تشخيص عطب عدم إنتظام الفجوة الهوائية المختلط في المولد التزامني ذي الاقطاب البارزة بالاعتماد على بصمة التيار

أ.د. باسل محمد سعيد
Basilms2005@yahoo.com

أحمد هاشم أحمد
Ahmad.201154@yahoo.com

جامعة الموصل / كلية الهندسة / قسم الهندسة الكهرباء

الخلاصة

يتناول هذا البحث تشخيص عطب عدم إنتظام الفجوة الهوائية المختلط لمولد تزامني ثلاثي الطور ذي الاقطاب البارزة في زمن مبكر قبل تفاقمه باستخدام تقنية بصمة تيار المنتج وبصمة تيار المجال. تم استخدام طريقة العناصر المحددة (FEM) لتمثيل المولد التزامني وعطبه وتشخيصه ومقارنة نتائج التشخيص من خلال تحديد النوع والقيمة لمركبات الطيف الترددي لكلا التيارين مع نتائج التحليل العملية لمولد تم التعمد في احداث فيه هذا العطب في المختبر من خلال استخدام عينات من المحامل المعطوبة أو ازاحة احد الاقطاب أو كليهما معاً. أثبتت نتائج التمثيل والعملي بامكانية استخدام طريقة العناصر المحددة في تمثيل الماكنة التزامنية للحالات غير الطبيعية وهذا سينعكس ايجابيا على دراسة سلوك الماكنة عند حدوث عطب سببه كهربائي أو ميكانيكي.

الكلمات المفتاحية: عدم إنتظام الفجوة الهوائية، طريقة العناصر المحددة، تحليل بصمة تيار.

Mixed Air Gap Eccentricity Fault Diagnosis of a Salient Pole Synchronous Generator Based on Current Signature

Prof. Dr .Basil M. Saied
Basilms2005@yahoo.com

Ahmed . H. Ahmed
Ahmad.201154@yahoo.com

/ Mosul university Electrical Eng. Dept.

Abstract

This paper presents an air gap eccentricity fault Diagnosis of a salient Pole three phase synchronous generator. The detection and diagnosis of this type of fault is based on analyzing armature and field current signatures, using FFT . Therefore, the synchronous generator, under this type of fault, is modeled by using finite element method (FEM). Also practical results are performed in the lab with deliberately air gap eccentricity faults, by using samples of bearings malfunctioning or the removal of single or pair pole. The modeling and experimental results show that FEM is a reliable approach that can be used to model synchronous generator under electrical and mechanical faults.

Keywords: Air Gap Eccentricity, Finite Element Method, Current Signature.

أستلم: 22 – 5 - 2015 قبل: 5 – 5 - 2015

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1- مقدمة

تؤدي المكائن التزامنية دوراً مهما في أنظمة القدرة الكهربائية وتقسم هذه المكائن الى ثلاثة أقسام هي المحركات التزامنية التي لعبت دوراً مهماً في كثير من التطبيقات الصناعية بعد التطور الموسع في عالم الكترونيات القدرة [2-1]. والمعوضات التزامنية والمستخدمة للتحكم في إستقرارية الشبكة [3] والنوع الثالث وهو النوع المتعلق بالدراسة هي المولدات التزامنية التي تعتبر العصب الحيوي في بناء محطات انتاج الطاقة الكهربائية في أرجاء العالم والتي تدار بواسطة التوربينات المائية أو البخارية أو عن طريق مكائن الاحتراق الداخلي لتوليد الطاقة الكهربائية لتجهيز الشبكة.

وعلى الرغم من سعي شركات الانتاج الرصينة للوحدات التزامنية الحديثة إلى صناعة متينة توفر صيانة قليلة ومواصفات عالية الجودة لا توجد في كثير من المكائن الكهربائية الاخرى. الإ إن إحدى التحديات التي تواجه المولدة التزامنية اثناء فترة تشغيلها تعرضها لمختلف الأنواع من الأعطاب الكهربائية والميكانيكية والمختلطة، وهذه الأعطاب بتفاقمها تعتبر وسيلة فعالة لحدوث حالات تشغيلية وخيمة أو خروج المولدة من التزامن أو الخدمة. ومن هذه الأعطاب عدم إنتظام الفجوة الهوائية وهو من احد الاعطاب الميكانيكية الذي يهدد حياة الماكنة وادائها لان تفاقمه يسبب عدم إنتظام الفيض في الفجوة الهوائية واعياء المحامل بالاضافة إلى مسح الجزء الدوار [4]. لذا ازداد اهتمام الباحثين في ايجاد طرائق قادرة على تشخيص هذا العطب في مراحله المبكرة قبل تفاقمه، من اجل إعطاء قرار سديد عن حالة الماكنة وصيانتها. ومن هذه الطرائق تقنية بصمة التيار (Current Signature Analysis ,CSA) والتي لعبت دورا كبيرا في تشخيص ومراقبة الأعطاب في المكائن الكهربائية. حيث تتميز هذه الطريقة بكلفتها الواطئة وسهولة عملها ووثوقيتها العالية [5-6]، وتكمن الفائدة على قدرتها في تشخيص العديد من الاعطاب الميكانيكية والكهربائية(مثل عدم تمركز الفجوة الهوائية ،عدم محاذاة محور الدوران، دائرة القصر في ملفات المجال والمنتج ، المحامل، الفرش) استنادا الى نوع العطب وشدة قساوته [7]. كما أن هنالك العديد من المزايا التي دخلت على هذه التقنية نتيجة التطور الهائل في مجال الاتصالات والحواسيب منها عملية أرسال واستلام أشاره التيار (المجال، والمنتج) بصورة مباشرة (On Line) وهذه الفكرة تدعم الشخص الخبير في استخلاص معلومات العطب ونوعه وهو بعيد عن موقع العمل.

2- استعراض الاعمال السابقة:

تطرق كثير مِن الباحثين إلى تشخيص لعطب عدم إنتظام الفجوة الهوائية في الماكنة التزامنية وتنوعت ابحاثهم ودراستهم حول التقنيات المستخدمة في عملية الكشف والتشخيص. ولبيان أهمية البحث يمكن استعراض بعض ما نشر حول هذا الموضوع.

قام الباحثان (John. S.Hsu, Jan. Stein) [8] في عام 1994، دراسة تأثير عطب عدم تمركز الفجوة الهوائية الحركي، والتغيرات التي تصاحب عند حدوث هذا العطب على فولتية محور الدوران (Shaft Voltage) لماكنة تزامنية ذات الاقطاب البارزة. وتمكن الباحثان من تحديد مركبات هذا العطب على الطيف الترددي لفولتية محور الدوران فقط، اخذين بنظر الاعتبار تأثير حالة التشبع والتوافقية الثالثة التي تظهر بسب الظواهر غير الخطية للماكنة.

وتناول الباحث (I. Tabatabaei) وزملائه [9] في عام 2004، نمذجة وتمثيل عطب عدم انتظام الفجوة الهوائية الحركي فقط، لمولد تزامني ذي أقطاب بارزة باستخدام دوال الملفات التقليدية (WFM). واستخدم الباحثون تقنية بصمة تيار المنتج ومراقبة التغير الحاصل في المحاثة التبادلية بين الاطوار الجزء الساكن لكشف وتشخيص هذا العطب.

وقام الباحث (M. Kiani) واخرون [10] في عام,2007 باستخدام طريقة العناصر المحددة (FEM) في تمثيل عطب دائرة قصر في ملفات المجال وحالة عدم انتظام الفجوة الهوائية الحركي وتشخيصهم بالاعتماد على تحليل فولتية المولد التزامني في حيز التردد عند حالة انعدام الحمل فقط. كما عرض الفريق البحثي نتائج خطوط الفيض المغناطيسي عند هذه الأعطاب وملاحظة التغير الحاصل نتيجة تأثيرها تحت هذه الظروف.

وقام الباحث (C. Bruzzese) وفريقه البحثي [11] في عام 2009، باستخدام تقنية تحليل فولتية المنتج في حيز التردد باستخدام تقنية تحليل فورير السريع (FFT) لمولد تزامني ذي الاقطاب البارزة وفي حالة انعدام الحمل فقط. لتشخيص عطب عدم انتظام الفجوة الهوائية بنوعيه الساكن والحركي من خلال تمثيل الماكنة حاسوبياً باستخدام طريقة دوال الملفات التقليدية المتقدمة (MWFM). واستخدم الباحثون ايضا طريقة العناصر المحددة ذات الابعاد الثلاثية (FEM 3D) لحساب المفاعلات التسربية للماكنة ومحاكاة نتائجهما.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

ثم قام الباحث (B. A. T. Iamamura) واخرون [12] في عام 2012، باستخدام تقنية تحليل إشارة الفيض المغناطيسي فقط، في حيز الزمن والتردد من خلال استخدام متحسس تم وضعه في الجزء الساكن للمولد التزامني وتم اختيار مواضع وزوايا مختلفة لموقعه داخل شقوب المنتج لكشف عطب عدم انتظام الفجوة الهوائية الساكن. وقام الباحثون بتَحقق التشخيص عن طريق تمثيل مولد معرض إلى مثل هذا العطب باستخدام FEM واستحصال الفيض المغناطيسي المطلوب لمقارنته مع الفيض القادم من المتحسس.

3-عطب عدم إنتظام الفجوة الهوائية Air Gap Eccentricity

عطب عدم إنتظام أو عدم تمركز الفجوة الهوائية هو احد الاعطاب الميكانيكية التي يمكن للمولدة التزامنية ذات الاقطاب البارزة ان تتعرض لها. حيث ينشأ هذا العطب نتيجة مصادر ميكانيكية تتمثل بعدم محاذاه المحامل وعدم تمركز محور الدوران، اي عدم تمركز الحمل الميكانيكي أو حدوث تشوه في اجزاء القلب الحديدي لاقطاب الجزء الدوار والذي يعود إلى اسباب تصنيعية. إن لكل ماكنة نسبة من عدم تمركز الفجوة الهوائية وتعتبر هذه النسبة عطب اذا تجاوزت 10% [13-14]. وتحسب هذه النسبة حسب العلاقة الاتية:

$$\%\ \text{تمركز الفجوة الهوائية} = \frac{\text{الفجوة الهوائية الحقيقية} - \text{الفجوة الهوائية الحالية}}{\text{الفجوة الهوائية الحالية}} \times 100$$

يمكن كشف وتشخيص هذا العطب من خلال مراقبة الطيف الترددي لكل من تيار المجال وتيار المنتج (بصمة التيار) باستخدام تقنية تحويل فوريير السريع (FFT)، اذ يؤدي هذا العطب إلى اضافة مركبات على تيارات الماكنة. ويتضمن هذا العطب ثلاثة انواع رئيسة هي [14-15]:

أ- عدم إنتظام الفجوة الهوائية الساكن(SE) Static Air Gap Eccentricity

ينشأ هذا العطب عند حدوث ازاحة نقطة المركز(Offset) لجزء الساكن (Os) عن مركز الدوران (Oc) ومركز الجزء الدوار(Or) المتطابقين، وكما مبين في الشكل رقم (1) [15]. وسبب هذه الازاحة نتيجة أعطاب تقع في المحامل أو بيتها أو تعود إلى دوافع تصنيعية. ويمكن تشخيص هذا العطب من خلال مراقبة الطيف الترددي لتيار المجال (FCSA) ومن خلال العلاقة الاتية [14] :

$$F_{FSE} = \left(6h \pm \frac{km}{p}\right) fs \qquad \ldots(1)$$

حيث تمثل :

F_{FSE}: تردد المركبات الناتجة لتيار المجال بسبب عدم إنتظام الفجوة الهوائية الساكن.

k &h : ثوابت عددية صحيحة (0,1,2,3,..). m ثوابت عددية صحيحة(0 ,2 p,4 p,..).

f_s : تردد المصدر بوحدة (Hz). p : عدد ازواج الاقطاب.

كما يمكن مراقبة الطيف الترددي لتيار المنتج (ACSA) من خلال العلاقة الاتية:

$$F_{SSE} = \left(n \pm 6h \pm \frac{km}{p}\right) fs \qquad \ldots(2)$$

حيث تمثل:

F_{SSE}: تردد المركبات الناتجة لتيار المنتج بسبب عدم إنتظام الفجوة الهوائية الساكن (Hz).

n : ثوابت عددية صحيحة (1,5,7,.....). h : ثوابت عددية صحيحة (1,2,3,.....) .

ب- عدم تمركز الفجوة الهوائية الحركي (DE) Dynamic Air Gap Eccentricity

ينشأ هذا العطب عند حدوث ازاحة للفجوة الهوائية عن نقطة اصلها المركزية والتي تدور مع محور الدوران (Shaft) بسبب ازاحة مركز الجزء الدوار (Or) عن المركزين الاخرين (Oc,Os) المتطابقين كما مبين في الشكل (1) [15]. ومصدر هذه الازاحة تعود إلى اسباب ميكانيكية منها انحناء الجزء الدوار (Bent Shaft) وإعياء المحامل (Bearing Wear) واسباب تصنيعية وأخرى ميكانيكية. ويمكن تشخيص هذا العطب من خلال مراقبة الطيف الترددي لتيار المجال (FCSA) من خلال العلاقة الاتية [14] :

$$F_{FDE} = \left(6h \pm \frac{km}{p}\right) fs \qquad m = 0; \qquad \ldots(3)$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

F_{FDE}:تردد المركبات الناتجة لتيار المجال بسبب عدم إنتظام الفجوة الهوائية الحركي(Hz).
$k\ \&h$: ثوابت عددية صحيحة (.....,0,1,2,3) .
كما يمكن مراقبة الطيف الترددي لتيار المنتج (ACSA) من خلال العلاقة الاتية:

$$F_{SDE} = \left(n \pm 6h \pm \frac{km}{p}\right) fs \qquad m = 0; \qquad ...(4)$$

F_{SDE}:تردد المركبات الناتجة لتيار المنتج بسبب عدم إنتظام الفجوة الهوائية الحركي(Hz).
h : ثوابت عددية صحيحة (.....,1,2,3). n : ثوابت عددية صحيحة (.....,1,5,7) .

ج- عدم تمركز الفجوة الهوائية المختلط (ME) **Mixed Air Gap Eccentricity**
ينشأ هذا العطب عند حدوث النوعين السابقين (SE&DE) **بسبب ازاحة مركز جزء الساكن** (Os) **و مركز الدوران** (Oc) **ومركز الجزء الدوار**(Or) عن مركزهم الاصلي، كما مبين في الشكل (1) [15]. ويعد هذا النوع أكثر شيوعا[4].
ويمكن تشخيص هذا العطب من خلال مراقبة الطيف الترددي لتيار المجال (FCSA) من خلال العلاقة الاتية [14]:

$$F_{FME} = \left(6h \pm \frac{km}{p}\right) fs \qquad ...(5)$$

F_{FME}: تردد المركبات الناتجة لتيار المجال بسبب عدم إنتظام الفجوة الهوائية المختلط بوحدة (Hz).
m: ثوابت عددية صحيحة (.....,0 ,1,2,3) .
k &h : ثوابت عددية صحيحة (.....,0,1,2,3) .

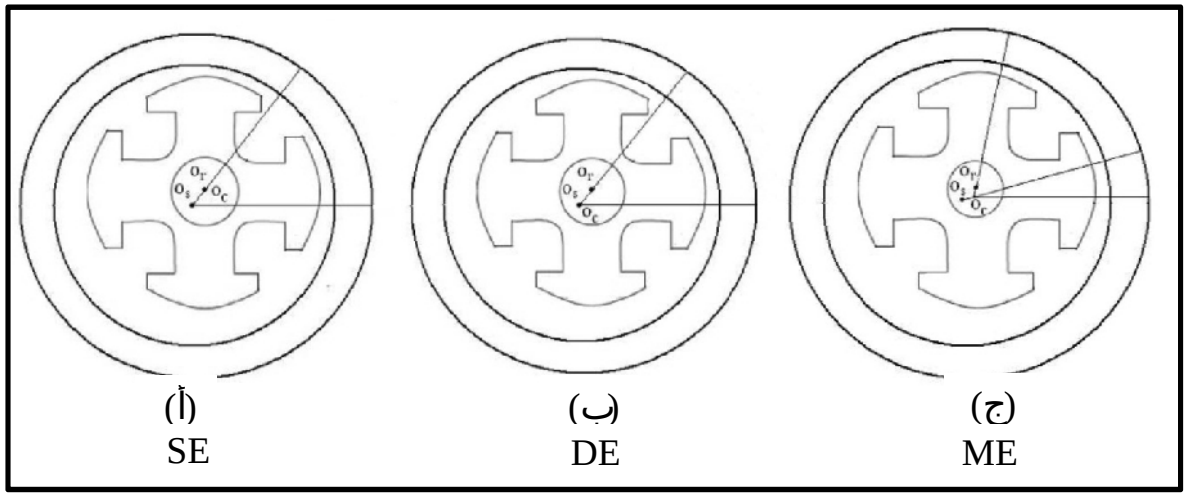
كما يمكن مراقبة الطيف الترددي لتيار المنتج (ACSA) من خلال العلاقة الاتية:

$$F_{SME} = \left(n \pm 6h \pm \frac{km}{p}\right) fs \qquad ...(6)$$

F_{SME}:تردد مركبات الناتجة لتيار المنتج بسبب عدم إنتظام الفجوة الهوائية **المختلط بوحدة** (Hz).

h : ثوابت عددية صحيحة (.....,1,2,3). n : ثوابت عددية صحيحة (.....,1,5,7).

m: ثوابت عددية صحيحة (.....,0 ,1,2,3) .



للشكل رقم (1) الماكنة تحت عطب عدم تمركز الفجوة الهوائية.

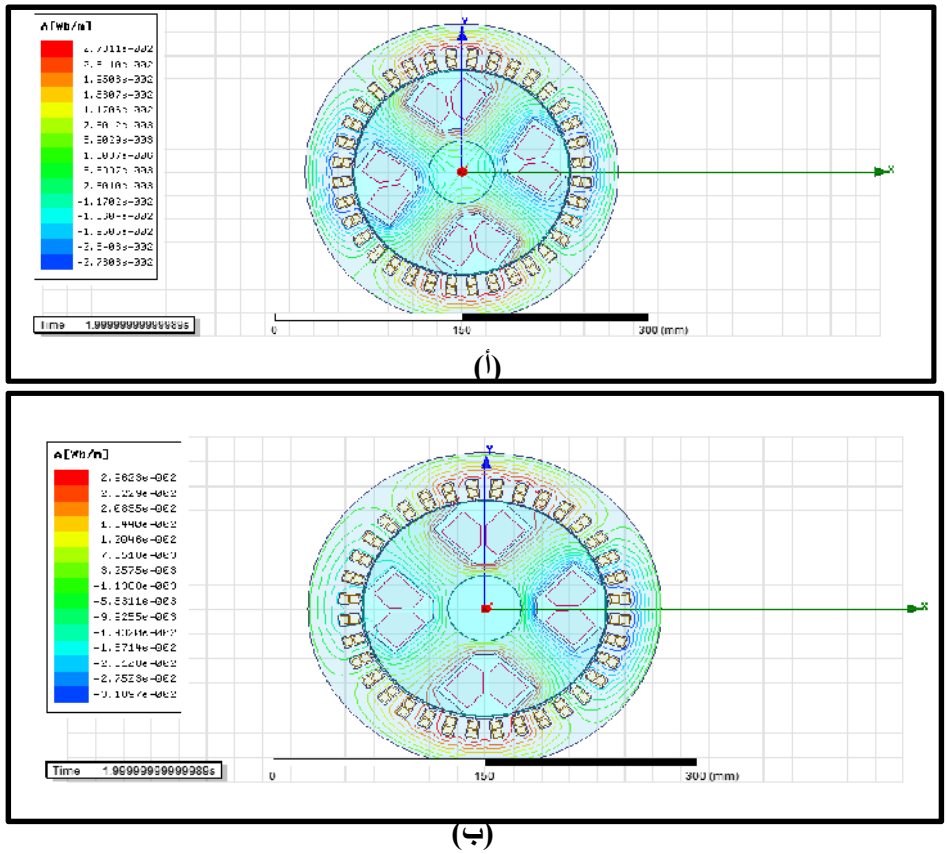
(أ) عدم تمركز الفجوة الهوائية الساكن. **(ب)** عدم تمركز الفجوة الهوائية الحركي. **(ج)** عدم تمركز الفجوة الهوائية المختلط.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

3- تمثيل عطب عدم إنتظام الفجوة الهوائية المختلط ونتائج تشخيصه:

تم تمثيل عطب عدم إنتظام الفجوة الهوائية المختلط عن طريق ازاحة الجزء الدوار و نقطة تمركز محور دوران الماكنة. حيث تم بناء الماكنة وعطبها باستخدام برنامج (Maxwell.14)، وهومن انتاج شركة سيمنس (Siemens) الالمانية لسنة 2010 وينتمي إلى عائلة برنامج الANSYS والمعتمد على طريقة العناصر المحددة (FEM)، التي أثبتت نجاحها في تمثيل حقيقي فيزيائي للماكنة في حالتها الطبيعية وذلك عن طريق إيجاد الحلول العددية لمعادلات ماكسويل وتطبيقها على سلوك الهندسي للماكنة ومواصفاتها للحصول على عناصرها ومتغيراتها الكهربائية والمغناطيسية [16-17]. حيث إن الطرائق التقليدية المستخدمة في تمثيل الماكنة التزامنية لا يمكنها تمثيل مثل هذا النوع من الأعطاب بوضعه الحقيقي [18]. لذلك مثلت الماكنة التزامنية بخصائصها الحقيقية من توزيع لفائفها وشقوبها وبروز أقطابها وموادها وشكلها الهندسي بالإضافة إلى تمثيل ظواهرها غير الخطية من خلال بناء الشكل الهندسي للماكنة (ذوشكل ثنائي البعد (2-D)) كأبعاد الاقطاب والقلب الحديدي واقطار الداخلية والخارجية للجزء الدوار والمنتج وشكل الشقوب وابعادها وطريقة لف لفائف منتجها ومجالها باستخدام FEM. وتمت هذه العملية من خلال تفكيك الماكنة عملياً في المختبر وقياس ابعادها، ويوضح الملحق(A) بعض الابعاد المقلسة ومقننات الماكنة التزامنية. بعد ذلك يتم تخصيص المواد المختلفة التي تتألف منها الماكنة كالنحاس والحديد والهواء ...الخ. ويتم هنا ادراج تأثير منحني المغنطة (B-H Curve) والخصائص الحرارية للمواد الكهربائية والمغناطيسية.

تم تطبيق نظرية العناصر المحددة لغرض حساب متجه الجهد المغناطيسي(Magnetic Vector Potential(MVP)، والذي بدوره سيعطي توزيعاً حقيقياً للمجال المغناطيسي والقوة الدافعة المغناطيسية (MMF) ضمن حدود الماكنة ليتم حساب كافة المتغيرات الكهربائية والمغناطيسية. تم اختيار نسبة عدم تمركز الفجوة الهوائية بمقدار(47%). ويبين الشكل رقم (2) نتائج محاكاة المولد قبل وبعد عطب عدم الإنتظام وتوزيع خطوط الفيض المغناطيسي وموقع الجزء الدوار عند اللحظة (2sec) من بدء التشغيل في حالة عمل الماكنة كمولد مرتبط مع الشبكة وعند نصف الحمل التام وذي تيار مجال (1.5A). بينما يوضح الشكل رقم (3) تحليل كل من إشارة تيار المنتج للاطوار الثلاثة وإشارة تيار المجال قبل وبعد وقوع هذا العطب ليتم تشخيص هذا العطب وتحديد مركباته. حيث بعد حدوث هذا العطب نلاحظ ظهور مركبات العطب على اطراف المركبة الاساسية ((56.04dB),(53.49dB)) في الطيف الترددي لتيار المنتج. أما عند تحليل تيار المجال نلاحظ ظهور ترددات العطب المتمثلة ب ($0.5f_s, 1f_s$).

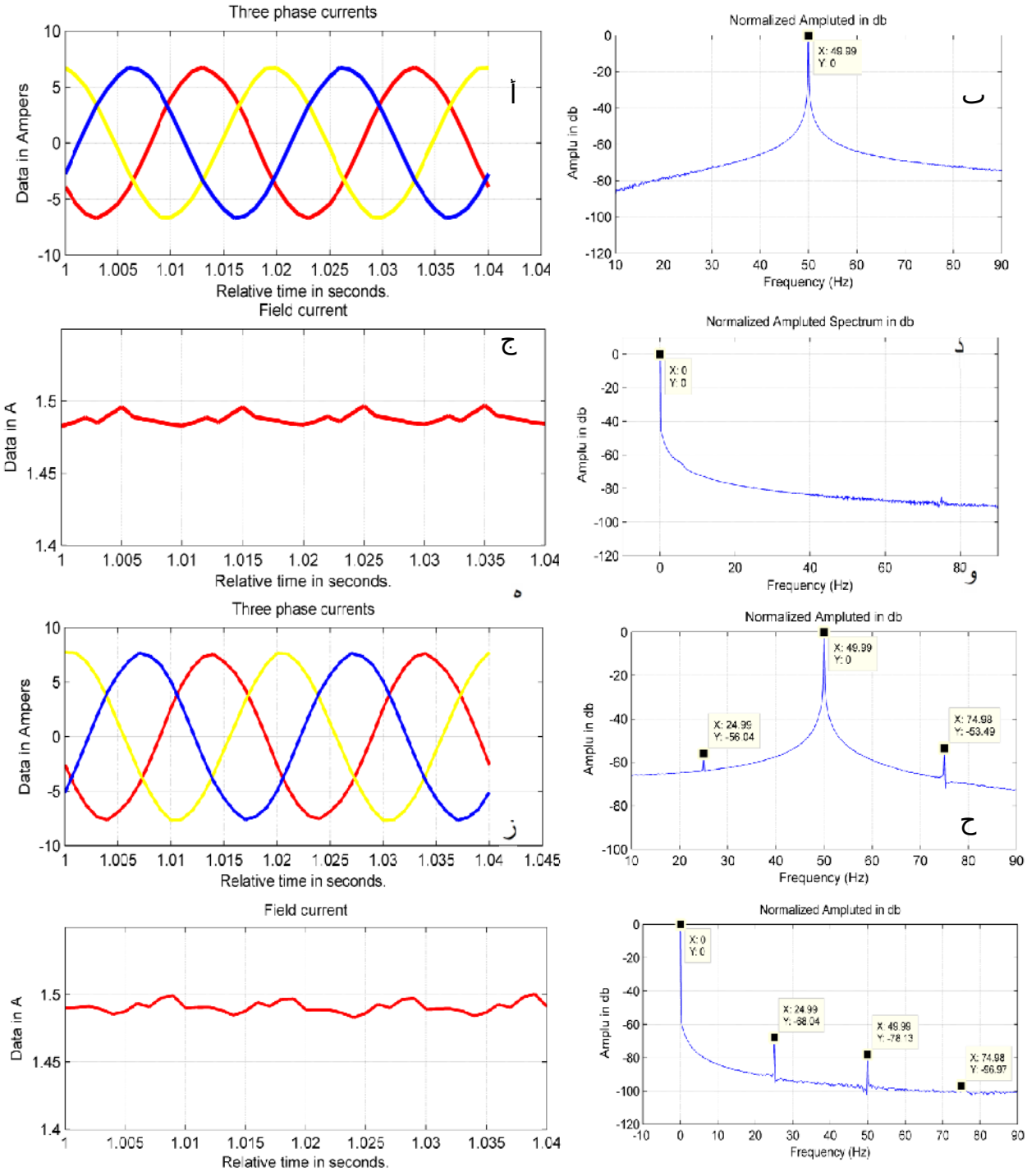


(أ)

(ب)

شكل (2) تمثيل المولد التزامني ذو الاقطاب البارزة ومحاكاته:
(أ) المولد قبل وجود عدم إنتظام الفجوة الهوائية المختلط. (ب) المولد بعد وجود عدم إنتظام الفجوة الهوائية المختلط.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل (3) نتائج التمثيل بالحاسبة لتيار المنتج وتيار المجال لمولد تزامني :

(أ) إشارة تيار المنتج في حيز الزمن قبل العطب. (ب) تحليل إشارة تيار المنتج في الحيز الترددي قبل العطب.

(ج) إشارة تيار المجال في حيز الزمن قبل العطب. (د) تحليل إشارة تيار المجال في الحيز الترددي قبل بعطب.

(ه) إشارة تيار المنتج في حيز الزمن بعد العطب. (و) تحليل إشارة تيار المنتج في الحيز الترددي بعد العطب.

(ز) إشارة تيار المجال في حيز الزمن بعد العطب. (ح) تحليل إشارة تيار المجال في الحيز الترددي بعد العطب.

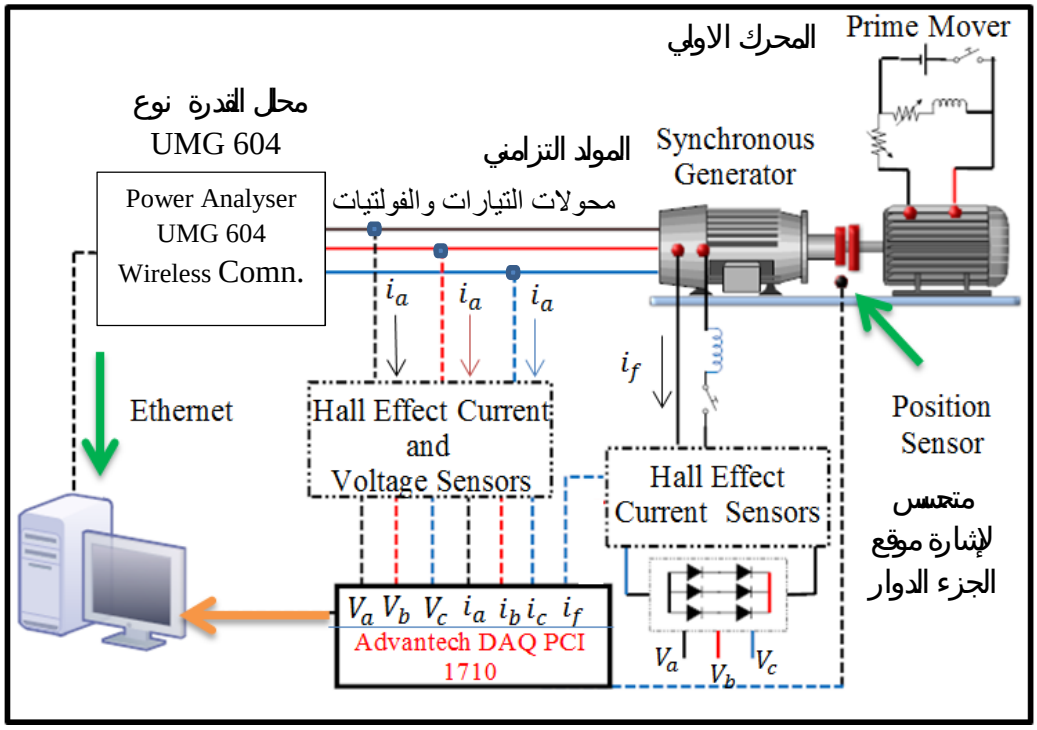
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

4- المنظومة العملية المستخدمة في الكشف والتشخيص:

إن المنظومة العملية التي تم بناؤها لتكون قادرة على كشف وتشخيص الأعطاب بالاعتماد على بصمة التيار يمكن توضيحها بمخطط كتلي والمبين في الشكل (4)، والتي تتكون من مرحلتين اساسيتين الاولى ربط الدائرة العملية والثانية بناء البرمجيات المعتمد عليها في استخلاص معلومات العطب وتشخيصه. تم استخدام ماكنتين تزامنيتين متماثلتين ثلاثيتي الطور ذواتي أقطاب بارزة وكل من ذات خصائص موضحة في الملحق (أ)، احداهما تم تفكيكها في المختبر للحصول على ابعادها ومواصفاتها لاستخدامها في تمثيل الماكنة وتشخيص أعطابها حاسوبياً بطريقة العناصر المحددة (FEM) كما سبق ذكره في الفقرة السابقة، والاخرى تم استخدامها في بناء الدائرة العملية واجراء عليها عطب عدم تمركز الفجوة الهوائية المختلط.

تم قياس تيارات الاطوار الثلاثة للمنتج عن طريق ربط ثلاث محولات تيار (C.T) من نوع (LA 25-NP) . لها تيار المجال فتم قياسه عن طريق ربط محولة تيار (C.T) اخرى من نوع (LA 205-S). وهذه المتحسسات من انتاج شركة (LEM) تعمل بظاهرة تأثير هول (Hall Effect Current Probe)، وذات مواصفات خطية.

بعد تكيف الإشارات وعزلها بواسطة المتحسسات تم ادخال هذه الإشارات إلى الحاسبة عن طريق بطاقة اكتساب البيانات من نوع PCI 1710، لشركة Advantech وذات تردد تقطيع 100KHz. وتم استخدام برنامج (MATLAB) في بناء البرمجيات اللازمة بمحاكاة بطاقة اكتساب البيانات(Data Acquisition Card) لغرض ادخال الإشارات القادمة من قنواتها إلى الحاسبة وعرضها وتحليلها بالاستخدام تقنية فوريير السريع (FFT). كذلك تحديد تردد العينة (Sampling Frequency) وعدد العينات (Number of Samples) ومدى قيمة الإشارة الادخال ووحدة قياسها. وقد تم اختيار تردد اخذ العينات قدره (F_S=4096 Hz) وعدد العينات (N_S=32768) ليصبح الزمن المطلوب للإشارة المحللة ($T=N_S \times 1/F_S$) بمقدار (T=8sec)، والحصول على Δf بمقدار(0.125 Hz).



الشكل (4) المخطط الكتلي للمنظومة العملية المستخدمة في الكشف والتشخيص والتحليل.

5- محاكاة عطب عدم انتظام الفجوة الهوائية المختلط ونتائج تشخيصه:

يمكن محاكاة هذا العطب عملياً من خلال تحقيق احد الاسباب التي تؤدي إلى حدوثه. كما إن مسببات هذا العطب احدهما يفاقم الاخر لينتج ذخيرة من الأعطاب وصولاً بمسح الجزء الدوار. فمثلاً عند حدوث عطب في المحامل ممكن أن يؤدي إلى عدم انتظام الفجوة الهوائية واستمراره مع مرور الوقت يعمل إلى زيادة في إهتزاز جسم الماكنة وهذا الإهتزاز يمكن أن يؤدي إلى عمل رخاوة في قواعد التثبيت لأحد الاقطاب ليزيد من شدة وقساوة هذا العطب والعكس صحيح. في هذا

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

البحث تم تحقيق هذا النوع من الأعطاب عن طريق استخدام ثلاث طرائق تَوقع حدوثها بنسبة عالية، والتي يمكن من خلالها احداث حالة عدم انتظام في الفجوة الهوائية المختلط، وبنسب مختلفة اعلى من المسموح بها. وكانت هذه الطرائق:-

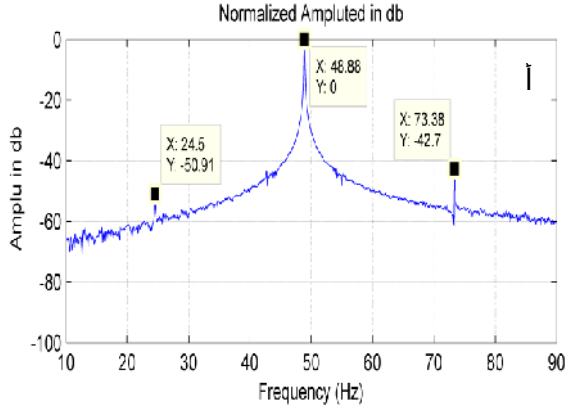
1- إزاحة احد أقطاب الجزء الدوار باتجاة عامودي.
2- استخدام عينات من المحامل المعطوبة والتي أدت إلى حدوث مثل هذا العطب.
3- استخدام عينات المحامل وإزاحة احد الاقطاب في الوقت نفسه. الشكل (5) يوضح محاكاة هذا العطب.

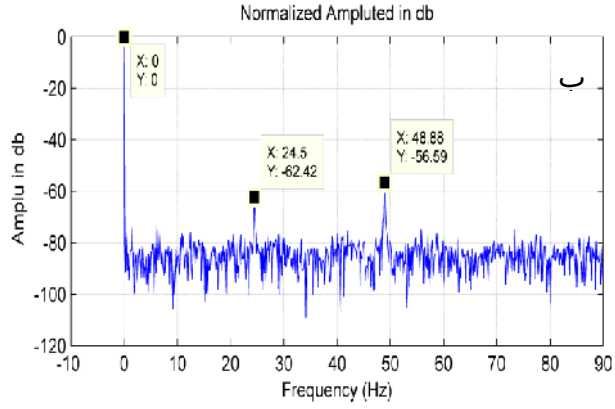
عند تحليل إشارة التيارين للمنتج والمجال تحت ظروف هذا العطب، وعند تشغيل الماكنة مولداً تزامنياً مرتبطاً بالشبكة عند نصف الحمل تم ملاحظة واستنتاج ما يأتي:-

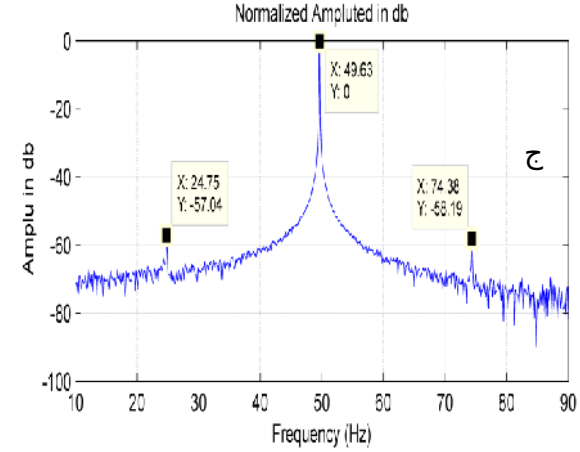
شكل(5) محاكاة عطب عدم إنتظام الفجوة الهوائية المختلط.

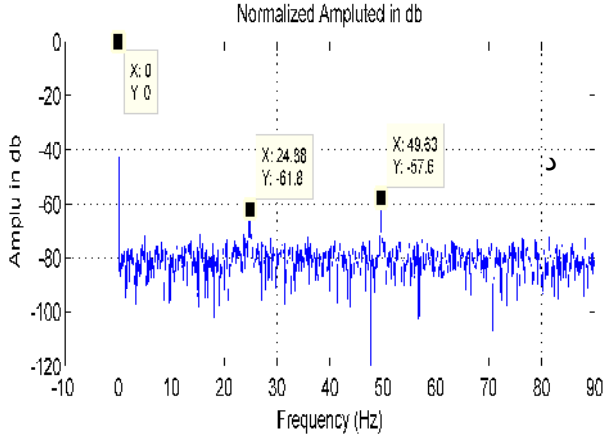
- في حالة تحقيق هذا العطب بالاعتماد على إزاحة احد الاقطاب لوحظ ظهور مركبات العطب على جانبي المركبة الاساسية عند تحليل تيار المنتج وكما موضح في الشكل (6-(أ)). حيث نلاحظ المركبة الجانبية اليسرى (24.5Hz) بمقدار (-50.91dB). بينماالمركبة الجانبية اليمنى (73.38Hz) بمقدار(-42.7dB). أما عند تحليل تيار المجال لوحظ مركبة العطب عند (24.5Hz) بمقدار (-62.42dB). كما موضح في الشكل (6-(ب)).
- في حالة تحقيق هذا العطب بالاعتماد على استخدام عينات المحامل المعطوبة لوحظ ظهور مركبات العطب على جانبي المركبة الاساسية عند تحليل تيار المنتج وكما موضح في الشكل(6-(ج)). حيث نلاحظ المركبة الجانبية اليسرى (24.75Hz) بمقدار (-57.04dB). بينماالمركبة الجانبية اليمنى (74.38Hz) بمقدار(-58.19dB). أما عند تحليل تيار المجال لوحظ مركبة العطب عند (24.88Hz) بمقدار (-61.8dB). كما موضح في الشكل (6-(د)).
- في حالة تحقيق هذا العطب بالاعتماد على الطريقتين السابقتين في الوقت نفسه لوحظ ظهور مركبات العطب على جانبي المركبة الاساسية ايضاً عند تحليل تيار المنتج وكما موضح في الشكل (6-(ه)). حيث نلاحظ المركبة الجانبية اليسرى (24.88Hz) بمقدار (-35.37dB). بينماالمركبة الجانبية اليمنى (74.75Hz) بمقدار(-35.37dB). أما عند تحليل تيار المجال لوحظ مركبة العطب عند (24.88Hz) بمقدار (-49.99dB). وكما موضح في الشكل(6-(و)).

ومن خلال نتائج العملي ومقارنتها مع النتائج التمثيل الموضحة في الجدول (1)، ابرز البحث امكانية استخدام FEM لغرض التشخيص وايجاد بيانات يستفاد منها في اتخاذ القرار حول طبيعة ونوع و درجة خطورة العطب والذي يساهم في التقليص من الجهد و الكلفة اذا ما قورنت بالتجارب المختبرية.

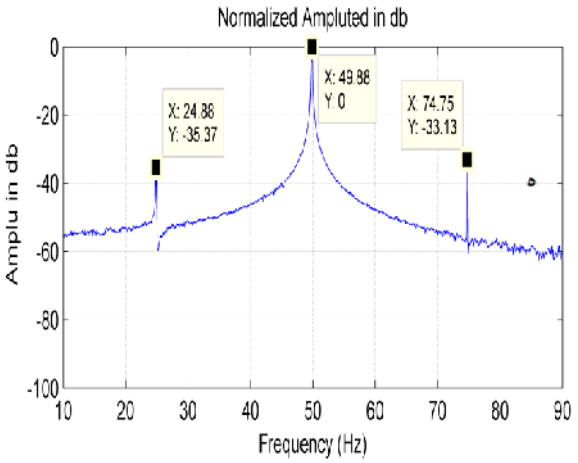


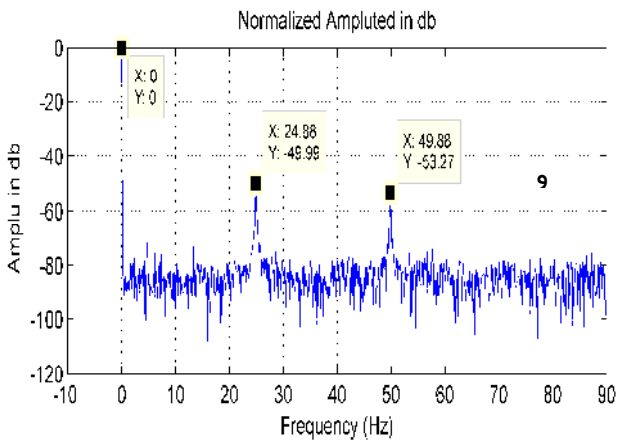






المنارة للاستشارات
www.manaraa.com





(أ) تيار المنتج في حيز الترددي عند ازاحة احد الاقطاب. (ب) تيار المجال في الحيز الترددي عند ازاحة احد الاقطاب.

(ج) تيار المنتج في حيز الترددي عند المحامل المعطوبة. (د) تيار المجال في الحيز الترددي عند المحامل المعطوبة.

(ه) تيار المنتج في حيز الترددي عند ازاحة احد الاقطاب والمحامل المعطوبة معاً.

(و) تيار المجال في الحيز الترددي عند ازاحة احد الاقطاب والمحامل المعطوبة معاً.

الجدول رقم (1) مقارنة نتائج التشخيص العملية مع نتائج التمثيل لعطب عدم إنتظام الفجوة الهوائية المختلط.

تشخيص عطب عدم إنتظام الفجوة الهوائية المختلط	مركبات العطب في بصمة تيار المنتج (dB)		مركبات العطب في بصمة تيار المجال (dB)	
	$0.5f_s$	$1.5f_s$	$0.5f_s$	$1f_s$
محاكاة العطب تمثيلياً باستخدام (FEM)	-56.04	-53.49	-68.04	-78.13
محاكاة العطب عملياً عند ازاحة احد الاقطاب	-50.91	-42.7	-62.42	-56.59
محاكاة العطب عملياً عند استخدام المحامل المعطوبة	-57.04	-58.19	-61.8	-57.6
محاكاة العطب عملياً عند استخدام محامل المعطوبة مع ازاحة احد الاقطاب	-35.37	-33.13	-49.99	-53.27

6- الاستنتاجات:

إن تمثيل الماكنة بطريقة (FEM) يساعد على إعطاء وصف حقيقي للماكنة بأبعادها ومواصفاتها الكهربائية والمغناطيسية والحرارية، وأدائها علاوة على قابليتها في محاكاة الخصائص غير الخطية، بالإضافة إلى ذلك تُمكننا هذه الطريقة من تمثيل حقيقي لملفات المجال وملفات المنتج وتوزيعها. واظهرت طريقة الFEM خلال مراحل بناء الماكنة قابليتها العالية في تمثيل مختلف الانواع من الأعطاب الميكانيكية والكهربائية والمزدوجة وتشخيصها ومن بينهم العطب الذي تم تمثيله كنموذج والمتعلق بالدراسة في هذا البحث وبينت نتائج تشخيص هذا العطب بالاعتماد على بصمة التيار توافقاً كبيراً مع النتائج العملية والنظرية وهذا, ما يدفعنا إلى القول إن طريقة بصمة التيار يمكن الاعتماد عليها لكشف وتشخيص مثل هذا النوع من الأعطاب بدقة عالية بالإضافة الى استخدام طريقة FEM لغرض الحصول على قاعدة بيانات لغرض تشخيص العطب ودرجة تفاقمه والبديل عن الاختبارات العملية و التي تكون كلفتها عالية اضافة الى صعوبة اجراء الاعطاب على مكائن ذات قدرة عالية. ومن خلال مراقبة نتائج التحليل لقيم مركبات هذا العطب التي ظهرت في

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

بصمة تيار المنتج وتيار المجال، يمكن استنتاج إن الماكنة المعرضة **لعطب محامل مع ازاحة احد الأقطاب في** الوقت نفسه يعتبر اكثر قساوة من **حالة تعرض الماكنة لاحدى المسببات الاخرى** لهذا العطب **بصورة مفصلة.**

7- المصادر:

[1] A. Barakat, S. Tnani, G. Champenois and E. Mouni "Analysis of synchronous machine modeling for simulation and industrial applications", Simulation Modelling Practice and Theory Journal, Vol. 18, pp.1382-1396, Oct 2010.

[2] M. Zhang, A. Macdonald, K. Tseng and G.M. Burt, "Magnetic equivalent circuit modeling for interior permanent magnet synchronous machine under eccentricity fault", 48th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Dublin, pp.1-6, Sep 2013.

[3] D. Al-Nimma, M. Matti. "Reactive Power Control of an Alternator with Static Excitation System Connected to a Network", AL Rafiadain Engineering Journal, Vol. 18,No. 3, , Mosul-Iraq, pp. 29-45, Jun 2010.

[4] B. M. Ebrahimi, M. J. Roshtkhari, J. Faiz, S. V. Khatami, "Advanced Eccentricity Fault Recognition in Permanent Magnet Synchronous Motors Using Stator Current Signature Analysis", IEEE Transaction on Industrial Electronics,Vol.61,NO. 4, APRIL 2014.

[5] Basil, M. Saied, Yaser M. Ameen, Mohammed H. Saoud, "Detection of Broken Bars of a Three Phase Induction Motor". Al-Rafiadain Engineering Journal,Vol.20, No. 4 , Mosul-Iraq, pp. 25-32, October 2012.

[6] Basil, M. Saied, Yaser M. Ameen, "Intelligent Technique for Three-Phase Induction Motor Inter Turn Short Circuit Faults Diagnosis Based on Voltage and Current Unbalance Percentage", LAICEEE, Oct., 23, 2010.

[7] M. Akar and İ. Çankaya, "Diagnosis of Static Eccentricity Fault in Permanent Magnet Synchronous Motor by On-Line Monitoring of Motor Current and Voltage ", Istanbul University-Journal of Electrical & Electronics Engineering, Vol. 9, pp. 959-967, 2009.

[8] John S.Hsu, Jan Stein "Shaft Signals of a Salient-Pole Synchronous Machine For Eccentricity and Short Field-Coil Detections", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 9, pp. 572-578, Set 1994.

[9] I. Tabatabaei, J. Faiz, H. Lesani, and M. T. Nabavi-Razavi, "Modeling and Simulation of a Salient-Pole Synchronous Generator With Dynamic Eccentricity Using Modified Winding Function Theory", IEEE Transaction on Magnetics. Vol. 40, pp. 1550-1555, May 2004.

[10] M. Kiani, W-J. Lee, R. Kenarangui, and B. Fahimi, "Detection of Rotor Faults in Synchronous Generators", IEEE International Symposium Conference on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, Cracow, pp. 266-271, Sep 2007.

[11] C. Bruzzese, E. Santini, V. Benucci and A. Millerani, "Model-based eccentricity diagnosis for a ship brushless-generator exploiting the Machine Voltage Signature Analysis (MVSA) ", IEEE International Symposium Conference on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, Cargese, pp. 1-7, Sep 2009.

[12] B. A. T. Iamamura, Y. Le Menach, A. Tounzi, N. Sadowski, E. Guillot, T. Jacq and J. Langlet, "Study of Synchronous Generator Static Eccentricities – FEM Results and Measurements", XXth International Conference on Electrical Machines (ICEM), Marseille, pp. 1829-1835, Sept 2012.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

[13] S. Nandi, H. A. Toliyat and X. Li, "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors- A Review", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 20, pp. 719-729, Dec 2005.

[14] I. T. Chelvan, "Non-Invasive Detection of Air Gap Eccentricity in Synchronous Machines Using Current Signature Analysis", Ph.D Thesis, University of Victoria, 2012.

[15] H. Akbari, "An improved analytical model for salient pole synchronous machines under general eccentricity fault", Progress In Electromagnetics Research B Journal, Vol. 49, pp. 389-409, 2013.

[16] K. Hameyer and R. Belmans, "Numerical Modeling and Design of Electrical Machines and Devices". Southampton, U.K.: WIT Press, 1999.

[17] Basil M. Saied, Ahmed J. Ali, " Fault Prediction of Deep Bar Cage Rotor Induction Motor Based on FEM", Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 53, 291-314, 2013, ww.jpier.org/PIERB/pier.php?.

[18] Basil M. Saied, Ahmed . H. Ahmed, "Modeling and Simulation of Salient Pole Synchronous Machine With Comparison Between Actual and d-q Models", Second Scientific Engineering Conference, Mosul, Vol. 2, pp.41-56, Nov 2013.

الملحق (أ)

عناصر المولد التزامني ذي الاقطاب البارزة.

The parameter specification of synchronous generator under study.

Generator	Data
Rated power	6.2kVA
Rated speed	1500 Rpm
Line voltage	380 V Y
Field current	3.6A
Number of poles	4
Outer diameter of the stator core	254 mm
Inner diameter of the stator core	177 mm
Length of the stator core	105 mm
Inner diameter of the rotor core	53 mm
Number of slots of the stator	36
Number of conductor per slots	14
Coil pitch of the stator winding	7
Number of conductor per pole of the rotor	420
Pole shoe width	93 mm
Pole shoe height	16 mm
Pole body width	42 mm
Rotor Inertia	0.0737023 (kg. m^2)

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com