

## تأثير المزارع الريحية في استقرار تردد النظام الكهربائي السوري\*

م. فادي الماغوط\*\*

د.م حسان سويدان\*\*\*

د.م خالد الحمصي\*\*\*\*

## الملخص

هَدَفَ البحث إلى تحليل أثر المزارع الريحية في استقرار تردد الشبكة الكهربائية، ووصف أداء الشبكة السورية عند ربط مزارع ريحية في عدة مناطق من القطر السوري (القنيطرة - الهيجانة - غباغب) من خلال تقييم استقرار تردد نظام القدرة الكهربائية و زمن الفصل الحرج.

دُرِسَ أثر المزارع الريحية في تردد الشبكة السورية و العوامل المرتبطة بذلك مثل تقنية التوليد عن طريق استبدال مصادر الطاقة المولدة بنوعين من المولدات التحريضية، و تغيير موقع ربط المزارع الريحية، و زيادة إسهام مصادر الطاقة المولدة من طاقة الرياح.

طُبِّقَتِ الدراسة التحليلية على المنظومة الكهربائية السورية (230- 400)KV باستخدام برنامج الـ NEPLAN الذي يتميز باحتوائه على مكتبة واسعة لعناصر نظام القدرة الكهربائية ونماذج المولدات الريحية

الكلمات المفتاحية : زمن الفصل الحرج، استقرار التردد، العنفات الريحية.

\* أُعِدَّ البحث في سياق رسالة الماجستير للطالب فادي الماغوط بإشراف الأستاذ الدكتور حسان سويدان وبمشاركة الدكتور خالد الحمصي

\*\* وزارة الكهرباء

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

\*\*\*\* وزارة الكهرباء

**1- المقدمة:**

تحدث الاضطرابات الكبيرة المتتالية في أنظمة القدرة الكهربائية اختلال التوازن بين القدرة المولدة و الأحمال، مما يتسبب بحدوث عدم توازن بين العزم الكهرومغناطيسي والعزم الميكانيكي للمولدات. إن تسارع المولدات الناتج عن تلك الاضطرابات أو تباطؤها، بسبب اختلال التوازن هذا، يؤدي إلى تغير في تردد الشبكة الذي يمكن أن يؤثر في استقرار الشبكة.

يشير استقرار التردد إلى مقدرة أنظمة القدرة الكهربائية على المحافظة على التردد ثابتاً بعد تعرضها إلى اضطراب حاد. إذا عاد التوازن بين الحمل والتوليد بالسرعة المطلوبة فلن يتسبب التردد بأي مشكلة جدية في استقرار النظام، لكن يتطلب ذلك تأمين توليد احتياطي كافٍ ونظام حماية وتحكم فعال. أما إذا أدى الاضطراب إلى حدوث تذبذبات مستمرة في التردد فإن محطات التوليد سوف تفقد استقرارها وتفصل عن الشبكة [7].

لذلك لا بد من دراسة زمن الفصل الحدي CCT (Critical Clearing Time)، الذي يعبر عن المدة الأعظمية المسموحة لدوام الاضطراب بحيث لا يفقد النظام استقراره [7].

**2- أنواع المولدات المستخدمة في المزارع الريحية**

لدراسة أثر المزارع الريحية في استقرار نظام القدرة، سيجري التركيز في الدراسة على المولد التحريضي لما يتمتع به من بساطة في التركيب ووثوقية في الأداء وكلفة اقتصادية منخفضة مقارنة بأنواع المولدات الأخرى فضلاً عن توافره في الأسواق باستطاعات متنوعة وسهولة إجراء الصيانة له.

يتميز المولد التحريضي بأنه لا يحتاج إلى منبع تيار مستمر لتغذية أقطابه إذ يستجر تيار التغذية اللازم من الشبكة الموصل إليها، ويربط مباشرة مع الشبكة وعند

أي تردد ودون الخوف من التأرجح. ومن ميزاته أيضاً قلة الأجهزة المساعدة مقارنة بالمولدات التزامنية، فضلاً عن أن تشغيل المولدات التحريضية على التوازي مع الشبكة يمكن أن يتم عند أي تردد دون تحقيق شروط التزامن، التي يجب أن تُحققها المولدات التزامنية إذ عند ربط المولدات التحريضية على التوازي يجب أن يدور الدائر بسرعة أكبر قليلاً من السرعة التزامنية وباتجاه السيادة المغناطيسية نفسها.

من مساوئ استخدام المولد التحريضي أنه يحتاج إلى تيار مغنطة يراوح بين 40% و 25% من التيار الاسمي، ومن ثمّ يحتاج إلى استطاعة ردية مستجرة من الشبكة الكهربائية أو أي منبع للاستطاعة الردية. ومن ثمّ فإن مردوده منخفض. لذا يُربط معه مكثفات للتعويض ولو جزئياً عن الاستطاعة الردية المستهلكة من الشبكة الكهربائية [1] و [6].

**1-2- المولد الريحي ذو السرعة الثابتة (المولد التحريضي ذو القفص السنجابي) Squirrel Cage Induction Generator (SCIG):**

يوضح الشكل (1) كيفية ربط هذا المولد إلى الشبكة. إذ تُربط ملفات الثابت مباشرة إلى الشبكة، ويُقاد الدائر بواسطة العنفة الريحية، التي تُحول الاستطاعة المستخلصة من الرياح إلى استطاعة ميكانيكية تدير العنفة، وتتحول تلك الاستطاعة الميكانيكية إلى استطاعة كهربائية بواسطة المولد التحريضي الذي يحقن هذه الاستطاعة المولدة في الشبكة.

يجب غالباً ربط مجموعة مكثفات على التوازي مع الآلة حتى تستطيع العمل كمولد. ودون هذه المكثفات لا يمكن انتقال الآلة التحريضية للعمل كمولد الذي يقوم فيما بعد بإنتاج هذا التيار ذاتياً بالنسبة المطلوبة لعمله الطبيعي. وإذا كانت سعة المكثفات قليلة فإن المولد سيعجز عن بناء التوتر، وعلى مجموعة المكثفات أن تكون قادرة

معادلات التوتر في ملفات الجزء الثابت:

$$V_{qs} = -R_s i_{qs} + \frac{d\varphi_{qs}}{dt} + \omega \varphi_{ds} \dots (1)$$

$$V_{ds} = -R_s i_{ds} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} - \omega \varphi_{qs} \dots (2)$$

معادلات التوتر في ملفات الجزء الدائر منسوبة إلى الثابت:

$$V'_{qr} = 0 = -R'_r i'_{qr} + \frac{d\varphi'_{qr}}{dt} + (\omega - \omega_r) \varphi'_{dr} \dots (3)$$

$$V'_{dr} = 0 = -R'_r i'_{dr} + \frac{d\varphi'_{dr}}{dt} - (\omega - \omega_r) \varphi'_{qr} \dots (4)$$

إذ:

$R_s$ : مقاومة ملفات الجزء الثابت.

$L_{ls}$ : المحارضة التسريبيه للثابت.

$R'_r$ : مقاومة ملفات الجزء الدائر منسوبة إلى الثابت.

$L'_{lr}$ : المحارضة التسريبيه لملفات الجزء الدائر منسوبة إلى الثابت.

إلى الثابت.

$L_{lr}$ : المحارضة المتبادلة بين الملفات.

$L_s$ : محارضة ملفات الجزء الثابت.

$L'_r$ : محارضة ملفات الجزء الدائر منسوبة إلى الثابت.

$\varphi_{qs}$ : السيالة المغناطيسية للثابت على المحور q

$\varphi_{ds}$ : السيالة المغناطيسية للثابت على المحور d

$\varphi'_{qr}$ : السيالة المغناطيسية للدائر منسوبة إلى الثابت على المحور q

على المحور q

$\varphi'_{dr}$ : السيالة المغناطيسية للدائر منسوبة إلى الثابت على المحور d

على المحور d

$V_{qs}$ : توتر ملفات الجزء الثابت على المحور q

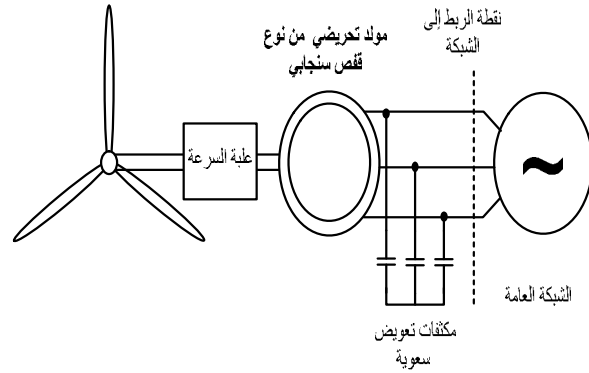
$i_{qs}$ : تيار ملفات الجزء الثابت على المحور q

على تقديم كامل الاستطاعة الردية على الأقل التي يستجرها المحرك في حالة العمل الطبيعي، لكن في أغلب الأحيان تكون هذه المكثفات غير قادرة على تأمين الاستطاعة الردية الكاملة التي يستجرها المحرك ومن ثم يأخذ بقية تلك الاستطاعة من الشبكة العامة يُعطى انزلاق المولد التحريضي بالعلاقة:

$$s = \left( \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \right) \dots (1)$$

إذ  $\omega_r$  هي سرعة الدائر و  $\omega_s$  هي السرعة التزامنية.

يكون الانزلاق موجباً في حالة العمل كمحرك، وسالباً في حالة العمل كمولد. وفي كلتا الحالتين كلما زاد الانزلاق زاد تيار الدائر وزادت الاستطاعة الكهروميكانيكية المحولة. وقيمة الانزلاق عادةً ليست كبيرة جداً (0.05 ÷ 0.1)، لأنه كلما زاد الانزلاق زادت المفايد الكهربائية وارتفعت حرارة الدائر ولزم ذلك إضافة مراوح تبريد أكبر إلى محور الدائر [6].



الشكل (1) المولد التحريضي ذو السرعة الثابتة وكيفية ربطه مع الشبكة

## 2-2- النمذج الرياضي للمولد التحريضي ذي الدائر المقصور:

المقصود:

إن الدارات المكافئة لهذا المولد على المحورين d و q مبينة في الشكلين (2) و (3)، ويمكن أن توصف معادلات المولد التحريضي SCIG وفق المحورين المذكورين كما يأتي:

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{2H} (T_m - T_e) \dots \dots \dots (6)$$

إذ يُعبّر عن معادلات السيالات المغناطيسية في الثابت والدائر بالعلاقات الآتية:

$$\varphi_{qs} = -L_s i_{qs} - L_m i'_{qr} \dots \dots \dots (7)$$

$$\varphi_{ds} = -L_s i_{ds} - L_m i'_{dr} \dots \dots \dots (8)$$

$$\varphi'_{qr} = -L_r i'_{qr} - L_m i_{qs} \dots \dots \dots (9)$$

$$\varphi'_{dr} = -L_r i'_{dr} - L_m i_{ds} \dots \dots \dots (10)$$

$$L_s = L_{ls} + L_m \dots \dots \dots (11)$$

$$L_r = L_{lr} + L_m \dots \dots \dots (12)$$

### 2-3- المولد التحريضي ذو التغذية المضاعفة

.Doubly Fed Induction Generator (DFIG)

إن الفرق الرئيسي بين المولد SCIG والمولد DFIG هو أنه في المولد SCIG تُحقّن الشبكة بالاستطاعة المولدة من الثابت فقط، أمّا في المولد DFIG فتُحقّن الشبكة من الثابت والدائر بآنٍ واحد. يشبه المولد التحريضي مضاعف التغذية المولد التحريضي ثلاثي الطور ذا الدائر الملفوف، الذي تتصل فيه ملفات الدائر بثلاث حلقات انزلاق. تتغذى ملفات الدائر في المولد التحريضي مضاعف التغذية من أنظمة ثلاثية الطور ذات توتر وتردد متغيرين، ويجري ذلك من خلال المبدلات الالكترونية (AC/DC/AC)، التي تكون متصلة عادةً مع الشبكة الكهربائية نفسها التي تتصل بها ملفات الثابت بشكل مباشر، كما هو مبين في الشكل (4).

$V'_{qr}$ : توتر ملفات الدائر منسوباً إلى الثابت على المحور q

$i'_{qr}$ : تيار ملفات الدائر منسوباً إلى الثابت على المحور q

$V_{ds}$ : توتر ملفات الثابت على المحور d

$i_{ds}$ : تيار ملفات الثابت على المحور d

$V'_{dr}$ : توتر ملفات الدائر منسوباً إلى الثابت على المحور d

$i'_{dr}$ : تيار الدائر منسوب للثابت على المحور d

P: عدد أزواج الأقطاب

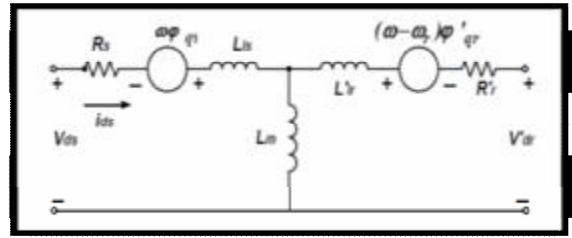
$\omega_m$ : سرعة الزاوية للدائر

$\omega_r = \omega_m * p$ : السرعة الزاوية الكهربائية

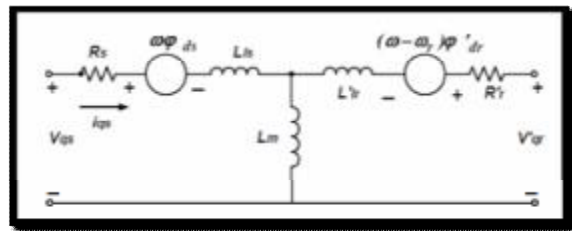
$T_e$ : العزم الكهربائي

$\omega_e = \Omega$ : السرعة الاسمية للآلة

F: معامل الاحتكاك



الشكل (2) الدارة المكافئة للمولد التحريضي (النموذج الديناميكي) على المحور d



الشكل (3) الدارة المكافئة للمولد التحريضي (النموذج الديناميكي) على المحور q

و يمكن أن يُعبّر عن العزم الكهرومغناطيسي والميكانيكي بالعلاقين (5) و (6):

$$T_e = (-\varphi_{dr} i'_{qr} + \varphi_{qr} i'_{dr}) \dots \dots \dots (5)$$

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = T_m - T_{em} \quad \dots\dots (16)$$

:YA`X

J: ثابت العطالة المشترك للدائر و العنفة الريحية.

أما في الحالة المستقرة عند سرعة ثابتة ومن أجل ضياعات أقل للمولد فنجد:

$$T_m = T_{em} \quad \dots\dots (17)$$

$$P_m = P_s + P_r \quad \dots\dots (18)$$

إذ:

$P_r$ : استطاعة الخرج الكهربائية للدائر.

ومن ذلك نحصل على:

$$P_r = P_m - P_s \quad \dots\dots (19)$$

$$P_r = -T_m((\omega_s - \omega_r)/\omega_s)\omega_s \quad \dots\dots (20)$$

$$P_r = -sT_m\omega_s \quad \dots\dots (21)$$

$$P_r = -sP_s \quad \dots\dots (22)$$

إذ يُعرف s بانزلاق المولد ويعطى بالعلاقة (1).

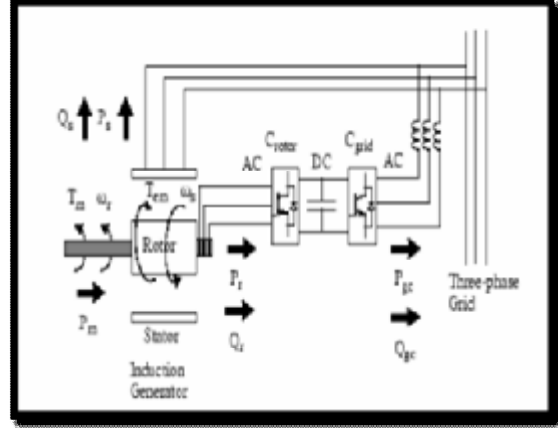
يُستخدم المبدل الموصول في جهة الشبكة للحفاظ على قيمة توتر ثابت في حلقة التوتر المستمر DC-Link. فضلاً عن أنه يسمح بحقن الاستطاعة الردية أو امتصاصها. أما المبدل في جهة الدائر فيُستخدم لتحديد سرعة العنفة الريحية من خلال حقنه للاستطاعة  $P_r$  أو امتصاصه لتلك الاستطاعة، ومن ثم التحكم باستطاعة خرج العنفة الريحية (أي التحكم بالاستطاعة الكهربائية المولدة من المولد DFIG من خلال هذا المبدل)[2].

2-4- النموذج الرياضي للمولد التحريضي ذي التغذية المضاعفة (DFIG):

يمكن أن تُوصف معادلات الدارات المكافئة للمولد التحريضي DFIG على المحورين q و d وبالاعتماد على الشكلين (2) و (3) كالآتي:

(المتغيرات والمحددات الكهربائية للآلة كلها منسوبة إلى الثابت، وكميات الثابت والدائر كلها في إطار محورين مرجعيين (d-q).

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} + \omega \phi_{ds} \quad \dots\dots (23)$$



الشكل (4) المولد التحريضي ذو التغذية المضاعفة وكيفية ربطه مع الشبكة

تُحسب الاستطاعة الميكانيكية واستطاعة الخرج الكهربائي للثابت كما يأتي:

$$P_m = T_m \omega_r \quad \dots\dots (13)$$

$$P_s = T_{em} \omega_s \quad \dots\dots (14)$$

إذ:

$T_m$ : العزم الميكانيكي المطبق على الدائر.

$T_{em}$ : العزم الكهرومغناطيسي المطبق على الدائر من قبل المولد.

$\omega_r$ : سرعة دوران الدائر.

$\omega_s$ : سرعة دوران الحقل المغناطيسي في الثغرة الهوائية للمولد، هذه السرعة هي السرعة التزامنية الاسمية وتُقاس بالراديان على الثانية Rad/sec.

$$\omega_s = \frac{2\pi n_0}{60} = \frac{2\pi f_1}{P} \quad \dots\dots (15)$$

إذ:

$n_0$ : سرعة اللاحمل وتُقاس بالدورة في الدقيقة rpm

$f_1$ : تردد شبكة التغذية.

P: عدد أزواج الأقطاب في الآلة التحريضية.

$P_m$ : استطاعة الميكانيكية للعنفة الريحية.

$P_s$ : استطاعة الخرج الكهربائي للثابت.

تُعطى المعادلة الميكانيكية للمولد في الحالة العابرة أي عند سرعة دوران متغيرة بالعلاقة:

الكهربائية للمولدات. في نظام قدرة كهربائي يحتوي n مولداً يُمكن أن نكتب المعادلة العقدية الآتية:

$$\begin{bmatrix} I_n \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{nn} & Y_{nr} \\ Y_{rn} & Y_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ V_r \end{bmatrix} \dots\dots (35)$$

إذ يُستخدم الرمز السفلي الدليلي n للدلالة على عقد المولد ويُستخدم الرمز السفلي الدليلي r للعقد الباقية. من المعادلة (35) نجد:

$$\begin{aligned} Y_{nr}V_r + Y_{nn}V_n &= I_n \\ Y_{rr}V_r + Y_{rn}V_n &= 0 \end{aligned}$$

ومن تلك المساواة السابقة و بحذف  $V_r$  نجد:

$$I_n = (Y_{nn} - Y_{nr}Y_{rr}^{-1}Y_{rn})V_n \dots\dots (36)$$

وهكذا يُمكن أن نُكتب المصفوفة المختصرة المطلوبة للسماحيات كالاتي:

$$Y_R = (Y_{nn} - Y_{nr}Y_{rr}^{-1}Y_{rn}) \dots\dots (37)$$

أبعاد هذه المصفوفة هو  $n \times n$ . إذ  $x$  هو عدد المولدات. ونلاحظ أن تصغير الشبكة هي تقنية تحليلية بسيطة يمكن أن تُستخدم فقط عندما تعدُّ الأحمال كممانعات ثابتة.

ينبغي حساب المصفوفة  $[Y]$  للحالات الثلاث: قبل العطل، وفي أثناء العطل، وبعد العطل.

تُستخدم مصفوفة قبل العطل لحساب القيم الابتدائية للزوايا  $\delta_i$  (إذ  $\delta_i$ : زاوية الدائر الكهربائية). وتُستخدم مصفوفة في أثناء العطل للمدة الزمنية من  $t=0$  حتى لحظة تحرير العطل. أمّا مصفوفة بعد العطل فتلزم لأجل المدة بعد العطل وحتى نهاية مدة الحساب.

إن الاستطاعة الكهربائية المحقونة في النظام من قبل المولد  $i$  تُعطى بالعلاقة:

$$P_{ei} = \sum_{j=1}^n |E_i| |E_j| |Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \dots\dots (38)$$

$$Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} = G_{ij} + jB_{ij}$$

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} - \omega \varphi_{qs} \dots\dots (24)$$

$$V'_{qr} = R'_r i'_{qr} + \frac{d\varphi'_{qr}}{dt} + (\omega - \omega_r) \varphi'_{dr} \dots\dots (25)$$

$$V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \frac{d\varphi'_{dr}}{dt} - (\omega - \omega_r) \varphi'_{qr} \dots\dots (26)$$

ويمكن أن يُعبّر عن العزم الكهرومغناطيسي والميكانيكي بالعلاقين (27) و (28):

$$T_e = p \frac{L_m}{L_s} (-\varphi_{ds} i'_{qr} + \varphi_{qs} i'_{dr}) \dots (27)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{2H} (T_m - F\omega_m - T_e) \dots (28)$$

إذ يُعبّر عن معادلات السيلالات المغناطيسية في الدائر والثابت بالعلاقات الآتية:

$$\varphi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr} \dots\dots (29)$$

$$\varphi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{dr} \dots\dots (30)$$

$$\varphi'_{qr} = L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs} \dots\dots (31)$$

$$\varphi'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds} \dots\dots (32)$$

$$L_s = L_{ls} + L_m \dots\dots (33)$$

$$L'_r = L'_{lr} + L_m \dots\dots (34)$$

### 3- النموذج الرياضي لنظام قدرة متعدد الآلات:

تُحسب مصفوفة السماحيات  $Y$  المبينة في الأسفل لكل حالة من الحالات الثلاث الآتية: قبل العطل - وفي أثناء العطل - وبعد العطل، عندها يُمكن أن نحذف عقد الشبكة المدروسة كلّها باستثناء عقد القوى المحركة الكهربائية لمولدات تلك الشبكة ونحصل على المصفوفة  $Y$  للشبكة المصغرة. يُمكن أن يُنجز التصغير بواسطة تطبيق عمليات المصفوفة مع الأخذ بالحسبان أن العقد كلّها تملك تيارات حقن تساوي الصفر باستثناء عقد القوى المحركة

عندما تتغير الشبكة بسبب الفصل في أثناء العطل، فإن القيم المقابلة سوف تُعرف من المعادلات المبينة في الأعلى.

دُرِسَ أثر المزارع الريحية في استقرار التردد لنظام القدرة الكهربائي السوري؛ وذلك بحساب زمن الفصل الحرج عند حدوث حالة قصر ثلاثية الطور متناظرة في عقد مختلفة من الشبكة لمعرفة مدى تأثير المولدات الريحية في استقرار النظام المدروس [4].

#### 4- وصف المنظومة الكهربائية السورية [3]

طُبِّقَت الدراسة على المنظومة الكهربائية السورية 230KV - 400KV المبيّنة في الشكل (5).

اقتصرنَا في دراستنا على المنطقة الجنوبية من الشبكة السورية عند مستويات التوتر 230KV - 400KV.

وقد فُصِّلَت هذه المنطقة عن المنطقة الوسطى في محطتي جندر وقطينة حيث ترتبط المنطقة الجنوبية بهما عبر خط (قابون - قطينة) إذ توتره 230KV وخط (عدرا - جندر) بتوتر 230KV وخط (عدرا - جندر) 400KV، وإستُعِيضَ عن باقي الشبكة السورية بواسطة ثلاث شبكات مكافئة الأولى في جندر وتوترها 230KV، والثانية أيضاً في جندر بتوتر 400KV، والثالثة في قطينة وتوترها 230KV.

وقد مُلِّ ما سبق ذكره باستخدام برنامج (NEPLAN) كما هو مبين في الشكل (6).

$Y_{ij}$ : هي عناصر مصفوفة سماحيات الباسات في أثناء العطل، وهي سالبة من أجل سماحية النقل بين العقدة  $i$  و  $j$ .

$$B_{ii} + jG_{ii} = |Y_{ii}| \angle \theta_{ii} = Y_{ii}$$

$Y_{ii}$  السماحية عند نقطة النقل للعقدة  $i$ .

وعلى فرض حدوث العطل الثلاثي الطور على العقدة  $K$  مثلاً من الشبكة يكون لدينا  $V_K = 0$ ، ويفترض وبتقريب مقبول أن توترات التهييج للمولدات تبقى ثابتة في أثناء العطل وبعده.

تُعْطَى معادلات الديناميكية عندئذٍ بالعلاقات الآتية:

$$+ E_i^2 G_{ij} - (P_{mi} = D_i \omega_i + \frac{d\omega_i}{dt} \frac{2H_i}{\omega_R} \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n E_i E_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)) \\ \dots\dots\dots(39)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n, \dots, n, \dots, n \dots\dots\dots(40) \quad \frac{d\delta_i}{dt} = \omega_i - \omega_R$$

$\omega_R = \omega_s$ : السرعة الزاوية التزامنية.

$H_i$ : ثابت العطالة للمولد  $i$  منسوباً إلى الأساس العام.

$S_B$ : الذي يُحسب بدلالة ثابت العطالة  $H_{G_i}$  للمولد  $i$  المنسوب إلى الاستطاعة الاسمية للمولد من العلاقة:

$$\frac{S_{G_i}}{H_{G_i} S_B} = H_i$$

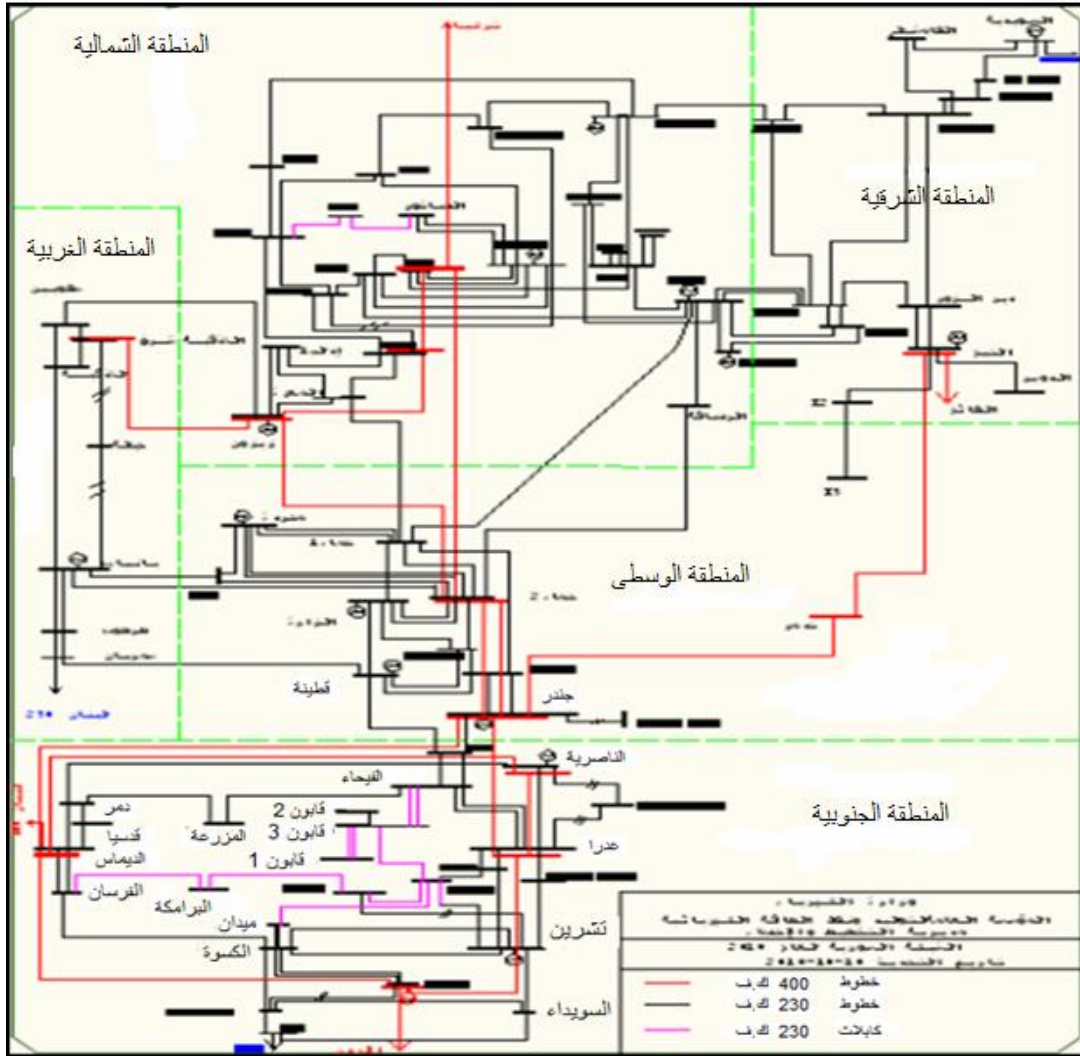
$D_i$ : ثابت التخميد للمولد  $i$ .

ينبغي أن نلاحظ أنه قبل الاضطراب في اللحظة  $(t=0)$   $P_{mi0} = P_{ei0}$ ، عندها يُمكن أن نكتب:

$$P_{mi0} = E_i^2 G_{ii0} +$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n E_i E_j Y_{ij0} \cos(\theta_{ij0} - \delta_{i0} + \delta_{j0})$$

يُستخدم الرمز (0) للإشارة إلى الحالات ما قبل العابرة.



الشكل (5) المنظومة الكهربائية السورية كاملة

أما الجدول /2/ فيظهر بيانات محطات التوليد وبالترتيب الآتي: إسم المحطة، وعدد مجموعات التوليد، والتوتر، والاستطاعة الاسمية، والاستطاعة الحقيقية العظمى والصغرى، والاستطاعة الردية العظمى والصغرى، والمفاعلة التحريضية للمنوبة، نوع المنوبة [3]. أما الجدول /3/ فيظهر بيانات محطات التحويل بالترتيب الآتي: اسم المحطة، وعدد المحولات الموجودة، وتوترات المحولة، واستطاعتها الاسمية، وتوتر قصر المحولة [3].

توضح الجداول /1/ و /2/ و /3/ في الملاحق بيانات المنطقة الجنوبية التي أُدخِلت إلى برنامج (NEPLAN). إذ يوضح الجدول /1/ بيانات خطوط النقل بالترتيب الآتي: رقم الخط، وعقدة البداية، وعقدة النهاية، وتوتر الخط، وطول الخط، والمقاومة الأومية للخط مقدرة بالأوم، والمفاعلة التحريضية للخط مقدرة بالأوم، ومسايرة الخط مقدرة بالسيميتر، والتيار الأعظمي للخط بالأمبير [3].





طُبِقَ العطل المذكور وقمنا بعملية النمذجة Simulation لما سبق ودُرِسَ زمن الفصل الحرج أي الاستقرار. تُمَثَلُ هذه الحالة حالة التشغيل الطبيعية الأساسية لنظام القدرة الكهربائية كما هو مبين في الشكل (6) دون وجود مصادر توليد ريفية مربوطة إلى النظام. ويمكن تحديد زمن الفصل الحرج CCT باستخدام التمثيل العابر، إذ أُجْرِيَ العطل على خط (دمر - الناصرية)، وقد بينت الدراسة أن زمن الفصل الحرج في هذه الحالة هو  $CCT=406[ms]$ ، وذلك بفرض حدوث العطل في اللحظة  $t=100 [ms]$  وهي لحظة كان النظام عندها مستقرًا.

ويُبيّن في الشكل (7) ترددات المجموعات الثلاث المدروسة، ومن الواضح أن المجموعة البخارية 1 في محطة تشرين قد تأثرت بالعطل تأثرًا كبيرًا. نلاحظ ازدياد التردد إلى القيمة  $1.0247*50=51.235 [Hz]$ ، ثم يهتز حتى يستقر عند التردد  $50[Hz]$  أي العودة إلى حالة العمل الطبيعية. أما بالنسبة إلى المجموعة الغازية في تشرين والمجموعة البخارية في دير علي؛ فقد كانت أقل المجموعات تأرجحاً (اهتزازاً) هي المجموعة البخارية في دير علي وذلك لبعدها عن مكان العطل.

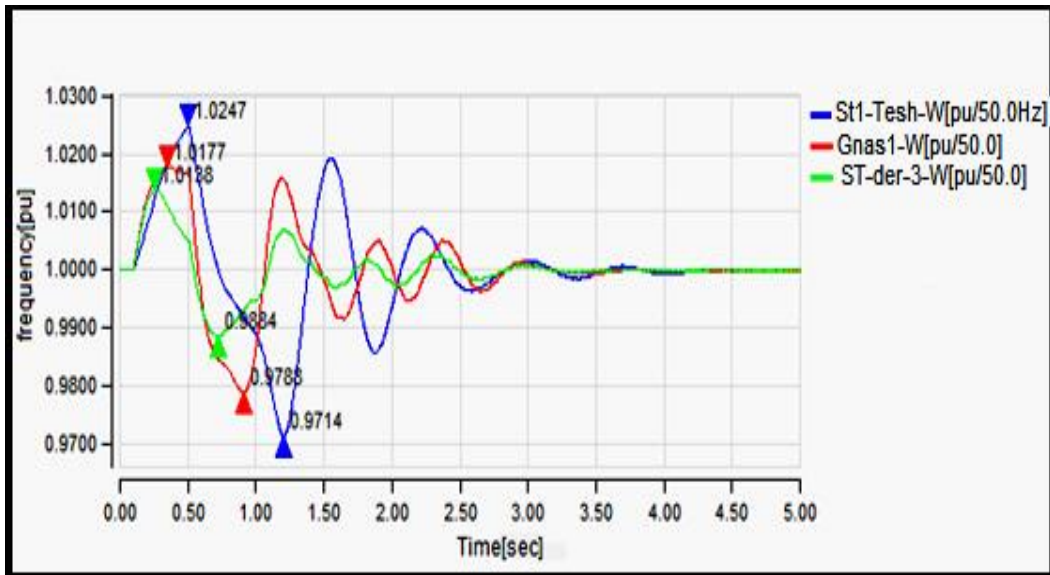
وتسهم هذه الدراسة في إعطاء فكرة عن أثر ربط المزارع الريحية في استقرار تردد الشبكة السورية؛ وذلك لأن استقرار التردد يعبر عن استقرار النظام.

#### 7- الدراسة التجريبية:

اقتصرت الدراسة في هذا البحث على مجموعة واحدة من كل محطة توليد كهربائية إذ أُخِذَتِ المجموعة البخارية في محطة دير علي، والمجموعة الغازية في محطة الناصرية، والمجموعة البخارية 1 في محطة تشرين.

#### 7-1- الحالة الأولى دون وجود مزارع ريفية:

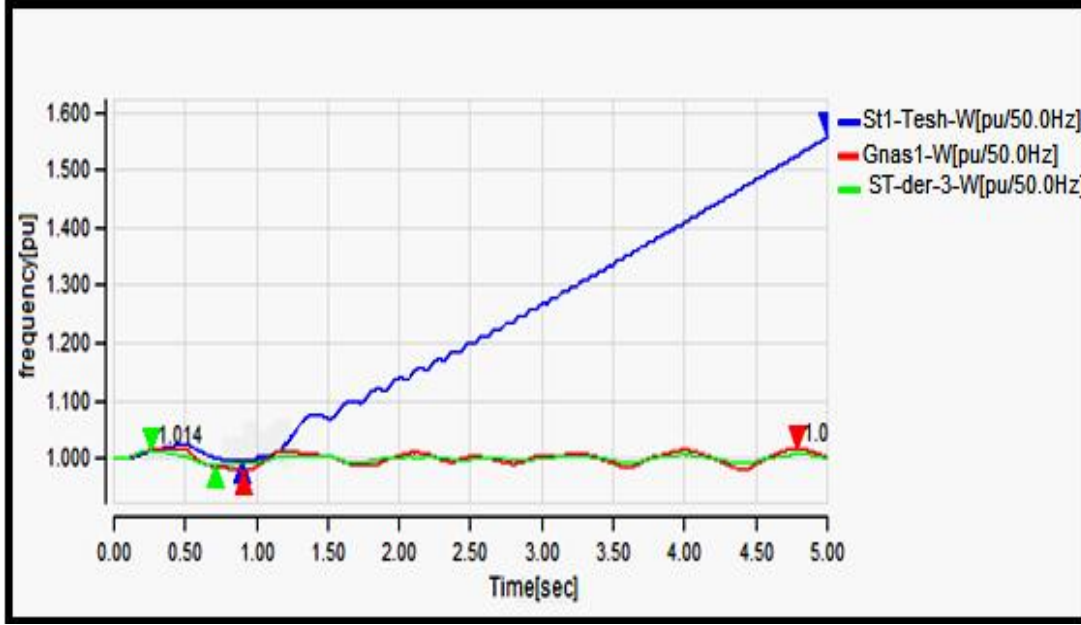
سوف تُشْرَحُ في البداية عملية النمذجة الملائمة المستخدمة في البرنامج قبل الدخول في الدراسة، إذ بعد اختيار ملف جديد في برنامج Neplan وُضِعَتِ الوحدات الخاصة بكل عنصر من عناصر النظام الكهربائي ضمن ذلك الملف، ورُبِطَتِ تلك الوحدات مع بعضها بعضاً بعد القيام بتزويد المحددات الخاصة بها، وبعد ذلك قمنا بعملية جريان حمولة (Load Flow) للنظام المدروس، ثم



الشكل (7) منحنيات تأرجح التردد للمولدات 1 و 2 بالنسبة إلى المولد 3 لأجل زمن فصل عطل  $CCT=406 [ms]$

المجموعة البخارية 1 في محطة تشرين إذ تهتز مبتعدةً عن منحنيات المولدات الأخرى ومن ثمَّ فقدان التزامن بين المولدات وانتقال النظام إلى حالة عدم الاستقرار.

وعند زيادة مدة العطل إلى الزمن [407ms] نجد أن النظام يخرج عن الاستقرار بسبب خروج المجموعة البخارية 1 في محطة تشرين عن الاستقرار، كما هو مبين في الشكل (8)، وقد بدا واضحاً أثر ذلك في تردد



الشكل (8) ترددات المولدات الثلاثة بعد الخروج عن الاستقرار في اللحظة  $t=407$  [ms]

الاستطاعة الاسمية: 2MW.

التوتر: (AC) 690V.

التردد: 50Hz / 60Hz.

عدد الأقطاب: 4.

تيار الثابت الاسمي: 1500A.

سرعة الدوران: 1900 rpm (الاسمية 1680 rpm).

$$=0.00706 \text{ [pu]} I_s$$

$$=1.074 \text{ [pu]} X_s$$

$$=18.22 \text{ [pu]} X_m$$

$$=0.005 \text{ [pu]} I_r$$

$$=0.98 \text{ [pu]} X_r$$

أولاً - عند سرعة متغيرة التي يكون فيها المصدر

المستخدم مولداً ريحياً ذا التغذية المضاعفة (DFIG)

نربط مزرعة ريحية باستطاعة 50 MW ذات عنفات

ريحية يدخل في تركيبها المولد التحريضي ذو التغذية

المضاعفة على عقدة غباغب، وهذه العقدة ذات توتر 230

KV، إذ تُربط المزرعة الريحية عبر محولات قدرة

ومن ثم عبر خطوط نقل إلى محولات

يجب الأخذ بالحسبان أن هناك العديد من البرمجيات المشهورة مثل..... Neplan , etap , PSS/E , DigSILENT وكل منها فيه نموذج خاص للعنفات الريحية التي يدخل في تركيبها المولد DFIG أو المولد SCIG. بناءً على ذلك حصلنا على نتائج مختلفة نوعاً ما عند دراسة استقرار نظام كهربائي محدد في كل من هذه البرامج المختلفة [9].

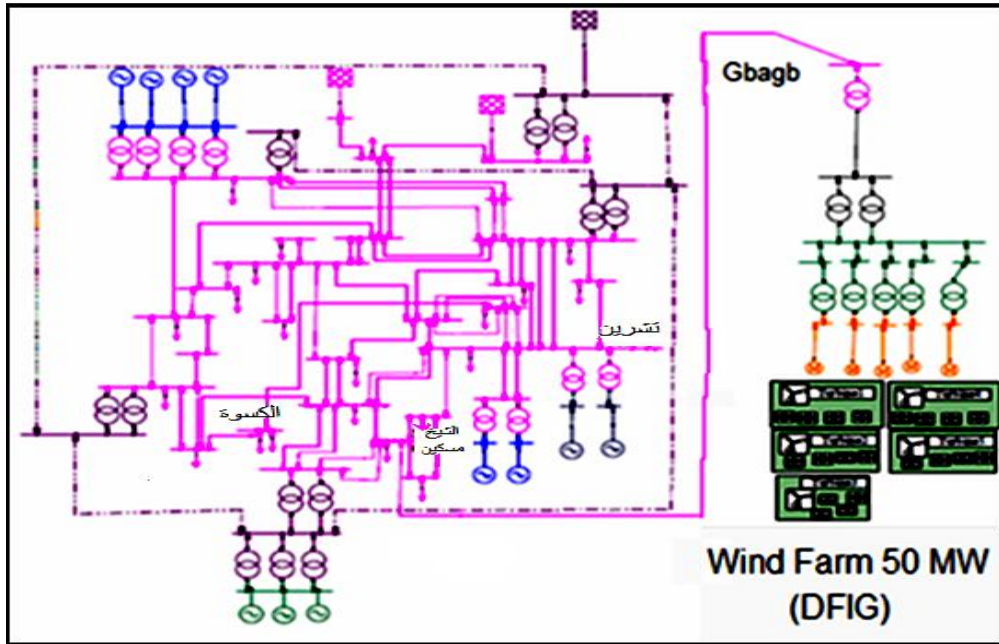
## 7-2 - حالة الثانية بوجود مصادر ريحية

ليبان أثر العنفات الريحية في الاستقرار العابر للمنظومة الكهربائية طبقاً عطل ثلاثي الطور متناظر في أماكن محددة من الشبكة؛ ومن ثم جرت متابعة وضع استقرار تردد المولدات التزامنية.

عُدَّت عنفات الريحية متماثلة في مزرعة ريحية وزيدت نسبة إسهامها في الاستطاعة الكلية المولدة في النظام عن طريق زيادة عدد هذه العنفات التي تحتوي كل منها مولداً تحريصياً بالمواصفات الآتية:

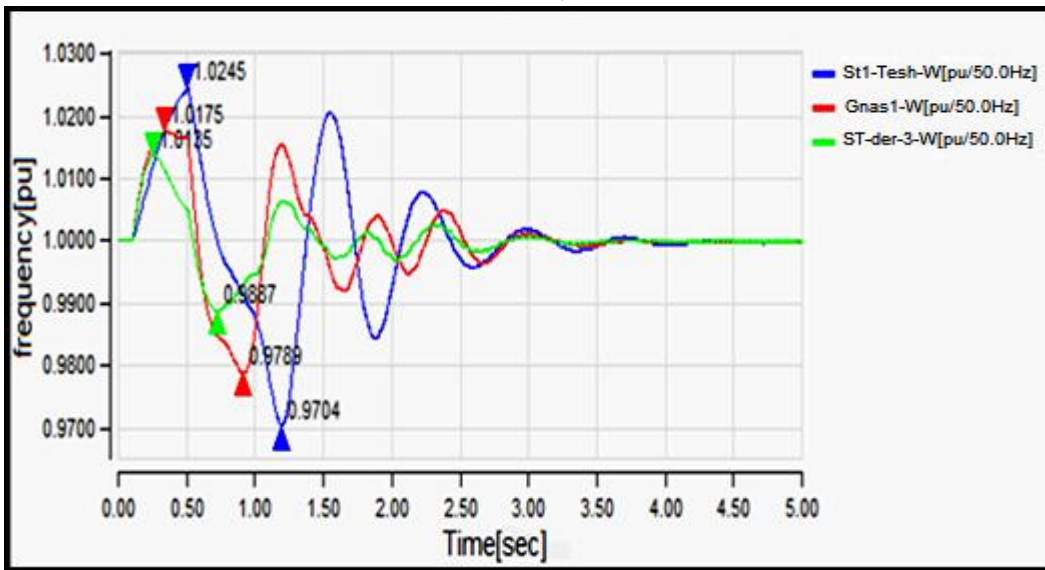
النموذج: مولد DFIG.

تحول من 66KV إلى 230KV حيث عقدة غباغب المتصلة بدورها مع عقدة الشيخ مسكين في المنطقة (9).



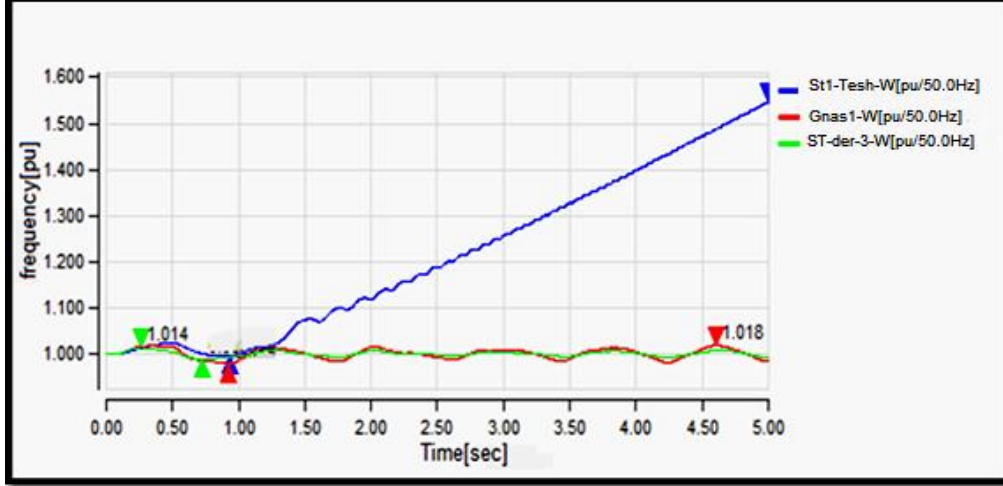
الشكل (9) نمذجة الشبكة السورية باستخدام البيئة البرمجية Neplan بعد ربط المزارع الريحية (DFIG) ذات الاستطاعة [50 MW] على عقدة الشيخ مسكين

بإجراء العطل السابق (على خط (دمر - الناصرية)) نجد أن زمن الفصل الحرج قد زاد على ما هو عليه في حالة عدم ربط مزرعة ريحية ليصبح  $CCT=409[ms]$ ، ومن ثم فإن ربط مزرعة ريحية على عقدة الشيخ مسكين أدى إلى تحسين هامش استقرار الشبكة السورية. ويبين الشكل (10) اهتزاز مطال التردد بعد حدوث العطل وقيم



الشكل (10) ترددات المولدات الثلاثة بعد ربط المزارع ريحية عند الزمن  $CCT=409 [ms]$

الثلاثة تهتز بمطالات مختلفة، والأهم أنها على مسارات مبتعدة عن بعضها بعضاً؛ مما يدل على فقدان التزامن بين هذه المولدات ومن ثمَّ خروج النظام ككل عن الاستقرار، كما هو مبين في الشكل (11).



الشكل (11) منحنيات التردد للمجموعات الثلاث عند زيادة دوام العطل إلى الزمن  $t=410$  [ms]

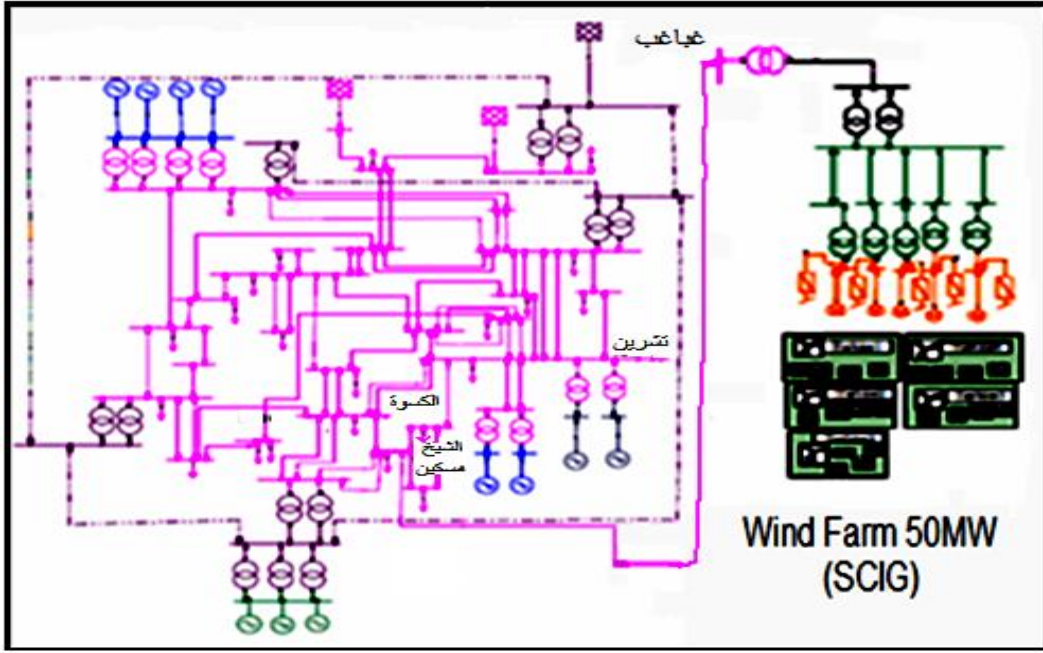
فُصِّلَتْ في هذه الحالة المزرعة ذات العنقات التي يدخل في تركيبها المولد التحريضي ذو التغذية المضاعفة DFIG ورُبطَتْ مزرعة ريحية باستطاعة 50 MW ذات عنقات يدخل في تركيبها المولد التحريضي ذو القفص السنجابي على عقدة غباغب المتصلة بدورها عبر خط نقل إلى عقدة الشيخ مسكين كما هو مبين في الشكل (12).

مع ملاحظة أنه يجري ربط مجموعة مكثفات ستاتيكية باستطاعة 1MVAR على عقدة 690V لتعويض الاستطاعة الردية.

و نلاحظ أن المجموعة البخارية 1 في محطة تشرين تخرج عن التزامن عند زيادة زمن الفصل الحرج للحظة  $t=410$  [ms]، ومن ثمَّ يخرج كامل النظام عن الاستقرار، وأيضاً نجد أنه نتيجة تسارع الدائر أن الترددات للمولدات

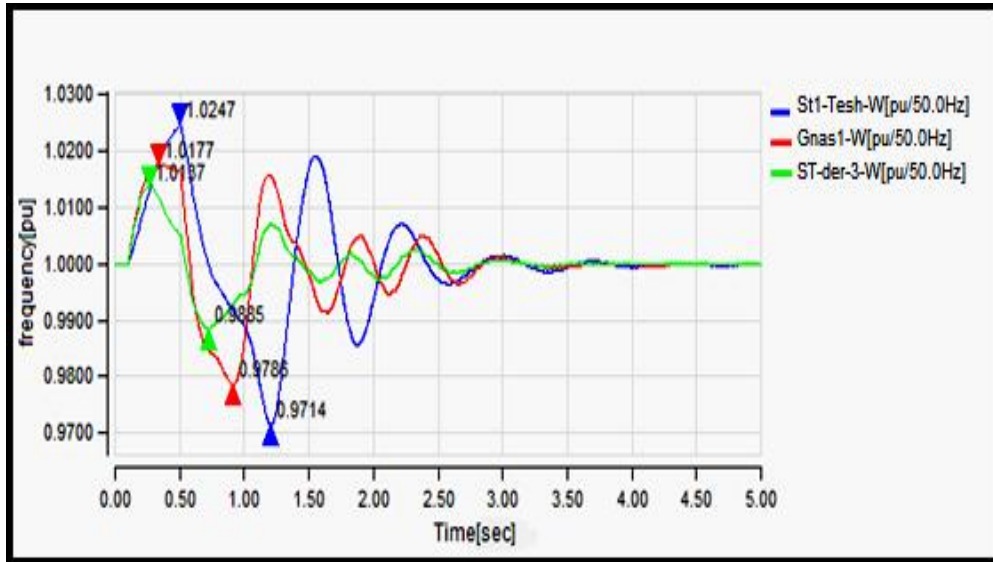
ثانياً - استخدام المزارع الريحية التي يدخل في تركيب عنقاتها المولد التحريضي ذو القفص السنجابي SCIG: بغية دراسة أثر اختلاف تقنيات المولدات التحريضية المستخدمة في العنقات الريحية في الاستقرار العابر لنظام القدرة الكهربائي قمنا باستبدال العنقات الريحية المزودة بمولدات تحريضية ذات تغذية مضاعفة بأخرى مزودة بمولدات ذات قفص سنجابي ونعيد الخطوات السابقة من الدراسة من حيث تطبيق العطل الثلاثي الطور ومتابعة منحنى زاوية الدائر وتسجيل زمن الفصل الحرج.





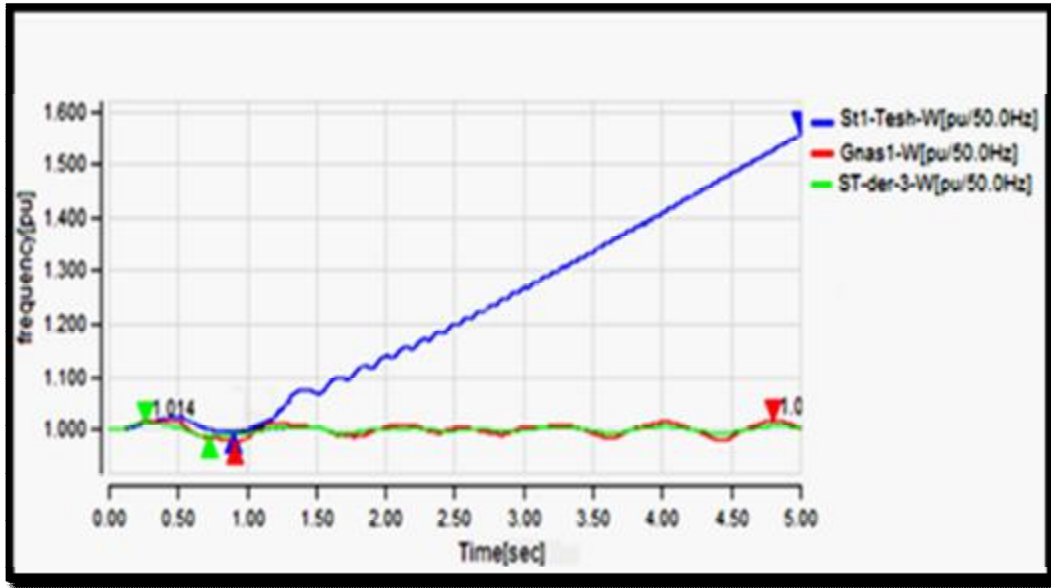
الشكل (12) نمذجة الشبكة السورية باستخدام البيئة البرمجية Neplan بعد ربط المزارع الريحية (SCIG) ذات الاستطاعة [MW] 50 على عقدة الشيخ مسكين

بعد حدوث العطل الثلاثي الطور على خط (دمر - الناصرية) نلاحظ أن زمن الفصل الحرج لهذه الحالة CCT=407[ms] أي إنَّ هامش الاستقرار قد تحسن في هذه الحالة أيضاً، وإن كان بصورة أقل مما هو عليه في حالة المولد التحريضي ذي التغذية المضاعفة نظراً إلى أن المولد الأخير يتمتع بقدرات تحكم تتفوق على قدرات المولد التحريضي ذي القفص السنجابي. ونجد من الشكل (11) أن شكل موجة التردد قريب جداً من شكلها في حالة عدم ربط المزارع الريحية، والاختلاف الوحيد هنا أن اهتزازات موجات التردد تكون بساعات أقل من تلك التي في الحالة الأساسية.



الشكل (13) ترددات المولدات الثلاثة عند الزمن CCT=407 [ms]

ويخرج النظام عن الاستقرار عند زيادة دوام العطل إلى الزمن [ms] t=408 بسبب خروج المجموعة، البخارية 1 (14).



الشكل (14) منحنيات التردد للمجموعات الثلاث عند زيادة دوام العطل إلى الزمن  $t=408$  [ms]

تبيّن أن الاختلافات بين أزمنة الفصل الحرجة عند تلك الاستطاعات تبقى متفاوتة بنسب ضئيلة جداً بشكل دائم، والسبب في ذلك هو نتيجة لقرب تلك العقد من بعضها بعضاً من جهة، ولقربها من عقد التوليد من جهة أخرى، لكن وجدنا أن أثر تغيير الموقع بدا واضحاً نوعاً ما عند الاستطاعة 500MW مقارنة بحالات زيادة الاستطاعة التي هي أقل منها؛ لذلك قمنا بدراسة أثر موقع ربط العنقات الريحية على استقرار الشبكة السورية عند الاستطاعة 500MW، إذ يبيّن الجدول /4/ أزمنة الفصل الحرجة لبعض عقد الشبكة السورية المتوقع ربط المزارع الريحية عليها عند تلك الاستطاعة.

الجدول /4/ أزمنة الفصل الحرجة لبعض العقد في الشبكة السورية المتوقع ربط المزارع الريحية عليها عند الاستطاعة 500MW

الهيجانة (تشرين)	القنيطرة (الكسوة)	غباغب (الشيخ مسكين)	Bus N
430	433	428	CCT for variable speed (ms)
411	413	412	CCT for fixed speed (ms)

9- أثر زيادة استطاعة العنقات الريحية:  
لبيان أثر زيادة استطاعة العنقات الريحية في الاستطاعة الكلية المولدة في استقرار التردد لنظام القدرة الكهربائية زِيدت بالتدرج نسبة إسهام العنقات الريحية ضمن المجال

8- دراسة أثر تغيير موقع المزرعة الريحية في استقرار التردد للشبكة السورية:

لتحديد أثر موقع العنقات الريحية في الاستقرار العابر لنظام القدرة الكهربائي جرت متابعة الوضع الزاوي لدائر الآلات التزامنية بعد ربط العنقات الريحية وباستطاعة 50MW إلى قضبان التجميع (غباغب - القنيطرة - الهيجانة) على التوالي، وقد تبيّن أن زمن الفصل الحدي هو نفسه تقريباً عند ربط المزرعة الريحية ذات الاستطاعة 50MW على أي قضيب تجميع من قضبان التجميع الثلاثة السابقة المذكورة، وعند زيادة استطاعة المزارع الريحية بدءاً من  $[50MW \div 500MW]$

الجدول 5/ يبين أزمنة الفصل الحرجة المقابلة لكل زيادة للاستطاعة عند ربط المزارع الريحية على العقد المتوقع الربط عليها

500MW	400MW	250MW	150MW	استطاعة المزارع الريحية
433	428	420	415	CCT for variable speed (ms)
414	412	411	408	CCT for fixed speed (ms)

التحريضي ذو القفص السنجابي SCIG، وقد لوحظ ذلك من خلال قيم زمن الفصل الحرج في الجدول رقم 5/. بمعنى آخر إن ربط المزارع الريحية على الشبكة السورية يؤكد أن المولد DFIG يؤدي دوراً أفضل من المولد SCIG في تحسين استقرار نظام القدرة الكهربائي. - نلاحظ من الأشكال (7) و(10) و(13) أنّ الاهتزازات الترددية عند ربط المزارع التي يدخل في تركيبها المولد DFIG تتخذ بشكل أفضل من تخمدها في حالة التشغيل الأساسية ومن تخمدها في حالة ربط المزارع التي يدخل في تركيب عنقاتها المولد التحريضي ذو القفص السنجابي.

#### 11- النتائج Conclusions:

1- بينت الدراسة التجريبية على جزء من الشبكة السورية أن العنقات الريحية سوف تسهم في زيادة زمن الفصل الحرج أي هامش الاستقرار العابر ومن ثمّ في زيادة هامش استقرار التردد الشبكة، ويتفوق هنا المولد التحريضي ذو التغذية المضاعفة على المولد التحريضي ذي القفص السنجابي نظراً إلى قدرات التحكم الكبرى لهذا النوع المولدات.

2- جرى في سياق البحث زيادة نسبة الاستطاعة المولدة من العنقات الريحية من الاستطاعة الكلية على الاستقرار العابر للنظام الكهربائي، وتبيّن أنه ضمن مجال محدد للاستطاعة تبقى المولدات التزامنية في حالة تزامن ومن ثمّ يحافظ النظام على استقراره العابر.

3- دُرِسَ أثر تغيير موقع العنقات الريحية في الاستقرار العابر، وقد تبيّن أنه في بعض الحالات ولنسبة الإسهام نفسها للعنقات الريحية فإن بعض المواقع تعطي هامش استقرار أكبر وزمن فصل حدياً أكبر من المواقع الأخرى.

#### 10- تحليل أثر ربط مصادر التوليد الريحية في استقرار النظام الكهربائي :

- إن المجموعة البخارية في دير علي والمجموعة الغازية في الناصرية تستقران عند زمن أقل من زمن استقرار المجموعة البخارية (1) في تشرين، ومن ثمّ ستكون مطالات اهتزازات تردد المجموعة البخارية (1) في تشرين أكبر من مطالات اهتزازات التردد للمجموعات الأخرى، كما هو مبين في الأشكال (7) و(10) و(13)، وذلك نظراً إلى قرب المجموعة البخارية (1) في تشرين من مكان موقع العطل ومن ثمّ سوف تكون أكثر المحطات تأثراً بالعطل.

- وجدنا من الجدول 4/ عند زيادة استطاعة المزارع الريحية ضمن المجال  $[500MW \div 50MW]$  أن الاختلافات بين أزمنة الفصل الحرجة عند استخدام كلا النوعين تبقى متفاوتة بنسب ضئيلة جداً بشكل دائم، والسبب في ذلك هو نتيجةً لقرب تلك العقد من بعضها بعضاً من جهة ولقربها من عقد التوليد من جهة أخرى.

- يُوضح الجدول 5/ أنه عند ربط المزارع الريحية ذات العنقات التي يدخل في تركيبها المولد التحريضي ذو التغذية المضاعفة باستطاعات مختلفة وحتى استطاعة معينة على العقد المتوقع الربط عليها في النظام الكهربائي المدروس أن زمن الفصل الحرج يزيد بشكل دائم على ما هو عليه في حالة الأساسية للتشغيل، وكذلك الأمر في حالة ربط المولد التحريضي ذو القفص السنجابي، لكن تُقدم العنقات التي يدخل في تركيبها المولد التحريضي ذي التغذية المضاعفة أداءً أفضل فيما يتعلق باستقرار التردد (أي استقرار نظام القدرة الكهربائي) للشبكة الكهربائية من تلك التي يدخل في تركيبها المولد



- 4- بشكل عام لدى دراسة أثر تغيير مواقع ربط المزارع الريحية في عقد الشبكة السورية وجدنا أن هذا التغيير كان محدوداً جداً؛ وذلك بسبب قرب المواقع المعهودة لربط المزارع الريحية من عقد التوليد (تشرين - دير علي) في الشبكة السورية.
- 5- بشكل عام لذلك قبل الشروع في ربط العنفات الريحية إلى النظام الكهربائي السوري ينصح بإجراء دراسات ديناميكية معمقة على كامل النظام لبيان أثر العنفات الريحية ولاسيماً مع زيادة الاستطاعة المربوطة ولاختيار أفضل المواقع لهذه العنفات من حيث تأثيرها في عمليات التشغيل وخاصة في حالات الاضطراب.

## الملحق : Appendix

الجدول (1) بيانات خطوط النقل

NO	From	To	Base [KV]	L [Km ]	R [ohm]	X [ohm]	B [S]	$I_{max}$ [A]
1	QATTENEH	YABROD	230	82.7	6.367 9	34.15 51	226.1 018	670
2	JANDER	YABROD	230	62.2	4.789 4	25.68 86	170.0 548	670
3	YABROD	ALFEHAA	230	60	4.62	24.78	164.0 4	670
4	YABROD	ALFEHAA	230	60	4.62	24.78	164.0 4	670
5	NASSRIEH	SINADRA1	230	23	1.771	9.499	62.88 2	670
6	NASSRIEH	SINADRA1	230	23	1.771	9.499	62.88 2	670
7	NASSRIEH	ADRA	230	30	2.31	12.39	82.02	670
8	NASSRIEH	DOUMER	230	56	4.312	23.12 8	153.1 04	670
9	ADRA	SINADRA1	230	5	0.222 18	0.675	68.97	670
10	ADRA	SINADRA1	230	5	0.222 18	0.675	68.97	670
11	ADRA	ALFEHAA	230	25	1.925	10.32 5	68.35	670
12	ADRA	ALFEHAA	230	25	1.925	10.32 5	68.35	670
13	ADRA	SINADRA2	230	10	0.77	4.13	27.34	670
14	ADRA	OTAYA	230	14	1.078	5.782	38.27 6	670
15	ADRA	OTAYA	230	14	1.078	5.782	38.27 6	670
16	ADRA	TESH-GIS	230	30	2.31	12.39	82.02	670
17	ADRA	TESH-GIS	230	30	2.31	12.39	82.02	670
18	ALFEHAA	QABOUN3	230	9	0.396	1.215	124.1 46	670

19	ALFEHAA	QABOUN3	230	9	0.396	1.215	124.1 46	670
20	ALFEHAA	MAZRAA	230	7	0.539	2.891	19.13 8	670
21	QABOUN2	QABOUN3	230	3	0.231	1.239	8.202	670
22	QABOUN3	MAZRAA	230	10	0.77	4.13	27.34	670
23	QABOUN3	QABOUN1	230	2	0.088	0.27	27.58 8	670
24	QABOUN3	QABOUN1	230	2	0.088	0.27	27.58 8	670
25	QABOUN3	BABSHAR KI	230	7	0.308	0.945	96.55 8	670
26	QABOUN3	MIDAN	230	13.8	1.062 6	5.699 4	37.72 92	670
27	SINADRA2	TESH-GIS	230	30	2.31	12.39	82.02	670
28	OTAYA	BABSHAR KI	230	20	1.54	8.26	54.68	670
29	OTAYA	TESH-GIS	230	20	1.54	8.26	54.68	670
30	MAZRAA	DOUMER	230	12	0.924	4.956	32.80 8	670
31	ZAHERA	TESH-GIS	230	50	3.85	20.65	136.7	670
32	ZAHERA	TESH-GIS	230	50	3.85	20.65	136.7	670
33	ZAHERA	BABSHAR KI	230	5	0.22	0.675	68.97	670
34	BABSHARKI	TESH-GIS	230	50	3.85	20.65	136.7	670
35	BABSHARKI	MIDAN	230	7	0.308	0.945	96.55 8	670
36	DOUMER	KODSAIA	230	12	0.924	4.956	32.80 8	670
37	DOUMER	DIMAS	230	17	1.309	7.021	46.47 8	670
38	KISWEH	TESH-GIS	230	46	3.542	18.99 8	125.7 64	670
39	KISWEH	TESH-GIS	230	46	3.542	18.99 8	125.7 64	670
40	TESH-GIS	SWEDA	230	112	8.624	46.25 6	306.2 08	670

41	TESH-GIS	TESHREEN	230	1.5	0.115 5	0.619 5	4.101	670
42	TESH-GIS	TESHREEN	230	1.5	0.115 5	0.619 5	4.101	670
43	MIDAN	KISWEH	230	17	1.309	7.021	46.47 8	670
44	MIDAN	KISWEH	230	17	1.309	7.021	46.47 8	670
45	DIMAS	KODSAIA	230	23	1.771	9.499	62.88 2	670
46	DIMAS	FOURSAN	230	13	1.001	5.369	35.54 2	670
47	DIMAS	FOURSAN	230	13	1.001	5.369	35.54 2	670
48	KISWEH	SH- MESKIN	230	56	4.312	23.12 8	153.1 04	670
49	KISWEH	DIRALI	230	9.8	0.754 6	4.047 4	26.79 32	670
50	KISWEH	DIRALI	230	9.8	0.754 6	4.047 4	26.79 32	670
51	SWEDA	SH- MESKIN	230	48	3.696	19.82 4	131.2 32	670
52	SWEDA	DARAA	230	38	3.696	19.82 4	131.2 32	670
53	SH-MESKIN	DARAA	230	22	1.694	9.086	60.14 8	670
54	SH-MESKIN	DIRALI	230	51	3.927	21.06 3	139.4 34	670
55	SH-MESKIN	DIRALI	230	51	3.927	21.06 3	139.4 34	670
56	ZAHERA	BARAMKE H	230	5	0.22	0.675	68.97	670
57	BARAMKEH	FOURSAN	230	10	0.44	1.35	137.9 4	670
58	JANDER	DIMAS	400	143. 5	17.14 825	99.81 86	368.2 21	670
59	DIMAS	DIRALI	400	56.5	6.751 75	39.30 14	144.9 79	670
60	JANDER	ADRA	400	110	13.14 5	76.51 6	282.2 6	670

61	DIRALI	ADRA	400	69.9	8.353 05	48.62 244	179.3 634	670
62	ADRA	NASSRIEH	400	35	4.182 5	24.34 6	89.81	670

الجدول (2) معطيات محطات التوليد

Name of station	Number of units	U [KV]	S [MVA]	$P_{max}$ [MW]	$P_{min}$ [MW]	$Q_{max}$ [MVAR]	$Q_{min}$ [MVAR]	$X_d$ [pu]	type
NASSRIEH	1	15	160	128	30	96	-57	1.928	Gas
	2	15	160	128	30	96	-57	1.928	Gas
	3	15	160	128	30	96	-57	1.928	Gas
	4	15	200	150	60	120	-97	2.43	Steam
TESHREEN	1	15	160	128	30	96	-57	1.928	Gas
	2	15	160	128	30	96	-57	1.928	Gas
	3	15.75	250	200	100	150	-96	2.03	Steam
	4	15.75	250	200	100	150	-96	2.03	Steam
DIRALI	1	20	320	250	90	280	-97	1.7174	Gas
	2	20	320	250	90	280	-97	1.7174	Gas
	3	20	320	250	90	280	-97	1.7116	Steam

الجدول (3) بيانات محطات التحويل

Name of substation	Num of Transformer	U [KV/KV]	S [MVA]	% $U_{\%}$
NASSRIEH	1	15/230	160	13.50%
	2	15/230	160	13.50%
	3	15/230	160	13.50%
	4	15/230	200	13.50%
	5	230/400	300	14.80%
	6	230/400	300	14.80%
TESHREEN	1	15/230	160	13.50%
	2	15/230	160	13.50%
	3	15.75/230	250	13.10%

	4	15.75/230	250	13.10%
DIRALI	1	20/400	280	15.20%
	2	20/400	280	15.20%
	3	20/400	280	15.20%
	4	230/400	300	14.80%
	5	230/400	300	14.80%
DIMAS	1	230/400	300	14.80%
	2	230/400	300	14.80%
ADRA	1	230/400	300	14.80%
	2	230/400	300	14.80%
JANDAR	1	230/400	300	14.80%
	2	230/400	300	14.80%

مواصفات شبكة الإنهاءية المربوطة على عقدة جندر (400KV):

$$\begin{aligned}
 &= 2300 \text{ MVA } S_{(K_{max})}^{A''} \\
 &= 200 \text{ MVA } S_{(K_{min})}^{A''} \\
 &= 3.32 \text{ KA } I_{(K_{max})}^{A''} \\
 &R / X = 0.079
 \end{aligned}$$

نموذجها : SL

مواصفات شبكة الإنهاءية المربوطة على عقدة جندر (230KV):

$$\begin{aligned}
 &= 4850 \text{ MVA } S_{(K_{Max})}^{A''} \\
 &= 350.169 \text{ MVA } S_{(K_{min})}^{A''} \\
 &= 12.175 \text{ KA } I_{(K_{max})}^{A''} \\
 &R / X = 0.073
 \end{aligned}$$

نموذجها : PQ

مواصفات شبكة الإنهاءية المربوطة على عقدة قطينة (230KV):

$$\begin{aligned}
 &= 6600 \text{ MVA } S_{(K_{max})}^{A''} \\
 &= 0 \text{ MVA } S_{(K_{min})}^{A''} \\
 &= 16.567 \text{ KA } I_{(K_{max})}^{A''} \\
 &R / X = 0.073
 \end{aligned}$$

نموذجها : PQ

وهذه المواصفات للشبكات السابقة استنتجت بناءً على دراسات أجريت على تيارات القصر لشبكة الكهربائية السورية وجريان الحمولة فيها.

## \*المراجع

- [1] Prof. Dr. Ali Hamzeh, Prof. Dr. Kamal Naji, Prof. Dr. Samih jabi "Introduction To Renewable Energies", 2010-2011, Damascus University Publications, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering.
- [2] MATLAB / Simulink Sim power system Documentation / 2009. Available: <http://www.mathwork.com>
- [3] Ministry of Electricity in Syria.
- [4] NEPLAN version 5.4.1  
CH-8703 Erlenbach (Switzerland )  
[www.neplan.com](http://www.neplan.com)  
[NEPLAN Support](http://www.neplan.com) .
- [5] Ding Ming, Li Binbin, and Han Pingping Photovoltaic System Research Center of MOE, Hefei University of Technology, China "Impacts of Doubly-fed Wind Turbine Generator Operation Mode on System Voltage Stability" 2010 2nd IEEE.
- [6] Prof. Dr. Hashem Wrkozek, "Wind Energy (2)"2010.
- [7] Prof. Dr. Ali Hamzeh, Dr. Khalid Sedan, " Power System Analysis "2010.
- [8] Jonas Persson, Urban Axelsson, Daniel Wall Vattenfall Research and Development Power Technology Stockholm, Sweden  
Per-Olof Lindström Vattenfall Power Consultant  
Electrical Network Stockholm, Sweden  
"Need for Standardization of Wind Power Models for Stability Studies" 2009.
- [9] Division of Electric Power Engineering, Department of Energy and Environment, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, GÅoteborg, Sweden 2008." Dynamic Models of Wind Turbines"
- [10] "Impact Of Wind power on Angular Stability Of a Power System"EQ82.