

تحسين أداء العنفات الريحية بالتحكم بزاوية انحراف الشفرات باستخدام المنطق العائم

م. عفراء الحاج*

أ.د. كمال ناجي**

المخلص

يظهر هذا البحث تصميم متحكم عائم للتحكم بزاوية انحراف شفرات العنفة الريحية بهدف تحسين أداء العنفة الريحية والحصول على أعظم استطاعة ممكنة وتقليل الضياعات الناتجة عن التسارع والتباطؤ في دوران العنفة الريحية ومن ثمَّ تحسين معامل كفاءة أداء العنفة الريحية؛ وذلك من خلال الإفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي وبصورة خاصة المنطق العائم، إذ إنَّ المتحكم العائم يساعدنا على تجاوز نقاط الضعف في المتحكمات التقليدية التي تحتاج إلى نموذج رياضي معقد للمنظومة المتحكم بها.

صُمِّمَ متحكم عائم تناسبي تكاملي وقُورِنَ بمحتكم تقليدي تناسبي تكاملي لنظام عنفة ريحية ممثلة بتابع التحويل الواصف لهذه العنفة، ووُضِعَت القواعد اللغوية للمتحكم وتوابع الانتماء لإشارتي الخطأ وتراكم الخطأ باستخدام بيئة ماتلاب، وقُورِنَت النتائج التي أظهرت استجابة فضلى عند استخدام المتحكم العائم.

الكلمات المفتاحية: انحراف شفرات العنفة الريحية، الذكاء الاصطناعي، المنطق العائم

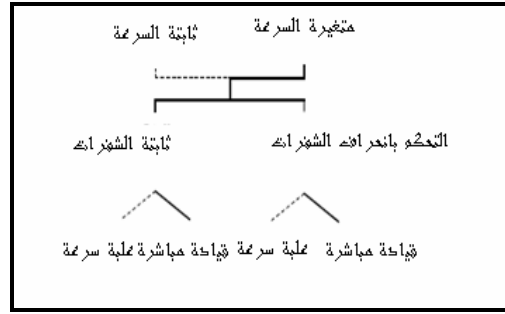
* أعد هذا البحث في سياق التسجيل لرسالة الدكتوراه للمهندسة عفراء الحاج
** كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- قسم هندسة الطاقة الكهربائية- جامعة دمشق

- المقدمة

تصمم العنفات الريحية لإنتاج الطاقة الكهربائية بأقل تكلفة قدر الإمكان، لذلك تصمم العنفة الريحية لتعطي أعظم استطاعة ممكنة عند سرعة رياح تساوي نحو 15m/sec، ولا تصمم العنفات لتعطي أعظم استطاعة عند سرعات رياح عالية جداً لأنها سرعات نادرة.

1. التحكم باستطاعة العنفات الريحية:

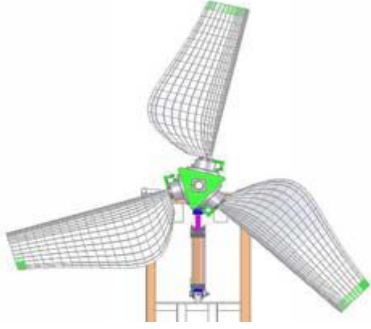
في ظروف سرعات الرياح العالية من الضروري حجب جزء من طاقة هذه الرياح من الدخول إلى العنفة؛ وذلك لتجنب الضرر الناتج عنها في العنفة. ولذلك تزود العنفات الريحية بأنظمة تحكم مختلفة لأداء تلك المهمة، تقسم العنفات الريحية الحديثة كما هو مبين في الشكل (1) إلى قسمين من حيث نظام التحكم المستخدم فيها:



الشكل(1)مخطط تقسيم العنفات الريحية من حيث نظام التحكم [1]

1.1 العنفات الريحية ذات زاوية انحراف ثابتة: [1]

في هذا النوع من العنفات تكون الشفرات مثبتة على الصرة بزوايا ثابتة غير قابلة للانحراف، ومن جهة أخرى فهي مصممة بحيث إنها في اللحظة التي تصبح فيها سرعة الرياح عالية جداً يتولد اضطراب على جانب شفرات الدوار التي لا تواجه الرياح، ويبين الشكل (2) هذا النوع من العنفات الريحية.

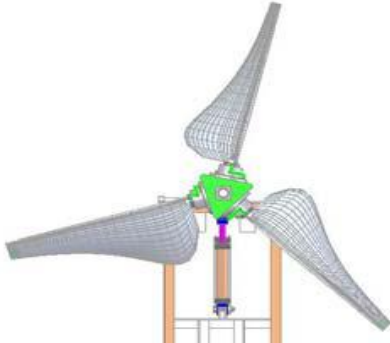


الشكل (2) عنفة ريحية بوضعية ثابتة للشفرات (من دون انحراف) [1]

1.2 العنفات الريحية ذات التحكم بزوايا انحراف

الشفرات: [1]

في العنفات ذات التحكم بزوايا انحراف الشفرات يقوم المتحكم فيها بتفحص استطاعة الخرج عدة مرات في الثانية الواحدة، عندما تصبح استطاعة الخرج عالية جداً يُرسلُ أمراً إلى آلية الانحراف لتحرف الشفرات متجنباً الرياح المواجهة لها، وبالعكس تقوم بإعادة الشفرات إلى الوضعية السابقة عندما تنخفض سرعة الرياح، إن تصميم متحكم بزوايا الانحراف يتطلب ذكاء المهندس للتأكد من أن شفرات الدوار تنحرف في كل مرة يتطلب الأمر ذلك بالزاوية المطلوبة فقط للحفاظ على استطاعة الخرج أعظمية قدر الإمكان، وغالباً ما تكون آلية الانحراف المستخدمة من النوع الهيدروليكي، يبين الشكل (3) هذا النوع من العنفات الريحية.



الشكل (3) عنفة ريحية ذات شفرات بوضعية انحراف [1]

2.2 التحكم بالانحراف:

من أجل عنفة ريحية متغيرة السرعة مزودة بنظام تحكم بالانحراف الذي ينظم زاوية الشفرات الفعالة، يمكن الحصول على أعظم استطاعة باستخدام تقنية التحكم المناسبة، يستخدم التحكم بانحراف الشفرات عملياً لتخفيض الحمل الزائد للعنفة في سرعات الرياح العالية.

وهذا ينظم بشكل فعال العزم المولد في العنفة الريحية، وتصنف التقنيات المستخدمة في التحكم بانحراف الشفرات إلى passive , active.

في التحكم السلبي (passive) تتباطأ شفرات العنفة عند سرعة رياح محددة أقل من السرعة الاسمية للحفاظ على الاستطاعة ثابتة عند القيمة الاسمية، تستخدم بعض النظم مشغل هيدروليكي أو مشغل كهربائي لكل شفرة.

في التحكم الفعال (active): تضبط زاوية انحراف الشفرات بشكل مستمر بالاعتماد على البارامترات المقيسة لتوليد الخرج المطلوب في بعض الحالات، أو لمراقبة نظم التحكم الفعالة إذ يصبح النظام غير مستقر خلال ظروف الرياح المتغيرة بشكل كبير، ويمكن استنتاج زاوية الانحراف المطلوبة بالاعتماد على الخطأ بالاستطاعة أو العزم، أو يمكن استنتاج إشارة التحكم هذه بالاعتماد على الخطأ في سرعة المحور. [3]

2.3 مميزات العنفة الريحية:

يمكننا تمييز العنفة الريحية بواسطة المنحنى Cp-TSR المبيّن بالشكل (5)، إذ TSR هي نسبة سرعة الذروة، وهي النسبة بين السرعة الخطية لذروة شفرة العنفة وبين سرعة الرياح.

ويبين المنحنى أن معامل الكفاءة Cp يتغير مع النسبة TSR، ويفترض أن العنفة تعمل عند قيم Cp عالية من معامل الكفاءة معظم الوقت،

يبين الشكل (5) تغير منحنى Cp-TSR عندما تُضبط زاوية الانحراف في سرعات الرياح المنخفضة إلى المتوسطة

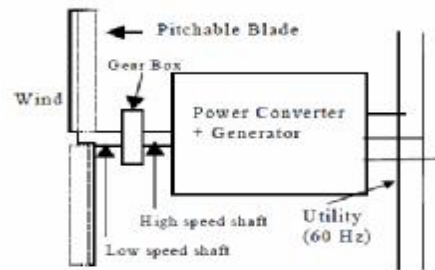
2. تشغيل العنفة الريحية ذات الانحراف المتغير عند سرعات رياح مختلفة: [2]

هناك العديد من فوائد القدرة على تشغيل العنفة الريحية متغيرة الانحراف عند سرعات رياح متغيرة، أحد الأسباب وراء رغبتنا في تشغيل العنفة الريحية عند سرعات متغيرة هي حقيقة أن التحكم بالانحراف هو عملية ميكانيكية، مما يعني أن زمن رد الفعل سيصبح مسألة حرجة في تصميم العنفة الريحية.

2.1 التحكم بالعنفة الريحية متغيرة السرعة متغيرة الانحراف:

تناول البحث العنفة الريحية متغيرة السرعة متغيرة الانحراف وذلك بهدف تعريف أهمية التحكم بزوايا انحراف الشفرات للحصول على استطاعة الخرج المطلوبة خلال عمل العنفة الريحية وفي مختلف ظروف الرياح.

أحد المفاهيم الأساسية لديناميكية التحكم هو أن تغير السرعة بطيء نسبياً مما يجعل من الصعب استخدام مقوم الاستطاعة للتحكم بالسرعة في تطبيقات السرعة المتغيرة الكبرى، لذلك فإن التحكم بزوايا الانحراف وسيلة سريعة نسبياً، ويمكن أن تستخدم بشكل أفضل لتنظيم جريان الاستطاعة، وبشكل خاص عندما تقترب السرعة من حدود السرعات العالية.



الشكل (4) نظام عنفة ريحية ذات شفرات متغيرة الانحراف [2]

يبين الشكل (4) النظام المعتبر إذ يمكننا التحكم بخرج المولد لنحصل على الاستطاعة المطلوبة،

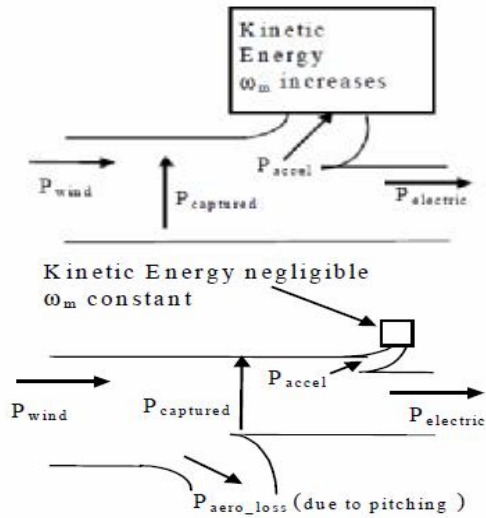
نلاحظ من المعادلة (2) السابقة أنه يمكن زيادة الاستطاعة المولدة من العنفة الريحية إذا عمل النظام عند معامل كفاءة أعظمي $C_p \max$ ، وكلما تغيرت سرعة الرياح وجب ضبط سرعة الدوار ليتبع التغيير، وهذا ممكن في العنفات الريحية متغيرة السرعة، ولسوء الحظ ليست هناك إمكانية لقياس سرعة الرياح بالوثوقية المطلوبة، ولتجنب استخدام سرعة الرياح في الحساب يمكننا إعادة كتابة المعادلة السابقة باستبدال سرعة الرياح ومعامل الكفاءة C_p .

يمكن حساب الاستطاعة الهدف كما في المعادلة (3) أو بشكلها المبسط (4)، ويمكن ملاحظة أن الاستطاعة متناسبة مع مكعب سرعة الدوار. [11]

2.4 التوليد في العنفات الريحية ذات الانحراف المتغير:

يمكن استخدام التحكم بالانحراف المتغير لتجنب الاستطاعة الأيروديناميكية المولدة في العنفة الريحية. ويمكن التحكم بهذه القوى بضبط زاوية الانحراف للعنفة، يبين الشكل (6) تأثير التحكم بزوايا الانحراف في جريان الاستطاعة في العنفة الريحية.

من خلال التحكم بالانحراف يمكننا التحكم بالاستطاعة المستخرجة $P_{captured}$ من استطاعة الرياح P_{wind} بمشغل خاص بالانحراف (آلية انحراف)، ويكون التسارع أو التباطؤ نتيجة الفرق بين استطاعة الدخل إلى المولد والاستطاعة الأيروديناميكية التي تستخرجها العنفة الريحية.



الشكل (6) تأثير التحكم بالانحراف في جريان الاستطاعة [1]

نتحكم بزوايا الانحراف لنسمح للعنفة بأن تعمل عند ظروف مثالية، أمّا في منطقة سرعات الرياح العالية فنزيد من زاوية انحراف الشفرات لتجنب جزء من الاستطاعة الأيروديناميكية للشفرات.

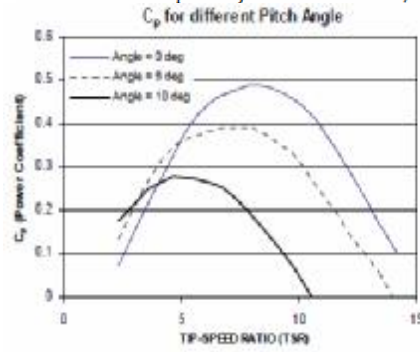
$$TSR = \frac{\omega_m R}{V} \quad (1)$$

Where:

ω_m = rotor speed mechanical radian/sec

R = radius of the blade meter

V = liner speed of the wind meter/sec



الشكل (5) منحنى Cp-TSR لعنفة ريشية [2]

$$P_{TARGET} = 0.5 \rho A C_{PTARGET} \left[\frac{R}{TSR_{TARGET}} \right]^3 \omega_m^3 \quad (2)$$

$$P_{mech} = 0.5 \rho A C_p V^3$$

Where:

ρ = air density (kg/m^3)

A = swept area (m^2)

C_p = coefficient of wind turbine

V = wind velocity (m/s)

$$P_{TARGET} = 0.5 \rho A C_{PTARGET} \left[\frac{R}{TSR_{TARGET}} \right]^3 \omega_m^3$$

$$P_{TARGET} = K_p (RPM)^3 \quad (4)$$

Where:

P_{TARGET} = Target power ($\max C_p$)

$C_{PTARGET}$ = C_p at TSR_{TARGET}

K_p = computed wind torbin data

RPM = rotor speed

من المعادلة (1) تتغير نسبة سرعة الذروة للعنفات ذات السرعة الثابتة ضمن مجال واسع اعتماداً على سرعة الرياح، ونعبر عن الاستطاعة المستخرجة بواسطة العنفات الريحية كما في المعادلة (2).

يصبح تحت التحكم وفي الوقت نفسه يزداد عزم المولد لقيمتة العظمى Trated.

إذا كان الفرق بين Tcaptured و Telectric موجباً تستمر سرعة الدوار بالازدياد في هذا المجال من التشغيل،
Tcaptured = Telectric مما يجبر العنفة على العمل بوضعية (stall mode).

ومن المتوقع أن يجري التحكم بسرعة دوران الدوار بشكل لحظي قبل أن تصل إلى حدها الأعلى عند rpmhi، يمكن تعديل صورة الاستطاعة المبيّنة في الشكل السابق على سبيل المثال: من النقطة C إلى النقطة B، ويمكن تعديل الصورة من شكل قفزة مفاجئة إلى شكل منحنى متدرج كما في الشكل (7).

مجال الـ rpm من القيمة rpm1 إلى القيمة rpmhi يسمى فتحة rpm (الرأسية). وإذا تمكنا من التحكم بمعدل الانحراف بشكل أسرع يمكن لهذه القيمة أن تصبح صغيرة جداً أو معدومة.

ومن ثمّ تصبح rpm1 مساوية rpmhi، ومن ناحية أخرى إذا كان معدل الانحراف بطيئاً جداً يجب أن تكون الفتحة rpm كافية للحد من سرعة دوار العنفة.

3. المتحكمات المستخدمة للتحكم بزواوية انحراف شفرات العنفة: [1][4][3]

الطاقة المستخرجة من العنفة الريحية:

تتناسب الاستطاعة المستخرجة من العنفة الريحية مع مكعب سرعة الرياح، ويمكن التعبير عنها بالعلاقة:

$$P_t = \frac{1}{2} C_p * \rho * A * v^3$$

إذ:

□ كثافة الهواء

A المساحة التي تمسحها الشفرات

v سرعة الرياح

ويمكن للعنفة أن تستخرج فقط جزءاً من استطاعة الرياح وذلك بحسب قانون BETZ (الطاقة القصوى التي يمكن أن

ونتحكم بالاستطاعة الكهربائية بضبط استطاعة الخرج الكهربائية للمولد، وتعتمد خوارزمية التحكم المستخدمة لضبط الاستطاعة المولدة بالتحكم بالاستطاعة على عدد الدورات rpm، وبذلك يمكن استخدام مخطط P(rpm) تبعاً للمعادلة الأخيرة، وتثبت زاوية الانحراف بشكل عام لتحقيق منحنى Cp-TSR أعظمي.

سرعات الرياح العليا:

نسبة الانحراف المحدودة:

يمكن جعل التسارع أو التباطؤ معدوماً عند استطاعة كهربائية ثابتة، إذا كانت عملية التحكم بالانحراف سريعة جداً ونعير عن تسارع أو تباطؤ، سرعة الدوار بالمعادلة البسيطة الآتية:

$$\frac{dw_m}{dt} = \frac{1}{J} \int [(T_{captured}] - T_{electric}) dt$$

تتناسب سرعة الدوار مع مقلوب عدد الدورات، والفرق بين العزم الأيروديناميكي المستخرج من الرياح والعزم الكهربائي للحمل، ويتأثر العزم الأيروديناميكي بمعامل كفاءة تشغيل Cp وقابلية التحكم بالانحراف.

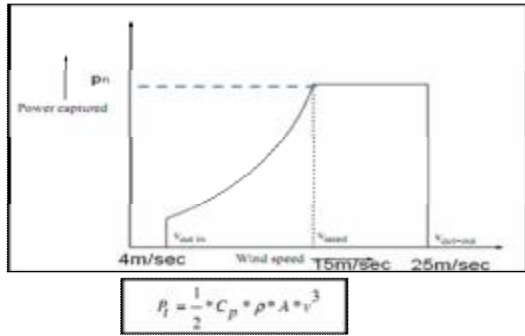
يبين الشكل (7) إستراتيجية التحكم بشكل عام، ففي سرعات الرياح المنخفضة إلى المتوسطة (OC)، نتحكم بالمولد بحيث يعمل العزم الأيروديناميكي عند معامل كفاءة أعظمي عند أي rpm, Cpmax.

أما في سرعات الرياح العليا، هناك طريقتان لتخفيض العزم الأيروديناميكي،

الطريقة الأولى التحكم بالانحراف، والثانية هي إجبار العنفة على العمل عند Cp أقل و TSR أقل (Stalling)، وتعدّ الطريقة الثانية مناسبة جداً للعنفات الريحية التي لها قابلية لتحقيق نسبة انحراف محدودة.

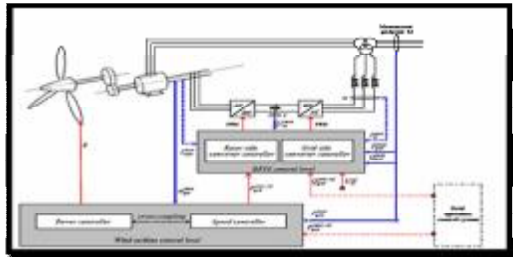
كما هو مبين في الشكل (7) في منطقة السرعات العالية هناك سرعة تدعى rpm1 التي يبدأ عندها الانحراف بأن

أما الشكل (10) فيوضح المناطق الأساسية الثلاث للتحكم بعمل العنفة الريحية إذ تبدأ العنفة الريحية بالعمل عندما تتجاوز سرعة الرياح السرعة V_{cut-in} وتكون نحو 4m/sec ، وتزداد الاستطاعة المنتجة منها مع ازدياد سرعة الرياح، وعند قيمة رياح معينة مصممة عليها العنفة الريحية تعطي عندها العنفة استطاعتها الاسمية وتكون وسطياً نحو 15m/sec .



الشكل (10) المناطق الأساسية الثلاث للتحكم بعمل العنفة الريحية [4] في حال استمرت سرعة الرياح بالتزايد يجب أن تحافظ العنفة الريحية على خرجها الاسمي عند قيمة ثابتة باستخدام نظام التحكم المناسب لهذا الغرض والخاص بكل منطقة تشغيل تبعاً لسرعة الرياح.

منطقة الرياح المتوسطة:



الشكل (11) نظام تحكم بعنفة ريحية في ظروف الرياح المتوسط [4] منطقة سرعات الرياح العالية:

يجب أن تتوقف العنفة الريحية عن العمل إذا استمرت سرعة الرياح بالتزايد وتجاوزت قيمة معينة تسمى $V_{cut-out}$ وتستخدم نظم واستراتيجيات تحكم مختلفة لأداء هذه المهمة سواء لتجنب سرعات الرياح العالية التي تسبب

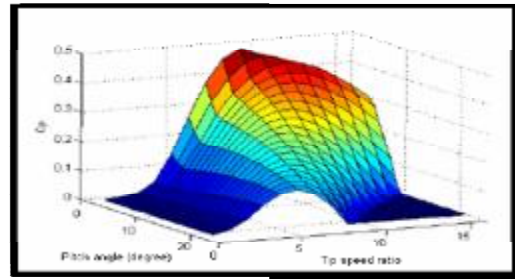
تستخرجها العنفة الريحية هي 59% من الطاقة الحركية للرياح)

ونعبر عن هذا المبدأ بمعامل كفاءة العنفة الريحية C_p ، وهو تابع لزاوية انحراف شفرات العنفة الريحية β ونسبة سرعة ذروة شفرات العنفة الريحية.

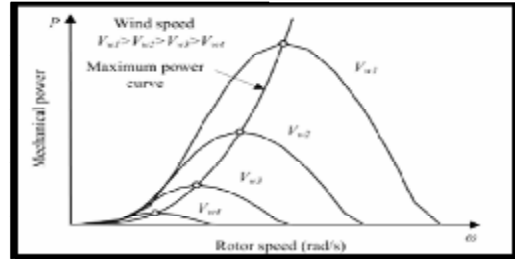
ونعرف نسبة سرعة ذروة شفرات العنفة الريحية بأنها النسبة بين السرعة الخطية لذروة الشفرة وبين سرعة الرياح.

ولذا فإن أي تغيير في سرعة الدوار أو سرعة الرياح سيؤدي إلى تغيير في نسبة سرعة ذروة الشفرات، ومن ثم إلى تغيير في معامل أداء العنفة الريحية، وفي هذا السياق سنتأثر الاستطاعة المنتجة من العنفة الريحية.

يبين الشكل (8) مجموعة منحنيات لـ $(C_p - TSR)$ حيث توافق القيم المثالية لـ TSR_{opt} معاملات أداء مثالية للعنفة الريحية C_{pmax} ، ويبين الشكل (12) الاستطاعة الميكانيكية المنتجة من شفرات العنفة الريحية كتابع لسرعة دوران الشفرات.

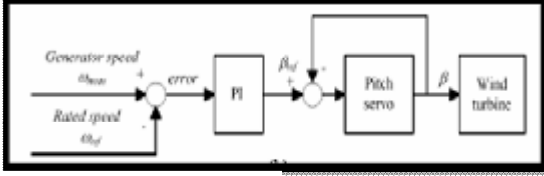


الشكل (8) مجموعة منحنيات $(C_p - TSR)$ [4]



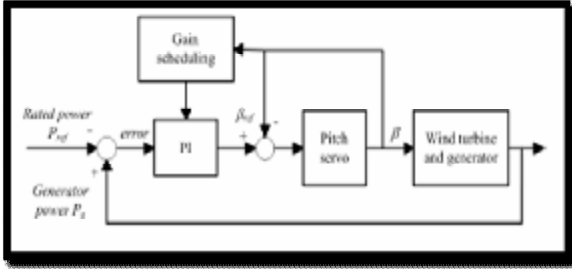
الشكل (9) الاستطاعة الميكانيكية المنتجة من شفرات العنفة الريحية كتابع لسرعة دوران الشفرات.

- سرعة مولد العنفة الريحية، كما يبيّن الشكل (13) حيث تُقارَن سرعة دائر المولد بقيمتها المرجعية وترسل إشارة الخطأ إلى متحكم PI ونحصل على قيمة زاوية الانحراف المرجعية.



الشكل (13) طريقة التحكم بزواوية الانحراف عن طريق سرعة دائر المولد [4]

- استطاعة المولد، كما هو مبين بالشكل (14) حيث ترسل إشارة الخطأ إلى متحكم PI، ومنه نحصل على القيمة المرجعية لزواوية الانحراف.



الشكل (14) طريقة التحكم بزواوية الانحراف باستخدام استطاعة المولد [4]

التغيرات اللاخطية لزواوية الانحراف مع تغيير سرعة الرياح في العنفة الريحية الكبيرة المبينة في الشكل (8) توضح ضرورة استخدام التحكم اللاخطي لهذا الغرض. عندما تقترب سرعة الرياح من قيمتها الاسمية المصممة عليها العنفة الريحية تكون حساسية العزم الأيروديناميكي تجاه زاوية الانحراف صغيرة جداً، لذلك نحتاج إلى متحكمات ذات ربح أكبر (حساسية أكبر) عند سرعات الرياح العالية إذ إنّ تغييراً بسيطاً بزواوية الانحراف سيكون له تأثير كبير في أداء العنفة الريحية.

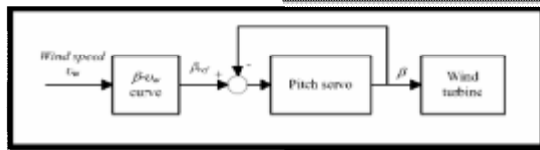
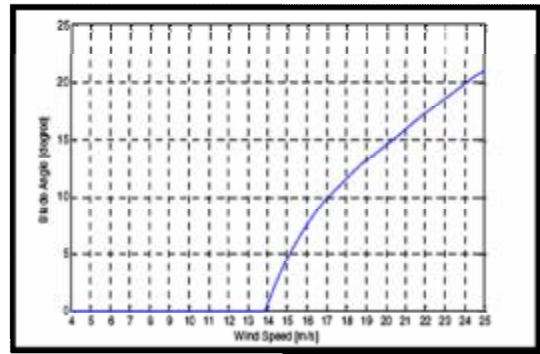
الضرر للعنفة الريحية أو للحفاظ على الاستطاعة الاسمية للعنفة الريحية، وسنذكر بعض هذه النظم.

- النظم التقليدية للتحكم بزواوية انحراف شفرات العنفة الريحية:

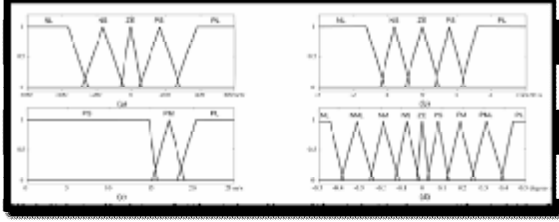
إن ضبط زاوية انحراف شفرات العنفة الريحية تعطينا وسيلة فعالة لتنظيم أداء العنفة الريحية في ظروف الرياح العالية أو حتى في ظروف التشغيل الطبيعية عند حدوث اضطراب مفاجئ في نموذج الرياح السائد.

يبين الشكل (11) إحدى استراتيجيات التحكم التقليدية المستخدمة للتحكم باستطاعة العنفة الريحية وأغلب الطرائق للتحكم بزواوية انحراف شفرات العنفة الريحية يجري التحكم تبعاً للقيمة المرجعية لزواوية الانحراف $ref\beta$ التي نحصل عليها بواسطة التحكم بقيم الدخل، ويمكن أن تكون على النحو الآتي:

- سرعة الرياح، كما يبين الشكل (12) يمكن أن نحصل بواسطة هذه الطريقة على القيمة المرجعية لزواوية الانحراف من المنحنى 0 زاوية الانحراف - سرعة الرياح (المبين بالشكل (12)، وهي تقنية بسيطة ولكنها غير مناسبة لعدم قدرتنا على قياس سرعة الرياح بدقة لحظياً.

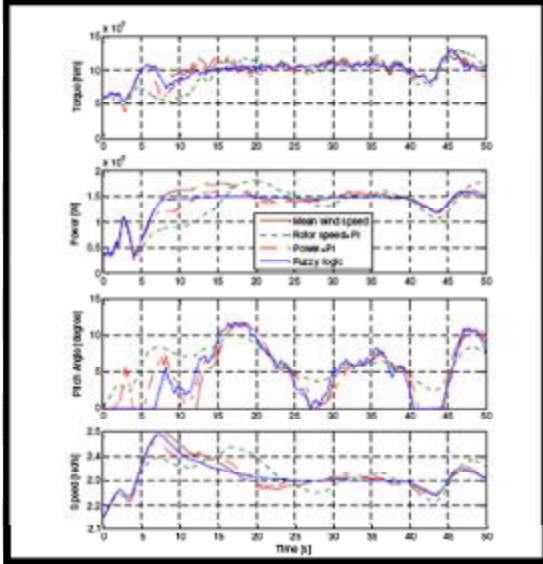


الشكل (12) طريقة التحكم بزواوية الانحراف باستخدام منحنى سرعة الرياح-زواوية الانحراف [4]



الشكل (16) توابع الانتماء [4]

ويعرض لنا الشكل (16) مقارنة بين الطرائق الأربعة المذكورة من حيث الأداء، إذ نجد أن المتحكم العائم بيدي أداء أفضل عند سرعات الرياح العالية إذ يقلل الجهد عن مكونات العنفة الريحية ونحصل على استطاعة أكثر استقراراً. [4]



الشكل (16) نتائج مقارنة استخدام الطرائق الأربعة المستخدمة للتحكم بزوايا الانحراف [4]

5. تصميم متحكم عائم للتحكم بانحراف شفرات العنفة الريحية:

قمنا بتصميم متحكم تناسبي تكاملي عائم FPI لتحقيق ما يأتي:

1. تحسين استجابة النظام في الأنظمة اللاخطية (مثل نظام العنفة الريحية).
2. التقليل من تأثير المحددات (البارامترات) غير المؤكدة (سرعة الرياح، واضطراب الرياح...)

4. إدخال تقنية المنطق العائم إلى المتحكمات بزوايا انحراف شفرات العنفة الريحية:

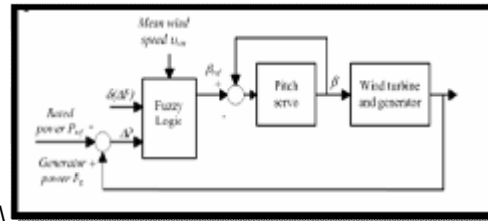
تفيد المتحكمات العائمة عندما لا تكون ديناميكية النظام معروفة جيداً أو عندما تكون متغيرات النظام وطبيعة عمله لاخطية.

مثل الرياح غير المستقرة التي فيها اضطرابات كبيرة. لذا نرغب في استخدام استراتيجيات تحكم متقدمة لتقليل الجهد عن العنفة، والحفاظ على استطاعة الخرج عند قيمتها الاسمية.

يطبق المنطق العائم طريقة استنتاج مشابهة لتفكير البشر في اتخاذ القرار، ولذلك تحتوي قواعد المعرفة للمتحكم على معرفة الخبير بالنظام.

والفائدة الأساسية في التحكم العائم هي عدم حاجتنا إلى معرفة دقيقة أو وصف دقيق لنظام العنفة الريحية. وتتضمن عملية تصميم المتحكم العائم المراحل الآتية:

- تحديد المدخلات.
- وضع القواعد.
- تصميم طريقة لتحويل النتائج العائمة للقواعد إلى إشارات خرج (فك التعويم) ويبين الشكل (15) مخطط المتحكم العائم المقترح كبديل للطرق التقليدية المذكورة.



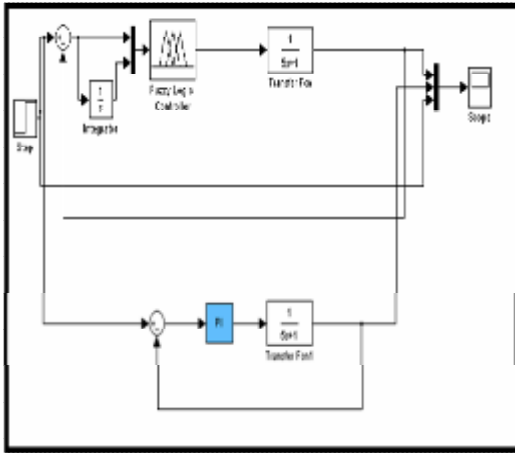
الشكل (15) التحكم بزوايا الانحراف باستخدام تقنية المنطق العائم [4] يمثّل الشكل (16) توابع الانتماء للدخل والخرج من حيث نوع التوابع ومجالاتها التي تُحدّدُ تبعاً لبارامترات النظام.

الثابت K: يمكن استنتاجه من نسبة مطال الاستجابة الثابتة (أي من أجل τ كبيرة جداً) إلى مطال الدخل الخطوي.

ثابت الزمن τ : النظام بحاجة إلى زمن يساوي τ للوصول إلى 63% من استجابته الثابتة. ووجدنا تابع التحويل لها من الشكل:

$$G = \frac{1}{1 + 5s}$$

أما فيما يتعلق بنظام التحكم بانحراف شفرات العنفة الريحية فقد قمنا ببناء عنصر التحكم FPI اعتماداً على بيئة برنامج Matlab؛ وجاءت تسميته FPI لأن إشارات الدخل للمتحكم هي إشارة الخطأ وتراكم الخطأ أو تكامل الخطأ، وبذلك يصبح متحكماً (تناسيباً تكاملياً عائماً) والشكل (17) يبين المخطط الصندوقي لمقارنة أداء المتحكمين PI, FPI للعنفة الريحية المقترحة الممثلة بتابع تحويلها



الشكل (17) المخطط الصندوقي لعملية التحكم بالنظام ومقارنة

المتحكمين PI, FPI

5.1 المتحكم العائم المقترح FPI ضمن بيئة ماتلاب:

كما ذكرنا سابقاً استخدمنا برنامج ماتلاب لتصميم المتحكم العائم و يبين الشكل (18) المتحكم العائم الذي

3. محاكاة السلوك البشري للقيام بعملية التحكم (بالاستطاعة المنتجة).

المحاكاة لعنفة ريحية مقادة بنظام تحكم عائم:

لإجراء المحاكاة للعنفة الريحية وأنظمة قيادتها هناك العديد من الطرائق المتبعة للحصول على النموذج الرياضي القابل للاستخدام في عملية المحاكاة مثلاً:

- استخدام المعادلات التفاضلية الواصفة للعنفة الريحية مع نظام القيادة بشفرات العنفة الريحية.

- استخدام توابع التحويل الواصفة للعنفة الريحية مع نظام قيادتها.

- استخدام البرامج الجاهزة المزودة بعناصر تمثل العنفة الريحية وعناصر نظام القيادة والتحكم بانحراف شفرات العنفة الريحية.

وفي بحثنا هذا اعتمدنا على استخدام توابع التحويل في تمثيل العنفة الريحية [6] وقد استعنا بمكتبة الماتلاب (simulink) وأخذنا من أحد أنظمة المزارع الريحية فيها نموذجاً لعنفة ريحية مقادة بمتحكم PI للتحكم بزواوية الانحراف، [7] واستعنا عن العنفة بتابع التحويل الخاص بها لنقوم بعملية تصميم المتحكم على أساس المقارنة لعنفة مثبتة ومقادة بمتحكم للغرض نفسه الذي سيصمم المتحكم لأجله؛ وهو التحكم بانحراف شفرات العنفة الريحية وقد استنتجنا تابع التحويل لهذه العنفة بطريقة (الاستجابة الخطوية) على الشكل الآتي:

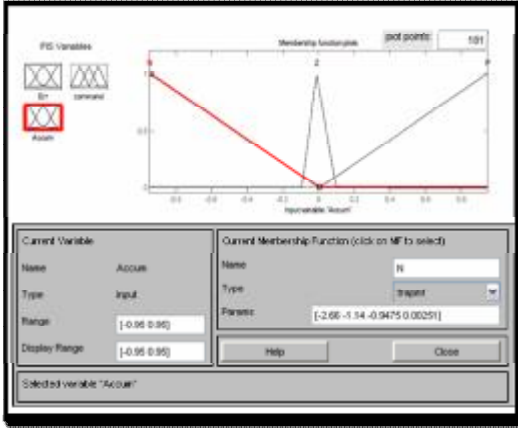
1. من الاستجابة الخطوية للعنفة الريحية المدروسة نوجد ثوابت تابع التحويل لنظام من الدرجة الأولى (تبعاً لشكل الاستجابة الخطوية نجد أن نظام العنفة المدروسة من الدرجة الأولى)

$$F(p) = \frac{K}{1 + tp} \quad .2$$

3. نحدد الثابتين K و τ بالاستعانة بالاستجابة الخطوية.

§ تابع انتماء إشارة تراكم الخطأ
يبين الشكل (20) النافذة التي نستطيع من خلالها تحديد:

- نوع المتغير (إشارة تراكم الخطأ)
- نوعه (إشارة دخل)
- مجال التابع ومجال عرضه
- نوع التابع

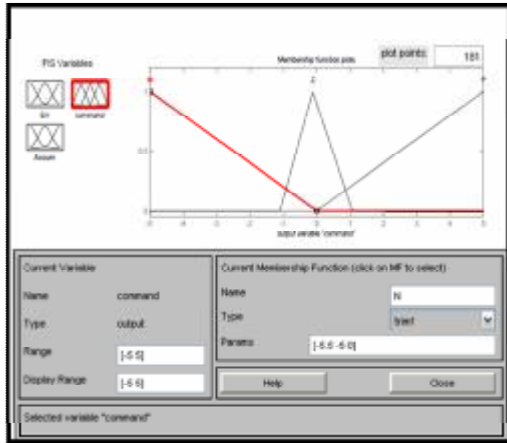


الشكل (20) تابع انتماء إشارة تراكم الخطأ

§ تابع انتماء إشارة الخرج:

يبين الشكل (21) النافذة التي نستطيع من خلالها تحديد:

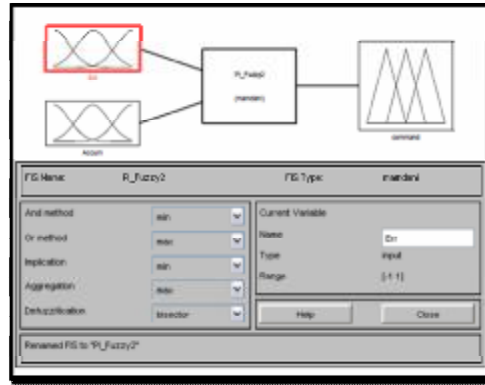
- نوع المتغير (إشارة الأمر)
- نوعه (إشارة خرج)
- مجال التابع ومجال عرضه
- نوع التابع



الشكل (21) تابع انتماء إشارة الخرج

قمنا بتصميمه مع إشارات الدخل والخرج والمعلومات التفصيلية التي تتضمن ما يأتي:

- اسم المتحكم: PI_FUZZY2
- نوع المتحكم: mamdani
- طريقة معالجة توابع الانتماء: and method, or method, implication aggregation, defuzzification,
- اسم المتغير المختار ونوعه ومجاله



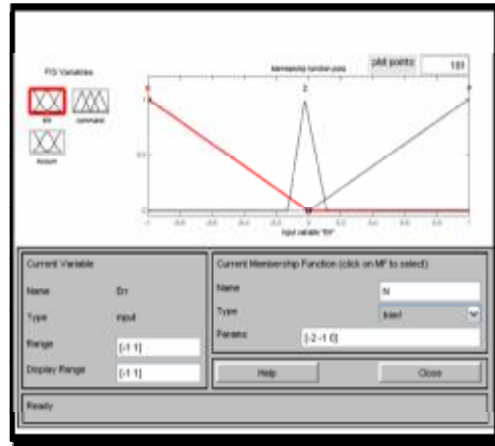
الشكل (18) النافذة التي تظهر لنا المتحكم العام

7.4 توابع الانتماء للمتحكم FPI:

§ تابع انتماء إشارة الخطأ

يبين الشكل (19) النافذة التي من خلالها نستطيع تحديد:

- نوع المتغير (إشارة الخطأ)
- نوعه (إشارة دخل)
- مجال التابع ومجال عرضه
- نوع التابع



الشكل (19) تابع انتماء إشارة الدخل

د

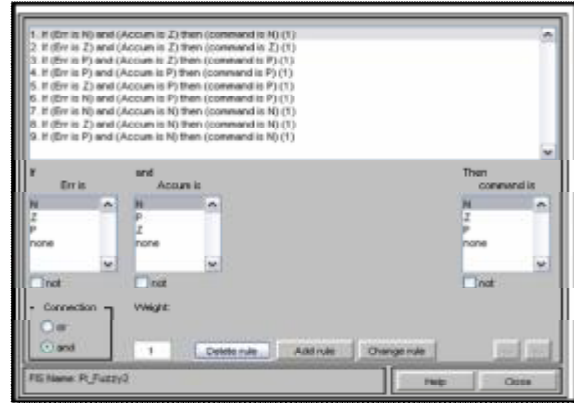
5.2 قواعد المتحكم FPI المقترح:

قمنا بوضع تسع قواعد للمتحكم FPI على شكل (-IF/ THEN)، تصف تغيّرات إشارة الخرج مع تغيّرات إشارتي الدخل، إذ تعبر الرموز N, Z, P, عن التعابير الآتية على الترتيب: negative, zero, positive.

قواعد المتحكم اللغوية:

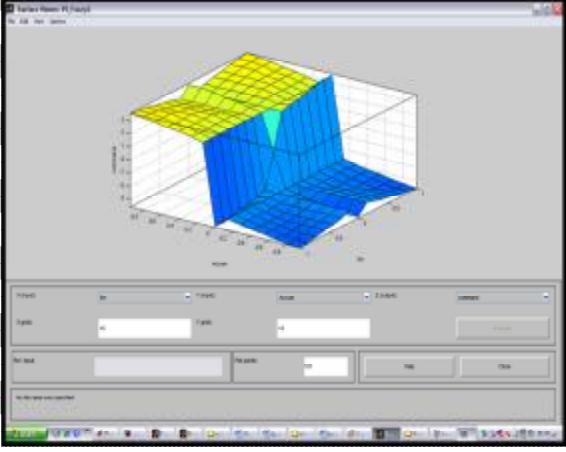
- If (error is N) and (accumilation is Z) then (command is N)
- If (error is Z) and (accumilation is Z) then (command is Z)
- If (error is P) and (accumilation is Z) then (command is P)
- If (error is P) and (accumilation is P) then (command is P)
- If (error is Z) and (accumilation is P) then (command is P)
- If (error is N) and (accumilation is P) then (command is P)
- If (error is N) and (accumilation is N) then (command is N)
- If (error is Z) and (accumilation is N) then (command is N)
- If (error is P) and (accumilation is N) then (command is N)

يبين الشكل (22) النافذة التي يمكننا من خلالها تحديد قواعد المتحكم من حيث عددها، المتغيرات اللغوية، العلاقة التي تربط بين الدخل والخرج، إضافة قواعد جديدة أو تعديل القواعد الموجودة أو مسح قواعد موجودة وهذا ما يسهل علينا عملية تعديل المتحكم لأية أغراض إضافية مستقبلية.

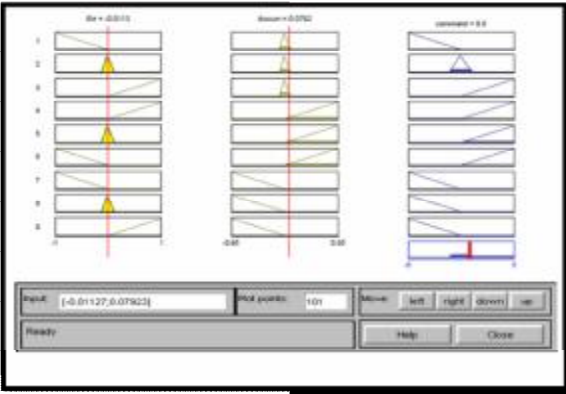


الشكل (22) نافذة قواعد المتحكم

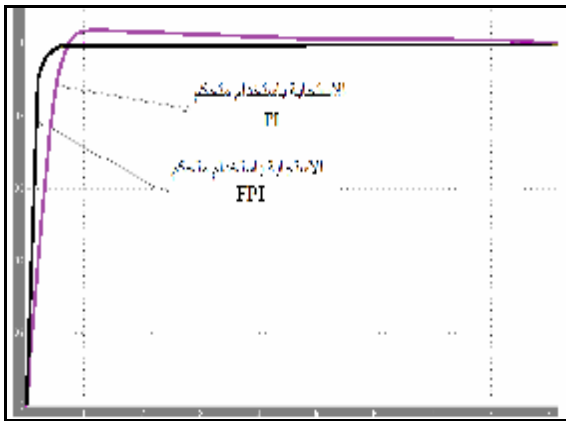
5.3 نتائج محاكاة المتحكم العائم FPI:



الشكل (23) يبين الشكل العلاقة بين توابع الانتماء للدخل والخرج



الشكل (24) يبين الشكل تغيّرات الخرج تبعاً لتغيّرات الدخل مع الزمن



الشكل (25) يبين الشكل مقارنة استجابة النظام في حالتي المتحكمين PI, FPI

5.4 النتائج:

تم التلخيص من الحالة العابرة في استجابة النظام، ومن ثم أصبحت الاستجابة أكثر وثوقية.

في حالتنا هذه لما كان المتحكم يتحكم بنسبة الانحراف pitch rate فإننا نضمن باستخدام المتحكم العائم FPI نسبة أكبر في الانحراف، ومن ثم تقليل الضياعات الناتجة عن التسارع أو التباطؤ في العنفة، وتحسين معامل كفاءة أداء العنفة CP.

وبناء على ماسبق يوصى بما يأتي:

1. دراسة عنفات ريحية بتتابع تحويل بدرجات أكبر.

2. التطرق لتأثير الكبح الأيروديناميكي في الشفرات عند عملية الانحراف.

مسرد المصطلحات:

Pitch control	التحكم بانحراف الشفرات
Pitch rate	نسبة الانحراف
Geared drive	قيادة عن طريق صندوق السرعة
Direct drive	قيادة مباشرة
Passive control	التحكم السلبي
Active control	التحكم الفعال
P wind	الاستطاعة الأيروديناميكية
P captured	الاستطاعة الفعلية
P electric	استطاعة كهربائية تحولها العنفة
T rated	عزم المولد الاسمي
T captured	عزم المولد الفعلي
V cut-in	سرعة الرياح التي تبدأ العنفة بالعمل عندها
V cut-out	سرعة الرياح التي تتوقف العنفة عن العمل عندها
Fuzzification	التعويم
Defuzzification	فك التعويم
Inference engine	محرك الاستدلال
Cp	معامل الكفاءة
Tsr	نسبة سرعة الذروة
PI	متحكم تناسبي تكاملي
FPI	متحكم تناسبي تكاملي عائم

ركز البحث على دراسة استخدام تقنيات الذكاء الصناعي في المزارع الريحية، وعلى وجه الخصوص التحكم باستخدام المنطق العائم fuzzy logic control؛ وذلك لتصميم متحكم عائم للتحكم بزوايا انحراف شفرات العنفة الريحية pitch angel control، إذ كما وجدنا تأتي أهمية التحكم بزوايا انحراف الشفرات للعنفة الريحية من أن العنفة مصممة لتعطي أعظم استطاعة ممكنة عند سرعة رياح معينة، ولا تصمم العنفات الريحية لتعطي أعظم استطاعة لها عند سرعات رياح عالية جداً لأنها نادرة وتسبب الضرر الميكانيكي لأجزاء العنفة، وفي ظروف سرعات الرياح العالية من الضروري حجب جزء من طاقة هذه الرياح من الدخول إلى العنفة؛ وذلك لتجنب الضرر الناتج عنها في العنفة. ولذلك تزود العنفات الريحية بأنظمة تحكم مختلفة لأداء تلك المهمة، ولهذا الغرض قمنا باستعراض بعض نظم التحكم التقليدية المستخدمة في التحكم بزوايا انحراف شفرات العنفة الريحية، ومن خلال نمذجة نظام تحويل ريحي محدد قمنا

بتصميم متحكم باستخدام تقنية التحكم بالمنطق العائم (FPI) لنظام يستخدم متحكماً تكاملياً تناسبياً (PI) وقمنا بمقارنة الاستجابة للمتحكمين.

ومن نتائج البحث، أثبتت المحاكاة بالزمن فعالية استخدام المتحكم العائم المصمم FPI (تناسبي - تكاملي - عائم) مقارنة بالمتحكم التقليدي المستخدم PI (تناسبي - تكاملي) في النظام نفسه من حيث السرعة في الاستجابة مع الزمن، أي إن الهدف الأساسي هو تسريع عملية انحراف الشفرات في العنفات الريحية لتنظيم جريان الاستطاعة وبشكل خاص عندما تقترب السرعة من حدود السرعات العالية.

من استجابة النظام في حالة المتحكم العائم نلاحظ أن نسبة الخطأ في استجابة النظام انخفضت مقارنة بحالة المتحكم التقليدي PI.

المراجع العلمية*

1. E.Muljad, and CP BUTTERFIELD "Pitch controlled variable speed wind turbine generation " , national renewable energy laboratory NERL, February 2000
2. Jian Zhong Zhang, Ming Cheng, "Pitch angle control for variable speed wind turbine", DRPT 2008 6-9APRIL 2008 Nanjing, China.
3. S.M.Muyeen student member, Mohd.Hasan Ali member,"Transient Stability Enhancement of wind generator by a new logical pitch controller", Kitami Institute of technology,2003
4. Hari Sharma ,Trevor Pryor, Syed Islam "Effect of pitch control and power conditioning on power quality of variable speed wind turbine generators" , Mordoen university energy research institute,2002
5. Xiufang Zhang ,"Intelligent control for large scale variable speed variable pitch wind turbine", Dapingxu, Journal of control theory,2000
6. Pong Wai Lai "Transfer function modeling relationship between time series variables", London school of economic and political science.
7. Modeling tutorials for matlab and simulink.