

أثر العنفات الريحية التقليدية في استقرار نظم القدرة الكهربائية

د.م. حسان سويدان*

الملخص

يتزايد عالمياً استخدام العنفات الريحية لتوليد الطاقة الكهربائية، وتختلف من حيث طبيعتها عن المولدات التقليدية إذ تُستخدم المولدات التحريضية في مثل هذه العنفات على نطاق واسع نظراً إلى بساطة تركيبها وموثوقية أدائها. ومع ازدياد عدد العنفات في المزارع الريحية يتعرض النظام الكهربائي الذي تسود فيه المولدات التزامنية إلى تغيرات في السلوك الديناميكي ومحددات التشغيل.

هدَفَ البحث إلى تحليل أثر المولدات التحريضية للعنفات الريحية في الاستقرار العابر واستقرار الاهتزازات الصغيرة لنظم القدرة الكهربائية عن طريق الزيادة التدريجية للاستطاعة المولدة بواسطة العنفات الريحية وتغيير مواقع العنفات في النظام الكهربائي.

وتبيّن النتائج التي تم الحصول عليها أن لنسبة مساهمة العنفات الريحية في الاستطاعة الكلية المولدة ولمكان هذه العنفات أثراً كبيراً في زاوية وسرعة الدائر (δ, ω) للمولدات التزامنية وتوترات قضبان التجميع للشبكة ومن ثمّ في استقرار النظام الكهربائي.

الكلمات المفتاحية: العنفة الريحية، المولد التحريضي، استقرار الاهتزازات الصغيرة، الاستقرار العابر، زمن الفصل الحدي.

* قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

مقدمة: Introduction

من المتوقع خلال السنوات القادمة أن تكون المزارع الريحية أهم مصادر الطاقة المستدامة نتيجة لزيادة الاهتمام بمسائل البيئة، والبحث عن مصادر نظيفة لتوليد الطاقة الكهربائية ولاسيما أن هذا النوع من الطاقة ذو مميزات اقتصادية وتقنية واعدة [1].

وعندما تربط العنفات الريحية إلى نظام القدرة الكهربائية بأعداد قليلة يكون تأثيرها ضعيفاً في استقرار هذا النظام وسلوكه الديناميكي، وعلى العكس من ذلك فإنه عند زيادة أعدادها فإن أثرها في استقرار نظام القدرة الكهربائية يصبح ملحوظاً ولا يمكن تجاهله [2].

هناك عدة تقنيات لتوليد الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح، إلا أن أولى هذه التقنيات وأوسعها انتشاراً هو استخدام المولد التحريضي ذي القفص السنجابي لما تتمتع به هذه المولدات من بساطة في التركيب وانخفاض في الكلفة ووثوقية في الأداء [3].

ويمكن لهذه المولدات أن تؤثر في استقرار نظام القدرة الكهربائي من خلال تأثيرها في المولدات التزامنية بعد حدوث اضطرابات على هذا النظام مثل تغيرات الحمولة وأعطال دارات القصر، إذ تؤدي هذه الاضطرابات إلى تغيير محددات الأداء للمولدات التزامنية ولاسيما تلك المجاورة لمنطقة الاضطراب؛ وكذلك اهتزاز جريان الاستطاعة في الشبكة الكهربائية.

وعند إزالة الاضطراب عن طريق نظم التحكم فإن المولدات تعود للتران من جديد مع بقية المولدات، أما إذا لم تعد إلى حالة التران فإن النظام يصبح غير مستقر [4].

ولمّا كانت النظم الكهربائية الحديثة تعمل في معظمها عند نقط قريبة من حدود الاستقرار وذلك لأسباب

اقتصادية فإن دراسة الاستقرار يجب أن تعتمد على تمثيل دقيق لكل عناصر النظام بما في ذلك العنفات الريحية التي ستمثل في النموذج الرياضي عبر محددات الخرج للمولدات التحريضية لهذه العنفات.

درُسَ في هذا البحث الاستقرار العابر واستقرار الاهتزازات الصغيرة لنظام القدرة الكهربائية عن طريق متابعة سلوك المولدات التزامنية الكبيرة عند تعرض النظام لاضطرابات محددة قبل ربط العنفات الريحية وبعدها مع تغيير نسبة مساهمة هذه العنفات في الاستطاعة الإجمالية المولدة وتغيير مواقع ربطها إلى الشبكة الكهربائية.

1- النموذج الرياضي

Mathematical Model

الاستطاعة الميكانيكية:

هناك عدة نماذج للعنفات الريحية، ويتميز كل منها بتركيبية خاصة ومميزات ديناميكية تختلف عن النموذج الآخر [5].

سنعتمد هنا نموذج العنفة الريحية التقليدية الأكثر تأثيراً في استقرار الشبكة الكهربائية التي تتصل فيها الكتلة الدوّارة مع المولد التحريضي عبر علبة سرعة الذي يتصل بدوره مباشرة مع الشبكة عبر محول رفع كما هو مبين في الشكل (1).

يقوم الدائر بتحويل طاقة الرياح إلى استطاعة ميكانيكية التي تنقل عبر علبة السرعة والمحور الميكانيكي إلى المولد التحريضي، وتعطى هذه الاستطاعة بالعلاقة الآتية [6]:

$$P_{mec} = \frac{1}{2} r \frac{A}{S_b} C_p U^3 [pu] \quad (1)$$

إذ:

r : كثافة الهواء

النموذج بنموذج بارك في الإحداثيات d و q ويوصف بالمعادلات الرياضية الآتية:

$$\frac{1}{w_s} \frac{dy_{qs}}{dt} = V_{qs} + R_s I_{qs} - y_{ds} \quad (3)$$

$$\frac{1}{w_s} \frac{dy_{ds}}{dt} = V_{ds} + R_s I_{ds} + y_{qs} \quad (4)$$

$$\frac{1}{w_s} \frac{dy_{qr}}{dt} = -R_r I_{qr} - \frac{(w_s - w_r)}{w_s} dy_r \quad (5)$$

$$\frac{1}{w_s} \frac{dy_{dr}}{dt} = -R_r I_{dr} - \frac{(w_s - w_r)}{w_s} dy_{qr} \quad (6)$$

$$y_{qs} = -X_s I_{qs} + X_m I_{qr} \quad (7)$$

$$y_{ds} = -X_s I_{ds} + X_m I_{dr} \quad (8)$$

$$y_{qr} = -X_m I_{qs} + X_r I_{qr} \quad (9)$$

$$y_{dr} = -X_m I_{ds} + X_r I_{dr} \quad (10)$$

$$\frac{dE'_q}{dt} = -\frac{1}{T'_0} [E'_q + (X_s - X'_s) I_{ds}] \quad (11)$$

$$-[(w_s - w_r) E'_d] \quad (11)$$

$$\frac{dE'_d}{dt} = -\frac{1}{T'_0} [E'_d - (X_s - X'_s) I_{qs}] \quad (12)$$

$$-[(w_s - w_r) E'_q] \quad (12)$$

$$\frac{dw_r}{dt} = \frac{w_s}{2H} (T_m - T_e) \quad (13)$$

ويحسب العزم الكهربائي من العلاقة:

$$T_e = y_{dr} I_{qr} - y_{qr} I_{dr} \quad (14)$$

$$= E'_q I_{qs} + E'_d I_{ds}$$

إذ:

$$y_{qs}, y_{ds} : \text{الفيض المغناطيسي للثابت على المحورين d و q [p.u.]} \quad (14)$$

$$y_{qr}, y_{dr} : \text{الفيض المغناطيسي للدائر على المحورين d و q [p.u.]} \quad (14)$$

$$I_{qs}, I_{ds} : \text{تيار الثابت على المحورين d و q [p.u.]} \quad (14)$$

$$I_{qr}, I_{dr} : \text{تيار الدائر على}$$

A: مساحة العنفة

U: سرعة الرياح

C_p: مردود العنفة ويتعلق بسرعة وزاوية الشفرات

S_b: استطاعة الأساس

ونحتاج هنا إلى علاقة العزم لنمذجة حركة الكتلة الدوارة (العنفة، علبه السرعة والمحور)، ويفرض أن نقل الاستطاعة من العنفة الريحية إلى محور الآلة يتم دون ضياعات فإن العزم الميكانيكي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$T_m = BC_p \frac{U^3}{w_r} \quad (2)$$

$$B = \frac{1}{2} \frac{rpR^2}{S_b}$$

إذ:

ω_r: السرعة الزاوية للدائر [rad/s]

R: نصف قطر العنفة [m]

المولد التحريضي:

تستخدم الآلة التحريضية غالباً كمحرك، إلا أنها تستخدم ومنذ سنوات عديدة في العنفات الريحية كمولد وفقاً للنموذج الديناميكي المبين في الشكل (2) [7].

محددات الدخل لهذا النموذج هي العزم، التوتر والتردد، أمّا محددات الخرج فهي السرعة الميكانيكية والتيار الذي يُحقن في الشبكة.

وبيّن الشكل (3) الدارة المكافئة للمولد التحريضي والمحددات الكهربائية له.

إذ R₁ مقاومة الثابت، X₁ المفاعلة التحريضية للثابت، X₂ المفاعلة التحريضية المكافئة للدائر منسوبة إلى الثابت، R₂ المقاومة الأومية للدائر منسوبة إلى الثابت، R_m المقاومة الممثلة للضياعات، X_m مفاعلة المغنطة.

هذه المحددات مقدره بالكميات الواحدية والتوترات والتيارات هي أشعة ذات طويلة وزاوية ويسمى هذا

2- استقرار الاهتزازات الصغيرة Small Signal Stability

يتعرض النظام الكهربائي بصورة مستمرة إلى اضطرابات صغيرة مثل تغيرات الأحمال، وينجم عن هذه الاضطرابات اهتزازات على الشبكة الكهربائية. وتتعلق هذه الاهتزازات بظروف التشغيل وأنظمة التحكم وهيكلية الشبكة [9].

وتحدث هذه الاهتزازات عادة نتيجة لعدم وجود عزم كافٍ لإخماد الاهتزازات الكهرميكانيكية، ولبيان مدى استقرار النظام الكهربائي تجاه هذه الاهتزازات تستخدم طرائق رياضية تُحوَّل فيها معادلات النظام الديناميكية غير الخطية إلى معادلات خطية عند نقط التشغيل من الشكل:

$$x = AX + Bu$$

$$y = CX + Du$$

إذ:

A : مصفوفة الحالة

B : مصفوفة الدخل

C : مصفوفة معاملات الخرج

D : مصفوفة معاملات الربط بين الدخل والخرج

x : شعاع متحولات الحالة الديناميكية

u : شعاع معاملات الدخل

y : شعاع متحولات الخرج

ويُحكَّم على استقرار النظام تجاه الاهتزازات الصغيرة بعد تعرضه لتغيرات في ظروف التشغيل عن طريق القيم المميزة Eigenvalues لمصفوفة الحالة A التي تمثل جذور معادلة الحالة المحققة للعلاقة :

$$\det[A - S_i I] = 0 \quad (15)$$

إذ يحدد كل حل S_i تابعاً مرتبطاً بالزمن $e^{S_i t}$ يحقق معادلات الحالة .

المحورين d و q [p.u.]

V_{qs}, V_{ds} : توترات الثابت على

المحورين d و q [p.u.]

E'_q, E'_d : القوة المحركة الداخلية العابرة للمولد على

المحورين d و q [p.u.]

ω_s : السرعة التزامنية [rad/s]

T_m : العزم الميكانيكي [p.u.]

T_e : العزم الكهربائي [p.u.]

H : ثابت العطالة [s]

T'_0 : الثابت الزمني للدائرة المفتوحة [s]

X_r, X_s : مفاعلة الثابت والدائر [p.u.]

X'_s : المفاعلة العابرة للمولد [p.u.]

X_m : مفاعلة المغنطة للمولد [p.u.]

وقد تم الحصول على هذه المعادلات بفرض ظروف تشغيل متوازنة، ووجود مرجع يدور بالسرعة التزامنية، ويتقدم فيه المحور العرضي $q-axis$ على المحور الطولي $d-axis$ بمقدار 90° درجة كهربائية.

محول الرفع وخط النقل:

مثلاً محول الرفع بالدائرة المكافئة التقليدية للمحول التي يدخل فيها مقاومة ومفاعلة الملف الأولي ومقاومة ومفاعلة ملفات الثانوي فضلاً عن الدارة التفرعية للمغنطة مع الأخذ بالحسبان أن العنفة الريحية تُوصَل إلى طرف التوتر المنخفض من المحول. أما خط النقل فيُمثَّل بدارة p النموذجية المكونة من ممانعة تسلسلية وسماحييتين تفرعتين.

المولد التزامني :

يمثل المولد نمودجه الرياضي التقليدي على كل من المحورين d و q عند التوتر الاسمي، ويستخدم في كل مولد دائرة التهيج القياسية IEEE المبينة في الشكل(4) [8].

وعلى العكس من ذلك يتباطأ دائر الآلة في حال كان العزم الميكانيكي أقل من العزم الكهربائي. ويعتمد الاستقرار العابر على الشروط الابتدائية للعطل ومحددات الشبكة الكهربائية، وتبسيط التحليل سنفترض أن سرعة الرياح التي تعدُّ أحد محددات الدخل ثابتة خلال مدة الاضطراب [10].

وتستند الطرائق الأساسية لتقييم الاستقرار العابر إلى حل المعادلة التفاضلية للتأرجح لجميع الآلات التزامنية m خلال مدة الاضطراب بدلالة الزمن وهي من الشكل [11]:

$$\frac{H}{180f} \frac{d^2 d_i}{dt} = P_{mi} - P_{ei}$$

$$P_{ei} = \sum_{j=1}^m |E_i| |E_j| |Y_{ij}| \cos(\delta_{ij} - d_i + d_j) \quad (16)$$

, $i = 1, \dots, m$

حيث تُحدَّد قيم التوترات العابرة استناداً إلى معادلات هذه المحددات في النموذج الرياضي، وبعد حل المعادلات التفاضلية وحساب النظام الكهربائي على طول مجال الدراسة يمكن بناء المنحنيات $d(t)$ للحكم على استقرار النظام، كذلك يمكن بناء منحنيات السرعة والتوتر بدلالة الزمن.

يُقيَّم في هذا البحث أثر إدخال العنفات الريحية في الاستقرار العابر لنظام القدرة الكهربائي من خلال منحنيات الأداء بدلالة الزمن؛ وذلك في حالتين اثنتين:

الحالة الأولى عند زيادة إسهام العنفات الريحية في الاستطاعة الكلية المولدة، والحالة الثانية عند تغيير مواقع ربط هذه العنفات إلى قضبان جميع الشبكة الكهربائية.

5- الدراسة التجريبية:

Test Application

استُخدم البرنامج SVM لإنجاز حسابات الاستقرار تجاه الاهتزازات الصغيرة والبرنامج S_SIMU لحسابات

إذا كان للقيم المميزة جميعها جزء حقيقي سالب فهذا يعني أن التوابع جميعها ستتخامد مع الزمن، ومن ثمَّ يكون النظام الكهربائي مستقراً، أما إذا وجدت ولو قيمة مميزة واحدة ذات جزء حقيقي موجب فإن التابع الموافق لهذه القيمة المميزة سيتصاعد أسياً مع الزمن، ومن ثمَّ يكون النظام الكهربائي في هذه الحالة غير مستقر.

إن زيادة عدد العنفات الريحية المربوطة إلى الشبكة الكهربائية سيؤدي إلى تخفيض عدد محطات التوليد التقليدية التي تعمل فيها المولدات التزامنية بصورة أساسية، وهذا سيؤدي بالطبع إلى تخفيض العطالة الكلية وتغيير سلوك النظام في إخماد الاهتزازات الكهرميكانيكية.

لذلك سيُدرَس في هذا البحث تغيير هذا السلوك مع تغيير العطالة من الحالة الأساسية للنظام دون وجود عنفات ريحية مربوطة عليه إلى الحالة التي تُربطُ فيها عنفات ريحية بنسبة 25% من الاستطاعة الكلية المولدة وذلك اعتماداً على طريقة القيم المميزة لتحليل استقرار النظام الكهربائي.

3- الاستقرار العابر

Transient Stability

هو قدرة النظام على حفظ التزامن بعد تعرضه لاضطرابات كبيرة مثل خروج التجهيزات، خروج أحمال أو دخولها والأعطال التي تؤدي إلى تغيير في زاوية الدائر للمولدات التزامنية.

وتتأثر استجابة النظام بالعلاقة اللاخطية بين زاوية العزم أو الحمولة وبين الاستطاعة، وعادة يكون مجال الدراسة لهذا النوع من الاستقرار في الثواني الأولى بعد حدوث الاضطراب.

وفي الآلة التزامنية يتسارع الدائر خلال مدة الاضطراب إذا كان العزم الميكانيكي أكبر من العزم الكهربائي،

التفاضلية للمولدات، وتعاد هذه الخطوات على طول مجال الدراسة على أن تزداد في كل مرة الخطوة الزمنية. وبعد ذلك في المرحلة النهائية تُحفظ وتُعرضُ النتائج على الشاشة أو بشكل مطبوع، وتشمل هذه النتائج علاقة زاوية العزم (زاوية الحمل) وسرعة المولدات ومحددات أخرى بدلالة الزمن.

وقد تُطبَّق الدراسة على نظام قدرة كهربائي مكون من 37 عقدة و44 خطأ الشكل (7)، وقد مُلِّ كل عنصر من هذا النظام بالنموذج الرياضي له الوارد في سياق البحث. البيانات الرئيسية للنظام هي كما يأتي [3]:

عدد المولدات: 10

عدد الأحمال 18

استطاعة التوليد الإجمالية:

6192.93 MW 1238.95 MVar

استطاعة الأحمال:

6142 MW , 2597 MVar

أمَّا البيانات التفصيلية فتبيِّن نماذج عنها في الجداول 1/ و 2/ و 3/ و 4/ وذلك نظراً إلى الحجم الكبير لهذه البيانات ومحدودية عدد الصفحات المسموح بها للنشر. وهذه البيانات تمثل الحالة الأساسية Base case للنظام الكهربائي قبل ربط العنفات الريحية.

وقد عُدَّت العنفات الريحية متماثلة وجرت زيادة نسبة مساهمتها في الاستطاعة الكلية المولدة في النظام عن طريق زيادة عدد هذه العنفات التي تحتوي كل منها مولداً تحريضياً بالمواصفات الآتية:

$$5MVA, r_s = 0.001pu, X_s = 0.01pu, X_m = 0.009pu, r_r = 0.01pu, X_r = 2pu$$

الاستقرار العابر، وهذه البرامج هي تطبيقات لبرنامج الـ MATLAB [11].

يبين الشكل (5) المخطط الانسيابي للبرنامج SVM/MATLAB. يبدأ البرنامج بقراءة بيانات الشبكة الخاصة بالعقد والخطوط والبيانات الساكنة والديناميكية للمولدات، ومن ثم تُدقَّق هذه البيانات للتأكد من أنه لا يوجد بينها ما هو خارج المجالات المقبولة للمحددات التصميمية ومحددات التشغيل، ثم يُحسَب بعد ذلك جريان الحمل لتحديد توترات التشغيل. وبعد ذلك تُشكَّل مصفوفة السماحيات المختصرة ومن ثم تُشكَّل مصفوفة متحولات الحالة A والمصفوفات B,C,D .

يتم بعد ذلك إيجاد جذور معادلة الحالة ومن ثمَّ القيم المميزة لمصفوفة الحالة. ثم تُطبَّع النتائج للحكم على استقرار النظام تجاه الاهتزازات الصغيرة من خلال إشارة القسم الحقيقي للقيم المميزة.

ويبين الشكل (6) المخطط الانسيابي لبرنامج S_SIMU لتحليل الاستقرار العابر للنظام الكهربائي. يبدأ البرنامج بقراءة بيانات الشبكة الخاصة بالعقد والخطوط والبيانات الساكنة والديناميكية للمولدات، ومن ثم تُدقَّق هذه البيانات. الخطوة التالية يُحسَب جريان الحمل لتحديد قيم توترات قضبان التجميع التي تشكل معطيات دخل لحسابات الاستقرار. ثم بعد ذلك تبدأ مرحلة تمثيل العطل وحساب النظام على مرحلتين: الأولى خلال مدة دوام العطل، والثانية بعد انتهاء مدة دوام العطل إلى انتهاء مدة الدراسة

ويجري في كل من المرحلتين حساب محدثات المولدات خلال المدة العابرة وتشكيل مصفوفة السماحيات المختصرة ومن ثم حساب جريان الحمل في المدة العابرة والحسابات الديناميكية التي تتضمن حل المعادلات

العمود الأول للقيم المميزة، والثاني لعوامل الإخماد، والثالث لتردد إخماد الاهتزازات.

ويلاحظ من العمود الأول أن القسم الحقيقي للقيم المميزة جميعها هو بإشارة سالبة؛ مما يعني أن النظام مستقر تجاه الاهتزازات الصغيرة.

من أجل دراسة الحالة الثانية رُبطت العنفات الريحية إلى قضبان التجميع 30، 20، 18، وخُفِّصَت الاستطاعة المولدة من قبل المولدات التزامنية على العقد 29، 30، 32 بحيث تكون نسبة إسهام العنفات الريحية 25% من الاستطاعة الكلية المولدة في النظام.

نتائج الدراسة لهذه الحالة مبيّنة في الجدول (6)، ويلاحظ من العمود الأول في هذا الجدول أن الجزء الحقيقي للقيم المميزة جميعها ما زال بإشارة سالبة؛ مما يعني أن النظام ما زال مستقرًا تجاه الاهتزازات الصغيرة، لكن بالمقابل نلاحظ أن قيم الأجزاء الحقيقية للقيم المميزة بدأت تصغر؛ وهذا يعني أنها بدأت تقترب من القسم الموجب الذي يعني بدوره انخفاض هامش الاستقرار قليلاً، الأمر الذي يمكن تفسيره بانخفاض العطالة الكلية للنظام نتيجة لاستبدال جزء من المولدات التزامنية بمولدات تحريضية ذات عزم عطالة أقل.

الاستقرار العابر:

أُجريت في هذا الجزء من البحث متابعة الاستقرار الزاوي لدائر كل من الآلات التزامنية العشر الموجودة على النظام بعد افتراض حدوث عطل ثلاثي الطور الذي يعدُّ أقسى أنواع الأعطال الكهربائية على الخط 4-3، على أن يُفصل هذا الخط أولاً من طرف قضيب التجميع (3) بعد 5ms من لحظة حدوث العطل ومن طرف قضيب التجميع (4) بعد 10ms من لحظة حدوث العطل، وذلك بهدف بيان أثر نسبة إسهام العنفات الريحية في الاستطاعة الكلية المولدة في النظام، وموقع هذه العنفات

استقرار النظام تجاه الاهتزازات الصغيرة:

لبيان مدى إمكانية النظام السابق في المحافظة على الاستقرار تجاه الاهتزازات الصغيرة نتيجة الحمولة على الباسبارات 4 و14 دُرِسَت حالتان رئيستان:

الحالة الأولى: دراسة مدى استقرار النظام تجاه الاهتزازات الصغيرة دون وجود العنفات الريحية (الحالة الأساسية).

الحالة الثانية: دراسة مدى استقرار النظام تجاه الاهتزازات الصغيرة مع وجود عنفات ريحية.

وبنسبة إسهام 25% من الاستطاعة الكلية للنظام.

وفي كلتا الحالتين قُيِّمَ استقرار النظام استناداً إلى إشارة الجزء الحقيقي من القيم المميزة للمعادلات اللاخطية للنظام.

يبين الجدول (5) تابع الدراسة للحالة الأولى (الحالة الأساسية) ويتضمن هذا الجدول ثلاثة أعمدة.

العمود الأول للقيم المميزة، والثاني لعوامل الإخماد، والثالث لتردد إخماد الاهتزازات.

ويلاحظ من العمود الأول أن القسم الحقيقي للقيم المميزة جميعها هو بإشارة سالبة؛ مما يعني أن النظام مستقر تجاه الاهتزازات الصغيرة.

دون وجود العنفات الريحية (الحالة الأساسية).

الحالة الثانية: دراسة مدى استقرار النظام تجاه الاهتزازات الصغيرة مع وجود عنفات ريحية.

وبنسبة مساهمته 25% من الاستطاعة الكلية للنظام.

وفي كلتا الحالتين قُيِّمَ استقرار النظام استناداً إلى إشارة الجزء الحقيقي من القيم المميزة للمعادلات اللاخطية للنظام.

يبين الجدول (5) تابع الدراسة للحالة الأولى (الحالة الأساسية)، ويتضمن هذا الجدول ثلاثة أعمدة.

على الاستقرار العابر للنظام الكهربائي عند كل نسبة زيادة تمت متابعة منحني زاوية العزم d مع الزمن للآلات التزامنية جميعها في المجال $[0 \div 5 \text{sec}]$ وتسجيل زمن الفصل الحرج عند كل حالة من تلك الحالات.

أثر زيادة استطاعة العنفات الريحية في الاستقرار العابر:

لبيان أثر زيادة استطاعة العنفات الريحية في الاستطاعة الكلية المولدة على الاستقرار العابر لنظام القدرة الكهربائية جرت بالتدرج زيادة نسبة إسهام العنفات الريحية في المجال $[5 \div 25\%]$ ومتابعة الاستقرار الزاوي للدائر في الآلات التزامنية.

أُجريت الدراسة عند النسب 5%، 10%، 15%، 25%، وسُجّل زمن الفصل الحدي عند كل حالة، كما هو مبين في الجدول (7).

وبيّن الشكل (8) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن في الحالة الأساسية قبل ربط العنفات الريحية التي يتم الحصول عليها بنتيجة حل المعادلات التفاضلية، ويتضح من هذا الشكل أن الآلات التزامنية جميعها تهتز مع بعضها بعضاً إثر حدوث عطل ثلاثي الطور على الخط 3-4؛ مما يدل على بقائها في حالة التزامن وتقوم عزوم الإخماد في النظام الكهربائي بإعادة المولدات إلى نقطة عمل متوازنة جديدة نتيجة لخروج هذا الخط من الخدمة. وبيّن الشكل (9) علاقة السرعة للمولدات بالزمن بعد حدوث عطل ثلاثي الطور على قضيب التجميع (3)، ويتضح من هذا الشكل أن المولدات التزامنية رغم أنها تهتز بمطالات مختلفة بعد حدوث العطل نتيجة لاختلاف محدداتها إلا أنها تبقى ضمن حالة التوازن وفي مجال قريب من السرعة الاسمية.

أمّا الشكل (10) فيبين شكل موجة التوتر بعد حدوث العطل، ويُلاحظ من هذا الشكل أن التوتر على قضيب

التجميع 3 يهبط إلى الصفر عند حدوث العطل؛ إلا أنه يستعيد مطالبه بعد تحرير العطل، ولكن بصورة مهتزة حول القيمة الاسمية إلى أن تخدم الاهتزازات ويثبت عند قيمة جديدة نتيجة لاختلاف محددات النظام عما كان عليه قبل إزالة الخط.

ويلاحظ أن المولدات في الحالة الأساسية مستقرة وتهتز مع بعضها بعضاً، وكان زمن الفصل الحرج في هذه الحالة 170ms، وبيّن الشكل (11) علاقة زوايا الدائر بالزمن بعد ربط العنفات الريحية إلى قضبان التجميع 30، 20، 18، بنسبة إسهام 25% من الاستطاعة الكلية المولدة إذ يُلاحظ أن إضافة المولدات الريحية بالنسبة المذكورة لم يؤثر في استقرار النظام الكهربائي إذ بقيت المولدات تهتز مع بعضها بعد حدوث العطل الثلاثي الطور لتقوم عزوم الإخماد بعد ذلك بإعادتها إلى نقطة عمل متوازنة جديدة، مع الأخذ بالحسبان أن المولدات تهتز مع بعضها بعضاً مع انحراف بسيط عما كانت عليه قبل إضافة العنفات الريحية نتيجة لاختلاف عزوم العطالة للمولدات الريحية عن تلك للمولدات التزامنية.

وبيّن في الشكل (12) علاقة السرعة بالزمن لهذه المولدات، ويتضح من هذا الشكل أن إضافة العنفات الريحية لا تؤدي إلى خروج المولدات عن حالة التزامن، لكن أيضاً لاتخفض بشكل ملحوظ من الاهتزازات التي تحدث بعد العطل، غير أن شكل هذه الاهتزازات يختلف عما هو عليه قبل إضافة العنفات الريحية؛ وذلك بسبب تحرير الطاقة المختزنة على محاور العنفات الريحية بعد حدوث العطل.

وبيّن الشكل (13) علاقة التوتر على قضيب التجميع المعطل بالزمن إذ يُلاحظ ميل هذه المنحنيات للاستقرار بعد مرور مدة زمنية معينة (5 sec)، طبعاً التوتر لا يعود إلى القيمة التي كانت سائدة قبل حدوث الاضطراب بسبب اختلاف محددات النظام الكهربائي وتحرير الطاقة على محاور العنفات الريحية.

بعد حدوث اضطراب ممثل بعطل ثلاثي الطور على أحد خطوط النقل الكهربائية، وقد تم من خلال هذا البحث التوصل إلى النتائج الآتية:

1. وُضِعَ نموذج رياضي للنظام الكهربائي بوجود العنفات الريحية المربوطة عليه، واستخدم هذا النموذج لدراسة الحالة الديناميكية للنظام وبيان أثر العنفات الريحية في كل من استقرار النظام الكهربائي تجاه الاهتزازات الصغيرة وفي الاستقرار العابر بعد تحديد علاقة زاوية الدائر للمولدات التزامنية بالزمن.

2. ولبين أثر زيادة الاستطاعة المولدة من العنفات الريحية في استقرار الاهتزازات الصغيرة حُلِّلَ النظام وفقاً للقيم المميزة له وتحديد إشارة الجزء الحقيقي من هذه القيم في الحالة الأساسية وتبين من خلال البحث أن زيادة نسبة إسهام العنفات الريحية حتى 25% لا تؤثر في إشارة القسم الحقيقي من القيم المميزة، ومن ثمَّ لا تؤثر في استقرار النظام الكهربائي تجاه الاهتزازات الصغيرة.

3. دُرِسَتْ في سياق البحث زيادة نسبة الاستطاعة المولدة من العنفات الريحية في المجال [0-25%] من الاستطاعة الكلية على الاستقرار العابر للنظام الكهربائي وتبين أنه ضمن هذا المجال تبقى المولدات في حالة تزامن بعد حدوث الاضطراب، ومن ثمَّ يحافظ النظام على الاستقرار العابر ضمن هذا المجال وإن كان ذلك يترافق مع نقصان في زمن الفصل الحدي للأعطال، ومن ثمَّ انخفاض هامش الاستقرار للنظام الكهربائي.

4. كما دُرِسَ فضلاً عن ذلك أثر تغيير موقع العنفات الريحية في الاستقرار العابر، ووجدنا أنه في بعض الحالات ولنسبة إسهام العنفات الريحية نفسها فإن

يلاحظ أن المولدات لا تزال مستقرة، إلا أن زمن الفصل الحدي انخفض إلى 70ms في هذه الحالة، ويعود السبب في ذلك إلى انخفاض عطالة النظام نتيجة لاستبدال جزء من المولدات التزامنية تحريضية ذات عطالة أقل.

أثر موقع العنفات الريحية في الاستقرار العابر للنظام الكهربائي:

لتحديد أثر موقع العنفات الريحية في الاستقرار العابر لنظام القدرة الكهربائي جرت متابعة الوضع الزاوي لدائر الآلات التزامنية في الحالات الآتية:

1- الحالة الأساسية (Base Case) قبل ربط العنفات الريحية.

2- ربط العنفات الريحية وباستطاعة إجمالية 309MW+ 210MVAR إلى قضبان التجميع 15, 9, 18, 30 على التوالي، ونبيّن في الجدول (8) زمن الفصل الحدي عند كل حالة، ويلاحظ أن هذا الزمن يزداد بنسب متفاوتة تبعاً لموقع ربط العنفات الريحية.

ونبيّن في الشكل (14) علاقة الزاوية بالزمن لدائر الآلات التزامنية بعد ربط العنفات الريحية إلى قضيب التجميع (9) ويتبين من هذا الشكل أن المولدات تكون مستقرة وتتهز مع بعضها بعضاً بعد ربط العنفات الريحية إلى هذه العقدة مع تحسن واضح في زمن الفصل الحدي الذي أصبح في هذه الحالة 205ms. وعند المحاولة زيادة مدة دوام العطل أكثر من زمن الفصل الحدي فإن المولدات التزامنية تخرج عن الاستقرار وتبتعد منحنيات زمن الزاوية عن بعضها بعضاً كما هو مبين في الشكل (15) عند زمن فصل حرج 220ms، ويبين الشكل (16) شكل موجة التوتر على قضيب التجميع (3) عند خروج المولدات عن الاستقرار.

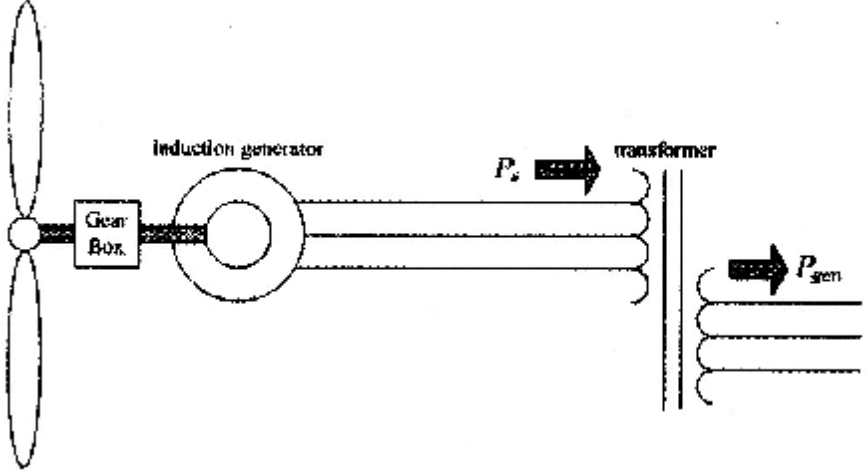
6- الخاتمة : Conclusion

دُرِسَ في هذا البحث أثر العنفات الريحية المجهزة بمولدات تحريضية ذات قفص سنجابي في استقرار النظام الكهربائي تجاه الاهتزازات الصغيرة والاستقرار العابر

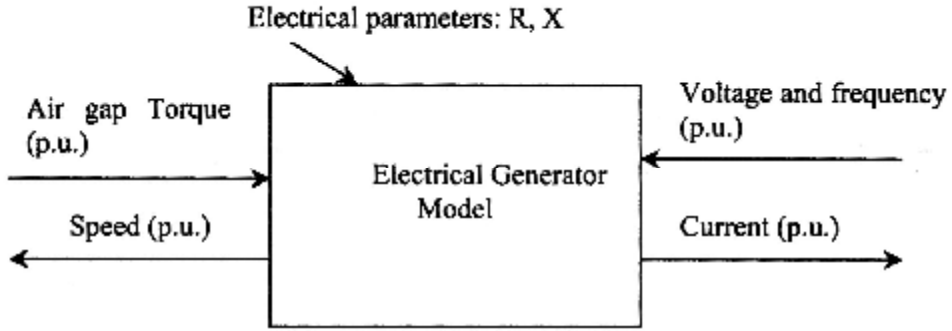
الكهربائي لاختبار أفضل المواقع للعنفات الريحية ضمن خارطة المواقع الريحية المتوافرة.

بعض المواقع تعطي هامش استقرار أفضل وزمن فصل حدي أكبر من المواقع الأخرى.

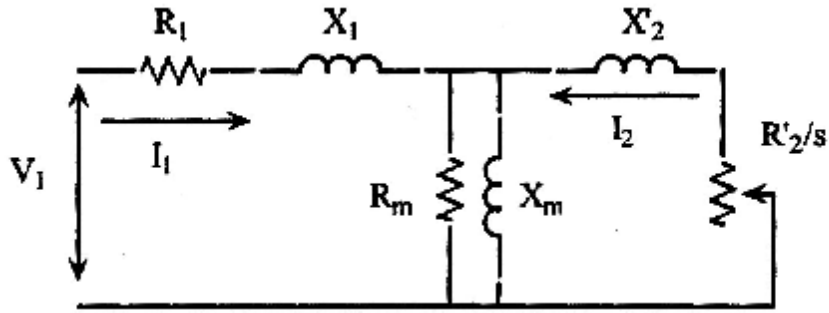
5. لذلك قبل الشروع في ربط العنفات الريحية إلى النظام الكهربائي ينصح بإجراء دراسة ديناميكية على النظام



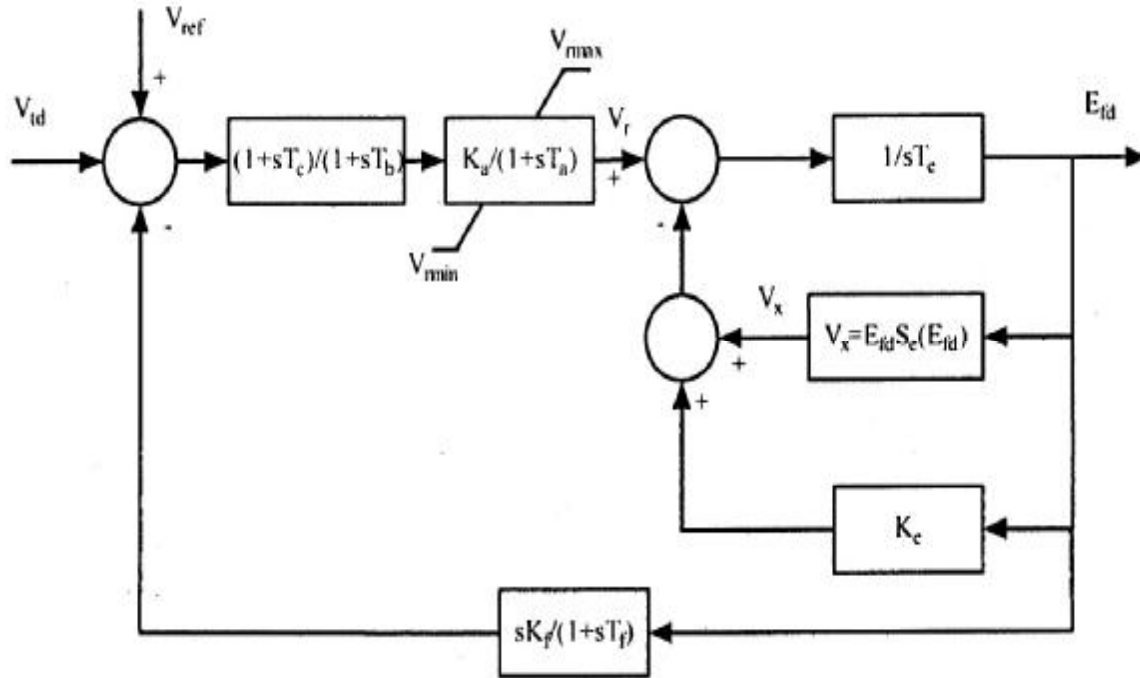
الشكل (1) العنفة الريحية مربوطة إلى الشبكة الكهربائية



الشكل (2) محددات النموذج الديناميكي للمولد التحريضي

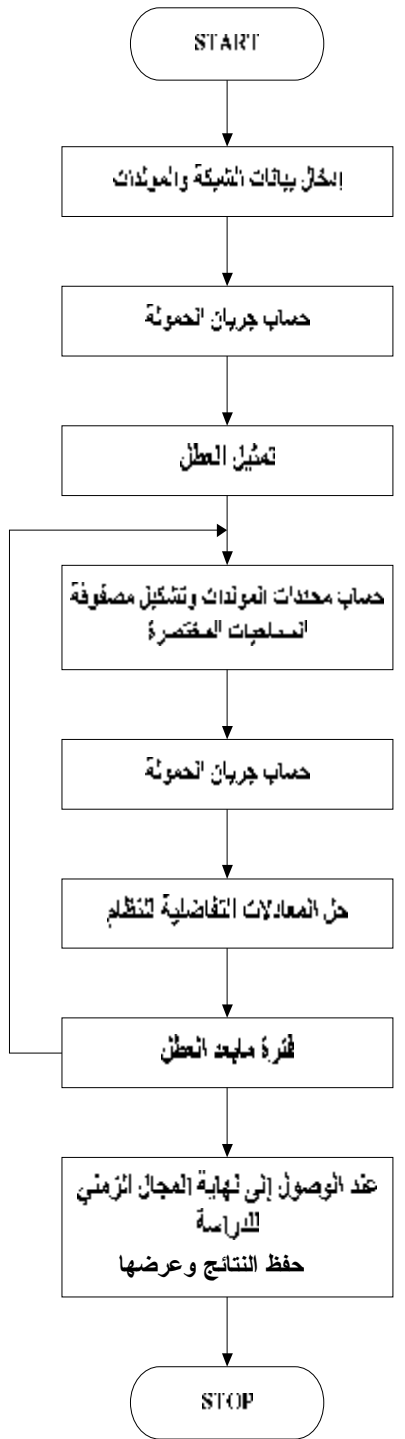


الشكل (3) الدارة المكافئة للمولد التحريضي



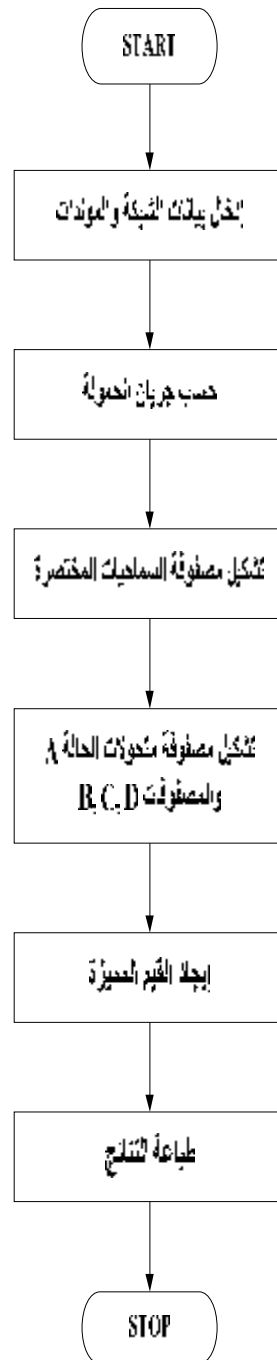
الشكل (4) نموذج دارة التهييج للمولد التزامني

- إذ:
- T_e : الثابت الزمني لدارة التهييج.
 - E_{fd} : القوة المحركة الكهربائية لدارة التهييج.
 - K_1 : كسب منظم التوتر.
 - T_p : الثابت الزمني لمنظم التوتر.
 - $E_e(E_{fd})$: تابع التشبع.
 - K_a : كسب منظم التوتر.
 - T_a, T_b, T_c : الثوابت الزمنية لمنظم التوتر.
 - V_{max}, V_{min} : التوتر الأعظمي والأصغري لمنظم التوتر.
 - K_e : ثابت دارة التهييج.

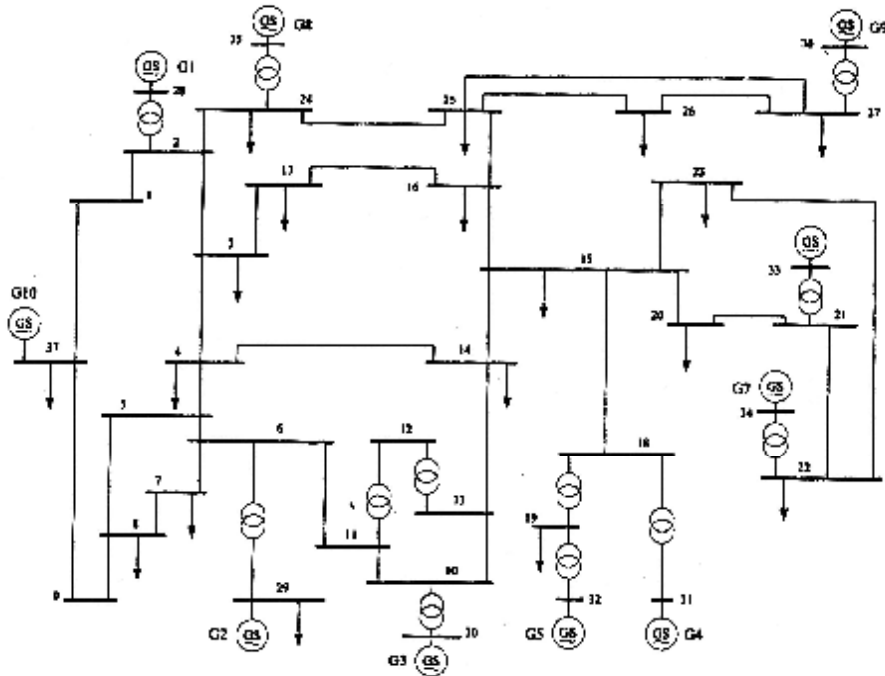


الشكل (6) المخطط الالسيابي لبرنامج

S_SIMU



الشكل (5) المخطط الالسيابي لبرنامج SVM



الشكل (7) نظام قدرة مكون من 37 عقدة و 44 خطاً

الجدول (1) نماذج بيانات العقد والأحمال لنظام القدرة 37 عقدة

```

%data for 37 Buses Test case 18/07/2011
disp('37 buses data')/
% bus data format
% bus: number, voltage(pu), angle(degree), p_gen(pu), q_gen(pu),
%   g_load(pu), q_load(pu),G shunt,B shunt, bus_type
%   bus_type - 1, swing bus
%             - 2, generator bus (EV bus)
%             - 3, load bus (PQ bus)

%(bus#) (voltage) (ang) ( pgen ) (qgen) (pload) (qload) (gsh) (bsh) (bus type) qgmax qgmin

bus=[
1 1.048 -9.43 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.00000 0.00000 3 99 -99 ;
2 1.0505 -6.89 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.00000 0.00000 3 99 -99 ;
3 1.0341 -9.73 0.0000 0.0000 3.2200 0.0240 0.00000 0.00000 3 99 -99 ;
4 1.0116 -10.53 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.00000 0.00000 3 99 -99 ;
5 1.0165 -9.38 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.00000 0.00000 3 99 -99 ;
33 1.0493 4.14 6.5000 2.0884 0.0000 0.0000 0.00000 0.00000 2 8 -5 ;
34 1.0635 6.83 5.6000 0.9688 0.0000 0.0000 0.00000 0.00000 2 8 -5 ;
35 1.0278 1.26 5.4000 -0.0444 0.0000 0.0000 0.00000 0.00000 2 8 -5 ;
36 1.0265 6.55 8.3000 0.1929 0.0000 0.0000 0.00000 0.00000 2 8 -5 ;
37 1.0300 -10.96 10.000 0.6846 11.040 2.5000 0.00000 0.00000 1 15 -10 ];

```

الجدول (2) نماذج بيانات الخطوط لنظام القدرة 37 عقدة

```

% line data format
% lines
%
% col1      from bus
% col2      to bus
% col3      resistance(ohm)
% col4      reactance(ohm)
% col5      line charging(pu)
% col6      tap ratio
% col7      tap phase
% col8      tegmax
% col9      teqmax
% col10     tapsize

%b41 b#2: res 1: res 1:dcarg 1:tap 1:phase)
line =
    1  2  0.00350  0.04110  0.69870  0.0000  0  0  0  0
    1  37  0.00100  0.02500  0.75000  0.0000  0  0  0  0
    2  3  0.00130  0.01510  0.25720  0.0000  0  0  0  0
    2  24  0.00700  0.00860  0.14600  0.0000  0  0  0  0
    2  28  0.00000  0.01810  0.00000  1.0250  0  0  0  0
    3  4  0.00130  0.02130  0.22140  0.0000  0  0  0  0
    3  17  0.00110  0.01330  0.21390  0.0000  0  0  0  0
    
```

الجدول (3) بيانات المولدات التزامنية لنظام القدرة 37 عقدة

```

% Machine data format
% Machine data format

%
% 1. machine number,
% 2. bus number,
% 3. base mva,
% 4. dq-axis synchronous reactance x'd(ohm),
% 5. resistance r(ohm),
% 6. dq-axis synchronous reactance x'q(ohm),
% 7. dq-axis transient reactance x'd(ohm),
% 8. dq-axis subtransient reactance x''(ohm),
% 9. dq-axis open-circuit time constant T'do(sec),
% 10. q-axis open-circuit subtransient time constant
%     T''do(sec),
% 11. q-axis synchronous reactance x'q(ohm),
% 12. q-axis transient reactance x'q(ohm),
% 13. q-axis subtransient reactance x''(ohm),
% 14. q-axis open-circuit time constant T'qo(sec),
% 15. q-axis open-circuit subtransient time constant
%     T''qo(sec),
% 16. inertia constant H(sec),
% 17. damping coefficient d(pu),
% 18. damping coefficient d' (pu),
% 19. bus number
%
% note: all the following numbers are in per-unit system.
mac_data = [
    1  29  1000.0  0.125  0.0014  7.00  0.910  0  10.20  0  5.69  0.310  0  1.50  0  4.20  0.0  0.0  26  0  0
    2  29  1000.0  0.350  0.0270  2.55  0.697  0  6.56  0  2.62  3.697  0  1.50  0  3.03  0.0  0.0  29  0  0
    3  20  1000.0  0.304  0.0385  2.49  0.551  0  5.70  0  2.37  0.531  0  1.50  0  3.59  0.0  0.0  30  0  0
    4  31  1000.0  0.235  0.0222  2.62  0.436  0  5.69  0  2.08  0.436  0  1.50  0  2.86  0.0  0.0  31  0  0
    5  32  1000.0  0.540  0.0014  6.00  0.920  0  6.43  0  6.25  1.320  0  0.00  0  2.60  0.0  0.0  32  0  0
    6  30  1000.0  0.924  0.0610  2.51  0.500  0  7.30  0  2.41  0.520  0  0.40  0  3.48  0.0  0.0  33  0  0
    7  34  1000.0  0.322  0.0208  2.95  0.440  0  5.69  0  2.82  0.490  0  1.50  0  2.54  0.0  0.0  34  0  0
    8  35  1000.0  0.780  0.0686  2.92  0.570  0  6.70  0  2.39  0.371  0  0.41  0  2.43  0.0  0.0  35  0  0
    9  36  1000.0  0.298  0.0030  2.13  0.370  0  4.79  0  2.39  0.371  0  1.96  0  3.45  0.0  0.0  36  0  0
    10  37  1000.0  0.03  0.001  0.20  0.060  0  7.00  0  0.0  0.000  0  0.00  0  0.00  0.0  0.0  37  0  0
    
```

الجدول (4) بيانات دارات تهييج المولدات التزامنية لنظام القدرة 37 عقدة

```

* all six exciters, no paa
% cell1 type, cell2 machine number, cell3 U1, cell4 Ka, cell5 Ta, cell6 Td, cell7 Bc,
% cell8 Vm, cell9 V, cell10 Ks, cell11 Td, cell12 L1, cell13 S, cell14 Z,
% cell15 Ds1, cell16 K1, cell17 T1
exc_con =
1 1 0 5.00 0.050 3.000 0.000 5 -5 -0.05 0.25 1.7 0.5 3 2.0 0 0.04 1.000
1 2 0 6.20 0.050 3.000 0.000 5 -5 0.63 0.420 3 3.66 4 0.48 0 1.06 0.500
1 3 0 5.00 0.050 3.000 0.000 5 -5 -1.12 0.500 3 3.13 4 0.34 0 0.08 1.000
1 4 0 5.00 0.050 3.000 0.000 5 -5 -0.95 0.500 3 3.08 4 0.31 0 0.08 1.000
1 5 0 40.00 0.020 0.000 0.000 10 -10 -3.04 0.185 3 0.03 4 0.91 0 0.03 1.000
1 6 0 5.00 0.020 0.000 0.000 5 -5 1.00 0.471 3 0.08 4 0.25 0 0.08 1.25
1 7 0 40.00 0.020 0.000 0.000 10 -10 1.00 0.180 3 0.03 4 0.74 0 0.03 1.000
1 8 0 5.00 0.020 0.000 0.000 5 -5 -0.05 0.328 3 0.05 4 0.28 0 0.09 1.266
1 9 0 40.00 0.020 0.000 0.000 10 -10 1.00 0.180 3 0.03 4 0.95 0 0.03 1.000
    
```

الجدول (5) القيم المميزة وعوامل التخماد وتردد التخماد لنظام القدرة دون وجود عنفات ريحية

Eig. Value	D ump	F req
-0.0065	1.0000	0
0.0065	-1.0000	0
-0.1800	1.0000	0
-0.4731	1.0000	0
-0.0706 - 0.6035i	0.1162	0.0960
-0.0706 + 0.6035i	0.1162	0.0960
-0.1360 - 0.6945i	0.1921	0.1105
-0.1360 + 0.6945i	0.1921	0.1105
-0.7090	1.0000	0
-0.7207	1.0000	0
-0.2675 - 0.8118i	0.3129	0.1292
-0.2675 + 0.8118i	0.3129	0.1292
-1.0651	1.0000	0
-0.7269 - 0.8691i	0.6416	0.1383
-0.7269 + 0.8691i	0.6416	0.1383
-1.2892	1.0000	0
-1.4952	1.0000	0
-1.5778	1.0000	0
-1.3864 - 0.7967i	0.8670	0.1268
-1.3864 + 0.7967i	0.8670	0.1268
-1.7527 - 0.4307i	0.9711	0.0685
-1.7527 + 0.4307i	0.9711	0.0685
-2.0040	1.0000	0
-0.3580 - 2.0572i	0.1714	0.3274
-0.3580 + 2.0572i	0.1714	0.3274
-0.8833 - 2.0582i	0.3944	0.3276
-0.8833 + 2.0582i	0.3944	0.3276
-2.5449	1.0000	0
-0.1966 - 3.8871i	0.0505	0.6187
-0.1966 + 3.8871i	0.0505	0.6187
-0.2456 - 5.7399i	0.0427	0.9135
-0.2456 + 5.7399i	0.0427	0.9135
-0.2987 - 6.4971i	0.0459	1.0340
-0.2987 + 6.4971i	0.0459	1.0340
-6.7214	1.0000	0
-0.3299 - 7.2068i	0.0457	1.1470
-0.3299 + 7.2068i	0.0457	1.1470
-7.3313	1.0000	0
-0.3060 - 8.0133i	0.0382	1.2754
-0.3060 + 8.0133i	0.0382	1.2754
-8.2791	1.0000	0
-0.3946 - 8.4732i	0.0465	1.3486
-0.3946 + 8.4732i	0.0465	1.3486
-0.4560 - 9.0933i	0.0501	1.4472
-0.4560 + 9.0933i	0.0501	1.4472
-0.4266 - 9.4783i	0.0450	1.5085
-0.4266 + 9.4783i	0.0450	1.5085
-0.7116 - 9.4944i	0.0747	1.5111
-0.7116 + 9.4944i	0.0747	1.5111
-11.1111	1.0000	0
-12.5000	1.0000	0
-12.5000	1.0000	0
-12.5000	1.0000	0
-16.6667	1.0000	0
-16.7001	1.0000	0
-16.7094	1.0000	0
-16.7349	1.0000	0
-20.0435	1.0000	0
-25.0000	1.0000	0
-33.3333	1.0000	0
-33.3333	1.0000	0
-33.3333	1.0000	0
-50.0078	1.0000	0
-50.0087	1.0000	0
-50.0343	1.0000	0
-50.0453	1.0000	0
-50.0792	1.0000	0

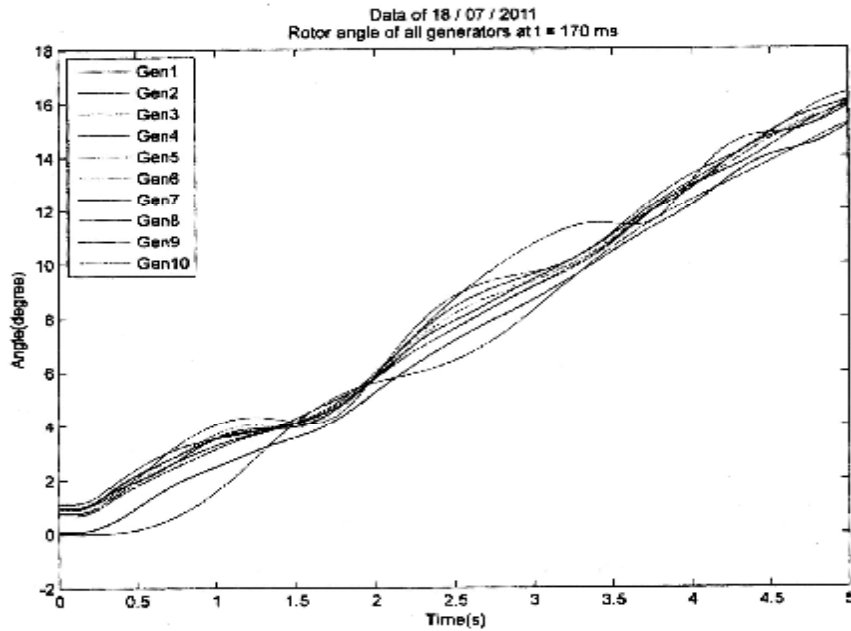
الجدول (6) القيم المميزة وعوامل التخماد وتردد تخامد الاهتزازات

نظام القدرة مع وجود عنقات ربحية بنسبة 25%

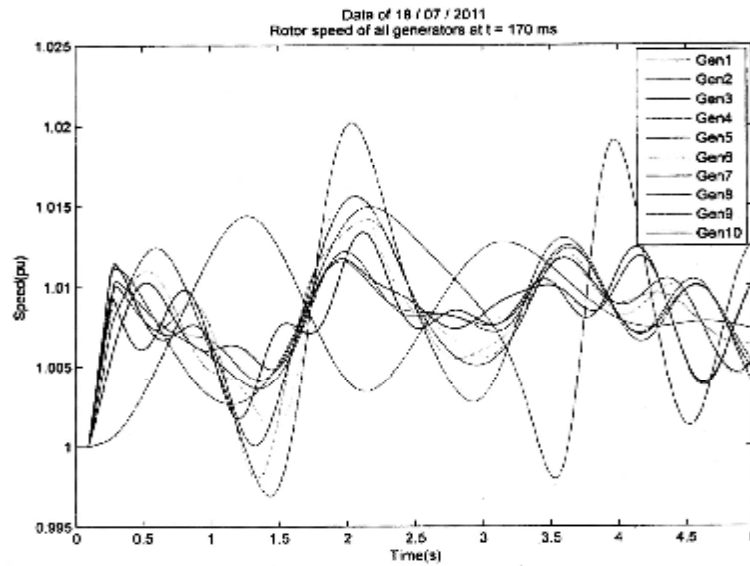
Eig Value	Damp	Freq
-0.0062	1.0000	0
0.0062	-1.0000	0
-0.1907	1.0000	0
-0.6244	1.0000	0
-0.0868 - 0.6223i	0.1382	0.0990
-0.0868 + 0.6223i	0.1382	0.0990
-0.7368	1.0000	0
-0.3263 - 0.7525i	0.3979	0.1198
-0.3263 + 0.7525i	0.3979	0.1198
-0.3925 - 0.8475i	0.4202	0.1349
-0.3925 + 0.8475i	0.4202	0.1349
-1.0647	1.0000	0
-0.8521 - 0.7745i	0.7400	0.1233
-0.8521 + 0.7745i	0.7400	0.1233
-1.1890	1.0000	0
-1.2960 - 0.3358i	0.9680	0.0534
-1.2960 + 0.3358i	0.9680	0.0534
-1.4847	1.0000	0
-1.5167	1.0000	0
-1.5442	1.0000	0
-0.6427 - 1.6638i	0.3603	0.2648
-0.6427 + 1.6638i	0.3603	0.2648
-1.9308	1.0000	0
-2.1796	1.0000	0
-0.3393 - 2.2389i	0.1498	0.3563
-0.3393 + 2.2389i	0.1498	0.3563
-0.8175 - 2.1603i	0.3539	0.3438
-0.8175 + 2.1603i	0.3539	0.3438
-0.3336 - 3.3654i	0.0987	0.5356
-0.3336 + 3.3654i	0.0987	0.5356
-0.3485 - 5.8073i	0.0599	0.9243
-0.3485 + 5.8073i	0.0599	0.9243
-6.4450	1.0000	0
-0.6975 - 6.4962i	0.1068	1.0339
-0.6975 + 6.4962i	0.1068	1.0339
-6.7814	1.0000	0
-0.3495 - 7.0798i	0.0493	1.1268
-0.3495 + 7.0798i	0.0493	1.1268
-7.2162	1.0000	0
-0.3099 - 7.9857i	0.0388	1.2710
-0.3099 + 7.9857i	0.0388	1.2710
-0.4371 - 8.6717i	0.0503	1.3801
-0.4371 + 8.6717i	0.0503	1.3801
-0.7960 - 9.0073i	0.0880	1.4336
-0.7960 + 9.0073i	0.0880	1.4336
-0.4542 - 9.4870i	0.0478	1.5099
-0.4542 + 9.4870i	0.0478	1.5099
-0.7810 - 9.6952i	0.0803	1.5430
-0.7810 + 9.6952i	0.0803	1.5430
-11.1111	1.0000	0
-12.5000	1.0000	0
-12.5000	1.0000	0
-12.5000	1.0000	0
-16.6667	1.0000	0
-16.7075	1.0000	0
-16.7313	1.0000	0
-16.7587	1.0000	0
-20.0506	1.0000	0
-22.9067	1.0000	0
-25.0000	1.0000	0
-11.4991 - 22.7403i	0.4513	3.6192
-11.4991 + 22.7403i	0.4513	3.6192
-33.3333	1.0000	0
-33.3333	1.0000	0
-33.3333	1.0000	0
-50.0082	1.0000	0
-50.0095	1.0000	0
-50.0287	1.0000	0
-50.0451	1.0000	0
-50.0821	1.0000	0

الجدول (7) زمن الفصل الحدي عند نسب مختلفة لاستطاعة العنقات الريحية المساهمة

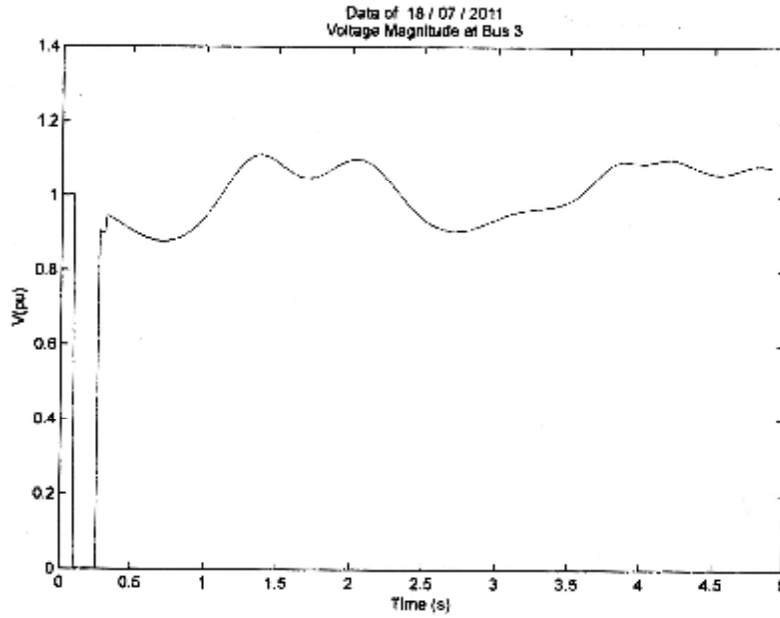
25%	20%	15%	10%	5%	0%	النسبة
70	110	140	150	170	170	زمن الفصل الخرج (ms)



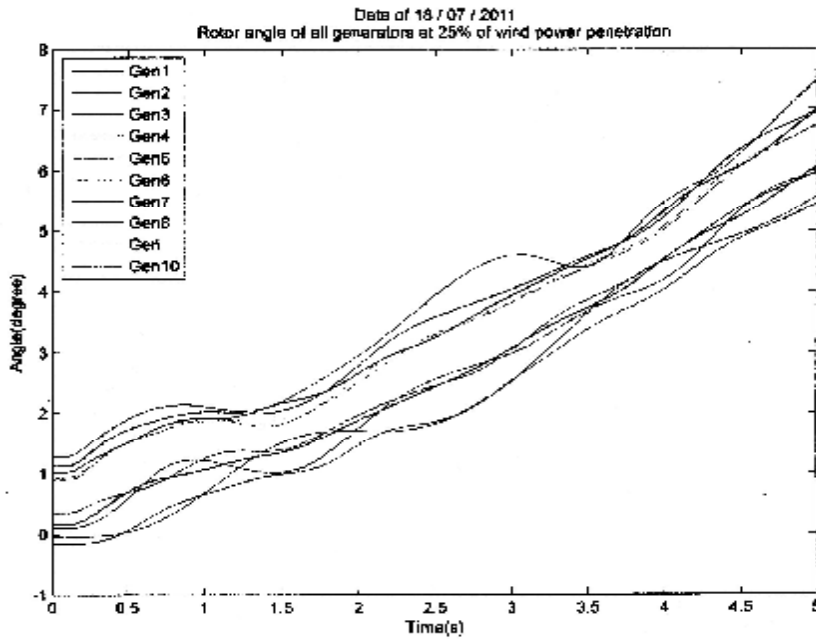
الشكل (8) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن قبل ربط العنقات الريحية



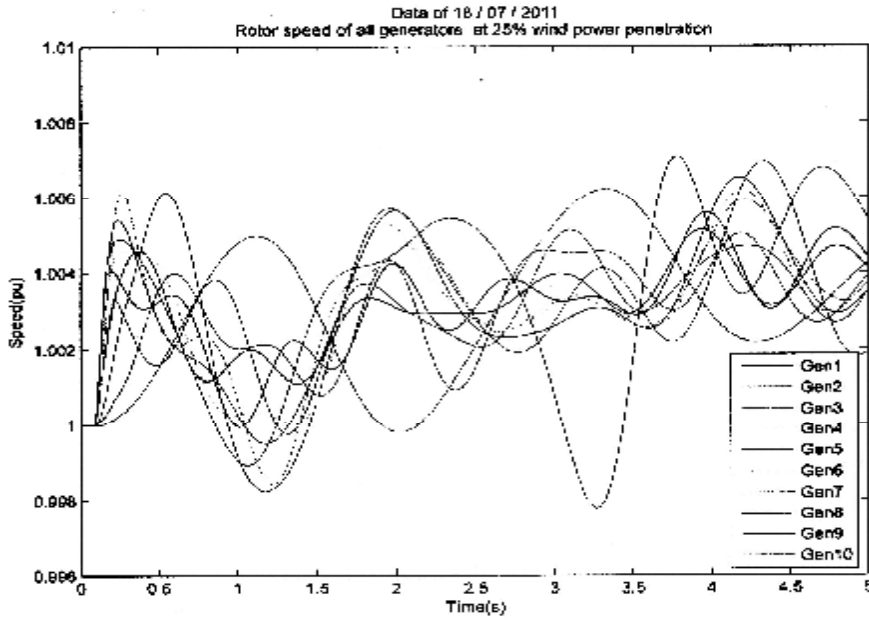
الشكل (9) علاقة سرعة الدائر للآلات التزامنية بالزمن قبل ربط العنقات الريحية



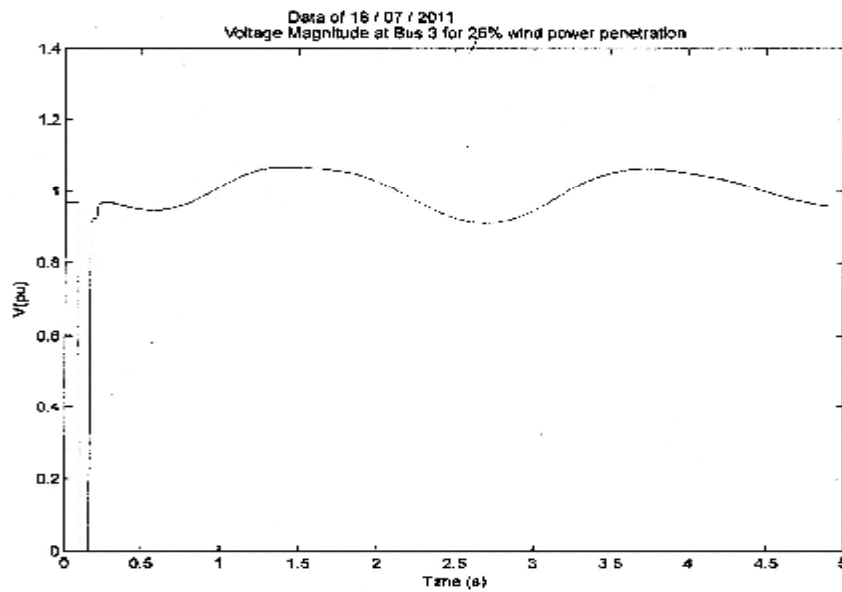
الشكل (10) علاقة التوتر بالزمن على قضيب التجميع 3 بعد حدوث عطل ثلاثي الطور



الشكل (11) علاقة زوايا الدائر لآلات التزامنية بالزمن بعد ربط العنفات الريحية وبنسبة إسهام 25%



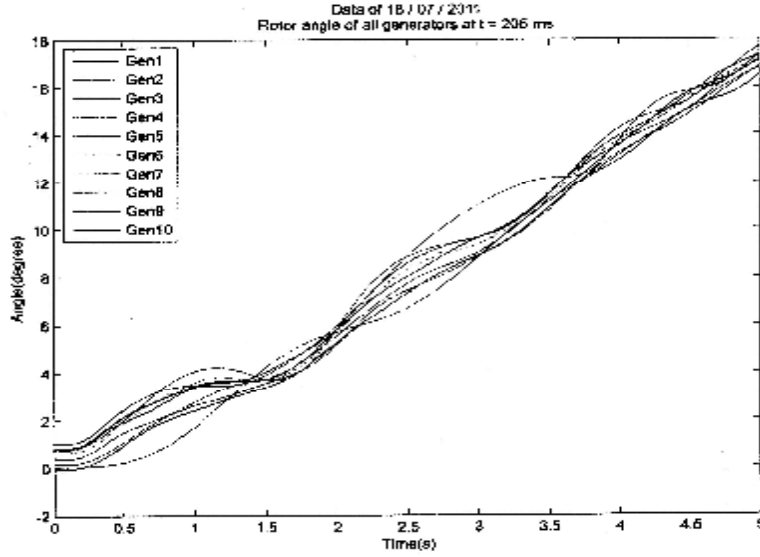
الشكل (12) علاقة سرعة الدائر للآلات التزامنية بالزمن
بعد ربط العنقات الريحية ونسبة إسهام 25%



الشكل (13) شكل منحنى التوتر على قضيب التجميع 3
بعد إضافة العنقات الريحية ونسبة إسهام 25%

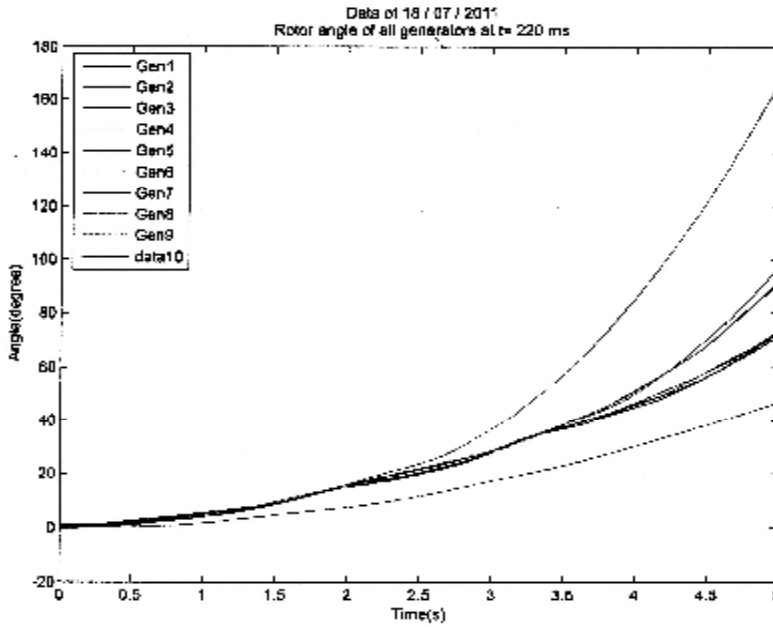
الجدول (8) زمن الفصل الحدي تبعاً لموقع ربط العنقات الريحية

30	18	9	5	1	رقم الباسبار
175	180	205	176	200	زمن الفصل الحدي (ms) CCT



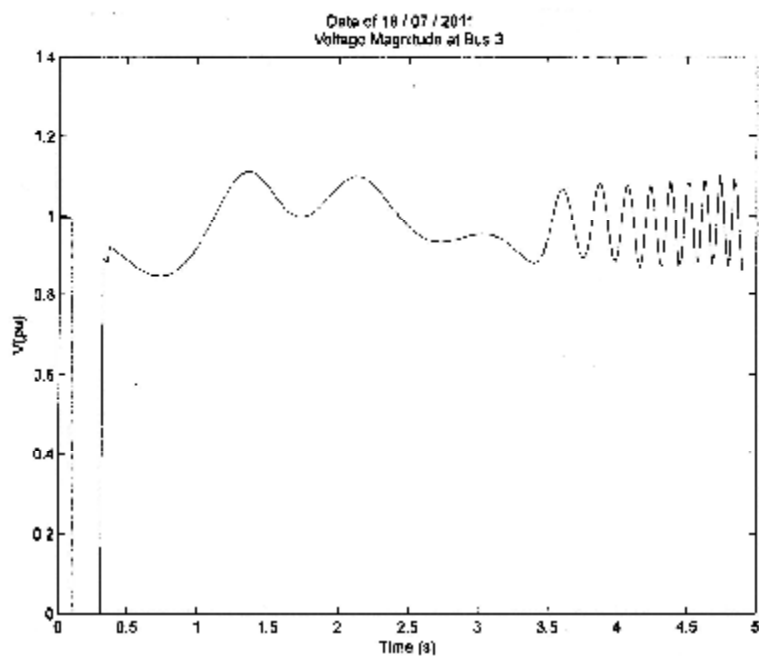
الشكل (14) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن

بعد ربط العنقات إلى قضيب التجميع (9) عند الزمن $t=205ms$



الشكل (15) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن بعد ربط العنقات الريحية

إلى قضيب التجميع (9) وتجاوز زمن الفصل الحدي



الشكل (16) علاقة التوتر بالزمن على قضيب التجميع (3) بعد ربط العنفات الريحية إلى الباسبار (9) وتجاوز زمن الفصل الحدي

المراجع:

1. Gilbert M. Master, Renewable and efficient electric power system, John Wiley & Sons Inc New Jersey, 2004 .
2. M. Gody Simoes, Felix A. Farret, Alternative energy systems, design and analysis with induction generators, CRC Press, New York 2008.
3. M. Reza, J.G. Sloopweg, Investigating impacts of distributed generation on transmission system stability, IEEE, 2003.
4. Thomas Ackerman, Wind Power in Power systems, John Wiley & Sons, Ltd, England, 2005.
5. Sigfried Heier, Grid integration of wind energy conversion systems, John Wiley & Sons, Ltd, England, 2006.
6. Stefan Marco, Ivan Dorula, Development of wind power on the power system studies, Journal of Electrical Engineering, 2005.
7. Pedro Ross, Dynamic influences of Wind power on the power system Riso national laboratory report ,Denmark, 2003.
8. Anderson, P.M., and Fouad A.A, power system control and stability , Iowa State, University Press, Iowa, 2008.
9. Kundur, P. power system stability and control, Mc Graw-Hill, New York 2008.
10. Ahmed M. Azmy, Istvan Erlich, Impact of distributed generation on the stability of electrical power systems, IEEE, 2005.
11. SVM,S_SIMU/MATLAB Program for stability simulation, University of Illinois, 2008.
12. د. علي حمزة، د. خالد زيدان، تحليل نظم القدرة الكهربائية، جامعة دمشق، 2008 .