

التحكم في توربينات الرياح*

أ. رويتير، و ر. جاش، و أ. ستوفيل
ترجمة: د. و داد الاسطى**

1. مقدمة

يوضح هذا الموضوع بالتفصيل الدور الحيوي الذي تلعبه أنظمة التحكم لجعل أداء التوربينات الريحية أفضل ما يمكن عند أحوال الرياح المختلفة. وقد رأت لجنة التحرير نشر ترجمة ونشر هذا الموضوع لما له من أهمية -بعد أخذ موافقة الناشر الأصلي- وذلك في إطار جهودها الرامية لإثراء محتوياتها بالجديد والمفيد مما تقوم بنشره بعض الدوريات المتخصصة في مجال الطاقة.

2. الغرض من أنظمة التحكم

وعند سرعات الرياح المنخفضة، تكتسب أنظمة التحكم السريع للتوربينات الريحية الحديثة مهاماً إضافية. فمثلاً، على هذه الأنظمة أن تجعل الطاقة الناتجة أقصى ما يمكن بواسطة تغييرات في الخطوة السريعة (fast pitch) عند سرعة دوران ثابتة، أو يمكنها موازنة المولد مع الحمل لحفظ التوربينات عند أفضل قيمة لنسبة السرعة الطرفية وذلك دون تغيير -أوية الخطوة- (أوية الانحدار). ويجب التمييز بين أنظمة المراقبة وأنظمة التحكم. فعند المفاضلة بينهما يجب أن تُعطى الأولوية لأنظمة المراقبة. ومع ذلك نجد أن نظام المراقبة نادراً ما يتدخل في عمل التوربينات الريحية، حيث ينظم خطة تحرك التوربينات الريحية. بينما نجد

إن الغرض الرئيسي من استخدام أنظمة التحكم هو حفظ التوربينات الريحية ضمن حدود تشغيل مسموح بها، خاصة أثناء سرعات الرياح العالية وذلك للحد من السرعة، ومن عزم الدوران، ومن القدرة، وكذلك من قوى الدفع المحوري على الدوار (rotor). ففي التوربينات الريحية الثابتة السرعة، يتحدد عزم الدوران الأقصى للعضو الدوار بتحديد القدرة القصوى. أما في التوربينات الريحية المتغيرة السرعة، فحدود عزم الدوران الأقصى للعضو الدوار، أساساً، تتحدد ميكانيكياً بينما القدرة القصوى تتحدد كهربائياً.

** مركز دراسات الطاقة الشمسية

2.3 أنظمة التحكم البسيطة والحماية من

العواصف

أنظمة التحكم البسيطة وأنظمة الحماية من العواصف ليست وظيفتها الحماية من فرط السرعة فقط، ولكن أيضا الحد من وضع القدرة وربما قوى دفع البرج خلال عمليات التشغيل الطبيعية عند السرعات العالية. وعادة ما يتدخل نظام التحكم هذا بشكل مستمر إذا تم تعهد أي حدود (سرعة الدوران أو ضغط الرياح).

وبالنظر إلى التصميم ، نجد أن أنظمة التحكم هذه تعتبر أنظمة تحكم نسبية إلى حد ما، وتعمل دون أي إمداد خارجي للقدرة. وتستخدم هذه الأنظمة قوى الطرد المركزي أو ضغط الرياح لتنظيم القدرة.

3.3 أنظمة التحكم السريع

كما في أنظمة التحكم البسيطة، تعمل أنظمة التحكم السريع للحد من القدرة ومن سرعة الدوران. و تقوم هذه الأنظمة، إضافة إلى ذلك، بتنظيم الخطوة السريعة حتى تتمكن التوربينات من توفير التردد المطلوب (مثلا 50 هيرتز خلال التشغيل المعزول). وهو ما يتطلب مكونات الكترولوليكية آلية سريعة ومنظومات تحكم إلكترونية سريعة قادرة على التفاعل مع عصفات الرياح (wind gusts). و تستخدم أنظمة التحكم السريع أساسا في التوربينات الريحية التي يزيد حجمها عن 100 كيلووات. حيث يكون تأثير تكلفة المكونات الإلكترونية والهيدروليكية في الكلفة الكلية أقل مما هو الحال في حالة التوربينات الريحية الصغيرة. إضافة إلى ذلك، تعمل منظومات التحكم السريع على تخفيف وطأة قوى الرياح على المنشآت الريحية (محولات طاقة الرياح)، كما أن لها

أن أنظمة التحكم تعمل بشكل مستمر، حيث تتفاعل هذه الأنظمة مع التغير السريع لسرعة الرياح، ومع حمل المولد إلا إذا تحركت ديناميكا النظام خارج الحدود المحددة بنظام المراقبة.

3. أنواع أنظمة التحكم

1.3 الحماية من فرط السرعة

إن أنظمة الحماية من فرط السرعة لا يمكن تشغيلها خلال فترات العمل الطبيعي للمنظومة. ولكن يمكن تحفيزها عند حالات الطوارئ. وتعتبر أنظمة الحماية من فرط السرعة، في أغلب الأحيان، أنظمة إضافية. وتختلف منظومات الحماية عن بعضها البعض بشكل كبير في التصميم.

إن التوربينات الشغالة بنظم الانهيار (stall regulated turbines) والتي توصل بالشبكة الكهربائية خلال العمل الطبيعي عن طريق مولد حثي لها جهاز تعطيل الرفع (spoiler) والذي يُحفز بواسطة قوى الطرد المركزي. وتستخدم هذه الأجهزة إذا فاقت سرعة الدوران السرعة المقننة بـ 20% عندما يحدث عطيل في القدرة، مثلا. وإذا انخفضت سرعة الدوران بمقدار 60% من السرعة المقننة ترجع أجهزة تعطيل الرفع إلى وضعها الأصلي (on-off control).

كما يمكن أيضا فتح صمام هيدروليكي يحفز ميكانيكيا عن طريق مفتاح طرد مركزي.

وعندما يفقد النظام الهيدروليكي الضغط، تستخدم كوابح عن طريق نوابض سابقة الإجهاد. (ويستخدم في التوربينات الصغيرة أحيانا كوابح ميكانيكية تحفز بقوة طرد مركزي).

مردود اقتصادي إيجابي، خاصة لتوربينات الرياح الكبيرة الحجم.

4. التأثير على الدوار

طبقا لسرعة الرياح و-اوية الريساح الظاهرية، تُنتج التوربينة الريحية عزم دوران وقوة دفع محورية . وتتمدد -اوية الرياح الظاهرية على سرعة الدوران، و-اوية الخطوة، و-اوية السميت (azimuth) للدوار على التوالي. ويقوم عزم الدوران بتدوير الآلية (مولد ، مضخة)، ويعمل عزم الدوران الزائد مطروحا منه عزم الأحمال على تعجيل العضو الدوار.

وللتقييم الكمي لعمليات التحكم يجب الأخذ في الاعتبار القصور الذاتي للدوار وسلسلة التدوير (drive train). وبشكل عام، تحدث القوى الديناميكية الهوائية على الريش بشكل سريع (دوال Wagner-Kussner)، لدرجة

يمكن معها استخدام خصائص الأداء الناتجة من اعتبارات التشغيل المستقر. ولا يمكن التأثير على سرعة الرياح. ومن ثم يمكن التأثير على سرعة الدوران فقط بواسطة أحمال الآلة (التوربينة الريحية) وعن طريق تغيير محور العضو الدوار ككل بالنسبة لاتجاه الرياح. أو تغيير -اوية الريش مفردة أو -اوية الريش الطرفية (flaps) المدججة في نهاية الريش. ويوضح جدول (1) طرق التأثير على الدوار لأنواع مختلفة من أنظمة التحكم.

1.4 تحويل اتجاه الدوار بعيدا عن الرياح

تغيير -اوية مسار الهواء الذي يهب على الدوار عن طريق تحويل غرفة المعدات (nacelle) بعيدا عن الرياح يعد طريقة للتأثير على سلوك الدوار. ولقد شكلت الطواحين الريحية في المزارع الأمريكية أول تطبيق آلي لهذه الطريقة المعروفة جيدا .

جدول (1) وسائل التأثير على الدوار

التحكم السريع	التحكم البسيط	الحماية من فرط السرعة	
		X	الكوابح الميكانيكية
X	X	X	حمل المولد
X	X	X	ديناميكا الهواء:
		X	تغيير الخطوة لكامل الريشة
		X	تغيير خطوة أطراف الريش
X	X	X	أنظمة تعطيل الرفع، والريش الطرفية
X	X	X	كوابح طرفية
X	X	X	الدوران بعيداً عن اتجاه الرياح
X	X	X	باراشوت

أما الحل الأكثر حداثة فهو إمالة غرفة المعدات حول محور أفقي. وكلا الطريقتين تعطي نفس النتيجة، وهي خفض سرعة الرياح الظاهرية المؤثرة عند ريشة الدوار ، وكذلك القدرة المدخلة للدوار. ويمكن الحصول على انخفاض ملحوظ في القدرة إذا تم إمالة الدوار بزاوية كبيرة، حيث تنخفض القدرة مع جيب تمام الزاوية. ويوضح شكل (1) تأثير تحويل

تقنيات الطاقة

لنظام التحكم استخدام أحوال سريان معرفة لجميع—وايا الانحدار (pitch angles). ولكن من عيوب هذا النظام أنه يتطلب—وايا تنظيم كبيرة، وبالتالي—زيادة في كلفة الإنشاء.

3.4 تغيير الخطوة نحو

الانهيار

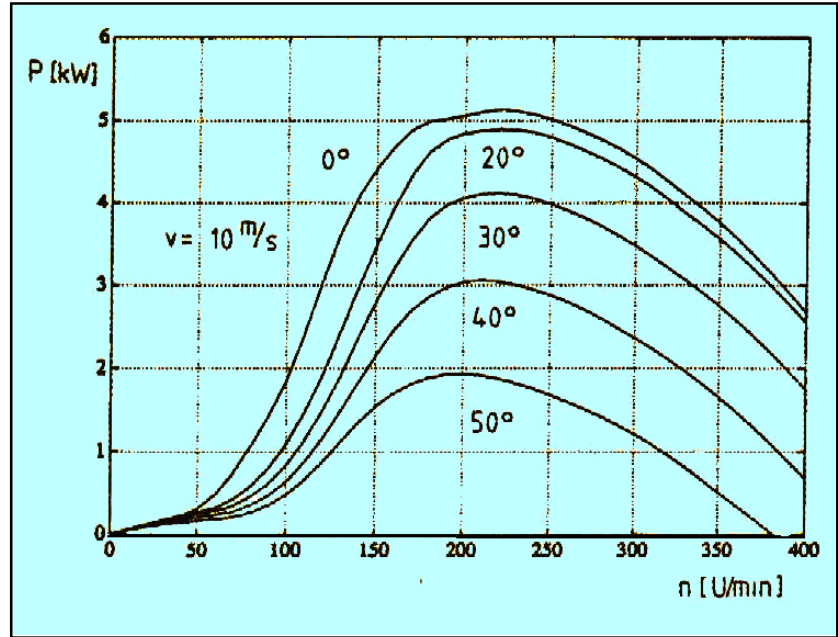
Pitch towards stall

إن—يادة—اوية الريشة يؤدي أيضا إلى انخفاض القدرة، حيث يبدأ سريان الهواء بالانفصال. وهذا يخفف قوى الرفع ويزيد قوى الإعاقة بشكل كبير.

ويتطلب نظام تنظيم الانهيار (stall regulation) —وايا تنظيم صغيرة فقط. ويستطيع نظام التحكم من إيقاف الدوار بسهولة. ومع ذلك فإن انفصال دفق الهواء يُعتبر حالة غير معرفة تعريفاً جيداً لحالة الدفق. وبالتالي فإنظمة التحكم هذه تعمل بطريقة غير دقيقة إلى حد ما وغير مستقرة وتبقى قوة الدفع المحورية كبيرة.

5. أمثلة لأنظمة تحكم بسيطة

إن آلية التحكم الموضحة في هذا الجزء تستخدم ضغط الرياح (الذيل) أو سرعة الدوران (آلية الطرد المركزي) لتنظيم القدرة وسرعة الدوران. وكلاهما يؤدي الفرض بشكل جيد في التوربينات الريحية ذات الأقطار التي تقل عن 5 أمتار.



شكل(1) تأثير إبعاد الدوار عن اتجاه الرياح على خصائص أداء توربينة ريحية ذات نسبة سرعة طرفية عالية.

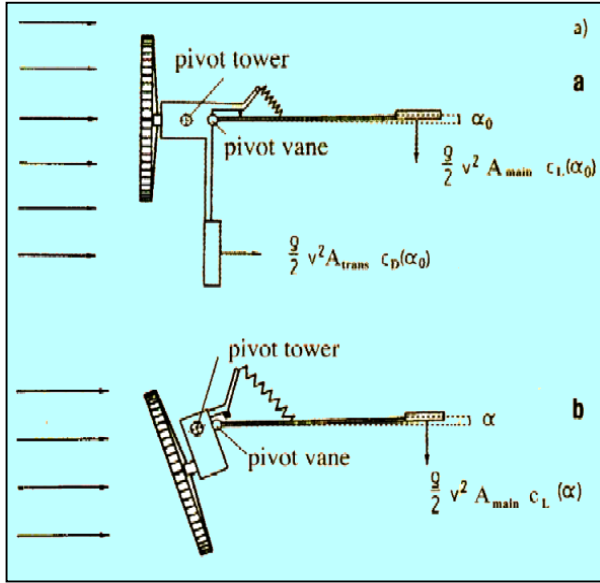
الدوار بعيداً عن اتجاه الرياح على خصائص الأداء للتوربينة ذات السرعة الطرفية العالية.

2.4 تغيير الخطوة لحالة التجنيد

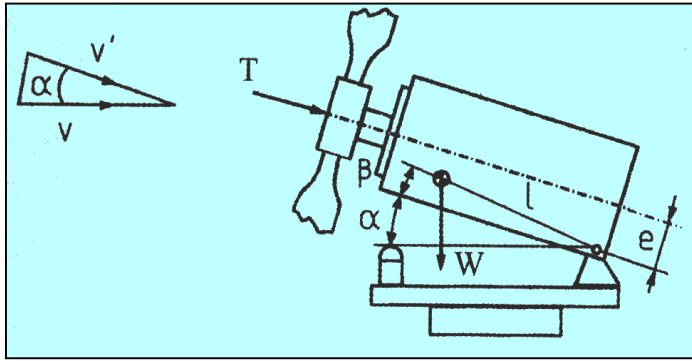
Pitch towards feather

إذا تم تغيير الزاوية الظاهرية للرياح لشكل انسيابي كي تصبح أصغر من قيمتها المثلى (مقدمة الشكل الانسيابي في مواجهة الرياح) تنخفض قيمة قوة الرفع وكذلك القدرة المنتجة.

وعندما تنخفض قيمة—اوية الهجوم (angle of attack) تنخفض قيمة قوى الرفع أو ربما تصبح صفراً في حالة الهبوط المفاجئ في الحمل. في هذه الحالة تتلاشى أو تختفي مركبة السرعة المماسية ولا يمكنها تعجيل الدوار. وأنظمة التحكم التي تستخدم تغيير الخطوة لحالة التجنيد (feather) تعمل بدقة وسلاسة تامة، حيث يمكن



شكل: أ2- نظام التحكم بذيلين
شكل: ب2- نظام تحكم الكسوف.



شكل (3) مخطط مقطعي لدوار مائل.

ويمكن ببساطة حساب سرعة الرياح التي تكون عندها الزاوية α صفر ، وكذلك حساب مدى التحكم. وبالنسبة للتوربينات ذات نسب السرعة الطرفية العالية ، فإنه لا يمكن إيجاد علاقة قوية بين معامل قوى الدفع المحوري والحمل. وإذا وقع مركز الجاذبية إلى الأسفل

1.5 تنظيم التوربينات الريحية ذات النسب الطرفية الصغيرة باستخدام ضغط الهواء

يوضح شكل (2) نظام التحكم بذيلين ، وشكل (2ب) نظام تحكم الكسوف ، حيث تحل قوى دفع الدوار محل ضغط الهواء على الذيل الجانبي. وخلال العمل الطبيعي تكون عزوم ديناميكا الهواء للذيل الأساسي والمستعرض في وضع اتزان.

فبدائية، تعمل قوى شد النابض ذي الإجهاد المسبق على حفظ الذيل في وضع التوقف أو السكون. وعندما تصل سرعة الرياح إلى سرعة معينة، يلين النابض. ويمكن أن تتأثر نقطة الانطلاق في خطوات التنظيم بكل من الشكل الهندسي،

وجسأة أو صلابة النابض. وبمعلوماتيهما يمكن حساب سلوك النظام. ومع ذلك، فإن بعض الأساليب التجريبية تكون ضرورية للتنبؤ برد فعل الذيل الرئيسي.

2.5 تنظيم التوربينات الريحية ذات النسب الطرفية العالية باستخدام ضغط الهواء

توربينات الرياح التي لها نسب سرعات طرفية عالية يمكنها أيضا استخدام ضغط الهواء كوسيلة للتحكم. الشكل (3) يوضح هذا النوع من التوربينات الريحية، حيث تحدد قوى الدفع المحوري للدوار و—نه قيمة—اوية التوان— α .

تقنيات الطاقة

للمجنح أو مقطع الريشة حول ربيع خط التوتر، يتكون عزم يعمل على تدوير المقطع إلى داخل أو خارج اتجاه الرياح الظاهرية، طبقا لترتيب الخط الذي يتم اختياره. ويتناسب هذا العزم مع مربع سرعة الرياح وذلك كما هو في جميع قوى ديناميكا الهواء الأخرى. وبالتالي فهو أحد

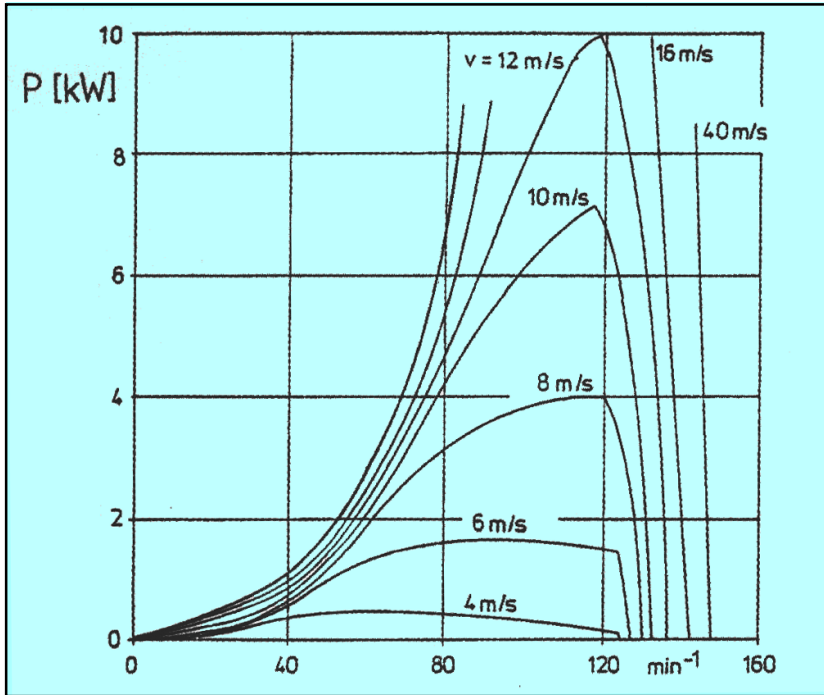
بشكل كافٍ، سيكون هناك انتقال مرحلي لوضع التجنيد. وتوضح الحسابات التي أجريت لتوقع هذه النتائج توافقا عاليا مع القيم التي تم قياسها.

3.5 التحكم في التوربينات ذات نسب

السرعات الطرفية

العالية باستخدام آلية

الطرد المركزي



شكل (4) خصائص أداء آلية طرد مركزي مستخدم للتحكم في توربينات.

عند سرعات الرياح العالية وما بعد سرعة دوران معينة، تعمل آلية الطرد المركزي على تغيير زاوية الريشة أو الكوابح الطرفية (braking flaps) بشكل مستمر، وذلك مع زيادة سرعة الرياح. كما أن تغيير الخطوة للريش، مفردة أو مزدوجة، عن طريق عزم الدوار، جزءا من هذه المجموعة لأنظمة التحكم. ويوضح شكل (4) خصائص أداء هذا الدوار.

وتعمل آلية التحكم على حفظ سرعة الدوران ثابتة تقريبا.

4.5 التحكم السالب عن طريق قوى

ديناميكا الهواء

متغيرات التحكم حالة تغير الخطوة نحو الأمام. وفي الحالات المعتادة لتغيير الخطوة نحو الأمام، يجب أن يقع خط الريشة قبل نقطة الاستخدام لقوى ديناميكا الهواء. وكما في نظام تغيير خطوة الطرد المركزي، يحدد النابض بداية التحكم، كما يحدد خصائص التحكم.

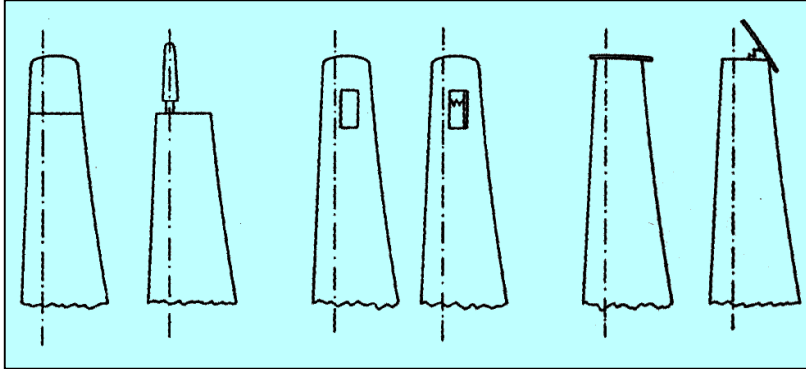
ويجب أن تكون الريش متزامنة لمنع حدوث عدم الاتزان الديناميكي الهوائي. ويجمع هذا النظام مع مولد تزامني، توفر هذه الآلية نظاما سهلا وبسيطا للتحكم، عدا

طبقا لديناميكا الهواء ومدى واسع من زاوية الرياح الظاهرية، تقع نقطة الاستخدام لقوى الرفع والإعاقة عند 25% من وتر الريشة. وإذا لم يُرتب الشكل الانسيابي

6.5 أمثلة لأنظمة التحكم السريع

الأنظمة السالبة التي تم الإشارة إليها في الفقرة السابقة لا تتطلب أي إمداد طاقي للتحكم. وبالعكس ذلك فأنظمة التحكم التالية هي أنظمة موجبة. وتحاول هذه الأنظمة ان تحافظ على تأثير طاقة الرياح غير المستقرة عند حدود معرفة بواسطة تدخلات محددة .

و تستخدم أغلب الأنظمة مجسات (sensors) لتجميع بيانات التشغيل ذات العلاقة مثل سرعة الدوران أو القدرة وتحويلها إلى متغيرات تحفيز باستخدام محططات حساسية (algorithms) لتحريك المكونات ذات العلاقة. والتوربينات الريحية المؤسسة على النظام الدنمركي، أي التي يُستخدم فيها نظام تحكم الامتياز تُعتبر استثناء، حيث تعمل أساسا بدون أنظمة تحكم وآليات تحكم الخطوة. وفي التطبيقات الحقيقية توجد عدة أنظمة تحكم للتوصيل



شكل (5) تصاميم إنشائية مختلفة لكوابح طرفية.

بالشبكة وأنظمة للمراقبة. والهدف الرئيسي لجميع أنظمة التحكم هو حفظ سرعة الدوران أو القدرة ضمن حدود معرفة وكذلك تحقيق مستويات دقة تحكم عالية. ويعتمد متغير التنظيم سواء كان سرعة دوران أو قدرة على فلسفة المصنع في التصميم.

التزامن الذي يعمل بحيث لا يعتمد على إمداد الطاقة الخارجية.

5.5 التحكم في التوربينات الريحية ذات نسب السرعات الطرفية العالية باستخدام أجهزة تعطيل الرفع و الكوابح الطرفية

الكوابح الطرفية وأجهزة تعطيل الرفع يمكن لها أن تعمل إما ككوابح ديناميكية هوائية وبالتالى حماية التوربين من فرط السرعة أو تنظيم القدرة والحد منها بطريقة مبسطة. ويمكن استخدام الجهتين معا وإطلاقهما بواسطة قوى ديناميكية هوائية وقوى طرد مركزي أو باستخدام تنظيم قسري هيدروليكي. و يمكن تقدير عزم الكبح لمساحات الكوابح الطرفية بسهولة.

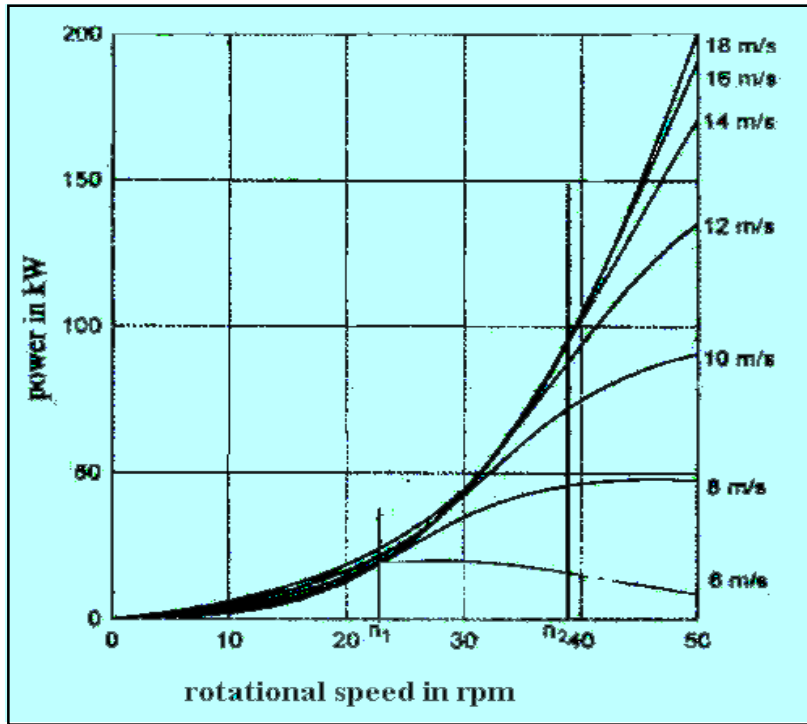
وتتطلب التوربينات الريحية ذات النسب الطرفية العالية مساحات صغيرة فقط للكوابح الطرفية: لتوربين ريجية لها نسبة سرعة طرفية تصميميه قدره 7 ، تنخفض قيمة نسبة السرعة الطرفية الفاعلة من 13 إلى حوالي 6.5 ، على أن تكون المساحة المستخدمة هي 1 / 500 من مساحة الدوار.

بالمقارنة إلى ذلك تتطلب التوربينات الريحية ذات نسب السرعات الطرفية المنخفضة مساحة كوابح طرفية كبيرة، لذلك يكون استخدام كوابح تعطيل الرفع (brakes spoiler) غير ذات أهمية في هذه الحالة كما هو مبين بالشكل (5).

تقنيات الطاقة

معينة تتحدد بتردد الشبكة الكهربائية. وباختصار نسبة تحويل السرعة أو نسبة التروس يمكن إيجاد نقاط التشغيل في شكل خصائص الأداء، وذلك كما هو موضح في الشكل (6). وعادة تُزود التوربينات بمولدتين حثيين. أحدهما صغير للعمل عند سرعات الرياح الصغيرة وبسرعة دوران n_1 ، وبزيادة سرعة الرياح يتحول النظام لتشغيل المولد الثاني الأكبر للعمل عند سرعة دوران n_2 .

وعند سرعات الرياح الصغيرة، تكون نقاط التشغيل قريبة من نقاط تشغيل التوربينات القصوى أو التي تعطي أفضل كفاءة. وبزيادة سرعة الرياح تكون نقاط تقاطع منحنى التوربينات والمولد متجهة نحو نسب السرعة الطريفة



شكل (6) خصائص أداء توربينة ريحية مع خط مولد لمولد صغير ومولد كبير.

الصغيرة. وبعد سرعة رياح معينة لا تتأثر القدرة المدخلة بأي زيادة. ويمكن الوصول إلى هذا الوضع باستخدام

وعبر السنوات الماضية، أصبحت هنالك ثلاثية مفاهيم رئيسية مقبولة في السوق:

- المفهوم الدمركي (تحكم الانهيار).
- العمل بسرعة متغيرة مع تحكم بطيء في الخطوة.
- العمل بسرعة ثابتة مع تحكم سريع في الخطوة.

وفيما يلي مناقشة ومقارنة لهذه التصاميم.

7.5 التصميم الدمركي مع التوصيل بالشبكة الكهربائية

الخصائص النموذجية للتوربينات الدمركية هو عدم

تثبيت الصرة (hub). إن

عدم احتواء الصرة على آلية

تغيير الخطوة لها ميزة البساطة

في التصنيع وعدم احتياجها

لأعمال صيانة. ونادراً ما

تحدث مشاكل خلال

التشغيل. ولامتصاص عزوم

الانثناء الكبيرة عند منطقة

اتصال الريش بالصرة، يتم

إنتاج هيكل الصرة كوحدة

واحدة عن طريق اللحام أو

الصب الفولاذي. ونظراً

لسهولة تصميمه الانشائي،

اثبت هذا المبدأ في التحكم

نجاحه في آلاف التوربينات

الريحية. إن جوهر آلية

التحكم يكمن في مولد حثي موصل بالشبكة، يتميز بعزم

شديد الانحدار ومنحنى قدرة يقيد التوربينة بسرعة دوران

يمكن معالجة القدرة المنتجة، و الوصول إلى التزامن التدريجي مع الشبكة الكهربائية دون حدوث ومضات (flickers). كما يمكن تحديد عزم حمل ثابت ومن ثم التحكم في الطور الحرج خلال التغيير بين سرعات المولد وذلك عندما يصل أحد المولدات عند نقطة ما بعد انسحابه عند-اوية إيقاد ثيرستور صغيرة .

إضافة إلى ذلك، تتم مراقبة متغيرات مهمة مثل درجة حرارة المولد وصندوق التروس والاهتزازات، واضطرابات الشبكة، ج.الخ. وقياس سرعة الدوران عند جانب السرعة البطيئة وجانب السرعة العالية لسلسلة التديوير، ومقارنة القيمتين، يمكن تحديد عطب صندوق التروس ومكونات سلسلة التديوير.

8.5 تشغيل المنظومات ذات السرعة المتغيرة الموصلة بالشبكة الكهربائية والعاملات بتنظيم الخطوة (الخطوة المنخفضة)

لقد أصبح تشغيل توربينات الرياح ذات السرعة المتغيرة، الموصلة بالشبكة الكهربائية ممكناً فقط مع تطور إلكترونيات القوى. وبما أن هذه المكونات باهظة التكلفة، لذلك تُستخدم عادة في التوربينات الكبيرة فقط. والفكرة الأساسية هي فك الاقتران لسرعة الدوار وتردد الشبكة من خلال دائرة وسيطة ذات تيار مباشر. ومن خلال مدى تشغيل يعتمد على القدرة، يسمح هذا المفهوم بالتشغيل عند النقاط القصوى للرسم التخطيطي لخصائص الأداء للتوربينة الريحية. وتعتبر سرعة الدوران هي المتغير المنظم. وبعد الوصول إلى القدرة المقننة فقط، يجب منع أي زيادة في القدرة، في أغلب الحالات بواسطة تغيير الخطوة نحو

انفصال الدفع والذي يحدث نتيجة كبر-اوية الرياح الظاهرية. وتنتج-اوية الرياح الظاهرية من مثلث السرعة عندما تكون مركبة السرعة المماسية دائماً ثابتة. وبزيادة سرعة الرياح تنمو سرعة الرياح الظاهرية، وفي الوقت ذاته تنقص نسبة السرعة الطرفية. ويحدث هذا بسبب ثبات سرعة الدوران، وبإهمال الانزلاق الثانوي. وبعد قيمة معينة لزاوية الرياح الظاهرية يبدأ الدفع في الانفصال، وتتراوح عادة هذه الزاوية بين 10° و 15° . بعد ذلك، لا يكون الدفع مثبتاً كلياً للشكل الانسيابي أو للجنيح، ويبدأ الانفصال من نهاية الطرف الانسيابي مسبباً اضطراب أثر المخر (turbulent wake).

ومن المتطلبات الأولية لهذا التحكم تكبير أبعاد المولد وتوفير شبكة كهربائية قوية. وهذا أمراً ضرورياً لحفظ التوربينة على الفرع الخطي لمنحنى المولد، وأيضاً عند السعة القصوى للتوربينة الريحية.

هذا المبدأ الدائري البسيط يعمل كنظام سالب فقط، وبالتالي يمكن الاعتماد عليه بشكل كبير. وعند ظهور أول مجموعة (50 ك.وات) للتوربينات الريحية ذات نظام تحكم الاهتزاز، كانت منظومات التحكم والمراقبة محددة بتشغيل التوربينة وإيقافها عن العمل (on-off)، طبقاً لسرعة الرياح والقدرة. كما حوت أيضاً مكونات مراقبة بسيطة، مثل مجسات للحرارة وللاهتزاز. والتوربينات الحديثة (30 - 1500 ك.وات)، التي تعمل بنظام الاهتزاز، لها أنظمة تحكم ومراقبة أكثر تعقيداً. بالتالي الحد الفعلي للقدرة ولسرعة الدوران يمكن أن يكون سالياً، وبدء تشغيل التوربينة وإيقافها عن العمل يتطلب خطوات تنظيم وتحكم معقدة. خاصة، التوصيل اللين لمنظومات القدرة الكبيرة يجعل تحكم الطور باستخدام ثايرستورات (thyristors) ضرورياً. وتحديد-اوية الإيقاد (firing angle)،

تقنيات الطاقة

الطوارئ، بوحدة هيدروليكية يمكنها الوصول أسرع إلى سرعات تغيير الخطوة. إضافة إلى ذلك يوجد نظام كبح ميكانيكي مزود بقرصي كبح في جانب السرعة العالية لسلسلة التدوير.

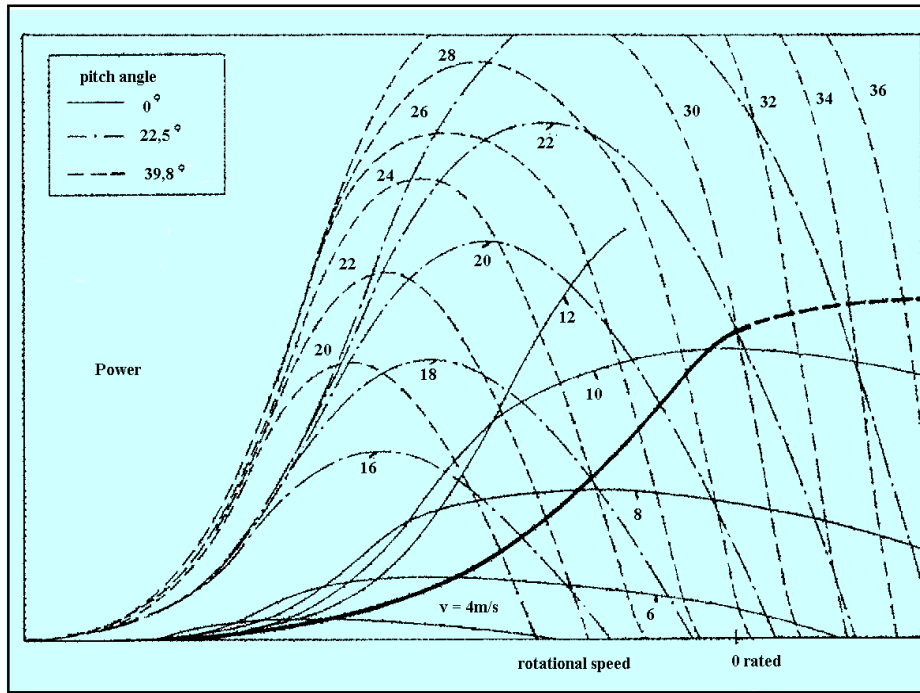
وتبدأ التوربينة الريحية العمل إذا تجاوزت سرعة الرياح التي يتم قياسها، عبر فترة التوسيط، القيمة المحددة. لهذا السبب تُضبط الريش على الزاوية 0° . وخلال فترة التشغيل عند القدرة المقننة، تعمل التوربينة عند سرعات

وضع التجنيد. ويسمح بمدى إضافي للسرعة لمنع حدوث أي تغيير مفاجئ في أوية الخطوة، وذلك في مدى القدرة المقننة. بهذه الطريقة، يمكن تخزين الطاقة الناتجة من العصفات بشكل مؤقت، في الدوار كطاقة حركة. وعند ثبات أو حتى زيادة سرعة الرياح، يجب تغيير خطوة الريشة نحو وضع التجنيد، لتقليل القدرة المدخلة. ويمكن أن تقل القدرة المُخزّنة، ويتحرك الدوار من جديد ببطء أكثر. إن تخزين الطاقة الزائدة في الدوار تسمح بحركة تغيير خطوة

بطيئة نوعاً ما.

ويصبح النظام أنعم، وبالتالي يمكن منع حدوث التغيرات الفجائية في عزم الدوران. ويوضح شكل (7) رسمًا تخطيطيًا لخصائص أداء تنظيم الخطوة لتوربينة ريحية ذات منحنى حمل متغير السرعة.

بعد سرعة رياح معينة يتغير الرسم التخطيطي لخصائص الأداء بسبب تغيير



شكل (7) خصائص أداء (سرعة دوران - قدرة) لتوربينة ريحية ذات نظام تحكم خطوة وحمل متغير السرعة لزوايا خطوة و سرعات رياح مختلفة

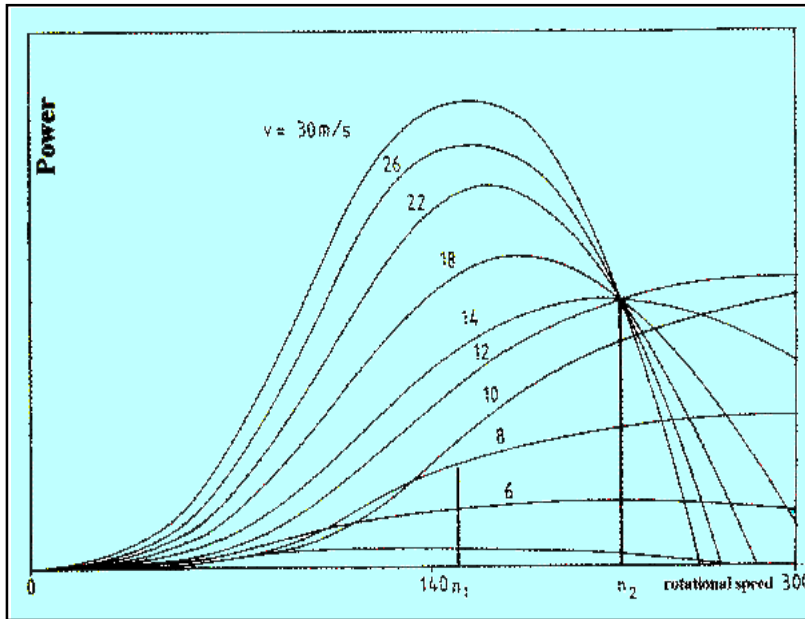
تصل إلى سرعة الدوران المقننة، 39 لفة في الدقيقة، عند النقاط القصوى للرسم التخطيطي لخصائص الأداء، وذلك بسبب التغيرات في منحنى الحمل المتعلقة بالسرعة. وإذا تم تجاوز السرعة المقننة يتغير مفهوم التحكم طبقاً للأتي: يُستبدل منحنى الحمل للمولد بخط شديد الانحدار

الخطوة، إلى أن يتم الوصول إلى سرعة الدوران المطلوبة. ولقد استخدم مفهوم التحكم لتوربينة ريحية متغيرة السرعة بقطر 33 متراً كمثال. فالتوربينة الريحية لها نظامان هيدروليكيان، حيث يُستخدم نظام إدارة كهربائي للتشغيل الطبيعي، و نظام إدارة ميكانيكي، حالة

أقل من سعتها المقننة. وحدود المنظومة هي أن القدرة يمكن تسويتها أو تسطيحها عند القيمة المتوسطة. إن جميع تذبذبات سرعة الرياح تتسبب فورا في تذبذب القدرة. وبالتالي يجب أن يغير المنظم ريش الدوار بشكل مستمر عند سرعات الرياح العالية. ويجدد القصور الذاتي لريش الدوار حدود لسرعة التنظيم، ولا يمكن تنقية تذبذبات التردد العالي أو تصفيتها من إشارات القدرة. ومن ثم سيكون الانزلاق أكبر في بعض التوربينات الريحية ذات المولد الحثي، وذلك حتى تكون قدرة لتغيير سرعة الدوران. إن الخط الفاصل بين هذه المفاهيم غير واضح.

لإبقائه قريبا من السرعة المقننة. وإذا كانت الزيادة في السرعة أكثر من 5%، تتغير-اوية الخطوة إضافة إلى ذلك بسرعة تنظيم قدرها 2% إلى أن يتم الوصول للسرعة المقننة مرة أخرى. فإذا تم تجاوز السرعة المقننة بأكثر من 10% تكون سرعة تغيير الخطوة 6% . أما إذا تجاوزت فرط السرعة 15% من السرعة المقننة، فيتم قفل المنظومة أو إيقافها عن العمل سريعا من خلال تحفيز الكوابح القرصية.

9.5 التشغيل بسرعة ثابتة وتغيير خطوة سريع



شكل (8) رسم تخطيطي لخصائص أداء توربينة ريحية ثابتة السرعة و تعمل بنظام تحكم تغيير الخطوة (مولد حثي متغير القطب).

ظهر هذا المفهوم لمنع حدوث الأحمال الإنشائية، الناتجة عن قوى الدفع المحوري، في التوربينات الريحية التي يُستخدم فيها نظام تحكم الأحمال، ولتتمكن استخدام مولدات حثية قوية وغير باهظة الثمن، في نفس الوقت. وفي حالات سرعة الدوران الثابتة، يتم تغيير-اوية الريشة مع القدرة كمتغير تنظيم كما هو موضح بالشكل (8).

ويمنع تغيير خطوة الريشة نحو وضع التجهيز قسوى الدفع (المحوري) الكبيرة التي تحدث في

التوربينات الريحية المنظمة بنظام الأحمال، كما يُسطح منحنى القدرة (بعد الوصول إلى السرعة المقننة)، ويمكن استخدامه لزيادة الكفاءة في مدى الحمل الجزئي. وبتحديد القيمة المرغوب بها، يمكن أن تعمل التوربينة نظريا عند أي قدرة

10.5 مقارنة المفاهيم باستخدام توربينات مختلفة

مبدئيا، ليس لمفهوم التحكم في توربينة تم شراؤها علاقة بمستخدم التوربينة. إن معايير اتخاذ القرار هي: الطاقة

6. توربينات الرياح للتشغيل المعزول

في المناطق النائية أو في الدول التي لها شبكات كهربائية ضعيفة ربما يكون ضرورياً بناء شبكات خاصة بهذه المناطق لربط توربينات الرياح. فالتوربينات التقليدية المزودة بنظام الإهيار غير قادرة على خدمة هذا الغرض، لأنها لا تستطيع إمداد الشبكة بقدرة مفاعلية. ومع ذلك، فإمكانية استخدام التوربينات المزودة بنظام الإهيار هو تطبيق لتحكم حمل المولد.

وبدلاً من المولد الحثي يستخدم مولد تزامني. وبما يتناسب مع السرعة، يتم تحميل التوربينة أو فصلها من الحمل عن طريق مقاومات أو مستهلكين. وبهذه الطريقة، إما أن يزداد عزم الحمل أو ينخفض، ويمكن حفظ سرعة التوربينة ثابتة. وعند سرعات الرياح العالية، يمكن إطلاق تأثير الحد من القدرة بنظام الإهيار ذاتياً. ومتطلبات التحكم هذه عالية جداً. خاصة، أن خصائص عزم التوربينة الريحية المختلفة عند نقاط التشغيل المختلفة يجعل من تحديد أبعاد مستقرة أمراً صعباً.

وعادةً ما تعمل هذه التوربينة مع مولد آخر، مثلاً مولد ديزل أو بطارية وذلك من أجل ضمان متاحة عالية. وفي تلك الحالة يجب استخدام وحدات تنظيم مناسبة للتحكم في المكونات المفردة للمنظومة.

المراجع

1. Franquesa, M. Kleine Windrader (Small wind turbines). Priemer Verlag, Munchen 1988.
2. ENERCON Operating guide Enercon – 33/300 KW.
3. Scharts, H. Die Konzept aktiver stall und integriertes Antiebskonzept (The concepts of active stall regulation and integrated drive concept). DEWEK 1994, conference proceedings.

المنتجة من التوربينة الريحية، والإعتمادية، والعمر الزمني. لقد تم حساب الطاقة المنتجة من ثلاث توربينات ريحية سعة كل منها 500 كيلوات، كل منها بتصميم معين. وبمقارنة ناتج الطاقة السنوي للتوربينات الريحية لوحدة مساحة عند ارتفاع 40.5 متراً، كانت الفروقات بين التوربينات المفردة أصغر ما يمكن.

تفترض هذه المقارنة اعتمادية قدرها 100% لجميع التوربينات. ولكن الحقيقة أن التوربينات المعقدة فيما بالتحديد، يمكن أن يكون لها متاحة أقل إلى حد ما.

11.5 تصاميم أخرى (تحكم الإهيار الفعال)

يهدف هذا التصميم لجمع مميزات التوربينات المنظمة بنظام تحكم الخطوة والتوربينات التقليدية المنظمة بنظام تحكم الإهيار. حيث يتطلب هذا النظام آلية لتنظيم الخطوة ومنظماً لتغيير الخطوة في اتجاه الإهيار للحد من القدرة المدخلة. وبالمقارنة مع التوربينات المنظمة بنظام الإهيار التقليدي فإن هذا النظام له المميزات التالية:

يمكن تحديد أقصى قدرة، ويمكن الحصول على أقصى طاقة منتجة عند سرعات الرياح الصغيرة، ويمكن تقليص المساحة المواجهة للرياح عند إيقاف التوربينة. وكما هو في توربينات تنظيم الخطوة والتي تغير خطوة الريشة إلى وضع التجنيد.

نجد أن آلية تنظيم الخطوة ضروري. ومع ذلك، فهي تختلف على توربينات تنظيم الخطوة الشائعة، حيث يكون المنظم أكثر بطناً، والمسافات المنظمة أقصر. ومن العيوب وجود قوى دفع محورية كبيرة في مدى التحكم. كما أن دقة التحكم أيضاً أقل من تلك التي في توربينات تحكم الخطوة التقليدية.