

تصميم ونمذجة نظام تحويل طاقة ريحي في منطقة قطينة والتحكم به بهدف ربطه مع الشبكة الكهربائية السورية

الدكتور يوسف ياخور*

الدكتور حسام شاهين**

زينة أديب علي***

(تاريخ الإيداع 1 / 4 / 2014. قُبِلَ للنشر في 16 / 7 / 2014)

□ ملخص □

تعد منطقة قطينة في محافظة حمص من أكثر المناطق في سورية ملائمة لإنشاء نظام تحويل طاقة ريحي. يمكن ربط هذا النظام مع الشبكة الكهربائية السورية بدون تكاليف كبيرة نظراً لقرب المنطقة من الشبكة. لكن تغير سرعة الرياح، الدائم وغير المستقر، يؤدي إلى ظهور جهود مختلفة في التردد و المطال على خرج النظام غير مطابقة لجهد وتردد الشبكة الكهربائية السورية مما يعيق عملية الربط.

يهدف هذا البحث إلى تصميم نظام تحويل طاقة ريحي ملائم لمنطقة قطينة والتحكم به بحيث نحصل دائماً على جهد وتردد ثابتين ومطابقين لجهد وتردد الشبكة الكهربائية السورية لتسهيل عملية ربطه مع الشبكة. وذلك عند أي سرعة رياح على دخل النظام الريحي ومن أجل أي حمولة على خرجه.

تم اختيار العنفة الملائمة والمولد الملائم للمنطقة اعتماداً على بارامترات تابع احتمالي رياضي، يسمى تابع وايبيل (Weibull Function). بعد ذلك تم تصميم نظام التحكم المناسب لمطابقة خرج النظام الريحي من جهد وتردد مع جهد وتردد الشبكة الكهربائية السورية. حيث تم التحكم بالمقطع الرافع - الخافض باستخدام متحكم تناسبي تكاملي (Proportional Integral) بحيث نحصل دائماً على جهد خرج مستمر ثابت مقداره (622 V). أما عملية التحكم بالبالبة فقد تمت باستخدام حلقتي (PI)، حلقة خارجية للتحكم بالجهد وحلقة داخلية للتحكم بالتيار. وذلك من أجل الحصول على جهد جيبى ثلاثي الطور قيمته الفعالة الطورية (220V) وتردده (50 Hz).

للتحقق من صحة وصلاحية وفعالية النظام المقترح، تمت نمذجته ببرنامج MATLAB ومحاكاة عمله. وقد أظهرت نتائج المحاكاة إمكانية الحصول على جهد ذو مطال وتردد ثابتين لا يتغيران بتغير سرعة الرياح أو الحمولة.

الكلمات المفتاحية: نظام تحويل ريحي، تابع وايبيل، المتحكمات التناسبية التكاملية.

* أستاذ- قسم القوى الميكانيكية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين - اللاذقية-سورية.

** مدرس_قسم الطاقة الكهربائية_كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية_جامعة تشرين_اللاذقية_سورية.

*** طالبة دراسات عليا(ماجستير)_قسم القوى الميكانيكية_كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية_جامعة تشرين_اللاذقية_سورية.

Design and Modulation of Wind Energy Conversion System in Kouttina to be Coupled with Syrian Electrical Grid

Dr. Yusuf Yakhor*
Dr. Hassam shahen**
Zena Ali***

(Received 1 / 4 / 2014. Accepted 16 / 7 / 2014)

□ ABSTRACT □

Kouttina is one of the most proper areas in Syria for building wind energy conversion system. This system could be coupled with Syrian electrical grid without expensive cost because of nearing from the grid. But, the permanent changes of wind speed with no stable mode, cause different amplitude and frequency voltages differ from Syrian electrical grid amplitude and frequency.

The goal of this research is to design proper wind energy conversion system for Kouttina area and control it, therefore, we always obtain constant amplitude and frequency voltages equal to those of Syrian electrical grid for any wind speed and load.

The proper wind turbine with its generator was chosen depending on parameters of probability mathematic function, called Weibull Function. After that, the proper control system was designed for equaling the amplitude and frequency of wind energy conversion system output with those of Syrian electrical grid. The buck -boost converter was controlled by proportional integral (PI) controller to always have DC output voltage equal to (622V). While the inverter controller was achieved by using two PI control loops, the outer loop for voltage control and the inner loop for current control. Though, three phase voltage with RMS phaser value of (220V) and frequency value of (50Hz) is achieved.

To validated the correctness and effectiveness of the proposed system, it was modeled using MATLAB program. The results showed the system ability of obtaining voltage with constant amplitude and frequency and this values do not change with wind speed or load changes.

Keywords: wind energy conversion system, weibull function, proportional integral controllers.

*Professor, Department of Mechanical Power Engineering; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

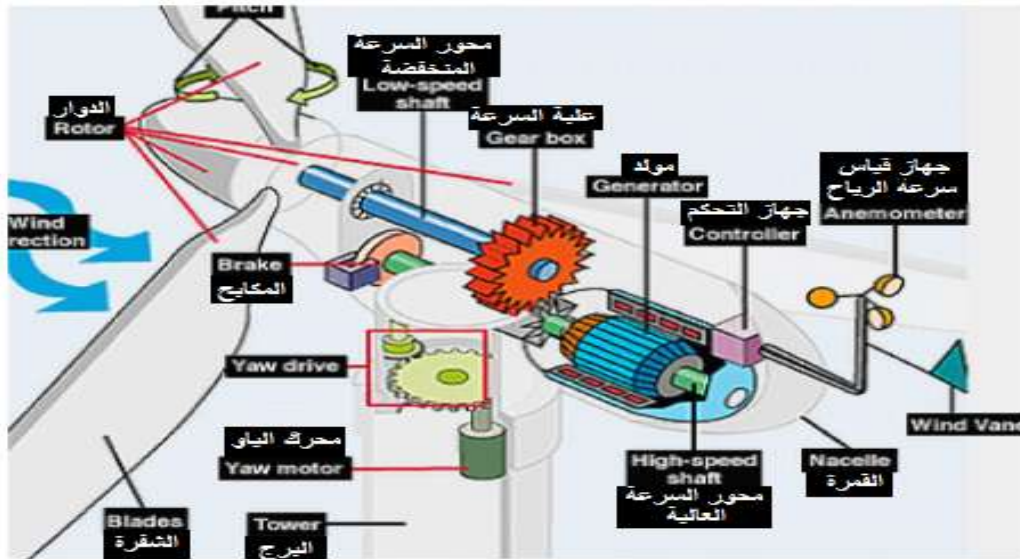
**Assistant Professor, Department of Mechanical Power Engineering; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

***Postgraduate Student, Department of Mechanical Power Engineering; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تعتبر سورية من البلدان التي تتوفر فيها مصادر عديدة للطاقات المتجددة كطاقة الرياح، الطاقة الشمسية، والطاقة الحيوية. إن استثمار هذه المصادر وتحويلها إلى أشكال أخرى من الطاقة، مثل الطاقة الكهربائية، أمرٌ يدعم البلاد من نواحٍ عدة، كالاقتصادية والبيئية. وكخطوةٍ في هذا المجال، نتناول في بحثنا هذا إمكانية تحويل طاقة الرياح في منطقة قطينة إلى طاقة كهربائية.

يعتمد مبدأ عمل العنفة الريحية، المبينة في الشكل (1)، على دوران شفرات العنفة بفعل الرياح وبالتالي يدور المولد الموصول مع محور هذه العنفة بسرعة تتناسب مع سرعة الرياح معطياً على خرجة جهد ذو تردد و مطال متناسبين مع سرعة الرياح التي قامت بفعل التدوير.



الشكل (1) المكونات الأساسية للعنفة الريحية [1]

يعبر عن الطاقة الميكانيكية التي تعطيها العنفة الريحية بالمعادلة (1):

$$P = \frac{1}{2} * \rho * C_p * A * u^3 \quad (1)$$

حيث:

$P[W]$: استطاعة الخرج الميكانيكية.

$$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]: \text{الكثافة الحجمية للهواء وقيمتها في الشروط النظامية هي } \left(1.25 \frac{Kg}{m^3} \right)$$

C_p : معامل بيتز، وتختلف قيمته من عنفة إلى أخرى، ويتراوح بين القيمتين (0.45→0.59)، من أجل جميع العنفات الحديثة.

$A[m^2]$: مساحة الدوار.

$U[m/s]$: سرعة الرياح.

يتضح لدينا من المعادلة (1) تغير الطاقة الميكانيكية على دخل المولد مع تغير سرعة الرياح. وهذا يقود إلى ظهور جهود مختلفة، في التردد و المطال، على خرج المولد وهو موضوع التحكم الأساسي.

تعمل جميع أنظمة تحويل الطاقة الريحية على تحويل الطاقة الريحية إلى طاقة كهربائية وقد تطور بناء هذه الأنظمة والتحكم بها تدريجياً في السنوات العشر الأخيرة. حيث اقترح (Marcelo & Ronald) ربط العنفة الريحية مع الشبكة عبر مبدلتين جسريتين ووصلة مستمرة بينهما. تم استخدام التحكم الضبابي مع الشعاعي بحيث يتم التحكم بالمبدلة الأولى لنحصل على أعظم استطاعة ممكنة. أما المتحكم الثاني فيقوم بالتحكم بتدفق المولد وذلك من أجل تحسين الفعالية عند الأحمال الخفيفة [2]. أما (Eskander & Monan) فقد قدما طريقة أخرى، حيث تربط العنفة مع مولد تزامني ذو مغناطيس دائم ويربط بدوره مع حمل مستمر عبر مقوم جسري ستاتيكي ومقطعين من نوع (رافع-خافض). يتم التحكم بالمقطع الأول بحيث نحصل على أعظم استطاعة ممكنة من العنفة باستخدام الشبكات العصبونية. أما المقطع الثاني، فيتم التحكم به من أجل الحصول على جهد خرج ثابت باستخدام طريقة التحكم آنفة الذكر نفسها [3]. قام (Raju & Fernandes) بربط العنفة مع مولد تزامني ذو مغناطيس دائم ويربط بدوره مع حمل مستقل عبر مبدلتين جسريتين مع وصلة مستمرة بينهما حيث تعمل الأولى بنظام التقويم أما الثانية فتعمل بنظام القلب. يتم التحكم بالمبدلة الأولى باستخدام متحكم ضبابي يقوم بملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى. أما التحكم بالمبدلة الثانية، فيتم باستخدام متحكم ضبابي آخر بحيث يبقى جهد الوصلة المستمرة ثابتاً لكن هنا تتكون كل مبدلة من أربع ترانزستورات فقط [4]. اقترح كل من (Battista & Ricardo) نموذجاً يعتمد على ربط العنفة الريحية مع مولد تحريضي ذو دائر ملفوف. حيث يربط ثابت المولد مباشرة مع الشبكة، عبر دائرة قيادة كارمر، ويتم التحكم بدارة القيادة هذه باستخدام متحكم صلد وهو عبارة عن متحكم (PI أو PID) [5]. وقد تم تقديم طريقة ربط جديدة من قبل (Aliprantes)، تعتمد على ربط العنفة مع مولد تزامني ذو مغناطيس دائم ويربط المولد مع الشبكة عبر مقوم جسري ومقطع رافع للجهد وقالبه جسرية. ترسل نبضات التحكم إلى المقطع باستخدام متحكم ذو تخلفية مغناطيسية. حيث يقوم بملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى. أما التحكم بالقالب، فيتم باستخدام متحكم مستقل بحيث يبقى جهد الخرج ثابتاً [6]. قدم (Endusa & Tomonobu) طريقة تعتمد على ربط العنفة مع مولد تحريضي عبر علبة سرعة ويربط المولد بدوره مع الشبكة عبر مبدلتين ووصلة مستمرة بينهما. يتم التحكم بالمبدلة الأولى بحيث نحصل على أعظم استطاعة ممكنة. ويتم التحكم بالتانية بحيث نقص تقلبات الاستطاعة في الشبكة الكهربائية وذلك باستخدام متحكم تناسبي لذلك تسمى هذه الطريقة بطريقة التحكم بالريح [7]. قدم (Ying & Ching) طريقة ربط وتحكم جديدتين حيث تربط العنفة مع مولد ذو مغناطيس دائم ويربط بدوره مع حمل مستمر عبر مقوم ستاتيكي ومقطع رافع-خافض للجهد. ويتم التحكم بالمقطع بحيث نحصل على أعظم استطاعة ممكنة و يعتمد المتحكم على خوارزمية (Gradient Approximation). نظام التحكم إما أن يكون مزود بحساسات (مقياس سرعة الرياح، مولد التاكو لقياس سرعة دوران المولد) وإما بدون حساسات ويعتمد بذلك على دورة نبضات تكيفية. حيث تقاس استطاعة الخرج بشكل دائم وتحديث دورات النبضات دائماً [8]. قدم (Shuhui & Timothy) طريقة ربط تعتمد على ربط مولد العنفة مع الشبكة من خلال مبدلتين ووصلة ثابتة بينهما ويتم التحكم بهما أيضاً بحيث نحصل على أعظم استطاعة ممكنة وبحيث يبقى جهد الوصلة المستمرة ثابتاً. ولكن هنا تم استخدام تقنية التحكم الشعاعي مع إحدى المتحكمات التالية: (متحكم ضبابي، متحكم (PID) تقليدي أو تكيفي). كما أن طريقة ربط العنفة مع المولد اختلفت حيث إن العنفة تربط مباشرة مع المولد، بدون علبة سرعة [9]. وقد تم استخدام متحكمات (PI) أيضاً من قبل (Rahim & Alam)، عندما قدما طريقة ربط تعتمد على ربط العنفة مع مولد

تحريضي يربط مباشرةً مع الشبكة عبر منظم جهد. والمتحكم المستخدم هو متحكم صلد (PI,PID) يقوم بالتحكم بتهييج المولد بحيث نحصل دائماً على جهد خرج ثابت [10].

يلاحظ من جميع الدراسات السابقة لأنظمة تحويل الطاقة الريحية، على اختلاف طرق الربط والمتحكمات ونوع المولد المستخدم، أن الشيء الأساسي المشترك هو أنها تسعى دائماً للحصول على أعظم استطاعة ممكنة من العنفة الريحية دون التركيز على موضوع ثبات الجهد والتردد معاً لتسهيل عملية الربط مع الشبكة. كذلك دون أخذ تغيرات سرعة الرياح والحمولة أو الاهتمام بتقييم خواص نظام التحكم بالاعتبار.

يهدف هذا البحث إلى حل هذه المشكلة عن طريق تصميم نظام تحكم مناسب لنظام التحويل الريحي في منطقة قطينة. لذلك اعتبرنا أن نظام تحويل الطاقة الريحية يتكون من الأجزاء التالية: عنفة ريحية، مولد، مقوم ستاتيكي ثلاثي الطور، مقطع رافع-خافض للجهد، قالبة، والحمل أو الشبكة كما أن المتحكم المستخدم هو متحكم (PI) لكل من المقطع والقلابة.

أهمية البحث وأهدافه:

- يكتسب البحث أهميته، كونه يندرج ضمن محاور بحثية لها أهمية على مستوى العالم تهدف إلى الاستفادة من الطاقات المتجددة بكافة أشكالها. وانطلاقاً من توفر سرعات رياح جيدة في قطينة، فإن هذا البحث يهدف إلى:
- دراسة إمكانية الاستفادة من الرياح المتوفرة في منطقة قطينة والتي تصل سرعتها أحياناً إلى حوالي (12 m/s) وتصميم نظام التحويل الريحي الملائم للمنطقة والذي يعطي أعظم استطاعة ممكنة بأقل كلفة.
- دراسة إمكانية الحصول على جهد متناوب ذو مطال وتردد ثابتين للنظام الريحي المقترح في منطقة قطينة باستخدام متحكمات (PI) بغض النظر عن تغيرات سرعة الرياح في دخل النظام والحمولة على خرجه، مما يسهل عملية ربطه مع الشبكة الكهربائية السورية.
- دراسة إمكانية تغذية (100) منزل بالطاقة الكهربائية على مدار العام باستخدام النظام الريحي المقترح كحمل مستقل.

طرائق البحث ومواده:

قمنا في هذا البحث بتصميم ونمذجة نظام تحويل طاقة ريحي يتكون من الأجزاء التالية: عنفة ريحية، مولد، مقوم ستاتيكي ثلاثي الطور، مقطع رافع-خافض للجهد، قالبة مع أنظمة التحكم المناسبة للمقطع والقلابة حيث تمت عملية التصميم كما يلي:

1- اختيار العنفة الملائمة

تم القيام باختيار العنفة الريحية الملائمة لمنطقة قطينة وذلك بالاعتماد على بارامترات تابع احتمالي رياضي يسمى تابع وايبيل (Weibull Function) حسب المرجع [11] وهو يعطى بالمعادلة (2):

$$f(u) = \frac{k}{c} * \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} * e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k} \quad (2)$$

حيث:

U [m/s]: سرعة الرياح.

k : معامل الشكل ويعطى بالمعادلة (3).

c : معامل الانزياح ويعطى بالمعادلة (4).

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{u}}\right)^{-1.086} \quad (3)$$

$$C = \frac{\bar{u}}{\tau\left(1+\frac{1}{K}\right)} \quad (4)$$

\bar{u} [m/s]: سرعة الرياح المتوسطة في المنطقة وتحسب باستخدام المعادلة (5).

σ : الانحراف المعياري ويحسب باستخدام المعادلة (6).

$\tau(y)$: تابع يسمى تابع (gamma) ويعطى باستخدام المعادلة (7).

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (5)$$

حيث: u_i سرعات الرياح المقروءة في المنطقة، n عدد القراءات.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 \quad (6)$$

$$\tau(y) = \int_0^{\infty} e^{-x} * x^{y-1} dx \quad (7)$$

حيث $X = \frac{u}{c}$

تم حساب كل من البارامترات السابقة، بالاعتماد على سرعات الرياح المتوسطة المقروءة في قطينة. وهي

موضحة في الجدول (1).

الجدول (1) متوسط سرعة الرياح في قطينة على مدار العام (المتوسط لكل 15 يوم)

الأشهر	سرعة الرياح	الأشهر	سرعة الرياح	الأشهر	سرعة الرياح	الأشهر	سرعة الرياح
ك2(1)	2.2 m/s	نيسان(1)	5 m/s	تموز(1)	10 m/s	ت1(1)	4.4 m/s
ك2(2)	3 m/s	نيسان(2)	5.6 m/s	تموز(2)	11.4 m/s	ت1(2)	3.2 m/s
شباط(1)	3.2 m/s	أيار(1)	6 m/s	آب(1)	11.2 m/s	ت2(1)	2.4 m/s
شباط(2)	3.3 m/s	أيار(2)	6.4 m/s	آب(2)	10.2 m/s	ت2(2)	2 m/s
آذار(1)	4 m/s	حزيران(1)	7.4 m/s	أيلول(1)	8.5 m/s	ك1(1)	2 m/s
آذار(2)	4.4 m/s	حزيران(2)	8.6 m/s	أيلول(2)	6.4 m/s	ك1(2)	2.4 m/s

حيث إن الرقم (1) يشير إلى النصف الأول من الشهر. ويشير الرقم (2) إلى النصف الثاني من الشهر.

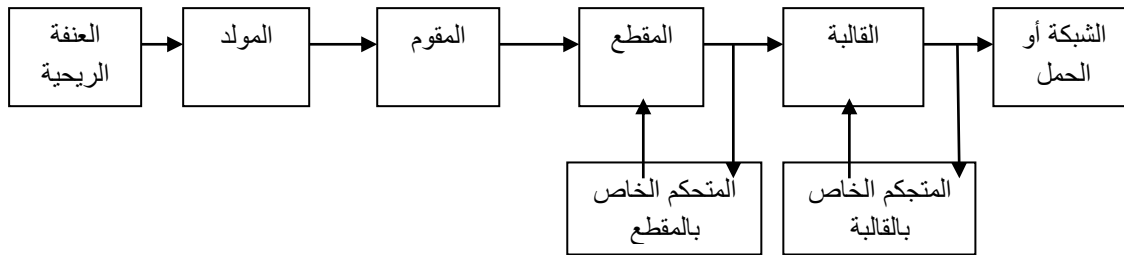
$$\sigma = 3.0566$$

$$K = 1.9$$

$$C = 6.23$$

حسب المرجع [11]، إذا كانت K ذات قيمة قريبة من الرقم (2)، فإن العنفة الريحية الملائمة، تكون ذات سرعة اسمية أصغر بقليل من ضعفي السرعة المتوسطة أي سنختار عنفة ريحية ذات سرعة اسمية أقل بقليل من $(2 * 5.5 = 11 \text{ m/s})$.

تم البحث عن عنفة ريحية ذات سرعة اسمية موافقة لما سبق ذكره، فكانت العنفة الأكثر ملائمة هي العنفة الريحية (DDIS60). وسيكون توصيل النموذج المقترح كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (2) المخطط الصندوقي لتوصيل النموذج المقترح

2- اختيار المولد

بعد اختيار العنفة (DDIS60)، قمنا باختيار المولد الموصول معها وهو مولد تزامني ذو مغناطيس دائم بأقطاب بارزة موصول مباشرة مع محور العنفة الريحية بدون علبة سرعة ويمتلك المواصفات التالية [12] سرعة الدوران الأعظمية هي 26.6 دورة في الدقيقة، حيث إن عدد أزواج الأقطاب هو (113).

3- تصميم المقطع

تصميم المقطع هو اختيار قيم كل من تردد العمل، الملف والمكثفة.

1.3 اختيار تردد العمل

يتم اختيار تردد العمل للترانزستورات بحيث يتحقق لدينا الشرط التالي: يجب أن يكون الدور الأصغري للمذبذب أكبر بحوالي مئة مرة من زمن فتح الترانزستور حسب المرجع [13]. ولدينا الترانزستورات القادرة على العمل في هذا النظام ذات أزمنة فتح مقدارها $(5 \mu_s)$. أي دور العمل الأصغري هو (0.5 ms) وبالتالي سيكون تردد العمل الأعظمي هو $(\frac{1}{0.5 \times 10^{-3}} = 2000 \text{ Hz})$ ، من أجل جميع الترانزستورات.

2.3 اختيار الملف

يتم اختيار الملف اعتماداً على المعادلة (8)، حيث إن القيمة التي نحصل عليها من خلال هذه المعادلة هي القيمة التي تضمن العمل بنظام التوصيل المستمر (Continues Conduction Mode) [14].

$$L \geq \frac{-V_o * T_s}{2 * I_o(crit)} * \frac{V_i(max)}{V_o - V_i(max)} \quad (8)$$

حيث:

$V_o [v]$ جهد خرج المقطع.

$T_s [sec]$ دور إشارة التحكم المرسل إلى الترانزستور.

$V_i(max) [v]$ جهد الدخل الأعظمي ويساوي هنا $(932 V)$.

$I_{O(crit)}[A]$ قيمة تيار الخرج الأصغري المطلوب من أجل العمل بنظام التوصيل المستمر وتحسب قيمته باستخدام المعادلة (9) وقيمته هنا (47.75 A).

$$I_{O(crit)} = \frac{\Delta I}{2} \quad (9)$$

حيث (ΔI) هو تأرجح التيار المرغوب للتيار المار في الملف وتؤخذ نسبته (10% → 30%) وهنا أخذنا النسبة (10%).

وبالتالي ينتج لدينا قيمة الملف الأصغرية، التي تضمن العمل بنمط التوصيل المستمر (CCM).

$$L=10[mH]$$

3.3 اختيار المكثفة

يتم اختيار قيمة المكثفة اعتماداً على المعادلة (10) وهي القيمة التي تضمن العمل بنمط التوصيل المستمر (CCM) [14].

$$C \geq \frac{I_{O(max)} * D_{max}}{f_s * \Delta V_o} \quad (10)$$

حيث:

$I_{O(max)}[A]$: تيار الخرج الأعظمي للمقطع وتحسب قيمته باستخدام المعادلة (11) وقيمته هنا (1433 A).

D_{max} : نسبة توصيل المقطع الأعظمية وهي موافقة لأصغر قيمة جهد تصل إلى دخل المقطع وتحسب قيمتها بالاعتماد على المعادلة (12) وقيمتها هنا (0.7).

$f_s[Hz]$: تردد عمل المقطع ويساوي (2 K_{Hz}).

$\Delta V_o[V]$: تأرجح الجهد المرغوب وتؤخذ نسبته (1%) أي تكون قيمته في هذا التطبيق (6.22 V).

$$I_{O(max)} = \frac{1-D}{D} * I_{in(max)} \quad (11)$$

$$D_{max} = \frac{V_o}{V_o + V_i(min)} \quad (12)$$

وبالتعويض بالقيم السابقة تنتج لدينا القيمة الأصغرية للمكثفة وهي:

$$C=81 [mf]$$

4 تصميم المرشح الموجود على خرج القالب

1.4 تصميم الملف

يتم اختيار قيمة الملف اعتماداً على المعادلة (13).

$$L_f = \frac{V_d}{4 * f_s * \Delta i} \quad (13)$$

حيث:

$$f_s [HZ]: \text{تردد العمل للقالبة وقيمته } 2[KHz]$$

$$V_d [v]: \text{جهد الدخل المستمر وقيمته } (622[V])$$

$\Delta i [A]$: تأرجح التيار وتؤخذ نسبته $(10\% \rightarrow 20\%)$ وبأخذ النسبة (10%) تكون قيمة تأرجح التيار هي

$$(143.3[A])$$

وبالتعويض بالقيم السابقة ينتج لدينا قيمة الملف:

$$L_f = 0.54[mH]$$

2.4 تصميم المكثف الخاص بالمرشح الموجود على خرج القالبة

يتم اختيار قيمة المكثفة بالاعتماد على المعادلة (14).

$$C_f = \frac{\Delta i}{8 * f_s * \Delta V_O} \quad (14)$$

حيث:

$$\Delta V_O [v]: \text{تأرجح الجهد وتؤخذ قيمته } (1\%) \text{ أي } (2.2[V])$$

وبالتعويض بالقيم السابقة ينتج لدينا:

$$C_f = 4.1[mF]$$

5 تصميم نظام التحكم

1.5 تصميم نظام التحكم الخاص بالمقطع

سيتم تصميم متحكم (PI) للمقطع بهدف الحصول على جهد خرج مستمر ثابت مقداره $(622V)$ دائماً، مهما

تغيرت سرعة الرياح والحمولة والخطوات هي كالتالي:

1. إيجاد تابع النقل للمقطع:

حسب المرجعين [16] و [17]، يوجد للمقطع إشارتا دخل (جهد الدخل، إشارة التحكم)، وإشارة خرج وحيدة

(جهد الخرج).

ينتج لدينا تابع النقل:

$$G_V(S) = G_E \frac{1}{1 + \frac{1}{QW_0}S + \frac{1}{W_0^2}S^2} \quad (15)$$

$$G_d(s) = G_d \frac{\left(1 - \frac{s}{W_Z}\right)}{1 + \frac{1}{QW_0}S + \frac{1}{W_0^2}S^2} \quad (16)$$

حيث إن المعادلة (15) تمثل تابع النقل للمقطع عند غياب إشارة التحكم أي $G_V(S) = \frac{V_O(S)}{V_I(S)}$

أما المعادلة (16) تمثل تابع النقل للمقطع عند غياب إشارة الجهد على الدخل أي $G_d(s) = \frac{V_O(S)}{d(S)}$

حيث:

$$G_g = -\frac{D}{\dot{D}} \quad (17)$$

$$G_d = \frac{V}{D\dot{D}} \quad (18)$$

$$W_z = \frac{D^2 R}{DL} \quad (19)$$

$$W_0 = \frac{\dot{D}}{\sqrt{LC}} \quad (20)$$

$$Q = \dot{D} R \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (21)$$

حيث:

D: نسبة توصيل المقطع.

\dot{D} : نسبة فصل المقطع.

V: جهد الخرج المرغوب.

R: الحمولة.

L: قيمة الملف.

C: قيمة المكثفة.

2. تطبيق قاعدة راوث (Routh) للاتزان:

نطبق قاعدة راوث للاتزان من أجل حساب قيمة كل من الريح الحرج K_{cr} وتردد التذبذب الدائم T_{cr} [16].

حيث نتج لدينا:

$$K_{cr} = -\frac{1}{G_g} = \frac{\dot{D}}{D} \quad (22)$$

$$T_{cr} = \frac{0.014}{\dot{D}} \quad (23)$$

3. تطبيق قاعدة زيغلر لتصميم متحكمات (PID).

تعطى ثوابت المتحكم وفقاً لقاعدة زيغلر كما هو وارد في المعادلتين (24)، (25) حسب المراجع [16] و [17].

$$P = 0.4 * K_{cr} \quad (24)$$

$$I = 0.8 * T_{cr} \quad (25)$$

كما هو واضح فإن قيم ثوابت المتحكم تتغير بتغير جهد الدخل، وذلك لأنها مرتبطة بكل من (D, \dot{D}) .

وبالتالي تكون قيم الثوابت لعدة جهود دخل كما هو موضح في الجدول (2):

الجدول (2) قيم ثوابت المتحكم (PI)

جهد الدخل	ثابت الريح التناسبي (KP)	ثابت الريح التكامل (KI)
900 [V]	0.572	0.0192
800 [V]	0.508	0.02
700 [V]	0.452	0.0216
500 [V]	0.328	0.0248
350 [V]	0.225	0.0312

2.5 تصميم نظام التحكم الخاص بالقالبة

سيتم التحكم بالقالبة باستخدام متحكم (PI) مع تقنية (Sine Pulse Width Modulation). من أجل الحصول على إشارة جيبية بدون تشوهات، يلزمنا حلقتي تحكم، حلقة تحكم خارجية من أجل ضبط قيمة الخرج عند القيمة المرجعية المطلوبة وحلقة تحكم داخلية للتيار من أجل إلغاء التشوهات [15].

1.2.5 تصميم المتحكم الخاص بجهود الخرج

يتم تصميم متحكم (PI)، من أجل ضبط الجهد عند القيمة المرجعية المرغوبة، مهما تغيرت الحمولة على الخرج وخطوات التصميم كالتالي وذلك حسب المرجعين [16] و [17]:

أ- إيجاد تابع النقل الذي يمثل تحويل لابلاس لجهود الخرج على تحويل لابلاس لجهود الدخل. حيث ينتج لدينا:

$$\frac{V_O(S)}{V_I(S)} = \frac{1}{L_f C_f S^2 + R_f C_f S + 1} \quad (26)$$

وبتعويض قيم الملف مع المقاومة الخاصة به والمكثفة تصبح المعادلة (26) كمايلي:

$$G_V(S) = \frac{1}{2.214 \times 10^{-6} S^2 + 4.1 \times 10^{-3} S + 1} \quad (27)$$

ب- تطبيق دالة الخطوة الواحدة على دخل النظام لحساب كل من (L,T).حيث:

$$L = t_d \quad (28)$$

$$T = \frac{T_s}{4} \quad (29)$$

حيث:

t_d : الزمن الميت.

T_s : زمن الاستقرار.

فينتج لدينا:

$$T = 0.02395 [sec], L = 0.0498 [sec]$$

ت- حساب ثوابت المتحكم بالاعتماد على خوارزمية (CHR) المعتمدة للحصول على نفس القيمة المرجعية.

[17] وذلك كما هو وارد في المعادلتين (28)،(29).

$$K_p = 0.35 \frac{T}{L} \quad (28)$$

$$K_i = 1.2T \quad (29)$$

وبالتالي تكون قيمة كل من ثابت الريح التناسبي وثابت الريح التكاملي:

$$K_p = 0.168 \quad , K_I = 0.02874$$

2.2.5 تصميم المتحكم الخاص بتيار مكثف المرشح

يتم تصميم متحكم خاص بتيار خرج المكثف وذلك من أجل الحصول على إشارة جيبيية بدون تشوهات وخطوات التصميم هي كالتالي:

أ- إيجاد تابع النقل الذي يمثل تحويل لابلاس لتيار المكثف على تحويل لابلاس لجهد الدخل حيث ينتج لدينا كما هو مبين في المعادلة (30).

$$G_I(S) = \frac{C_f S}{L_f C_f S^2 + R_f C_f S + 1} \quad (30)$$

وبتعويض قيم كل من الملف، مع المقاومة الخاصة به، والمكثفة، ينتج لدينا:

$$G_I(S) = \frac{4.1 \times 10^{-8} S}{2.214 \times 10^{-6} + 4.1 \times 10^{-8} S + 1} \quad (31)$$

ب- تطبيق دالة الخطوة الواحدة على دخل النظام لحساب كل من (L,T) حيث ينتج لدينا:

$$T = 0.00028[sec], L = 0.00375[sec]$$

ت- تطبيق خوارزمية (CHR) لإلغاء التشوه الموضحة في المعادلتين (32)، (33).

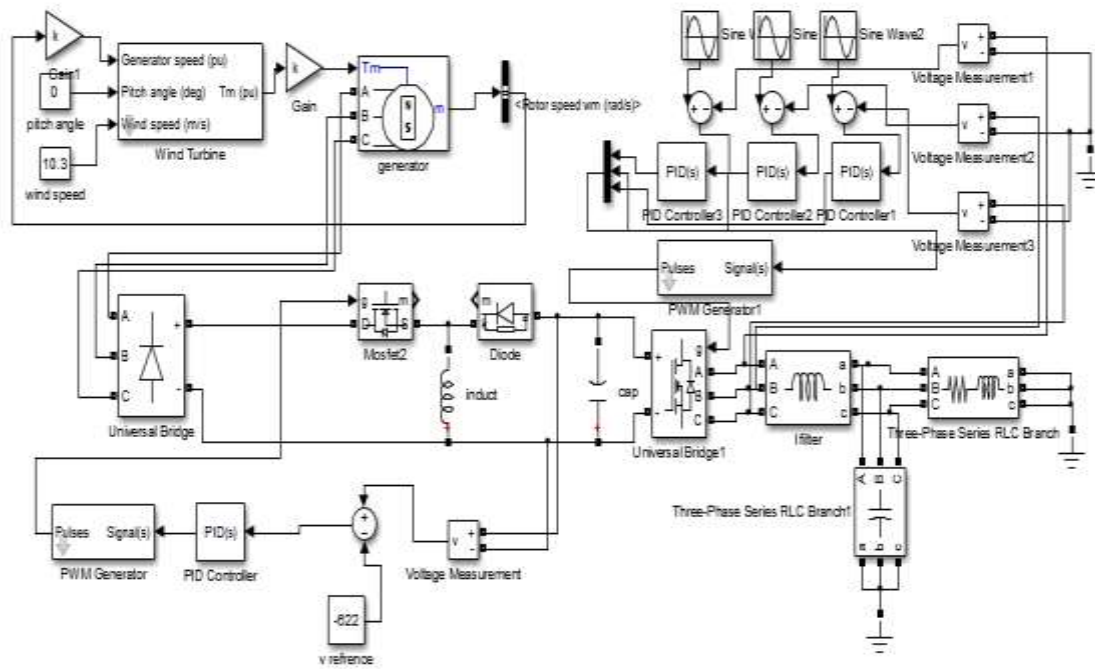
$$K_p = 0.6 * \frac{T}{L} \quad (32)$$

$$K_I = 4 * L \quad (33)$$

وبالتالي تكون قيم الثوابت كمايلي:

$$K_p = 8.04 \quad , K_I = 0.00112$$

ويكون مخطط توصيل النموذج كاملاً في بيئة (Matlab) كما هو موضح في الشكل (3).



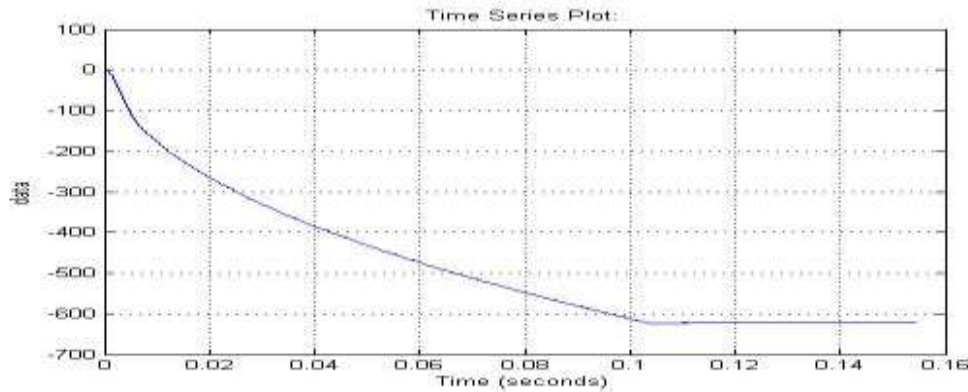
الشكل (3) توصيل النموذج في بيئة (Matlab)

النتائج والمناقشة:

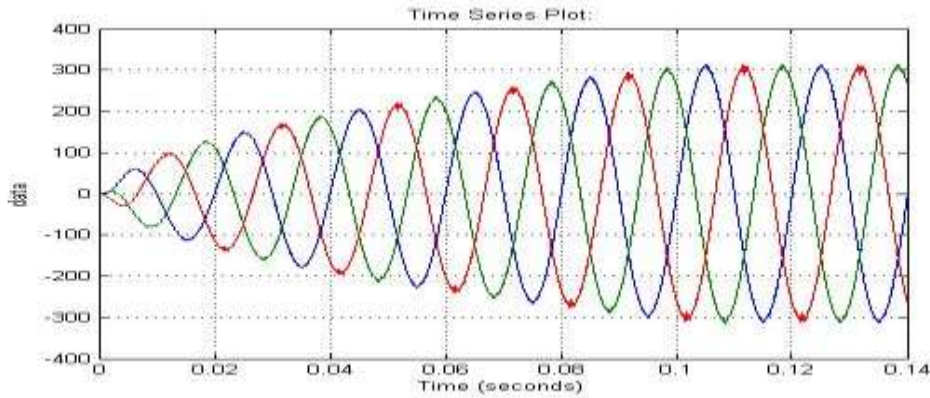
عند تشغيل النموذج، تبدأ العنفة بالدوران بسرعة متناسبة مع سرعة الرياح، فيدور المولد بنفس السرعة معطياً على خرج جهوداً متناسبة في ترددها ومطالها مع سرعة الرياح. سنقوم الآن باختبار إمكانية نموذجنا في الحصول دائماً على جهود ذات مطال وتردد ثابت مهما اختلفت سرعة الرياح والحمولة.

1 تشغيل النموذج بسرعات رياح مختلفة وحمولة ثابتة

تم تجريب النموذج على سرعات مختلفة مع تثبيت الحمل على القيمة (300[Ω], 386[mH]) فنتج لدينا: 1_ سرعة الرياح (u=5 [m/s]). (الاستجابة من أجل سرعة رياح وحيدة لعرض شكل الاستجابة).



الشكل (4) خرج المقطع من أجل سرعة رياح (5[m/s])



الشكل (5) خرج القالبية من أجل سرعة رياح (5[m/s])

تم تدوين النتائج التالية ضمن الجدول (3):

الجدول (3) تغير مميزات الاستجابة مع تغير سرعة الرياح وثبات الحمولة

الخطأ عند حالة الاستقرار	عامل التشويه الكلي	(%) تجاوز الهدف	[s] زمن الاستقرار	[s] زمن الصعود	[m/s] سرعة الرياح
0	0.7	0.19%	0.09	0.07	5
0	0.7	0.23%	0.07	0.05	6
0	0.8	0.31%	0.05	0.042	7
0	0.8	0.53%	0.035	0.03	8
0	0.8	0.87%	0.03	0.024	9
0	0.8	1.125%	0.024	0.02	10.3
0	0.7	1.3%	0.02	0.016	11
0	0.7	1.45%	0.018	0.014	12

نلاحظ من الجدول (3) ما يلي:

يبقى خرج المقطع ثابتاً على القيمة المرجعية مع اختلاف سرعة الرياح.

يبقى خرج القالبية ثابتاً على القيمة المرجعية مع اختلاف سرعة الرياح.

لا يتجاوز معامل التشويه الكلي القيمة (0.8) مهما كانت سرعة الرياح.

تتناقص زمن الاستقرار مع زيادة سرعة الرياح.

تتناقص زمن الصعود مع زيادة سرعة الرياح.

يزداد تجاوز الهدف مع زيادة سرعة الرياح علماً أن أكبر قيمة يصل إليها هي (1.45%).

2 تشغيل النموذج بسرعة رياح ثابتة (11[m/s])، وحمولات متغيرة

تم تثبيت سرعة الرياح على القيمة (11m/s)، وتغيير الحمولة ونظمت النتائج في الجدول (4).

الجدول (4) تغيرات مميزات الاستجابة مع تغير الحمل

الحمولة	زمن الصعود	زمن الاستقرار	تجاوز الهدف	عامل التشويه الكلي	الخطأ عند حالة الاستقرار
(R=300Ω,L=0.386H)	0.016	0.02	1.3%	0.7	0
(R=10Ω,L=0.1H)	0.016	0.02	1.3%	0.7	0
(R=10Ω,L=0.001H)	0.0163	0.0225	1.3%	0.7	0

نلاحظ من الجدول السابق مايلي:

- يبقى خرج المقطع ثابتاً عند القيمة المرجعية مهما كانت قيمة الحمل.
- يبقى خرج القالب ثابتاً عند القيمة المرجعية مهما كانت قيمة الحمل.
- يزداد التأرجح حول القيمة المرجعية، عند الحملات الصغيرة جداً.
- لا يتغير زمن الاستقرار، بتغير الحمل، إلا أنه يزداد بنسبة ضئيلة جداً، في حالة الحملات الصغيرة.
- لا يتغير تجاوز الهدف، مع تغير الحمل.
- لا يتغير الخطأ، عند حالة الاستقرار، مع تغير الحمل.
- يحافظ معامل التشويه الكلي على قيمته مع تغير الحمل علماً أنه لا يتجاوز القيمة (0.8).

3 تغذية (100) منزل بالطاقة الكهربائية على مدار العام

يمكننا استخراج عدد الساعات، التي تدوم فيها أي سرعة رياح في قطينة، وذلك باستخدام تابع وايل الذي تم استخراجه سابقاً بالاعتماد على سرعة الرياح فيها، وذلك كما يلي:

مثلاً لاستخراج عدد الساعات التي تدوم فيها السرعة (5m/s) نعوض (u=5m/s) في القانون التالي:

$$f(u) = \frac{1.9}{6.23} * \left(\frac{u}{6.23}\right)^{0.9} * e^{-\left(\frac{u}{6.23}\right)^{1.9}} * 8760$$

فينتج لدينا:

$$f(u)=1135[\text{hour}]$$

أي يوجد لدينا (1135) ساعة على مدار العام تكون سرعة الرياح فيها (5[m/s]).

بناءً على ذلك، يمكن تغذية (100) منزل بالطاقة الكهربائية وفق الطاقة والأوقات التالية:

- (980) ساعة خلال العام لاتستطيع العنفة خلالها تقديم أي طاقة .
- (651) ساعة تستطيع العنفة خلالها تغذية المنازل كلها مع وجود فائض مقداره (400[Kw]) .
- (747) ساعة تقدم العنفة فيها الطاقة اللازمة للمنازل دون وجود أي فائض.
- (706) ساعة تقدم العنفة فيها الطاقة اللازمة مع وجود فائض مقداره (18[Kw]) " بشكل وسطي.
- ماتبقى من العام تستطيع العنفة خلاله تأمين جزء من الطاقة المطلوبة فقط بنسب متغيرة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

1. أثبتت الدراسة إمكانية الاستفادة من الرياح في قطينة وبناء عفة ريحية ملائمة للمنطقة بالاعتماد على تابع وايبيل.
2. أثبتت الدراسة إمكانية الحصول على جهد جيبي متناوب ذو مطال وتردد ثابتين من أجل أي سرعة رياح ومن أجل أي حمولة وذلك باستخدام متحكمات (PI).
3. أثبتت الدراسة كفاءة متحكمات ال(PI) من أجل أنظمة تحويل الطاقة الريحية التي تتكون من المكونات التي سبق ذكرها.

التوصيات

1. نوصي بمتابعة البحث مع الأخذ بعين الاعتبار بقية الطاقات البديلة المتوفرة في المنطقة كالتحلية الشمسية والطاقة الحيوية.
2. نوصي بمتابعة البحث وذلك بتجريب طرق أخرى للتحكم كالتحكم ذو المنطق الضبابي أو باستخدام الشبكات العصبونية وغيرها من طرق التحكم الذكية من أجل اختيار الأفضل.

المراجع:

- [1] جعيداني، مروة.؛ الحبش، عمر.؛ الحلبي، هبة.؛ إنكون مع الشبكة وإدارتها، Kawn Group، سورية.
- [2] Bose, Kimal.; Spiegel, Ronald.; Simoes, Marcelo. "Fuzzy Logic Intelligent Control of a Variable Speed Cage Machine Wind Generation System". IEEE Transaction On Power Electronics USA, VOL.12,NO.1,1997,p.88-94.
- [3] Eskander, Mona. "Neural Network Controller of a Permanent Magnet Generator Applied in Wind Energy Conversion System". Journal Of Power Electronics Egypt, VOL. 2, NO.1, 2002, p.46-54.
- [4] Raju, A.; Fernandes, B.; Chatterjee, K. "A Simple Maximum Power Point Tracker for Grid Connected Variable Speed Wind Energy Conversion System with Reduced Switch Count Power Converters". IEEE Andia, 2003, p.748-753.
- [5] Battista, Hernan.; Mantz, Ricardo. "Dynamical Variable Structure Controller for Power Regulation of Wind Energy Conversion System", IEEE Transaction On Energy Conversion Argentina, VOL.19, NO.4, 2004, p.756-763.
- [6] Aliprantes, A.; Papathanassiou, S.; Papadopoulos, M.; Kladas, A. "Modeling and Control of a Variable Speed with Permanent Magnet Synchronous Generator".
- [7] Muhando, Endusa.; Senjyu, Tomonobu.; Urasaki, Noomitsu.; Yona, Atsushi.; Kinjo, Hiroshi.; Funabashi, Toshihisa. "Gain Scheduling Control of Variable Speed WTG under Widely Varying Turbulence Loading", Science Direct Japan. 2007, p.2407-2423.
- [8] Hong, Ying.; Lu, Shiue.; Chiou, Ching. "MPPT for PM Wind Generator Using Gradient Approximation". Science Direct. 2009, p.82-89.
- [9] Li, Shuhui.; Haskew, Timothy.; Yu, Ling. "Conventional and Novel Control Designs of Direct Driven PMSG Wind Turbines". Science Direct USA. 2010, p.328-338.
- [10] Rahim, Ahma.; Nowichi, Ep. "Performance of a Grid Connected Wind Generation System with a Robust Susceptance Controller". Sciencs Direct Canada, 2011, p.149-157.
- [11] Johnson, Gray. *Wind Energy Systems*. 2001.

[12] WWW.DDISWT.COM.

[13] باصيل، شفيق. *الالكترونيات القدرة الكهربائية*.; شيخوك، حبيب.; عطية، بسام.

[14] Rogres, Everett. *Understanding Buck_Boost Stages in Switch Mode Power Supplies*, 2002.

[15] Mansoor, Abdul Kareem.; Abdullah, Ahmed. "Analysis and Simulation of Single Phase Inverter Controlled by Neural Network." *AL_Rafidain Engineering Iraq*, VOL.20, NO.6, 2012, p.1-14.

[16] داود، محسن. "التحكم الآلي، جامعة تشرين، مديرية الكتب والمطبوعات.

[17] Xu, Diangyu.; Chen, YangQuan.; Atherton, Derek. "PID Controller Design", Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007 .