

## طريقة جديدة للتحكم عن بعد بمزارع الرياح

### باستخدام SCADA-OPC وشبكات بترى

#### الضبابية

الدكتور المهندس: مسعود الأتاسي

استاذ مساعد في قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة - جامعة البعث.

#### الملخص

يعدُّ التحكم بالنظم الموزعة لتوليد الطاقة تحدي كبير نظراً لطبيعتها المعقدة، وقد استخدمت شبكات بترى Petri Net كأداة رسومية لنمذجة وتحليل الأنظمة المعقدة. وتعد شبكات بترى فعالة في النظم التتابعية Sequential ذات الأحداث المتقطعة نظراً لأن شروط الانتقال بين الحالات المختلفة تكون حدية. هناك بعض النظم الصناعية المعقدة ذات طبيعة مستمرة وشروط الانتقال بين الحالات المختلفة للنظام يجب أن تكون عائمة Fuzzy. يمكن اعتبار نظم التوليد مثلاً للنظم المعقدة ذات الطبيعة المستمرة والتي تكون بعض مكوناتها عبارة عن نظم لا خطية، ومثالها العنفات الريحية التي يتأثر عملها بشكل كبير بالظروف المناخية المحيطة وخصوصاً سرعة الرياح، وعندما يكون لدينا عدة عنفات ريحية فإننا نحتاج إلى متحكم إشرافي ينظم أداء وحدات القياس البعيدة الفرعية (RTU - Remote Telemetry Unit) للوصول إلى الأداء الكلي الأمثل للنظام. ويشكل بحثنا مساهمة في تصميم نظام تحكم إشرافي يعتمد تقنيات التحكم العائم لإدارة نظام مزرعة ريحية موزعة. وقمنا بدمج متحكم إشرافي SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) مع البروتوكول OPC (Open Platform Communication) ليؤمن الإدارة المثلى لنظام توليد الطاقة من خلال استخدام متحكمات صغيرة (Microcontrollers) ومنطقية (Programmable Logic Controllers).

ويقوم النظام المصمم بإدارة هذه المتحكمات من خلال مراقبة كل عنفة ريحية، والوسط المحيط بها والحمل الكهربائي، وذلك بأخذ عينات من بيانات التشغيل الرئيسية التي

توفرها المولدات للمحطات المختلفة. وترتبط هذه المتحكمات الفرعية عبر روابط الاتصالات الموزعة بعيدة المدى (Distributed Network Protocol) DNP وتستخدم بيانات لتحديد وتشخيص المشاكل المحتملة وتقديم حل لها عن طريق التحكم باستطاعة مولدة العنفة الريحية للحفاظ على نقطة التشغيل العظمى للعنفة ذات الريش الثابتة من خلال التحكم بسرعة التوربين أو العنفة ذات الريش المتحركة من خلال التحكم بزواوية ميل الريش. وقد منح بروتوكول الـ OPC برمجيات سكاذا القدرة على القيام بدور مدير للشبكة الصناعية، حيث سمح لهم بإدارة جميع التجهيزات الموصولة على الشبكة على اختلاف أنواعها واختلاف الشركات الصانعة لها.

**الكلمات المفتاحية:** المنطق العائم، شبكات بتري العائمة الملونة ، مزرعة ريفية، التحكم الإشرافي الموزع، منصة الاتصالات مفتوحة المصدر. بروتوكول شبكة الاتصالات الموزعة.

## A new method for remote control of wind farms using the SCADA-OPC and fuzzy Petri networks

Dr. Massoud ATASSI. Associate Professor at Mecatronics Engineering Department – Al-Baath University

### Abstract

Controlling distributed power generation systems constitutes a major challenge due to its complex nature. Petri Nets are used as a graphical tool for modeling and analyzing complex systems. Petri Nets are effective in sequential systems with discontinuous events since the transmission conditions between different states are limited. There are number of complex industrial systems of a continuous nature as well as conditions of transition between the different states of the system that must be fuzzy. Generating systems can be considered as an example of complex systems of a continuous nature, some components of which are non-linear systems, for example wind turbines whose work is strongly affected by the surrounding climatic conditions, in particular, when we have multiple wind turbines, we

need a supervisory controller that regulates the performance of the Sub-RTUs (Remote Telemetry Units) to achieve optimal overall system performance. Our research constitutes a contribution to the design of a surveillance control system using fuzzy control techniques to manage a distributed wind farm system. We have successfully integrated the SCADA (supervisory control and data acquisition system) with the OPC (Open Platform Communication) protocol to ensure optimal management of the energy production system through the use of microcontrollers and programmable logic controllers (PLC).

The designed system operates these controllers through monitoring every wind turbine, the surrounding environment and the electrical load, by taking samples of the main operating data provided by the generators to the different stations. These sub-controllers which are connected via Distributed Network Protocol (DNP) employ data to identify and diagnose potential problems and provide a solution through monitoring the ability of a wind turbine to maintain the maximum operating point of the turbine at fixed blades by controlling the speed of the turbine or the moving blades by means of controlling the angle of inclination of the feathers. The OPC protocol has given the SCADA software the ability to act as an industrial network manager, allowing them to manage all the equipments connected to the network of different types and manufacturers.

**Keywords:** Fuzzy Logic (FL), (CFPN) Colored Fuzzy Petri Net, Aeolian,

Wind Farm, SCADA, OPC, DNP.

تُعرّف مصادر الطاقات المتجددة بأنها المصادر التي تتولد بصورة طبيعية ومستدامة بحيث يمكن للإنسان الاستفادة منها دون إحداث ضرراً ملموساً على البيئة. تُعدّ العنفات الريحية Wind Turbine ونظم الطاقة الكهرومائية، ونظم الطاقة الشمسية، أكثر النظم انتشاراً في مجال توليد الطاقة الكهربائية من المصادر المتجددة. وسوف نهتم بهذا المقال بمزرعة الرياح وهي مجموعة من عنفات الرياح موجودة في نفس الموقع تستخدم لإنتاج الطاقة الكهربائية. وتتكون مزرعة الرياح الكبيرة من عدة مئات من عنفات الرياح وتغطي مساحات واسعة. ويمكن بنائها سواء في البحر Offshore أو على اليابسة Onshore. [1]

الوظيفة الرئيسية من السكادا SCADA، هي الرقابة الإشرافية والحصول على البيانات من الأجهزة وتوفير التحكم الشامل عن بعد من منصة برمجيات المضيف سكادا SCADA Host software، التي توفر ميزات لعرض البيانات الرسومية والمنحنيات Trending والتنبيه Alarm & Event والتخزين التاريخي للبيانات History data base. تكون أفضل تطبيقات أنظمة السكادا في العمليات الموزعة على مساحات ومناطق جغرافية كبيرة ، وتكون سهلة المراقبة والتحكم وتتطلب تدخل متكرر أو منتظم أو عادي، والأمثلة كثيرة لتطبيقات أنظمة السكادا، مثل محطات إنتاج الغاز أو النفط وأنظمة الري التي تغطي مئات الأميال المربعة ويكون التحكم به عن طريق فتح وإغلاق صمامات بسيطة، وتتطلب جمع معلومات قياس لمستويات المياه. وكذلك محطات التوليد وأنظمة نقل القدرة الكهربائية، وتتمثل مهمة التحكم الإشرافي هنا بتأمين التغذية المستمرة للحمل الكهربائي عن طريق الإدارة المثلّي لموارد النظام الكهربائي. [2]

## 2. هدف البحث

تصميم نظام تحكم إشرافي يعتمد تقنيات التحكم العائم لإدارة نظام مزرعة ريحية موزعة عن طريق دمج SCADA مع بروتوكول OPC للإدارة المثلّي لنظام توليد الطاقة.

تم استخدام متحكمات فرعية مختلفة (PLCs /Microcontrollers) للسيطرة على العنفات الريحية من خلال مراقبة الطقس وأخذ عينات من بيانات التشغيل الرئيسية التي توفرها المولدات والمحطات المختلفة. ترتبط هذه الأنظمة عبر روابط الاتصالات الموزعة بعيدة المدى DNP. تستخدم هذه البيانات من قبل النظام SCADA-OPC لتحديد وتشخيص المشاكل المحتملة وتقديم حل لها وتخزين بياناتها التاريخية. استخدم أسلوب التحكم باستطاعة المولدة للعنفة الريحية وذلك عن طريق ملاحقة نقطة التشغيل العظمى للعنفة الريحية ذات الريش الثابتة أو ذات الريش المتحركة. ويمنح بروتوكول ال OPC برمجيات سكاذا إدارة جميع التجهيزات الموصولة على الشبكة، على اختلاف أنواعها واختلاف الشركات الصانعة لها.

### 3. مواد وطرق البحث

#### 1.3 أدوات البحث

##### ▪ الحزمة البرمجية Lab VIEW:

تعد لافيفو Lab VIEW لغة برمجة رسومية Graphical تستخدم الأيقونات عوضاً عن التعابير النصية لإنشاء التطبيقات البرمجية، وعلى نقيض لغات البرمجة التقليدية التي تستخدم التعابير النصية و تحدد التعليمات Instruction مراحل تنفيذ البرنامج. تستخدم لغة البرمجة لافيفو مفهوم تدفق البيانات Dataflow الذي يحدد تنفيذ البرنامج، حيث تستطيع لافيفو التعامل مع عدد هائل من بطاقات التحصيل وأجهزة القياس. يحتوي لافيفو على عدد كبير من المكتبات التي تضم توابع Functions لتطبيقات تحصيل البيانات، وتوليد الإشارة وقياسها، وتكييف الإشارة وتحليلها. يمتاز لافيفو بأنه أداة نمذجة وتطبيق في آن معاً، حيث يمكن من خلال الحزمة البرمجية إجراء نمذجة للتطبيق المراد اختباره، ويمكن بناء نماذج تجريبية فيها اعتماداً على مفهوم Hardware-in-the-loop ، وبعد ذلك القيام بتنفيذ التطبيق بشكل عملي.[4][3]

### ▪ الأداة CPN TOOLS:

الأداة البرمجية CPN TOOLS هي أداة رسومية مرتبطة بلغة برمجية عالية المستوى CPN ML (Markup Language)، وتستخدم لإنشاء شبكة بتري وتحريرها ومحاكاتها وتحليلها. و يتم من خلالها إجراء محاكاة لكل جزء من أجزاء النموذج المدروس بهدف اختبار صحة كل جزء من أجزائه، والتوصل إلى التصميم الكامل للنموذج و مراقبته [5]. Monitoring

### 2.3 دراسة مرجعية

- في عام 2004 عمل كل من Seung Jun Lee و Poong Hyun Seong على إجراء نمذجة وتحليل لسلوك نظام التحكم والمراقبة وتشخيص الأعطال باستخدام شبكات بتري العائمة الملونة Fuzzy Colored Petri Nets وكان الهدف من ذلك إدارة مثلى لمحطة طاقة نووية Nuclear Power [6].
- في عام 2006 عمل الباحثين Xu Luo, Mladen Kezunovic على إجراء نمذجة لنظام التحكم بالقدرة الكهربائية والمراقبة وتشخيص الأعطال باستخدام (Continuous Fuzzy Petri Net) وكان الهدف من ذلك إدارة محطة طاقة كهربائية [7].
- طور أمين حاج زاده [8] استراتيجية تحكم لتدفق الطاقة الفعلية في نظام تخزين هجين مؤلف من بطاريات وخلايا وقود. تضمن المنهج المقترح متحكم إشرافي متقدم في الطبقة الأولى مهمته التقاط كافة أنماط التشغيل الممكنة وفي الطبقة الثانية تم تطوير متحكم عائم لفصل الطاقة Power Spilting بين البطارية وخلية الوقود. وفي الطبقة الثالثة يوجد متحكمات محلية لتنظيم النقاط المرجعية Set Points لكل نظام فرعي للوصول إلى الأداء الأفضل ومؤشرات تشغيل مقبولة. ولقد أظهرت نمذجة النتائج تحسينات في كفاءة تشغيل النظام الهجين.
- بحثت ماريا هرناديز [9] في تصميم متحكم هرمي، للتحكم بنظام هجين مؤلف من عنفة ريحية ولاقط كهروضوئي ومصفوفة بطاريات وحمل كهربائي، مع إمكانية وصل النظام إلى

الشبكة الكهربائية. يتكون نظام التحكم الهرمي المقترح من متحكمات محلية في المستوى الأدنى لكل وحدة توليد ووحدة تخزين.

• وصمم سيبروس وآخرون [10] متحكم إشرافي لنظام هجين مكون من لاقط كهروضوئي ومولد ريحي وبطاريات ومولد ديزل ومدخرات بالإضافة إلى مولد خلايا وقود. تم تصميم متحكم هرمي مكون من ثلاث طبقات : طبقة الحقل I/O Fields تضم الحساسات والمفعلات، والمستوى الثاني هو مستوى التشغيل Operation Level، والمستوى الثالث هو المستوى الإشرافي. نفذ النظام باستخدام الحزمة البرمجية SCADA. كانت مهمة المتحكم الإشرافي هي فصل/وصل الأنظمة الفرعية، في حين أن مهمة المستوى التشغيلي تنفيذ الإجراءات والأفعال التحكمية بناءً على القرارات المتخذة في المستوى الإشرافي.

• أما الشاطر [11] فقد ركزت على دراسة تدفق الطاقة بين مكونات نظام توليد طاقة هجين مؤلف من مولد كهروضوئي وعنفة ريحية وخلايا وقود، وناقشت تنظيم جهد الخرج المستمر باستخدام متحكم عائم. تم اختبار المتحكم من خلال النمذجة باستخدام بيانات أحد مواقع الرصد المناخية. وخلصت الدراسة إلى جدوى استخدام التحكم العائم لتعقب نقطة التشغيل العظمى للاستطاعة لكل من اللاقط الكهروضوئي وال عنفة الريحية. بالإضافة إلى دقة تنظيم جهد الخرج DC

• حالياً نظام SCADA PcVue الذي يعمل كمركز عصبي لمزارع الرياح، يربط مختلف التوربينات والمحطات الفرعية ومحطات الطقس إلى غرفة التحكم المركزية لمراقبة سلوك جميع مزارع الرياح وتسجيل النشاطات على فترات زمنية منتظمة وتحديد التعديلات المطلوبة أو الإجراءات التصحيحية التي يجب اتخاذها. هذا النظام مستخدم ومحتكر من شركات ضخمة مثل Iberdrola Renewables [12].

• يحتوي كل توربين رياح على صندوق تحكم يحتوي على PLC ومحول طاقة ولوحات تحكم ووحدة إدخال / إخراج. تقوم مستشعرات سرعة الرياح واتجاهها، وسرعة دوران

المحور، والعديد من الحساسات الأخرى بجمع البيانات وإرسالها إلى PLC بحيث نظام التحكم يصبح قادراً على توجيه التوربين بالكامل في الاتجاه المطلوب لتوليد الطاقة الأمثل. جميع التوربينات متصلة بشبكة محلية ، وصندوق التحكم لكل توربين متصل بواسطة ناقل إيثرنت بقاعدة البرج، وهو نفسه متصل بالشبكة المحلية عن طريق وصلة ألياف ضوئية. ترتبط الشبكة المحلية بمحطة تحكم عن بعد، تدير وتجمع البيانات، وتعديل بارامترات التوربين، وتولد إنذارات ذكية مع توفير وظائف استكشاف الأخطاء وإصلاحها وإعداد التقارير من خلال مركز التحكم ومعالجة. [13]

بهذا البحث تم تصميم نظام تحكم إشرافي بالاستفادة من الدراسات المرجعية السابقة وبطريقة جديدة وذلك بالاعتماد على تقنيات التحكم العائم السابقة لإدارة نظام مزرعة ريحية موزعة عن طريق دمج SCADA مع بروتوكول OPC للإدارة المثلى لنظام توليد الطاقة على الشبكة على اختلاف أنواعها واختلاف الشركات الصانعة لها واستخدام بروتوكول الاتصال الموزع DNP للتحكم بمزارع الرياح عن بعد.

### 3.3 دراسة مزرعة الرياح Wind farm

يتكون النظام الريحي WECS (Wind Energy Conversion Systems) من البرج Tower والعنفة الريحية المزودة بثلاث شفرات Blades على الأغلب، وألية ملاحقة الهواء Yaw، ونظام نقل الحركة Mechanical Gear ومن الصرة Hub إلى المولد الكهربائي Generator. كل عنفة مزودة بنظام تحكم يقوم بوظائف المراقبة والتشغيل والحماية. ونظام كبح يتدخل ليووقف العنفات عند سرعات عالية للرياح، وظيفة علبة السرعة هي زيادة السرعة على مدخل المولد الكهربائي (Multipliator)، وتتكون من عدد من المسننات التي تعشق بشكل ألي حسب سرعة الرياح لتحافظ على سرعة دوران معينة على دخل المولد الكهربائي. [14]

يتم اختيار التصميم الأنسب للمزرعة الريحية باتباع الخطوات التالية:



**1.3.3 دراسة الأحمال والاحتياجات:** تُجرى دراسة تفصيلية للحمل الكهربائي من حيث طبيعته وقيمه ونمطه: مستمر أو متناوب، وتغيراته مع الزمن. ويُحدّد مقدار فقد الحمل المسموح به باعتباره أحد البارامترات المهمة لتصميم النظام.

**2.3.3 تحديد مكونات النظام :** يتلخص منشأ حركة الرياح في الطبيعة نتيجة انتقال الهواء من منطقة الضغط المرتفع (إشعاع شمسي قليل) إلى منطقة الضغط المنخفض (إشعاع شمسي عالي) ، وذلك لمعادلة الضغط بين المنطقتين. تمتص عناصر الجو وسطح الأرض أشعة الشمس، فعند سقوط الإشعاع الشمسي على منطقة ما، يتأثر الغلاف الجوي ويسخن الهواء مما يؤدي إلى ازدياد كبير في حجمه وانخفاض في كثافته، وعندها يقل الوزن الحجمي للهواء في تلك المنطقة، مما يؤدي إلى انخفاض الضغط الجوي، أما المناطق التي ينخفض فيها مقدار الإشعاع الشمسي، فإن الوزن الحجمي للهواء يزداد، ويزداد تبعاً لذلك الضغط الجوي على تلك المناطق، وهكذا ينتقل الهواء من منطقة الضغط المرتفع إلى منطقة الضغط المنخفض.

تعد تقانات العنفات الريحية أو ما يعرف بنظم تحويل طاقة الرياح Wind Energy Conversion System أكثر التقانات التي تسارع العمل فيها خلال العقد الأخير، وحققت قفزات نوعية من حيث الاستطاعات التي تم الوصول إليها، وكذلك من خلال منافستها لأسعار توليد الكهرباء من المصادر المختلفة.

هناك عددٌ من العوامل الرئيسية التي سرّعت تطور تقانة استخدام العنفات الريحية لتوليد الكهرباء [15] : متانة وقوة مركبات الفايبر Fiber لإنتاج ريش ذات أطوال كبيرة بكلفة منخفضة. انخفاض أسعار إلكترونيات القدرة. إمكانية التحكم بالسرعة المتغيرة للمولد

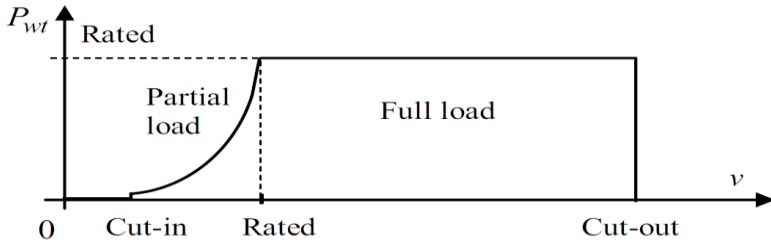
الكهربائي للحصول على أكبر استطاعة متاحة. تراكم الخبرات والتجارب العملية التي ساهمت في تحسين عامل السعة Capacity Factor. تُزوّد العنفة بنظام تحكم كامل، يقوم بوظائف المراقبة والتشغيل والحماية. كما أن العنفة مزودة بأنظمة مساعدة كنظام الهيدروليك ونظام التبريد.

### 3.3.3 كيفية توليد الطاقة الكهربائية [16]:

تتلخص فكرة إنتاج الطاقة الكهربائية من العنفات الريحية على النحو التالي:

تعمل الطاقة الحركية للرياح على إدارة الريش المثبتة على صُرّة Hub والتي ترتكز على محور الدوران الرئيسي الموصول بعلبة السرعة Gearbox التي تتولى مهمة رفع سرعة الدوران. ثم تنتقل الحركة إلى محور الدوران السريع High Speed Shaft فيقطع بدورانه مجال مغناطيسي داخل المولد، مما يؤدي إلى توليد الكهرباء. إذا زادت سرعة الرياح فإن الفرامل Brakes تمنع الريش من الدوران خوفاً من أن يؤدي دورانها بسرعة عالية إلى تحطمها، وتكسير الأجزاء الدوّارة. وتعد سرعة الرياح عالية إذا تجاوزت 25 متر/ثانية. لضمان توجيه ريش العنفات نحو اتجاه الريح، يوجد نظام توجيه خاص بالعنفة يعمل على توجيه العنفة في اتجاه الرياح، يمين و يسار.

تولد العنفة الريحية الكهرباء إذا زادت سرعة الرياح عن السرعة الدنيا التي تُعرّف بسرعة القطع الصغرى  $V_{IN}$ ، وبتزايد إنتاج الطاقة الكهربائية مع ازدياد سرعة الرياح، حتى تصل إلى السرعة الاسمية  $V_R$ ، تكون عندها الاستطاعة المولدة مساوية للاستطاعة الاسمية للعنفة الريحية وتمثل أيضاً الاستطاعة العظمى. تستمر العنفة بإنتاج الطاقة الكهربائية مادامت سرعة الرياح دون السرعة القصوى  $V_0$ ، ويتم إيقاف العنفة الريحية متى تجاوزت سرعة الرياح السرعة القصوى. ويوضح الشكل (1) علاقة الطاقة الكهربائية المنتجة بسرعة الرياح.



الشكل (1): علاقة الطاقة الكهربائية المنتجة بسرعة الرياح.

تعطى الطاقة الريحية المتولدة عن العنفة الريحية  $P$  بدلالة السرعة وفق التالي:

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3 \quad (0.3.3.3)$$

:  $v$  نصف قطر الدوار (m).  $\rho$  : كثافة الهواء ( $1.225 \text{ kg/m}^3$ )

سرعة الرياح (m/s).

### 1.3.3.3 التحكم في العنفات الريحية:

يلعب التحكم بالعنفات الريحية دوراً هاماً ومحورياً في نظم العنفات الريحية الحديثة، لأنه يُحسّن بشكل كبير من أدائها، باعتبارها تتعامل مع مصدر ريحي متغير بشكل كبير وتغيراته لا خطية وغير متنبأ بها. وأهم أنظمة التحكم في العنفات الريحية:

\* **المتحكم الإشرافي:** يلعب التحكم الإشرافي دوراً رئيساً في الربط بين أنظمة التحكم المحلية ذات الدارة المغلقة، ويشرف على عمل النظام ككل، وهو المسؤول عن نقل العنفة الريحية من نمط تشغيل إلى آخر. يمكن أن تكون حالات التشغيل: التهيؤ Stand-by. الإقلاع Start-Up. إنتاج الطاقة Power Production. الإطفاء Shutdown. حالة الطوارئ Emergency. وعند الانتقال من حالة إلى أخرى، ينفذ المتحكم الإشرافي عدد من الإجراءات التحكمية على مراحل، ويتأكد المتحكم من إنجاز كل مرحلة بنجاح قبل الانتقال إلى المرحلة التالية، وفي حال فشل أية مرحلة، ينتقل المتحكم إلى نمط الإطفاء Shut-down Mode.

\*المتحكمات ذات الدارة المغلقة Closed – Loop Controllers: عبارة عن أنظمة

جزئية مزودة ببرمجيات مهمتها ضبط حالة تشغيل العنفة الريحية ضمن حدود وخواص محددة. مثال على ذلك:

- التحكم في زاوية ميلان الريش: لتشغيل العنفة وفق منحنى سرعة محدد أثناء بدء التشغيل أو الإطفاء.

- التحكم في عزم المولد: بهدف تنظيم السرعة الدورانية للعنفة ذات السرعة المتغيرة، والتحكم بمحركات نظام التوجيه Yaw لتخفيض خطأ التوجيه إلى الحد الأدنى.

\* نظام الحماية: يعد نظام الحماية أساسياً في العنفات الريحية، ومهمته نقل العنفة الريحية في حال حدوث ظروف طارئة Emergency إلى حالة آمنة [17].

تتناسب الطاقة الميكانيكية المولدة من العنفة مع كثافة الهواء  $\rho$  والمكافئ الطاقى للدوار أو مكافئ الكفاءة (Coefficient or wind turbine)  $C_p$  ومكعب سرعة الرياح  $V$  ومع المساحة التي تمسحها الشفرات Swept Area (A) [14].

$$P_T = 0.5 C_p(\lambda). \rho. A. V^3 \quad (1.3.3.3)$$

تعتمد قيمة المكافئ الطاقى  $C_p$  على الخصائص الديناميكية للريش، وزاوية الريش، وسرعة الرياح، ويمكن التعبير عنها من خلال ما يعرف بـ Tip Speed Ratio ورمزه  $\lambda$  من خلال العلاقة:

$$\lambda = \frac{RW_M}{V} \quad (2.3.3.3)$$

حيث  $R$  طول الريشة و  $W_M$  السرعة الزاوية Angular Shaft Speed ويعطى عزم Torque العنفة الريحية وفق المعادلة:

$$T_T = \frac{P_T}{W_M} = \frac{1}{2} C_T(\lambda). \rho. AV^2 \quad (3.3.3.3)$$

حيث أن

$$C_T(\lambda) = \frac{C_P(\lambda)}{\lambda}$$

$$(4.3.3.3)$$

وتعطي قيمة التيار الناتج عن العنفة الريحية على خرج المبدل DC/DC بالعلاقة:

$$I_w = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \sqrt{I_Q^2 + I_D^2}$$

$$(5.3.3.3)$$

حيث يمثل كل من  $I_Q$  و  $I_D$  قيمة التيار المتناوب وقيمة التيار المستمر، وبحسبان

بالمعادلتين التاليتين:

$$I_Q = -\frac{R_S}{L} I_Q - W_E I_D + \frac{W_E \phi_M}{L} - \frac{\pi V_B I_Q}{3\sqrt{3}L \sqrt{I_Q^2 + I_D^2}} \quad (6.3.3.3)$$

$$I_D = -\frac{R_S}{L} I_D + W_E I_Q - \frac{\pi V_B I_D}{3\sqrt{3}L \sqrt{I_Q^2 + I_D^2}} \quad (7.3.3.3)$$

$$W_E = \frac{P}{2J} \left( T_T - \frac{3P}{2} \phi_M I_Q \right) \quad (8.3.3.3)$$

أما الطاقة الكهربائية المولدة من العنفات الريحية فيمكن حسابها اعتماداً على النموذج

الذي اعتمده يانغ [18] وفقاً للتالي:

$$P_W = \begin{cases} P_R \cdot \frac{V - V_{IN}}{V_R - V_{IN}} & (V_{IN} \leq V \leq V_R) \\ P_R & (V_R \leq V \leq V_0) \\ 0 & (V \leq V_{IN} \text{ Or } V \geq V_0) \end{cases} \quad (9.3.3.3)$$

#### 4.3.3 ملاحظة نقطة التشغيل العظمى للعنفة الريحية [19]:

تعتمد طاقة الرياح بشكل رئيسي على الظروف المناخية وعلى الظروف الجغرافية،

لذلك من الضروري بناء نظام توليد ريحي يكون قادر على توليد استطاعة عظمى في

مختلف الظروف المناخية.

تستخدم هذه الأيام بشكل واسع عنفات ريحية متزامنة ذات مغناطيسية دائمة Permanent Magnet Synchronous Generator، ويشار إليها اختصاراً PMSG ، نظراً لمزاياها المتعددة والمتمثلة بأنها ذات موثوقية أفضل، ومتطلبات صيانة أقل وأكثر فعالية. في الأماكن البعيدة عن الشبكة يتم عملياً استخدام عنفات ريحية ذات سرعة متغيرة، لجعل النظام أكثر استقراراً، ويتم عادةً إضافة نظام تخزين طاقة (بطاريات) مرافق للعنفة الريحية. إذا كانت الظروف المناخية وسرعة الرياح كافية، فإن العنفة الريحية تولد الطاقة اللازمة للحمل الكهربائي. إذا زادت الطاقة المولدة عن حاجة الحمل الكهربائي، تُخزن الطاقة الزائدة في نظام المدخرات. وفي حال أصبحت الطاقة المولدة من المولد الريحي غير كافية فإن البطاريات تقوم بتعويض النقص الحاصل في الطلب الكهربائي. تعطى الطاقة الحركية المتوفرة في الرياح بالعلاقة [19] :

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3 \quad (1.4.3.3)$$

حيث أن:  $\rho$ : كثافة الهواء.  $v$ : سرعة الرياح (m/s).  $r$ : نصف قطر الدوار أو طول الشيفرة (m).

لا يمكن استخراج كامل طاقة الرياح المتوفرة، بل يتم استخراج جزء فقط من هذه الطاقة وتحويله إلى طاقة ميكانيكية وفق المعادلة:

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3 \quad (2.4.3.3)$$

يمثل  $C_p$  معامل الكفاءة، وتبلغ قيمته العظمى النظرية 0.59 وهو ما يعرف بحد بتز Bitz Limit، وتعتمد قيمة المعامل  $C_p$  على الخصائص الديناميكية للريش  $\lambda$ ، وزاوية الريش  $\beta$  وسرعة الرياح أي أنه تابع من الشكل :

$$C_p = f(\lambda, \beta) \quad (3.4.3.3)$$

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3 \quad (4.4.3.3)$$

إذا كانت  $W_M$  تعبر عن السرعة الزاوية لمحور الدوران Angular Shaft Speed فإننا نكتب:

$$\lambda = \frac{r \cdot W_M}{v} \quad (5.4.3.3)$$

. لنفرض أن سرعة الرياح ثابتة  $v = \text{const}$  عندها فإن  $\lambda$  تتغير متناسبة مع سرعة الدوران. القيمة العظمى لقيم  $C_P$  تتحقق عادةً عند قيم  $\lambda$  تتراوح بين 8 و 9 أي عندما تكون سرعة آخر نقطة في الريشة أسرع بثماني أو تسع مرات من سرعة الرياح. تُضبط زاوية انحراف الريش في العنفات الحديثة من خلال آلية تحكم خاصة.

إذا كان منحنى  $\lambda - C_P$  معروف عند سرعة رياح معينة، فمن السهل حساب وإيجاد منحنى  $C_P$  تبعاً للعلاقة مع سرعة الدوران  $\Omega$  عند سرعة رياح معينة. وعند ضبط  $\lambda$  عند القيمة المثلى أي  $\lambda = \lambda_{Opt}$  فإن المكافئ الطاقى  $C_P$  يكون أعظم ما يمكن

$$C_{PM} = C_P(\lambda_{Opt}) \quad (6.4.3.3)$$

وعندها يكون :

$$P_m^{Opt} = \frac{1}{2} \cdot C_{PM} \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3 \quad (7.4.3.3)$$

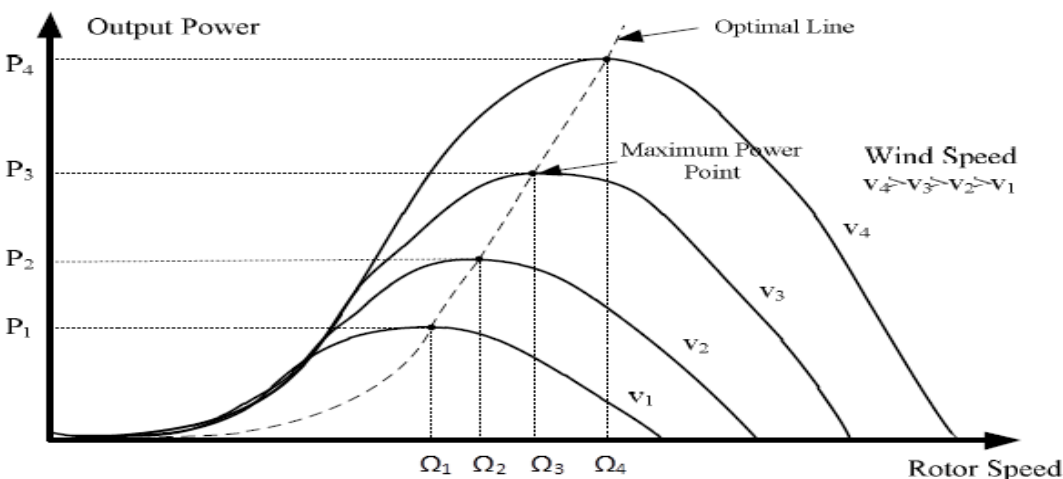
وتعطى سرعة الدوران المثلى بالعلاقة:

$$\Omega_{Opt} = \frac{v \cdot \lambda_{Opt}}{r} \quad (8.4.3.3)$$

يبين الشكل (2) منحنيات الاستطاعة لعنفة ريحية عند سرعات رياح مختلفة [20]:

$$V_1 < V_2 < \dots < V_n$$

يبين المحور الأفقى سرعة دوران دوار العنفة الريحية ويبين المحور الشاقولي قيمة الاستطاعة المولدة من العنفة الريحية. لو ناقشنا أداء العنفة عند سرعة الرياح  $V_1$  ، نجد أن الاستطاعة المولدة تبدأ بالازدياد مع ازدياد قيمة  $\Omega$  حتى تصل إلى القيمة  $\Omega_1$  ، والتي تصبح عندها قيمة الطاقة المولدة هي  $P_1$ ، وبعد ذلك تعود قيمة الاستطاعة المولدة للتناقص بازدياد قيمة  $\Omega$  .



الشكل (2): منحنيات الاستطاعة لعنفة ريحية عند سرعات رياح مختلفة

نطلق على سرعة الدوران  $\Omega_1$  : السرعة المثالية لدوران العنفة الريحية لاستخراج الطاقة العظمى من الرياح التي تهب عند السرعة  $V_1$ ، وبالمثل إذا أخذنا أداء العنفة الريحية عند سرعات رياح مختلفة  $V_2, V_3, V_4, \dots, V_n$  نحصل على  $\Omega_2, \Omega_3, \Omega_4, \dots, \Omega_n$  التي تمثل السرعات المثلى، التي تعطي أفضل طاقة مولدة من العنفة الريحية تمثل السرعات المثلى، ويرسم المنحني الذي يمر بالنقاط العظمى للطاقة عند كل سرعة نحصل على المنحني الذي نطلق عليه اسم منحني الاستطاعة العظمى، وهو الخط المنقط في الشكل (2). بالعودة إلى الشكل السابق، نجد أن نقطة التشغيل العظمى والتي تكون عندها قيمة الاستطاعة المستفادة من الطاقة الحركية للرياح عظمى تتحقق عند:

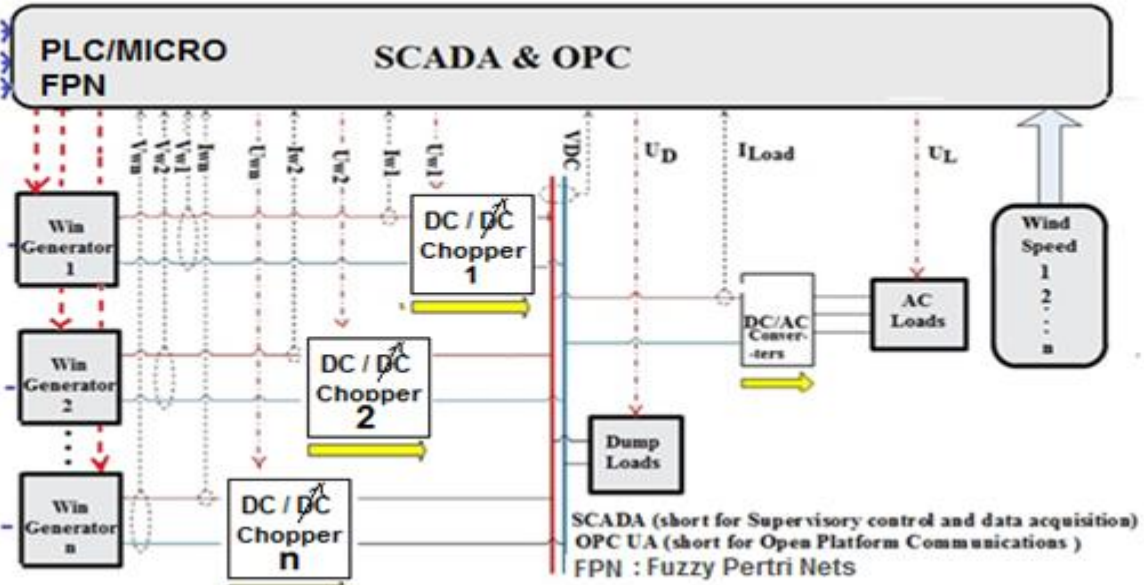
$$\frac{dP}{d\Omega} = 0 \quad (9.4.3.3)$$

### 5.3.3 نمذجة ومحاكاة التحكم بمزرعة الرياح

يبين الشكل (3) مكونات مزرعة الرياح والذي يتألف من عدة عنفات أو مولدات ريحية، بالإضافة إلى مبدلات (Chopper) DC/DC. يضاف حمل تخميد DC Dump مهمته



امتصاص الطاقة الزائدة على البار المشترك، بهدف ضمان عدم ارتفاع الجهد الكهربائي عن قيمته الاسمية. وتحصيل البيانات باستخدام شبكات بتري العائمة الملونة و بروتوكول منصة مفتوحة للاتصالات المتحددة البنية.

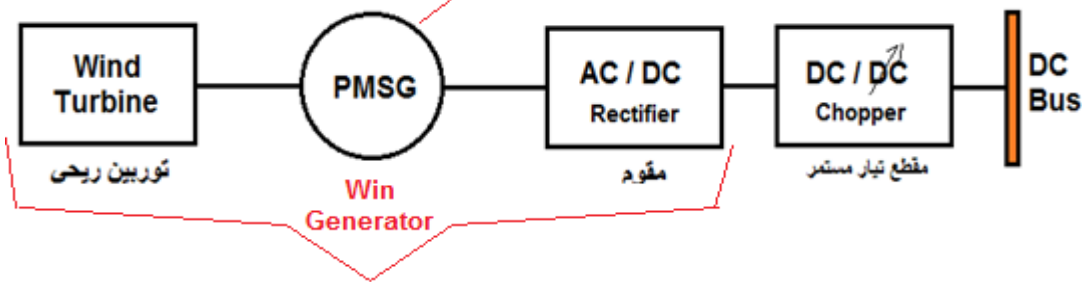


الشكل(3): مكونات مزرعة الرياح باستخدام SCADA-OPC وشبكات بيترى الضبابية

### 1.5.3.3 نمذجة العنفة الريحية: إن النموذج الذي سيتم استخدامه يعتمد على أن

العنفة الريحية مربوطة إلى DC BUS عبر مقوم Rectifier مؤلف من جسر من الثنائيات وعن طريق مقطع تيار مستمر DC/DC Chopper كما هو موضح في الشكل(4):

PMSG: Permanent Magnetic Synchronous Generator



الشكل (4): نمذجة العنفة الريحية

هناك أسلوبين مختلفين لتصميم نظام تحكم لملاحقة نقطة التشغيل العظمى للعنفة الريحية. ففي حال كانت العنفة ذات ريش ثابتة، لا يمكن التحكم בזاوية ميلها، عندها يتم التحكم بمبدلات الاستطاعة Power Converter لتحقيق نقطة التشغيل العظمى، والأسلوب الثاني هو التحكم בזاوية ميل ريش الدوار بحيث تحافظ على سرعة زاوية  $\Omega$  مثالية [19]. سنناقش هذين الأسلوبين بشيء من التفصيل في الفقرتين التاليتين:

2.5.3.3 ملاحقة الاستطاعة العظمى من خلال التحكم بالمبدلات:

يقوم مبدأ عمل خوارزمية التحكم على قياس سرعة الدوران الزاوية لمحور العنفة، وبناءً على منحنى الخصائص المميزة يتم تحديد قيمة الاستطاعة المرجعية المثلى، ومقارنتها مع قيمة الاستطاعة الكهربائية المقاسة على الخرج، واستخدام إشارة الخطأ كدخل لدارة تحكم مهمتها تحديد قيمة دورة تشغيل D المقطع DC/DC، الذي يحقق الاستمرار الأعظمي للطاقة من العنفة الريحية. من مساوئ هذه التقنية اعتمادها على معرفة منحنى خصائص الطاقة الأمثلي. من مساوئ هذه الطريقة أيضاً عدم توفر منحنى الخصائص بدرجة عالية من الدقة، وكذلك تغير منحنى الخصائص مع مرور الوقت [3].

بالعودة إلى المعادلة  $\frac{dP}{d\Omega} = 0$  التي تعبر عن نقطة التشغيل المثلى [19]، يمكن إعادة

كتابتها وفقاً للتالي:

$$\frac{dP}{d\Omega} = \frac{dP}{dD} \cdot \frac{dD}{dV_{WG}} \cdot \frac{dV_{WG}}{d\Omega_e} \cdot \frac{d\Omega_e}{d\Omega} = 0 \quad (1.5.3.3)$$

حيث أن D : دور تشغيل المبدل.  $V_{WG}$  : جهد خرج المبدل.  $\Omega_e$  : السرعة الزاوية الكهربائية للمولد.

لنأخذ حالة كون المبدل من النمط الخافض للجهد في هذه الحالة فإن :

$$D = \frac{V_o}{V_{WG}}$$

$$\frac{dD}{dV_{WG}} = -\frac{1}{V_{WG}^2} \cdot V_o \neq 0 \quad (2.5.3.3)$$

وكذلك فإن السرعة الزاوية الكهربائية للمولد ترتبط بالسرعة الزاوية لمحور الدوران وفق

العلاقة التالية على اعتبار أن  $\mathcal{P}$  يمثل عدد أزواج الأقطاب في المولد:

$$\Omega_e = \mathcal{P} \cdot \Omega \quad (3.5.3.3)$$

$$\frac{d\Omega_e}{d\Omega} = \mathcal{P} > 0 \quad (4.5.3.3)$$

يتناسب جهد خرج المبدل مع جهد الطور للمولدة وبناءً على منحنيات العزم الكهربائي

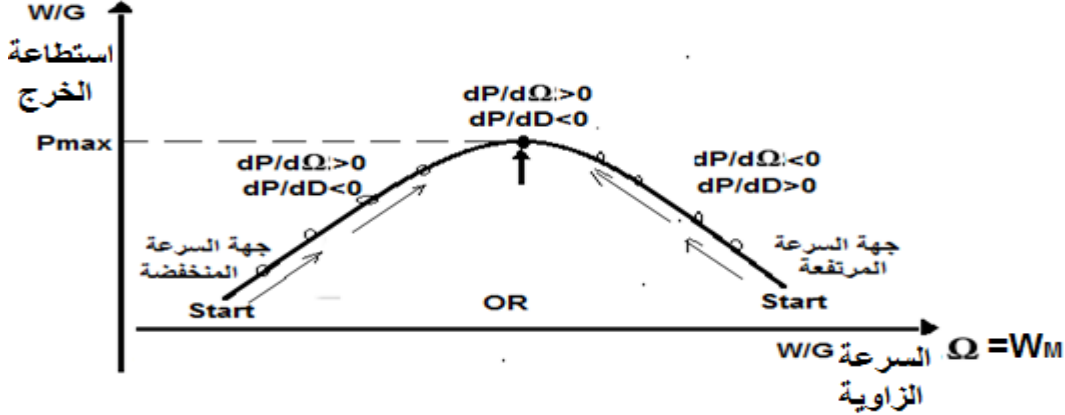
المرتبطة بجهد الطور للمولدة يمكن أن نكتب:

$$\frac{dV_{ph}}{d\Omega_e} > 0 \quad (5.5.3.3)$$

$$\frac{dV_{WG}}{d\Omega_e} > 0 \quad (6.5.3.3)$$

وبالعودة إلى المعادلة الأساسية نجد أن:

$$\frac{dP}{d\Omega} = 0 \Leftrightarrow \frac{dP}{dD} = 0 \quad (7.5.3.3)$$



الشكل (5): منحنى يوضح آلية تعقب الاستطاعة العظمى

يبين الشكل (5) توضيحاً لعملية تعقب نقطة التشغيل العظمى. حيث أنه في حال

كانت قيمة سرعة الدوران في الجانب ذو السرعة المنخفضة Low Speed Side، يتم

تخفيض قيمة دور التشغيل للمبدل، بحيث تتحقق زيادة قيمة سرعة الدوران، أما إذا كانت

نقطة التشغيل في الجانب الأيمن عن نقطة التشغيل العظمى، أي في الجانب ذو السرعة المرتفعة High Speed Side ، فإننا نقوم بزيادة قيمة دور التشغيل بحيث يتم تخفيض سرعة الدوران وإزاحتها باتجاه السرعة المثالية. يبين الشكل (6) مخطط خوارزمية عمل المستخدمة لتعقب نقطة التشغيل عند الاستطاعة العظمى.

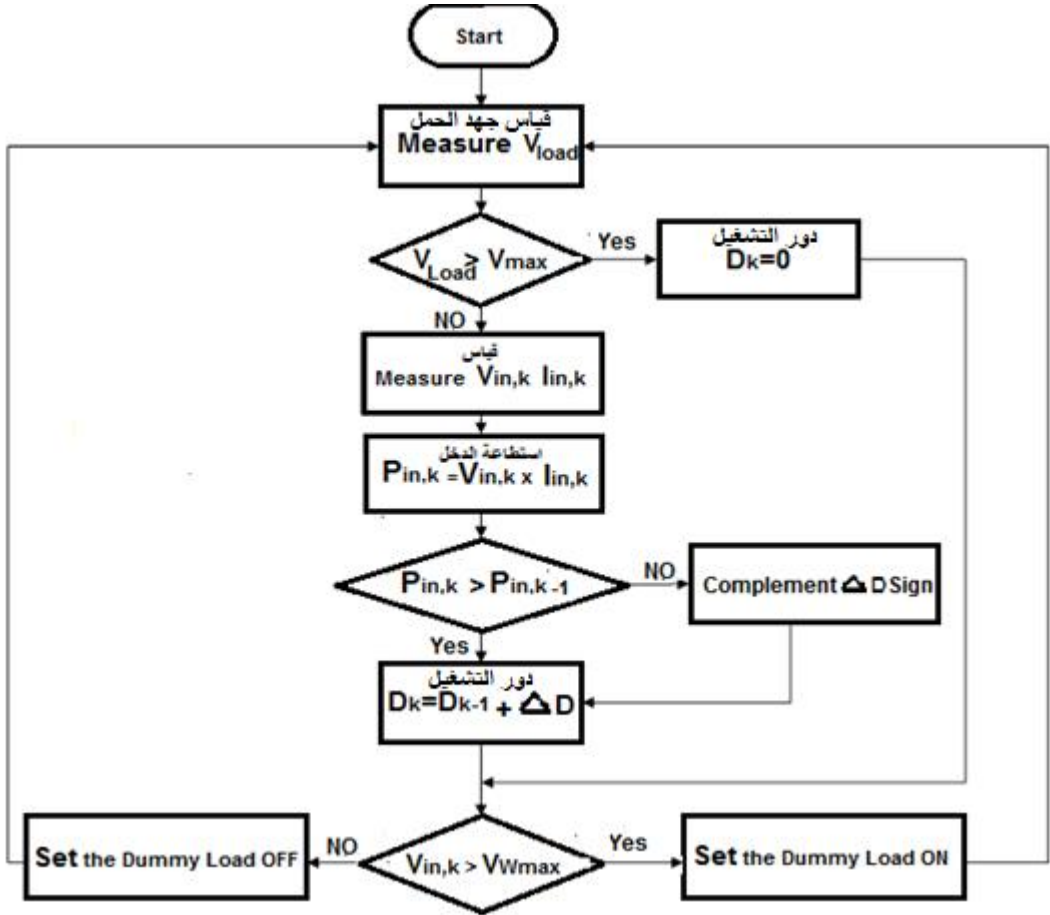
حيث أنه تم استخدام العلاقة التالية لتحديد قيمة دور التشغيل D :

$$D_k = D_{k-1} + \Delta D_{k-1} \quad (8.5.3.3)$$

$$\Delta D_{k-1} = C \cdot \text{sign}(\Delta D_{k-2}) \cdot \text{sign}(P_{in,k-1} - P_{in,k-2})$$

حيث أن C ثابت يحدد سرعة ودقة تحقيق خوارزمية الأمثلة و التابع  $\text{sign}$ :

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad (9.5.3.3)$$

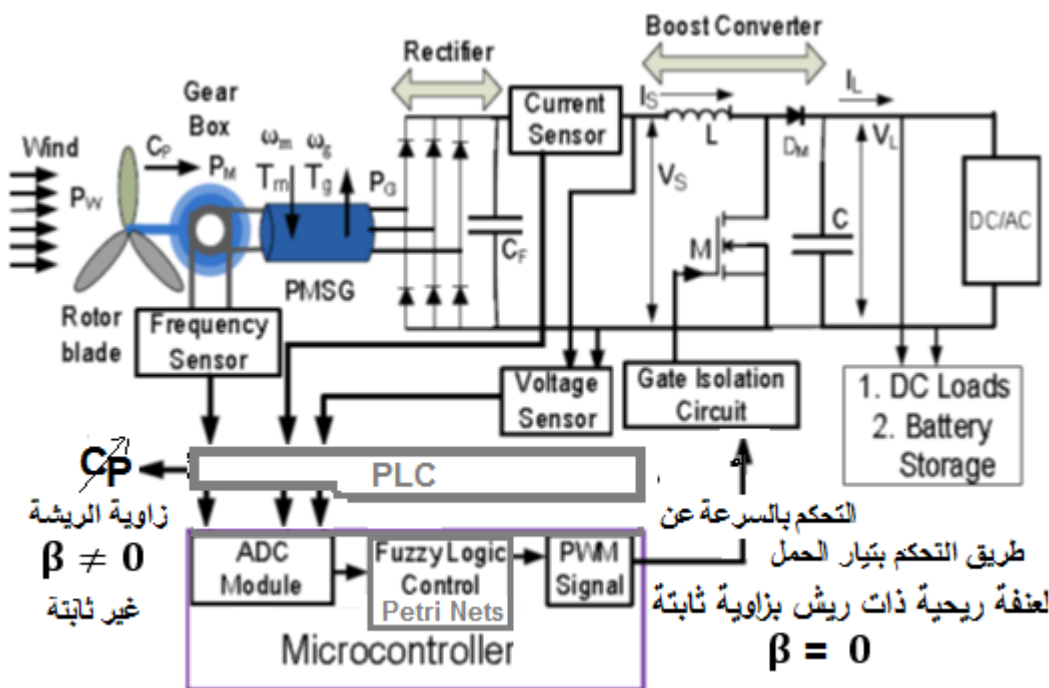


الشكل (6): خوارزمية محاكاة تعقب الاستطاعة العظمى [21]

سنناقش الآن أحد أساليب التحكم لضمان ملاحقة نقطة التشغيل العظمى لعنفه ريحية ذات ريش بزواوية ثابتة. يبين الشكل (7): مخطط دائرة التحكم، حيث نلاحظ وجود كل من الحساسات: حساس التردد **Frequency Sensor** لقراءة السرعة الزاوية، وحساس تيار **Current Sensor** لقياس تيار الخرج للمقوم **Rectifier**، وحساس جهد لقياس جهد خرج المبدل.

كما أوضحنا سابقاً أنه للحصول على الطاقة العظمى من العنفه الريحية لابد من التحكم وضبط سرعة دوران العنفه الريحية بناءً على سرعة الرياح. ونظراً لكون الدوار غير

متحكم به نلجأ للتحكم بالعزم، حيث أنه من خلال التحكم بالعزم يمكن تغيير سرعة دوران العنفة الريحية وتشغيلها عند السرعة المثالية. وطالما أن العزم متناسب مع تيار الحمل على خرج المولدة أي يمكن من خلال التحكم بتيار الحمل على خرج المولدة أن نتحكم بسرعة دوران العنفة الريحية.



الشكل (7): ملاحظة الاستطاعة العظمى باستخدام التحكم العائم بزوايا ثابتة وغير ثابتة [21]

يقوم مبدأ عمل دائرة الشكل (7) على قراءة سرعة دوران الدوار  $\Omega$  ومن خلال منحنى مميزة العزم - سرعة الدوران، يمكن الحصول على قيمة العزم  $T_G$ ، ويتم قراءة قيمة جهد خرج المبدل  $V_d$ ، ومنه نحسب قيمة التيار المرجعي وفق العلاقة والمرجع [21]:

$$I_{Ref} = \frac{T_G \cdot \Omega}{V_d} \quad (10.5.3.3)$$

وبمقارنة قيمة تيار خرج المبدل المقاسة  $I_d$  مع قيمة التيار المرجعي  $I_{Ref}$  نحصل

على إشارة الخطأ  $E$  التي تمثل دخل المتحكم:

$$E = I_{Ref} - I_d \quad (11.5.3.3)$$

بناءً على إشارة الخطأ وبناءً على المتحكم المستخدم، نحصل على إشارة خرج تحدد قيمة دور التشغيل D الخاصة بالتحكم بتشغيل المبدل، للتحكم بزيادة أو إنقاص جهد التشغيل.

### 3.5.3.3 ملاحظة الاستطاعة العظمى من خلال التحكم بزواوية ميل الريش:

ناقشنا في الفقرة السابقة آلية ملاحظة نقطة التشغيل العظمى لعنفة ريشية ذات ريش ثابتة غير متحكم بميل الريش، والتي يطلق عليها Fixed-Pitch Variable Speed Wind Turbine، أي أن زاوية ميل ريش الدوار تبقى ثابتة  $\beta = 0$ . وسنستعرض الآن آلية أخرى، تقوم على مبدأ تنظيم سرعة دوران الدوار Rotor Speed على السرعة المثلى من خلال التحكم بزواوية ميل الريش  $\beta \neq 0$ . في نظام التحكم بالريش، يتم قياس قيمة طاقة خرج نظام العنفة الريحية، فإذا زاد عن حد معين (قيمة مرجعية) فإن نظام التحكم يزيد من زاوية ميل الريش، بحيث تقل مواجهة الريش للرياح. وعند انخفاض قيمة استطاعة خرج العنفة عن القيمة الإسمية، يتولى نظام التحكم تحقيق زاوية مثلى بحيث نحصل على سرعة الدوار المثلى التي تعطي أعظم استطاعة. لدينا هنا نوعان من العنفات الريحية: عنفات ريشية ثابتة السرعة متحكم بزواوية ريشها Variable-Pitch Fixed Speed Wind Turbine أو متغيرة السرعة متحكم بزواوية ريشها Variable-Pitch Variable Speed Wind Turbine.

بالعودة إلى علاقة المكافئ الطاقي  $C_p = C_p(\lambda, \beta)$ ، نجد أنه في هذه الحالة أن  $C_p$  ترتبط بشكل كبير بالزاوية  $\beta$ ، وتعتمد قيمة هذا المكافئ  $C_p$  على الخصائص الديناميكية للريش  $\lambda$ ، وزاوية الريش  $\beta$  وسرعة الرياح ويعطى وفقاً للمعادلة التالية [3]:

$$C_p = C_p(\lambda, \beta) = C_1 \cdot (C_2 \lambda_i - C_3 \beta - C_4) \cdot e^{-C_5 \lambda_i} + C_6 \lambda \quad (12.5.3.3)$$

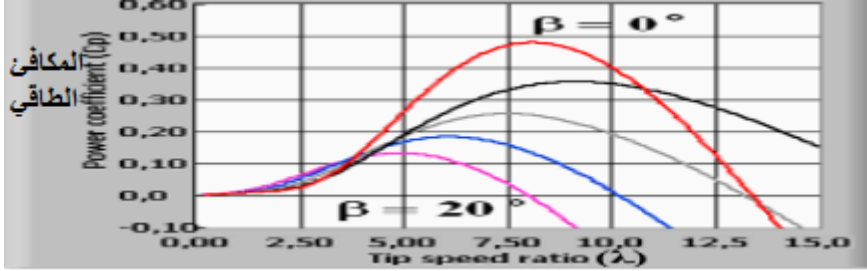
حيث أن :

$$\lambda_i = \frac{1}{\lambda + 0.08 \cdot \beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (13.5.3.3)$$

إذا أخذنا القيم التالية :

$$C_1 = 0.5175, C_2 = 116, C_3 = 0.4, C_4 = 5, C_5 = 21, C_6 = 0.0068$$

نحصل باستخدام Lab VIEW على الشكل (8):



الشكل (8): مخطط يوضح العلاقة  $C_p = C_p(\lambda, \beta)$

نلاحظ أن المكافئ الطاقى  $C_p$  يتعلق بقيم  $\lambda$  (Tip Speed Ratio) وقيم زاوية الريشة  $\beta$ . والطاقة الكهربائية المولدة من العنفات الريحية تزداد عندما يزداد المكافئ الطاقى  $C_p$  كما في المعادلة (1.3.3.3) ولكن من أجل  $C_p(\lambda, \beta)$  ومن أجل قيم صغيرة لزاوية الريشة وقيم محددة ل  $\lambda$ .

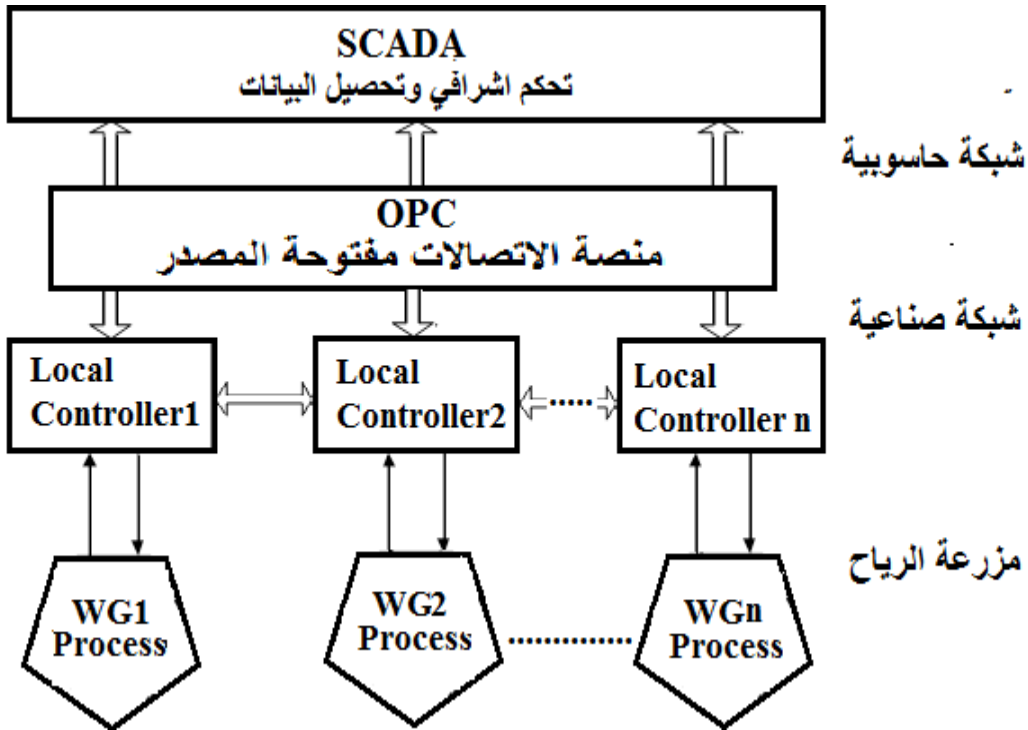
### 6.3.3 دور SCADA :

يستفيد المتحكم الإشرافى وتحصيل البيانات (SCADA) من المعطيات المتوفرة، لوصف السلوك الحالى للنظام، وتعديل المتحكمات المحلية، للوصول إلى المواصفات المطلوبة، يعمل المتحكم الإشرافى على تحصيل المعلومات من النظم الجزئية، ومكاملة هذه المعلومات ومعالجتها للوصول لعملية اتخاذ القرار الذي يسهم في تحسين الأداء ويؤدي إلى نوع من الاستقرار.

يوجد عدة متحكمات فرعية يرتبط كل منها بعدد من العناصر الحقلية يشرف عليها ويتحكم بها، وترتبط جميع المتحكمات الفرعية بمتحكم مركزي، يتولى التنسيق والإشراف على أداء المتحكمات الفرعية. تدعى هذه البنية بالتحكم الهرمي. من أهم مزايا هذه البنية:



خفض مشاكل تطوير البرمجيات، والسماح بالعمل بمعايير زمنية مختلفة، وأزمة استجابة أسرع. ومن مساوئها زيادة حجم الاتصالات، وصعوبة إجراء تعديلات مستقبلية بين المتحكم المركزي والمتحكمات الفرعية. وإمكانية التخاطب بين المتحكمات الفرعية كما يبينها الشكل (10) وتتمتع باستقلالية ذاتية.



الشكل (10): بنية تحكمية تراتبية هرمية المعتمدة في هذا البحث

**1.6.3.3 التحكم الهرمي:** يمكن معالجة مشكلة التحكم بالنظم المعقدة من خلال تجزئة عملية التحكم إلى عدة مستويات، لكل مستوى منها أغراض تحكمية معينة، يتم تحقيقها من خلال متحكمات مختلفة مهمتها المحافظة على تحقيق الأغراض التحكمية المناطة بها ضمن الشروط النظامية [22, 3].

يختلف عدد المستويات في البنية التراتبية الهرمية تبعاً لدرجة تعقيد النظام وحجمه، والوظائف التحكمية التي ينفذها. وتختلف متطلبات الزمن لتنفيذ المهمة من مستوى لآخر،

ففي المستويات الدنيا تكون الاستجابة الزمنية من مرتبة أجزاء الثانية، في حين أنه في المستويات الأعلى تكون من مرتبة الدقائق، وفي المستويات العليا في بعض الأنظمة الكبيرة إلى مرتبة الساعات والأيام.

نظام SCADA يتضمن نظام التحكم والحصول على البيانات وجميع المكونات المطلوبة لجمع البيانات والمراقبة عن بُعد والتحكم في مزارع الرياح. المرونة التي يوفرها نظام SCADA تجعل من الممكن تلبية أصعب متطلبات مشغلي شبكة الطاقة ومزارع الرياح. ويشكل الخادم SERVER الوحدة المركزية لنظام SCADA. ويرتبط هذا بكل توربينات الرياح عبر شبكة الألياف الضوئية. تقوم بالعديد من المهام المتعلقة بالاتصال وتسجيل البيانات ومراقبة مزرعة الرياح. وتتوفر العديد من واجهات اتصال متنوعة لتبادل البيانات مع نظام SCADA لمزرعة الرياح.

يدعم بروتوكول (SCADA - OPC) المعتمد في بحثنا، واجهة طرفية بعيدة والقائمة على الأجهزة (RTU-I) التي تستند إلى Ethernet-TCP و RTU - DNP3. ونظام الطقس METEO متاح في SCADA لدمج معلومات الأرصاد الجوية من مصادر خارجية. لذلك يسمح نظام SCADA للمشغل بتحديد التعديلات الضرورية أو الإجراءات التصحيحية التي يجب اتخاذها بمراقبة الأداء لكل عملية ومراقبة العواصف الرعدية القريبة لتنبه الفنيين إلى المخاطر المحتملة في المواقع. يحتوي كل توربين رياح على صندوق تحكم يحتوي على PLC ومحول طاقة ولوحات تحكم ووحدة إدخال/إخراج. من خلال استشعار اتجاه الرياح، فإن نظام التحكم قادر على التحكم في نظام التوجيه لتوجيه التوربين بأكمله في الاتجاه الأمثل ولإنتاج الاستطاعة القصوى والحصول على نقطة التشغيل العظمى. جميع التوربينات متصلة بشبكة محلية، وصندوق التحكم لكل توربين متصل بواسطة وصلة إيثرنت بقاعدة البرج، وهو نفسه متصل بالشبكة المحلية بواسطة وصلة ألياف بصرية. يتم توصيل الشبكة المحلية بمحطة تحكم عن بعد، تدير وتجمع البيانات،

وتعديل معاملات التوربين، وتولد إشارات ذكية، وتمكن من استكشاف الأخطاء وإصلاحها ووظائف الإبلاغ من خلال مركز التحكم والمعالجة. لذلك نظام SCADA يعمل كمركز عصبي لمزارع الرياح ويربط التوربينات المختلفة والمحطات الفرعية ومحطات الطقس ورادار الكشف عن الطيور بغرفة التحكم المركزية. الميزة الرئيسية لنظام SCADA هي أنه غير مرتبط بأي مورد لأجهزة التحكم المنطقية القابلة للبرمجة ، مما يسمح باستخدامه مع أي نوع من التوربينات باستخدام بروتوكول OPC.

تجمع مزرعة الرياح، الممثلة بعدد من الوحدات الطرفية البعيدة (RTUs) ، البيانات المحلية وترسلها إلى المحطة الرئيسية، حيث تقوم بعرض البيانات المحصلة وعمليات التحكم عن البعيد. وجود البيانات ودقة التوقيت تجعل عمليات سكاذا ذات كفاءة وموثوقية عالية والأهم من ذلك سلامة العنفات الريحية، كل هذا ينتج تكاليف عمليات أقل على المدى الطويل مقارنة بالأنظمة غير المؤتمنة.[23]

● **تنظيم المحطات والـ RTUs :** الـ RTU ( والتي يشار إليها أحياناً بوحدات القياس البعيدة) هي وحدة تحصيل بيانات وتحكم مستقلة قائمة بحد ذاتها، عادة مبنية على أساس المعالجات الصغيرة Microcontrollers أو المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة PLC، تقوم بمراقبة والتحكم بالأجهزة المختلفة في المحطات البعيدة، مهمتها الأساسية هي نقل هذه البيانات الناتجة عن القياس والتحكم إلى المحطة الرئيسية. فضلاً على قدرتها على التواصل مع المحطة الرئيسية فإنها أحياناً قادرة على التواصل مع بعضها البعض، فيمكن لوحدة RTU أن تعمل كمحطة ترحيل (Store & Forward Relay Station) لوحدة RTU أخرى قد لا تكون قابلة للولوج من المحطة الرئيسية[1].

● **نظام الاتصالات :** نظام الاتصال مهم جداً لتأمين الأداة التي يمكن بها نقل البيانات بين المحطة الرئيسية والـ RTUs، ويكون الوسيط هو إما كابل أو التلفون أو الراديو. إن استخدام الكابلات المحورية جيد لمصنع محلي، وليس عملي للأنظمة التي تغطي مساحات واسعة بسبب الكلفة الاقتصادية العالية للكابلات. ويمكن استخدام الخط الهاتفي

لكونه أكثر اقتصادي عند تغطية مساحات أوسع بقليل، ويصبح مكلفاً عند الحاجة للعديد من الخطوط مع كل محطة طرفية للنفقات الريحية، لذلك برزت الحاجة لاستخدام نوع أفضل وهو الإشارات الراديوية الاقتصادية جداً.

تاريخياً كانت شبكات السكادا هي شبكات مخصصة، ولكن مع الانتشار الواسع لشبكات الـ LAN والـ WAN، أصبح هناك إمكانية لدمج شبكات السكادا مع الشبكات الحاسوبية واسعة النطاق وبرز مفهوم تحكم واسع النطاق. إن نظم السكادا هي النظم المستخدمة لتحصيل المعطيات والتحكم بالنظم واسعة النطاق، فهي تكامل بين أنظمة تحصيل المعطيات وأنظمة إرسال المعطيات أو الأوامر وبرمجيات التخاطب بين الانسان والآلة (HMI) لإنتاج نظام تحكم ومراقبة مركزي يسمح للمشغل بمراقبة النظام والتحكم به كاملاً في الزمن الحقيقي من مركز رئيسي، وذلك عبر بنية هرمية موزعة مكونة من جزء عتادي وجزئ برمجي، حيث يتضمن العتاد مخدم السكادا الرئيسي SCADA Server أو ما يسمى بالوحدة الطرفية الرئيسية MTU الذي بدوره يتصل مع وحدات التحكم الطرفية RTU عبر شبكة اتصال واسعة النطاق متزامنة من خلال الأقمار الصناعية GPS وتعتمد على النقل الضوئي (غالباً) أو النقل اللاسلكي أو الكابلات (هاتف، مؤجر، كهرباء) ... الخ، وتتصل وحدات التحكم الطرفية مع الأجهزة الحقلية الأخرى IEDs المتمثلة بالحساسات والمشغلات. يمكن ذكر بعض بروتوكولات الاتصال المستخدمة في نظام السكادا وهي: بروتوكول Modbus، بروتوكول CAN، بروتوكول PROFIBUS، بروتوكول ASI Bus، بروتوكول Ethernet، بروتوكول DNP3 و بروتوكول OPC.

من الأمثلة على نظم التحكم، هناك نظام التحكم بالشبكة الكهربائية وشبكة مياه الشرب وشبكة مياه الصرف الصحي وشبكة السكك الحديدية.

- **DNP3**: بروتوكول الاتصال الموزع هو بروتوكول يمكننا من تحقيق الاتصال بين عدة محطات "سيد" multi masters ومجموعة من وحدات Remote Telemetry Units (RTUs) وأيضاً أجهزة أخرى إلكترونية تعرف بـ Intelligent Electronic Devices (IEDs)، تم تطويره لتحقيق الاتصال بين النظم للمحطات الخاصة بتوليد الطاقة الكهربائية

وأيضاً ضمن حقول النفط والغاز ومؤسسات المياه والمجال الأمني. صمم هذا البروتوكول خصيصاً لتطبيقات الـ SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). أهم مزايا هذا البروتوكول هو أنه بروتوكول مفتوح وقد اعتمد من قبل العديد من الشركات المصنعة للمعدات ويتميز بوجود توافق بين الأجهزة من مختلف الصانعين حيث تم اعتماده عبر عدد كبير من أنظمة RTUs و SCADA والعديد من الأجهزة الإلكترونية المختلفة. صمم هذا البروتوكول للاتصالات الموثوقة في أوساط إرسال سيئة وللتغلب على التشويه، وهو بروتوكول مؤلف من 3 طبقات: الطبقة السابعة (تطبيق) والطبقة الثانية (بيانات ترتبط) والطبقة الفيزيائية Physical layer. تقسيم الرسالة المرسله ببروتوكول DNP3 إلى مجموعة من الأطر frames لتوفير التحكم الأمثل وسهولة كشف الخطأ عن طريق (CRCs) و يدعم رسائل البث العام. يمكن عنونة مايزيد عن 65000 جهاز على الوصلة الواحدة. [24]

### • OPC : [Open Platform Communication]

أو [OLE (Object Linked Embedding) for Processing Control]

أي ربط النظم وتضمينها للتحكم بالعمليات. وهو بروتوكول ومعياري اتصال البيانات الموحد والمدعوم من شركة مايكروسوفت. بدأ تطويره من عام 1990، معتمد من جميع شركات الأتمتة، مفتوح المصدر، مكتوب بلغة ++C و لغة VB. يمكن أن نمثل OPC بأنه طبقة "التجريد" أي طبقة غير محسوسة " والتي تقع بين مصدر البيانات ووجهة البيانات، مما يتيح لهم تبادل البيانات دون معرفة أي شيء عن بعضهم البعض. أي يعمل بروتوكول OPC في الطبقة التي تفصل بين المتحكمات والتحكم الإشرافي. قائم على طبقة COM و DCOM من شركة مايكروسوفت يعتمد على بنية Server/Client. التعديل والتطوير سهل جداً، يسمح بالاستفادة من مزايا كل الشركات، الصيانة ممكنة، التعقيد في النظام أقل وتكلفة بناء النظام أقل.

في بروتوكول OPC يمكن تبديل مصادر البيانات، والتبادل، أو التحديث دون الحاجة إلى تحديث برامج التشغيل الخاصة المستخدمة من قبل كل تطبيق (وجهة بيانات) المتصلة مع مصادر البيانات عبر مخدم OPC.

يملك OPC ثلاثة فئات من البيانات وهي: ( OPC DA ) وتستخدم لنقل البيانات في الوقت الحقيقي. ( OPC HDA ) وتستخدم لنقل البيانات التاريخية. ( E & OPC A ) وتستخدم لنقل المعلومات الانذارات المثيرة للقلق. يعد بروتوكول OPC ثنائي الاتجاه، هذا يعني أن خوادم OPC تستطيع القراءة او الكتابة من وإلى مصدر البيانات [22].  
مخدم الـ OPC: هو جزء من البروتوكول المسؤول عن تحقيق الاتصال بالمتحكمات وتحصيل البيانات منها أو التعديل عليها، ويقوم بتلبية جميع طلبات الزبائن OPC المتصلة معه.

يخاطب الـ OPC Server المتحكم المتصل معه وفق بروتوكول محدد مدعوم من قبل المتحكم، ومن ثم يقوم بجلب البيانات المطلوبة من المتحكم وبترجمها لمعيار الـ OPC، غالباً ما يكون الـ OPC Server من انتاج الشركة المصنعة للتجهيزات الصناعية (PLCs) ويمكن أيضاً أن يكون من انتاج شركات برمجية ربحية خاصة. ويمكن لـ OPC Server واحد أن يُخدم أكثر من زبون بنفس الوقت.

يخزن الـ OPC Server البيانات التي قام بجلبها من المتحكمات المتصلة معه في قاعدة بيانات خاصة به ويقوم بتحديث القيم المخزنة فيها بشكل دوري، قاعدة البيانات هذه قد تكون عبارة عن ملف Access أو أي نوع آخر من أنواع قواعد البيانات المعروفة. تقوم جميع الـ OPC Clients المتصلة مع المخدم بتحديث قيم عناصرها من قاعدة البيانات السابقة[25].

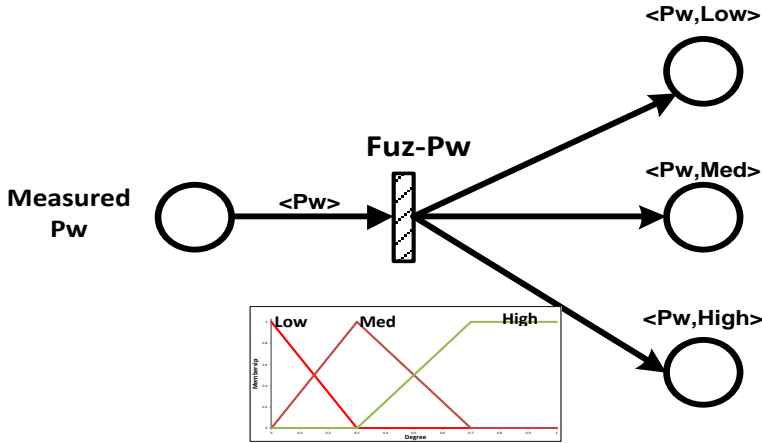
### 7.3.3 تصميم نموذج شبكة بتري عائمة لإدارة العنفة الريحية

في التحليل الوظيفي للمتحكم الإشرافي لنظام إدارة الطاقة في مزرعة الرياح، يتم نمذجة جزء من المتحكم من خلال شبكة بتري العائمة الخاصة بإدارة المولد الريحي، وفق نموذج الطبقات الخمس.

#### الطبقة الأولى : مرحلة التعويم

في عملية التعويم Fuzzification، يمثل دخل Measured Pw قياس قيمة الاستطاعة المولدة من العنفة الريحية، و يمثل العبور Fuz-Pw بتابع رياضي يحقق عملية التعويم الخاصة بحالة توليد الاستطاعة، وخرج العبور مرتبط بثلاثة أماكن خرج  $\langle Pw,Low \rangle$  و  $\langle Pw,Med \rangle$  و  $\langle Pw,High \rangle$ .

يتم عند قدح العبور، وبناءً على تابع الانتماء، حساب القيمة التي يجب إسنادها إلى كل مكان من أماكن الخرج الثلاثة. تمثل إشارة فرق الاستطاعة، وتتمثل في هذه الطبقة من خلال مكان دخل، وعبور  $\Delta P$  Fuz-، وخرج العبور مرتبط بخمسة أماكن خرج  $\langle \Delta P,NB \rangle$  و  $\langle \Delta P,NM \rangle$  و  $\langle \Delta P,Z \rangle$  و  $\langle \Delta P,PM \rangle$  و  $\langle \Delta P,PB \rangle$ .



الشكل (11): جزء من شبكة بتري العائمة لتعويم القيمة Pw

### الطبقة الثانية: مرحلة مضاعفة الأماكن

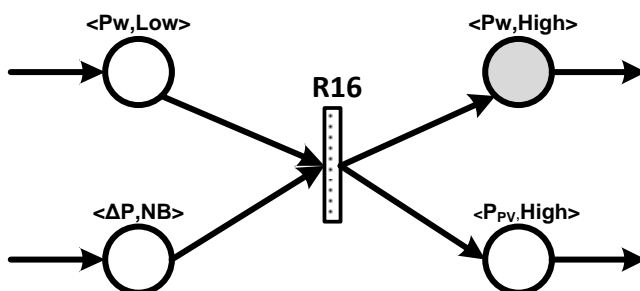
تمثل الطبقة الثانية طبقة العبورات المضاعفة، يرتبط كل مكان خرج من أماكن الخرج في الطبقة الأولى  $\langle Pw,Low \rangle$  و  $\langle Pw,Med \rangle$  و  $\langle Pw,High \rangle$  بعبور مضاعف يرتبط خرج كونه مرتبط بخمسة أماكن خرج، وعدد أماكن الخرج المرتبطة بكل عبور من العبورات الخمسة المرتبطة بالأماكن  $\langle \Delta P,NB \rangle$  و  $\langle \Delta P,NM \rangle$  و  $\langle \Delta P,Z \rangle$  و  $\langle \Delta P,PM \rangle$  و  $\langle \Delta P,PB \rangle$ .

و  $\langle \Delta P, PB \rangle$  هو ثلاثة أماكن خرج. وظيفة العبور في هذه المرحلة نقل القيمة الموجودة في مكان الدخل إلى عدد أكبر من أماكن الخرج.

### الطبقة الثالثة: تحقيق القواعد

تمثل الطبقة الثالثة طبقة إيجاد العلاقات Rules بين المتغيرات المختلفة. يمثل العبور في هذه الطبقة تابع Minimum يختار القيمة الصغرى المتواجدة في أماكن الدخل المرتبطة بهذا العبور، وإسناد هذه القيمة إلى مكاني الخرج المرتبطين به. يبين الشكل (12) جزء من شبكة بتري العائمة التي تمثل القاعدة التالية:

**IF  $\Delta P$  IS NB AND  $P_w$  IS LOW THEN  $P_w\_Ref$  IS High ALSO  $P_{pv\_Ref}$  IS High**



الشكل (12): تمثيل القواعد في شبكة بتري العائمة

يوجد مكان دخل له الفرضية  $\langle P_w, Low \rangle$  وتسد له قيمة تمثل قيمة تابع الانتماء لقيمة الاستطاعة المولدة من المولد الريحي  $\mu_{Low}(P_w)$ ، وهي تمثل جزء الشرط IF  $P_w$  IS LOW. ومكان دخل له الفرضية  $\langle \Delta P, NB \rangle$  والذي يمثل قيمة تابع الانتماء لقيمة فرق الاستطاعة  $\mu_{NB}(\Delta P)$  والتي تمثل جزء الشرط IF  $\Delta P$  IS NB.

عند قرح العبور يتم اختيار القيمة الصغرى من مكاني الدخل Minimum ( $\mu_{Low}(P_w)$  ,  $\mu_{NB}(\Delta P)$ ) وإسناد خرج التابع إلى مكاني الخرج، الأول له الفرضية  $\langle P_w, High \rangle$  والذي يرتبط بقيمة إشارة التحكم الخاصة بقيمة الاستطاعة المطلوبة من المولد



الريحي، ومكان الخرج الثاني له الفرضية  $\langle P_{PV,High} \rangle$ . يبين الجدول (1) تمثيل الطبقة الثالثة حيث يمثل العمود الأيسر العبوات والبالغ عددها 15 عبور  $\{R16,R17,\dots,R30\}$ ، ويمثل العمود الثاني حصول الأحداث، ويمثل العمود الثالث الشروط المختلفة.

الجدول (1): توضيح تمثيل الطبقة الثالثة لشبكة بترى العائمة للمولد الريحي

Rule	Events		Condition	State $P_w$ - Ref
R16	$P_w$ is Low	$\Delta P$ is NB	C6 & C1	High
R17	$P_w$ is Low	$\Delta P$ is NM	C6 & C2	High
R18	$P_w$ is Low	$\Delta P$ is Z	C6 & C3	Low
R19	$P_w$ is Low	$\Delta P$ is PM	C6 & C4	Low
R20	$P_w$ is Low	$\Delta P$ is PB	C6 & C5	Low
R21	$P_w$ is Med	$\Delta P$ is NB	C7 & C1	High
R22	$P_w$ is Med	$\Delta P$ is NM	C7 & C2	High
R23	$P_w$ is Med	$\Delta P$ is Z	C7 & C3	Med
R24	$P_w$ is Med	$\Delta P$ is PM	C7 & C4	Low
R25	$P_w$ is Med	$\Delta P$ is PB	C7 & C5	Low
R26	$P_w$ is High	$\Delta P$ is NB	C8 & C1	High
R27	$P_w$ is High	$\Delta P$ is NM	C8 & C2	High
R28	$P_w$ is High	$\Delta P$ is Z	C8 & C3	High
R29	$P_w$ is High	$\Delta P$ is PM	C8 & C4	Med
R30	$P_w$ is High	$\Delta P$ is PB	C8 & C5	Low

الجدول (2): الشروط المختلفة الواردة في الجدول السابق

C1:	IF	$\Delta P$	IS	<i>NB</i>	THEN .....
C2:	IF	$\Delta P$	IS	<i>NM</i>	THEN .....
C3:	IF	$\Delta P$	IS	<i>Z</i>	THEN .....
C4:	IF	$\Delta P$	IS	<i>PM</i>	THEN .....
C5:	IF	$\Delta P$	IS	<i>PB</i>	THEN .....
C6:	IF	$P_w$	IS	<i>Low</i>	THEN .....
C7:	IF	$P_w$	IS	<i>Med</i>	THEN .....
C8:	IF	$P_w$	IS	<i>High</i>	THEN .....

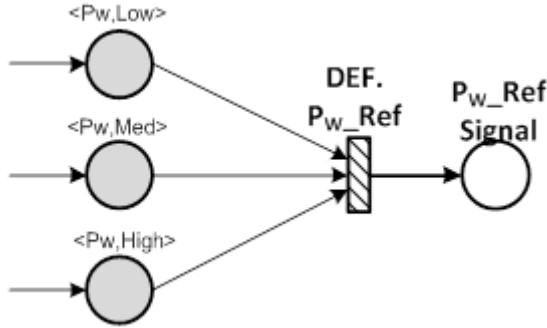
#### الطبقة الرابعة: طبقة العبوات التجميعية

يرتبط كل عبور بعدد من أماكن الدخل التي لها الفرضية نفسها *NB* أو *NM* أو *Z* أو *PM* أو *PB*. يمثل العبور في هذه الطبقة تابع Maximum ، وعند قرح العبور يتم اختيار القيمة العظمى من قيم أماكن الدخل المرتبطة به وإسناد هذه القيمة إلى مكان الخرج المرتبط به.

#### الطبقة الخامسة: طبقة فك التعويم

تمثل الطبقة الخامسة في شبكة بتري العائمة عملية فك التعويم Difuzzification كما هو موضح في الشكل (13)، يوجد في هذه الطبقة ثلاث أماكن دخل وعبور وحيد DEF *Pw-Ref*، ومكان خرج وحيد يمثل إشارة التحكم بطاقة العنفة *Pw-Ref Signal*. يمثل

العبور تابع رياضي يحقق عملية فك التعويم. يتم عند قرح العبور DEF. Pw-Ref وبناءً على تابع الانتماء لإشارة التحكم بطاقة العنفة يتم حساب إشارة التحكم اللازمة.



الشكل (13): طبقة فك التعويم في شبكة بطري العائمة

### 4.3 النتائج ومناقشتها

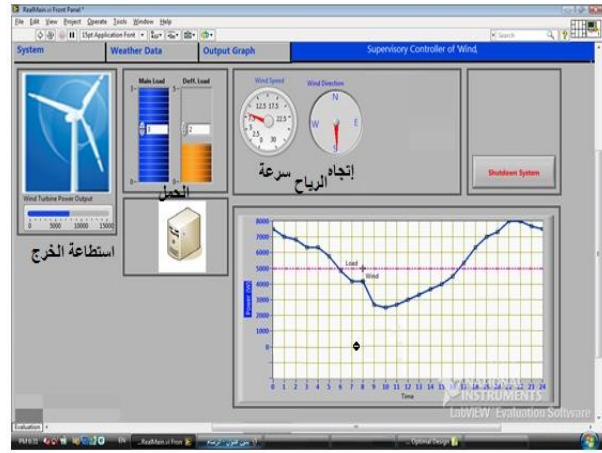
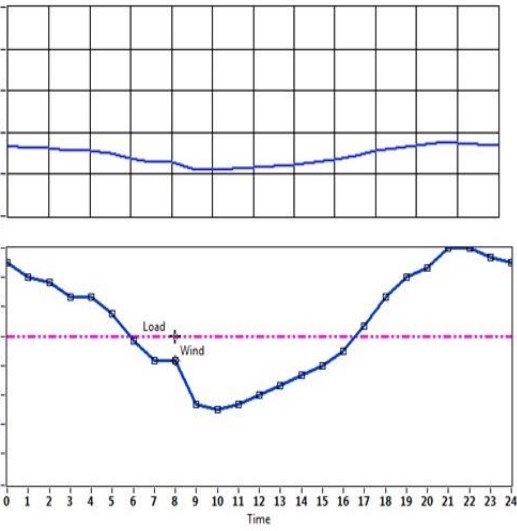
أنشأنا محاكاة لعنفة ريحية باستخدام الحزمة البرمجية Lab VIEW واستخدمنا Fuzzy System Designer لصياغة المتحكم الإشرافي العائم والأداة CPN tools لإدارة العنفات الريحية.

❖ محاكاة باستخدام الحزمة البرمجية Lab VIEW لملاحقة نقطة التشغيل

#### العظمى للعنفة

اختبرنا أداء النظام على عددٍ من حالات التشغيل المختلفة لثلاث عنفات ريحية وعند أحمال كهربائية مختلفة: حمل كهربائي منخفض 3KW واسمي 6KW وعالي 11KW. يبين الشكل (14) تغيرات الاستطاعة المنتجة بواسطة عنفة ريحية حسب سرعة الرياح وخلال 24 ساعة بالنسبة للحمل الكهربائي. علماً أن الاستطاعة الاسمية للعنفة هي 6000 واط.

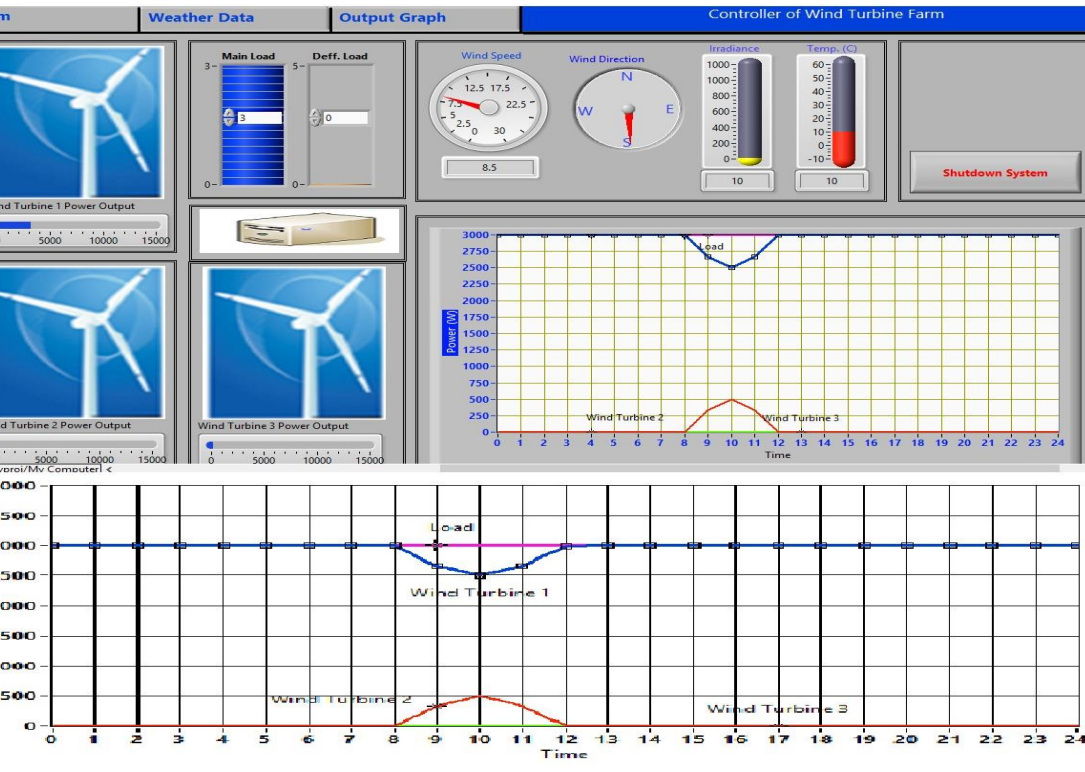
طريقة جديدة للتحكم عن بعد بمزارع الرياح باستخدام SCADA-OPC وشبكات بتري الضبابية



الشكل (14): الواجهة الرئيسية وتغير الاستطاعة للعنفة الواحدة WT حسب سرعة الرياح خلال 24

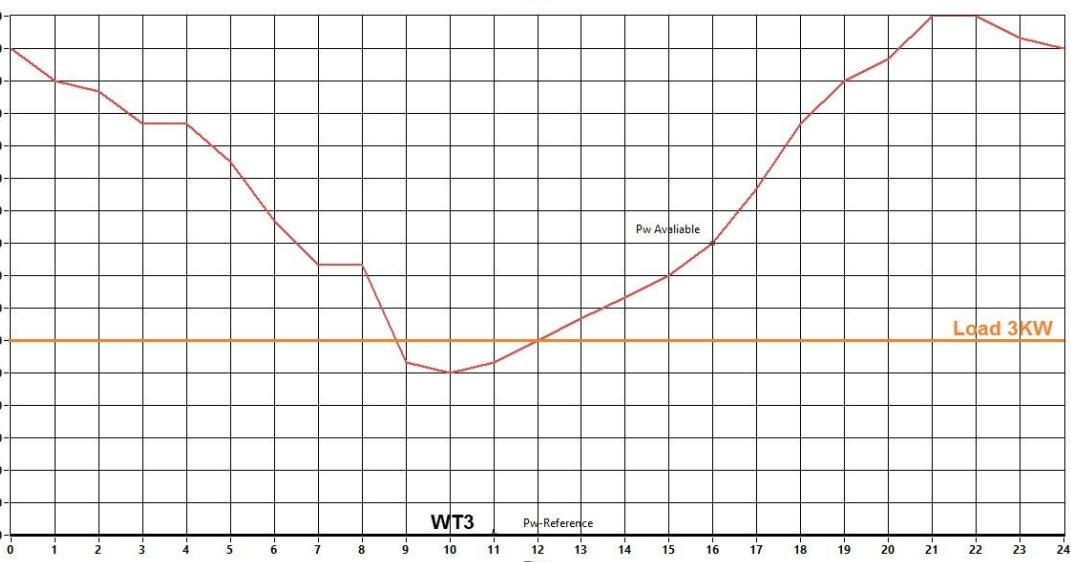
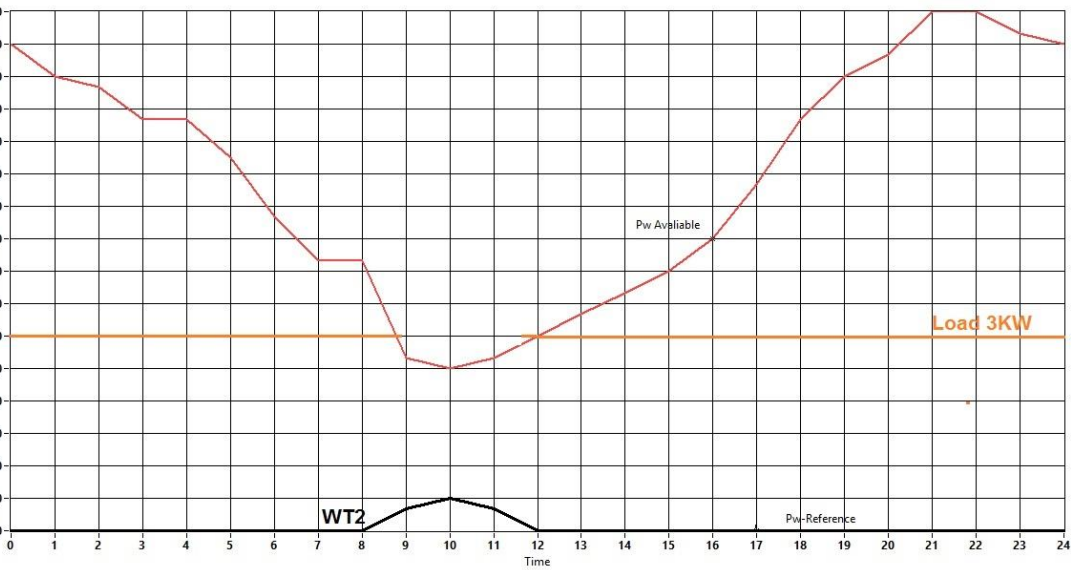
ساعة

الاختبارات:



الشكل (15): الواجهة الرئيسية وتعويض الاستطاعة بواسطة عتفة واحدة WT

# طريقة جديدة للتحكم عن بعد بمزارع الرياح باستخدام SCADA-OPC وشبكات بتري الضبابية

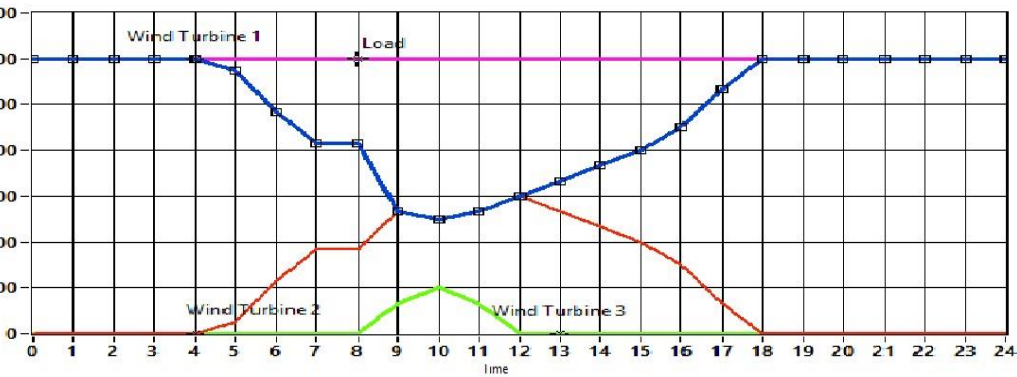
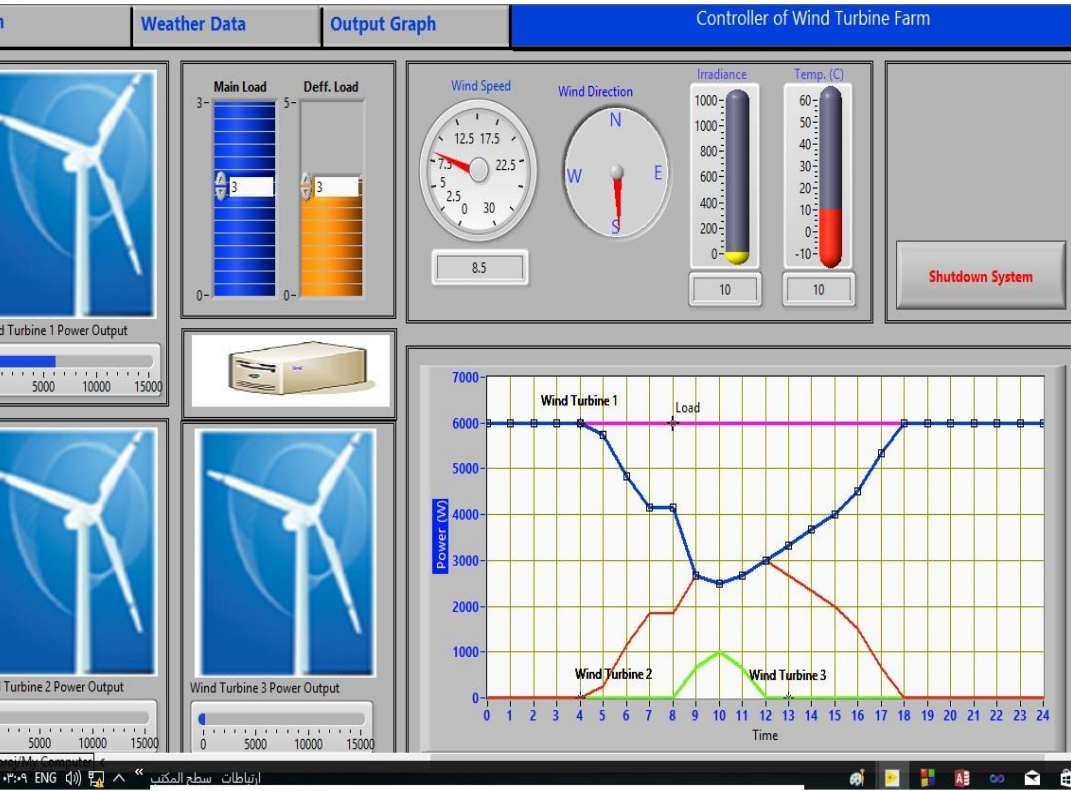


الشكل (16): تعويض انخفاض الاستطاعة بواسطة العنفة WT2 وعدم الحاجة للعنفة WT3`

حسب الاستطاعة المطلوبة  $P_{availab-ref}$

### المناقشة:

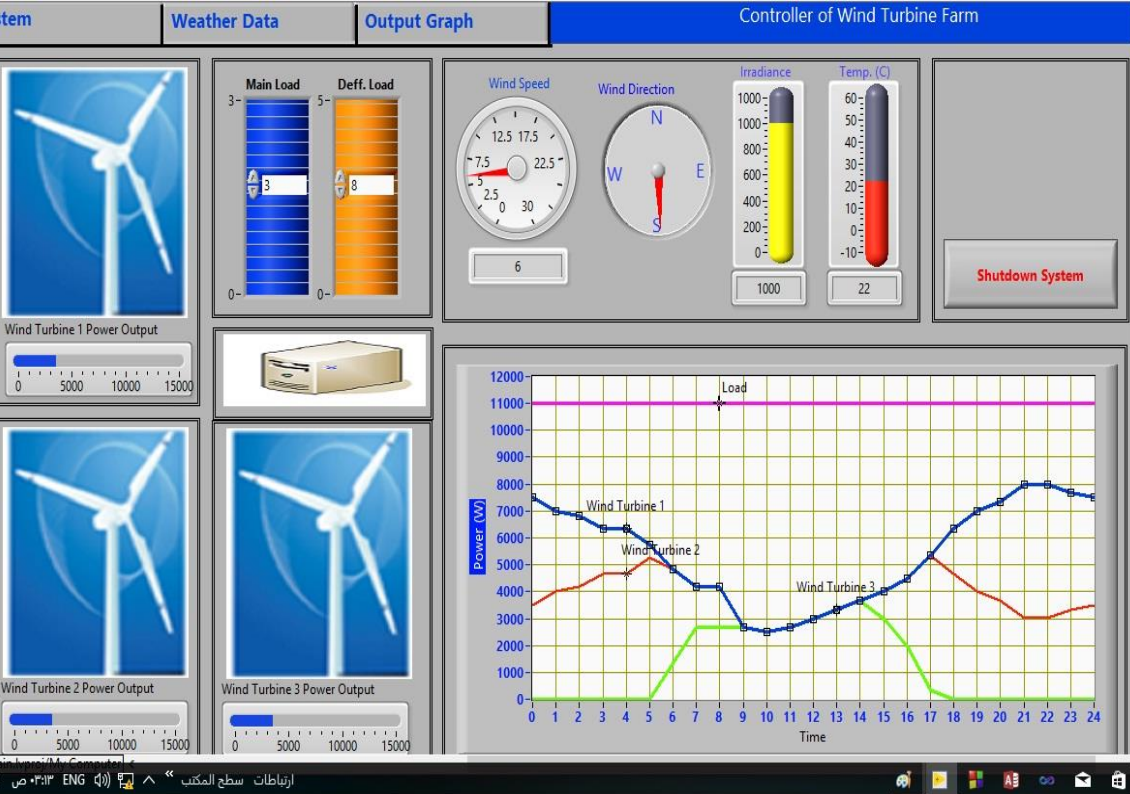
يبين الشكلان 15 و16 أنه بانخفاض سرعة الرياح أثناء النهار انخفضت الاستطاعة الكلية المتاحة وانخفضت معها الاستطاعة التي يقدمها المولد الريحي WT1 وصارت أقل بكثير من الاستطاعة الحمل 3KW، رغم ملاحقة نقطة التشغيل العظمى للعنفة الريحية بواسطة المتحكم الإشرافي العائم. بهذه الحالة عنفة واحدة غير كافية لتغذية الحمل الكهربائي. لذلك الحل هو زيادة عدد العنفات الريحية (أي مزرعة ريحية) لتغذية الحمل الكهربائي بشكل مستمر وبدون انقطاع وتعويض انخفاض الاستطاعة وهنا يكفي استخدام عنفة واحدة WT2 وليس بحاجة للعنفة WT3`. وذلك حسب الاستطاعة المطلوبة.



الشكل (17): تعويض انخفاض الاستطاعة بواسطة العنفة WT2 وبسيط بواسطة العنفة WT3

حسب الاستطاعة المطلوبة  $P_{avail-ref}$  بالنسبة للحمل





الشكل (18): تعويض انخفاض الاستطاعة بواسطة العنفة WT2 و العنفة WT3 حسب

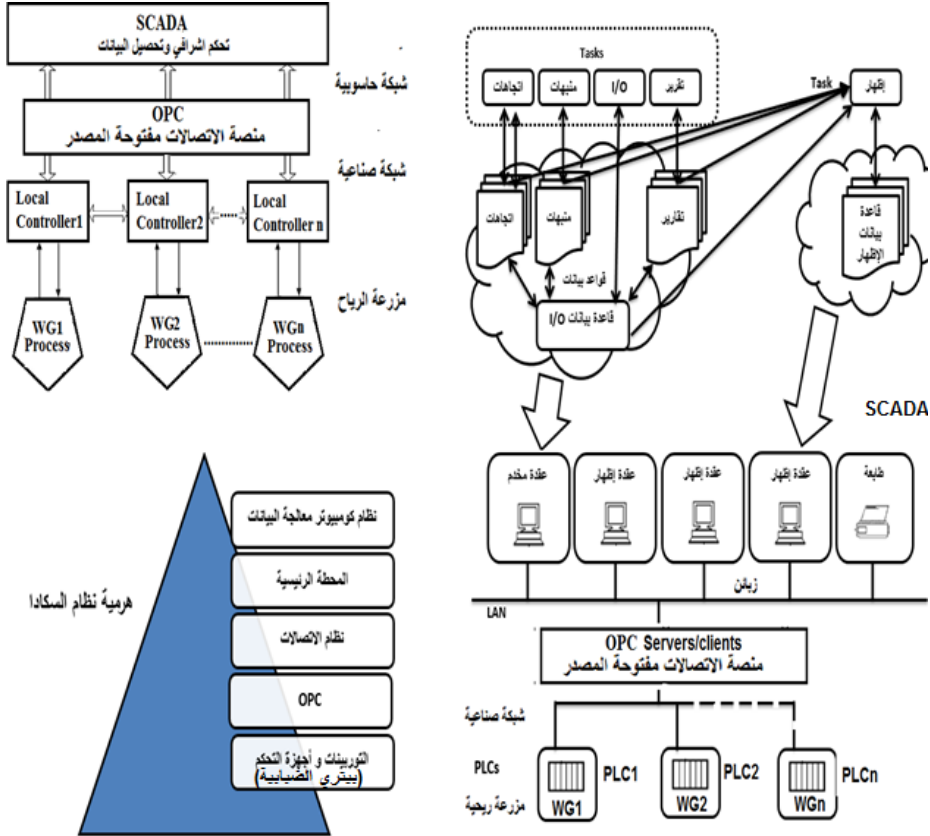
الاستطاعة المطلوبة بالنسبة للحمل

نلاحظ أنه كلما زاد الحمل الكهربائي ونقصت سرعة الرياح، كلما كان الحاجة لإشراك عنفات إضافية بحيث تغذي الحمل الكهربائي باستمرار دون انقطاع للتيار الكهربائي وهي

الغاية الاساسية من مزرعة الرياح. الشكل(18) يبين تدخل العنفةً WT2 بشكل كبير و WT3 بشكل أقل. أما من أجل حمل كهربائي أكبر من الاستطاعة الاسمية فإن العنفتان WT3 و WT3 تساعدان العنفة بشكل ملحوظ. يمكن تطوير الدراسة من أجل استطاعات ضخمة وعندها نحتاج الى مزرعة رياح ومتابعة باستخدام نظام SCAD-OPC لجمع البيانات والمراقبة عن بُعد والتحكم في مزارع الرياح. OPC بروتوكول OPC يسمح لبرمجيات المراقبة والتحكم SCADA بالنفاذ إلى بيانات المتحكمات وبروتوكولاتها على اختلاف أنواعها واختلاف الشركات الصانعة لها.

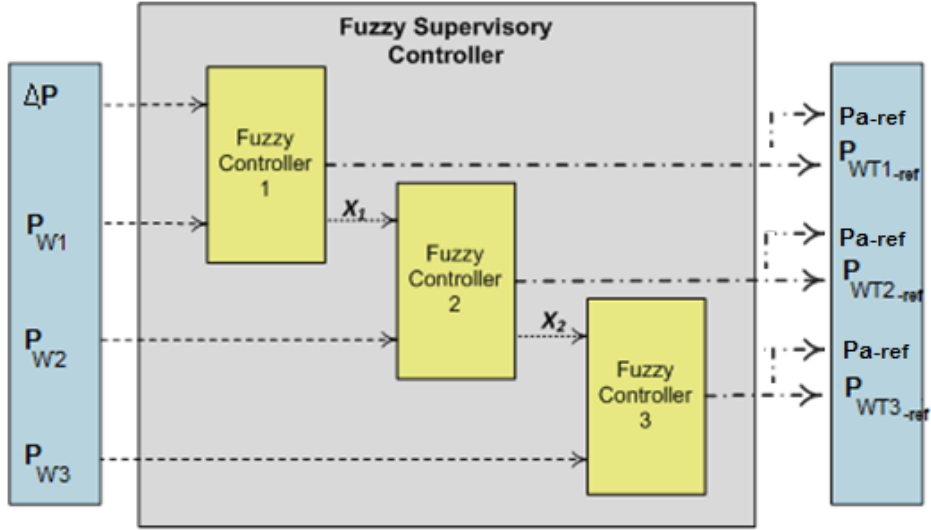
❖ تصميم المتحكم العائم الإشرافي SCAD-OPC ذو البنية الهرمية لإدارة مزرعة ريحية

تم تصميم متحكم إشرافي عائم SCAD-OPC ذو بنية هرمية للتحكم بمزرعة ريحية كما هو موضح في خطأ! لم يتم العثور على مصدر المرجع.



الشكل (19): نظام SCAD-OPC ذو البنية الهرمية للتحكم بمزرعة ريحية

حيث يتم في المرحلة الأولى تصميم متحكم عائم Local Fuzzy Controller1 مهمته اتخاذ القرار بالاستطاعة التي يجب أن تقدمها العنفة الريحية الأولى بالنسبة للحمل. وبعد ذلك يتم الانتقال إلى المتحكم الثاني Local Fuzzy Controller 2 والمتحكم الثالث Local Fuzzy Controller 3 لتحديد الاستطاعة التي يجب أن تقدمها العنفة الريحية الثانية والثالثة لمساعدة العنفة الأولى لتعويض النقص في الحمل الكهربائي. كما هو موضح بالشكل (20).



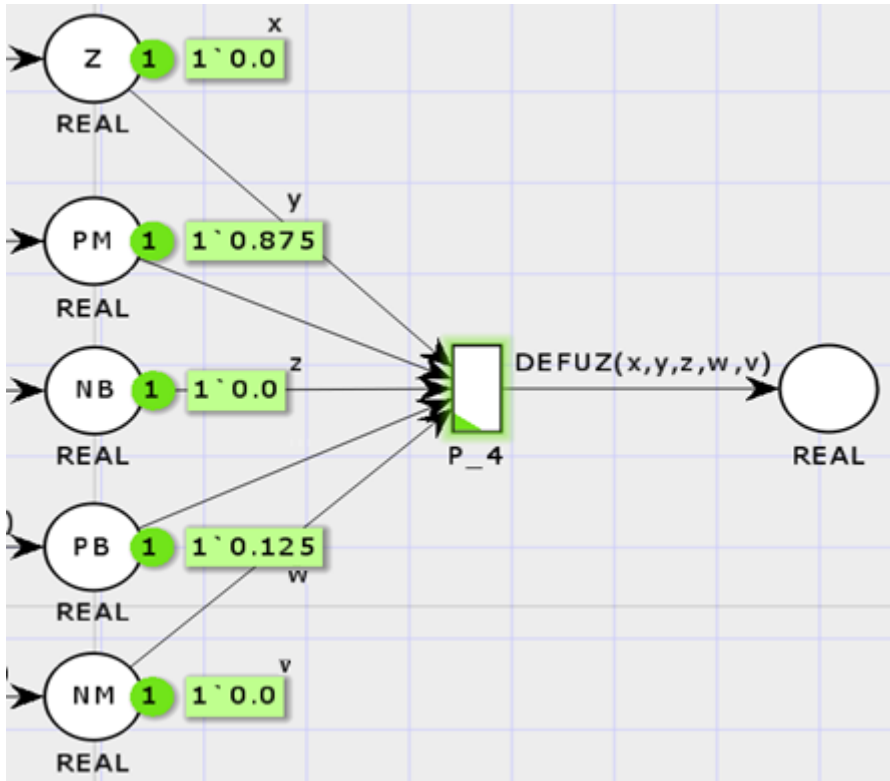
الشكل (20): المخطط الصندوقي للتحكم العائم الاشرافي

ويبين الشكل خطأ! لا يوجد نص من النمط المعين في المستند. (21) نموذج شبكة بتري

لطبقة فك التعميم، يسند تابع ينفذ عملية فك التعميم  $\text{fun DEFUZ}(x,y,z,w,v)$  إلى خرج

العبور. نضيف الجزء البرمجي التالي إلى منطقة التعريفات:

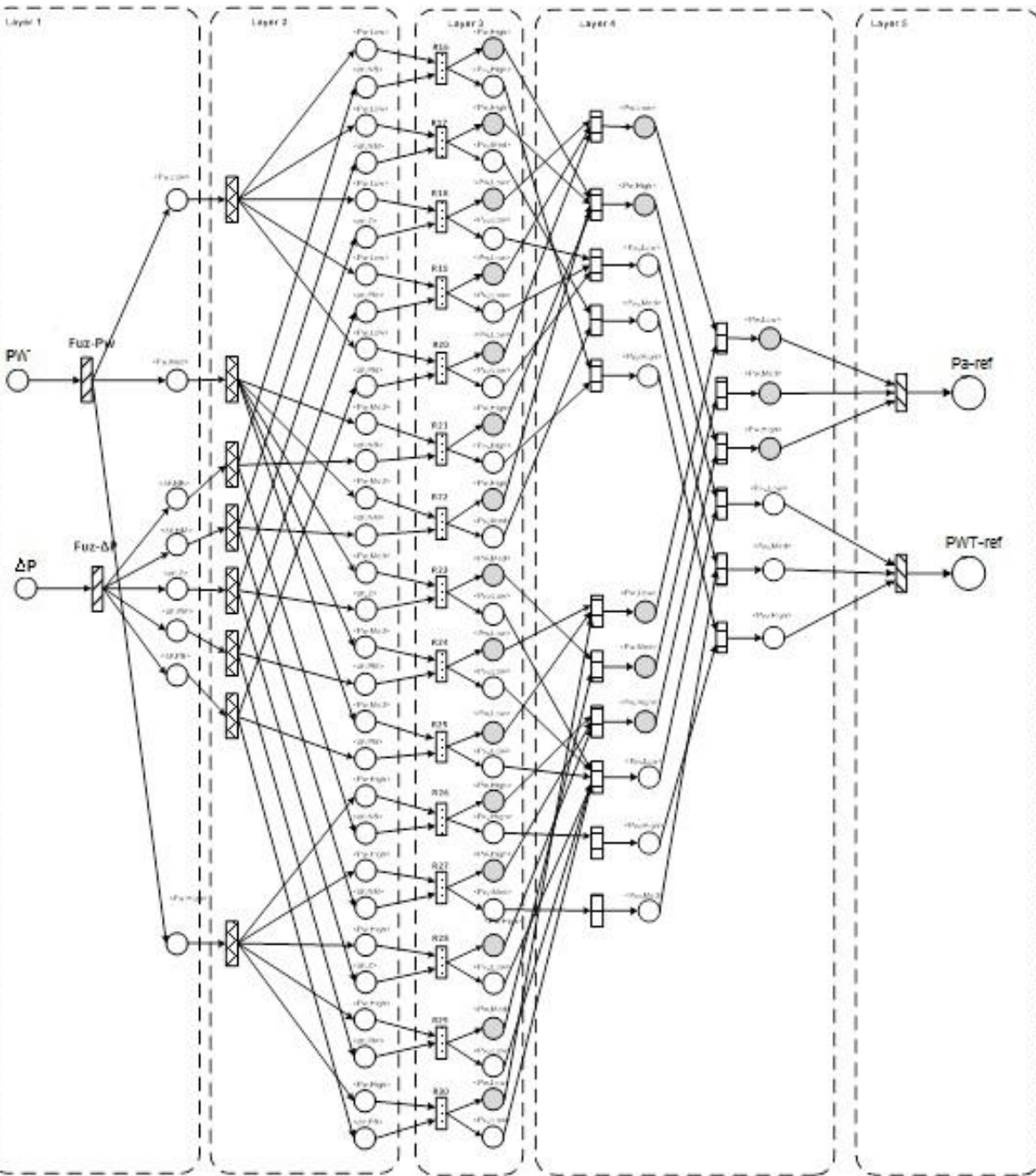
$$\text{fun DEFUZ}(x,y,z,w,v) = ((0.0 * x) + (0.875 * y) + ((\sim 0.0) * z) + (0.125 * w) + ((\sim 0.0) * v)) / (x + y + z + w + v)$$



الشكل خطأ! لا يوجد نص من النمط المعين في المستند.(21): جزء من محاكاة مرحلة فك التعويم

في شبكة بتري العائمة

ويبين الشكل (22) مخطط شبكة بتري العائمة النهائي المصمم بطبقاتها الخمس لإدارة عنفة ريحية المشروحة سابقا بالتفصيل وهي: طبقة التعويم ، مرحلة مضاعفة الأماكن، طبقة إيجاد العلاقات Rules بين المتغيرات المختلفة، طبقة العبور التجميعية لاختيار القيمة العظمى المطلوبة  $P_{available}$  من قيم أماكن الدخل المرتبطة به ( NB أو NM أو Z أو PM أو PB) وإسناد هذه القيمة إلى مكان الخرج PWT-Ref Signall. وأخيراً طبقة فك التعويم وتمثل بواسطة تابع رياضي يحقق هذه المرحلة. عند قدح العبور -DEF. PW. Ref تحسب إشارة التحكم بطاقة العنفة الريحية بناءً على تابع الانتماء لإشارة التحكم بالطاقة.



الشكل (22): شبكة بترية عائمة لإدارة استنطاعة عنفة ريحية PWT بالنسبة لقيمة استنطاعة مطلوبة

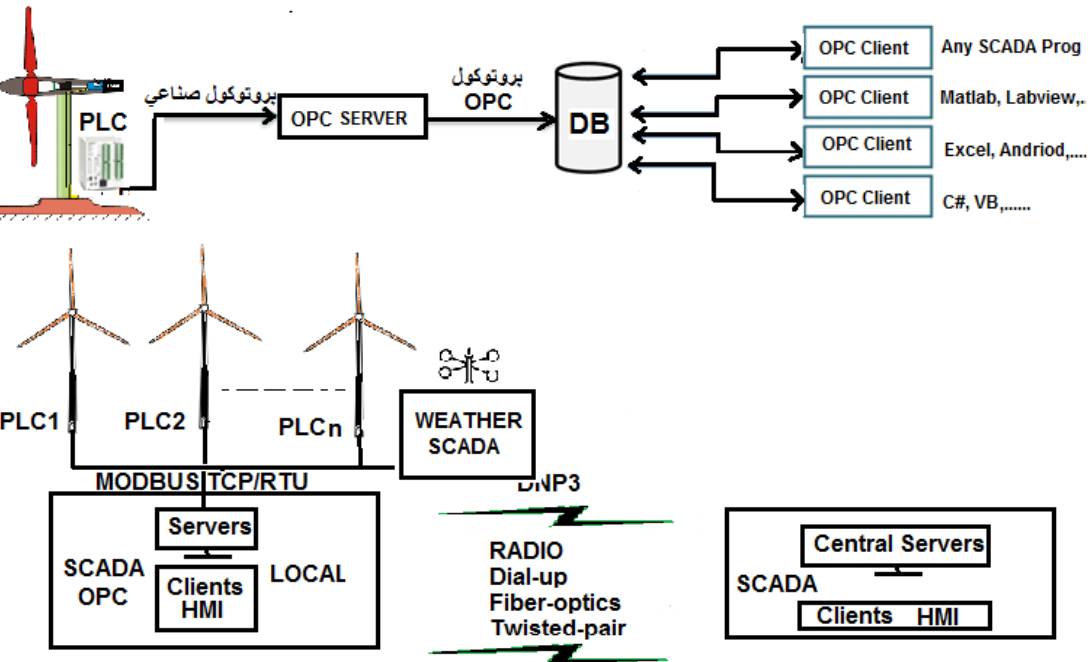
$P_{available}$

### ❖ مخططات تنفيذ بروتوكولات الـ OPC و DNP3

إن أغلب استخدامات بروتوكول الـ OPC تكون بغرض السماح لبرمجيات المراقبة والتحكم SCADA بالنفاذ إلى بيانات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة PLCs وأمثالها، سنقوم هنا بتوضيح الاعدادات اللازمة لتوظيف بروتوكول الـ OPC بشقيه المخدم والزيون في تطبيق المزرعة الريحية.

سنستخدم في هذا التطبيق العملي الـ OPC الكلاسيكي نظرا لانتشاره الكبير واستحواذه على أغلب منتجات سوق الأتمتة وذلك بالرغم من صدور نسخة الجيل الثاني من البروتوكول ( OPC UA ).

لبدء مشروع تحكم يربط بين متحكم منطقي ما وبرمجية تحكم ومراقبة SCADA باستخدام بروتوكول الـ OPC يلزم شقين من العمل، الأول عتادي عملي و الآخر برمجي. الشكل (23) يبين البنية العامة التي لنظام SCADA-OPC.





### الشكل(23): البنية العامة التي لنظام SCADA-OPC

في البداية وبشكل مختصر، فإن وظيفة الـ OPC Server تتحصر في مخاطبة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة PLCn بهدف القراءة منه والكتابة فيه، حيث يقوم بالاتصال بالمتحكم وفقاً لبروتوكول محدد يفهمه المتحكم ويجعل البيانات التي قام بجلبها متاحة لأي OPC Client متصل معه.

يقوم OPC Client بتحديد المخدم المطلوب ومن ثم ينشأ اتصال معه، فيستطيع عندها الزبون الاطلاع على جميع البيانات المُعرّفة ضمن المخدم وتحديد أي من هذه البيانات مطلوبة له ليُعرفها كمتحولات ضمن بنيته البرمجية (تضمن عناصر المخدم ضمن الزبون).

بعد نجاح الاتصال بينهما، يقوم الزبون بالإرسال إلى المخدم طالبا تحديث البيانات التي قام باختيارها، يُصطلح على تسمية هذه البيانات بالعناصر Items، ليقوم المخدم عند استقبال الطلب من الزبون بالاستجابة له وتحديث البيانات التي طلبها وفقاً لقيم كان المخدم قد قام مسبقاً بتحصيلها من المتحكم المنطقي.

يقوم الزبون بعدها بعرض البيانات المُحدّثة للمستخدم بأي شكل يريده (شكل رسومي Graphics - على شكل إنذارات Alarms - على شكل منحنيات بيانية Trends ... الخ) ويمكنه أيضاً تخزينها للاستفادة منها لاحقاً (SCADA- OPC Historical Data Access). من الجدير بالذكر أنه لا يمكن للـ OPC Client أن يطلب بيانات غير مُعرّفة مسبقاً ضمن الـ OPC Server.

يتبادل الـ OPC Client البيانات مع الـ OPC Server وفق معيار الـ OPC، أما الـ OPC Server فهو يخاطب المتحكم المنطقي وفق بروتوكول صناعي يدعمه المتحكم مثل (Modbus, PROFI Bus, CAN ..).

من ذلك نستنتج أن إنشاء وبرمجة OPC Server يتطلب دراية ببنية البروتوكول الذي يعمل عليه المتحكم و امتلاك صلاحية النفاذ إليه و معرفة بمواقع الذاكرة فيه، وهو أمر غير متاح غالباً، لذلك نجد أن أغلب مزودي OPC Server هم ذات الشركات المصنعة للمتحكمات، وهو أيضاً سبب في كون ال OPC Server غير متوفر بشكل مجاني. والبرنامج الذي لدينا يعمل لوقت محدد.

يجب التذكر دوماً منعاً للالتباس، أن الجانب المتعلق باتصال ال OPC Server مع المتحكمات لا يخضع لبروتوكول ال OPC، أما اتصال OPC Client مع ال OPC Server فهو معياري يخضع لقواعد ومتطلبات لبروتوكول ال OPC.

### 4.3.5 الآفاق المستقبلية

- في هذا البحث تم إجراء اختبارات الأداء على بروتوكول OPC النافذ إلى البيانات (OPC DA) كونه هو السائد حتى الآن في السوق العالمية. مستقبلاً ، يمكن إجراء اختبارات مشابهة للاختبارات التي تم إجراؤها في هذه الدراسة لكن على إصدار الجيل الثاني من بروتوكول ال OPC وهو OPC UA. والذي يتميز بالخصائص الآتية: منصة الاتصال مستقلة عن نوع نظام التشغيل، قابلية التوسع والأداء العالي أثناء الاتصال، دعم الإنترنت والجدران النارية، الأمان وإمكانية التحكم بالوصول، إمكانية العمل والتشغيل بين الشركات المختلفة، إمكانية بناء ال OPC UA باستخدام لغات برمجية متعددة منها (ANSI C، Java، NET) ، مخدم ال OPC UA يمكن له وفق البنية الجديدة أن يكون متضمن داخل المتحكم وهي ميزة أعطت مرونة كبيرة للمعيار، يدعم أيضاً اتصال آلة بآلة Machine To Machine بمعنى أنه يسمح بالاتصال المباشر بين المكونات الصناعية مع البرمجيات من أجل تحصيل البيانات والتحكم.
- تم تطوير نموذج شبكة بتري عالية المستوى بخمس طبقات نقترح أن يتم البحث عن إمكانية إلغاء طبقة مضاعفة الأماكن، أو اختصار عدد الأماكن في طبقة تحقيق

القواعد، لما له من انعكاس كبير على حجم شبكة بتري، والذي يؤدي إلى زيادة سهولة تصميم ومراجعة تحقيق شبكة بتري.

- يعتمد أداء العنفات الريحية على الظروف المناخية، لذلك نقترح أن يتم تطوير المتحكم الإشرافي ليتضمن خوارزميات تتعلق بالتنبؤ المستقبلي لتغيرات الطقس بما يحسن من أداء المتحكم الإشرافي.
- 
-

## المراجع العلمية

- [1] "مبادئ الطاقة المتجددة وتطبيقاتها" - 2002، علي عباس القره غول ، وهيب عيسى الناصر [1]
- [2] Schneider Electric, March 2012- "**Telemetry & Remote SCADA Solutions**". White paper. SCADA Systems.
- [3] SHETTY and KOLOK. 2011. **Hechatronics system design**
- [4] Kurt. J, Lars .M. K, 2009- "**Colored Petri Net**". Thesis, Springer.
- [5] <http://www.cs.au.dk/CPNTools>, "**CPN Tools**" homepage. [Online].
- [6] Seung Jun Lee and and Poong Hyun Seong, "**Development of Automated Operating Procedure System Using Fuzzy Colored Petri Nets for Nuclear Power Plants,**" *Annals of Nuclear Energy*, vol. 31, pp. 849-869, May 2004.
- [7] Xu. L, Kezunovic. M, November 2006 – "**Implementing Fuzzy Reasoning Petri-nets for Fault Section Estimation**". IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.1, No1.
- [8] Hajizadeh. A, Golkar. M. G, 2007- "**Intelligent Power Management Strategy of Hybrid Distributed Generation System,**" *Electrical Power and Energy Systems*, pp. 783 – 795.
- [9] Hernández. M, 2007- "**Hierarchical Control OF Hybrid Power Systems**". University Of Puerto Rico, Mayaguez Campus, Ms.c Thesis.
- [10] Voutetakis. Spyros, Chrysovalantou. Z, Dimitris Ipsakis. D, 2009. "**On Line Energy Management Strategy of an Off-Grid Hybrid Power Generation System**". *International journal of hydrogen energy* 34 (16), 7081-7095
- [11] Thana. F. Al-Shatter. M. N, Eskander.N.M, Mohsen T. El-Hagry.M. T, 2006- "**Energy Flow and Management of a Hybrid Wind/PV/Fuel Cell Generation System**". *Energy Conversion and Management*, vol. 47, pp. 1264-1280.
- [12] Price. J.J, Sanchez. C, 2006- "**Simplified wind turbine generator aerodynamic models for transient stability studies**". Iberdrola Renewables. IEEE PSCE 2006, PP. 986-992.
- [13] Gonthier. J. R, 2011- "**Surveillance centralisé de fermes éoliennes**". Vogel Communications Group. MSM.
- [14] M. ATASSI. M, 2017- "**Increase Reliability of Aeolian using Fuzzy Smith Predictor Modeled by Colored Petri Nets**". A. Prof. Dep. of Mecatronics Engineering – FMEE- Al Baath University. Vol 39. N°43.
- [15] Mukund R. P, 1999- "**Wind and Solar Power System**". CRC Press.

- [16] Kaltschmitt. M Wolfgang. S, Wiese. A, 2007- "**Renewable Energy**" Technology, Economics and Environment. Germany: Springer, Eds.
- [17] Munteanu. I, Ibratcu. A, CutululisN.A, Ceanga. E, 2008- "**Optimal Control of Wind Energy Systems**". Springer.
- [18] Hongxing. Y, Wei. Z, Chengzhi. L, 2009- "**Optimal Design and Techno-Economic Analysis of a Hybrid Solar–Wind Power,**" Applied Energy, pp. 163–169.
- [19] Huynh. Q. M, Nollet. F, Essounbouli. N, 2011- "**Control of permanent magnet synchronous generator wind turbine for stand-alone system using fuzzy logic**" EUSFLAT-LFA 2011, pp. 720-727.
- [20] Mehmet. D, Serefoglu. S, "**Design and Implementation Of a Microcontroller-based Wind Energy Conversion System**" Tubitak.
- [21] Shakil. A. K, Ismail H, Jakir Hossain. M, June 2011- "**Fuzzy Logic Based Control Scheme for Power Optimization of a Small Wind Turbine System with DC-DC Converter**" International Journal of Electronics & Communication Technology, vol. 2, no. 2, pp. 18-21.
- [22] STUART. B, 2004- "**Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)**" Instrument Society of America, Research Triangle, NC Systems.
- [23] ATASSI. M, 2015- "**SCADA- OPC- FPN-Micro**" - . Al-Baath University. Mechatronics Dept. FMEE
- [24] ATASSI. M 2016- "**Large-scale control**". Damascus Universities. Masters. Computer & automation Dept. FMEE.
- [25] Zarour. O, 2018- "**Study a Hybrid Industrial Network Using OPC Protocol**" Master in control and automation engineering. Damascus Universities.
-

