

## تأثير العنفات الريحية ذات السرعات الثابتة على الاستقرار العابر للمنظومة الكهربائية السورية

د. حسان السويدان\*

### الملخص

هناك جهود تُبذل لربط العديد من المزارع الريحية إلى الشبكة السورية، ومع زيادة عددها سيزداد الأثر التراكمي لهذه العنفات على خصائص التشغيل الديناميكية لنظام القدرة الكهربائية. حُلِّلَ في هذا البحث أثر العنفات الريحية ذات السرعات الثابتة التي تستخدم فيها المولدات التحريضية ذات القفص السنجالي التي تعدُّ الأكثر انتشاراً في الوقت الحاضر على الاستقرار العابر للمنظومة الكهربائية السورية من نواحٍ عدة مثل مستوى إسهام العنفات الريحية، ومكان العطل على خطوط نقل القدرة الكهربائية الهوائية وتغيّر طبوغرافيا الشبكة. وتبيّن نتائج هذه الدراسة أن سيكون للمزارع الريحية المزعم ربطها إلى الشبكة السورية أثراً ملموساً في تحسين محددات الاستقرار العابر (CCT,  $\delta$ ). وسيزداد هذا الأثر بزيادة نسبة إسهامه في العنفات الريحية، إلا أنه سيرتبط مع ذلك بمكان حدوث العطل وتغيّر طبوغرافيا الشبكة الناجم عن الدارات المضاعفة للخطوط الهوائية.

الكلمات المفتاحية: العنفات الريحية ذات السرعات الثابتة، المولدات التحريضية، زمن الفصل الحرج، الاستقرار العابر، المنظومة الكهربائية السورية

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

## 1- المقدمة: Introduction

كما هو معروف فإن العديد من الدول ومنها سورية وضعت خطياً طموحة لتوليد الطاقة الكهربائية من الطاقات المتجددة ولاسيماً طاقة الرياح وبنسب عالية وصلت في بعضها إلى 20% من الطاقة الكلية المنتجة سعياً منها لتخفيض تكاليف الإنتاج والنقل والمحافظة على البيئة [1].

وتسعى المؤسسات الكهربائية في ضوء هذا الواقع لفهم الآثار المحتملة على نظام القدرة الكهربائي عند ربط مجموعة كبيرة من العنفات الريحية إليه.

ونظراً إلى أن الرياح هو مصدر متغير الطاقة فإن الاهتمام ينصب على دراسة كيفية تكاملها مع الشبكة الكهربائية وتأثيرها في محددات التشغيل في الحالة الساكنة والديناميكية.

إن معظم العنفات الريحية المركبة حالياً هي من النوع ذي السرعة الثابتة (أو ما يسمى بالنموذج الدانماركي) التي تُستخدَم فيها وعلى نطاق واسع المولدات التحريضية ذات القفص السنجابي نظراً إلى ما تتمتع به من بساطة في التركيب وانخفاض في التكاليف وسهولة في الاستثمار [2].

هَدَفَ البحث إلى دراسة أثر العنفات الريحية ذات السرعات الثابتة في الاستقرار العابر للمنظومة الكهربائية السورية، ومراقبة سلوك المولدات التزامنية عند حدوث أعطال الدارة القصيرة على خطوط النقل، ومدى قدرتها على الحفاظ على التزامن عند إدخال المزيد من العنفات الريحية على هذه المنظومة، واختلاف أماكن حدوث الأعطال على الشبكة الكهربائية، وكذلك تغيير طوبوغرافيا الشبكة الكهربائية الناجم عن فصل أحد خطوط الدارات المضاعفة من خطوط النقل الهوائية.

وتظهر نتائج البحث أن سيكون للعنفات الريحية المزمع

إنشاؤها في القطر العربي السوري أثراً واضحاً في الاستقرار العابر للمنظومة الكهربائية السورية وسيرتبط هذا الأثر وبدرجة معينة بمكان حدوث العطل وتغير طوبوغرافيا الشبكة الكهربائية.

## 2- الاستقرار العابر Transient Stability:

تنتج معظم القدرة الكهربائية من المولدات التزامنية المقادة بواسطة المحركات الأولية بأنواعها المختلفة المائية والبخرية والغازية... الخ .

ويتحدد الاستقرار العابر بقدرة هذه المولدات على البقاء في حالة تزامن لتوريد الاستطاعة إلى الشبكة ويرتبط مباشرة بالحالة الديناميكية للدائر في هذه الآلات وتحديداً زاوية الدائر في كل منها [3].

وعادة تهتز الأجزاء الدوارة في الآلات التزامنية في حالة العمل الطبيعية مع بعضها بعضاً، وتميل لإخماد الاهتزازات ضمن مدة زمنية معينة.

إلا أن الشبكة الكهربائية تتعرض للاضطرابات بشكل دائم وأهمها أعطال دارات القصر التي تؤثر في الآلات الدوارة ولاسيماً القريبة من نقطة العطل وتؤدي إلى اضطراب شروط التشغيل. عند إزالة العطل بواسطة فصل الخط المعطل تبدأ المولدات بتخفيض سرعتها إلى أن تصل إلى التزامن مع بقية أجزاء النظام والعمل عند نقطة توازن جديدة، أما إذا لم تستطع العودة إلى التزامن فإنها تصبح غير مستقرة؛ مما يؤدي إلى عمل تجهيزات الحماية التي تقوم بفصلها بشكل متسلسل حتى مرحلة التعطيم الكامل.

ويستخدم زمن الفصل الحدي Critical Clearing Time (CCT) كمعيار للحكم على استقرار المنظومة الكهربائية وهو المدة الزمنية الأعظمية التي يجب أن يجري خلالها فصل العطل للحفاظ على استقرار النظام [4].

عند زيادة عدد العنفات الريحية المربوطة إلى نظام

تقوم الشفرات المركبة على دائر العنفة بتدوير المحور الذي يقوم بدوره وعبر علبه السرعة بتدوير المولد التحريضي عند سرعة مناسبة للمولد ليحول الاستطاعة الميكانيكية إلى استطاعة كهربائية تُنقل إلى الشبكة العامة عبر محول كهربائي رافع للتوتر.

تقوم العنفة الريحية باستخلاص الطاقة الحركية من المنطقة التي تمسحها الشفرات، وتُعطى استطاعة تدفق الهواء في تلك المنطقة بالعلاقة [6]:

$$(1) P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

إذ:

$\rho$  : كثافة الهواء.

$A$  : المساحة التي يغطيها دائر العنفة  $m^2$ .

$V$  : سرعة الرياح  $ms^{-1}$ .

تقوم العنفة باستخلاص جزء من هذه القدرة الحركية وذلك تبعاً لمعامل أداء طاقة الرياح أو استخدامها  $C_p$ :

$$P_m = C_p P_w = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3$$

ويكون العزم الأيروديناميكي:

$$T_m = \frac{P}{\omega_r} = \frac{C_p \rho A R^2 V^3}{2 \omega_r} \quad (2)$$

إذ:

$\omega_r$  : السرعة الزاوية للدائر  $rad/s$ .

$R$  : نصف قطر العنفة.

**المولد التحريضي ذو القفص السنجابي:**

يتكون هذا المولد من ثلاثة ملفات على الثابت محاورها مزاحة عن بعضها بعضاً بمقدار  $120^\circ$  درجة كهربائية، ويتكون الدائر من قضبان متوضعة ضمن مجاريه ومقصورة من الطرفين بحلقتين. تُعطى معادلات هذا المولد على المحاور  $d$  و  $q$  وفقاً لما يأتي [7]:

معادلات التوترات:

القدرة الكهربائي يزداد أثرها في الحالة الديناميكية وخاصة الاستقرار العابر للنظام. ولدراسة أثر هذه العنفات يجب الأخذ بالحسبان الخصائص المميزة لهذا النوع من تقنيات توليد الطاقة الكهربائية [5]، من حيث توضع مصادر الرياح في مناطق مختلفة ومن ثم اختلاف جريان الحمولة عما هو عليه في الحالة العادية، وكذلك اختلاف المولدات المستخدمة في العنفات الريحية عن المولدات التقليدية والشبكات التي تُربطُ عليها هذه العنفات، إذ تربط إلى شبكات نقل القدرة عن طريق محولات رافعة للتوتر أو تربط مباشرة إلى شبكات التوزيع، الشكل (1)، وستعكس هذه الخصائص على نتائج الدراسة التجريبية لبيان أثر العنفات الريحية في الاستقرار العابر للمنظومة الكهربائية السورية من خلال تأثيرها في الوضع الزاوي لدائر الآلات التزامنية الذي يرتبط بدوره بمواقع العنفات الريحية ونسبة إسهامها في الاستطاعة الكلية للمولدة، وكذلك بمكان حدوث الأعطال على الشبكة الكهربائية الذي يؤدي إلى تغيير شبكة ثيفنين المنظورة من نقطة العطل، وتغيير طبوغرافيا الشبكة الكهربائية نتيجة عمل تجهيزات الحماية على الدارات المضاعفة وشبكة الخطوط الهوائية، وزيادة الممانعة المكافئة للشبكة الكهربائية.

### 3- النموذج الرياضي للنظام الكهربائي:

#### Mathematical Model of Power System :

إن العنفات الريحية المستخدمة هي من النموذج  $A$  التي تحتوي كل منها على مولد تحريضي لتحويل القدرة الميكانيكية المستخلصة إلى قدرة كهربائية وعلبة سرعة لمواءمة السرعات المختلفة للرياح، الشكل (2)، ويستجر المولد التحريضي الاستطاعة الردية اللازمة لعمله من مجموعة مكثفات خاصة مركبة على خرجة أو من الشبكة العامة.

دائر العنفة الريحية:

$$P_s = \frac{3}{2}(U_{ds}i_{ds} + U_{qs}i_{qs}) \quad (20)$$

$$Q_s = \frac{3}{2}(U_{qs}i_{ds} - U_{ds}i_{qs}) \quad (21)$$

إذ:

$U_{ds}, U_{qs}$ : توترات الثابت على المحورين d و q.

$U_{dr}, U_{qr}$ : توترات الدائر على المحورين d و q.

$y_{ds}, y_{qs}$ : الفيض المغناطيسي للثابت على d و q.

$y_{dr}, y_{qr}$ : الفيض المغناطيسي للدائر على d و q.

$i_{ds}, i_{qs}$ : تيار الثابت على المحورين d و q.

$i_{dr}, i_{qr}$ : تيار الدائر على المحورين d و q.

$E'_d, E'_q$ : القوة المحركة الكهربائية الداخلية العابرة للمولد

على المحورين d و q.

$T'_0$ : الثابت الزمني للدائرة العابرة المفتوحة.

$P_s$ : الاستطاعة الفعلية للمولدة.

$Q_s$ : الاستطاعة الردية المستهلكة.

$T_m$ : العزم الميكانيكي المطبق على محور المولد.

$T_e$ : العزم الكهرومغناطيسي.

$X_s, X_r$ : المفاعلة التحريضية لملفات الثابت والدائر

$X'$ : مفاعلة القصر العابرة للمولد.

$X$ : مفاعلة الدارة المفتوحة للمولد.

$X_m$ : مفاعلة المغنطة للمولد.

و هذه القيم جميعها مقدره بالكميات الواحديه [p.u].

$w_s$ : السرعة التزامنية [rad/s].

$w_b$ : السرعة التزامنية الأساس [rad/s].

H: ثابت العطالة [sec]، وهو محدد تصميمي يُؤخذ من

النشرات الفنية للشركات الصانعة للمولدات.

S: الانزلاق.

المولد التزامني:

يمثل المولد التزامني في الحالة الديناميكية بجمله

معادلات غير خطية على المحور المباشر d والمحور

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

$$U_{qs} = -R_s i_{qs} + w_s y_{ds} + \frac{1}{w_b} \frac{dy_{qs}}{dt} \quad (4)$$

$$U_{dr} = 0 = R_r i_{dr} - s w_s y_{qr} + \frac{1}{w_b} \frac{dy_{dr}}{dt} \quad (5)$$

$$U_{qr} = 0 = R_r i_{qr} + s w_s y_{dr} + \frac{1}{w_b} \frac{dy_{qr}}{dt} \quad (6)$$

$$S = \frac{w_s - w_r}{w_s} \quad (7)$$

معادلات الفيوض المغناطيسية:

$$y_{ds} = -L_s i_{ds} + L_m i_{dr} \quad (8)$$

$$y_{qs} = -L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \quad (9)$$

$$y_{dr} = -L_m i_{ds} + L_r i_{dr} \quad (10)$$

$$y_{qr} = -L_m i_{qs} + L_r i_{qr} \quad (11)$$

معادلات التوترات في الحالة العابرة:

$$\frac{dE'_d}{dt} = \frac{1}{T'_0} [E'_d - (X - X') i_{qs}] + S w_s E'_q \quad (12)$$

$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{1}{T'_0} [E'_q + (X - X') i_{ds}] - S w_s E'_d \quad (13)$$

$$X = w_s L_s \quad (14)$$

$$X' = w_s (L_s - \frac{L_m^2}{L_r}) \quad (15)$$

معادلات حركة الدائر:

$$J \frac{d}{dt} w_r = T_m - T_e \quad (16)$$

$$\frac{dw_r}{dt} = \frac{1}{2H} (T_m - T_e) \quad (17)$$

$$T_e = y_{dr} i_{qr} - y_{qr} i_{dr} \quad (18)$$

$$T_e = E'_q i_{qs} + E'_d i_{ds} \quad (19)$$

معادلات الاستطاعة:

غير مستقر ولتحقيق هذه الغاية سنتبع طريقة التحليل بالزمن وتحديد متابعة محددات المولدات التزامنية مثل زوايا العزم (الحمولة)  $d$  والسرعة وتغيّرات هذه المحددات مع الزمن من خلال حل المعادلات التفاضلية للتأرجح للآلات التزامنية  $m$  خلال مدة الاضطراب بدلالة الزمن [9].

$$\frac{H}{180f} \frac{d^2 d}{dt} = P_{mi} - P_{ei} \quad (26)$$

$$P_{ei} = \sum_{j=1}^m |E'_i| |E'_j| |Y_{ij}| \cos(q_{ij} - d_i - d_j) \quad (27)$$

$$i=1, \dots, m$$

إذ:

$P_{ei}$ : الاستطاعة الفعلية على العقدة  $i$ .

$P_{mi}$ : الاستطاعة الميكانيكية المطبقة على المولد في

العقدة  $i$ .

$E'_i$ : التوتر خلف المفاعلة العابرة للمولد

على العقدة  $i$ .

$E'_j$ : التوتر خلف المفاعلة العابرة للمولد

على العقدة  $j$ .

$Y_{ij}$ : السماحية بين العقدتين  $i$  و  $j$

$q_{ij}$ : زاوية السماحية بين العقدتين  $i$  و  $j$

$d_i, d_j$ : زوايا أشعة التوتيرات  $E'_i$  و  $E'_j$

ولحل هذه المعادلات تُحدّد بداية قيم التوتيرات العابرة استناداً إلى معادلات هذه المحددات في النموذج الرياضي، على أن يتم ذلك في العقد التي تحوي مولدات تحريضية في العنفات الريحية من خلال الاستطاعة الفعلية لها والمحددات التصميمية ومحددات الدارة المكافئة لهذا النوع من المولدات في أثناء حدوث العطل وبعد مدة من حدوثه، وبفرض أن علبة السرعة تعطي على خرجها سرعة ثابتة ضمن مجال مقبول، وبعد حل

العرضي  $q$ ، وتربط هذه المعادلات بين المحددات التصميمية والتشغيلية للمولد وسنكتفي بسرد معادلات الجزء الثابت علماً أن النموذج التفصيلي متوافق مع ما ورد في المراجع [7,8].  
معادلات التوتيرات:

$$U_{ds} = -R_s i_{ds} - w_b y_{qs} + \frac{1}{w_b} \frac{dy_{ds}}{dt} \quad (22)$$

$$U_{qs} = -R_s i_{qs} + w_b y_{ds} + \frac{1}{w_b} \frac{dy_{qs}}{dt} \quad (23)$$

معادلات الفيوض المغناطيسية:

$$y_{ds} = -L_s i_{ds} + y_{md} \quad (24)$$

$$y_{qs} = -L_s i_{qs} + y_{mq} \quad (25)$$

إذ:

$y_{md}$ : الفيض المغناطيسي المتبادل على المحور  $d$

$y_{mq}$ : الفيض المغناطيسي المتبادل على المحور  $q$

وبقية الرموز مماثلة لما ورد في حالة المولد التحريضي

**محول القدرة الكهربية:**

سَيَمَثَلُ المحول بدارته المكافئة التقليدية التي تشمل دارة الملف الأولي والثانوي فضلاً عن الدارة التفرعية للمغنطة، أمّا خط النقل فَيَمَثَلُ بدارة  $p$  المكونة من الممانعة التسلسلي للخط والسماحيتين التفرعيتين في بداية الخط ونهايته.

استناداً إلى النموذج الرياضي الوارد أعلاه سنقوم بدراسة الاستقرار العابر لنظام القدرة الكهربية في القطر العربي السوري، وتحديد مدى استجابة هذا النظام للاضطرابات التي تؤدي إلى تغيير نمط التشغيل للنظام. ويعدّ نظام القدرة مستقراً إذا انتقل إلى نقطة تشغيل جديدة مستقرة تبقى عندها المولدات والأحمال التي كانت مربوطة إلى النظام قبل حدوث الاضطراب جميعها في حالة تشغيل طبيعية. أمّا إذا ترافقت نقطة التشغيل الجديدة بفصل للمولدات والأحمال فيعدّ النظام عند هذه النقطة

باستطاعة 100MW وفي منطقة قطينة باستطاعة 100MW، على أن تُربط العنفات الريحية على اليابسة إلى الشبكة الكهربائية بشكل شعاعي (في البحر يستخدم النموذج الحلقي) حيث تكون كل عنفة مجهزة بمحول يرفع التوتر من توتر التوليد (690V) إلى التوتر المتوسط وهو في هذه الحالة 66kV، (بعض الشركات تفضل مرحلة وسيطة 33kV) وتُربط يتم ربط كل مجموعة من محولات العنفات على النفرع إلى كابل أو خط هوائي الذي يربط بدوره إلى جهة التوتر المتوسط من محطة التحويل الرئيسية القريبة من كل موقع.

وستُمثل المولدات التحريضية للعنفات الريحية في هذه المناطق وفقاً للنموذج الرياضي الوارد في سياق البحث وستجري الدراسة على نموذج عنفة ريحية ذات سرعة ثابتة مزودة بمولد تحريضي ذي قفص سنجابي له المواصفات الآتية:

$$S_n = 2.3 \text{ MVA}, \quad U_n = 0.96 \text{ kV}$$

$$H = 2 \text{ sec}, \quad R_s = 0.004 \quad \Omega$$

$$X_s = 0.05 \quad \Omega \quad X_m = 1.6 \quad \Omega,$$

$$R'_r = 0.004 \quad \Omega, \quad X'_r = 0.05 \quad \Omega$$

وسيجري تحديد حالة الاستقرار العابر لنظام القدرة الكهربائي في القطر من خلال تحديد علاقة زاوية الدائر لكل من المولدات التزامنية في الزمن بعد افتراض حدوث اضطراب على أحد خطوط نقل القدرة ممثلاً بعطل ثلاثي الطور (دائرة قصر) الذي يعدُّ أفسى أنواع الأعطال على الشبكة الكهربائية.

وستُختار خطوط نقل القدرة الكهربائية التي سيطبق العطل عليها من مناطق مختلفة من الشبكة السورية (الشمالية والوسطى والساحلية) مع التركيز على الدارات المضاعفة لدراسة تأثير العنفات الريحية في استقرار المنظومة الكهربائية عند تغير طوبوغرافيا الشبكة الناجم عن فصل أحد خطي الدارات المضاعفة.

المعادلات التفاضلية وحساب النظام الكهربائي على كامل مجال الدراسة يمكن بناء المنحنيات  $d(t)$  للحكم على استقرار النظام، كذلك يمكن بناء منحنيات للسرعة والتوتر بدلالة الزمن.

#### 4- الدراسة التجريبية Application Test :

سُطِّبَت الدراسة على نظام القدرة في القطر العربي السوري 400/230/66kV، وهو مكون من 298/ عقدة و 62/ خطأ على التوتر 230kV و 20/ خطأ على التوتر 400kV و 80/ مولداً، ونظراً إلى تعقيد الشبكة نبيّن في الشكل (3) فقط قضبان التجميع والخطوط -230 400kV .

- الاستطاعة الفعلية الكلية المولدة 7819MW.

- الاستطاعة الردية الكلية المولدة 4435MVAR.

- الاستطاعة الفعلية الكلية المستهلكة 7743MW.

- الاستطاعة الردية الكلية المستهلكة 3809MW.

ونبيّن في الجداول 1/ و 2/ و 3/ نماذج عن بيانات الشبكة؛ وذلك بعد أن استُكملت البيانات الديناميكية لعناصر الشبكة السورية بالتعاون مع وزارة الكهرباء [10].

يقدر الكمون الريحي في القطر العربي السوري بنحو 4000 MW، وذلك استناداً إلى أطلس الرياح في سورية المنجز من قبل شركة RISO الدانماركية، ويتوافر كمون ريحي عالٍ في كثير من المناطق اقترِح عدد منها لإنشاء مزارع ريحية مثل الهيجانة في ريف دمشق وقطينة في منطقة حمص وحديثاً منطقة السويداء [11].

لدراسة تأثير العنفات الريحية في الحالة الديناميكية لنظام القدرة في القطر العربي السوري سنفترض أنه أُنشئت مزرعة ريحية في كل من منطقة السويداء باستطاعة 100MW الذي يجري التفاوض بشأنها في الوقت الحاضر مع شركات القطاع الخاص ومنطقة الهيجانة

محطة تشرين.

لأجل هذه الحالة أُجريت حسابات الاستقرار العابر لنظام القدرة الكهربائية في القطر دون وجود عنفات ريحية (الحالة الأساسية Base Case) ومتابعة منحني زاوية العزم بالزمن خلال مجال الدراسة 3S، وقد بلغ زمن الفصل الحرج CCT لهذه الحالة 210ms.

يتضح من الشكل (5) أن المولدات بعد حدوث العطل تتهتز مع بعضها بعضاً بعضاً محافظة على التزامن ومن ثم على الاستقرار العابر للنظام إذ راوحت قيم زوايا الدائر للمولدات التزامنية في نهاية مجال الدراسة بين 40 و 45 درجة، وهو ما يعدُّ مناطق تشغيل آمنة لجهة الاستقرار العابر. وتقوم عزوم الإخماد في النظام الكهربائي بإعادة النظام إلى نقطة عمل جديدة مستقرة بعد خروج خط النقل عن الخدمة.

وبيّن الشكل (6) علاقة السرعة بالزمن للمولدات في أثناء حدوث العطل وبعده، ويلاحظ أنه على الرغم من اختلاف مطال السرعة للمولدات في المجال بين 0.96 و 1.07pu نتيجة لاختلاف المحددات التصميمية ومحددات التشغيل إلا أنها تبقى تتهتز مع بعضها بعضاً قريباً من السرعة الاسمية.

عند محاولة زيادة زمن الفصل الحرج إلى 212ms فإن المولدات تبتعد عن بعضها ويميل منحني الزاوية - زمن للصعود نحو الأعلى، مما يدلُّ على فقدان التزامن ومن ثم خروج النظام الكهربائي من حالة الاستقرار، كما هو مبين في الشكل (7).

ولمعرفة أثر العنفات الريحية في الاستقرار العابر للمنظومة الكهربائية السورية أُضيفت مزرعة ريحية باستطاعة 100MW في منطقة الهيجانة من ريف دمشق على أن تربط إلى محطة تحويل تشرين جهة 66kV القريبة منها، ومزرعة ريحية أخرى في منطقة السويداء

ولدراسة أثر موقع العطل في استقرار المنظومة الكهربائية سنفترض بداية حدوث العطل على الجهة البعيدة لخط النقل من محطة التوليد، ثم في مرحلة لاحقة على الجهة القريبة من محطة التوليد.

ولأجل كل من الحالات السابقة سنرسم علاقة زاوية الحمولة بالزمن لكل من المولدات ونسجل زمن الفصل الحرج CCT لكل حالة.

ستُجرى حسابات الاستقرار العابر في بيئة MATLAB بواسطة البرنامج S-SIMU [12]. المخطط الصندوقي لهذا البرنامج مبين في الشكل (4) إذ يقوم هذا البرنامج بأخذ البيانات الساكنة والديناميكية من ملف المعطيات وإنجاز جريان الحمولة لتحديد قيم التوترات في الشروط الابتدائية.

الخطوة التالية تمثيل العطل بواسطة شبكة ثيفنن استناداً إلى البيانات الواردة في ملف فصل العطل إذ تتجز هذه الخطوة على مرحلتين، يُمثَّل في الأولى العطل خلال مدة استمراره، والثانية بعد انتهاء مدة دوام العطل إلى نهاية مجال الدراسة. وتُشكَّل في كلتا المرحلتين مصفوفة السماحيات المختصرة ويُحسَّب جريان الحمولة في الحالة العابرة وتُحدَّد التوترات خلال المدة العابرة، ومن ثم تُحلُّ المعادلات التفاضلية للمولدات.

تُكرَّر هذه الخطوات على طول مجال الدراسة وتُرسم علاقة زاوية العزم (الحمولة) لكل مولد بدلالة الزمن بعد حدوث الحالة العابرة وتُخرَج النتائج إما بصورة مرئية على الشاشة أو بشكل مطبوع.

#### خط النقل تشرين - الكسوة:

هذا الخط عبارة عن دارة مضاعفة تعمل على التوتر 230kV، وقد طُبِّقَ عطل ثلاثي الطور على أحد خطي هذه الدارة من جهة الكسوة مدة 5ms وجرى فصل الخط من هذه الجهة أولاً ثم بعد مرور 5ms من جهة

اضطرابات الرياح ضمن الحدود المقبولة لعلبة السرعة [13].

الآن ولمعرفة أثر موقع العطل في أداء المنظومة في الحالة العابرة ومدى استقرارها طبق العطل الثلاثي الطور على الخط المدروس من جهة محطة تشرين أي على الجهة الأقرب إلى محطة التوليد مع استمرار ربط العنفات الريحية .

نلاحظ في هذه الحالة انخفاضاً كبيراً في زمن العطل الحرج إذ بلغ 130ms نتيجة لقرب موقع العطل من المولدات التزامنية العاملة في محطة توليد تشرين وزيادة مطال الاهتزازات الناتجة عن حدوث العطل، ونبيّن في الشكل (9) علاقة زاوية العزم بالزمن لهذه الحالة. ويدلّ صغر زمن العطل الحرج في هذه الحالة على حساسية استقرار النظام تجاه الأعطال التي تحدث على خطوط النقل من جهة محطات التوليد، وهذا الأمر يجب أخذه بالحسبان عند إجراء دراسات الحماية الكهربائية وتحديد عيارات الحواكم إذ لأجل الخط نفسه يجب أن تكون عيارات الحواكم وفقاً لهوامش الاستقرار في كل نهاية من نهايات الخطوط، أمّا التحسن الذي طرأ على زمن العطل الحرج نتيجة ربط العنفات الريحية فلا يغيّر من واقع هذه الحالات الحرجة.

ولمعرفة أثر تغيّر طبوغرافيا الشبكة الناتج عن فصل أحد خطي الدارة المضاعفة مع استمرار ربط العنفات الريحية أُخْرِجَ أحد خطي الدارة المضاعفة لخط النقل تشرين - الكسوة دون افتراض حدوث عطل على هذا الخط ونبيّن في الشكل (10) علاقة الزاوية - زمن لهذه الحالة، ويلاحظ أن المنظومة لا تزال مستقرة لكن هناك تخلخل واضح في المنحنيات وابتعادها عن بعضها بعضاً؛ مما يدلّ على انخفاض هامش الاستقرار لهذه المنظومة، ويعود السبب في ذلك إلى أن فصل أحد خطي الدارة

وتربط إلى محطة تحويل السويداء 66kV.

في مقابل ذلك فُصِلَ 200MW من استطاعة التوليد في محطة تشرين التقليدية لتوفير كلفة إنتاج هذه الاستطاعة ونقلها عند عمل العنفات الريحية.

بعد إضافة بيانات مولدات العنفات الريحية ذات السرعة الثابتة إلى معطيات الدخل أُجْرِيَ تحليل الاستقرار للنظام ورُسمت منحنيات زاوية العزم - زمن للمولدات من جديد وهي مبينة في الشكل (8) وكما يتضح من الشكل فإنه بعد إضافة العنفات الريحية حافظ النظام على الاستقرار العابر إذ إنّ المولدات بقيت تهتز مع بعضها بعضاً وقد راوحت قيم زوايا الدائر للمولدات التزامنية في نهاية مجال الدراسة بين 40 و 43 درجة، فضلاً عن ذلك حدث زيادة في زمن الفصل الحرج إذ بلغ 240ms في هذه الحالة؛ مما يدلّ على تحسن هامش الاستقرار العابر بعد إضافة العنفات الريحية الذي يعبر عنه بالعلاقة:

$$K_{time} = \frac{t_{cr} - t_f}{t_{cr}} \quad (28)$$

إذ:

$K_{time}$ : هامش الاستقرار العابر

$t_{cr}$ : زمن الفصل الحرج

$t_f$ : زمن الفصل الحقيقي للعطل

إن قيمة زمن الفصل الحرج وزمن الفصل الحقيقي ومن ثمّ هامش الاستقرار تختلف باختلاف خطوط النقل ومواقع الأعطال عليها وترتبط مباشرة بعيارات الحماية الكهربائية وبحيث يبقى زمن الفصل الحقيقي أصغر من زمن الفصل الحرج.

يزداد زمن الفصل الحرج إلى 260ms في حال ربط المزرعة الريحية 100MW عند بحيرة قطينة مما يدلّ على الأثر الإيجابي لهذه العنفات ولاسيماً أنّ المولدات التحريضية المستخدمة فيها تزيد من خاصية إخماد الاهتزازات على النظام بصورة ملموسة عندما تكون



عند المحاولة زيادة هذا الزمن إلى 390ms نلاحظ خروج المولدات عن الاستقرار إذ تهتز بعض المولدات بعيداً عن منحنيات المولدات العاملة في نظام القدرة الكهربائي. رُبِطَتْ بعد ذلك مزرعة ريحية 100MW في منطقة الهيجانة إلى قضبان تجميع محطة تحويل تشرين 66kV ومزرعة ريحية أخرى باستطاعة 100MW إلى قضبان تجميع محطة تحويل السويداء 66kV. وفي الوقت نفسه فُصِلَ 200MW من الاستطاعة الفعلية المولدة في محطة تشرين التقليدية وذلك لإظهار مدى تأثير إسهام العنفات الريحية في الاستقرار العابر للمنظومة الكهربائية السورية.

أُجْرِيَتْ حسابات الاستقرار بعد ربط العنفات الريحية وطُبِّقَ عطل ثلاثي الطور على خط النقل من جهة فيروزة. وبيّن الشكل (12) لعلاقة السرعة بالزمن طريقة أداء المولدات بعد حدوث العطل، نلاحظ أن المولدات تبقى تعمل بشكل متزامن وتهتز مع بعضها بعضاً في المجال بين 0.97 و 1.09pu أما تغير مطال الاهتزاز عما هو عليه قبل إضافة العنفات الريحية فيعود إلى تحرير الطاقة المخزنة على محاور العنفات الريحية بعد حدوث العطل.

وقد وصل زمن الفصل الحرج في هذه الحالة إلى 405ms، مما يدل على تحسن ميزات الاستقرار العابر بعد إضافة العنفات الريحية، ويمكن زيادة هذا الزمن إلى 410ms في حال ربط مزرعة ريحية إلى قضيب تجميع محطة تحويل قطينة 66kV على أن يُفصلَ 100MW إضافية من محطة تشرين التقليدية.

للأسف هامش الاستقرار الكبير للحالة السابقة لا يمكن تحقيقه في حال تغير مكان العطل ليصبح من جهة محطة توليد جندر التقليدية، ولتأكيد ذلك طُبِّقَ عطل ثلاثي الطور على خط النقل جندر - فيروزة من جهة جندر

المضاعفة يؤدي إلى زيادة الممانعة المكافئة للشبكة، ومن ثمّ زيادة هبوط التوتر على الممانعة في الحالة العابرة الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض قيمة التوتر والاستطاعة الردية على بعض قضبان التجميع، ومن ثم انخفاض هامش الاستقرار العابر.

ولم يستطع الأثر الإيجابي لوجود العنفات الريحية في جهة المستهلك تغيير واقع هذه الحالة ولاسيما أنها تعمل عند سرعة ثابتة ومن هنا لابد من إجراء دراسة معمّقة للتعويض عن مفاعلة الخطوط في مثل هذه الحالات لاختيار أجهزة التعويض وبالاستطاعات المناسبة.

#### خط النقل جندر - فيروزة:

كمثال من المنطقة الوسطى من الشبكة السورية نأخذ خط جندر - فيروزة، وهو عبارة عن دائرة مضاعفة تعمل على التوتر 230kV.

طبق عطل ثلاثي الطور على أحد الخطين من الدائرة المضاعفة بدايةً من جهة فيروزة مدة 5ms، ومن ثم فصل الخط من جهة فيروزة وبعد مرور 5ms أخرى فُصِلَ هذا الخط من جهة جندر.

وجرى بعد ذلك تحليل النظام تجاه الاستقرار العابر في الحالة الأساسية، أي دون ربط عنفات ريحية على النظام، ورسم منحنيات زاوية العزم مع الزمن على مجال الدراسة. وتبيّن أن النظام مستقر في هذه الحالة كما هو مبين في الشكل (11)، إذ يلاحظ اهتزاز المولدات مع بعضها بعضاً مع اختلاف طفيف في المطالات نتيجة لاختلاف المحددات الكهربائية لهذه المولدات، وقد بلغ زمن الفصل الحرج CCT لهذه الحالة 380ms وراوحت قيم زوايا الدائر للمولدات التزامنية في نهاية مجال الدراسة بين 27 و 30 درجة، مما يدل على عمل المولدات بعيداً عن المنطقة الحرجة وهامش استقرار جيد للنظام تجاه الأعطال التي يمكن حدوثها على هذا الخط.

الساحلية وهو خط بانياس - جبلة 230kV، وطُبِّقَ عطل ثلاثي الطور على أحد خطي الدارة من جهة محطة جبلة، ثم جرى فصل العطل من هذه الجهة بعد مرور 5ms، ومن جهة محطة بانياس القريبة من محطة توليد بانياس التقليدية بعد مرور 5ms إضافية. لأجل هذا العطل حُلَّ الاستقرار العابر للنظام الكهربائي (مع افتراض عدم وجود عنفات ريحية مربوطة إلى النظام) وجرت متابعة منحنيات الزاوية - زمن لدائر الآلات التزامنية، وتبين أنه لأجل هذا العطل يبقى النظام متوازناً ولكن عند زمن فصل حرج 320ms أي أقل منه في حالة الخط السابق، وعند زيادة هذا الزمن إلى 330ms يخرج النظام عن الاستقرار.

بغية تحسين زمن الفصل الحرج رُبِّطَتْ مزرعة ريحية باستطاعة 100MW إلى محطة تحويل تشرين على الجهة 66kV، ومزرعة ريحية أخرى 100MW إلى محطة تحويل السويداء من جهة الـ 66kV. بعد إضافة العنفات أُجْرِيَتْ حسابات الاستقرار وتبين أن إضافة العنفات الريحية يسهم في تحسين زمن الاستقرار إلى 330ms وإلى 334ms بعد إضافة مزرعة ريحية أخرى باستطاعة 100MW في منطقة قطينة. ويعود التحسن الطفيف في زمن الفصل الحرج إلى بعد العنفات الريحية عن المنطقة المدروسة.

الآن نطبق العطل على الخط السابق من جهة بانياس أولاً، ويُفصَّلُ العطل بعد مرور 5ms وبعد مرور 5ms أخرى يُفصَّلُ العطل من جهة جبلة.

لهذه الحالة كان زمن الفصل الحرج صغيراً لا يتجاوز 120ms، أي تغيّر جريان الحمولة وقيم توترات قسبان التجميع الناجم عن إضافة العنفات الريحية لا يسهم كثيراً في تحسين ظروف العطل في مثل هذه الحالات.

وعند افتراض خروج الخط المدروس من الدارة

وفُصِّلَ بعد مرور 5ms بواسطة تجهيزات الحماية من طرف محطة جندر ثم من طرف محطة فيروزة بعد مرور 5ms أخرى.

وبعد إجراء حسابات الاستقرار تبين أن زمن الفصل الحدي لهذه الحالة حتى بوجود العنفات الريحية ينخفض إلى 170ms، ويشير ذلك إلى حساسية استقرار الشبكة الكهربائية تجاه الأعطال القريبة من محطات التوليد من جهة، والتأثير المحدد للعنفات الريحية في هامش الاستقرار في مثل هذه الحالات من جهة أخرى. إذا أُجْرِيَتْ تعبير الحماية بصورة جيدة لفصل العطل قبل مرور هذا الزمن فإن المولدات تحافظ على استقرارها، وهو ما لا يمكن تحقيقه في حال تأخرت الحماية إلى الزمن 180ms إذ تتأرجح المولدات مبتعدة عن بعضها بعضاً؛ مما يدل على فقدان الاستقرار عند هذا الزمن.

نظراً إلى أن الخط المدروس في هذه الحالة هو أيضاً دارة مضاعفة فقد اختبر الاستقرار العابر للنظام وبوجود العنفات الريحية عند تغيير طوبوغرافيا الشبكة الناجم عن فقدان أحد خطي الدارة المضاعفة دون حدوث عطل عليه. طبعاً فقدان الخط يعني مضاعفة الممانعة التسلسلية للدارة فضلاً عن فقدان الاستطاعة الردية التي كان يقدمها الخط قبل إخرجه من الخدمة مما ينعكس على قيم التوتر على قسبان التجميع.

يلاحظ تداخل واضح في منحنيات الأداء للمولدات وابتعادها عن بعضها بعضاً، وهو مؤشر لانخفاض هامش الاستقرار في هذه الحالة وإن كانت هذه المولدات لا تزال تعمل في حالة تزامن إلا أن نقطة عملها في الحالة تلك توصف بالحرية.

#### خط النقل جبلة - بانياس:

أخذنا خط نقل كهربائي ذي دارة مضاعفة من المنطقة

دراسات الاستقرار العابر مع فرض حدوث أعطال في مواقع مختلفة عند زيادة عدد المزارع الريحية.

- تسهم العنفات الريحية المزودة بالمولدات التحريضية ذات القفص السنجابي بتحسين هامش الاستقرار العابر للنظام الكهربائي السوري نتيجة زيادة زمن الفصل الحرج CCT للعطل الثلاثي الطور، ويرتبط هذا الأثر ضمن مجال معين بزيادة إسهام العنفات الريحية في الاستطاعة المولدة على كامل النظام.

- يتناقص زمن الفصل الحرج بصورة كبيرة إذا كان موقع العطل على جهة الخط القريبة من محطة التوليد التقليدية نتيجة لزيادة مطالات التيارات المهتزة في الملفات ، وكما يتضح من البحث فإن أثر العنفات الريحية في تحسين شروط الاستقرار العابر في مثل هذه الحالات يكون محدوداً جداً؛ لذلك ينصح بإجراء دراسات دقيقة لعيارات حواكم الخطوط من جهة محطات التوليد بعد افتراض ربط العنفات الريحية المقررة لفصل الخطوط المعطلة بسرعة قبل الدخول في مرحلة عدم الاستقرار.

- يؤدي فصل أحد خطي الدارات المضاعفة إلى تناقص هامش الاستقرار العابر نتيجة لأثر ذلك في جريان الاستطاعة الردية وقيم التوترات الآنية، وتسهم العنفات الريحية في التخفيف من هذا الأثر نتيجة لتخفيض تبادل الاستطاعة بين مراكز التوليد والاستهلاك، ومع ذلك تبقى هذه المشكلة قائمة وتحتاج إلى المزيد من الدراسات لاختيار مكان أجهزة التعويض المناسبة للنظام الكهربائي ونوعها واستطاعتها في كل موقع مع الأخذ بالحسبان تأثير العنفات الريحية المربوطة إليه.

المضاعفة يحدث\_ كما في الحالات السابقة\_ تخلخل في منحنيات الزاوية - زمن للمولدات وابتعادها عن بعضها بعضاً نتيجة لتأثر قيم توترات قضبان التجميع وانخفاض قيم الاستطاعة الردية.

أما تأثير العنفات الريحية في هذه الحالة فهو محدود جداً وإن كان ذلك يتعلق بحجم النظام ومرونته، وكذلك حجم الطاقة الكهربائية المولدة من العنفات الريحية إذ بزيادة هذه الاستطاعة تتحسن ظروف الأداء في حال فقدان هذا الخط من الدارة المضاعفة نتيجة لأثرها في المحددات الكهربائية التشغيلية للنظام ولاسيما جريان الاستطاعة الفعلية التي تزيد من استقرار المولدات التزامنية.

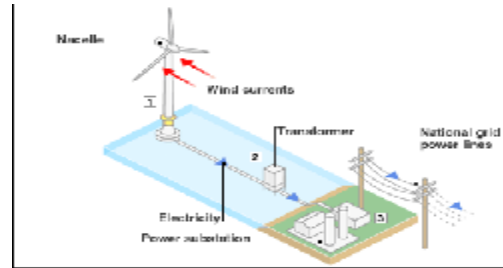
#### 5- الخاتمة والتوصيات:

دُرِسَ في سياق هذا البحث أثر العنفات الريحية ذات السرعة الثابتة المزودة بمولد تحريضي ذي قفص سنجابي في الاستقرار العابر للمنظومة الكهربائية السورية. ولتحقيق هذه الغاية شكّل نموذج رياضي يشتمل على مولدات تحريضية إلى جانب المولدات التزامنية والعناصر الأخرى للنظام.

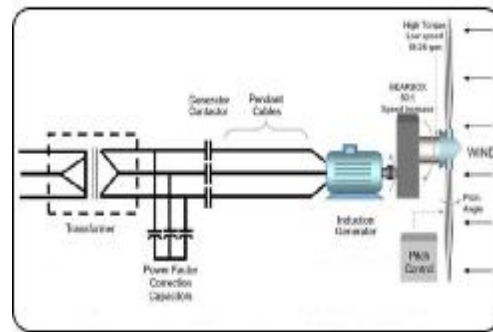
وقد حُلَّت الحالة الديناميكية للمنظومة نتيجة لحدوث عطل ثلاثي الطور على خطوط نقل قدرة كهربائية ذات دارة مضاعفة مأخوذة من مناطق مختلفة من الشبكة السورية.

وبنتيجة البحث تم التوصل إلى النتائج الآتية:

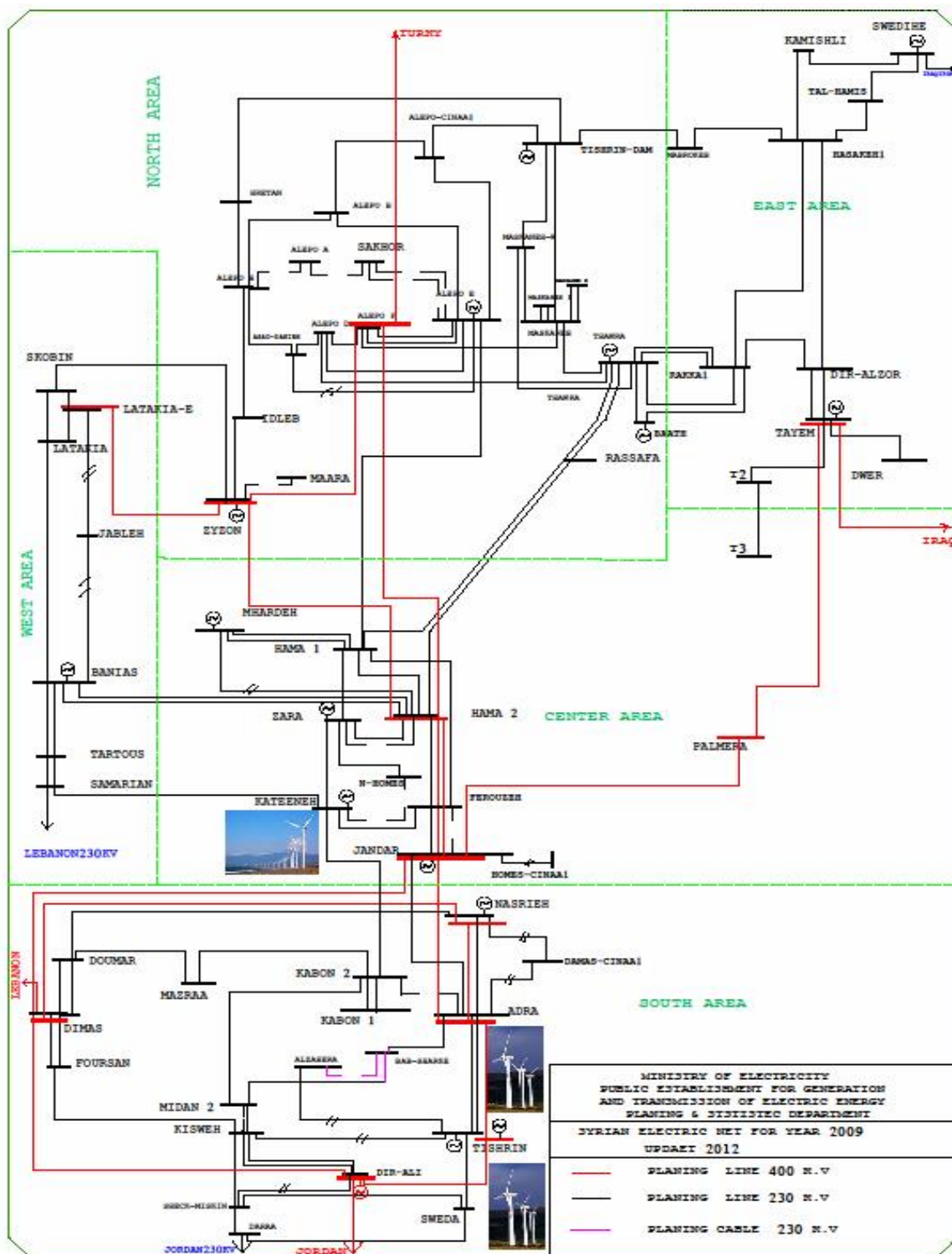
- يرتبط أثر العنفات الريحية ذات السرعة الثابتة على الاستقرار العابر للنظام الكهربائي بعوامل متعددة مثل موقع المزارع الريحية ونسبة إسهام الاستطاعة المولدة من العنفات الريحية إلى الاستطاعة الكلية المنتجة في المنظومة السورية، لذلك فإنه من الضروري تكرار



الشكل (1) ربط العنفة الريحية إلى الشبكة الكهربائية



الشكل (2) العنفة الريحية ذات السرعة الثابتة



الشكل (3) المنظومة الكهربائية السورية 230 - 400 Kv مع المواقع المقترحة للمزارع الريحية

الجدول 1/ نماذج بيانات التوليد والأحمال للمنظومة الكهربائية السورية

```
%data for Syrian network Test case 02/07/2012

% bus data format

% bus: number, voltage(pu), angle(degree), p_gen(pu), q_gen(pu),
%       p_load(pu), q_load(pu),G shunt,B shunt, bus_type
%       bus_type - 1, swing bus
%                   - 2, generator bus (PV bus)
%                   - 3, load bus (PQ bus)

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

bus = [...

31141    1         0      1.94 0.881 0.15  0.06  0  0  1  1.6 -0.96 15.8;

14685    0.9851 -0.9  0    0    0    0    0  0  3  0  0    11;

15950    0.9185 -19.7 0    0    0.04 0.02  0  0  3  0  0    6;

21180    1.0111 -13.4 0    0    0.7  0.35  0  0  3  0  0    20;

21200    0.9527 -12.4 0    0    0.3  0.15  0  0  3  0  0    20;

21223    1.05     4.8   2.5  1.154 0.04  0.02  0  0  2  2.8 -0.97 20;

21224    1.05     4.8   2.5  1.154 0.04  0.02  0  0  2  2.8 -0.97 20;

21225    1.05     4.8   2.5  1.162 0.06  0.03  0  0  2  2.8 -0.97 20;

25950    0.9424 -13.5 0    0    0.15 0.05  0  0  3  0  0    20;

25952    0.9424 -13.5 0    0    0.15 0.05  0  0  3  0  0    20;
```

## الجدول /2/ نماذج بيانات المولدات التزامنية للمنظومة الكهربائية السورية

```

% Machine data format
% Machine data format
% 1. machine number,
% 2. bus number,
% 3. base mva,
% 4. leakage reactance x_l(pu),
% 5. resistance r_a(pu),
% 6. d-axis synchronous reactance x_d(pu),
% 7. d-axis transient reactance x'_d(pu),
% 8. d-axis subtransient reactance x''_d(pu),
% 9. d-axis open-circuit time constant T'_do(sec),
% 10. d-axis open-circuit subtransient time constant
% T''_do(sec),
% 11. q-axis synchronous reactance x_q(pu),
% 12. q-axis transient reactance x'_q(pu),
% 13. q-axis subtransient reactance x''_q(pu),
% 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_o(pu),
% 18. damping coefficient d_1(pu),
% 19. bus number

mac_con = [...
1 21223 100 0.04425 0 0.5366875 0.06603125 0.04740625 14.648 0.049 0.523
0.10515625 0.04740625 1.628 0.079 1.5 0 0 21223;
2 21224 100 0.04425 0 0.5366875 0.06603125 0.04740625 14.648 0.049 0.523
0.10515625 0.04740625 1.628 0.079 1.5 0 0 21224;
3 21225 100 0.04409375 0 0.534875 0.0658125 0.04725 14.648 0.049
0.52121875 0.10490625 0.04725 1.628 0.079 1.5 0 0 21225;

```

الجدول 3/ بيانات حالة العطل على خطوط النقل

%Switching file defines the simulation control

% row 1 col1 simulation start time (s)

(cols 2 to 6 zeros)

% col7 initial time step (s)

% row 2 col1 fault application time (s)

% col2 bus number at which fault  
is applied

% col3 bus number defining far end  
of faulted line

% col4 zero sequence impedance  
in pu on system base

% col5 negative sequence impedance  
in pu on system base

% col6 type of fault

- 0 three phase

% - 1 line to ground

% - 2 line-to-line to ground

% - 3 line-to-line

% - 4 loss of line with no fault

% - 5 loss of load at bus

% - 6 no action

% col7 time step for fault period (s)

% row 3 col1 near end fault clearing time (s)

(cols 2 to 6 zeros)

% col7 time step for second

part of fault (s)

% row 4 col1 far end fault clearing

time (s) (cols 2 to 6 zeros)

% col7 time step for fault cleared

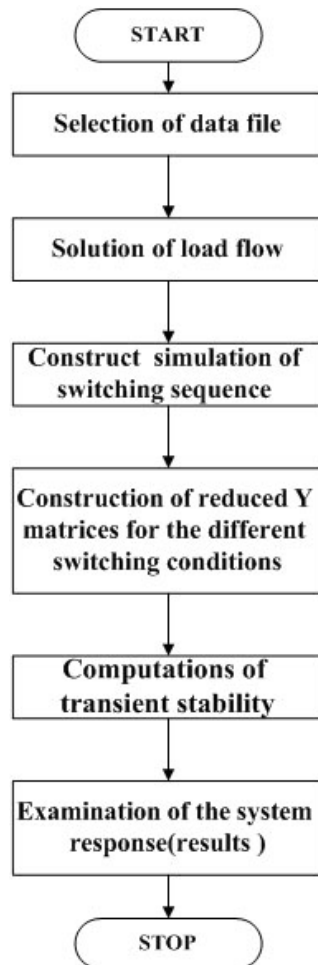
simulation (s)

% row 5 col1 time to change step length (s)

% col7 time step (s)

%





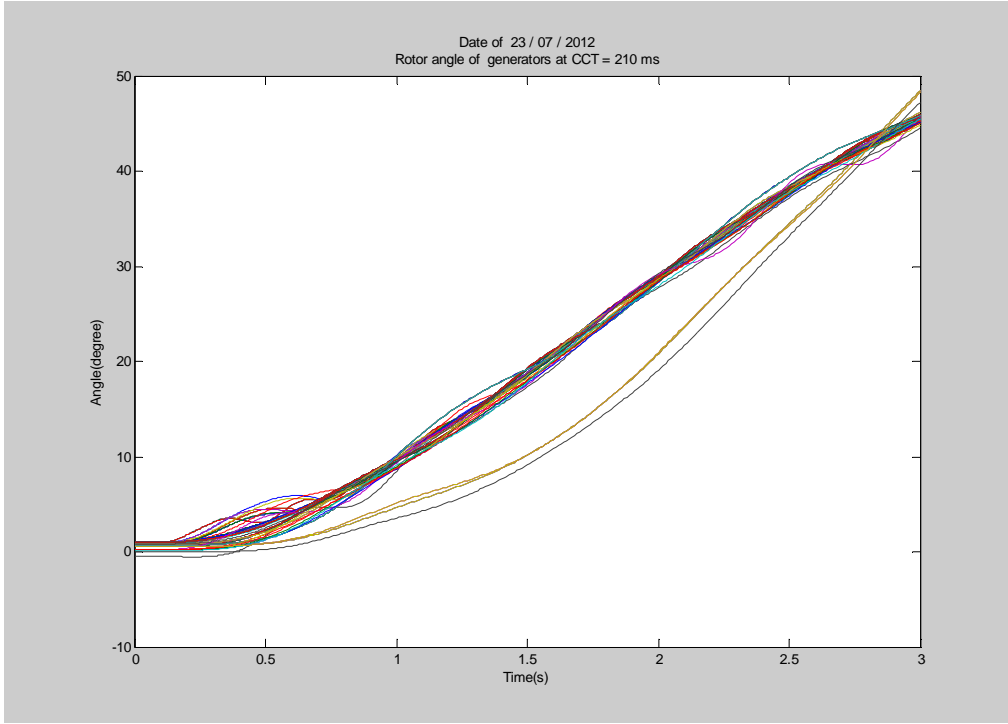
الشكل(4)المخطط الانسيابي لبرنامج S\_SIMU

```

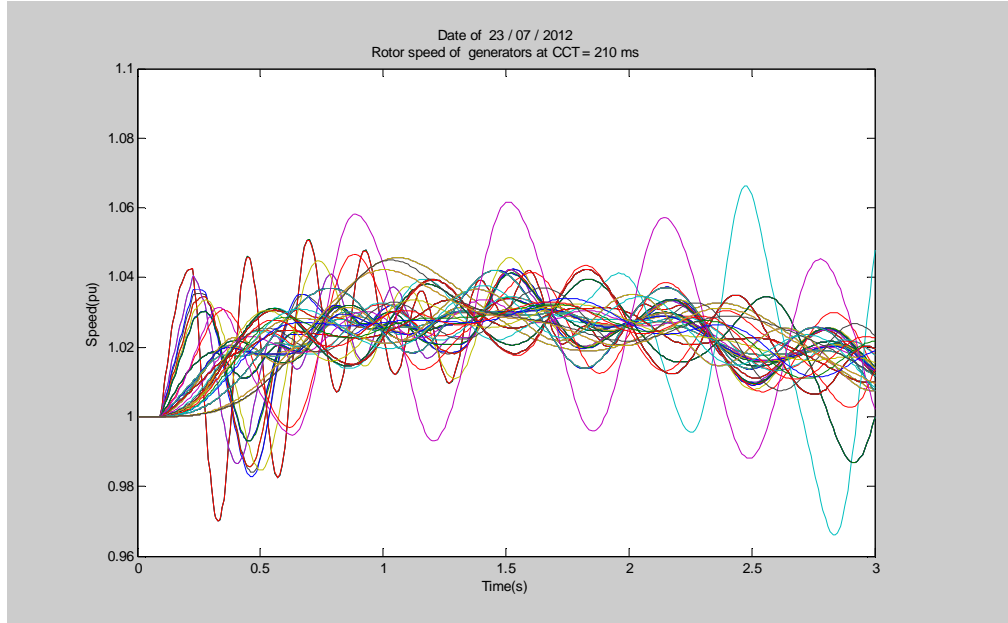
% row n coll finishing time (s)
%(n indicates that intermediate rows may be inserted)

sw_con = [...
0 0 0 0 0 0 0.01; %sets initial time step
0.1 33510 33540 0 0 0 0.005; % 3 ph fault
0.23 0 0 0 0 0 0.005; %clear near end
0.28 0 0 0 0 0 0.005; %clear remote end
0.50 0 0 0 0 0 0.01; % increase time step
1.0 0 0 0 0 0 0.01; % increase time step
3.0 0 0 0 0 0 0]; % end simulation

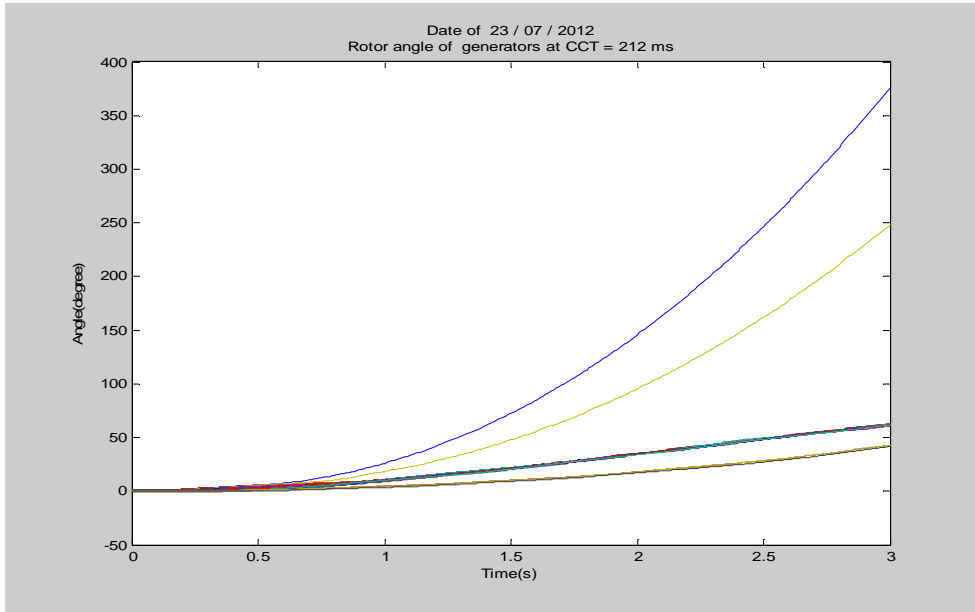
```



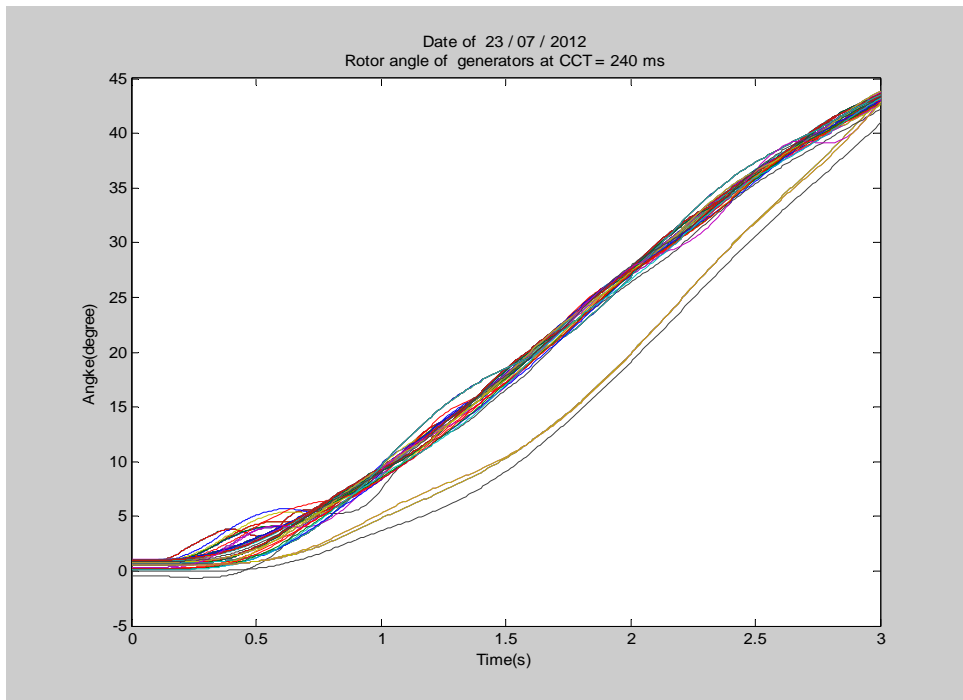
الشكل (5) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن قبل ربط العنفات الريحية عند حدوث عطل ثلاثي الطور على خط النقل تشرين - الكسوة من جهة محطة الكسوة CCT = 210 ms



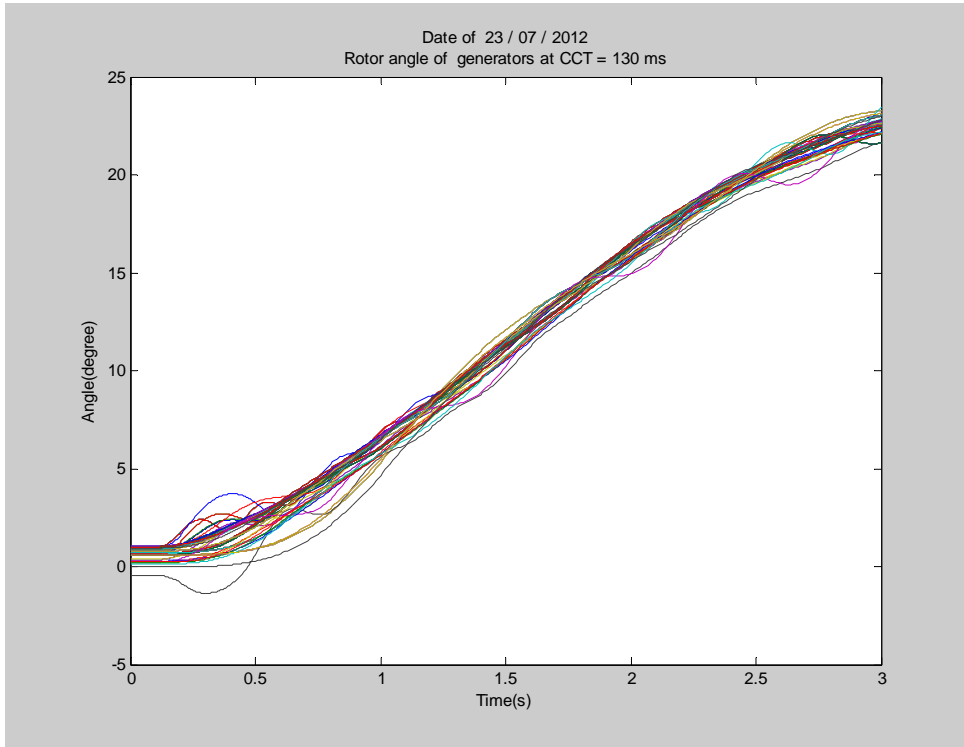
الشكل (6) علاقة سرعة الدائر للآلات التزامنية بالزمن قبل ربط العنفات الريحية عند حدوث عطل ثلاثي الطور على خط النقل تشرين - الكسوة من جهة محطة الكسوة CCT = 210 ms



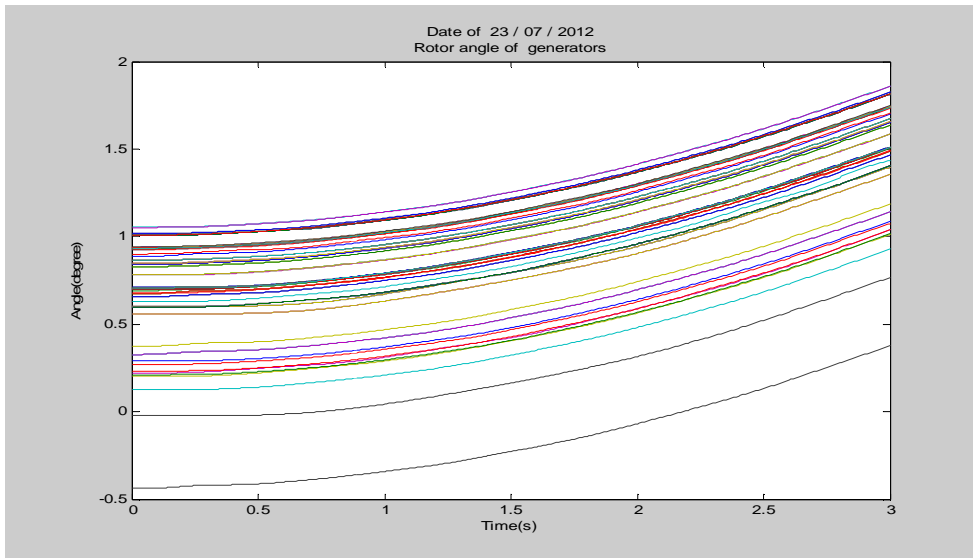
الشكل (7) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن قبل ربط العنفات الريحية عند حدوث عطل ثلاثي الطور على خط النقل تشرين - الكسوة من جهة محطة الكسوة CCT = 212 ms



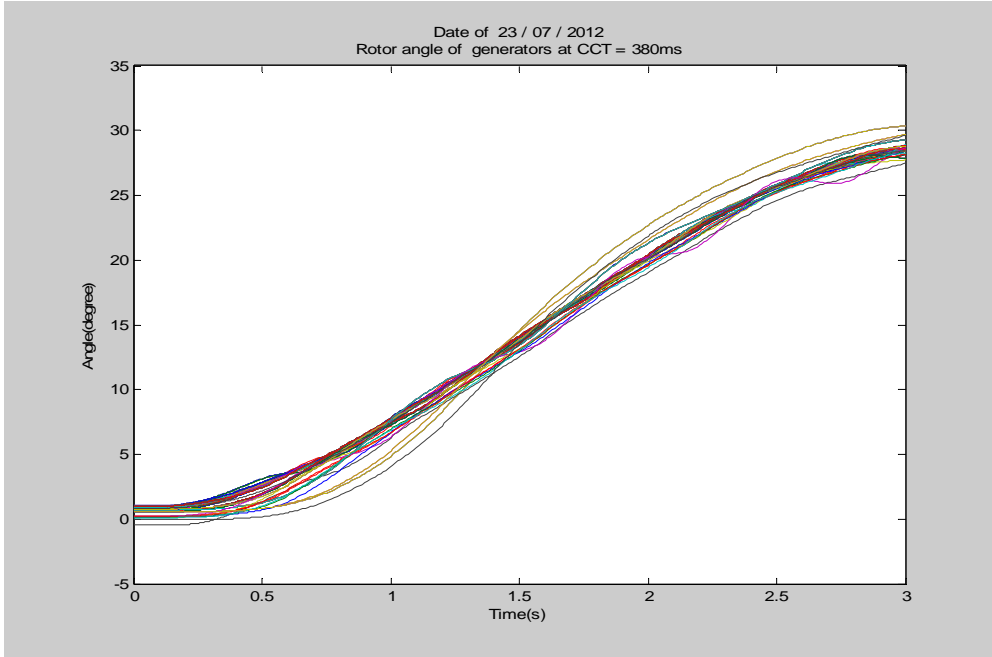
الشكل (8) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن بعد ربط العنفات الريحية عند حدوث عطل ثلاثي الطور على خط النقل تشرين - الكسوة من جهة محطة الكسوة CCT = 240 ms



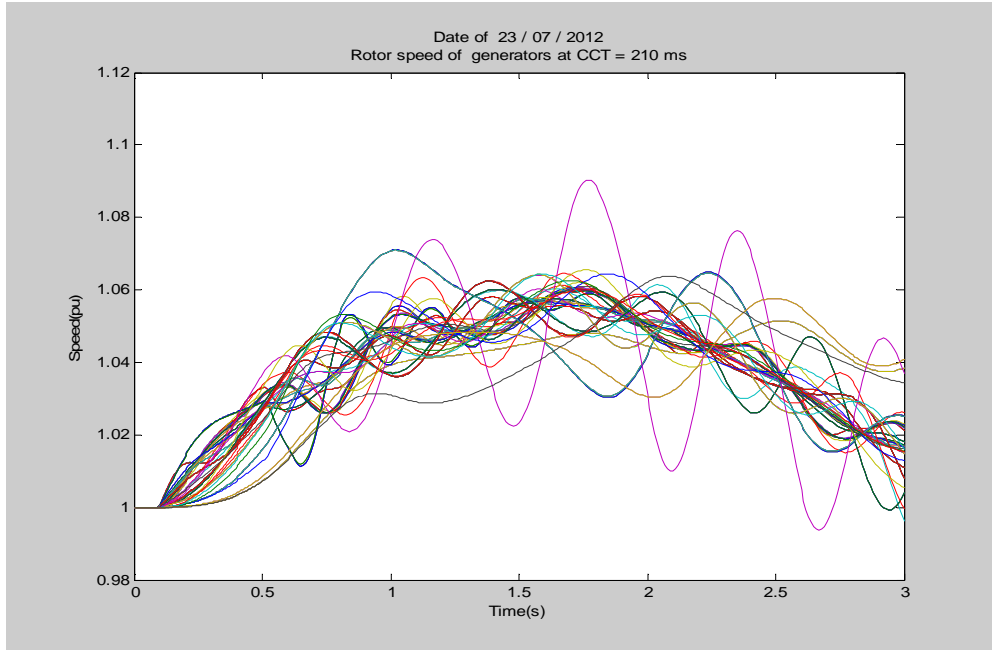
الشكل (9) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن بعد ربط العنفات الريحية عند حدوث عطل ثلاثي الطور على خط النقل تشرين - الكسوة من جهة محطة تشرين CCT = 130 ms



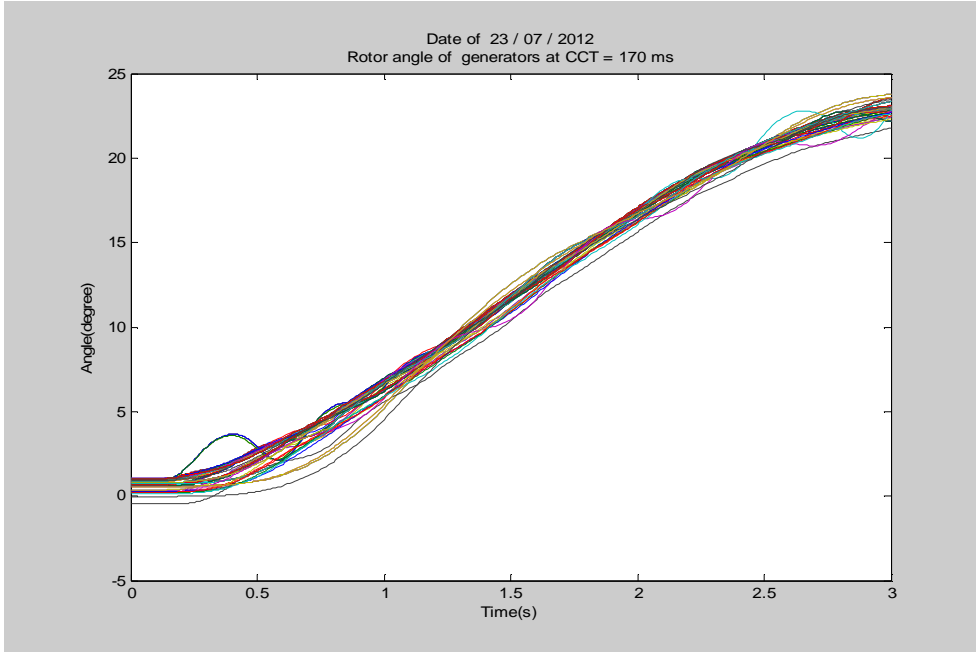
علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن بعد ربط العنفات الريحية (10) الشكل وخروج أحد خطي الدارة المضاعفة لخط النقل تشرين - الكسوة من الخدمة



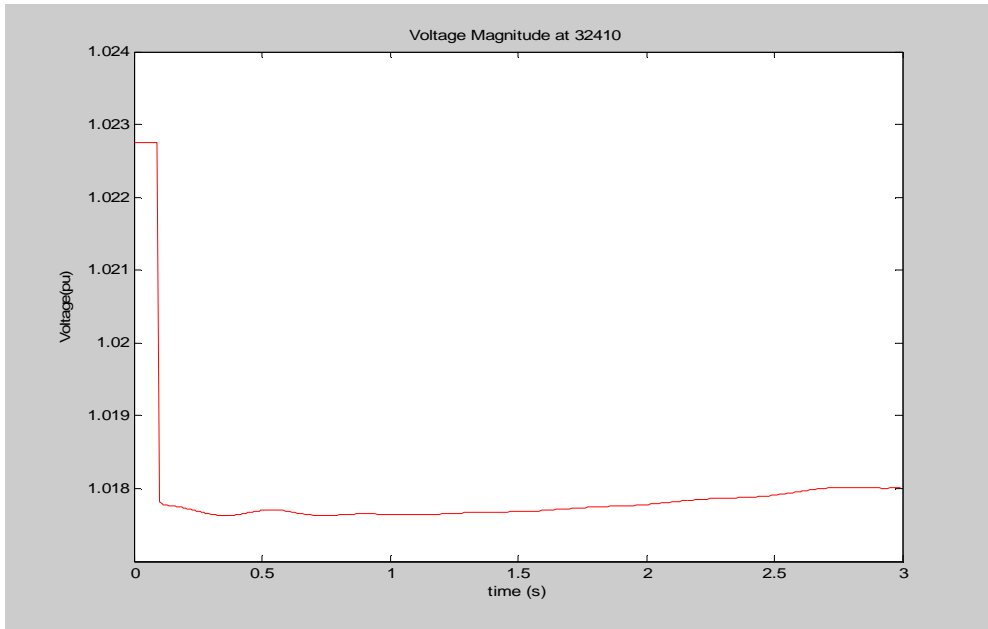
الشكل (11) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن قبل ربط العنفات الريحية عند حدوث عطل ثلاثي الطور على خط النقل جندر - فيروزة من جهة محطة فيروزة CCT = 380 ms



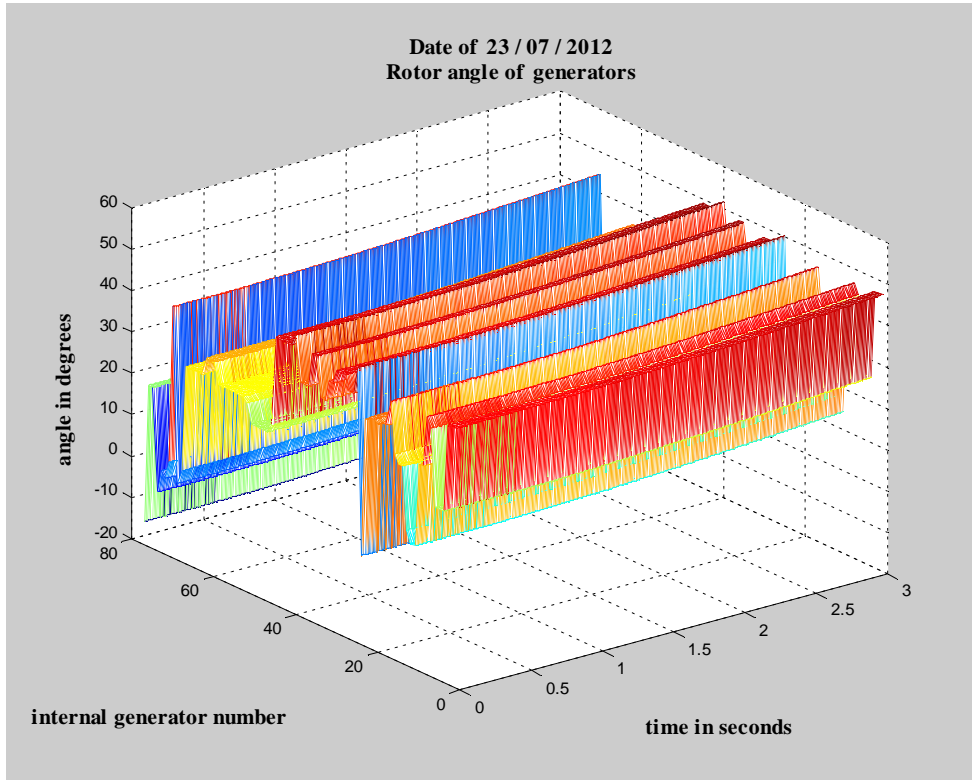
الشكل (12) علاقة سرعة الدائر للآلات التزامنية بالزمن بعد ربط العنفات الريحية عند حدوث عطل ثلاثي الطور على خط النقل جندر - فيروزة من جهة محطة فيروزة CCT = 405 ms



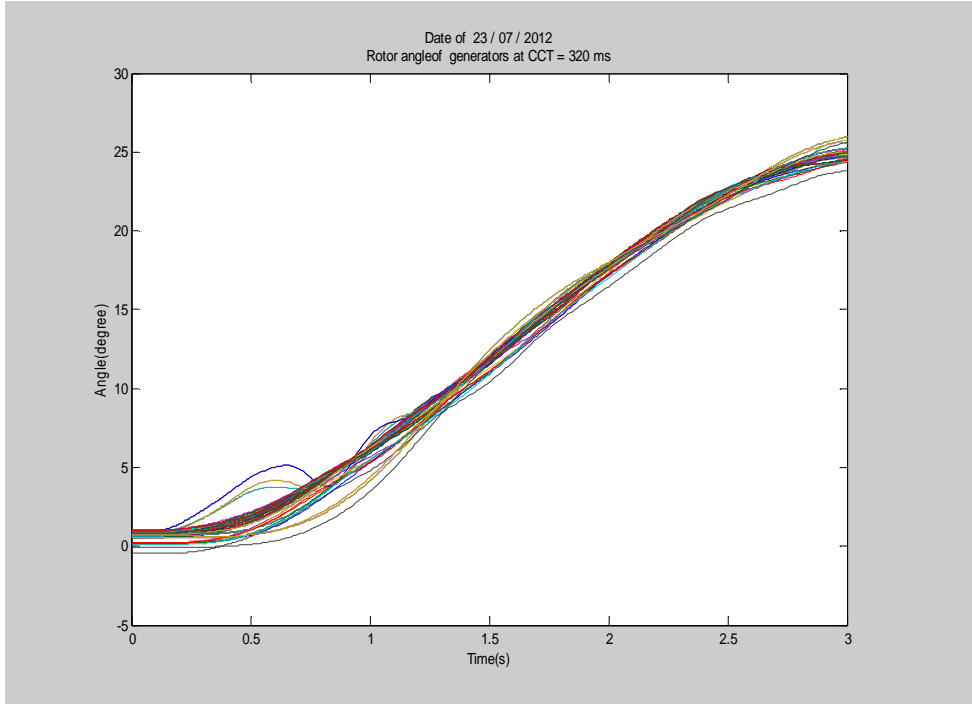
الشكل (13) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن بعد ربط العنفات الريحية عند حدوث عطل ثلاثي الطور على خط النقل جندر - فيروزة من جهة محطة جندر CCT = 170 ms



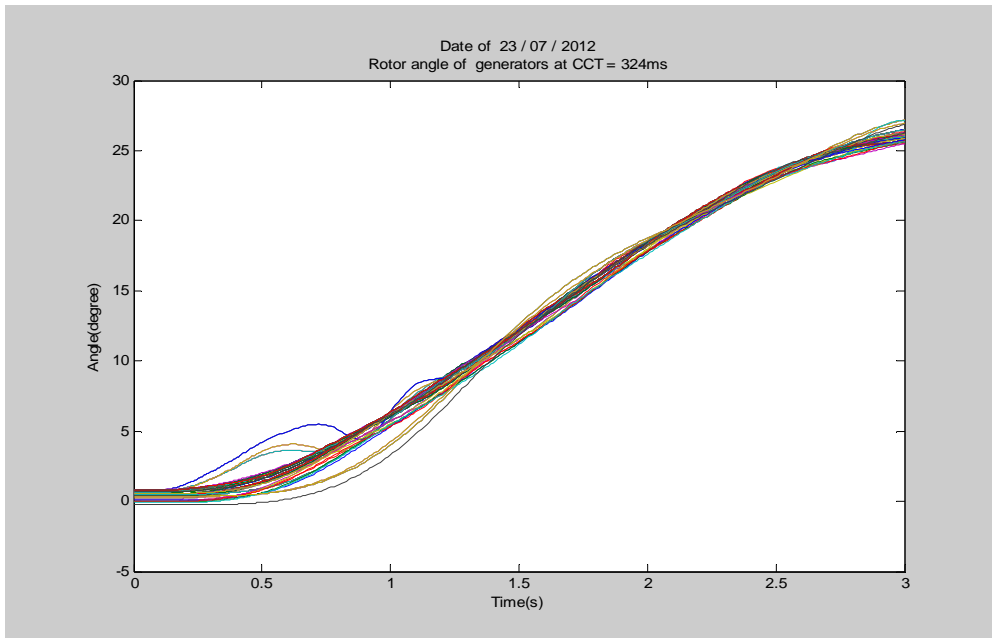
الشكل (14) علاقة التوتر بالزمن على قضيب تجميع محطة فيروزة بعد ربط العنفات الريحية عند خروج خط النقل جندر - فيروزة من الخدمة



الشكل (15) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن (3D) بعد ربط العنفات الريحية  
وخرج أحد خطي الدارة المضاعفة لخط النقل جندر - فيروزة من الخدمة



الشكل (16) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن قبل ربط العنفات الريحية عند حدوث عطل ثلاثي الطور على خط النقل باندياس - جبلة من جهة محطة جبلة CCT = 320 ms



الشكل (17) علاقة زوايا الدائر للآلات التزامنية بالزمن بعد ربط العنفات الريحية عند حدوث عطل ثلاثي الطور على خط النقل باندياس - جبلة من جهة محطة جبلة CCT = 334 ms



11. Huynh Chau Duy, Huynh Quang Minh, Transient stability analysis of a multimachine power system, ISEE, 2005.
12. بيانات وزارة الكهرباء 2012 .
13. تقرير المركز الوطني لبحوث الطاقة 2011 .
14. [www.nerc.gov.sy/index.php?option=com\\_content&view=article&id=54&Itemid=60](http://www.nerc.gov.sy/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=60)
15. [sweida.gov.org/news/7/1934](http://sweida.gov.org/news/7/1934)
16. SVM,S\_SIMU/MATLAB Program for stability simulation, University of Illinois, 2008.
17. Jian Zhang, Adam Dysko, Modling and performance of fixed-speed induction generators in power system oscillation stability studies, Elsevier, 2008.
18. Thomas Ackerman, Wind Power in Power systems, John Wiley & Sons, Ltd, England, 2005

## المراجع العلمية

1. Pierre Bousseau, Grid impact of different technologies of wind turbine generator systems, EWEC, Madrid, 2003.
2. H. Li, Z. Cher, Comparison and evaluation of induction generator models in wind turbine systems for transient stability of power system, IEEE, 2006.
3. Kundur, P. power system stability and control, Mc Grew-Hill, New York, 2008.
4. Djemai Naimi, Tarek Bouktir, Impact of wind power on the angular stability of power system, Leonardo Electronic Journal, 2008.
5. Ch. Eping, J. Stenzel, Impact of Large Scale Wind Power on Power System Stability. Institute of Electrical Power Systems. TU Darmstadt. Landgraf-Georg- Straße ...
- 6.
7. [www.digsilent.org/tl\\_files/digsilent/files/services-references/PaperGlasgow\\_DIG\\_SILENT.pdf](http://www.digsilent.org/tl_files/digsilent/files/services-references/PaperGlasgow_DIG_SILENT.pdf)
8. Poul Sorensen, Anca D. Hansen, Simulation and verification of transient events in large wind power installations, Riso, Roskilde, 2003.
9. Olimpo Anaya-Lara, Nick Jenkins, Wind energy generation modeling and Control, John Wiley and Sons, UK, 2009.
10. Anderson, P.M., and Fouad A.A, power system control and stability , Iowa State, University Press, Iowa, 2008.