مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (3) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (3) 2018

السلوك الديناميكي للحماية من التيار الزائد في نظام طاقة ريحي

أمواج مخلوف[1]

(تاريخ الإيداع 19 / 12 / 2017. قُبِل للنشر في 8/ 5 / 2018)

□ ملخّص □

تتعرض خطوط النقل شأنها شأن كل مكونات نظام القدرة الكهربائية، لأعطال غير متوقعة وذلك لأسباب متعددة. وهذه الأعطال تقلل من موثوقية تشغيل النظام، حيث تعد مصدراً من مصادر تهديد استمرارية التغذية الكهربائية. وباعتبار تلافي حدوث هذه الأعطال بشكل كامل أمر غير ممكن التحقيق فإنه يجب تصميم نظام حماية متكامل يجري فيه تنسيق العمل بين كل أجهزته بشكل جيد لتحديد وفصل العطل بسرعة بحيث يبقى الضرر الذي يسببه هذا العطل إلى نظام القدرة في أضيق الحدود الممكنة.

تركب أجهزة الحماية في الشبكة الكهربائية لحمايتها من الأعطال التي تصيبها، ومن تفاقمها ومنع انتشارها. كذلك الأمر حمايتها من حالات التشغيل غير الطبيعية الناتجة عنها. كما تعمل أنظمة الحماية على تحديد وتصنيف العطل وتحديد مكانه عن طريق تحليل ممنهج لبارامترات الشبكة (جهود/تيارات)، ومن ثم إرسال إشارة فصل إلى القواطع المعنية من أجل فصل العطل وعزل العنصر المصاب.

تناولت هذه المقالة دراسة السلوك الديناميكي للحماية من التيار الزائد في خطوط ربط المحطات الريحية مع الشبكة على سلوك أجهزة الحماية المستخدمة(تيار زائد) ومقارنة النتائج مع سلوك عمل هذه الحمايات عند الربط مع مولدات عادية .

من خلال نتائج النمذجة والمحاكاة تبين لنا أن وجود المحطة الريحية فرض تغيرات واضحة على بنية نظام القدرة من حيث مناطق الحماية واستجابة أجهزة الحماية لأنواع الأعطال الحاصلة وسبب تأخير في عمل هذه الحمايات.

الكلمات المفتاحية: حماية نظم القدرة الكهربائية، أنواع المولدات الريحية، المولد التحريضي ذو التغذية المضاعفة، حماية المحطات الريحية، نظام التحكم بـ DFIG، Crowbar.

[1]قائم بالأعمال – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (3) 2018

Dynamic behavior of over current protection in wind power system

Amwaj Makhlouf[2]

(Received 19 / 12 / 2017. Accepted 8 / 5 / 2018)

□ ABSTRACT □

Summary of subject lines like all components of the electrical power system, for unexpected breakdowns for multiple reasons. This reduces malfunctions of the reliability of the system, and is a source of threat to the continuity of power supply. In order to prevent these crashes completely is not feasible, you must design an integrated protection system is being coordinated action among all its organs to identify and separate the holidays quickly so the damage caused by this failure the system capacity as possible.

Network protection devices are installed to protect it from faults that may occur, and prevent their spread and protect the system from un normal operating situations resulting from such faults. protection systems to identify, classify and locate of faults through systematic analysis of network parameters) voltages/currents, (and then send a signal to circuit breakers on separation to separate and isolate the infected component.

This thesis took up the study of The effect of wind plants connection on protection system in distribution networks on behaviour of protection devices used should (over current) and compare the results with those protections work behavior when connection with regular generators. we found through modeling and simulation results that a wind station to impose changes on the structure of power system of protection zones and protection devices in response to the types of faults occurring and the reason for the delay in the work of these protections.

Keywords: Protection of Electrical Power Systems, kinds of wind generators ،DFIG, protection of wind plants, control system of DFIG,Crowbar.

مقدمة

[2] **Academic Assistant – Department of electrical power – Faculty of Mechanical & Electrical Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria-**

يتزايد الطلب على الطاقة الكهربائية بشكل متسارع مع تزايد عدد السكان وسرعة التطور سواء على المستوى المحلي أو الإقليمي أو الدولي. وتسعى الدول جاهدة لتلبية هذا الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية من خلال بناء محطات توليد جديدة سواء كانت محطات توليد تقليدية أو محطات توليد تعتمد على الطاقات المتجددة وهي في الغالب ما تكون موزعة في مناطق بعيدة عن بعضها البعض حيث يتم ربط هذه المحطات الجديدة مع شبكات نقل القدرة الكهربائية لنقل الطاقة إلى المستهلكين.

تحذر معظم مراكز البحوث العلمية من مخلفات استخدام الوقود الأحفوري المتمثل بالانبعاثات الغازية والمؤدية إلى زيادة حدة التغييرات المناخية والاحتباس الحراري، الذي أضحى هاجساً عالمياً يدفع لبذل جهود فعلية حثيثة وعلى نطاق واسع لإيجاد مصادر جديدة للطاقة أثمرت عن تفاهم عالمي لاستخدام الطاقة البديلة النظيفة والمتجددة كوسيلة لتخفيف تلوث البيئة وقد تم ذلك بمشاركة الدول الأوروبية كافة وعدد من الدول المتطورة والنامية.

أهمية البحث وأهدافه:

يعد ربط المحطات الريحية مع الشبكات الكهربائية من الموضوعات المعاصرة والتي ما تزال محط اهتمام الباحثين والمشغلين.

في هذا السياق يأتي هذا البحث ليضيء جانب من جوانب عملية الربط وتأثيرها على نظم الحماية في الشبكة، إذ من المعروف أن الأداء الخاطئ لنظم الحماية يمكن أن يؤدي إلى مشاكل كثيرة في الشبكة الكهربائية تصل حتى التعتيم الكامل بما لهذا من عواقب سلبية على المستهلكين واقتصاد البلد.

يهدف هذا البحث إلى دراسة السلوك الديناميكي لعمل الحماية من التيار الزائد لخطوط ربط المزارع الريحية مع الشبكة الكهربائية بشكل دقيق اعتماداً على نماذج للمحطات والشبكات جرى اختبارها باستخدام بيئة Matlab/Simulink.

طرائق البحث ومواده

سنقوم في هذا البحث بإنجاز نموذج مبسط لمزرعة ريحية وربطها مع شبكة توتر 110kV.

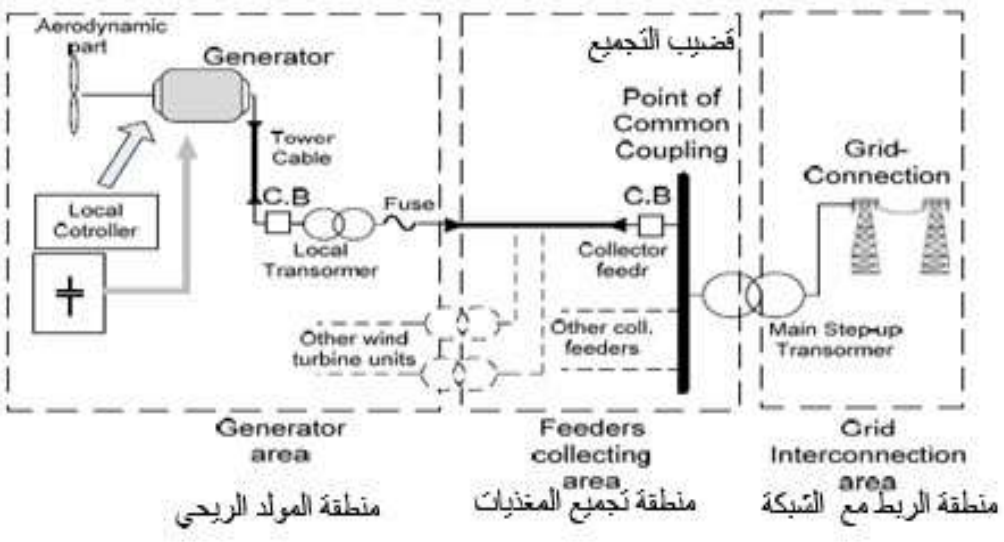
ودراسة تأثير سلوك الحماية التيارية عند ربط المحطة الريحية مع الشبكة من أجل عطل ثلاثي على خط النقل في حالة وجود حماية داخلية لدائر المولد الريحي crowbar وفي حالة عدم وجودها. هنا عملية النمذجة والمحاكاة تتم باستخدام بيئة الماتلاب MATLAB ومن ثم مقارنة النتائج بين حالة ربط مولدات متواقتة عادية ومولدات ريحية مع الشبكة من حيث التأثير على عمل أنظمة الحماية المستخدمة.

المزرعة الريحية وأقسامها:

يطلق مفهوم المزرعة الريحية على مجموعة من العنفات الريحية التي تتواجد في موقع واحد وترتبط مع بعضها البعض ومع الشبكة لإنتاج الطاقة الكهربائية، وهذا الإنتاج يتفاوت مع سرعة الرياح. تحتوي المزرعة الريحية على محتويات جديدة قد لا تحتويها محطات الطاقة الأخرى والضرورية لعمليات التشغيل.

يبين الشكل(1) المخطط العام لأقسام المزرعة الريحية والمؤلفة من المناطق التالية:

- منطقة المولّد الريحي.
- منطقة تجميع المغذيات
- قضيب التجميع.
- منطقة الربط مع الشبكة[1,2].



الشكل(1): المزرعة الريحية

الربط مع الشبكة:

- **الربط غير المباشر**: أي ان المولد مربوط مع الشبكة عن طريق العديد من العناصر الكهربائية التي تنظم التوتر ليطابق الشبكة [3].
- **الربط المباشر**: المولد سيكون مربوط بشكل مباشر مع شبكة التيار المتناوب ثلاثية الطور.
- المزارع الريحية ذات الاستطاعات الأكبر (و خصوصاً تلك المركبه في البحار) تربط الى شبكات التوتر العالي (230….kV).

عند ربط المحطات الريحية مع شبكات التوتر المنخفض والمتوسط يجري عموماً مناقشة الربط كعمل متواز لهذه المحطات مع الشبكة، هنا يجب مناقشة قضية التوافق بين هذه المحطات و الشبكة الكهربائية في ضوء تحمل الشبكة لعملية الربط، حيث تدرس بشكل أساسي قضايا جودة التغذية و جودة التوتر وضرورة المحافظة عليهما وفق ماتنص عليه المواصفات العالمية القياسية في هذا المجال، وصولا الى صياغة القواعد العامة الواجبة المراعاة في حالة العمل المتوازي هذه.

الحماية من التيار الزائد ثلاثية الطور:

Three Phase Overcurrent Protection (TOC)

تعد الحماية التيارية من الحمايات البسيطة في مبدأ عملها ولكنها واحدة من الحمايات الأساسية المستخدمة في حماية نظم القدرة الكهربائية، حيث تعتبر زيادة التيار المفاجئة أحد المؤشرات الأكثر أهمية في كشف حالات القصر أو الخلل في نظام الحمل الطبيعي للشبكات الكهربائية، حيث يصبح التيار أكبر بكثير من تيار الحمولة.

تعتمد الحماية التيارية على مبدأ بسيط حيث تقوم بمراقبة التيار المار في الخطوط والذي يصل إليها عن طريق محولات التيار وتقارنه مع قيمة محددة مسبقا تسمى بتيار التعيير(أو تيار تشغيل الحماية) للحماية التيارية، فعندما تزداد قيمة التيار وتصبح مساوية لتيار التعيير أو أكبر فإن الحماية تبدأ بالعمل وتعطي أمر الفصل للقاطع بتأخير زمني يتعلق بنوع وتعيير الحماية التيارية [4].

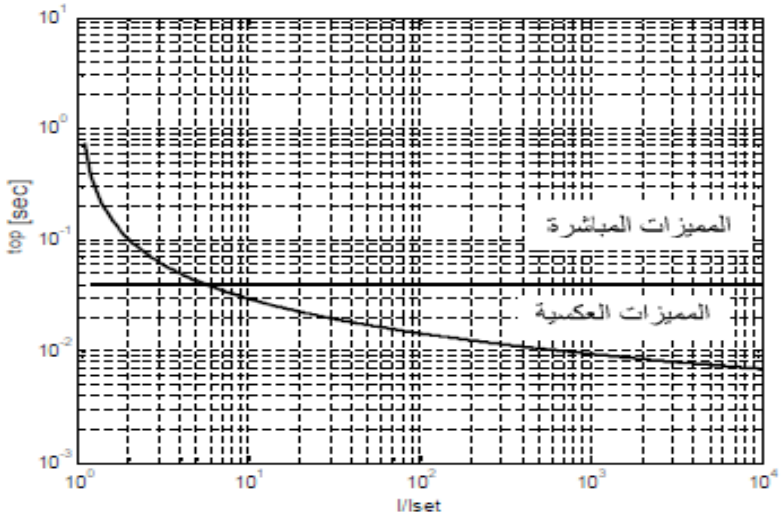
المميزات الزمنية للحماية من التيار الزائد (Time Characteristics):

تقسم مميزات التشغيل الزمنية للحماية بالتيار الزائد إلى:

1. مميزات التشغيل المباشرة.
2. مميزات التشغيل العكسية.

المميزات المباشرة تمتلك تأخير زمني ثابت لا يتعلق بمطال تيار العطل فعند وصول التيار المقاس إلى القيمة التي تم تعيير الزاجل عليها فإنه يعطي أمر الفصل خلال فاصل زمني ثابت، أما المميزات العكسية فإنها تعطي أمر الفصل خلال تأخير زمني يتعلق بقيمة تيار العطل حيث ينقص هذا الزمن كلما زاد التيار.

يبين الشكل (2) المميزات العكسية والمميزات المباشرة حيث يوضح العلاقة بين زمن عمل الحماية t_{op} و النسبة بين التيار المقاس I وتيار التعيير I_{set}



الشكل(2): المميزات المباشرة والعكسية للحماية التيارية

a. مميزات التشغيل المباشرة (Definite Time Characteristics):

يتم اختيار التأخير الزمني لهذه الحماية حسب المبدأ السلمي المتدرج الذي ينص على أن كل حماية اعتباراً من مستهلكي الطاقة الكهربائية باتجاه منبع التغذية لها تأخير زمني أكبر من الحماية السابقة لها. اختيار التأخيرات الزمنية يجب أن يبدأ اعتباراً من أكثر مستهلكي الطاقة بعداً عن منبع التغذية، فمثلاً بالنسبة للشكل (3) نبدأ بالتعيير الزمني من المحركات، من أجل حماية هذه المحركات فإن التأخير الزمني يؤخذ مساوياً للصفر: $t_1 = 0$.

عند حدوث عطل لأحد المحركات وحتى لا يتم فصل المحول t_2 فإن حمايته يجب أن يكون لها تأخير زمني $t_2 \geq t_1$ بقيمة تسمى درجة الانتقائية $t\Delta$ أي:

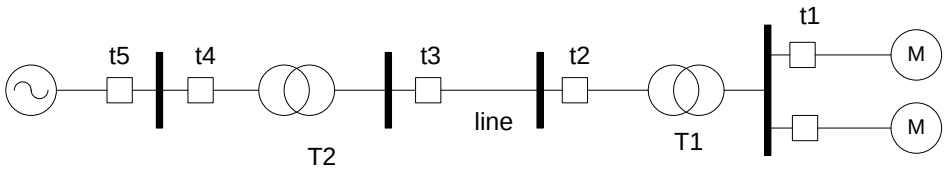
$$t_1 = t_2 + \Delta t \qquad (1)$$

التأخير الزمني t_3 لحماية الخط يجب أن يكون أكبر من التأخير الزمني لحماية المحول، أي:

$$t_3 = t_2 + \Delta t \qquad (2)$$

وبشكل مشابه:

$$t_4 = t_3 + \Delta t \qquad (3)$$



الشكل (3): اختيار التأخيرات الزمنية للحماية من التيار الزائد

درجة الانتقائية يجب أن تكون كافية لتشغيل الحماية وفصل قاطع الجزء المصاب بالعطل قبل انقضاء التأخير الزمني لحماية الجزء التالي غير المصاب بالعطل.

b. مميزات التشغيل العكسية (Inverse Time Characteristics):

كما لاحظنا فإن المميزات المستقلة سهلة التنفيذ ولكنها تمتلك سيئة عند حدوث عطل ذو درجة عالية عند المنبع فإن زمن الاستعادة يصبح كبيراً جدا، لذلك فإن المميزات العكسية أكثر انتشاراً.

في هذه المميزات زمن التشغيل يتناسب عكساً مع تيار العطل، ويكون شكل المميزات متعلقاً **بعيارات التيار والزمن المختارين كما هو موضح في الجدول(1,2).**

تصنف هذه المميزات ضمن مجموعتين أساسيتين تختلفان عن بعضهما باختلاف الثوابت هما:

- (IEC **Characteristics**) IEC
- (ANSI **Characteristics**) ANSI

أولاً. حسب IEC:

تعطى المميزات بعلاقة عامة تعطى بالعلاقة(4):

$$t_{op} = \frac{(k \times T_b)}{(\frac{I}{I_{set}})^P - 1} \qquad (4)$$

حيث: t_{op}: زمن العمل (الفصل).

I: القيمة الحقيقية لتيار العطل الأرضي المقاس.

I_{set}: تيار التعيير.

وتسمى المميزات الناتجة عن هذه العلاقة بالمميزات العكسية وتحوي على ثلاثة ثوابت تعطي باختلاف قيمها مميزات مختلفة بأزمنة الفصل الخاصة بها، وهذه الثوابت هي:

P: الأس، K: معامل مضاعفة للزمن، T_b: الزمن المرجعي.

حيث نحصل على أربع مميزات تشغيل مختلفة وهي:

- **المميزة العكسية العادية (normal inverse):** يكون لهذا النوع من الزواجل مميزة تشغيل(تيار- زمن) عند قيم منخفضة لتيار العطل ومميزة تشغيل ذات زمن محدد أصغري عند قيم أعلى لتيار العطل، بشكل عام يتم الحصول على مميزة التشغيل العكسية إذا كانت أمثال تعيير التيار أقل من 10، أما لأجل أمثال تعيير التيار المحصورة بين 10 و20 فتميل مميزة التشغيل لأن تصبح على شكل خط مستقيم، أي تتجه نحو مميزة التشغيل ذات الزمن المحدد تستخدم زواجل التيار من هذا النوع بشكل كبير في حماية خطوط التوزيع والنقل، وتكون هذه الزواجل قابلة لتعيير الزمن والتيار .

- **المميزة العكسية جداً (very inverse):** يكون لهذا النوع من الزواجل مميزة تشغيل (تيار– زمن) أكثر عكسية من تلك التي تملك مميزات عكسية منبسطة، تقع هذه المميزة في الوسط بين المميزة العكسية العادية ومميزة التشغيل فائقة العكسية وتؤمن زواجل التيار ذات الزمن العكسي جداً انتقائية أفضل من زواجل التيار الزائد ذات مميزة التشغيل العادية، يوصى باستخدام زواجل التيار الزائد ذات المميزة العكسية جداً في الحالات التي يحصل فيها انخفاض كبير في تيار العطل كلما زادت المسافة بعداً عن منبع التغذية، ويكون استخدامها فعالاً خاصة عند الحماية من الأعطال الأرضية وذلك بسبب مميزة تشغيلها شديدة الانحدار.
- **المميزة العكسية كثيراً (extremely inverse):** يكون لهذا النوع من الزواجل مميزة تشغيل (تيار– زمن) أكثر عكسية من مميزات تشغيل زواجل التيار الزائد العكسية جداً وزواجل التيار الزائد العكسية العادية، ويستخدم هذا النوع من الزواجل عندما تفشل زواجل التيار السابقة في تحقيق الانتقائية، وتعتبر هذه الزواجل مناسبة لحماية الآلات من التسخين الكهربائي الزائد وحماية المولدات ومحولات الاستطاعة ومولات التأريض والكابلات غالية الثمن من التحميل الزائد ومن الأعطال الداخلية.
- **المميزة العكسية ذات الزمن الطويل (long-time inverse)**

يبين الجدول (1) اختلاف الثوابت بين هذه المميزات:

الجدول (1) مميزات تشغيل الحماية التيارية حسب IEC

عكسية المنحني	Tb[sec]	P	K	$t_{op}\,[sec]$	زمن التشغيل عند $I = 10 \cdot I_{set}, K = 1$
عكسي عادي	0.14	0.02	0.05-1.1	$\frac{(k \times 0.14)}{(\frac{I}{I_{set}})^{0.02} - 1}$	3
عكسي جدا	13.5	1	0.05-1.1	$\frac{(k \times 13.5)}{(\frac{I}{I_{set}})^{1} - 1}$	1.5
عكسي كثيراً	80	2	0.05-1.1	$\frac{(k \times 80)}{(\frac{I}{I_{set}})^{2} - 1}$	0.8
ذو الزمن الطويل	120	1	0.05-1.1	$\frac{(k \times 120)}{(\frac{I}{I_{set}})^{1} - 1}$	13.3

ثانياً. حسب ANSI:

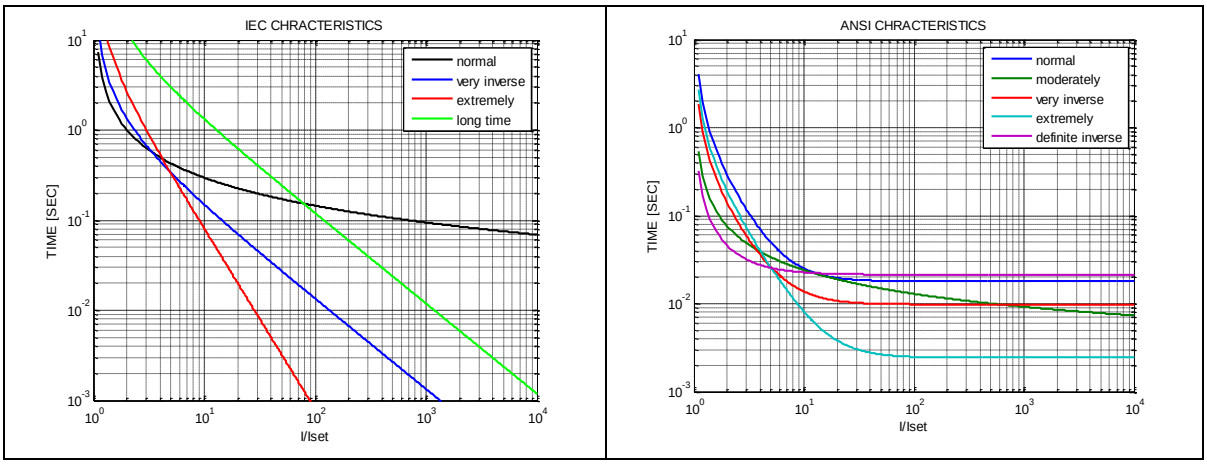
هنا يوجد لدينا خمس مميزات مبينة بالجدول (2):

الجدول (2) مميزات تشغيل الحماية التيارية حسب ANSI

عكسية المنحني	$t_{op}[sec]$
عادي Inverse	$\left(\frac{8.9341}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{2.0938} - 1} + 0.17966\right) \cdot D$
متوسط Moderately inverse	$\left(\frac{0.0103}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1} + 0.0228\right) \cdot D$

$\left(\frac{3.922}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2-1}+0.0982\right)\cdot D$	Very Inverse جداً
$\left(\frac{5.64}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2-1}+0.02434\right)\cdot D$	Extremely Inverse كثيراً
$\left(\frac{0.4797}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{1.5625}-1}+0.21359\right)\cdot D$	Definite Inverse حدي

يبين الشكلان (3) و (4) هذه المميزات:



الشكل (3) المميزات العكسية حسب IEC **الشكل (4) المميزات العكسية حسب ANSI**

الحمايات الداخلية للمحطة الريحية:

تتطلب قوانين الشبكة في الوقت الحالي أهمية إبقاء المزرعة الريحية متصلة مع الشبكة حتى عند حدوث أعطال في الشبكة خلال زمن محدد بحيث تبقى قادرة على التزويد بالاستطاعة الفعلية والردية للشبكة، ولكن هذا يسبب مشاكل ناتجة عن التيارات الكبيرة المنقولة إلى الدائر من جهة الثابت عند حدوث انخفاض في الجهد حيث عندها تتناقص الاستطاعة الفعلية المقدمة إلى الشبكة من المحطة بشكل ملحوظ وبالنتيجة تزداد الاستطاعة الميكانيكية لتصبح أكبر من الفعلية المقدمة مسببة زيادة في سرعة الدائر وبالتالي نحن بحاجة لحماية الدائر ومحول القدرة أثناء وبعد حدوث عطل في الشبكة[5] .

من الأنظمة المستخدمة لحماية الدائر من الأعطال في المولدات التحريضية ذات التغذية المضاعفة هو Crowbar protection system.**(وهي عبارة عن حماية مكونة من مقاومات تعمل على تخميد التيار الزائد).**

بشكل عام يوجد لدينا ثلاثة أنواع من crowbar والتي تتمثل بالتالي [6, 7]:

- Passive rotor crowbar (مخمد الدائر السلبي)
- Active rotor crowbar (مخمد الدائر الفعال)
- Stator crowbar (مخمد الثابت)

مبدأ عمل crowbar:

تستخدم هذه الحماية لحماية القالبة من جهة الدائر من التلف عند حدوث تيارات زائدة في دارة الدائر أو عند حدوث زيادة في جهد حلقة التيار المستمرVdc خلال فترة انخفاض الجهد التي تحصل عادة عند حدوث عطل بالقرب من المزرعة الريحية .

تركب هذه الحماية في المولدات ذات التغذية المضاعفة التقليدية، حيث توصل مع ملفات الدائر للمولد وتحد من قيمة الجهود وتؤمن طريقاً آمناً للتيارات عبر مقاومات هذه الحماية.

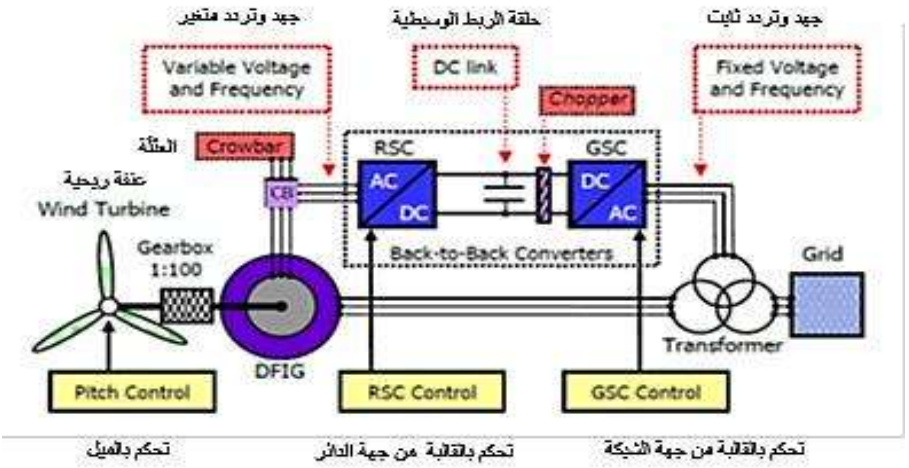
بشكل عام تتراوح مقاومة crowbar بين (1–10) مرات من مقاومة الدائر، ولكن قيمة هذه المقاومة تتحدد بشكل فعلي من خلال بارمترات الآلة ، حيث أن القيمة العالية لهذه المقاومة تكون مفضلة من أجل تحقيق تخميد سريع لتيار الدائر العابر، ولكن في الوقت نفسه قد تؤدي هذه القيمة العالية للمقاومة إلى زيادة خطرة للجهد على القالبة . من أجل ذلك تعطى القيمة العظمى المسموح فيها لهذه المقاومة بالعلاقة (5):

$$R_{cb,max} = \frac{v_{r,max} X'_s}{\sqrt{1.7|v_s|^2 - {v_{r,max}}^2}} \qquad (5)$$

حيث: vr,max القيمة الأعظمية المسموح فيها لجهد الدائر.

Xs' المقاومة العابرة لملفات الثابت.

v_s جهد الثابت.



الشكل (5) آلية عمل crowbar

ويمكن تلخيص الخطوات المطلوبة خلال تفعيل وإلغاء تفعيل الcrowbar المبينة بالشكل(5) بواسطة قاطع الدارة CB كما يلي:

- فصل ملفات الدائر عن القالبة من جهة الدائر.
- ادخال مقاومات ثلاثية الطور على التسلسل مع ملفات الدائر (نظام crowbar).
- فصل نظام crowbar عن ملفات الدائر.

- إعادة وصل القالبة من جهة الدائر مع ملفات الدائر.

النتائج والمناقشة:

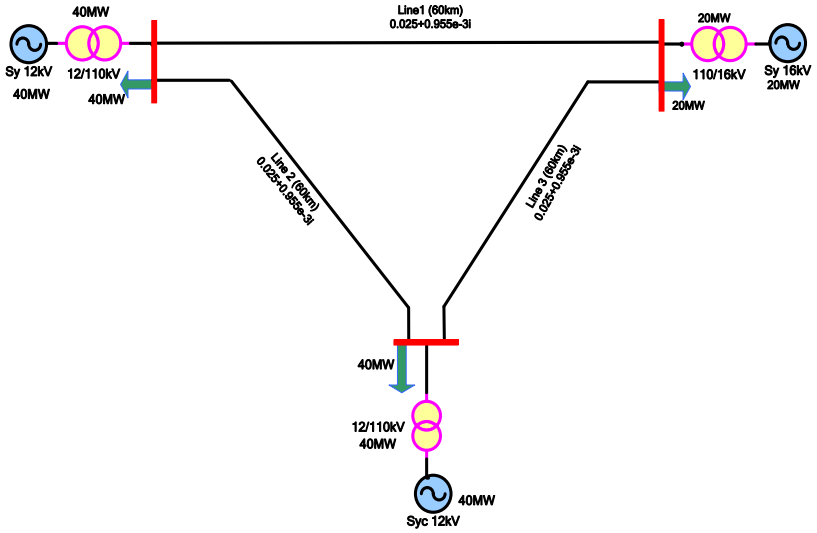
يتم دراسة نظام القدرة المبين في الشكل(6) والذي يتكون من ثلاث قضبان تجميع ، ثلاثة مولدات تزامنية، ثلاث خطوط نقل وثلاث أحمال استخدمت هنا الاستطاعات الفعلية نظراً للقيمة الصغيرة للاستطاعات الردية.

كافة المحددات المتعلقة بهذا النظام مبينة في الشكل(6).

سندرس التأثير على عمل الحماية التيارية وهنا سنناقش الحالات التالية:

الحالة الأولى: دراسة سلوك الحماية التيارية عند ربط المولدات العادية(التزامنية) مع الشبكة.

الحالة الثانية: دراسة سلوك الحماية التيارية عند ربط المولدات الريحية DFIG مع الشبكة بحالة وجود حماية داخلية للدائر crowbar وفي حالة عدم وجودها.



الشكل(6): شبكة نظام القدرة المدروس

ومن ثم سيتم اجراء مقارنة بين النتائج .

يمتلك البرنامج الممثل لهذه الحماية إمكانية الاختيار بين العديد من المميزات الزمنية العكسية حسب **IEC** و **ANSI**، وكل مجموعة من هاتين المجموعتين تحتوي مجموعة من المميزات .

ستبين الفقرات التالية نتائج اختبار هذه الحماية على عطل ثلاثي الطور في نظام القدرة المبين بالشكل (6) .

ونورد في الجدول (3)، (4)، (5) نتائج اختبار الحماية من التيار الزائد عند حدوث عطل ثلاثي الطور على بعد 18Km على الخط الأول والثاني والثالث بحالة المولدات العادية التزامنية والمولدات الريحية مع وبدون استخدام crowbar.

الجدول (3) نتائج اختبار الحماية التيارية مع مولدات عادية (تزامنية)

مولدات عادية (تزامنية)			
نظام IEC	زمن تشغيل الحماية من التيار الزائد sec		
المميزة	الخط الأول	الخط الثاني	الخط الثالث
عكسي عادي	1.0373	1.9468	1.4368
عكسي جداً	1.6881	3.4339	2.3530
عكسي كثيراً	4.17	9.2641	6.3914
عكسي ذو الزمن الطويل	15.0103	30.5238	21.8115
نظام ANSI	زمن تشغيل الحماية من التيار الزائد sec		
عكسي عادي	0.44606	0.98843	0.68241
عكسي متوسط	0.077457	0.14437	0.10684
عكسي جداً	0.20934	0.45908	0.31825
عكسي كثيراً	0.29572	0.65549	0.45261
عكسي بشكل حدي	0.045378	0.084779	0.062607

الجدول (4) نتائج اختبار الحماية التيارية مع مولدات ريحية بدونcrowbar

مولدات ريحية بدون crowbar			
نظام IEC	زمن تشغيل الحماية من التيار الزائد sec		
المميزة	الخط الأول	الخط الثاني	الخط الثالث
عكسي عادي	1.4394	3.2024	3.1725
عكسي جداً	2.4589	5.8514	5.7939

عكسي كثيراً	6.4063	16.3919	16.2221
عكسي ذو الزمن الطويل	21.8569	52.012	51.5011
نظام ANSI	زمن تشغيل الحماية من التيار الزائد sec		
عكسي عادي	0.684	1.7483	1.7302
عكسي متوسط	0.1074	0.23674	0.23455
عكسي جداً	0.31898	0.80852	0.8002
عكسي كثيراً	0.45366	1.1589	1.1469
عكسي بشكل حدي	0.062723	0.13962	0.13832

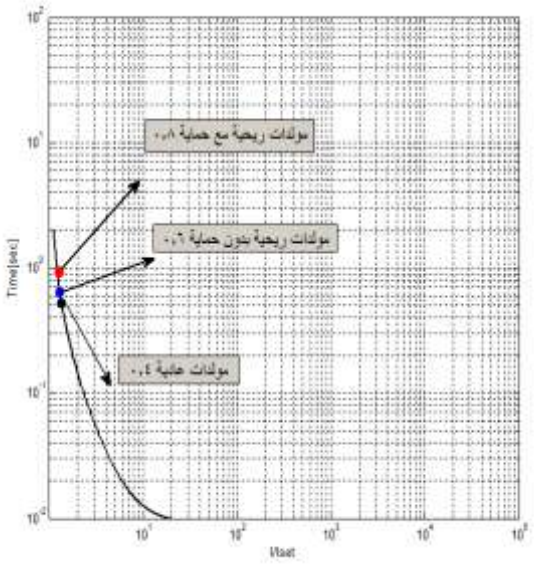
الجدول (5) نتائج اختبار الحماية التيارية مع مولدات ريحية مع crowbar

مولدات ريحية مع crowbar			
نظام IEC	زمن تشغيل الحماية من التيار الزائد sec		
المميزة	الخط الأول	الخط الثاني	الخط الثالث
عكسي عادي	1.6741	3.9558	3.6505
عكسي جداً	2.9096	7.3033	6.7148
عكسي كثيراً	7.725	20.6835	18.9436
عكسي ذو الزمن الطويل	25.863	64.918	59.6871
نظام ANSI	زمن تشغيل الحماية من التيار الزائد sec		
عكسي عادي	0.82445	2.206	2.0204
عكسي متوسط	0.12431	0.29217	0.26971
عكسي جداً	0.3836	1.0189	0.93362
عكسي كثيراً	0.5468	1.462	1.3391
عكسي بشكل حدي	0.0729	0.1726	0.15923

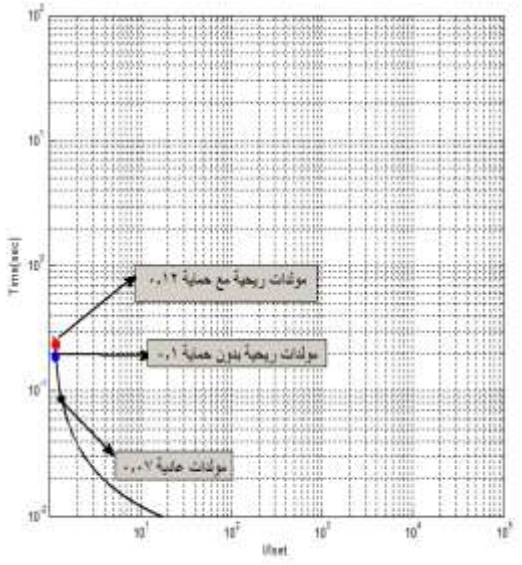
وسنبين تأثير ربط المولد الريحي في النظامين IEC و ANSI، عند حدوث عطل على بعد 18km.

- **عطل ثلاثي الطور على الخط الأول على بعد 18Km:**

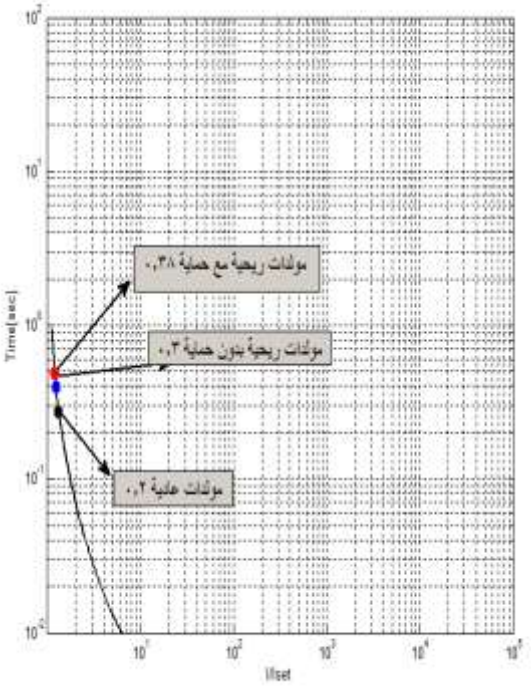
يوجد حسب ANSI خمس منحنيات وستبين الأشكال (7)، (8)، (9)، (10)، (11)، المميزات الزمنية بدلالة التيار عند العطل السابق (ثلاثي طور) في حالات التشغيل الثلاثة عند مولدات عادية (تزامنية) ومولدات ريحية بدون CB ومولدات ريحية مع CB وسنلاحظ الاختلاف في زمن تشغيل الحماية من التيار الزائد في كل حالة عن الأخرى بحيث يكون عند قيمته العليا في حالة المولدات الريحية المزودة بحماية داخلية crowbar أي هنا زمن عمل الحماية التيارية عند ربط مولدات ريحية أكبر منه في حالة ربط مولدات متواقتة عادية ، أما الشكل (12) يبين تيارات الأطوار الثلاثة مع إشارات الفصل (TRIP SIGNALS) وهي واحدة من أجل جميع المميزات وكذلك تبين الأشكال(13)، (14)، (15)، (16) المميزات الزمنية في نظام IEC:



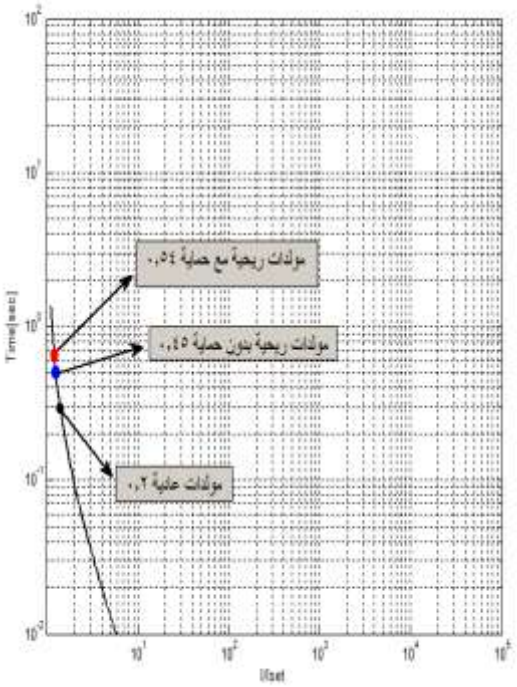
الشكل (7) المنحني عكسي عادي



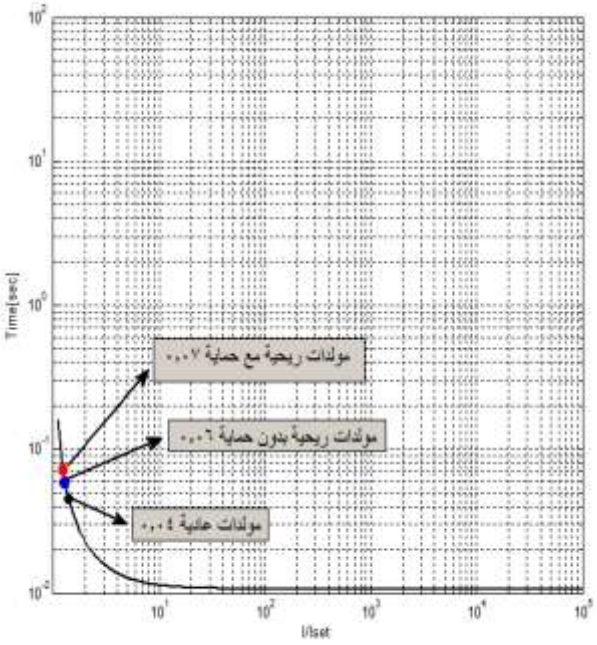
الشكل (8) المنحني عكسي متوسط



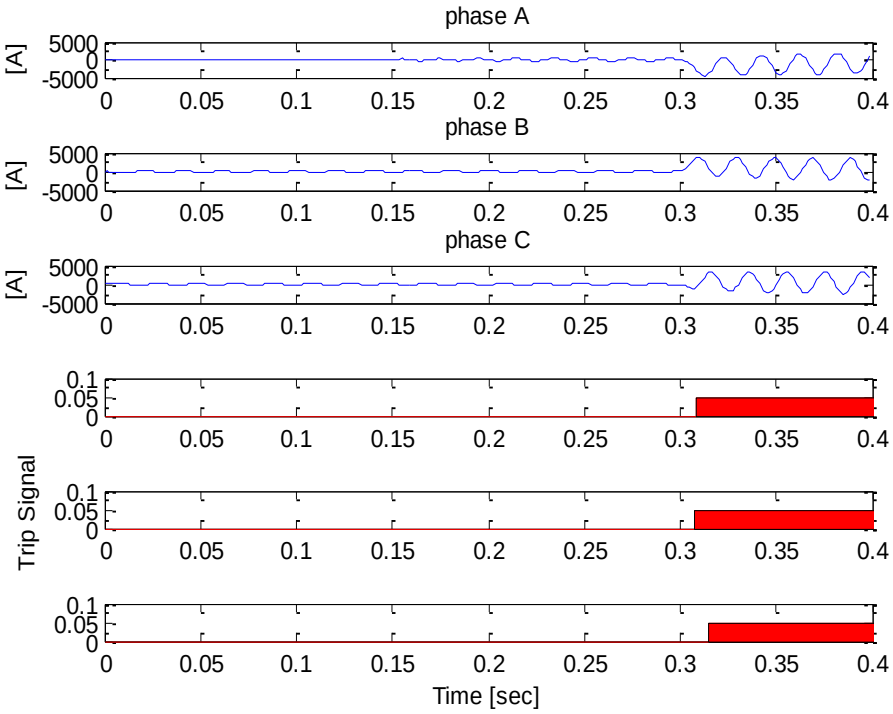
الشكل (9) المنحني عكسي جداً



الشكل (10) المنحني عكسي كثيراً

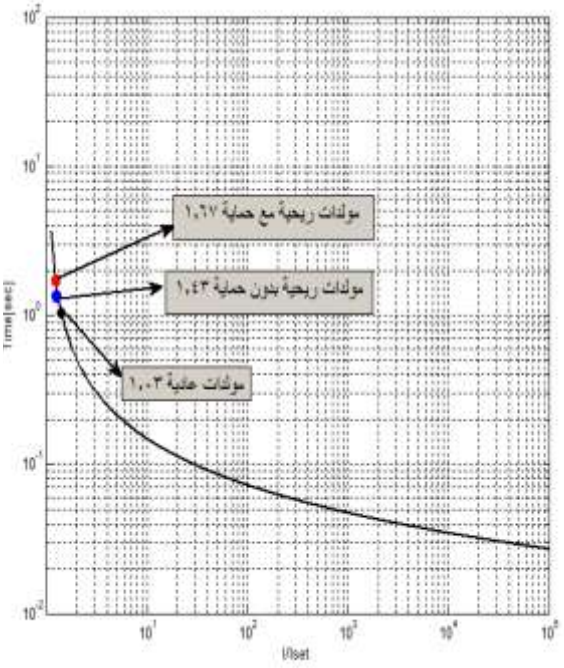


الشكل (11) المنحني عكسي بشكل حدي

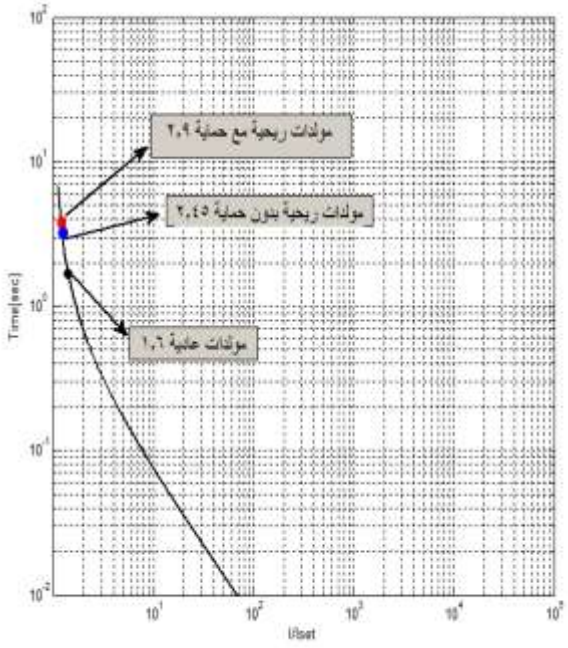


الشكل (12)تيارات الأطوار الثلاثة مع إشارات الفصل

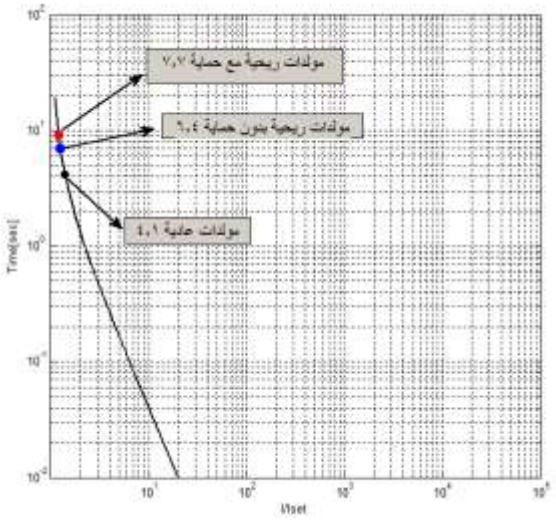
وكانت النتيجة مماثلة على الخطين الثاني والثالث.



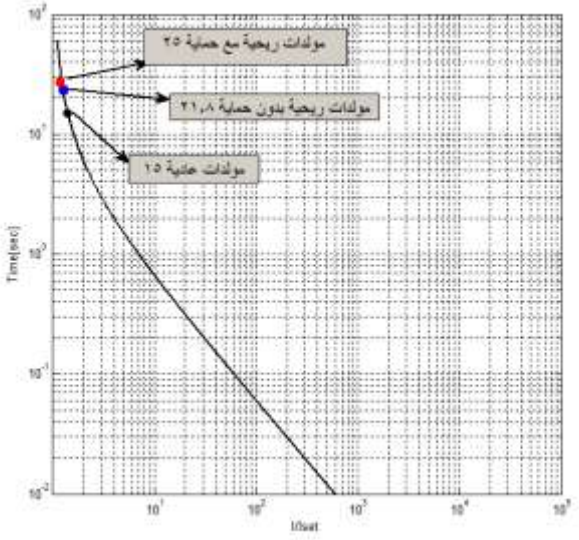
الشكل (13) المنحني عكسي عادي في نظام IEC



الشكل (14) المنحني عكسي جداً في نظام IEC



الشكل (15) المنحني عكسي كثيراً في نظام IEC



الشكل (16) المنحني عكسي ذو الزمن الطويل

إذاً بالنتيجة لاحظنا أنه عند ربط المولدات الريحية مع الشبكة تتغير استجابة الحماية من التيار الزائد بحيث تستغرق زمن أطول من الزمن الذي تستغرقه في حالة ربط مولدات متواقتة لتفصل العطل وبالتالي خلل في أحد شروط نظام الحماية وهو سرعة الاستجابة مما له تأثير سلبي على الشبكة عند ربط هذه المولدات يستوجب أخذه بعين الاعتبار عند عملية الربط.

الاستنتاجات والتوصيات:

- يؤدي ربط المولد الريحي مع شبكات التوتر المتوسط إلى تأخير في عمل الحماية من التيار الزائد.
- أمنت الحماية الداخلية crowbar حماية فعالة لملفات دائر المولد الريحي لكنها في نفس الوقت أثرت بشكل سلبي على عمل الحماية من التيار الزائد حيث أخرت عملها.
- تحتاج أساليب الحماية التقليدية المستخدمة حالياً إلى إعادة نظر لاستيعاب موضوع ربط المحطات الريحية مع الشبكات وهنا في هذا السياق يمكن التفكير في نظم الحماية ذات الملاءمة الذاتية adaptive protection system أو نظم الحماية المركزية wide area protection.

المراجع:

[1] Mohit SINGH, M; Surya SANTOSO, S. *Dynamic Models of Wind Turbine* , The University of Texas at Austin Austin, Texas January 11, 2008 , 115.

[2] RAVIKUMAR, B;THUKARAM, D.H.P.KHINCHA. *Knowledge Based Approach for Transmission line Distance Relay Coordination*, Fifteenth National Power Systems Conference (NPSC), IIT Bombay, December, 2008.

[3] ANDREW KUSIAK, A. *Turbine Generators,* Intelligent Systems Laboratory, 2139 Seamans Center,The University of Iowa City, Iowa 52242 – 1527 andrew-kusiak@uiowa.edu, 2010.

[4] FARHAT, IBRAHIM. *Fault Classfication and location in Transmission line system using neural networks*. Canada: Concordia University, 2003.

[5] TAMER, KAWADY, CHRISTAIN FELTES, ISTEVAN ERLICH. (2010). *Protection System Behavior of DFIG Based Wind Farms for Grid-Faults with Practical Considerations*, IEEE, 2010.

[6] OMAR, NOURELDEEN .*Behavior of DFIG Wind Turbines with Crowbar protection under Short Circuit*, Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, Islamic University, International Journal of Electrical & Computer Sciences IJECS-IJENS Vol: 12 No: 03**,** 2012.

[7] RAVIKUMARB.;THUKARAM D.; H.P.Khincha. *Knowledge Based Approach for Transmission line Distance Relay Coordination***,** Fifteenth National Power Systems Conference (NPSC). IIT Bomba, December 2008.