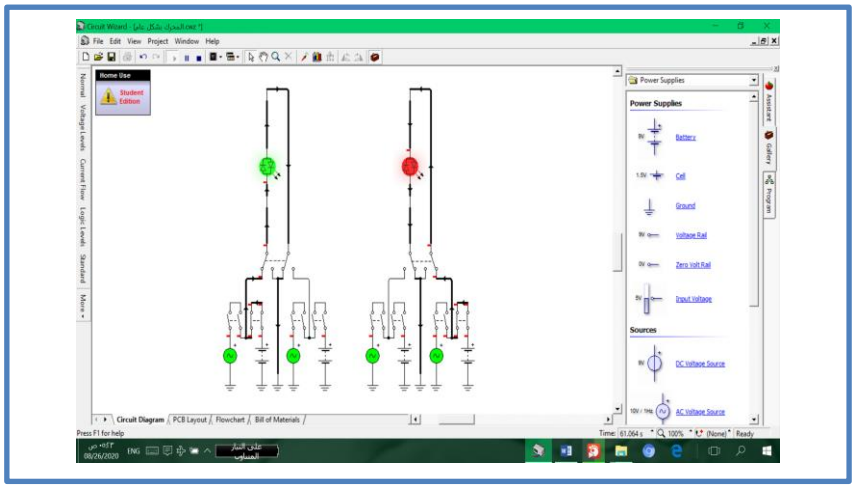
يتم تغذيتها بمنبع سداسي الطور:



الشكل (2-3-2-d) تغيرات التوتر بالنسبة للزمن لمنبع سداسي الطور

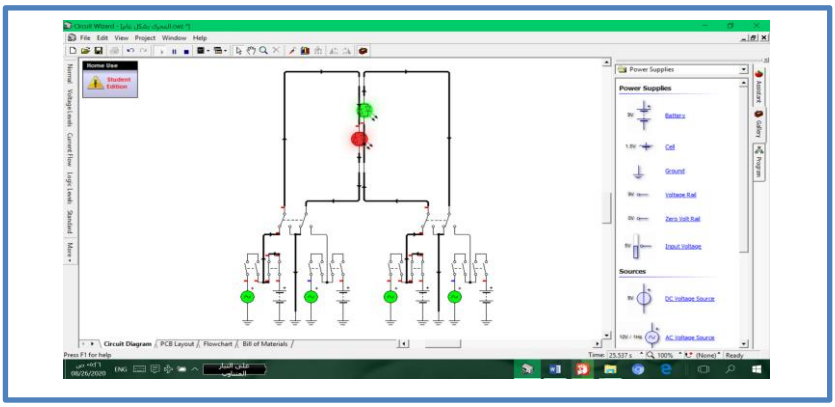
2-4- تمثيل مخطط اللف باستخدام برنامج محاكاة العناصر الإلكترونية(Circuit Wizard 2 SE)

تم اللجوء إلى هذا البرنامج للتأكد من صحة اللف وخاصة عدم مرور تياران متعاكسان في نفس المجرى، حيث تم تمثيل طبقة في المجرى الواحد بدارة إلكترونية وهي تحوي ثنائي ضوئي (الليد) مع ديود باتجاه أمامي وثنائي ضوئي مع ديود بالاتجاه العكسي وتم وصل كلاهما على التفرع كما هو موضح بالشكل (2-4-a) الدارة الإلكترونية المعبرة عن طبقة واحدة في مجرى واحد في المحرك التحريضي.



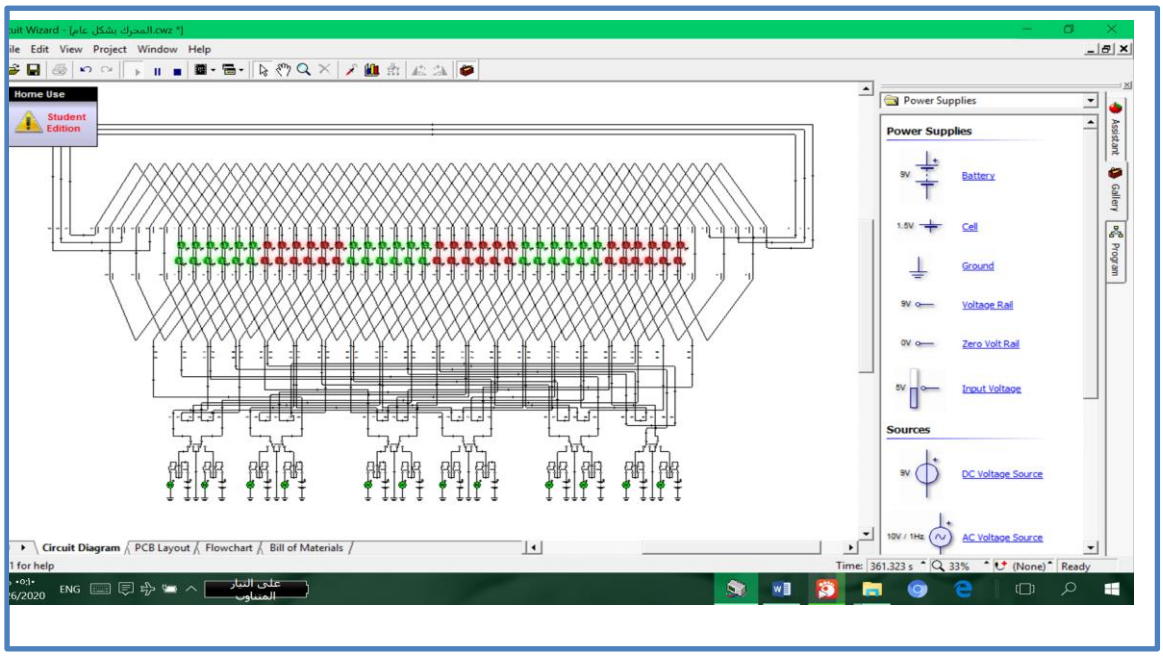
الشكل (2-4-a) الدارة الإلكترونية المعبرة عن طبقة واحدة في مجرى واحد في المحرك التحريضي

وبما أننا اعتمدنا اللف النصفي فيتم وضع دارتين (دارة تعبر عن الطبقة الأولى ودارة تعبر عن الطبقة الأخرى) كما هو موضح في الشكل (2-4-b) الدارة الإلكترونية المعبرة عن مجرى واحد في المحرك التحريضي.



الشكل (2-4-b) الدارة الإلكترونية المعبرة عن مجرى واحد في المحرك التحريضي

وبهذه الطريقة تم تمثيل جميع مجاري المحرك ورسم مخطط اللف كاملاً، حيث تم تغذية كل طور من أطوار المحرك باستخدام منبع احادي الطور (تم التغذية بهذا المنبع لعدم احتواء هذا البرنامج على منبع ثلاثي الطور). بتغذية كامل ملفات المحرك تكون مسارات تيارات الأطوار في مجاري المحرك موضحة في الشكل (2-4-c) مسارات التيارات في ملفات المحرك.



الشكل (2-4-c) مسارات التيارات في ملفات المحرك

2-5- تغذية المحرك التحريضي سداسي الأطوار:

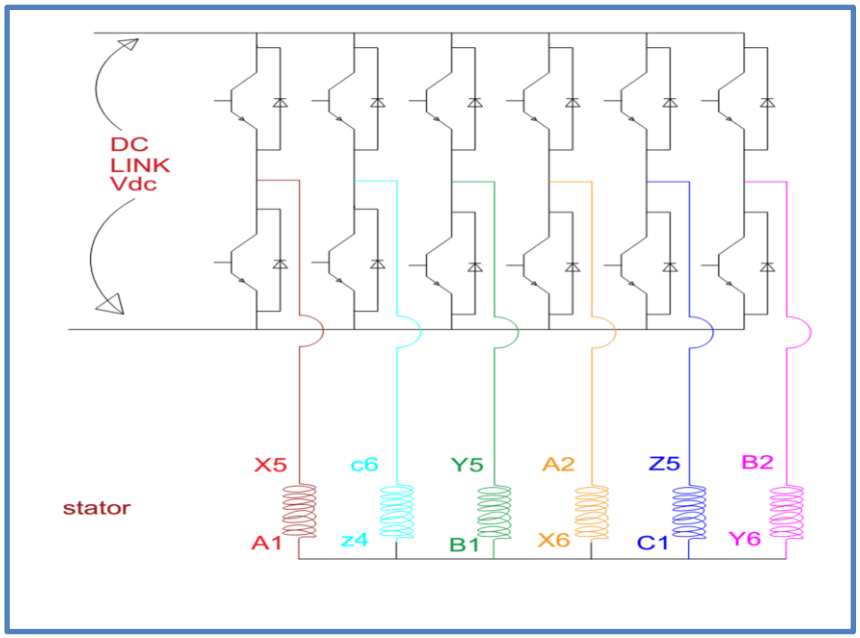
حيث يتم الحصول على ستة أطوار بأكثر من طريقة نذكر منها:

2-5-1- استخدام معرج التوتر:

يقوم معرج التوتر بتحويل التوتر من المستمر إلى المتناوب، نستخدمه بشكل أساسي لتغذية الآلات التحريضية والتزامنية، حسب الاستطاعات.

معرج التوتر مجهز بترانزستورات تبديل مكون من ستة أذرع حيث كل ذراع مكون من قاطعين، كل قاطع مكون من ترانزستور IGBT وديود مربوط على التوازي. نفترض أن القواطع ذات تبديل فوري، زمن التبديل لا يتم أخذه بالحسبان في عملنا، المعرج مقاد بواسطة تقنية PWM. (E. Levi *et all*,2015,226)

يظهر الشكل بنية معرج التوتر سداسي الطور :



الشكل(2-5-1-a) بنية معرج التوتر سداسي الطور

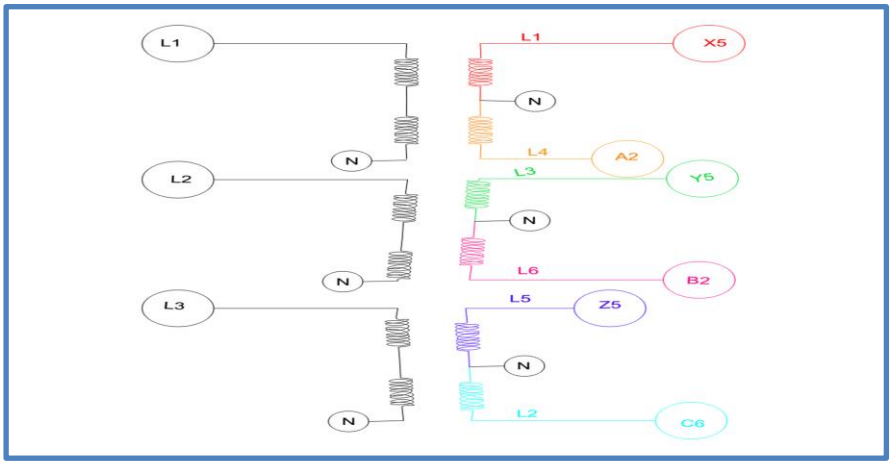
والشكل التالي يبين المعرج سداسي الطور المنفذ:



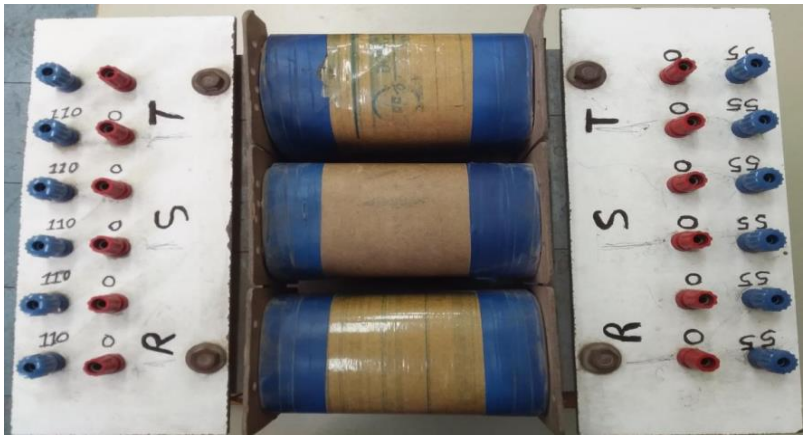
الشكل(2-5-1-b) معرج التوتر سداسي الطور

2-5-2- استخدام محولة ذات الملفات المقسمة:

تتألف المحولة ذات الملفات المقسمة من ملفين أولي وثانوي، الأولي عبارة عن ملف وحيد والثانوي عبارة عن ملف ذو نقطة وسط، بحيث يكون التوتر على الثانوي مساوي لتوتر الأولي أي (نسبة التحويل 1)، لكن بسبب وجود نقطة وسط في الملف الثانوي يقسم توتر الثانوي إلى قسمين متساويين ونصيب كل قسم يساوي توتر الأولي فتتولد موجة توتر في الجزء الثاني من الملف الثانوي بعكس الموجة المتولدة في الجزء الأول من الملف الثانوي (أي فرق الطور بينهما 180°)، وبذلك نكون قد حصلنا على موجتين لطورين متقابلين من الأطوار الستة كما هو مبين بالشكل (2-5-2-a) .



الشكل (2-5-2-a) بنية المحولة ذات ملفات مقسمة



الشكل (2-5-2-b) المحولة ذات ملفات مقسمة

2-6- مميزات وسلبيات الآلات متعددة الأطوار:

تقدم الآلات متعددة الأطوار فوائد كثيرة بالمقارنة مع الآلات التقليدية ثلاثية الطور:

١. خفض مطال وزيادة تردد تموجات العزم وهذا ينقص الاجهاد الميكانيكي للحمل المربوط مع المحرك.

٢. خفض ضياعات التوافقيات للدائر الناتج عن غياب بعض توافقيات تيارات دائر الآلة التحريضية.

٣. إمكانية زيادة العزم بالنسبة للأمبير من أجل نفس الحجم من الآلة.

٤. الوثوقية العالية:

في الآلات ثلاثية الطور تعطل أحد الأطوار أو ذراع من المعرج يولد حتماً زيادة محسوسة في تموجات العزم وفقد السيطرة على الآلة، من أجل الآلات متعددة الطور يتم الحفاظ على سيطرة الآلة حتى مع بقاء ثلاث أطوار فعالة، وبالتالي كلما ازداد عدد الأطوار كلما تحسنت الوثوقية ونستطيع تصميم طريقة تشغيل في الحالة الغير مستقرة.

٥. عندما يكون تردد التغذية ثابتاً فإنه من الممكن الحصول على تغيير في السرعة من خلال تغيير عدد الأقطاب للآلة.

ثمة ميزة أخرى لاستخدام الآلات متعددة الطور هو القدرة على توسيع نطاق عمل الاستطاعة الثابتة من خلال تغيير عدد أقطاب الآلة وبالتالي يمكن قيادة التردد وتيارات الآلة بدون مبدلات ميكانيكية. هذه الميزة مفيدة في التطبيقات التي يكون فيها توتر التغذية محدد، فوائد أخرى من تغيير عدد الأقطاب هو الحد من الضوضاء الصوتية وتموجات التيارات.

٦. الحد من توافقيات التيار الناتجة عن مكثف مرشح المنبع المستمر في المعرج.

في نظام القيادة متعددة الطور يمكن الحد من توافقيات تيار المنبع المستمر في المرشح مما يؤدي إلى إنقاص بشكل ملموس حجم وتكاليف المكثف.

٧. إمكانية تغذية أكثر من آلة من خلال معرج واحد بسيط للحصول على قيادة متعددة للمحركات متعددة الطور. للتطبيقات التي تتطلب قيادة متعددة المحركات مثل: الصناعات النسيجية.

٨. تجزئة الاستطاعة:

الاستطاعة موزعة على عدد أطوار أكثر وعناصر الاستطاعة للمعرج بالتالي أقل حجماً، وبالتالي بزيادة عدد القواطع ولكن من درجة منخفضة وبالتالي يمكن أن تتحمل ترددات تعديل أعلى وهذا يسمح لإنقاص تموجات التيار والعزم، هذه التجزئة هي السبب الرئيسي لاستخدام الآلات متعددة الأطوار في التطبيقات عالية الاستطاعة ومع ذلك فإن السلبية الرئيسية للآلات متعددة الأطوار، هو أن بعض تيارات التوافقيات للثابت لا تشارك في إنشاء موجة القوة المحركة المغناطيسية، ظهور تيارات توافقيات للجزء الدائر تشكل العيب الأساسي للآلات متعددة الأطوار المغذاة بواسطة معرج توتر في حالة فتح طور أو عدة أطوار فإن نوعية العزم الكهرومغناطيسي متموج بشكل كبير، ويمكن أن تظهر تموجات ذات مطال غير مهمل ولذلك من الضروري اقتراح استراتيجيات للتغذية و القيادة

للحد من تموجات العزم في الحالة غير المستقرة، ومن المساوئ ايضاً زيادة عدد أنصاف النواقل مع زيادة عدد الأطوار. تضاعف عدد الأطوار يزيد بالتأكيد تكلفة وتعقيد المعرج(G.K. Singh,2017,139)

2-7- الشروط الأساسية في تصميم المحرك سداسية الأطوار:

1- يتمثل الشرط الرئيسي في الحفاظ على نفس قيم عزم الخرج للآلة ثلاثية الطور الحالية في الالة الجديدة ذات الستة اطوار المعاد تشكيلها.

2- يتم الحفاظ أيضًا على استطاعة خرج الألة التي تم إعادة تشكيلها ذات 6 أطوار بنفس القيمة الموجودة في الالة الحالية ثلاثية الطور(Jacobina *et all*,2014)

2-8- الخلاصة:

قدم الفصل الثاني بشكل أساسي بنية ولف المحرك التحريضي سداسي الطور وتمثيل مخطط اللف باستخدام محاكاة العناصر الالكترونية (Circuit Wizard 2 SE) للتأكد من صحة اللف ، ودراسة تغذية هذه الآلة عن طريق معرج التوتر أو باستخدام محولة ذات ملفات مقسمة . وتم شرح مزايا و سلبيات الآلات التحريضية متعددة الأطوار بالمقارنة مع الآلات التقليدية ثلاثية الطور بالإضافة إلى الشروط الأساسية في تصميم المحرك التحريضي سداسي الطور.

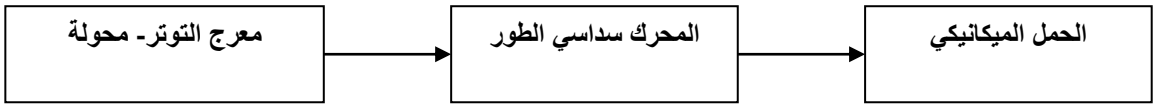
3- الفصل الثالث

الأعطال في نظام الآلة التحريضية سداسية الطور

3-1- مقدمة:

الغاية من هذا الجزء من الدراسة تقديم بشكل مختصر للأعطال في الآلة سداسية الطور وتقنيات العزل الكهربائي للأعطال.

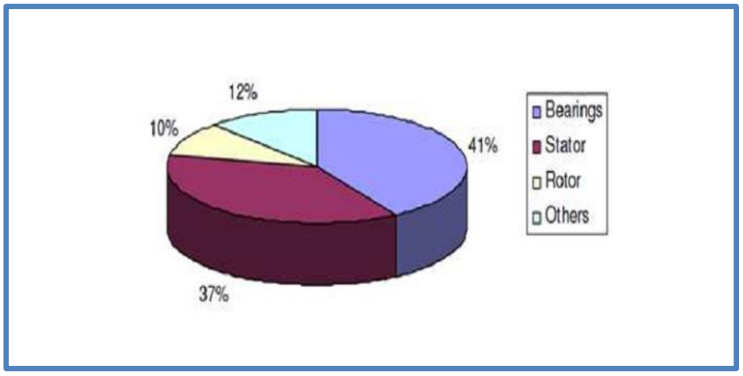
يبين الشكل (3-1-a) المخطط العام لتحويل الطاقة (معرج توتر أو محولة ذات ملفات مقسمة – محرك).



الشكل (3-1-a) المخطط العام لتحويل الطاقة في المحرك التحريضي

3-2- اعطال المحركات التحريضية

تعتبر أعطال لفات دارات القصر في الثابت ، وأعطال الدائر بما فيها كسر في قضبان الدائر ، وأعطال كراسي التحميل (المساند الكروية)، وأعطال ناقل الحركة وعدم التناظر في الثغرة الهوائية والأعطال الداخلية (Sayed *et all*,2018,151).



الشكل (3-2-a) النسب المئوية لأكثر الأعطال شيوعا في المحركات التحريضية

يمكن تقسيم الأعطال الداخلية بشكل رئيسي إلى مجموعتين

1- أعطال كهربائية

2- أعطال ميكانيكية

تتضمن الأعطال الكهربائية الأعطال الناجمة عن مشاكل عزل اللفات وبعض أعطال الدائر، أما الأعطال الميكانيكية فتتضمن أعطال كراسي التحميل ، وعدم انتظام الفجوة الهوائية ، وأعطال الحمل ، وعدم اصطفاف العمود المرفقي.

3-2-1- الأعطال الكهربائية:

أعطال دارات القصر وأعطال الدائر هي الأعطال الكهربائية الأكثر شيوعاً في المحركات التحريضية أثناء العمل في مجال الصناعة(Marcelo *et all,*2012)

3-2-1-a- أعطال الدائر:

عادةً ، تُصنع الآلات منخفضة القيمة الاقتصادية بواسطة صب السبائك تحت ضغط شديد ، بينما تصنع الآلات عالية القيمة باستخدام قضبان دوار نحاسية ، ويمكن ان تنشأ العديد من المشاكل التقنية نتيجة تصنيع الدوار بتقنيات صب السبائك تحت ضغط شديد. وقد أظهرت الاستخدامات العملية بأن بعض المحركات التحريضية ذات القفص السنجابي تعاني من عدم التناظر في الدائر نتيجة للصعوبات التقنية ، أو تآكل القضبان ونهايات الحلقات. هناك عدة أسباب رئيسية لأعطال الدائر:

1- يمكن أن تنشأ اجهادات أثناء عملية اللحام خلال مرحلة التصنيع ، قد تؤدي هذه الاجهادات إلى خلل أثناء التشغيل.

2- قد يتحرك قضيب الدائر طولياً في الشق الذي يشغله، عندما تُطبق عليه إجهادات حرارية في مرحلة بدء تشغيل الآلة.

3- يمكن أن تؤدي حلقات القصر الثقيلة إلى قوى طرد مركزية ، التي قد تسبب إجهادات خطيرة على القضبان. نتيجة للأسباب آنفة الذكر، يمكن أن يتضرر قضيب الدائر وقد تحدث حالة عدم توازن له بآن واحد . يؤدي عدم تناظر القفص الدائر إلى توزيع غير متماثل لتيارات الدائر. نتيجة لذلك قد يتسبب تضرر أحد قضبان الدائر إلى تضرر القضيب المجاور، وبالتالي يمكن أن ينتشر الضرر مؤدياً إلى كسر عدة قضبان. في حالة حدوث صدع في قضيب ما سوف تزداد حرارة القضيب المتصدع، وبالتالي ستنقل القضبان المجاورة تيارات أعلى ، وبالتالي ستخضع إلى اجهادات حرارية وميكانيكية أكبر، الأمر الذي يؤدي إلى تصدعها . أغلب التيار، الذي كان سيتدفق في القضيب المكسور ، سوف يتدفق في القضيبين المجاورين له ، وبالتالي يمكن أن تؤدي الإجهادات الحرارية الكبيرة إلى تضرر تصفيح الدوار. كما أن توزيع الحرارة عبر تصفيح الدائر سوف يتغير نتيجة لعدم تناظر الدائر . يمكن أن يحدث تصدع القضيب في مواقع مختلفة ، أكثرها في منطقة حلقات القصر لوصلات القضبان وخاصة عند الإقلاعات المتكررة .(Yasid *et all,*2022,409)

3-2-1-b- أعطال دارات القصر:

وفقاً لدراسة مرجعية ومسح عام تبيّن أن 35-40% من أعطال المحركات التحريضية يتعلق بعزل لفات الثابت علاوة على ذلك ، يُعتقد بشكل عام بأن جزءً كبيراً من الاعطال المرتبطة بلفات الثابت يبدأ بفشل العازل في عدة لفات من أي ملف للثابت ضمن طور واحد . يشار إلى هذا النوع من العطل على انه عطل لفات الثابت . يسبب أي عطل في لفات الثابت لآلة التيار المتناوب بإستجرار تيار كبير ، وبالتالي توليد حرارة مفرطة في الدارات المقصورة . إذا زادت الحرارة التي تتناسب طرداً مع مربع التيار المنتشر عن القيمة المحددة ، فإنه سوف يحدث فشل كامل للمحرك . غير ان النتيجة الأسوأ لعطل لفات الثابت قد تكون حادثاً خطيراً يتضمن خسارة بالأرواح .

يتم تعرض المواد العضوية المستخدمة في عملية العزل في الآلات الكهربائية إلى تلف تدريجي بسبب زيادة الحمل الحراري ، والإجهادات الناتجة عن الجهود العابرة على المادة العازلة والإجهادات الميكانيكية والتلوث . من بين هذه الاسباب المحتملة ، تشكل الإجهادات الحرارية السبب الرئيسي لتلف عازل لفات الثابت . تُصنف الإجهادات الحرارية لعازل لفات الثابت إلى ثلاث أنواع:

- تقادم (aging)
- زيادة تحميل (overloading)
- تدوير (cycling)

يمكن أن يحدث انهيار العازل بسرعة حتى لو كان بجودة تصنيع عالية إذا ما تم تشغيل المحرك عند درجة حرارة أعلى من القيمة الحدية المسموح بها. وكقاعدة عامة نتيجة الاختبارات فإنه ينقص العمر الفني للعازل بمقدار 50% عند كل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 5 درجات فوق القيمة الحدية لدرجة حرارة لفات الثابت المسموح بها . بالتالي فمن الضروري مراقبة درجة حرارة لفات الثابت بحيث لا تعمل أي آلة كهربائية خارج المجال المسموح به لعملها .

لهذا الغرض تم تقديم العديد من الاقتراحات في الابحاث العلمية المهتمة بهذا الشأن . في كل الأحوال فإن القيد الملازم لهذه التقنية هو عدم قدرتها على اكتشاف وتحديد موقع أي بقعة ساخنة بدقة في مراحلها الأولية .

تعمل بعض المشاكل الميكانيكية مثل الحركة في أي ملف والاهتزاز الناجم عن عدم توازن الدائر وارتخاء أو تآكل في المساند الكروية وعدم مركزية الفجوة الهوائية ، وكسر في قضبان الدائر على تسريع تلف العازل .يُنتج التيار في لفات الثابت قوة تؤثر على الملفات تكون متناسبة طرداً مع مربع التيار.

تصل هذه القوة إلى قيمتها الأعظمية عند حدوث الأحمال الزائدة العابرة مسببة اهتزاز الملفات بمقدار ضعفي التردد المتزامن مع الحركة في كلا الاتجاهين نصف القطري والمماسي . تُضعف هذه الحركة سلامة منظومة العازل . قد تكون الأعطال الميكانيكية ، مثل قضيب الدائر مكسور ومساند كروية بالية .

وعدم مركزية الفجوة الهوائية سبباً لحدوث أعطال في لفات الثابت. لذلك يجب أن تُكشف الأعطال الميكانيكية قبل أن تسبب بحدوث أعطال في عازل لفات الثابت. يمكن أن يؤدي التلوث الناجم عن استخدام مواد غريبة إلى تأثيرات مضرة على عازل لفات الثابت ، كما يمكن أن يؤدي وجود أجسام غريبة إلى انخفاض في تبديد الحرارة وبالتالي يكون من المهم جداً الحفاظ على المحرك نظيفاً وجافاً ، وبشكل خاص عندما يعمل المحرك في بيئة غير نظيفة.

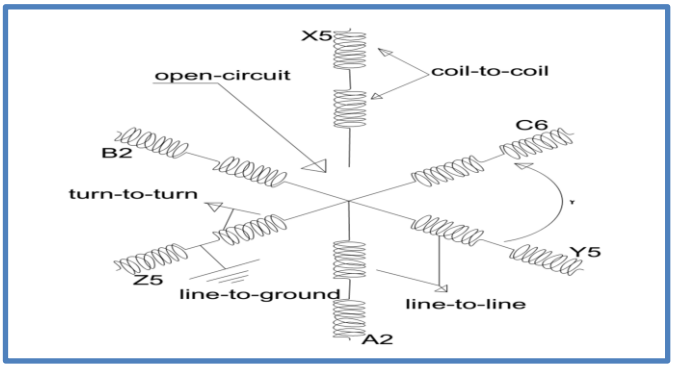
بغض النظر عن الأسباب يمكن تقسيم الأعطال المتعلقة بلفات الثابت إلى خمس مجموعات:

- لفة إلى لفة (turn– to – turn)
- ملف إلى ملف (coil – to –coil)
- خط إلى خط (line – to – line)
- خط إلى أرضي (line – to – ground)
- أعطال الدارة المفتوحة (open – circuit faults)

كما هو مبين بالشكل (3–2–1–b–1)

من بين هذه المجموعات الخمس ،يعتبر العطل لفة إلى لفة (turn– to – turn) العطل الأكثر تحدياً بما أن الأنواع الأخرى من الأعطال تكون عادةً نتيجة لعطل هذه اللفات. (Pandey K *et al*,2019,53)

.



الشكل (3–2–1–b–1) الأعطال المتعلقة بملفات الثابت لمحرك تحريضي سداسي الطور

3-2-2- الأعطال الميكانيكية:

نشرح فيما يلي الأعطال الميكانيكية الشائعة في المحرك التحريضي

3-2-2-a- عدم مركزية الفجوة الهوائية:

إن عدم مركزية الفجوة الهوائية أحد أعطال الدائر الشائعة في المحركات التحريضية ، وينتج هذا العطل مشاكل اهتزاز وضجيج. في أي آلة سليمة ، يكون الدائر متمركزا في منتصف تجويف الثابت (الثغرة الهوائية) ، ويكون مركز دوران الدائر هو نفسه المركز الهندسي لتجويف الثابت. عندما لا يكون الدائر متمركزاً في منتصف تجويف الثابت تماماً تسبب قوى نصف قطرية غير متوازنة (سحب مغناطيسي غير متوازن) (Unbalanced Magnetic Pull) (UMP) واحتكاك الثابت بالدائر الذي قد يؤدي إلى انهيار الثابت والدائر ، يوجد ثلاث أنواع لعدم مركزية الفجوة الهوائية

- عدم مركزية ساكنة
- عدم مركزية ديناميكية
- عدم مركزية مختلطة

عدم المركزية الساكنة هي سحب ثابت في اتجاه واحد ، الذي يولد سحب مغناطيسي غير متوازن ومن الصعب كشفها ما لم تستخدم تجهيزات خاصة . من جهة أُخرى تنتج عدم مركزية ديناميكية UMP الذي يدور بالسرعة الدورانية للمحرك ، ويؤثر بشكل مباشر على الدائر، وهذا ما يجعل UMP في حال عدم مركزية ديناميكية أسهل للكشف عن طريق مراقبة التيار أو الاهتزازات.

في الواقع ، تميل عدم المركزية الساكنة والديناميكية إلى التواجد معاً ، ولا يمكن أبداً افتراض ظروف مركزية مثالية. لذا، يكون هناك دائماً درجة معينة من عدم المركزية موجودة في أي آلة حقيقية ، تدعى عدم المركزية الساكنة والديناميكية المركبة عدم مركزية مختلطة(Shen *et all,*2019,342)

3-2-2-b- أعطال المساند الكروية:

تدخل المساند الكروية كعناصر مهمة في بنية الآلة الكهربائية ، وهي تؤمن الحركة الدورانية للأعمدة المرفقية (أعمدة الدوران) ،في الحقيقة تشكل المساند الكروية أحد أهم أسباب الأعطال في الآلات التحريضية.

وفقاً لبعض المعطيات الإحصائية تتألف المساند الكروية من حلقتين هما الحلقة الداخلية والحلقة الخارجية. تدور ضمن هذه الحلقات مجموعة من الكرات تتوضع في قناة الأسلاك. تسبب الإجهادات المستمرة على المساند الكروية إرهاق وتعب في المسارات الداخلية والخارجية لكراسي التحميل.

تتأثر بعض القطع الصغيرة من المساند الكروية ، وهو ما يسمى تقشّر (flaking) أو تشظي (spalling) . تؤدي إلى احتكاك وتشغيل خشن لكراسي التحميل ، الشيء الذي يولد اهتزازات ومستويات ضجيج متزايدة يمكن كشفها. أيضاً تقوم بعض العوامل الخارجية كالتلوث والغبار ،والتشحيم غير المناسب، والتركيب الخاطئ بزيادة هذه الحالة . تشكل أيضا تيارات وجهود العمود المرفقي (عمود الدوران) مصادراً لأعطال المساند الكروية حيث تنتج هذه التيارات والجهود من اضطرابات التدفق مثل الاختلافات المركزية للدائر. الحرارة العالية لكراسي التحميل هي سبب آخر لعطل كراسي التحميل . يجب ألا تزيد درجة حرارة المساند الكروية عن مستويات معينة عند ظروف معينة ،على سبيل المثال في صناعة النفط والصناعات الكيماوية يحدد المعيار IEEE 841 بأن ارتفاع درجة حرارة المساند الكروية المستقرة عند حمل معين يجب ألا يزيد عن 45 درجة مئوية . يمكن أن يكون انحلال طبقة الشحم سبباً في ارتفاع درجة حرارة المسند الكروي.

تتضمن العوامل التي تسبب ارتفاع درجة حرارة المساند الكروية أيضاً ارتفاع درجة حرارة اللفات ، سرعة تشغيل المحرك، التوزيع الحراري ضمن المحرك،.....الخ. لذلك، يمكن أن يعطي قياس درجة حرارة المساند الكروية معلومات مفيدة عن سلامتها وعن سلامة الآلة بشكل عام.

يمكن تخيل أي عطل في المساند الكروية على انه فتحة صغيرة أو قطعة مفقودة من المادة على العناصر الموافقة.

تحت ظروف التشغيل الطبيعية للحمل المتوازن والتركيب الجيد يبدأ عطل الإرهاق والتعب بتصدعات صغيرة متوضعة بين الكرات والعناصر الدورانية حيث تتطور بشكل تدريجي حتى تتولد اهتزازات ومستويات ضجيج متزايدة قابلة للكشف . عند الاجهاد المستمر يمكن ان تتحرر نثرات دقيقة من المادة تسبب ما يسمى بظاهرة الإرهاق والتعب المحلي المعروفة بالتقشر أو التشظي . ما أن تبدأ هذه الظاهرة حتى تبدأ المنطقة المتأثرة بنشر وبشكل سريع تلوث الشحم والزيت مسببة حمل زائد محلي على كامل محيط المجرى. تقلل بعض المصادر مثل التلوث والتآكل والتزييت والتشحيم غير الصحيح والتركيب الخاطئ من العمر الفني للمساند الكروية. يعتبر التلوث والتآكل من العوامل الأساسية المسببة لعطل المساند الكروية بسبب البيئات القاسية الموجودة في غالبية الأماكن الصناعية. تكون الزيوت والشحوم ملوثة بالغبار ومواد غريبة أُخرى التي غالبا ما تتواجد في بيئة الصناعات . يحدث تآكل المساند الكروية بوجود الماء والأكاسيد والزيت التالف والتعرق الناجم عن المعالجة غير المتقنة أثناء التركيب. عندما يبدأ التفاعل الكيميائي بالتطور بما فيه الكفاية تتلاشى الجزيئات منتجة نفس الفعل الكاشط الناجم عن تلوث المساند الكروية . كما أن التزييت غير الكافي والزائد هما بعض الأسباب الأخرى لعطل المساند الكروية. (E. Levi *et al,*2015,226)

c-2-2-3- أعطال الحمل:

في بعض التطبيقات مثل الطائرات قد تكون وثوقية نواقل الحركة حاسمة في الحفاظ على حياة الركاب ، لهذا السبب أصبح كشف أعطال الحمل (وخاصة المتعلقة بنواقل الحركة) ،

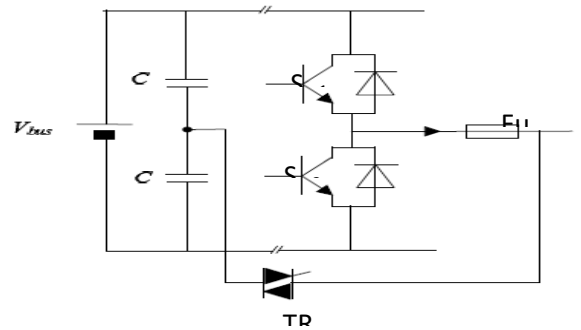
مجال بحث هام جداً في الهندسة الميكانيكية لفترة من الزمن. غالباً ما تقرن المحركات مع الأحمال الميكانيكية ونواقل الحركة يمكن أن تحدث عدة أعطال في هذا الترتيب الميكانيكي . أمثلة على هذه الأعطال هي اقتران الاصطفافات الخاطئة ومنظومات نواقل الحركة التالفة التي تربط حملاً ما مع المحرك. (Tavner *et all,*2010)

3-3- تقنية العزل الكهربائي للأعطال :

إن التوتر على طرفي الطور في حالة العطل يصبح غير متحكم به . هناك حل بسيط لهذه المشكلة هو قطع الطور للذراع الذي يحوي عطل. في هذه الحالة فإن الآثار الناتجة عن العطل تم تحديدها. الغاية من العزل المناسب لمعظم الأعطال هو للحد من الحالة غير المستقرة بالتأكيد لضمان وضع العطل بشكل كافي.

العديد من التقنيات المتاحة لتنفيذ العزل التام لذراع من المعرج من جميع الأضرار المحتملة. القواطع التقليدية لديها عيوب كثيرة بسبب وزنها و حجمها و هي بطيئة الاستجابة و تؤدي إلى نشوء قوس كهربائي.

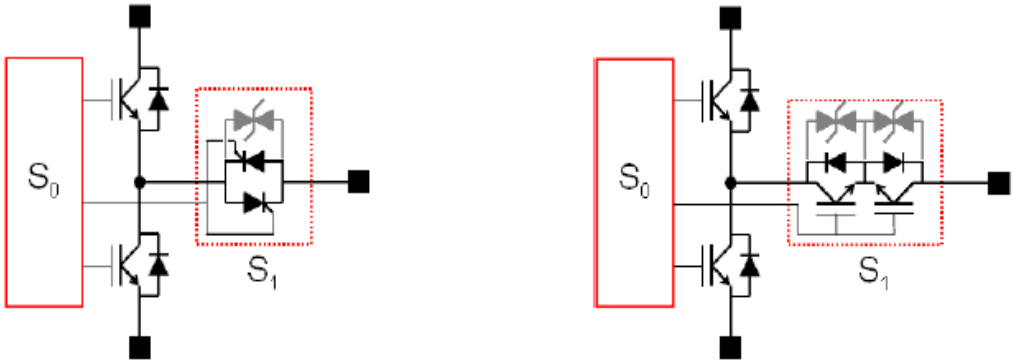
ويلنكسون أعطى مثال للحد الأدنى الذي يسمح بفتح الطور (الشكل (3-3-a)). في حالة عطل في الذراع m فإن متحكم متخصص يأمر بإغلاق الترياك TRM . الفيوزات المربوطة على التسلسل مع الطور m الواصل من توتر التغذية و بين نقطة الوسط للمنبع المستمر الذي يتم الحصول عليه بواسطة مجزء سعوي يؤدي إلى فصل الطور المصاب. يتطلب هذا الأسلوب إضافة عدد من الترياكات مطابق لعدد الأطوار



الشكل (3-3-a) تقنية فصل طور للمعرج لذراع متعرض لعطل

اقترح ملف لحصر الخطأ للترانزستور باستخدام القاطع الإلكتروني . ميزة هذه التقنية على وجه الخصوص هو الديناميكية العالية بما يسمح بالانقطاع الفوري للعطل للحد من الحالة غير المستقرة و إعادة تهيئة بسرعة كافية للتقليل من الحالة العابرة للعزم.

استخدام زوج من الثايرستورات على التوازي يؤدي إلى فتح التوصيل بشكل مختصر. و بما أن الثايرستورات هي عناصر فتح طبيعية ، فإن هذا الحل غير صالح إلا في حالة عابرة لخطأ مع عبور التيار بالصفر. هذا العنصر مع إغلاق مقاد من خلال قطبية مباشرة. لمزيد من المرونة ، حل بديل هو استخدام عنصر من نوع الترانزستور الذي يستطيع عزل العطل مع تيار موجب أو سالب.



aالقاطع الالكتروني التايرستور

bالقاطع الالكتروني الترانزستور

الشكل (3-3-b) تقنيات عزل كهربائي للعطل باستخدام قواطع الكترونية.

يمكننا النظر في اثنتين من التقنيات للتحكم بالآلة سداسية الأطوار :

الأولى: تعتمد على عدم تغذية النجمة التي تحتوي الطور المصاب، أما التقنية الثانية تتم تغذية جميع الأطوار السليمة.

3-4- **الخلاصة:**

تم في هذا الفصل وصف بالتفصيل الأعطال الأكثر شيوعاً في المحركات التحريضية. يمكن تصنيف الأعطال الداخلية الشائعة بشكل رئيسي إلى مجموعتين : أعطال كهربائية ، وأعطال ميكانيكية. تتضمن الأعطال الكهربائية الأعطال الناجمة عن مشاكل عزل اللفات، وبعض أعطال الدوار. أما الأعطال الميكانيكية فتتضمن أعطال كراسي التحميل، ولا مركزية الفجوة الهوائية، وأعطال الحمل، والتركيب والاصطفاف الخاطئ.

4- الفصل الرابع

نمذجة ومحاكاة المحرك التحريضي سداسي الطور باستخدام بيئة Matlab/Simulink.

4-1- مقدمة

إن برنامج Matlab/ Simulink هو برنامج لنمذجة ومحاكاة و تحليل الأنظمة الديناميكية سواء كانت خطية أو غير خطية و يقوم أيضا بنمذجة الأنظمة سواء في الزمن المستمر أو في الزمن المتقطع.

إن برنامج Matlab/ Simulink ليس قاصراً على التحكم وتطبيقاته وإنما يحتوى على مجموعة من البلوكات والتي تغطى أغلب تطبيقات الهندسة الميكانيكية والكهربائية(Aroquiadassou *et all*,2015,52)

ويعتبر هذا البرنامج أيضاً أحد أهم المقومات الأساسية للدراسة الأكاديمية والبحث العلمي، وقد تم اعتماده ليدرس كمادة أساسية لبناء التفكير البرمجي السليم للمهندس في كثير من الجامعات.

سيتم في هذا الفصل نمذجة ومحاكاة المحرك التحريضي سداسي الطور

4-2- نمذجة ومحاكاة المحرك التحريضي سداسي الطور

إن بنية الآلة سداسية الأطوار مماثلة للآلة ثلاثية الأطوار، حيث لهما نفس الدائر والثابت لكن ملفات الثابت تقسم إلى مجموعتين ثلاثية الأطوار. ونتيجة لذلك فإن طريقة النمذجة الرياضية هو مماثلة للآلة ثلاثية الأطوار، ويمكن الحصول عليها بنفس متطلبات التبسيط.

هناك طريقتين مختلفتين لنمذجة الآلة سداسية الأطوار:

- نظرية تحليل فضاء الحالة.
- نظرية النمذجة مضاعفة ثلاثي الأطوار (يعتبر الثابت كنظامي ثلاثي الطور).

يمكن استخدام هذين النموذجين لتحليل عمل الآلة وقيادتها حسب تطبيقاتها.

في هذا الفصل سنطور موديل الآلة بالاعتماد على نظرية تحليل فضاء الحالة. هذا النموذج يسمح لنا بمحاكاة عمل الآلة في الحالة العابرة ويقودنا إلى قيادتها. نقدم أولاً الفرضيات لنمذجة الآلة.

نموذج الآلة في الحالة المستقرة سيعطى لاحقاً، هذا المبدأ في الحصول على موديل المحرك يمكن استخدامه مع أي آلة متعددة الأطوار(J. F. Bangura,2021)

الفرضيات المبسطة:

سنطور موديل الآلة بالاعتماد على المعادلات التفاضلية مع الاعتبار أن الفرضيات التالية مقبولة.

- الدارة المغناطيسية للآلة ليست مشبعة.
- ظاهرة الإبطاء وتيارات فوكو في نواة الثابت مهملة.
- ملفات الثابت لها نفس الخصائص الكهربائية وهي متطابقة.
- التداخل السعوي من الملفات مهمل.
- مقاومة الملفات غير متغيرة مع درجة الحرارة ونهمل الأثر القشري.
- نهمل المحارضة التسريبية من ملفات الثابت.

4-2-1- نمذجة الآلة سداسية الأطوار في الحالة الطبيعية:

يمكن التعبير عن معادلات الثابت والدائر على الشكل التالي:

$$\begin{aligned}[V_s] &= [R_s][I_s] + \frac{d}{dt}\psi_s \\ [0] &= [R_r][I_r] + \frac{d}{dt}\psi_r\end{aligned} \qquad (4-1)$$

أو

$$[V_s] = [v_{sa1} \quad v_{sf} \quad v_{sa2} \quad v_{sb1} \quad v_{sb2} \quad v_{sc1} \quad v_{sc2}]^T \qquad (4-2)$$

$$[I_s] = [I_{sa1} \quad I_{sa1} - If \quad I_{sa2} \quad I_{sb1} \quad I_{sb2} \quad I_{sc1} \quad I_{sc2}]^T \qquad (4-3)$$

$$[I_r] = [I_{ra1} \quad I_{ra2} \quad I_{rb1} \quad I_{rb2} \quad I_{rc1} \quad I_{rc2}]^T \qquad (4-4)$$

$$\begin{aligned}&[\psi_s] = [\psi_{sa1} \quad \psi_{sf} \quad \psi_{sa2} \quad \psi_{sb1} \quad \psi_{sb2} \quad \psi_{sc1} \quad \psi_{sc2}]^T \\ &[\psi_s] = [L_{ss}][I_s] + [L_{sr}][I_r] \\ &[\psi_r] = [\psi_{ra1} \quad \psi_{ra2} \quad \psi_{rb1} \quad \psi_{rb2} \quad \psi_{rc1} \quad \psi_{rc2}]^T \\ &[\psi_r] = [L_{rs}][I_s] + [L_{rr}][I_r]\end{aligned} \qquad (4-5)$$

V_s: توتر الثابت في المستوي الحقيقي.

I_s: تيار الثابت في المستوي الحقيقي.

ψ_s: فيض الثابت .

R_s: مقاومة الثابت.

Rr: مقاومة الدائر.

$$[R_s] = Rs.diag[1-\mu \quad \mu \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1] \qquad (4-6)$$

$$[R_r] = Rr * I_{6*6} \qquad (4-7)$$

$$(4-8)$$

$$[L_{ss}] = L_{ls}.diag[(1-\mu)^2 \quad \mu^2 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1] + L_{ms}\begin{bmatrix}
(1-\mu)^2 & \mu(1-\mu) & (1-\mu)\cos(\gamma) & (1-\mu)\cos(\frac{2\pi}{3}) & (1-\mu)\cos(\gamma+\frac{2\pi}{3}) & (1-\mu)\cos(\frac{4\pi}{3}) & (1-\mu)\cos(\gamma+\frac{4\pi}{3}) \\
\mu(1-\mu) & \mu^2 & \mu\cos(\gamma) & \mu\cos(\frac{2\pi}{3}) & \mu\cos(\gamma+\frac{2\pi}{3}) & \mu\cos(\frac{4\pi}{3}) & \mu\cos(\gamma+\frac{4\pi}{3}) \\
(1-\mu)\cos(-\gamma) & \mu\cos(-\gamma) & \cos(0) & \cos(-\gamma+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\frac{2\pi}{3}) & \cos(-\gamma+\frac{4\pi}{3}) & \cos(\frac{4\pi}{3}) \\
(1-\mu)\cos(-\frac{2\pi}{3}) & \mu\cos(-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \cos(0) & \cos(\gamma) & \cos(\frac{2\pi}{3}) & \cos(\gamma+\frac{2\pi}{3}) \\
(1-\mu)\cos(-\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \mu\cos(-\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \cos(-\frac{2\pi}{3}) & \cos(-\gamma) & \cos(0) & \cos(-\gamma+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\frac{2\pi}{3}) \\
(1-\mu)\cos(-\frac{4\pi}{3}) & \mu\cos(-\frac{4\pi}{3}) & \cos(\gamma-\frac{4\pi}{3}) & \cos(-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \cos(0) & \cos(\gamma) \\
(1-\mu)\cos(-\gamma-\frac{4\pi}{3}) & \mu\cos(-\gamma-\frac{4\pi}{3}) & \cos(-\frac{4\pi}{3}) & \cos(-\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \cos(-\frac{2\pi}{3}) & \cos(-\gamma) & \cos(0)
\end{bmatrix}$$

μ : تمثل نسبة القصر المئوية لكل طور

$$(4-9)$$

$$[L_{sr}] = L_{ms}\begin{bmatrix}
(1-\mu)\cos(\theta) & (1-\mu)\cos(\theta+\gamma) & (1-\mu)\cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) & (1-\mu)\cos(\theta+\gamma+\frac{2\pi}{3}) & (1-\mu)\cos(\theta+\frac{4\pi}{3}) & (1-\mu)\cos(\theta+\gamma+\frac{4\pi}{3}) \\
\mu\cos(\theta) & \mu\cos(\gamma+\theta) & \mu\cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) & \mu\cos(\theta+\gamma+\frac{2\pi}{3}) & \mu\cos(\theta+\frac{4\pi}{3}) & \mu\cos(\theta+\gamma+\frac{4\pi}{3}) \\
\cos(\theta-\gamma) & \cos(\theta) & \cos(\theta-\gamma+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\gamma+\frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta+\frac{4\pi}{3}) \\
\cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta+\gamma) & \cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\gamma+\frac{2\pi}{3}) \\
\cos(\theta-\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\gamma) & \cos(\theta) & \cos(\theta-\gamma+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) \\
\cos(\theta-\frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta+\gamma-\frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta+\gamma) \\
\cos(\theta-\gamma-\frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta-\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\gamma) & \cos(\theta)
\end{bmatrix}$$

بعد إجراء التعديلات نحصل على المعادلات التالية:

$$(4-10)\quad \begin{cases} [V_s^*] = [R_s^*].[I_s^*] + \dfrac{d}{dt}([L_{ss}^*].[I_s^*] + [L_{sr}^*].[I_r^*] + \mu.[A2].If) + \mu.[A1].If \\ [V_r^*] = [R_r^*].[I_r^*] + \dfrac{d}{dt}([L_{rr}^*].[I_r^*] + [L_{rs}^*].[I_s^*] + \mu.[A3].If) \end{cases}$$

حيث تم إدخال متجهات الجهد والتيار في المعادلتين السابقتين

$$(4-11)\quad [I_s^*] = \begin{bmatrix} i_{sa1} \\ i_{sa2} \\ i_{sb1} \\ i_{sb2} \\ i_{sc1} \\ i_{sc2} \end{bmatrix} \qquad [V_s^*] = \begin{bmatrix} v_{sa1} \\ v_{sa2} \\ v_{sb1} \\ v_{sb2} \\ v_{sc1} \\ v_{sc2} \end{bmatrix}$$

$$(4-12)\quad [I_r^*] = \begin{bmatrix} i_{ra1} \\ i_{ra2} \\ i_{rb1} \\ i_{rb2} \\ i_{rc1} \\ i_{rc2} \end{bmatrix} \qquad [V_r^*] = \begin{bmatrix} \mathbf{O} \\ \mathbf{O} \\ \mathbf{O} \\ \mathbf{O} \\ \mathbf{O} \\ \mathbf{O} \end{bmatrix}$$

مصفوفات مقاومة الجزء الثابت والدائر

$$(4-13)\quad [R_s^*] = Rs * I6$$

$$(4-14)\quad [R_r^*] = Rr * I6$$

$[L_{ss}]$ مصفوفة الحثية الذاتية للثابت

$$(4-15)\quad [L_{ss}^*] = L_{ls} I_6 + L_{ms}.M(0)$$

L_{ls} : الحثية التسريبية للجزء الثابت

If : تيار العطل المال في الملفات المقصورة.

L_{ms} : الحثية الذاتية للجزء الثابت

I_6 : المصفوفة الواحدية من الدرجة السادسة

$M(\theta)$: مصفوفة التحويل تعطى كما يلي:

$$M(\theta)=\begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta+\gamma) & \cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\gamma+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta+\gamma+\frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta-\gamma) & \cos(\theta) & \cos(\theta-\gamma+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\gamma+\frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta+\frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta+\gamma) & \cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\gamma+\frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta-\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\gamma) & \cos(\theta) & \cos(\theta-\gamma+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta-\frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta+\gamma-\frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\gamma-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta+\gamma) \\ \cos(\theta-\gamma-\frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta-\lambda-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\gamma) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (4-16)$$

$[L_{rr}]$: الحثية الذاتية للدائر

$$[L_{rr}^{*}]=L_{lr}I_6+L_{ms}.M(0) \quad (4-17)$$

L_{lr} : الحثية التسريبية للجزء الدائر

$[L_{sr}^{*}]$: مصفوفة الحثية المتبادلة بين الثابت والدائر

$$[L_{sr}^{*}]=L_{ms}.M(\theta_r) \quad (4-18)$$

$[L_{rs}]$: مصفوفة الحثية المتبادلة بين الدائر والثابت

$$[L_{rs}^{*}]=[L_{sr}^{*}]^T \quad (4-19)$$

4-2-2- نموذج الآلة في المستوي d-q z1-z2 z3-z4

تستخدم نظرية الفضاء الشعاعي لموديل الآلة في عدة مستويات للحصول على فصل المركبات التي تشارك في التحويل الكهرومغناطيسي و بين المركبات التي لا تعطي إلا الضياعات .

يعتمد الهدف على اعتبار الثابت كملف سداسي و نسعى إلى جدولة مصفوفة الوشائع بمساعدة مصفوفة التحويل. ستة تيارات تدخل الآلة ، و بالتالي فإن مجموعة من 6 اشعة يجب اختيارها لتشكيل مستوى الفضاء الجديد المنفصل . يمكن الحصول على القيم المناسبة و من ثم نحصل على مستويات متعامدة للأشعة المختارة . مصفوفة التحويل $[T_6]$ سيتم الحصول عليها من خلال هذه الاشعة . فإن الشكل العام لمصفوفة التحويل $[T_6]$.

$$[T6]=k\begin{bmatrix} \cos(0) & \cos(\gamma) & \cos(2\pi/3) & \cos(2\pi/3+\gamma) & \cos(4\pi/3) & \cos(4\pi/3+\gamma) \\ \sin(0) & \sin(\gamma) & \sin(2\pi/3) & \sin(2\pi/3+\gamma) & \sin(4\pi/3) & \sin(4\pi/3+\gamma) \\ \cos(0) & \cos(\pi-\gamma) & \cos(4\pi/3) & \cos(\pi/3-\gamma) & \cos(2\pi/3) & \cos(5\pi/3-\gamma) \\ \sin(0) & \sin(\pi-\gamma) & \sin(4\pi/3) & \sin(\pi/3-\gamma) & \sin(2\pi/3) & \sin(5\pi/3-\gamma) \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (4-20)$$

$$k=\frac{1}{\sqrt{3}}$$

نقترح إعادة صياغة النموذج السابق في نظام جديد متعامد يتم تشكيله بواسطة هذا الفضاء الجديد .

يمكن تحديد المتغيرات الجديدة للآلة التي سيتم شرحها بالمستويات d,q,z_1,z_2,z_3,z_4

$$\begin{aligned}[T6].[V_s^*]=&[T6].[R_s^*].[T6]^{-1}[T6].[I_s^*]+p([T6].[L_{ss}^*].[T6]^{-1}.[T6].[I_s^*]+\\ &x[T6].[L_{sr}^*].[T6]^{-1}.[T6].[I_r^*]+\mu[T6].[A2].If)+\mu[T6].[A1].If\end{aligned} \qquad (4-21)$$

$$[T6].[V_r^*]=[T6].[R_r^*].[T6]^{-1}.[T6].[I_r^*]+p([T6].[L_{rr}^*].[T6]^{-1}.[T6].[I_r^*]+[T6].[L_{rs}^*].[T6]^{-1}.[T6].[I_s^*]+\mu[T6].[A3].If) \qquad (4-22)$$

$$[T6].[I_s^*]=\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{sz1} \\ i_{sz2} \\ i_{sz3} \\ i_{sz4} \end{bmatrix} \qquad [T6].[V_s^*]=\begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \\ v_{sz1} \\ v_{sz2} \\ v_{sz3} \\ v_{sz4} \end{bmatrix} \qquad (4-23)$$

$$[T6].[I_r^*]=\begin{bmatrix} i_{rd} \\ i_{rq} \\ i_{rz1} \\ i_{rz2} \\ i_{rz3} \\ i_{rz4} \end{bmatrix} \qquad [T6].[V_r^*]=\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (4-24)$$

حيث التوترات و التيارات هي أشعة التوتر و التيار في الفضاء الجديد ، باستبدال مصفوفات المتغيرات بواسطة قيمها فإن النظام الأساسي سداسي البعد سيتم تجزئته إلى 3 أنظمة فرعية منفصلة .

4-2-2-1- نمذجة الآلة في المستوي dq

لإزالة العبارات المثلثية في المعادلات ، نطبق تحويل بارك dq على متغيرات الدائر في مستوي مرجعي ثابت.

$$[T_r^s(\theta_r)]=\begin{bmatrix} cos(\theta_r) & -sin(\theta_r) \\ sin(\theta_r) & cos(\theta_r) \end{bmatrix} \qquad (4-25)$$

بمساعدة هذا التحويل يكون نظام المعادلات الجديد للثابت و الدائر كالتالي :

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix}+\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} \psi_{sd} \\ \psi_{sq} \end{bmatrix}-\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}}\mu.Rs.If \\ 0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} v_{rd} \\ v_{rq} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} R_r & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix}+\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} \psi_{rd} \\ \psi_{rq} \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} 0 & +\omega_r \\ -\omega_r & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \psi_{rd} \\ \psi_{rq} \end{bmatrix} \end{cases} \qquad (4-26)$$

$$\psi_{sd}=L_s i_{sd}+M.i_{rd}-\frac{1}{\sqrt{3}}\mu.Ls.If \qquad \psi_{sq}=L_s i_{sq}+M.i_{rq} \qquad (4-27)$$

$$\psi_{rd} = L_r i_{rd} + M.i_{sd} - \frac{1}{\sqrt{3}}\mu.M.If \qquad \psi_{rq} = L_r i_{rq} + M.i_{sq} \qquad (4-28)$$

$$\begin{cases} M = 3L_{ms} \\ L_s = L_{ls} + M \\ L_r = L_{lr} + M \end{cases} \qquad (4-29)$$

v_{sd}: التوتر على الثابت في المستوي d.

i_{sd} : التيار على الثابت في المستوي d.

ψ_{sd}: الفيض على الثابت في المستويd.

4-2-2-2- نموذج الآلة في المستوي z_1,z_2 z_3,z_4

معادلات التوتر للثابت و الدائر في المستوي z_1,z_2 يمكن كتابتها على الشكل التالي :

$$\begin{cases} v_{sz1} = R_s.i_{sz1} + \frac{d\psi_{sz1}}{dt} - \frac{1}{\sqrt{3}}\mu.Rs.If \\ v_{sz2} = R_s.i_{sz2} + \frac{d\psi_{sz2}}{dt} \\ 0 = R_r.i_{rz1} + L_{lr}\frac{di_{rz1}}{dt} \\ 0 = R_r.i_{rz2} + L_{lr}\frac{di_{rz2}}{dt} \end{cases} \qquad (4-30)$$

$$\psi_{sz1} = Lls.i_{sz1} - \frac{1}{\sqrt{3}}\mu.Lls.If \qquad \psi_{sz2} = Lls.i_{sz2} \qquad (4-31)$$

و معادلات التوتر للثابت و الدائر في المستوي z_3,z_4 نحصل عليها كما يلي :

$$\begin{cases} v_{sz3} = Rs.i_{sz3} + \frac{d\psi_{sz3}}{dt} - \frac{1}{\sqrt{3}}\mu.Rs.If \\ v_{sz4} = Rs.i_{sz4} + \frac{d\psi_{sz4}}{dt} \\ 0 = R_r.i_{rz3} + L_{lr}\frac{di_{rz3}}{dt} \\ 0 = R_r.i_{rz4} + L_{lr}\frac{di_{rz4}}{dt} \end{cases} \qquad (4-32)$$

$$\psi_{sz3} = Lls.i_{sz3} - \frac{1}{\sqrt{3}}\mu.Lls.If \qquad \psi_{sz4} = Lls.i_{sz4} \qquad (4-33)$$

مصفوفة التحويل T_6 يسمح بفصل مركبات التوتر والتيار للحصول على المتحولات الجديدة. كما نلاحظ أن المعادلات فإن المركبات في المستوي dq تشارك في انشاء العزم الكهرومغناطيسي لأن متحولات الدائر يتم تهييجها بواسطة متغيرات الثابت في المستوي z_1,z_2 و z_3,z_4 تقوم بإنتاج ضياعات الطاقة (Sarani *et al*,2009,27)

4-2-3- معادلة العزم الكهرومغناطيسي:

$$\begin{aligned} v_f &= \mu.Rs.(i_{sa1} - I_f) + \frac{d\psi_f}{dt} = R_f.I_f \\ v_f &= \mu.Rs.\frac{1}{\sqrt{3}}(i_{sd} + i_{sz1} + i_{sz3}) + \frac{d\psi_f}{dt} \end{aligned} \qquad (4-34)$$

$$\psi_f = \frac{1}{\sqrt{3}}\mu.L_{ls}(i_{sd} + i_{sz1} + i_{sz3} - \sqrt{3}.I_f) + \frac{1}{\sqrt{3}}\mu.M(i_{sd} + i_{rd} - \frac{1}{\sqrt{3}}.\mu.I_f) \qquad (4-35)$$

$$T_m = \frac{1}{2}\left[i_s^*\right]^T\left(\frac{\partial}{\partial\theta_m}\left[L_{sr}^*\right]\right)\left[i_r^*\right] +$$
$$p\mu Lms.If.[\sin(\theta_r)\ \sin(\theta_r+\gamma)\ \sin(\theta_r+\frac{2\pi}{3})\ \sin(\theta_r+\gamma+\frac{2\pi}{3})\ \sin(\theta_r+\frac{4\pi}{3})\ \sin(\theta_r+\gamma+\frac{4\pi}{3})][i_r^*] \qquad (4-36)$$

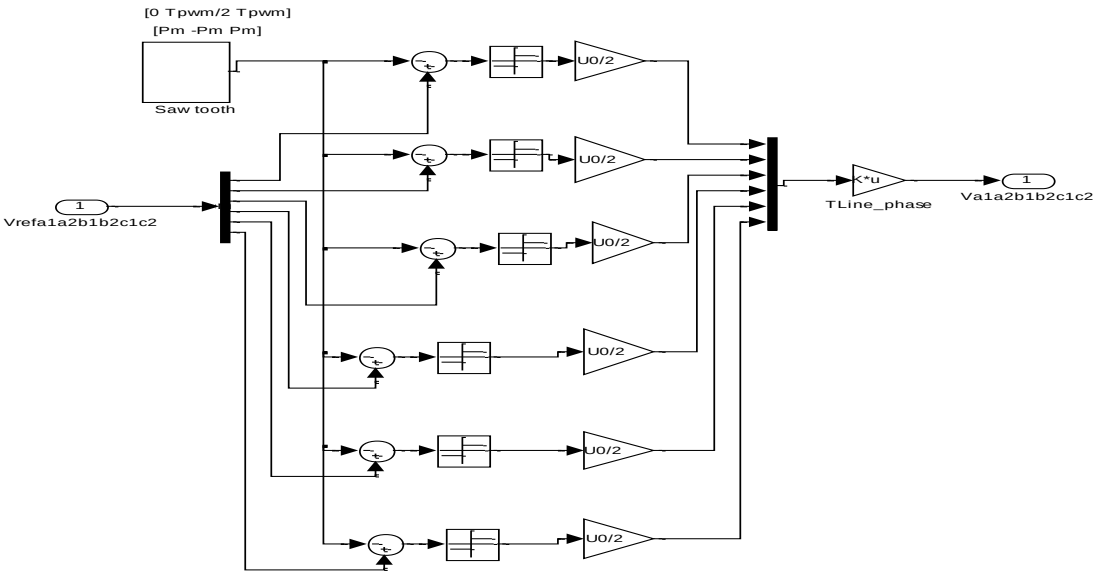
$$T_{\mathrm{m}} = p.M(i_{sq}.i_{rd} - i_{sd}.i_{rq}) + p.\mu.\frac{M}{\sqrt{3}}.If.i_{rq}$$

T_{m}: العزم الكهرومغناطيسي.

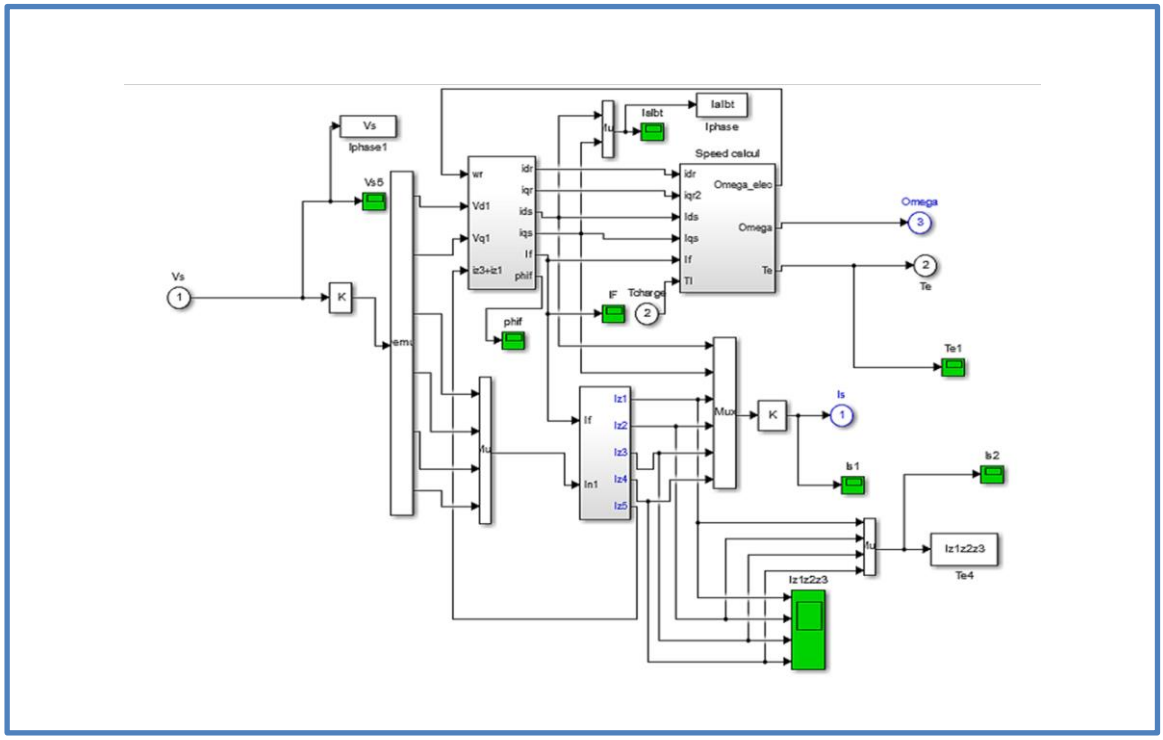
p : عدد أزواج الأقطاب.

v_f: توتر العطل المطبّق على الملفات المقصورة.

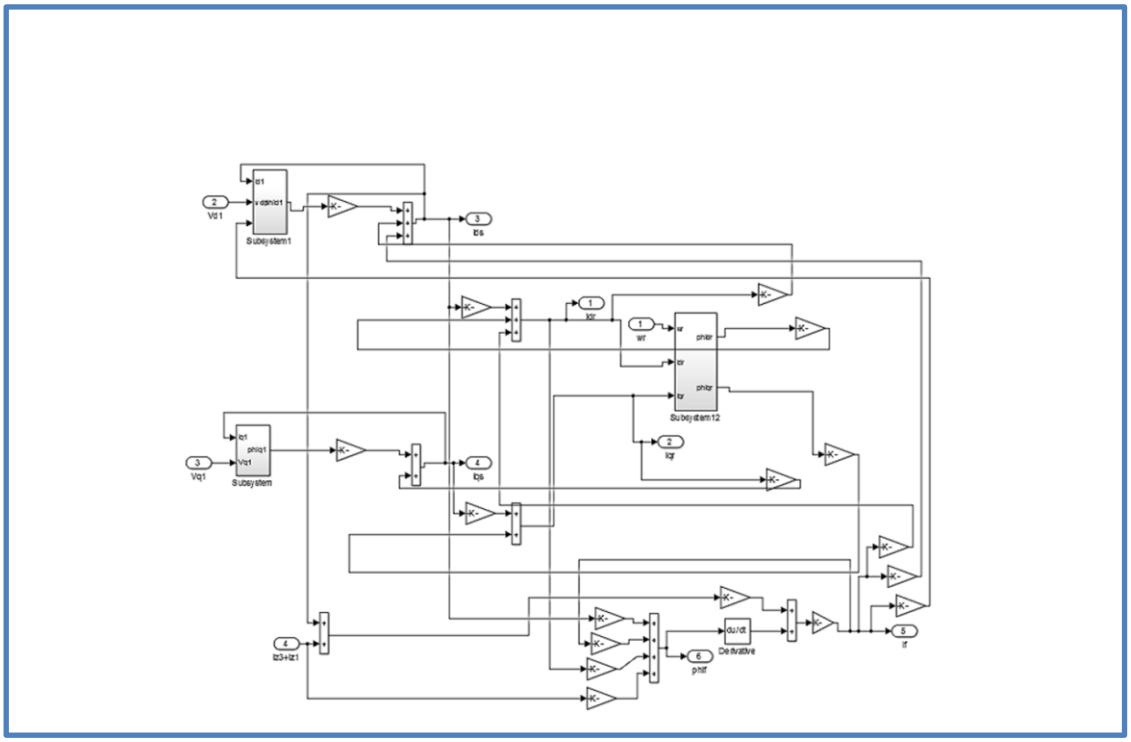
4-3- مخططات نمذجة المحرك التحريضي سداسي الطور:



الشكل(4-1-a) مخطط نمذجة المعرج سداسي الطور في بيئة.MATLAB-SIMULINK.



الشكل(4-1-b) مخطط نمذجة المحرك سداسي الطور في بيئة.MATLAB-SIMULINK



الشكل (4-1-c)حساب الفيوض على المحورين d-q

حيث الثوابت يتم ادخالها من خلال ملف data.m والذي يتضمن محددات المحرك و مصفوفات التحويل بالاضافة للثوابت.

ملف معطيات المحرك:

```
clear all,clc



% fp=1/Ts  ;
angle=pi/3 ;g=angle;
Tpwm=100e-6;
Tsample=2e-6;
% Tpwm=0.0002;
% Tsample=0.0001;
Ts=Tsample;
Pm=1;
```

```
%%%%% donner le no. de(s) phase(s) éliminée(s)
kk1=0;    % phase éliminée
kk2=0;    % phase éliminée
kk3=0;    % phase éliminée
kk4=0;    % phase éliminée

% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% % %  Motor Nancy
E=80        ;
U0=E;
Gond=E/2   ;
Npole=6;
Rr=10.17;
Rs=30.34;
Lls=(9.8e-3);
Lm=38e-3;
Jm=5*6.0e-3;
F=0.001   ;
Llr=Lls;
 vm=0.416;
 f=506;
TL=7;
Rf=1;
mu=0.41;


 Model_Lipo_nphases;


Lsd=Lls+norm(t1)^2*Lm;
Lsq=Lls+norm(t2)^2*Lm;
```

```
Md=sqrt(3)*norm(t1)*Lm;

Mq=sqrt(3)*norm(t2)*Lm;

M=Md;

Lr=Llr+3*Lm;

Ls=Lr;

Tr=Lr/Rr;

X=Lr/(Lsd*Lr-Md^2);

Y=-Md/(Lsd*Lr-Md^2);

Z=-Md/(Lsd*Lr-Md^2);

N=Lsd/(Lsd*Lr-Md^2);


X1=Lr/(Lsq*Lr-Mq^2);

Y1=-Mq/(Lsq*Lr-Mq^2);

Z1=-Mq/(Lsq*Lr-Mq^2);

N1=Lsq/(Lsq*Lr-Mq^2);

C=-3^0.5/(mu*M+3*Lls-mu*Ls);

I=-3*mu/(mu*M+3*Lls-mu*Ls);

H=3^0.5/(mu*M+3*Lls-mu*Ls);


T6=1/sqrt(3)*[1,cos(angle),cos(2*pi/3),cos(2*pi/3+angle),cos(4*pi/3),cos(4*pi/3+
angle);


0,sin(angle),sin(2*pi/3),sin(2*pi/3+angle),sin(4*pi/3),sin(4*pi/3+angle);

              1,cos(pi-angle),cos(4*pi/3),cos(pi/3-
angle),cos(2*pi/3),cos(5*pi/3-angle);

              0,sin(pi-angle),sin(4*pi/3),sin(pi/3-
angle),sin(2*pi/3),sin(5*pi/3-angle);

              1,0,1,0,1,0;

              0,1,0,1,0,1];


          Tn=T6;

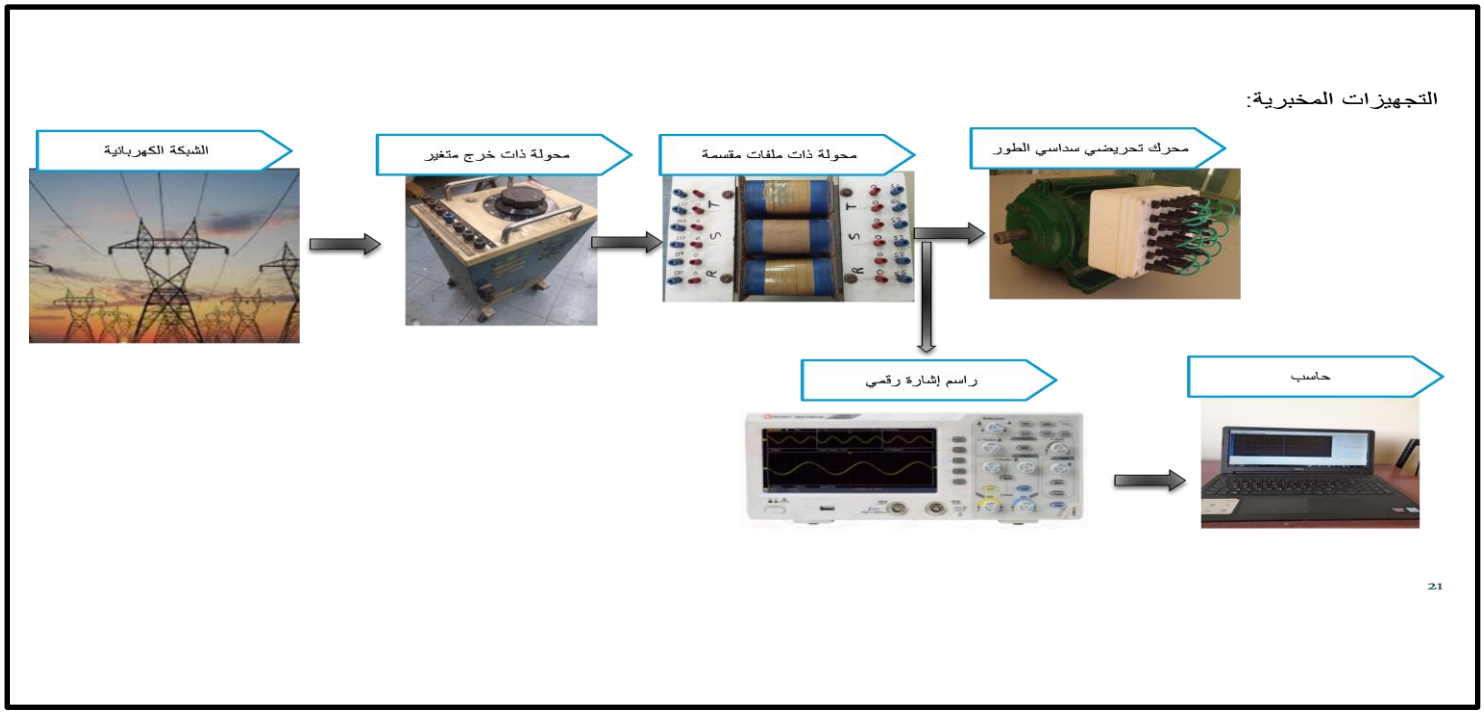
 k1=1;k2=1;
```

```
Tlph_DE=(1/3)*[2 0 -1 0 -1 0;
          0 2 0 -1 0 -1;
         -1 0 2 0 -1 0;
         0 -1 0 2 0 -1;
         -1 0 -1 0 2 0;
         0 -1 0 -1 0 2];

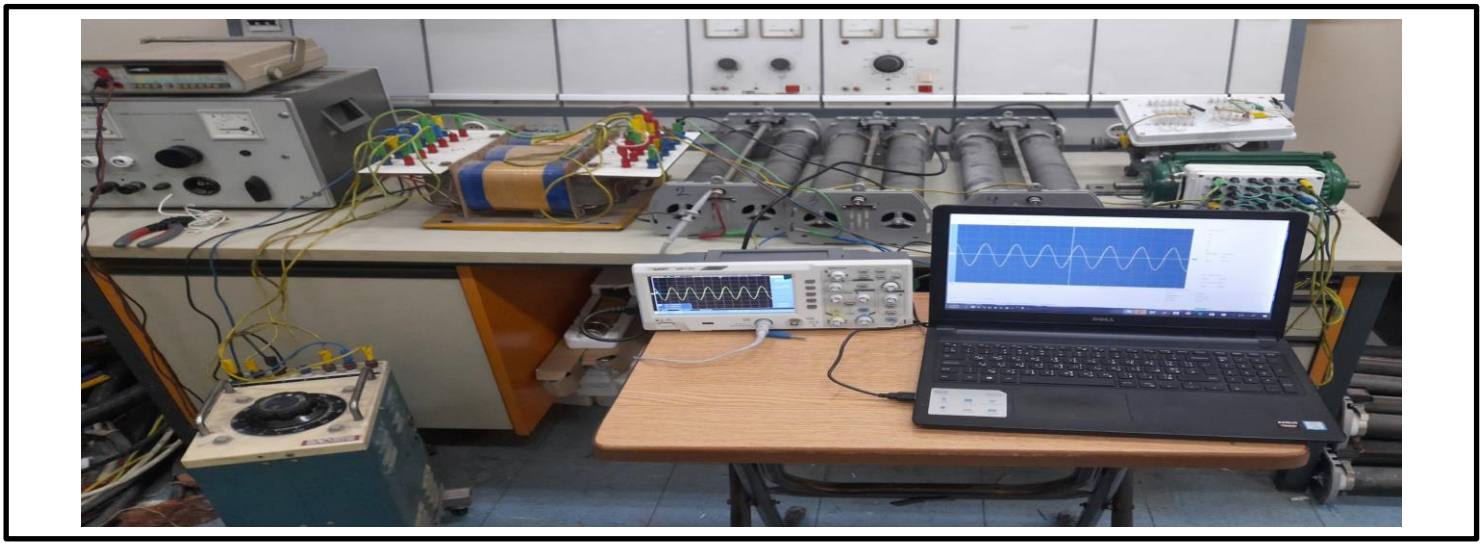
     Tlph_HEX=(1/6)*[5 -1 -1 -1 -1 -1;
          -1 5 -1 -1 -1 -1;
         -1 -1 5 -1 -1 -1;
         -1 -1 -1 5 -1 -1;
         -1 -1 -1 -1 5 -1;
         -1 -1 -1 -1 -1 -1]
```

5-الفصل الخامس

التطبيق العملي.



الشكل (5-1) الهيكل المخبري لتوصيل الأجهزة والمعدات المستخدمة



الشكل (5-2) التجهيزات المخبرية المستخدمة

تم إجراء التجارب على محركين :

المحرك الأول 1HP العطل على الطور الأول بعزم حمولة 7[N.m] .

المحرك الثاني 0.5HP العطل على الطور الخامس بحالة اللاحمل

حيث الثوابت يتم ادخالها من خلال ملف data.m والذي يتضمن محددات المحرك و مصفوفات التحويل بالاضافة للثوابت

1- الدراسة العملية على المحرك الأول ذو الاستطاعة 1HP

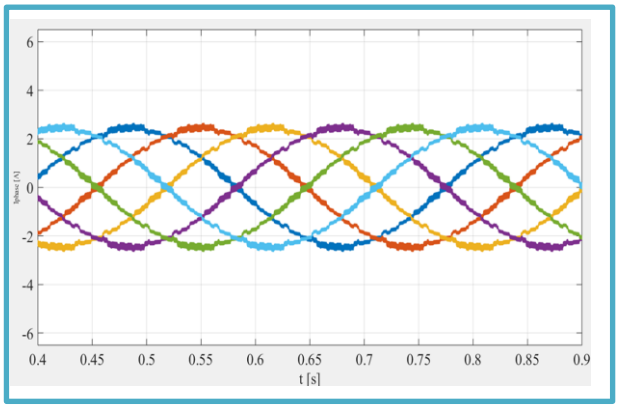
محددات المحرك1HP

الجدول (5-1) محددات المحرك التجريبي ذو الاستطاعة 1hp

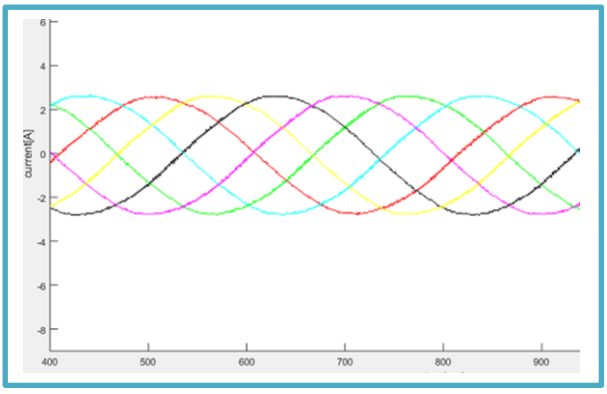
التوتر الاسمي	Vn	190V	محارضة الثابت التسريبية	Lls	9.8 mH
الاستطاعة	P	1 [HP]	محارضة الدائر التسريبية	Llr	9.8 [mH]
عدد الأقطاب	2p	6	المحارضة المتبادلة	M	0.0800 [H]
الزاوية بين كل طورين		60	عزم العطالة	J	0.06 [Kg.m]
مقاومة الثابت	Rs	30.34 [Ω]	معامل الاحتكاك	F	0.002 [N/rd/s]
مقاومة الدائر	Rr	10.17 [Ω]	عزم الحمولة		7 [N.m]

أولا: تغيرات التيار بالنسبة للزمن للمحرك ذو الاستطاعة 1hp عند نسب قصر متغيرة:

حالة سليمة (محرك سليم) $\mu = 0$



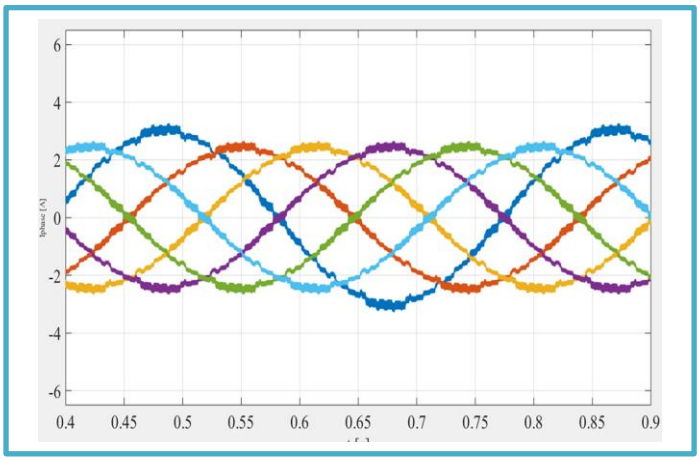
(a–3–5) نتائج النمذجة لتغيرات التيار عند $\mu = 0$



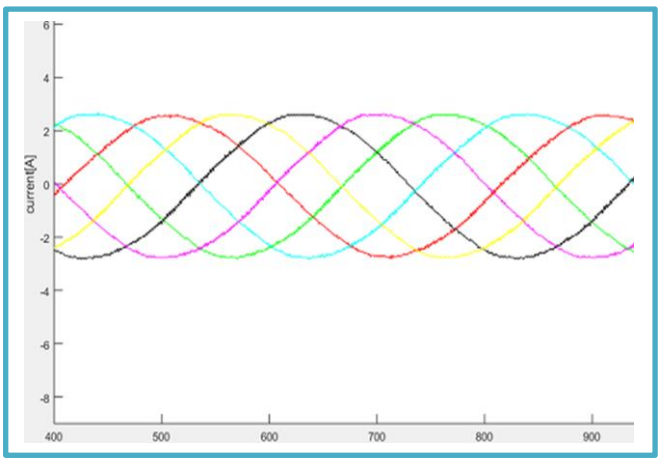
(b–3–5) نتائج تجريبية لتغيرات التيار عند $\mu = 0$

الشكل(5–3) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر $\mu = 0$

- **نسبة القصر** $\mu = 8.3\%$



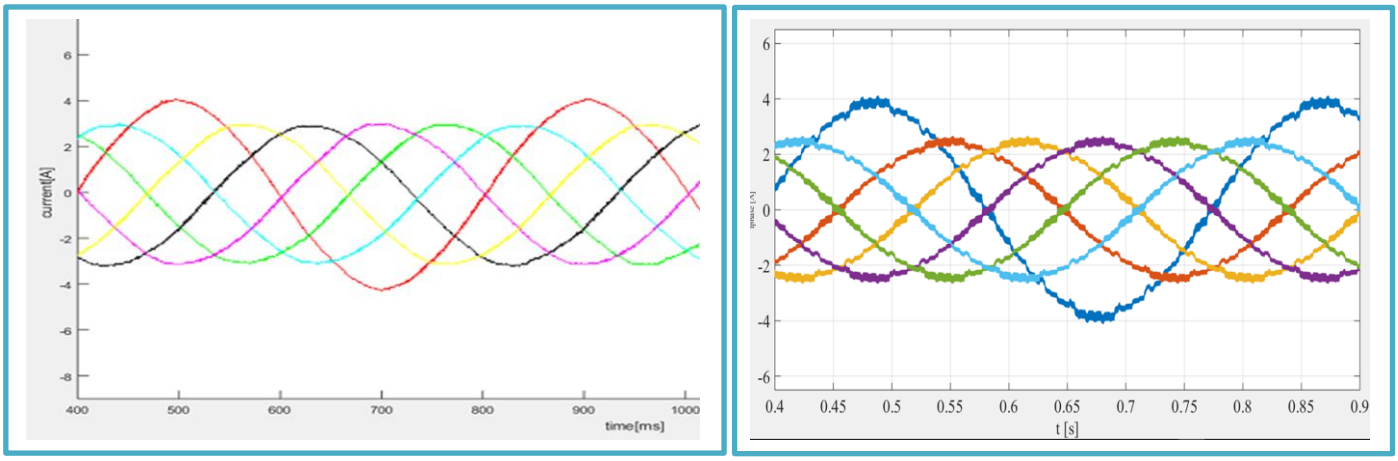
(a–4–5) نتائج النمذجة لموجة التيار عند$\mu = 8.3\%$



(b–4–5) نتائج التجريبية لموجة التيار عند $\mu = 8.3\%$

الشكل(5–4)مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر $\mu = 0.083$

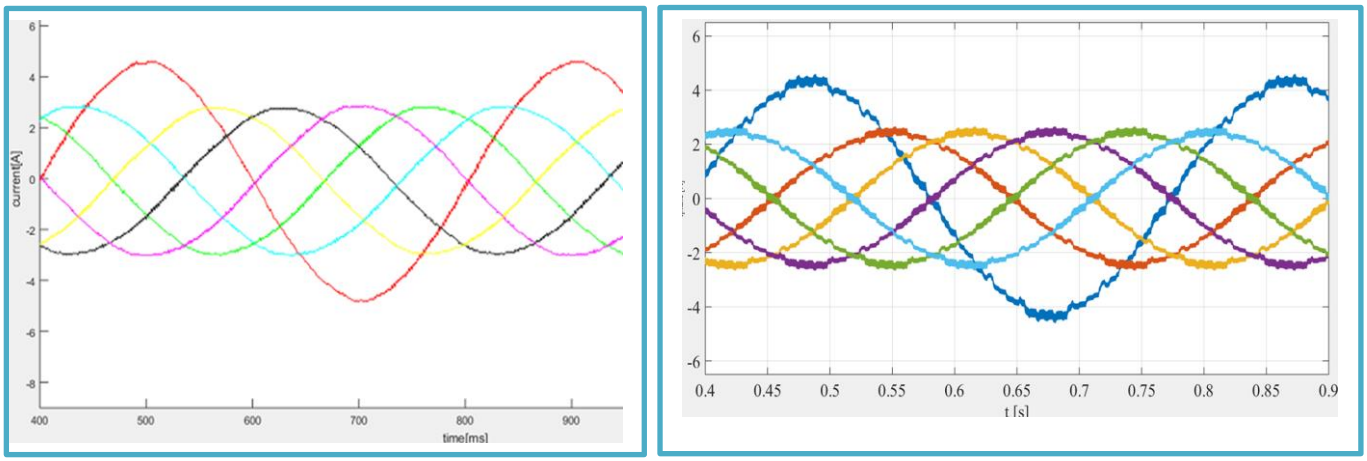
- **نسبة القصر** μ =25%



(a–5–5) نتائج النمذجة لموجة التيار عند μ =25% (b–5–5) نتائج تجريبية لموجة التيار عند μ =25%

الشكل(5–5) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر μ =25%

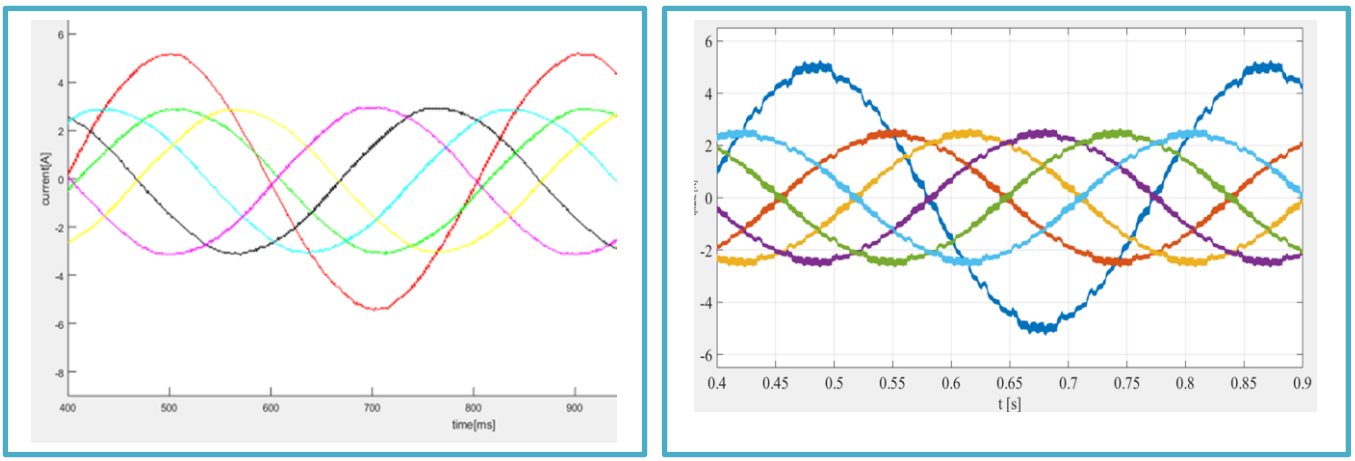
- **نسبة القصر** μ =33.3%



(a–6–5) نتائج النمذجة لموجة التيار عند μ =33.3% (b–6–5) نتائج تجريبية لموجة التيار عند μ =33.3%

الشكل(5–6) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر μ =33.3%

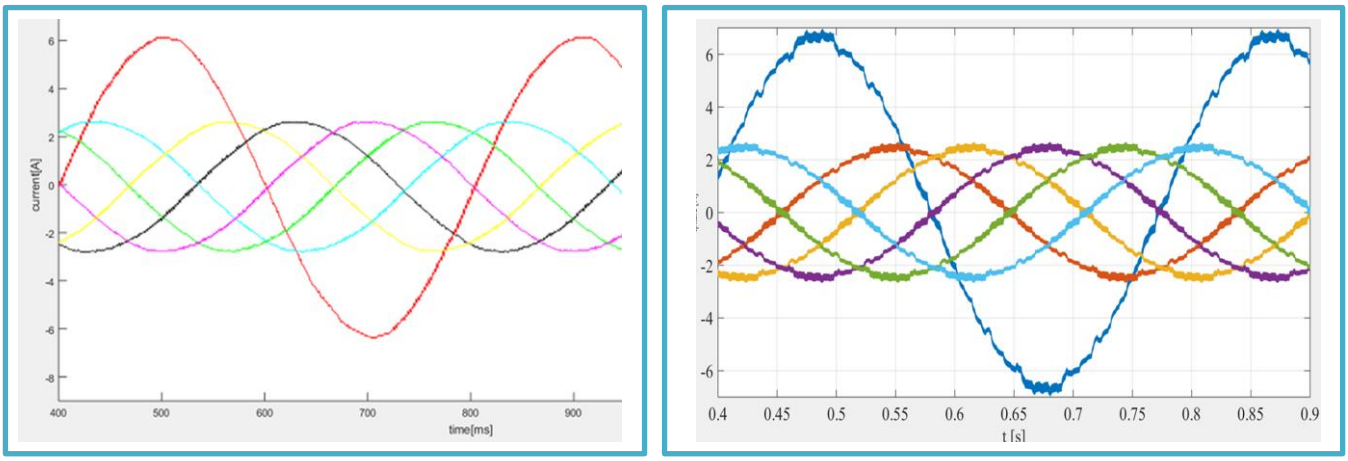
- **نسبة القصر** μ =41.6%



(a–7–5) نتائج النمذجة لموجة التيارعند μ =41.6% (b–7–5) نتائج تجريبية لموجة التيار عندμ =41.6%

الشكل(5–7) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصرμ =41.6%

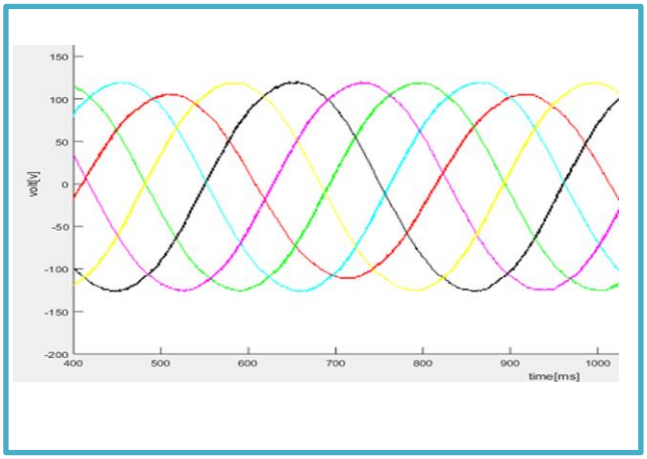
- **نسبة القصر** μ =50%



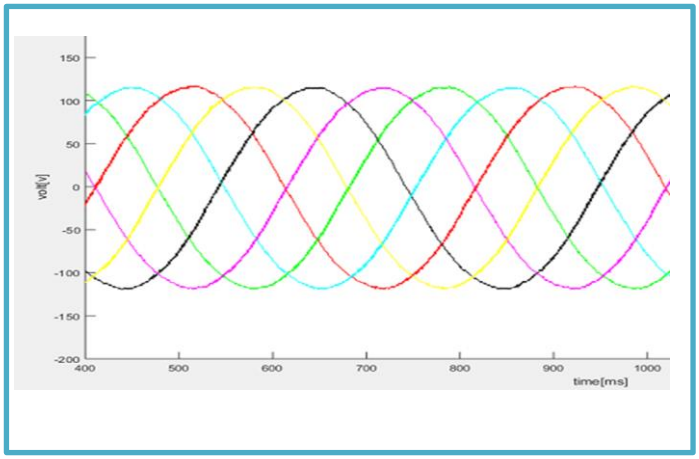
(a–8–5) نتائج النمذجة لموجة التيارعند μ =50% (b–8–5) نتائج تجريبية لموجة التيار عندμ =50%

الشكل(5–8) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصرμ =50%

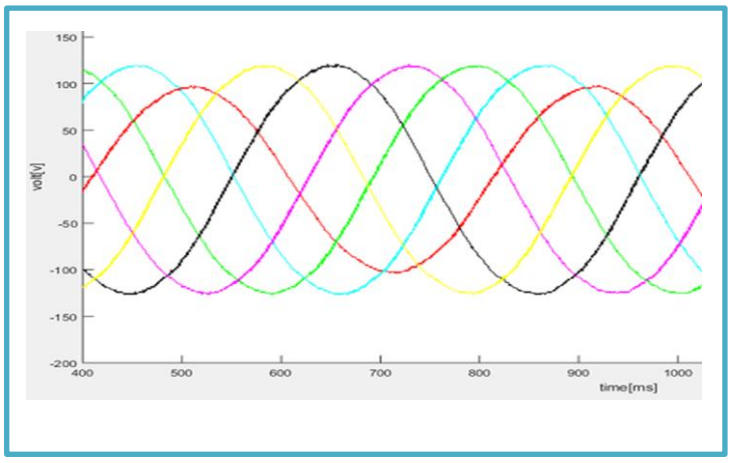
ثانياً: نتائج تجريبية لتأثير عطل قصر جزئي على طور على التوترات



(b–9–5) نتائج تجريبية لموجة التوترعند μ =33%



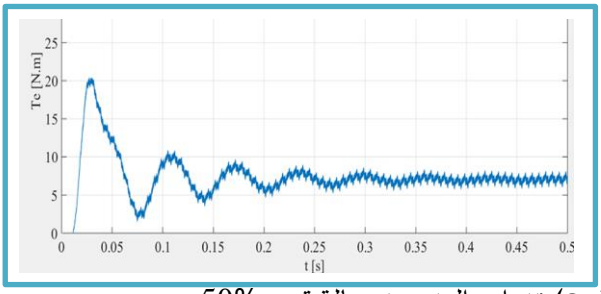
(a–9–5) نتائج تجريبية لموجة التوتر عند0% =μ



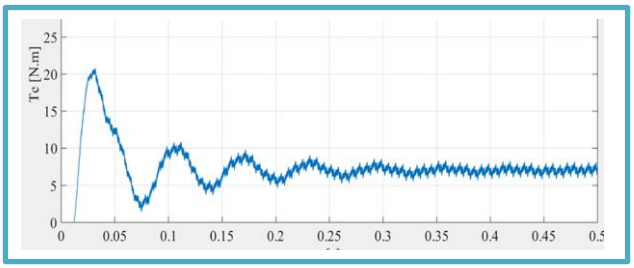
(c–9–5) نتائج تجريبية لموجة التوتر عند 50% =μ

الشكل (5–9) نتائج النمذجة لتغيرات التوتر مع الزمن بتغيير تسب القصر

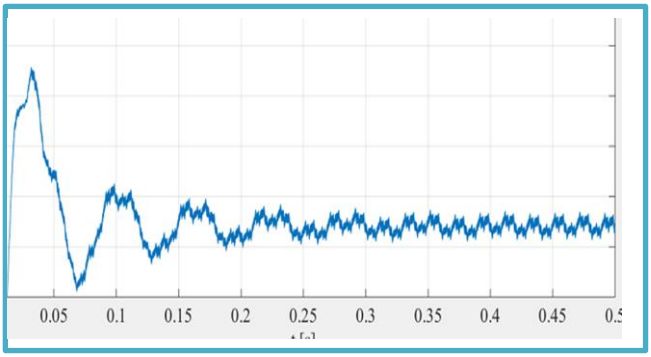
ثالثا: تغيرات العزم بالنسبة للزمن تبينها المخططات التالية بتغيير نسب القصر



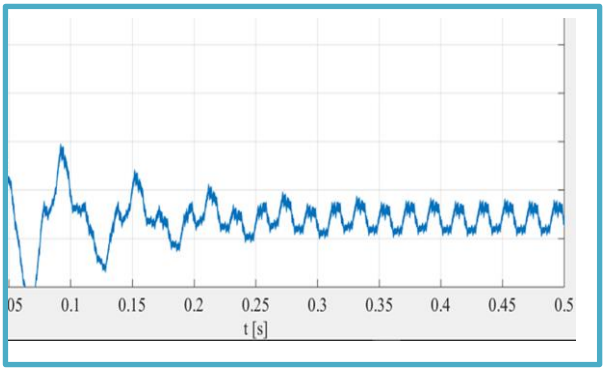
(a-10-5) تغيرات العزم عند حالة قصر 50%= μ



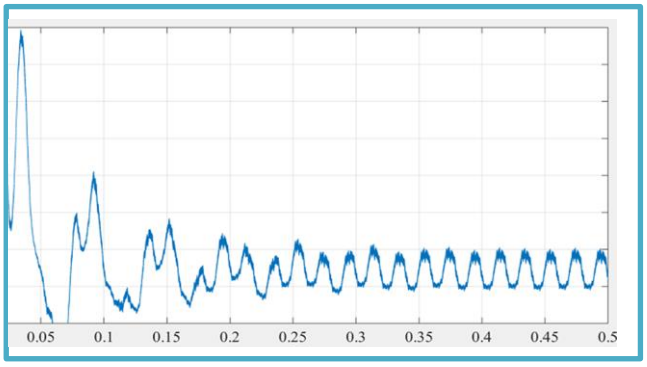
(b-10-5) تغيرات العزم عند حالة قصر 8.3%= μ



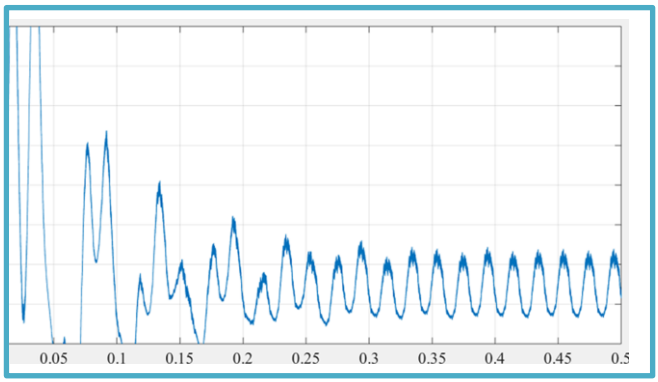
(c-10-5) تغيرات العزم عند حالة قصر 16.3%= μ



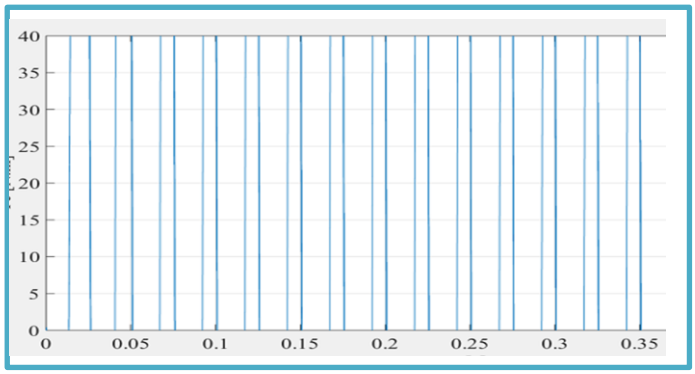
(d-10-5) تغيرات العزم عند حالة قصر 25%= μ



(e-10-5) تغيرات العزم عند حالة قصر 33.3%= μ



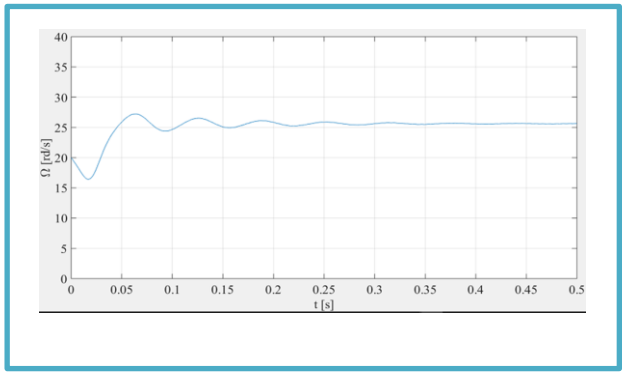
(f-10-5) تغيرات العزم عند حالة قصر 41.6%= μ



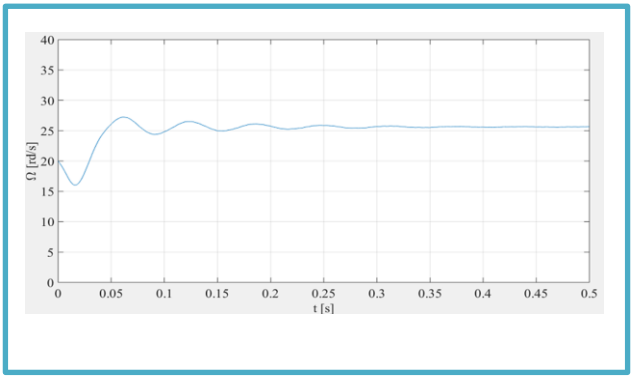
(g-10-5) تغيرات العزم عند حالة قصر μ =50%

الشكل (5-10)تغيرات العزم بالنسبة للزمن بتغيير نسب القصر

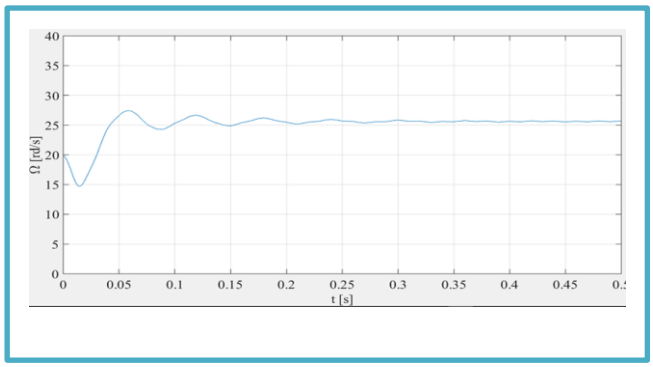
رابعاً: تغيرات السرعة بالنسبة للزمن تبينها المخططات التالية بتغيير نسب القصر μ



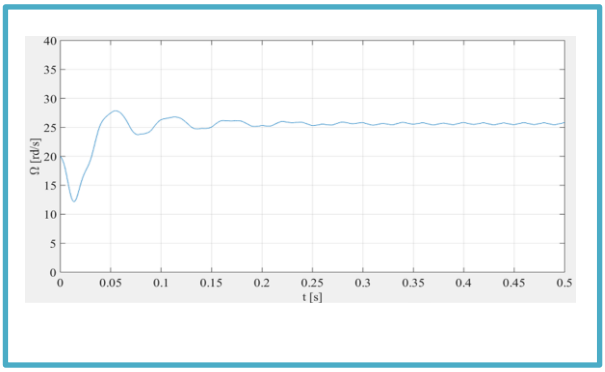
(a-11-5) تغيرات السرعة عند حالة قصر μ =0%



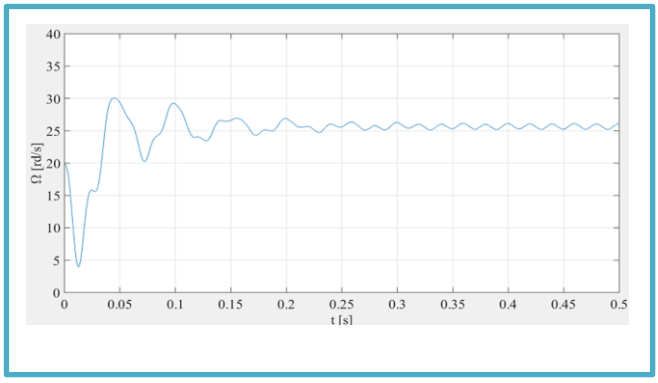
(b-11-5) تغيرات السرعة عند حالة قصر μ =8.3%



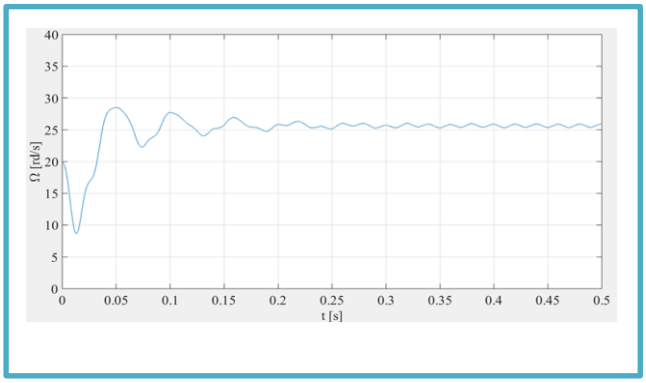
(c-11-5) تغيرات السرعة عند حالة قصر μ =16.3%



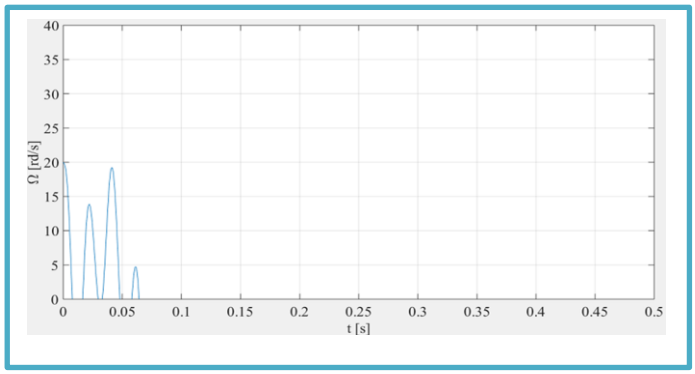
(d-11-5) تغيرات السرعة عند حالة قصر μ =25%



(f–11–5) تغيرات السرعة عند حالة قصر μ =41.6%



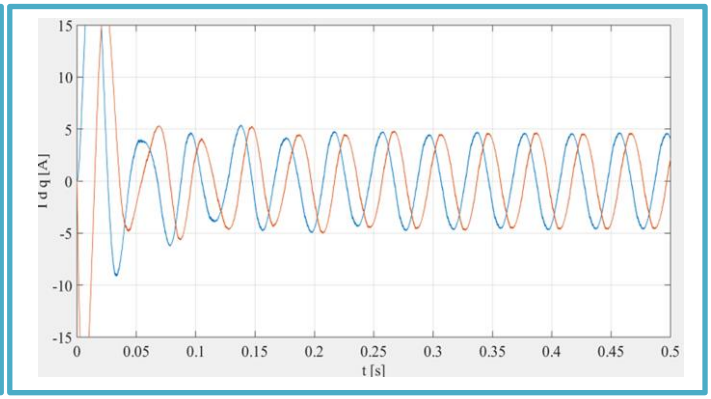
(e–11–5) تغيرات السرعة عند حالة قصر μ =33.3%



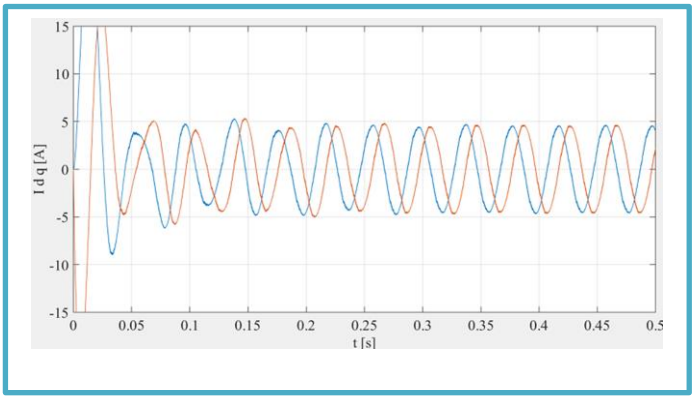
(g–11–5) تغيرات السرعة عند حالة قصر μ =50%

الشكل (5–11) تغيرات السرعة بالنسبة للزمن بتغيير نسبة القصر μ

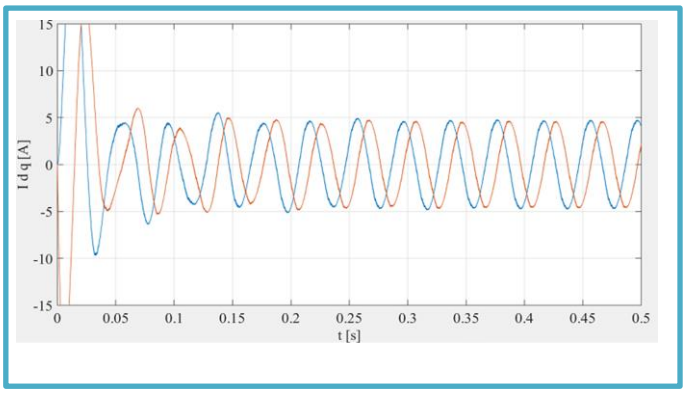
خامساً: تغيرات I_{dq} بتغيير نسب القصر μ



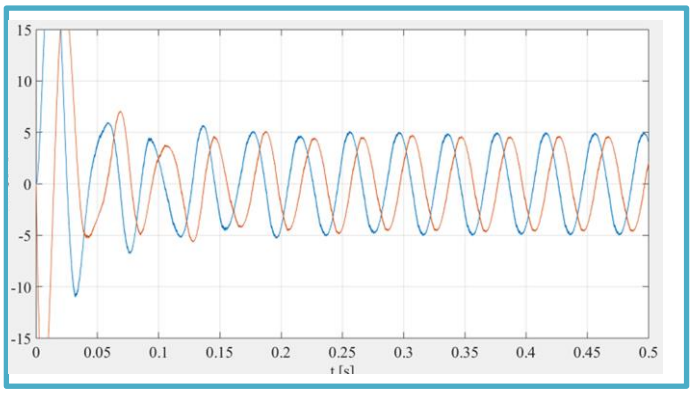
(b–12–5) تغيرات I_{dq} عند حالة قصر μ =16.6%



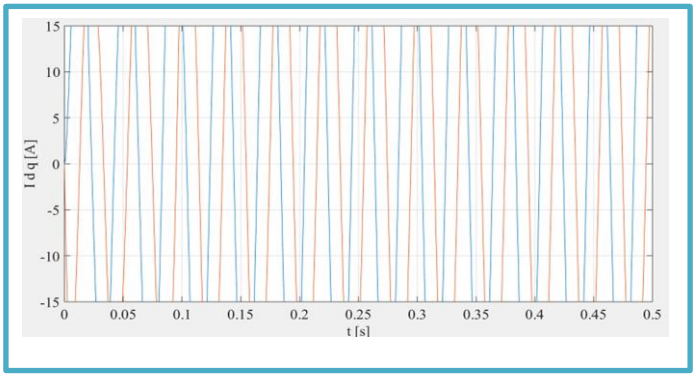
(a–12–5) تغيرات I_{dq} عند حالة قصر μ =0%



(c–12–5) تغيرات I_{dq} عند حالة قصر μ =25%



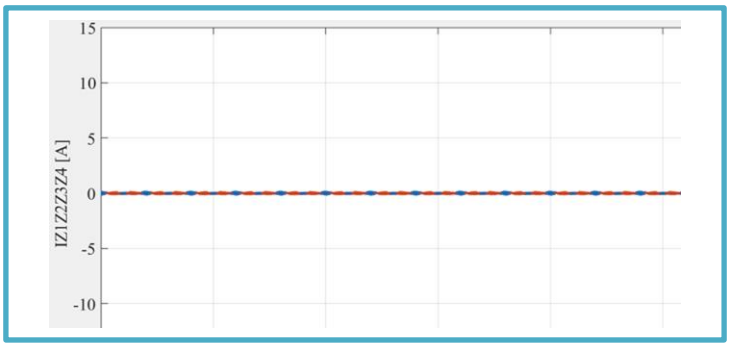
(d–12–5) تغيرات I_{dq}عند حالة قصر μ =41.6%



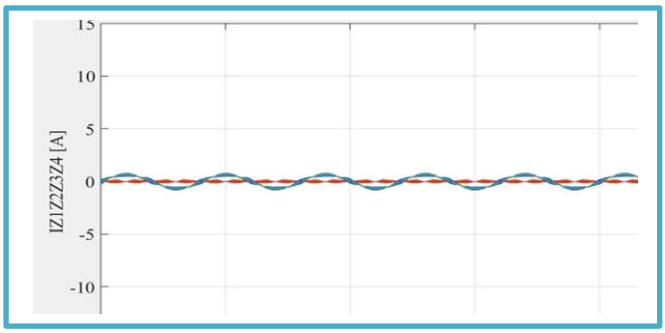
(e–12–5) تغيرات I_{dq}عند حالة قصر μ =60%

الشكل (5–12) تغيرات I_{dq} عند حالات قصرمختلفة μ

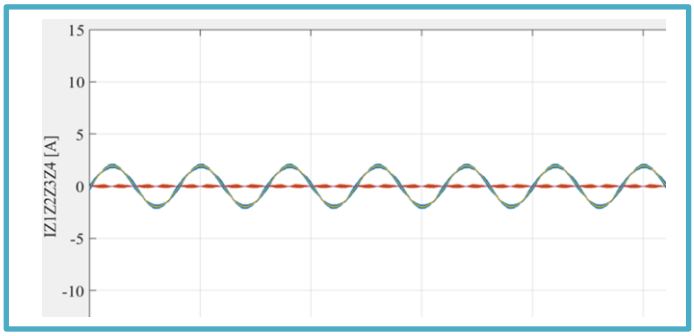
سادساً: تغيرات $I_{z1z2z3z4}$ بالنسبة للزمن بتغيير نسبة القصرμ



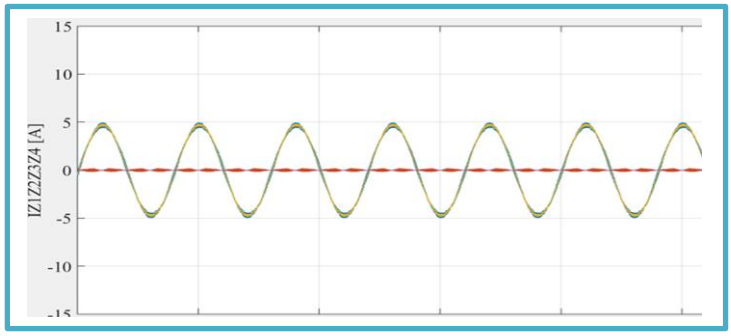
(a–13–5) تغيرات $I_{z1z2z3z4}$ عند حالة قصر μ =0%



(b–13–5) تغيرات $I_{z1z2z3z4}$ عند حالة قصر μ =16.6%



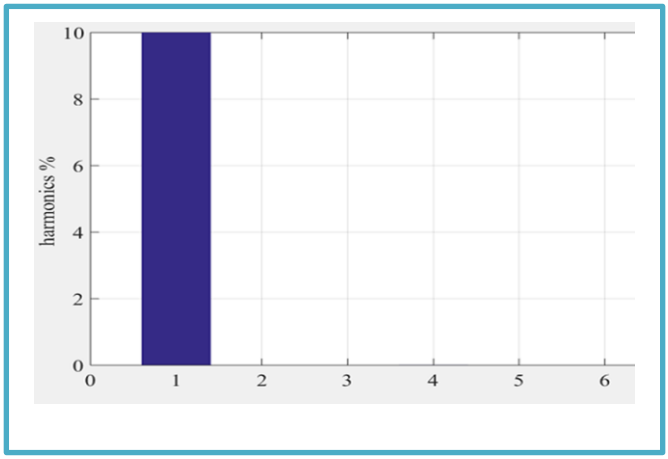
(c–13–5) تغيرات $I_{z1z2z3z4}$ عند حالة قصر 33.3%= μ



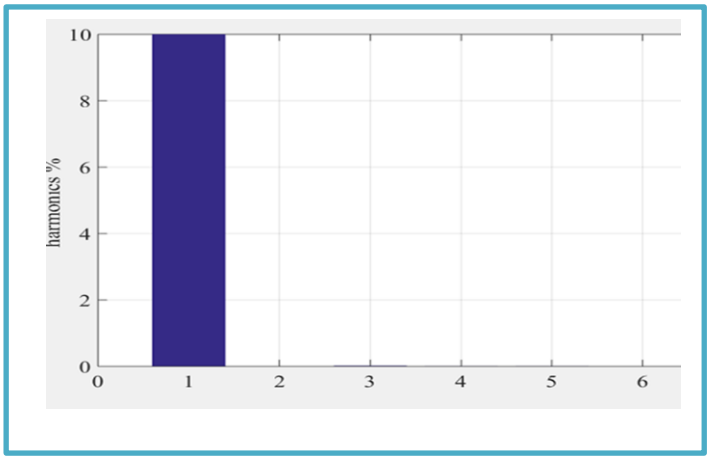
(d–13–5) تغيرات $I_{z1z2z3z4}$ عند حالة قص 50%= μ

الشكل (5–13) تغيرات $I_{z1z2z3z4}$ عند حالات قصرمختلفة μ

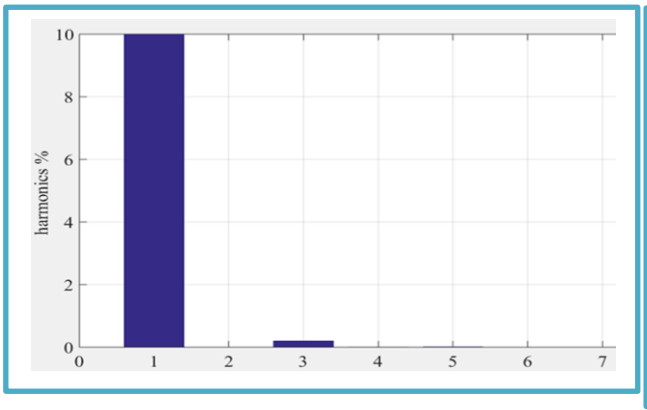
سابعاً: ظهور التوافقيات بتغيير نسب القصر



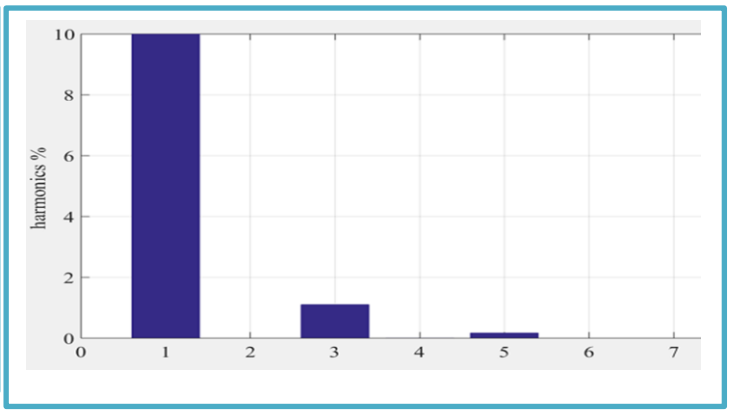
(a–14–5) ظهور التوافقيات عند حالة قصر 0%= μ



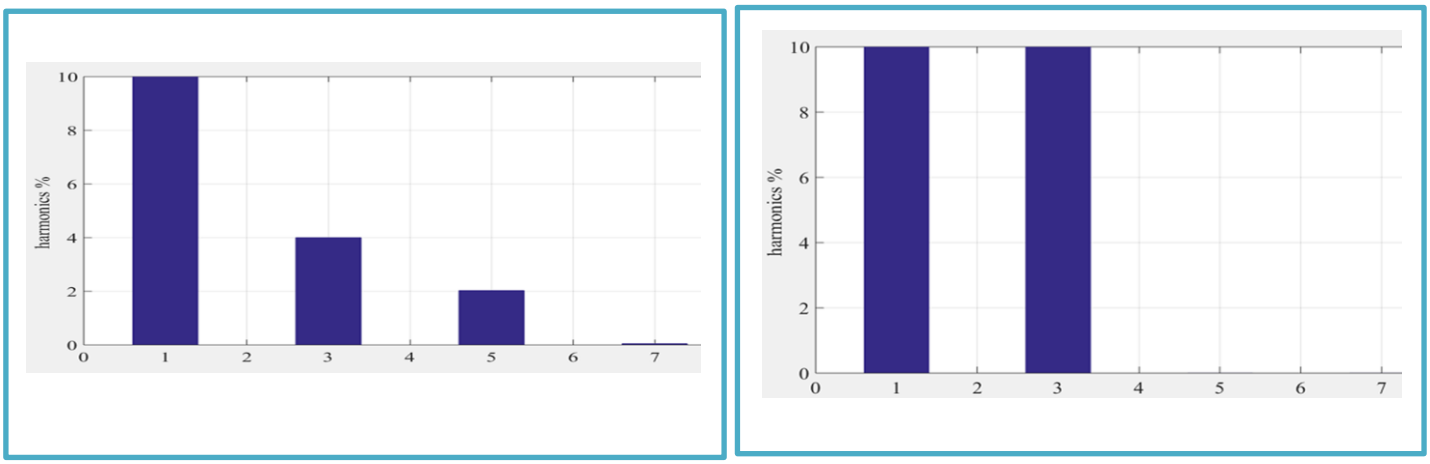
(b–14–5) ظهور التوافقيات عند حالة قصر 8.3%= μ



(c–14–5) ظهور التوافقيات عند حالة قصر 25%= μ



(d–14–5) ظهور التوافقيات عند حالة قصر 33.3%= μ



(f–14–5) ظهور التوافقيات عند حالة قصر μ =50% (e–14–5) هور التوافقيات عند حالة قصر μ =41.6%

الشكل (5–14) ظهور التوافقيات عند حالات قصر مختلفة μ

يمكن تلخيص المنحنيات السابقة بالجدول التالي: الجدول(5-2) القيم المأخوذة بواسطة مقياس الأفومتر لقيم تيارات دخل المحرك بتغيرات نسب القصر μ

محرك p=1hp	حالة سليمة	μ=16.6%	μ=25%	μ=33.3%	μ=41.6%	μ=50%
I_{ph1}	1.9	2.48	3	3.4	3.9	4.7
I_{ph2}	1.85	1.84	1.84	1.84	1.83	1.83
I_{ph3}	1.9	1.9	1.89	1.87	1.88	1.86
I_{ph4}	1.85	1.85	1.85	1.82	1.82	1.82
I_{ph5}	1.92	1.92	1.9	1.9	1.9	1.9
I_{ph6}	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86

الجدول (5-3) نتائج تغيرات التيار والعزم والتوتر المغذي بتغيير نسبة القصر

نسبة القصر μ	تيار الطور الذي يحتوي على نسبة قصر	مجال تغيرات العزم	تغيرات التوتر
μ = 0	$I_f = I_n$	[7–7.2]	$U_f = U_n$
μ = 0.08	$I_f = 1.12I_n$	[6.9–7.3]	$U_f = 0.99U_n$
μ = 0.16	$I_f = 1.32I_n$	[6–7.5]	$U_f = 0.97U_n$
μ = 0.25	$I_f = 1.63I_n$	[5.5–7.7]	$U_f = 0.95U_n$
μ = 0.33	$I_f = 2I_n$	[5–8]	$U_f = 0.93U_n$
μ = 0.41	$I_f = 2.16I_n$	[4.7–8.4]	$U_f = 0.84U_n$
μ = 0.5	$I_f = 2.4I_n$	.....	$U_f = 0.78U_n$

2- الدراسة العملية على المحرك الثاني ذو الاستطاعة 0.5HP

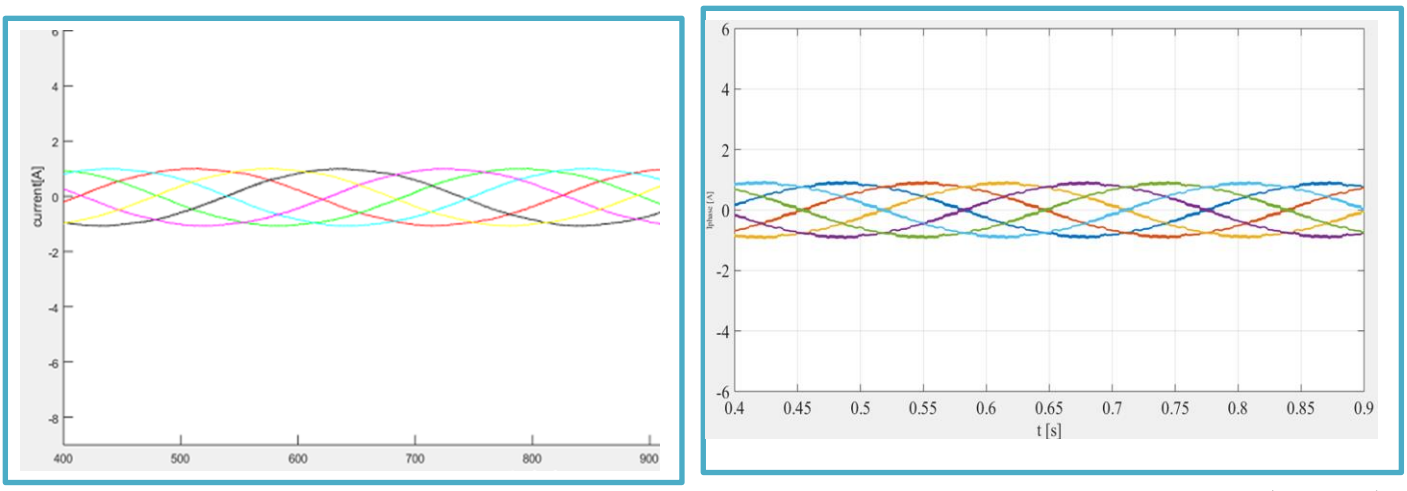
محددات المحرك 0.5HP

الجدول (5-3) محددات المحرك التجريبي سداسي الطور ذو استطاعة 0.5hp

التوتر الاسمي	Vn	55V	محارضة الثابت التسريبية	Lls	6.7 mH
الاستطاعة	P	0.5HP	محارضة الدائر التسريبية	Llr	**6.7 mH**
عدد الأقطاب	2p	6	المحارضة المتبادلة	M	**0.0513 H**
الزاوية بين كل طورين		60	عزم العطالة	J	**0.03 Kg.m**
مقاومة الثابت	Rs	12.34 Ω	معامل الاحتكاك	F	**0.001 N/rd/s**
مقاومة الدائر	Rr	3.17 Ω	عزم الحمولة		**0**

أولا: تغيرات التيار بالنسبة للزمن للمحرك ذو الاستطاعة **0.5hp** عند نسب قصر متغيرة:

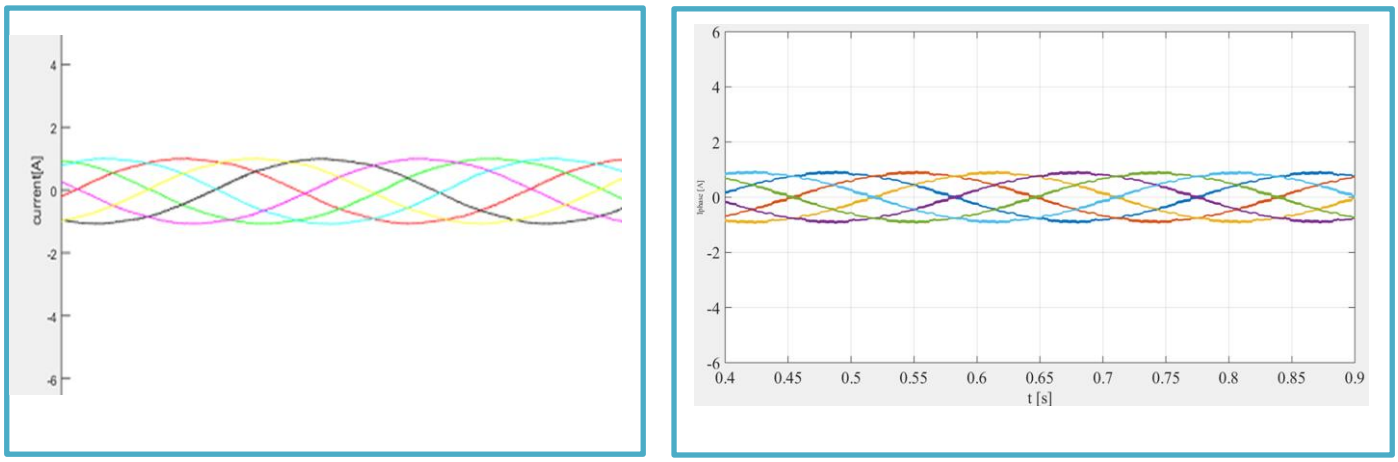
- حالة سليمة (محرك سليم) $\mu = 0$



(a–15–5) نتائج تجريبية لموجة التيار عند $\mu = 0$ (b–15–5) نتائج النمذجة لموجة التيار عند $\mu = 0$

الشكل(5–15) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر $\mu = 0$

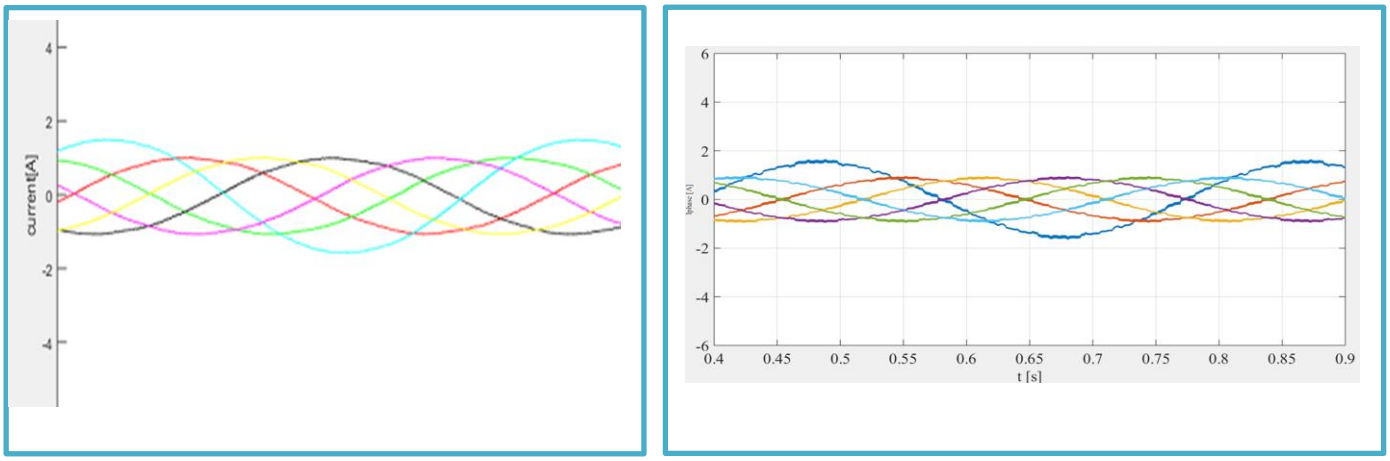
- **نسبة القصر** $\mu = 8.3\%$



(a–16–5) نتائج التجريبية لموجة التيار عند$\mu = 8.3\%$ (b–16–5) نتائج النمذجة لموجة التيار عند$\mu = 8.3\%$

الشكل(5–16) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر$\mu = 0.083$

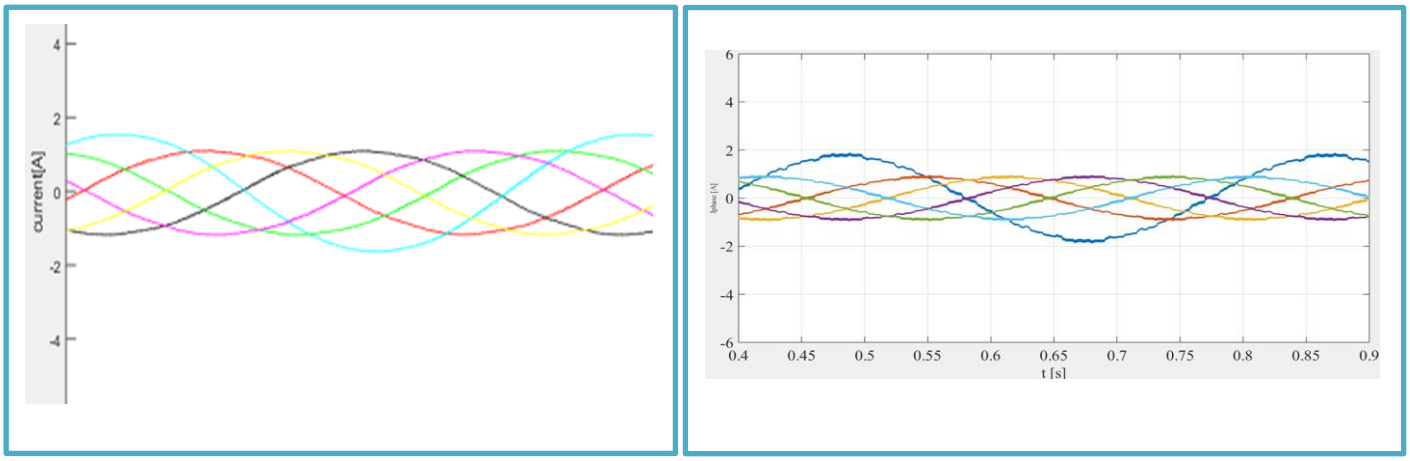
- **نسبة القصر** μ =25%



(a–17–5) نتائج تجريبية لموجة التيار عندμ =25% (b–17–5) نتائج النمذجة لموجة التيار عندμ =25%

الشكل(5–17) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصرμ =25%

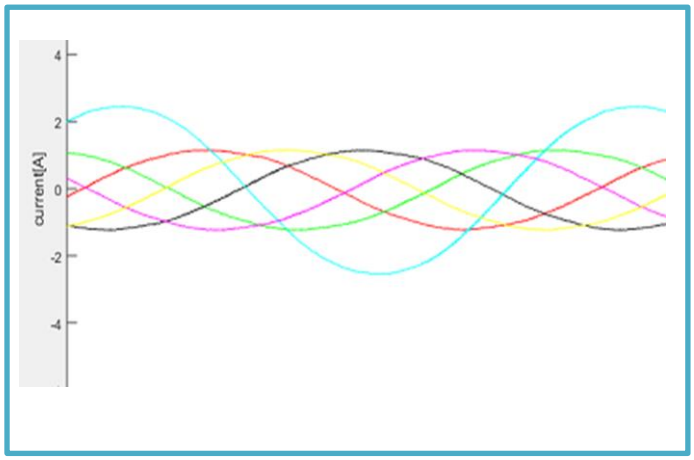
- **نسبة القصر** μ =33.3%



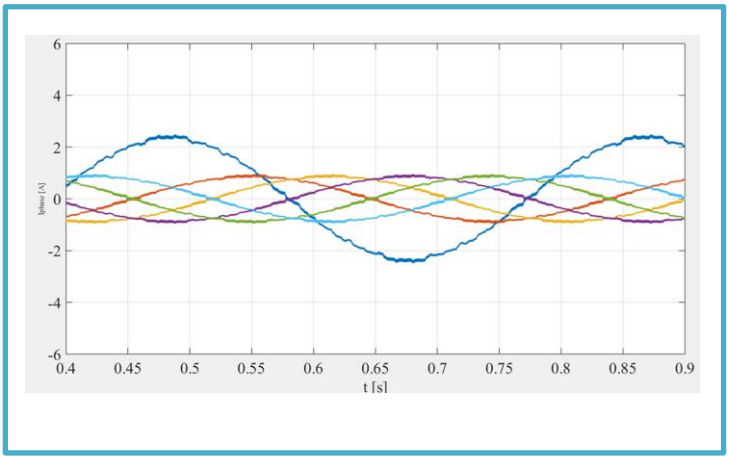
(a–18–5) نتائج تجريبية لموجة التيار عندμ =33.3% (b–18–5) نتائج النمذجة لموجة التيار عندμ =33.3%

الشكل(5–18) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصرμ =33.3%

- **نسبة القصر** μ =41.6%



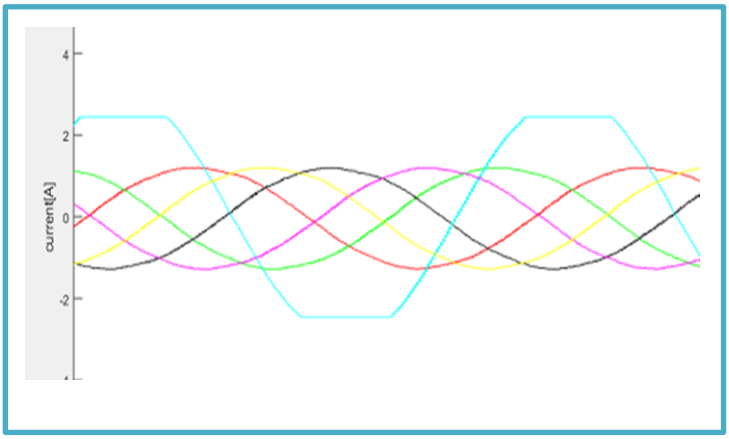
(a–19–5) نتائج تجريبية لموجة التيار عند μ =41.6%



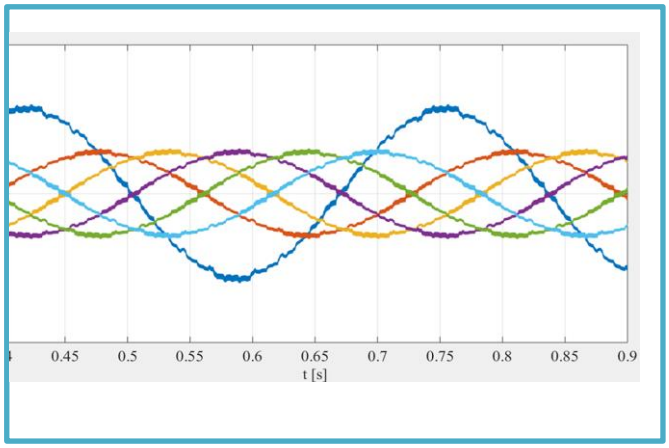
(b–19–5) نتائج النمذجة لموجة التيارعند μ =41.6%

الشكل(5–19) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارات عند حالة قصر μ =41.6%

- **نسبة القصر** μ =50%



(a–20–5) نتائج تجريبية لموجة التيار عند μ =50%



(b–20–5) نتائج النمذجة لموجة التيارعند μ =50%

الشكل(5–20) مقارنة نتائج النمذجة والنتائج التجريبية للتيارت عند حالة قصر μ =50%

3- الحصول على أمواج تيار دخل المحرك لستة أطوار عن طريق Digital oscilloscope :

Digital oscilloscope المستخدم يحتوي على قناتين الأولى لأخذ تغيرات التيار بالنسبة للزمن والثانية لأخذ تغيرات التوتر بالنسبة للزمن لذلك تم أخذ تغيرات تيار كل طور بالنسبة للزمن على حِدى باستخدام برنامج OWON oscilloscope عن طريق وصلة USP بين الراسم والحاسب، من ثم حفظها بصيغة ملف Excel ، ثم باستخدام بيئة MATLAB يتم دمج أمواج التيارات لنحصل على 6 تيارات تتغير مع الزمن.

الفصل السادس

النتائج والتوصيات

6-1- **النتائج**: تبين بأن :

- هناك تقارب كبير بين نتائج النمذجة والنتائج التجريبية.
- كلما زادت نسبة القصر الجزئي بين لفات الجزء الثابت للمحرك التحريضي سداسي الطور كلما زاد استجرار التيار من الشبكة المغذّية للآلة هذا يؤثر بشكل سلبي على الشبكة ويؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة المحرك التي قد تسبب انهيار عازلية الملفات فتسبب خروج الآلة عن العمل.
- كلما زادت نسبة القصر كلما زادت تموجات العزم وهذا دليل على زيادة في ضجيج الآلة وتدهور عملها.
- زيادة نسبة القصر تولد توافقيات فردية إضافية تسبب زيادة في الضياعات الحديدية والتيارات التسريبية.
- عند زيادة نسب القصر عن **50%** يبدأ المحرك بالخروج عن العمل.

فيجب الكشف المبكر عن حالة وجود عطل وبيان مدى شدته ومعالجته قبل خروج الآلة عن العمل

6-2- **التوصيات:**

- دراسة قصر جزئي بين لفات الجزء الثابت لأكثر من طور.
- تعميم الدراسة والمبدأ العام على بقية الأنواع من الآلات الكهربائية
- تبنى دراسات مستقبلية لتحديد مكان العطل(القصر) بدقة
- بناء خوارزميات يمكن تحديد وجود أكثر من عطل على التوازي في آن واحد.

ملخص الدراسة:

تندرج أعمال هذه الأطروحة ضمن الدراسات والأبحاث العلمية المقدمة في قسم نظم القدرة الكهربائية في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق، بغية تطوير القاعدة العلمية وطرح منظومة متطورة في مجال مراقبة وتشخيص عمل الآلات التحريضية سداسية الطور.

قمنا في البداية بلف المحرك لف ثلاثي الطور بالأعتماد على القوانين الأساسية في الآلات ، من ثم تقسيم كل ملف إلى ملفين نحصل على 6 ملفات مزاحة عن بعضها 60 درجة . وتم التأكد من صحة اللف باستخدام برنامج محاكاة العناصر الالكترونية[Circit Wizard 2 SE].

تم تنفيذ اللف على محركين خاضعين للتجارب ، الأول ذو استطاعة 1hp والآخر ذو استطاعة 0.5hp، ثم بتقسيم طور واحد من أطوار المحرك إلى عدد من اللفات بحيث نحصل على نسب من العدد الكلي للفات الطور الواحد حيث تم التوصل إلى نسبة 8.3% ومضاعفاتها سميّت هذه النسبة μ ،تم تغذيه المحرك بواسطة محولة مقسمة.

ثم باستخدام بيئة [MATLAB] تم وضع نموذج رياضي للمحرك التحريضي سداسي الطور ونمذجته وإظهار نتائج النمذجة بتغيير نسبة القصر μ .

عملياً قمنا بتشغيل المحرك ودراسة حالات عمل طبيعي وحالات قصر جزئي بين لفات الجزء الثابت ، تم إظهار النتائج باستخدام راسم إشارة رقمي موصول بحاسب.

قائمة المراجع (References):

[1]- د. مصطفى الحزوري & د.علي الجازي .استخدام البيئة البرمجية في النمذجة و المحاكاة للدارات الكهربائية . منشورات جامعة دمشق ٢٠٠٨.

[2] د. هاكوب بوغوص ، د. رائد الشرع

" كتاب الآلات التحريضية (اللاتزامنية) كلية الهندسة الكهربائية – جامعة دمشق – ٢٠١٦"

[3] Ahmed Sayed-Ahmed, Chia-Chou Yeh, Behrooz Mirafzal, and Nabeel A. O. Demerdash,"Analysis of Stator Winding Inter-Turn Short-CircuitFaults in Induction Machines for Identification of the Faulty Phase," IEEE Trans. Ind. Applications, Volume 3, 8-12 Oct. 2018 Page(s):1519 – 1524.

[4] Ameid, T., Menacer, A., Talhaoui, H., *et al.*: 'Discrete wavelet transform and energy eigenvalue for rotor bars fault detection in variable speed fieldoriented control of induction motor drive', *ISA Trans.*, 2018, 79, pp. 217–231

[5] Castelli Marcelo, Juan Pablo Fossatti and José Ignacio Terra, «Fault Diagnosis of Induction Motors Based on FFT» Universidad de Montevideo Uruguay . Published in print edition April, 2012

[6] C. B. Jacobina, R. S. Miranda, M. B. de R. Corrêa, A. M. N. Lima, "Disturbance-Free References 151operation of a six-phase AC motor drive system", IEEE Power Electronics Specialist Conference,Aachen Germany, 2014.

[7] Dash R., Subudhi B., Das S., 2010 “A comparison between MLP NN and RBF NN techniques for the detection of stator inter-turn fault of an induction motor”. Accepted in IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Robotics (IECR -2010) NIT Rourkela.

[8]- E. Levi, S.N. Vukosavic and M. Jones, “Vector control schemes for series-connected six phase two-motor drive systems,” *IEE Proc. – Electric Power Applications,* vol. 152, no. 2, pp.226-238, 2015.

[9] Gerard Aroquiadassou, Humberto Henao, “Experimental Analysis of the dqo stator current component spectra of a 42V fault-tolerant six-phase induction machine drive with opened stator phases”, Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, 2015. September 2015 , pp. 52-57.

[10]- G.K. Singh, “Multi-phase induction machine drive research – a survey,” *Electric Power Systems Research,* vol. 61, no. 2, pp.139-147, 2017.

[11] Hussein, AM, RA (2022) Detection and Diagnosis of Stator and Rotor Electrical Faults for Three-Phase Induction Motor via Wavelet Energy Approach. Electronics, 11 (8). p. 1253. ISSN 2079-9292 DOI: https://doi.org/10.3390/electronics11081253 Link to Leeds Beckett Repository record:

https://eprints.leedsbeckett.ac.uk/id/eprint/8551/

[12] J. F. Bangura, “A time-stepping coupled finite element-state space modeling for on-line
diagnosis of squirrel-cage induction motor faults,” Ph.D. dissertation, Marquette University,
Milwaukee, WI, 2021.

[13] Kulkarni A. G., JhaM., Qureshi M. F., 2014 “Simulation of Fault Diagnosis of Induction Motor Based on Spectral Analysis of Stator Current Signal Using Fast Fourier Transform”, International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 1(4), 40-47

[14] Pandey K . K., Zope P. H., Suralkar S. R., 2019 “Review on Fault Diagnosis in Three-Phase Induction Motor”. IJCA Proceedings on National Conference, 53-58

[15] S. He, X. Shen, and Z. Jiang, “Detection and location of stator winding interturn fault at different slots of dfig,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 89 342-89 353, 2019.

[16] Sarani, E., Abbaszadeh, K., and Ardebili, M, “Modeling and simulation of turn-fault and unbalance magnetic pull in induction motor based on magnetic equivalent circuit method”,Electrical machines and Systems, 2009, ICEMS 2005.Proceedings

of the Eighth Intenational

Conference on, vol. 1, pp. 52−56, 27−29 Sept. 2009.

[17] Tavner P. J and Penman J., “Condition monitoring of electrical machines”.

Hertfordshire, England: 2010.

[18] R. Bojoi, M. Lazzari, F. Profumo and A. Tenconi, “Digital Field Oriented Control for Dual-Three Phase Induction Motor Drives”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 39, No.3, (2020), pp. 752-760.

[19]N.F.M.Yasid,A.A.Alawady,M.F.M.Yousof,M.A.TalibandM.S.Kamarudin,**TheEffectofshortcircuitfaultinthree-phasecore-typedtransformer**,InternationalJournal of Power Electronics and Drive Systems(IJPEDS),vol.11,vo.1,pp.409–416,2022.
https://doi.org/10.11591/ijpeds.v11.i1.pp409-416

Abstract:

The rapid development of modern industrial systems is one of the important reasons that led experts to pay attention to...

This field of research is about modern techniques and components for building these systems, and the use of induction machines

Because of its rigidity and reliability, in addition to its simple structure and liquidity of its manufacture and investment, it enjoys high efficiency.

Induction motors account for more than 80% of motors used in the industrial and commercial sectors.

Given the need for induction motors and the necessity of following up on their operation, monitoring and maintenance, research and studies began.

Specialized in this field, working to find the best technologies to ensure optimal, continuous and safe work.

For me, it is difficult to deal with the faults that are exposed to me by the investor himself, and it has been shown Statistical studies of emergency situations in the operation of these systems show that malfunctions that lead to downtime can occur.

Partial or total damage to a system can cause significant economic losses in addition to its negative effects and risks on People and the environment.

Experience has shown that many accidents can be avoided if the fault is detected and pointed out in time.The right time.

High reliability and high capacity applications such as marine drilling rigs, aircraft engines and the system require Electric drive in electric cars, using multiphase motors because they have the ability to take off And work even if you lose one or more stages The great development in the field of power electronics has contributed to the forms of voltage-frequency converters that have made it possible to Change speed within a wide range.

If one of the phases in three-phase motors is damaged, it will inevitably generate a noticeable increase in torque ripples and loss.

Machine blind control, for six phase motors the motor is controlled even with three phases remaining Effective.

Also, faults in the six-phase machine coils represent a large portion of the failures that arise during the life of the machine.

Engine. When the engine is fed through a voltage regulator the condition tends to become worse due to Voltage constraints resulting from rapid switching of semiconductors in the junction often lead to insulation failure.

Between the files, which leads to a short circuit in the files.

The short circuit between the switches is the most harmful, as the current flowing in the short circuit is several times greater than the value.

The nominal value leads to an increase in temperature and the cumulative effect leads to the deterioration of the machine's operation.

The aim of this research is to design and implement a six-phase motor. The motor file design was based on the process of

Formation of the hexaphase file based on the triphase file, i.e. by dividing all the triphase groups into Two groups of six-phase induction motors, six poles, then study the operating conditions.

Different for normal working condition and case of short circuit between a number of coils and determining the degree of its intensity by setting

Mathematical model of this case and comparison with practical application.

It turns out that the higher the short circuit ratio, the more current is drawn and the more torque ripples and waves appear.

For harmonics, increasing the short circuit ratio to a certain limit may cause the machine to stop working.

Keywords:

Six phase induction motor - Induction motor faults - Switches in

Induction motor - short circuit between switches

syrian Arab Republic

Damascus University

Faculty of Mech.Elec.Engineering

Detection of partial short-circuit faults between the stator windings of a six-phase induction motor

Master thesis prepared for M.sc Degree in Electrical power Energies

By:

Eng. Suleiman Diab

Supervised by:

Dr. En Raed Alcharea

Academic year:

2024/2025