

## تحليل الاهتزاز في مولد منزلي بسيط

د. موفق علي توفيق\* و علاء عبد الهادي جبر\*

تاريخ التسليم: 2008/11/10

تاريخ القبول: 2009/6/4

## الخلاصة

يقدم البحث الحالي تحليلاً للاهتزاز مولد كهربائي صغير يستعمل في أغلب المنازل العراقية من نوع (ASTRA 3000) يعطي قدرة كهربائية (2200W) وقد تم التحليل باتباع طريقة المصفوفات الانتقالية، وبطبيعة الحال فإن هذا المولد يتكون من نظام دوار وغلاف بدن وكراسي تحميل لذلك فقد تم بناء نموذج رياضي يحاكي هذه المنظومة. يتكون النموذج الرياضي المعد من عتبتين مرتبطتين مع بعضهما بعدد من النوابض والمخمدات إذ تم تمثيل النظام الدوار بعتبة دوارة تحت تأثير العزم الجيروسكوبي، أما غلاف البدن فإنه يمثل بعتبة غير دوارة. وقد تم التعبير عن كراسي التحميل بمعاملين للمرونة ومعاملين للتخميد، وكذلك فإن هذا النموذج يأخذ بنظر الاعتبار تأثير الدعائم الساندة لغلاف البدن والتي تم تمثيلها بنابض مرن ومخمد، أما قوة الممانعة المغناطيسية المتولدة في عضو التوليد في المولد فقد تم ايجادها وتحويلها إلى نوابض مرنة وتمثيلها في النموذج المعد.

تناول البحث الحالي دراسة تأثير كل من الحمل الكهربائي المتغير، وصلابة قطع المطاط الساندة، في السرعة الحرجة وتوزيع المقادير الجانبية للاهتزاز على طول النظام الدوار وغلاف البدن وبوجود الاهتزاز القسري. كما تم بناء برنامج حاسوبي بلغة فورتران (New Fortran) لاحتضان الجانب النظري المعد والذي يمكن من خلاله احتساب توزيع كل من قوى القص وعزوم الانحناء والانحراف والميل على طول النظام الدوار وغلاف البدن. وقد توصل البحث إلى عدد من الاستنتاجات أهمها ان تغير الحمل الكهربائي يؤثر في قيم السرعة الحرجة والمقادير الاهتزازية للمولد، كما لوحظ ان الزيادة او النقصان العالية في صلابة قطع المطاط عن قيمة الصلابة الأصلية لها يقلل في قيم السرعة الحرجة ولكن هناك قيمة أقل بقليل من القيمة الأصلية تزيد في قيم السرعة الحرجة.

## Vibration Analysis of Simple Home Generator

## Abstract

This research presents an analysis for the vibration of a small electrical generator, which is widely used for domestic purposes. This generator is of a type (ASTRA 3000) that gives an electrical power up to (2200 W), The analysis is achieved by using the method of the transfer matrices. The generator consists of a rotating system, a body cover (casing) and bearings so a mathematical model has been built accordingly. The mathematical model consists of two beams connected to each other with some springs and dampers where the rotating system has been represented by a rotating beam under the gyroscopic moment effect, but the body cover is represented by a non-rotating beam. And each bearing has two stiffness coefficients and two damping coefficients. This model also considers the effect of supporting braces for the body cover which is represented by a flexible spring and damper. The generated magnetic reluctance force has been calculated and converted to flexible springs which are accounted for in the prepared model. The current research studied the effects of the instantaneous changeable electrical load and the stiffness of the supported plastic pieces, on the critical speeds and

their mod shapes and the dynamical characteristic values of the vibrated system all over the rotating length and the casing with the existing of the exciting forces. Also a comuter program has been developed by (New Fortran) language to embrace the theoretical work and from which the values of shear forces, the bending moments, deflections and slopes can be calculated over the entire length of the rotating system and casing. It is concluded that: the change of the electrical load affects the critical speeds values and the response of the generator. It has also been found that the extreme values of the stiffness of the plastic pieces according to their original values decline the critical speed values. However, there is a value little less than the original value, increases the critical speed values.

### المقدمة

تعد الطاقة الكهربائية الشريان الحيوي لتسيير الاعمال اليومية للمجتمعات في عصرنا هذا، لذلك يتزايد الطلب على هذه الطاقة في جميع أنحاء العالم بصورة مستمرة بسبب الحاجة اليها في جميع مرافق الحياة كما هو معروف فإن الطاقة الكهربائية تتولد في محطات توليد القدرة (power plant)، ومحطات توليد القدرة هذه تكون على أنواع فمنها الكبير مثل (Steam Power Plant) ومنها الصغير مثل المولدات الصغيرة التي تعمل حاليا في اغلب المنازل العراقية، وعلى الرغم من اختلاف أصناف المحطات الا ان جميعها يتكون من جزأين هما الجزء الكهربائي المتمثل بعضو التوليد التزامني Synchronous (Part) وهو المسؤول عن توليد الطاقة الكهربائية، أما الآخر فهو الجزء الميكانيكي وهو المسؤول عن توليد الحركة الدورانية ونقلها إلى الجزء الكهربائي وبذلك فإن جميع هذه المحطات هي عبارة عن مكائن دوارة.

ان تصميم المكائن الدوارة (Rotating Machines) يجب أن يعطى الأهمية البالغة عند تحديد مديات سرع التشغيل، اذ ان اقتراب سرعة التشغيل من السرعة الحرجة (Critical Speeds) ربما يؤدي إلى فشل هذه المكائن اذ ان الاهتزاز في هذه الحالة يصبح شديد السعة لذلك تعد حسابات السرعة الحرجة وشكل النسق وتوزيع المقادير الجانبية للاهتزازات (الانحراف والميل والقص والعزم) في

دراسة الاستجابة الدينامية للأنظمة الدوارة من الحسابات ذات الأهمية في تصميم هذه الأنظمة وعليه ظهرت في السنوات الأخيرة بحوث عديدة تعنى بتطوير الطرائق التجريبية والتحليلية المتبعة في حساب السرع الحرجة وتوزيع المقادير الجانبية للاهتزازات على طول الانظمة الدوارة ويجاد مدى تأثيرها في تصميم المنظومة، في عام (1986) قام الباحثان [1] (Aydin & Aksu) بتطبيق طريقة الفروقات المحددة (Finite Difference Method) في تحليل الاهتزاز الحر للأعمدة الدوارة ذات المقاطع المنتظمة وغير المنتظمة، وتم دراسة تأثير كل من القص والقصور الذاتي الدوراني في استجابة الأعمدة الدوارة لحالتين من شروط الحدية هي: إسناد بسيط (Simply Supported) وتثبيت من النهايات (Clamped Ends) أظهرت النتائج ان تأثير القص والقصور الذاتي الدوراني يزداد بزيادة السمك النسبي (Relative Thickness) لمقاطع الأعمدة الدوارة، وان هذا التأثير يكون أكثر وضوحا في الأعمدة ذات التثبيت من النهايات مقارنة بتلك ذات الاسناد البسيط. كذلك في عام (1989) قام الباحث [2] (Bohez) ببناء برنامج حاسوبي بلغة فورتران (77) لحساب السرعة الحرجة (Critical Speed) وتوزيع كل من الانحرافات والميل والقص والعزم على طول عمود دوار باتباع طريقة المصفوفات الانتقالية.

بسهولة، أما تأثير وزن الدوار فإنه تم تمثيله بعزمين هما  $(W_y, W_z)$  في المنتصف.

وقد وجد الباحثان بأن هناك صعوبة في التحليل ما بين نظام العمود الدوار - ركيزة محدد استاتيكية والنظام غير المحدد استاتيكية فيما إذا كان هناك واحد أو أكثر من الركائز هو هايدروديناميكي، كذلك توصلوا إلى ان اتباع طريقة التكرار المتعدد لتخمين اتجاه ردود الأفعال بالنسبة للركائز غير المتناظرة بحاجة إلى الأخذ بنظر الاعتبار التغير في المحاذة ما بين محور العمود الدوار ومحور الركيزة نتيجة مرونة العمود الدوار. أما في مجال تأثير غلاف البدن على السرعة الحرجة للأنظمة الدوارة فقد قام الباحث [5] (Tawfik) في عام (1978) بتطوير نموذج رياضي لماكنة عمودية باتباع طريقة المصفوفات الانتقالية، إذ تم تصميم هذا النموذج خصيصا لاستعماله في المكاين العمودية المكونة من عمود دوار (Rotor) وغلاف بدن (Casing) وقد اتبع الباحث التحليل الثلاثي الأبعاد إذ تم الأخذ بنظر الاعتبار تأثير كل من الانحراف بسبب القصر والقصور الذاتي الدوراني (Rotating Inertia) والعزم الجيروسكوبي وتم اعداد برنامج حاسوبي بلغة فورتران يمتاز بقابليته على تحليل ماكنة عمودية تحتوي على (20) محملا وهذه المحامل تم تمثيلها بوساطة اربع معاملات تخميد واربع معاملات صلادة . أظهرت النتائج المستحصلة ان غلاف البدن له تأثير كبير في استجابة العمود الدوار وان دقة النتائج تعتمد على دقة نمذجة العمود الدوار. وفي عام (1990) قام الباحثون [6] (Leung et.al.) بدراسة نظرية لتأثير خواص أرضية التثبيت (Foundations) على السلوك الديناميكي لتوربين بخاري (A 660 MW, LP Steam Turbine) والذي بدوره يتكون من عمود دوار مثبت عليه عدد من الريش ومثبت من الجانبين بوساطة ركائز هايدروديناميكية متبعين

إذ قام الباحث بتكوين نموذج رياضي يحوي جميع الشروط الحدية لتثبيت نهايات العمود الدوار، وقد أهملت الدراسة تأثير التخميد والتأثير الجايرسكوبي اللذين يؤثران بشكل كبير في حالة السرعة العالية او عند استعمال أعمدة ثقيلة، كما أهمل الباحث الاهتزازات الالتوائية الا انه أخذ بعين الاعتبار تأثير صلابة المحمل (Bearing Stiffness) أما في مجال تأثير كراسي التحميل في الأنظمة الدوارة فقد قام الباحث [3] (Faris kaya) في عام (1990) بدراسة ظروف الاستقرارية في عمود مرن ناقل للحركة ومثبت في ركائز محورية (Journal Bearing) ومسلط عليه من المنتصف مخمد خارجي، إذ قام الباحث بنمذجة الجزء الدوار إلى نظام متعدد من درجات الحرية، كذلك ناقش تأثير كل من لزوجة الزيت، والخلوص الموجود في الركيزة، ونسبة اللاتمرکز والمخمد الخارجي في ظروف الاستقرارية للنظام، إذ درس الباحث تأثير هذه العناصر نظريا وتجريبيا وقد وجد ان النتائج النظرية والعملية التي تم الحصول عليها متطابقة مع بعضها. توصل الباحث إلى انه من السهل حساب السرعة التي يبدأ عندها عدم الاستقرار إذ ان قيمتها تساوي ضعف السرعة الحرجة الأولى، ويمكن زيادة قيمة هذه السرعة وذلك بزيادة قيمة نسبة اللاتمرکز للركيزة، وكذلك قد بينت النتائج النظرية والمختبرية بأن موقع المخمد الخارجي ليس مؤثرا جدا في قيمة سرعة حد الاستقرار. كذلك قام الباحثان [4] (Feng & Haha 1998) بتحليل اهتزاز عمود دوار غير محدد استاتيكية مستند على ركائز هايدروديناميكية، ووجدوا بأن حل هذا النظام يعتمد على إيجاد الموقع الصحيح للعضو الدوار أثناء الدوران داخل الركيزة، وكذلك فإن قوى ردود الأفعال عند الركائز والقوى الخارجية على العضو الدوار يجب أن تكون في حالة اتزان، وبعد إيجاد موقع الاتزان فإنه يتم إيجاد العوامل الديناميكية للركائز

تمثيلها بنوابض ومخمدات تربط بين العتبتين، كما تم تمثيل الفيض المغناطيسي المتولد أيضا بعدد من النوابض تربط بين العتبتين، وتم تقسيم العمود والغلاف إلى عدد من الأجزاء الصغيرة تسمى بالعناصر (Elements) لكل منها خواص دينامية ومرونة بسيطة ومرتبطة فيما بينها بنقاط مشتركة تسمى بالعقد (Nodes). كما وتم تعريف العقد في المناطق التي يتغير فيها قطر العمود الدوار ومناطق وجود كرسي تحميل او كتلة او دعامة سائدة لغلاف البدن. وبما ان العمود والغلاف مرتبطان معاً، لذا يقتضي الحل أن تكون هناك علاقة تربط بين العناصر والنقاط الواقعي على كل منها. يعتمد أساس عمل مولدات التيار المتناوب على قانون فرادي (Faraday's Law) الذي ينص على (عند دوران ملف داخل مجال مغناطيسي (او بالعكس) تنشأ في ذلك الملف قوة دافعة كهربائية يعتمد مقدارها على سرعة دوران الملف وقوة المجال المغناطيسي). ان القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة في المولد تحسب بالمعادلة التالية [7]:

$$m.m.f = N.I_R \dots \dots (1)$$

وعندما تكون الدائرة المغناطيسية منتظمة وذات مقطع متجانس فإن القوة الدافعة المغناطيسية لكل متر في مسار الدائرة المغناطيسية تسمى بشدة الفيض المغناطيسي (Magnetic Field intensity) ويرمز لها بالرمز (H) وتحسب بالمعادلة الآتية [7]:

$$H = m.m.f/l = N.I_R/l \dots \dots (2)$$

اما الكثافة المغناطيسية (Flux Density) فهي مقدار الفيض المغناطيسي المنتظم الذي يخترق وحدة مساحة سطح معلوم بصورة عمودية ويرمز لها (B) وتقاس بوحدات الو بير لكل متر مربع وتحسب بالمعادلة الآتية [7]:

$$B = \phi/A_C \dots \dots (3)$$

طريقة العناصر المحددة في لتحليل، إذ قاموا بايجاد قيم الاستقرارية والترددات للمنظومة وذلك في هالة تغيير خواص الارضية من ارضية ذات صلادة عالية (Rigid) إلى أرضية مرنة (Flexible). وقد وصف الباحثون السلوك الدينامي للمنظومة (عمود دوار - ركيزة - أرضية) بوساطة مجموعة من معادلات الحركة وبحل هذه المعادلات يمكن التعرف على طبيعة الاستقرارية للمنظومة، استنتج الباحثون بأن عند استعمال ارضية صلدة فإن المنظومة تكون مستقرة عند السرعة الدورانية الواطئة وغير مستقرة عند السرعة الدورانية العالية، ووجدوا ايضا ان الجزء الدوار يهتز أفقيا وعموديا في نفس الوقت وعند كل تردد طبيعي، كذلك فإن الاهتزاز في الاتجاه العمودي أكثر استقرارية من الاهتزاز في الاتجاه الأفقي، أما عند استعمال أرضية مرنة فإن ذلك يؤدي إلى زيادة التردد الطبيعي للمنظومة عند السرعة الواطئة فقط لذلك فإن الأرضية المرنة ضعيفة في تحقيق الاستقرارية للمنظومة.

#### التحليل النظري

الماكينة الدوارة المستعملة في هذا الجزء من التحليل هي مولد كهربائي منزلي (Electrical Generator) من نوع (ASTRA 3000) تعمل حاليا في معظم المنازل العراقية، تنتج طاقة كهربائية بحدود (2200 W). ومن أجل تحليل الاهتزاز لنظام عمود دوار - كرسي لتحميل - غلاف بدن موجود في مولد منزلي فقد تم بناء أنموذج رياضي مكون من عتبتين مرتبطين مع بعضهما بعدد من النوابض المرنة (Elastic - Spring) والمخمدات (Dampers) وكما مبين في الشكل أدناه:

اذ ان العمود الدوار يمثل بعتبة دوارة (Rotating Beam) تحت تأثير القوى الجيروسكوبية، أما غلاف البدن فإنه يمثل بعتبة غير دوارة (Non rotating Beam) اما كراسي التحميل فإنها تم

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F_2 \sin \theta + F_1 \sin \phi \\ F_y &= F_1 \cos \theta + F_2 \cos \phi \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

كذلك فإن :

$$F_1 = (F_G - F_1) * \sec \phi \dots \dots (9)$$

$$F_2 = M_2 * r * \omega^2 \dots \dots (10)$$

حيث ان:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= (M_1 + M_p + M_g) * A \\ F_G &= (\pi D^2 / 4) * P_G \end{aligned} \right\} \dots (11)$$

بعد حساب القوى على النهاية الكبرى لذراع التوصيل يتم الان حساب القوى على الركائز التدرجية والتي عددها ثلاثة، ولكون النظام غير محدد استاتيكيًا (Statically Indeterminate) فقد تم استعمال نظرية التراكيب [12] (Superposition Theory) لحساب ردود الافعال وقد حصلنا على معادلات ردود الافعال الموضحة في ادناه:

$$\left. \begin{aligned} R_{14} &= 72.3 - 1.05 F_x - 1.06 F_y \\ R_{14} &= 3.84 - 0.8 F_x - 0.64 F_y \\ R_{23} &= 2.44 - 0.25 F_x - 0.42 F_y \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

بعد حساب القوى عند الركائز التدرجية يمكن الان حساب معاملات الصلابة والتخميد للركائز التدرجية وذلك من المعادلات ادناه [13]، [9]:

$$K = 4.77 * 10^{-7} * D_b^{1/2} * (\cos \alpha)^{5/2} * \delta_r^{1/2} \dots (13)$$

$$C = \frac{R}{\zeta * \omega} \dots \dots (14)$$

مصفوفة المجال (Field Matrix)

تسمى المصفوفة التي تربط ما بين متجه الحالة الايمن للكتلة (mi-1) ومتجه الحالة الايسر للكتلة (mi) كما مبين في الشكل ادناه بمصفوفة المجال (Field Matrix) وتكون كما في المعادلة الآتية [14]:

$$[Z]_i^L = [F] \cdot [Z]_{i-1}^R \dots \dots (15)$$

مصفوفة النقطة (Point Matrix)

تسمى المصفوفة التي تربط بين اتجاهات الحالة لمحطة معينة بمصفوفة النقطة. وغالبًا ما تعتمد لتحليل النقطة التي يمكن ان تمثل كتلة مجمعة (Lumped Mass) او كرسى تحميل (Bearing) او قرص دوار (Pully or )

كذلك فإن كثافة الفيض المغناطيسي في المعادن المغناطيسية يعتمد على شدة الفيض المغناطيسي (H) حيث ان [7]:

$$B = \mu_0 * \mu_r * H \dots \dots (4)$$

حيث ان:

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ (Wb/A.t.m)}$$

$\mu_r$ : النفاذية النسبية وتعرف بأنها نفاذية المادة نسبة إلى نفاذية الفراغ ويوجد هناك منحنى يعرف (B-H curve) على وفق نوع المعدن وهذا الشكل موجود في المصدر [7].

واخيرا بعد استخراج شدة المجال من المعادلات السابقة يمكن الرجوع إلى المعادلة أعلاه واستخراج (B) من تقاطع قيمة (H) مع منحنى (relay steel) ومن ثم يمكن حساب الفيض المغناطيسي من المعادلة وبعد ذلك يمكن حساب قوة الممانعة المتولدة في الفجوة الهوائية من المعادلة أدناه [8]:

$$F_R = \frac{\phi^2}{\mu_0 * \mu_r * A_g} \dots \dots (5)$$

كذلك فإن هذه القوة تم تحويلها إلى قوة نابضية بين الجزء الدوار والساكن وذلك حسب المعادلة أدناه [9]:

$$K = \frac{F_R}{\text{clearance}} \dots \dots (6)$$

ان اقدرة الميكانيكية المنتجة من المحرك الميكانيكي لا تتحول جميعها إلى قدرة كهربائية خارجة من المولد، حيث ان هناك مجموعة من الخسائر (Losses) تحصل في طريقها، وبعد حساب هذه الخسائر يمكن حساب القدرة الميكانيكية المنتجة من المحرك ومن ثم حساب متوسط الضغط الفعال باستعمال المعادلة أدناه [10]:

$$mep = \frac{4 * \text{Power}}{A_p * u_p} \dots \dots (7)$$

وبعد حساب متوسط الضغط الفعال يمكن الآن حساب القوى على النهاية الكبرى لذراع التوصيل وذلك بالاعتماد على الشكل (2) الذي يمثل مخططا اساسيا لميكانيكية عمود مرفق حيث ان [11]:

التأثيرات منها دراسة تأثير الحمل الكهربائي ودراسة تأثير صلابة المطاط.

#### دراسة تأثير الحمل الكهربائي

تم دراسة تأثير الحمل الكهربائي في السرعة الحرجة والاستجابة الدينامية للمولد وذلك من خلال تغيير الحمل الكهربائي في كل مرة وتثبيته عند قيمة معينة ومن ثم يتم تغيير السرعة، علمياً فان تغيير السرعة يتم عن طريق منظم السرعة (Governor) الموجود في المولد، كذلك فانه في حالة الحمل الثابت وتغيير السرعة فان مقدار التردد الكهربائي المجهز للحمل سوف يتغير.

عندما يكون الحمل الكهربائي ثابت فان القدرة الكهربائية الخارجة من المولد تكون ثابتة ايضاً، كذلك فان مقدار الفيض المغناطيسي المتولد داخل عضو التوليد يكون ثابتاً، وبما ان القدرة الكهربائية ثابتة فان القدرة الميكانيكية الخارجة من المحرك ايضاً تكون ثابتة، ولكن عند تغيير السرعة الدورانية فان مقدار العزم الخارج من المحرك والضغط داخل غرفة الاحتراق يتغيران، حيث ان الضغط داخل الاسطوانة يتغير مع زاوية عمود المرفق ويتم احتساب القوى الديناميكية الناتجة عنه لحظياً بواسطة البرنامج ومن خلاله تنتقل القوة الدينامية الى عمود المرفق فضلاً عن ان البرنامج له القدرة على استيعاب اي قوة عدم اتزان على اي محطة من محطات النموذج الرياضي.

لقد تم دراسة الاحمال الكهربائية من (No Load الى (A) 8.5) وبتدرج مقداره ((A) 2.5) وعند كل حمل تم ايجاد القدرة الميكانيكية ومقدار الفيض المغناطيسي وكذلك مقدار متوسط الضغط عند كل سرعة، وقد تم ادخال هذه البيانات الى البرنامج وقد حصلنا على السرعة الحرجة الثلاثة الاولى المبينة في الجدول (1) ولغرض التأكد من هذه القيم لذلك تم حساب السرعة الحرجة من الاهتزاز الحر، فقد تم اختيار حالة اللاحمل (او اي حالة اخرى) وتم اعتبار النظام مهتزاً اهتزازاً حراً وتمت الاستفادة من خواص محدد المصفوفة حيث تم

(Flywheel) ويمكن ان تكتب بالصيغة الآتية.

$$[Z]_i^R = [P] \cdot [Z]_i^L \dots \dots (16)$$

حيث يمكن حساب الازاحات والقوى والعزوم على النظام الدوار وغلاف البدن من خلال عملية ضرب المصفوفات الانتقالية اما عملية حساب الترددات الطبيعية فتتم من خلال تحديد نقطة معينة على النظام الدوار او غلاف البدن وحساب سعة الاهتزاز (Amplitude Vibration) في هذه المنطقة لكل تردد مفترض ولمدى من الترددات ولهذا سوف يتكون منحنى بين سعة الاهتزاز والترددات المفترضة، قمم هذا المنحنى تمثل الترددات الطبيعية [15]. ان القوة المسببة للاهتزاز في المولد ناتجة من القوى الديناميكية الناتجة من حركة الاجزاء الترددية نتيجة عمليات الاحتراق وكذلك من قوى عدم الاتزان التي تنتج من وجود اللاتمرکز بين مركز محور العمود الدوار ومركز الكتلة المتصلة بالعمود.

#### النتائج والمناقشة

سيتم في هذه الفقرة مناقشة النتائج التي تم الحصول عليها بمساعدة البرنامج المعد حيث تم اعداد برنامج بلغة (New Fortran)، والذي اعتمد على اساس النظرية المذكور في تحليل منظومة المولد الكهربائي، وعلى القراءات العملية التي تم الحصول عليها حيث تم حساب معامل الصلابة لكل من معدن المولد ولقطع المطاط كذلك فقد تم حساب معامل التخמיד لقطع المطاط، اذ ان النتائج المستحصلة والتي أخذت بنظر الاعتبار وجود الانظمة المتفرعة وغلاف البدن وغيرها من المؤثرات وتأثيرها في المنظومة كانت تتضمن حسابات السرعة الحرجة الاولى والثانية والثالثة كما وتضمنت هذه النتائج حسابات توزيع مقادير كل من (الانحراف، الميل، القص، العزم) على طول النظام الدوار وغلاف البدن (Casing) ولمختلف الحالات المدروسة. وقد تم دراسة عدد من

كل جساءة ولمدى من السرعة الدورانية وقد حصلنا على السرعة الحرجة المبينة في الجدول (3) كذلك فان الشكل (7) فانه يبين توزيع قيم الانحراف على طول النظام الدوار ولمدى من السرعة الدورانية كذلك فان الشكل (8) فانه يبين توزيع قوى القص على طول النظام الدوار ولمدى من السرعة الدورانية.

يلاحظ من هذه الدراسة ان هنالك تأثيراً كبيراً وواضحاً لجساءة المطاط في قيم السرعة الحرجة للمولد، كذلك يلاحظ بانه لا يوجد هناك سلوك محدد لزيادة ونقصان السرعة الحرجة، فعند مقارنة قيم السرعة الحرجة عند قيمة معامل جساءة المطاط (116.7 KN/m) مع تلك التي يكون فيها معامل الجساءة (75 KN/m) نجد ان السرعة الحرجة الاولى تنخفض في حين تزداد قيمة السرعة الحرجة الثانية والثالثة. كما يمكن ملاحظة ان السرعة الحرجة الاولى والثانية والثالثة عند قيمة معامل جساءة مطاط (266.6 KN/m) جميعها تقل بالمقارنة مع قيم السرعة الحرجة للمطاط المستخدم، فضلاً عن ذلك يلاحظ عند قيمة معامل جساءة (93.7) ان السرعة الحرجة الثلاث جميعها تزداد بالمقارنة مع تلك القيم عند معامل مرونة (116.7KN/m). وقد يكون من المفيد اختيار المطاط عند معامل صلابة (266.6 KN/m) اذ يمكن تجاوز السرعة الحرجة الواطئة والاستقرار عند السرعة التشغيلية.

#### الاستنتاجات

1- ان تغير الحمل الكهربائي يؤثر في قيم السرعة الحرجة والسعات الاهتزازية للمولد، اذ يلاحظ ان بانخفاض الاحمال الكهربائية تنخفض السرعة الحرجة والسعات الاهتزازية اما بزيادة الاحمال فان السرعة الحرجة ايضا تنخفض بينما السعات الاهتزازية تزداد.

2- تؤثر صلابة المطاط في قيم السرعة الحرجة والاستجابة الدينامية للمولد اذ يلاحظ انه لا يوجد هناك سلوك محدد لزيادة او نقصان السرعة الحرجة مع تغير صلابة

الحصول على محدد المصفوفة لحالة (Non-Trivial Solution) والذي يكون مساوياً للصفر ثم تم ايجاد مفكوك المحدد ولعدد من السرعة الحرجة ورسمه على منحنى كما مبين في الشكل (4) حيث يظهر هذا الشكل ان المناطق التي يكون فيها مفكوك المحدد يساوي صفر تكون هي قيمة السرعة الحرجة ويبين الجدول رقم (2) القيم المستحصلة للسرعة الحرجة من الاهتزاز الحر ومقارنتها مع القيم التي تم الحصول عليها من الاهتزاز القسري والذي يظهر ان نسبة الفرق بينهما ضئيلة جداً حيث بلغت اقل من (1%). اما الشكل (5) فانه يبين تأثير الحمل الكهربائي على توزيع قيم الانحراف على طول النظام الدوار لمدى من السرعة الحرجة كذلك فان الشكل (6) فانه يبين توزيع قوى القص على طول النظام الدوار وقد تم رسم هذه الاشكال عند زاوية عمود مرفق (602) كونها تمثل زاوية اقصى ضغط بالنسبة لقيم الضغوط المجهزة للبرنامج. وبصورة عامة يمكن ان نستنتج من ذلك ان قيم السرعة الحرجة والمقادير المميز تعتمد بصورة كامل على مقدار الحمل الكهربائي وذلك لتأثير في الكثير من المتغيرات الكهربائية والميكانيكية.

#### دراسة تأثير صلابة المطاط

تم دراسة تأثير جساءة قطع المطاط في السرعة الحرجة والاستجابة الدينامية للمنظومة، وذلك عند حالة حمل (4.5 A)، حيث ان جساءة قطع المطاط (Rubber Stiffness) الموجودة في المولد وكما قيسست في جهاز قياس الجساءة هي (116.7 KN/m) لذلك فقد تم احضار قطع مطاط ذات قيم جساءة اقل واعلى من القيمة الاصلية، وعلى افتراض ثبوت معامل التخميد لجميع القطع كذلك ثبوت جساءة اقل واعلى من القيمة الاصلية، وعلى افتراض ثبوت معامل التخميد لجميع القطع كذلك ثبوت الظروف الجوية اذ ان الظروف الجوية المتغيرة تؤثر في خواص المطاط اللحظية. وقد تم دراسة سلوك المولد عند

- Montalvao E Silva and F.A. Pina Da Silva, Page (253-261), 1990.
- [7]- Theodore Wildi; "Electrical Machines Drives and Power Systems", Sixth Edition, Pearson Prentice Hall, 2006.
- [8]- A. Molenaar & H.F. Van ;"Minimization of the Air Gap in Electro-Magnetic Systems for Levitation and Propulsion Through the Application of High  $\mu_r$  Winding Material", [www.poboxes.com](http://www.poboxes.com) June, 1996 .
- [9]- C.C. Song & Z.P. Yit; "Experimental Determination of the Stiffness and Damping Coefficients of Fluid Film Bearings by Means of Step Forces", Tribology International, Vol.18, No.2, Page (81-91), April, 1985.
- B.L. Theraja & A.K. Theraja;"Electrical Technology", Vol. II, AC & DC Machines, S. Chand & Company LTD, 2007.
- [10]- M.A. Tawfik; "The Effect of Misalignment on the dynamic Performance of Crankshaft Bearing System in a Diesel Engine", Ph. D Thesis, Mechanical Engineering, University of Technology, October 1996.
- [11]- M.A. Tawfik; "Lateral Vibration of Branched Systems in Particular Vertical Machines", M.Sc. Thesis, Cranfield Institutes of Technology, 1978.
- [12]- Tedirc A. Harris;"Rolling Bearing Analysis", 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1984.
- [13]- E.C. Festal & F.A Leckie; "Matrix Method in Elastomechanics" Mc Grow Hill, New York, 1963.
- [14]- S. Roa; "Mechanical Vibrations", 1st Edition Addison-
- [15]- Wesley Publishing Company,
- المطاط، ولكن يمكن القول بان هنالك قطع مطاط ذات قيم صلابة اقل بقليل من صلابة القطع الاصلية ولكن تكون عندها السرعة الحرجة اعلى من السرعة الحرجة في حالة القطع الاصلية.
- 3- ان قيم الصلابة العالية جداً ( 266.6 KN/m او المنخفضة جداً (75 KN/m بالمقارنة مع قيمة الصلابة الاصلية (116.7) لقطع المطاط تؤدي الى زيادة في قيم السعات الاهتزازية للنظام الدوار.
- المصادر**
- [1]- A.S Aydin & G. Aksu; "A Finite Difference Method for the Free Vibration Analysis of Stepped Timoshenko Beams and Shafts", Mechanism and Machine Theory, Vol. 21, No. 1, Page (1-12), 1986.
- [2]- Faris Kaya; "Stability of Flexible Rotor Supported on Journal Bearings", Vibration and Wear in High Speed Rotating Machinery, Edited By: J.M. Montalvao E Silva and F.A. Pina Da Silva, Page (567-581), 1990.
- [3]- Erik L.J. Bohez; "Computer Aided Dynamic Design of Rotating Shafts", Computer in Industry, Vol.13, No.1, Pagen (69-80), 1989.
- [4]- N.S. Feng & E.J. Hahn; "Vibration Analysis of Staticall Indeterminate Rotors with Hydrodynamic Bearings", Journal of Tribology, Vol.120, Page (781-788), October, 1998.
- [5]- M.A. Tawfik; "Lateral Vibration of Branched Systems in Particular Vertical Machines", M. Sc Thesis, Cranfield Institutes of Technology, 1978.
- [6]- P.S.L. eung & et.al; "A theoreticall Study in to the Effects of Damped Flexible Foundations on the Dynamic Behaviour of A 660 MW LP Steam Turbine", Vibration and Wear in High Speed Rotating Machinery, Edited By: J.M.



جدول (1) يبين تأثير الحمل الكهربائي على سرعة الحرجة

Critical Speed r.p.m	Electrical Load				
	No Load	2.5 (A)	4.5 (A)	6.5 (A)	8.5 (A)
1st	1050	1085	1125	1115	1100
2nd	1120	1125	1285	1275	1150
3rd	1275	1285	1685	1680	1295

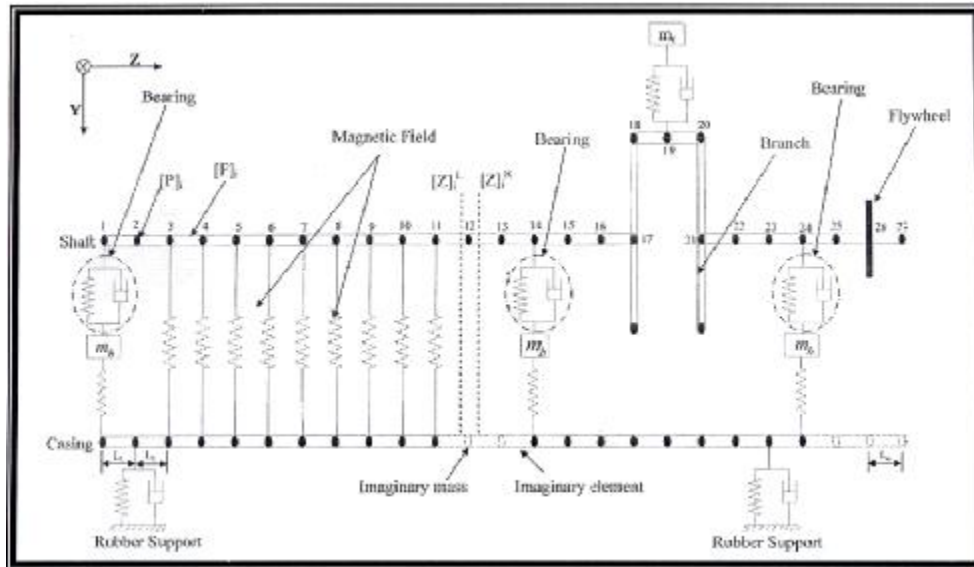
الوحدة	المعنى	الرمز
Amper. turn	القوة الدافعة المغناطيسية	m.m.f
	عدد لفات الدوار (Rotor)	N
Amper	التيار المستمر الداخل إلى الدوار	I <sub>R</sub>
Amper. Turn/m	شدة الفيض المغناطيسي	H
Wb/m <sup>2</sup>	الكثافة المغناطيسية	B
Wb	الفيض المغناطيسي	∅
m <sup>2</sup>	مساحة مقطع القطب	A <sub>C</sub>
Wb/A.t.m	نفاذية الفراغ	μ <sub>0</sub>
Wb/A.t.m	النفاذية النسبية	μ <sub>r</sub>
N	قوة الممانعة المغناطيسية	F <sub>R</sub>
m <sup>2</sup>	المساحة السطحية للقطب	A <sub>S</sub>
Ohm	مقاومة العضو الساكن	R <sub>S</sub>
bar	مقاومة العضو الدوار	R <sub>R</sub>
M	متوسط الضغط الفعال	mep
m <sup>2</sup>	قطر المكبس	D
m/s	مساحة سطح المكبس	A <sub>P</sub>
m	متوسط السرعة الخطية للمكبس	u <sub>p</sub>
m/s <sup>2</sup>	طول شوط المحرك	S
bar	التعجيل الخطي للمكبس	A
m	ضغط الغاز داخل المحرك	P <sub>G</sub>
Degree	نصف قطر ذراع عمود المرفق	r
N	زاوية دوران عمود المرفق	θ
N	مركبتي القوة الخارجية المسلطة على عمود المرفق	F <sub>X</sub> , F <sub>Y</sub>
	رد الفعل عند الركيزة التدرجية	R
	مصفوفة النقطة المركبة للمحطة (i)	[P]
	مصفوفة المجال المركبة	[F]
	متجه الحالة بالصيغة المركبة	{Z}
rpm	السرعة الدورانية	ω
kg	كتلة المكبس	M <sub>P</sub>
kg	كتلة المسمار الرسغي	M <sub>g</sub>
kg	الكتلة المكافئة للنهاية الصغرى لذراع التوصيل وتؤخذ الثلث من كتلة ذراع التوصيل	M <sub>1</sub>
kg	الكتلة المكافئة للنهاية الكبرى لذراع التوصيل وتؤخذ الثلثين من كتلة ذراع التوصيل	M <sub>2</sub>
kg	جزء الكتلة لذراع التوصيل المتصل بعمود المرفق	m <sub>r</sub>
m	الانحراف القطري للركيزة التدرجية	δ <sub>r</sub>
m	قطر الكرات الموجودة في الركائز التدرجية	D <sub>b</sub>
degree	زاوية التماس في الركائز التدرجية	α

جدول (2) يبين مقارنة قيم السرعة الحرجة المستحصلة من الاهتزاز الحر والقسري

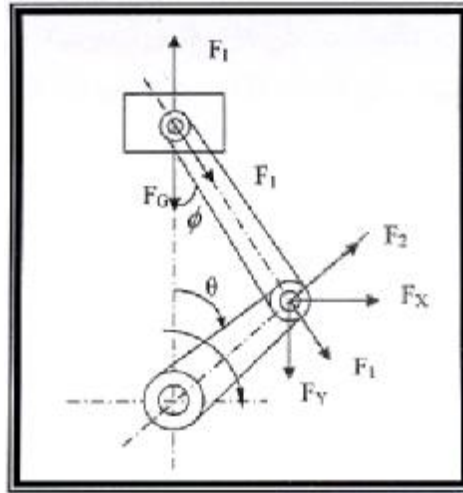
Critical Speed r.p.m	الحمل الكهربائي (No Load)		
	الاهتزاز القسري	الاهتزاز الحر	نسبة الفرق (%)
1st	1050	1049.3	0.066
2nd	1120	1119.8	0.017
3rd	1275	1273.6	0.109

جدول (3) يبين تأثير جساءة المطاط في قيم السرعة الحرجة

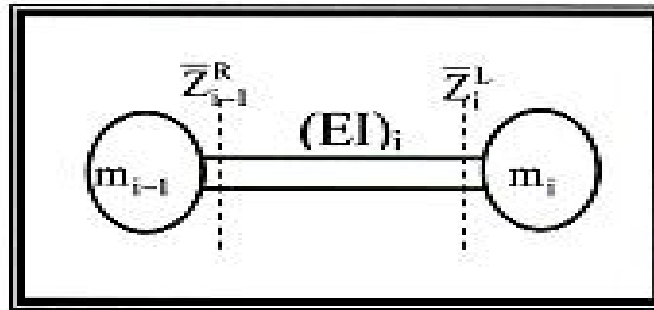
Critical Speed r.p.m	Rubber Stiffness (kN/m)				
	75	93.7	116.7	160	266.6
1st	1025	1150	1125	1275	1100
2nd	1350	1500	1285	1326	1150
3rd	1725	2000	1685	1500	1225



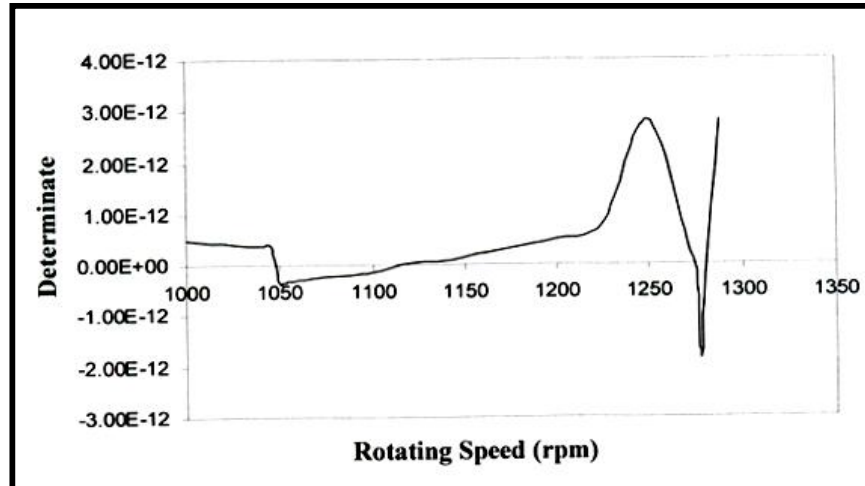
شكل (1) الامودج الرياضي المعتمد للمولد



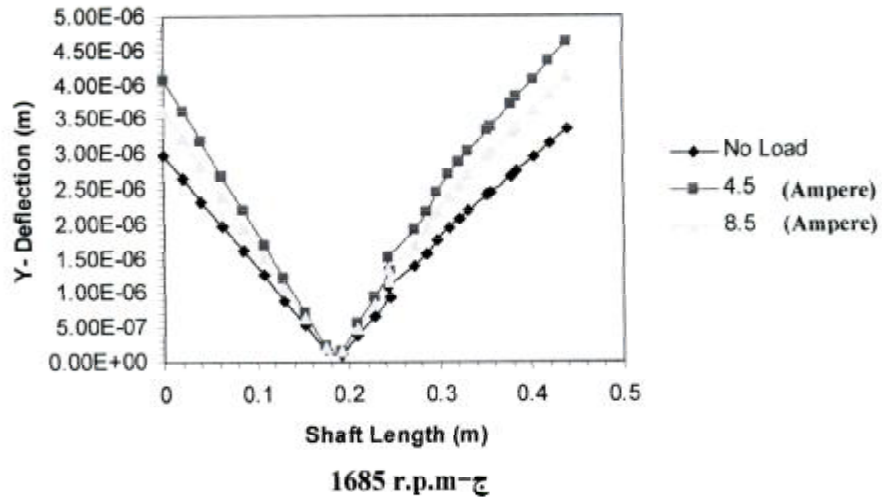
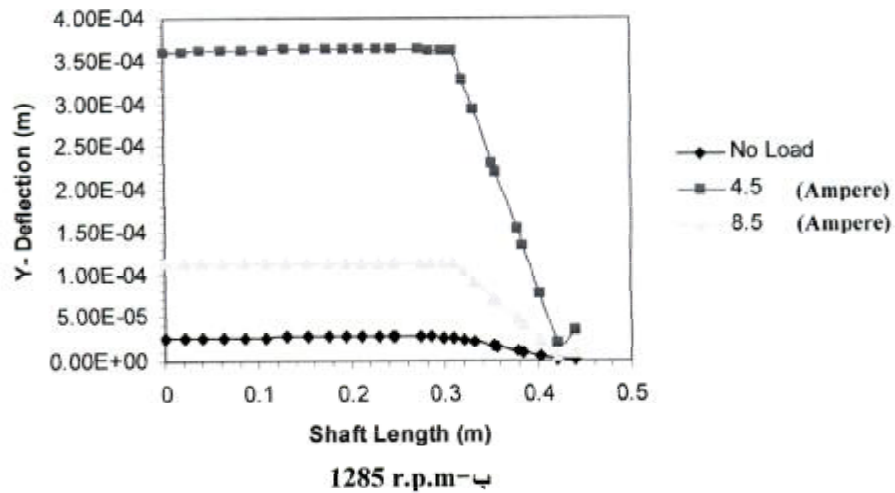
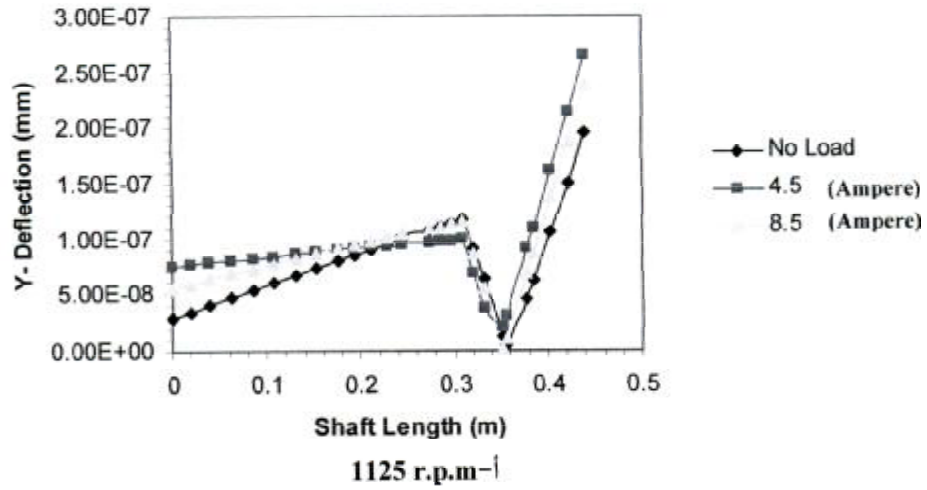
شكل (2) مخطط أساس لميكانيكية ماكينة ترددية



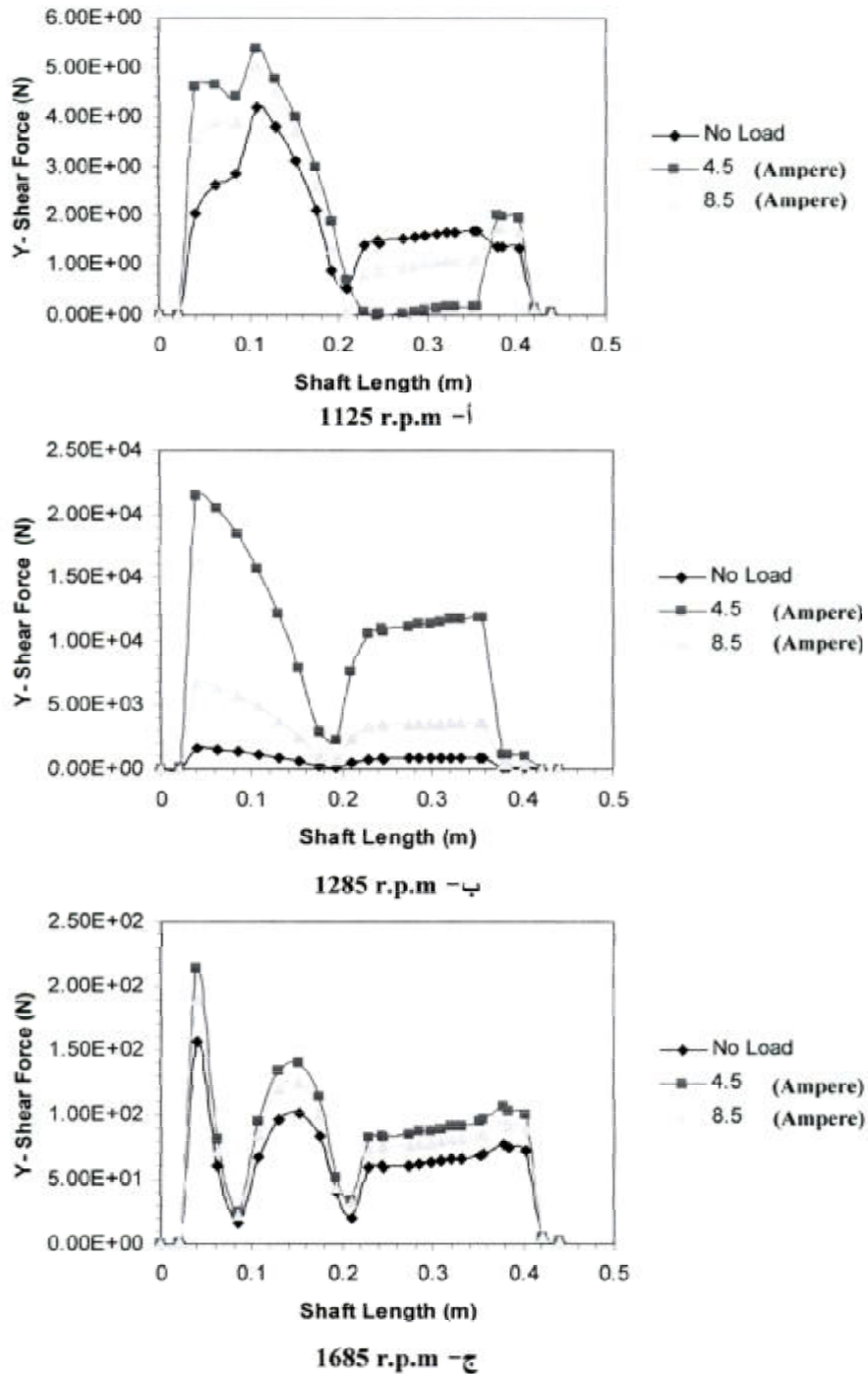
شكل (3) يبين اتصال المقطع (Element) بكتلتين مجتمعين



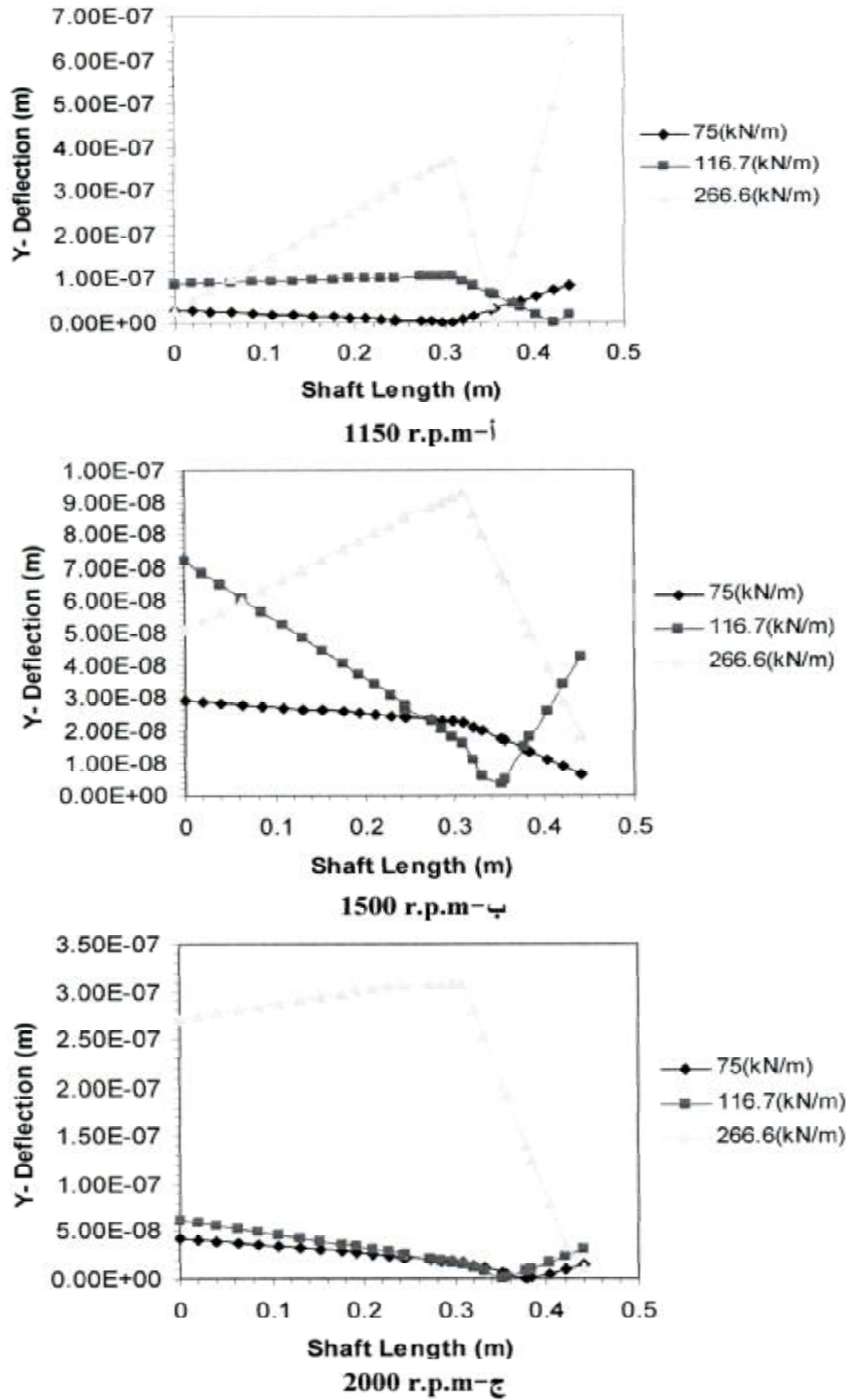
شكل (4) يبين قيم السرعة الحرجة الأولى والثانية والثالثة بطريقة مفكوك محدد المصفوفة عند حالة اللاحمل (No Load)



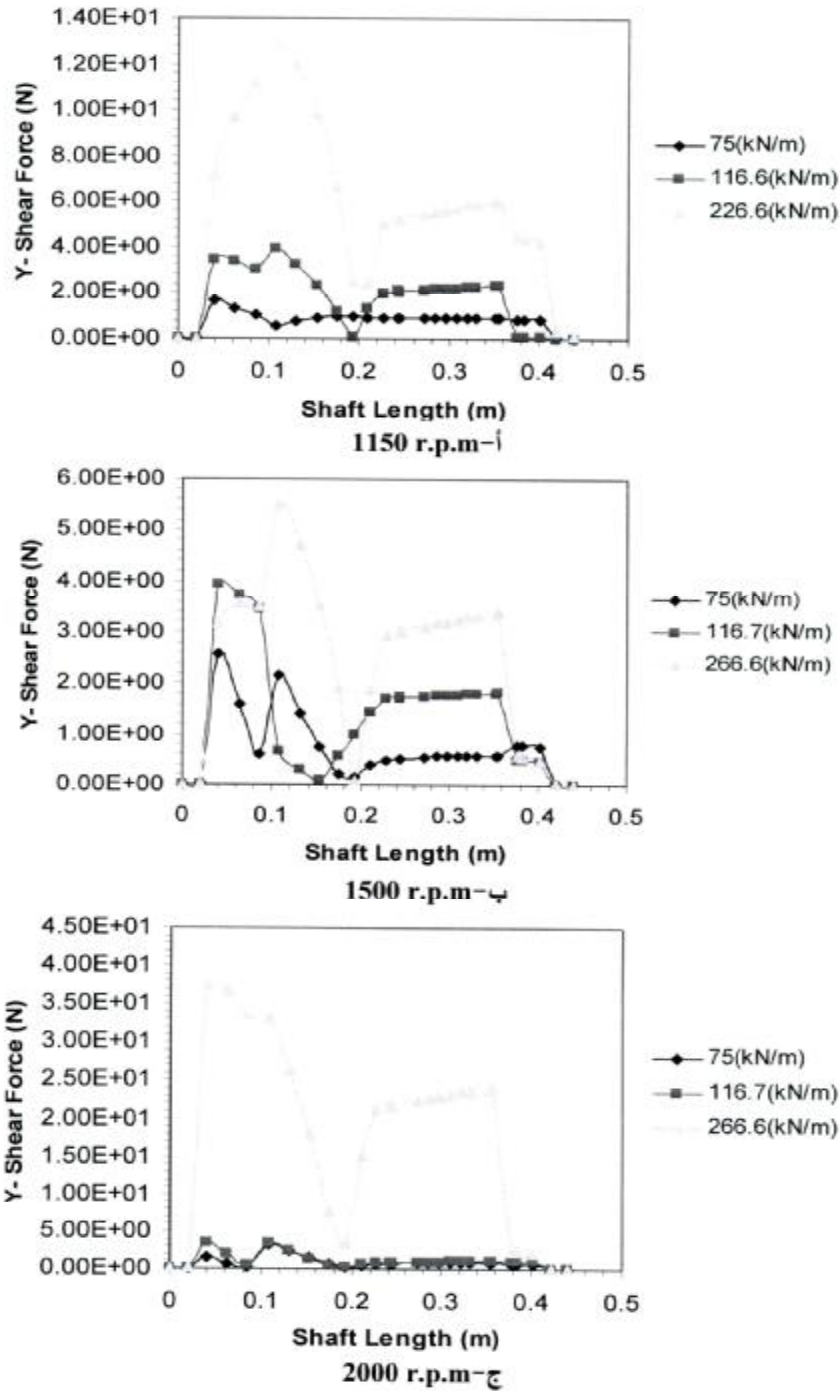
شكل (5) تأثير الحمل الكهربائي على توزيع الانحرافات على طول النظام الدوار عند السرعة الحرجة وعند زاوية عمود مرفق (602)



شكل (6) تأثير الحمل الكهربائي على توزيع قوى القص على طول النظام الدوار عند السرعة الحرجة وعند زاوية عمود مرفق (602)



شكل (7) تأثير جساءة المطاط في توزيع الانحرافات على طول النظام الدوار عند السرعة الحرجة وعند زاوية عمود مرفق (602)



شكل (8) تأثير جساءة المطاط في توزيع قوى الفص على طول النظام الدوار عند السرعة الحرجة وعند زاوية عمود مرفق (602)