

تصميم وتنفيذ دائرة بالأردوينو للمحافظة على درجة حرارة مولد طاقة الرياح وإيقافه عند ارتفاعها عن الحد الطبيعي

<http://www.doi.org/10.62341/licase2084>

حمزة امحمد حبريشة¹، أحمد احميده اسميو²، عبد القادر الامين الصغير³

1، 2 قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، كلية العلوم التقنية مصراته، مصراته، ليبيا
3 قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، كلية الطيران المدني مصراته، مصراته، ليبيا
البريد الإلكتروني (hamzaheb4@gmail.com)

الملخص

في ظل التزايد المستمر في الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، برزت طاقة الرياح كأحد أهم المصادر النظيفة والمستدامة لتوليد الكهرباء. تتميز طاقة الرياح بقدرتها على العمل بشكل مستمر مقارنة بالطاقة الشمسية، إضافة إلى انخفاض تكاليف إنتاج الكهرباء منها في المناطق ذات الرياح القوية. ومع تطور التكنولوجيا، أصبحت تكلفة إنتاج الكهرباء من الرياح تقترب من تكاليف الإنتاج التقليدية، مما عزز من أهميتها على الصعيد العالمي. لكن لضمان كفاءة واستمرارية عمل توربينات الرياح، من الضروري وجود أنظمة حماية ومراقبة دقيقة. في هذا البحث، سنقوم بتصميم وتنفيذ منظومة للتحكم في درجة حرارة مولد توربين الرياح باستخدام لوحة **Arduino** وحساس **LM35**. تهدف هذه المنظومة إلى إيقاف التوربينة تلقائيًا عند تجاوز درجة حرارة المولد 70 درجة مئوية، مما يساعد في حماية المولد من التلف وضمان استمرارية توليد الطاقة بكفاءة. يشمل النظام المقترح مراقبة دقيقة لدرجة حرارة المولد وتفعيل عملية الإيقاف عند الضرورة، إضافة إلى إمكانية دمج نظام تبريد لتحسين أداء المولد في البيئات ذات درجات الحرارة العالية.

يأتي هذا البحث كمساهمة في تحسين نظم الحماية والتشغيل الآلي لتوربينات الرياح، مما يساهم في زيادة فعالية استغلال طاقة الرياح وتقليل احتمالية الأعطال الميكانيكية والكهربائية الناتجة عن ارتفاع درجات الحرارة. **الكلمات المفتاحية:** طاقة الرياح، التوربينات الهوائية، الأردوينو، حساس LM35، نظام التحكم الحراري.

Design and implement an Arduino circuit to maintain the temperature of the wind power generator and stop it when it rises above the normal limit

¹ Hamza E Hebrisha ², Ahmed E Esmailio ³, Abdulgader E Elsaghier
2 Department of Electrical and Electronics Engineering, The College of Technical
1 Sciences
Misurata, Libya
3 Department of Electrical and Electronics Engineering, Civil Aviation College
Misurata, Libya
Email hamzaheb4@gmail.com

Abstract

As the global demand for renewable energy sources continues to rise, wind energy has emerged as one of the most important and sustainable methods for generating electricity. Wind energy stands out for its ability to operate continuously compared to solar power, and it is particularly cost-effective in areas with consistent high winds. With advancements in technology, the cost of electricity generation from wind turbines has become competitive with traditional methods, further highlighting its global significance.

To ensure the efficiency and longevity of wind turbines, it is essential to implement robust protection and monitoring systems. In this research, we propose the design and implementation of a control system using **Arduino** and the **LM35** temperature sensor to monitor the temperature of the wind turbine generator. The system will automatically shut down the turbine when the generator's temperature exceeds 70°C, thereby preventing damage and ensuring continuous, efficient energy generation. The proposed system provides precise temperature monitoring and triggers a shutdown when necessary, with the potential to integrate a cooling system for enhanced performance in high-temperature environments.

This research contributes to improving automated protection systems for wind turbines, enhancing the effective use of wind energy while reducing the likelihood of mechanical and electrical failures caused by overheating.

Keywords: wind energy, wind turbines, Arduino, LM35 sensor, thermal control system.

1. المقدمة

في ظل التوجه العالمي نحو استغلال مصادر الطاقة المتجددة لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري والتقليل من انبعاثات الكربون، تعد طاقة الرياح واحدة من أبرز المصادر المتاحة لتوليد الكهرباء بشكل مستدام. وعلى الرغم من الفوائد البيئية والاقتصادية لطاقة الرياح، تواجه هذه التكنولوجيا بعض التحديات التقنية، ومن أبرزها مراقبة وتحكم العوامل البيئية مثل درجة الحرارة والرطوبة، التي قد تؤثر على أداء وكفاءة مولدات الطاقة. تستدعي هذه التحديات تطوير أنظمة ذكية قادرة على مراقبة وتحكم هذه العوامل بشكل فعال. في هذا البحث، وحساسات متخصصة لمراقبة درجة الحرارة والرطوبة **Arduino** منقوم بتصميم وتنفيذ نظام تحكم باستخدام متحكم في مولد طاقة الرياح. يهدف النظام إلى حماية المولد من التلف وضمان استمرارية عمله بكفاءة عند تجاوز درجات الحرارة والرطوبة الحدود المقبولة.

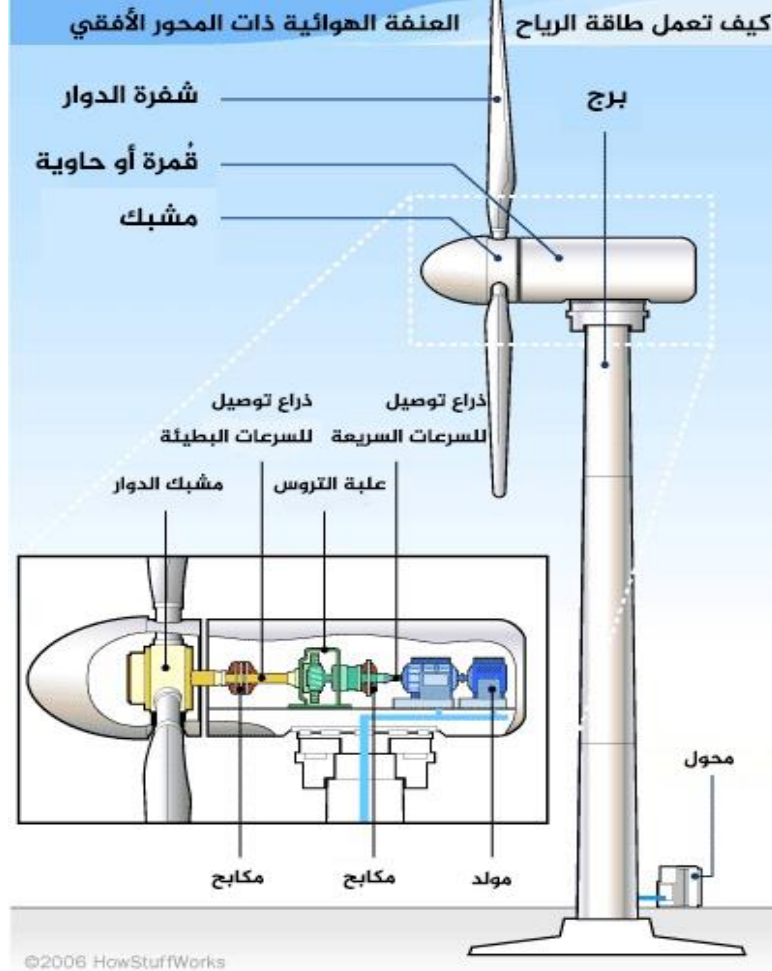
مولد طاقة الرياح

هو الجهاز الذي يستخدم لتحويل طاقة الرياح إلى طاقة كهربائية. يتكون المولد من عدة أجزاء، بما في ذلك العنفات (المروحة) والمحرك والمولد الكهربائي. عندما تهب الرياح، تدور العنفات وتحرك المحرك، وبدوره يقوم المحرك بتحويل الحركة الدورانية إلى طاقة كهربائية باستخدام المولد الكهربائي والشكل (1) يوضح مولد طاقة الرياح.

كما يمكن للمتحكمات الذكية كالأوردينو العمل على التحكم في توربينات الرياح كمستشعرات والقيام بعدة مهام أخرى منها الكشف عن الأمراض، مراقبة مستوى العسل في المناحل، والتنبه في حالة الطوارئ [2].

تعتبر طاقة الرياح مصدراً نظيفاً ومتجدداً للطاقة، حيث لا تنتج عنها انبعاثات ضارة للبيئة مثل الغازات الدفيئة. كما أنها تعتبر مصدراً وفيراً ومتاحاً في العديد من المناطق حول العالم [3].

تستخدم محطات طاقة الرياح عادة في المناطق الريفية أو البحرية حيث تكون سرعة الرياح مرتفعة. وتتكون هذه المحطات من مجموعة من التوربينات الرياح المثبتة على أبراج عالية. تتحول حركة الرياح إلى طاقة ميكانيكية عندما تدور العنفات، وتحول هذه الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية عندما يعمل المولد الكهربائي. تعتبر طاقة الرياح من البدائل الجيدة للوقود الأحفوري، حيث تساهم في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وتقليل انبعاثات الكربون. كما أنها تساهم في توفير الكهرباء للمجتمعات النائية وتعزيز استدامة الطاقة في العالم [4].



الشكل (1) مولد طاقة الرياح

تربينات الرياح الكبيرة:

تصنف تصميمات تربينات الرياح الكبيرة ضمن ثلاث فئات رئيسية:

الفئة الأولى: التربينات الكلاسيكية ذات صندوق التروس متعدد المراحل التقليدي، وتسمى أيضا بذات "المفهوم

الدانماركي" **Danish concept**.

يكون فيها عادة صندوق تروس ذو ثلاث مراحل بنقل الحركة من عامود السرعة الرئيسي البطيء-المتصل بالريش-

إلى عامود إدارة المولد (الأعلى سرعة) ومن ثم تبدأ عملية توليد الكهرباء.

الفئة الثانية: هي التربينات بدون صندوق التروس **Gearless Turbines** وفيها يتصل عامود السرعة الرئيسي

البطيء -المتصل بالريش- مباشرة بقلب مولد ذو حجم كبير متعدد الأقطاب.

الفئة الثالثة: فهي هجين بين التصميمين السابقين بحيث تسمح بمولد أصغر وكذلك صندوق تروس أصغر يتكون عادة من مرحلة واحدة.

إن التربينات الكلاسيكية ذات التصميم الدانماركي -الفئة الأولى- لا يمكن فيها تغيير زاوية حركة ريش التربينه مع تغير سرعات واتجاهات الرياح، وهي تعتمد فقط على التصميم الـ "إيروديناميكي" للريشة الذي يؤدي إلى انفصال الهواء عن سطح الريش عند السرعات العالية غير المرغوب فيها للرياح، لذلك تسمى بالـ **stall controlled turbines**.

ولكن معظم التربينات الحديثة الآن تعتمد على وجود أنظمة تحكم ميكانيكية وكهربية في الصرة **hub** لتتيح تحريك زوايا ريش التربينه بما يسمح بتغيير زاوية استقبال الريشة للهواء المندفع إليها لتعظيم الاستفادة من الطاقة في حالة السرعات المنخفضة للرياح، وتخفيضها عند سرعات الرياح القصوى التي لا تتحملها التربينه، ولذلك تسمى بالـ **pitch controlled turbines**، فضلا عن ذلك فإن التربينات الحديثة ذات تصميمات مولدات متنوعة سواء الحديثة أو التزامنية منها، الأمر الذي أتاح دوراً أكبر للإلكترونيات **power electronic** والارتقاء بجودة وكفاءة الطاقة الكهربائية المنتجة والثبات النسبي لخصائصها بالرغم من التغيرات الطبيعية في سرعات واتجاهات الرياح [5]. وكما ذكرنا من قبل فإنه يوجد في أسفل برج كل تربينة عادة وحدة التحكم **controller** في التربينه والتي هي عبارة عن كمبيوتر به أكثر من معالج دقيق **microprocessor**، كل منها له مجموعة من الوظائف تتضمن برامج لمراقبة الأداء لتأمين الحماية الكاملة لتربينة أثناء التشغيل وبرامج لجمع ومعالجة العديد من القياسات من جهد وتيار وتردد وغيرها من حسابات الطاقة، كما أن هناك برامج لتشغيل دوائر الهيدروليك ومراقبة الضغوط وقياس درجات الحرارة في الأماكن الهامة بالتربينة مثل كراسي التحميل **bearings** العملاقة في صندوق التروس والمولد وعمود السرعة البطيئة وملفات المولد وغيرها لحمايتها من التآكل والانهييار، وكذلك هناك برامج لقياس سرعة واتجاه الرياح والتحكم في زوايا الريش عن طريق دوائر هيدروليكية لتنظيم عملية إنتاج الطاقة **power regulation**، ويتم قياس أيضاً سرعة دوران عمود السرعة البطيئة والسريعة كما تتم مراقبة أداء التربينه عن طريق مجموعة من إشارات التغذية العكسية وبذلك تعمل كل تربينة كوحدة مستقلة وكما يحوي نظام التحكم والتشغيل مجموعة متطورة من الكروت الذكية التي تؤمن فصل وتوصيل التربينه بشبكة الكهرباء المحلية لحماية الكابلات والمكونات الكهربائية مثل الكونتاكتورات والمنصهرات بخلاف كروت الذاكرة اللازمة لتخزين البيانات والقراءات المتراكمة لكل المتغيرات الفنية [4].

مكونات العنفات الهوائية:

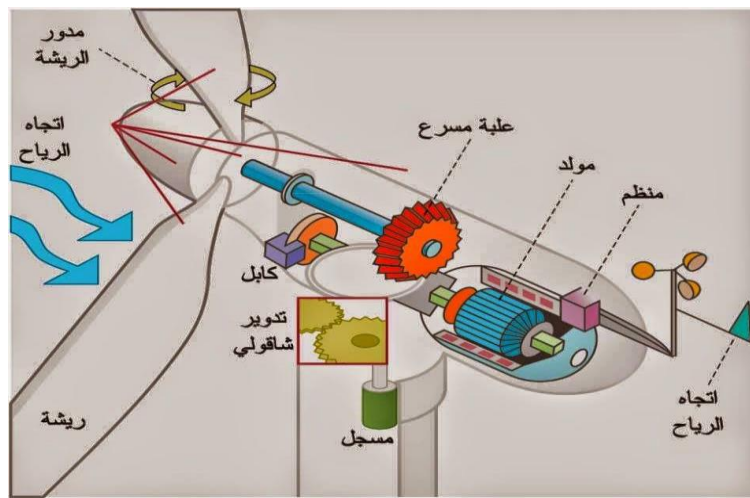
تتكون أبسط عنفة هوائية ممكنة من ثلاثة أقسامٍ محوريةٍ وأساسيةٍ وهي:

شفرات الدوار: Rotor Blades وتعتبر بشكلٍ أساسيٍّ أشرعة هذا النظام، فهي تعمل بأبسط أشكالها كحواجز لصد الرياح (تتخطى التصاميم الأكثر حداثةً كونها حواجز فقط). فعندما تُرغم الرياحُ هذه الشفرات على الحركة، تكون قد نقلت بعضًا من طاقتها للدوار .

ذراع التوصيل: Shaft يتصل ذراع التوصيل داخل العنفة الهوائية في إحدى نهايتيه بمركز الدوار، وعندما يدور هذا الأخير يدور معه ذراع التوصيل، فينقل الدوار بهذه الطريقة طاقته الميكانيكية الدورانية إلى ذراع التوصيل، الذي يتصل في نهايته الأخرى بمولدٍ كهربائيٍّ.

المولد: Generator هو في الأساس عبارة عن أداة بسيطة جدًا. تستخدم خصائص التحريض (التحفيز) الكهرومغناطيسي **Electromagnetic induction** لإنتاج الضغط الكهربائي (الجهد الكهربائي)، اختلاف في الشحنة الكهربائية، حيث يُعتبر الجهد الكهربائي أساسًا ضغطًا كهربائيًا، فهو القوة الناقلة للكهرباء، أو التيار الكهربائي، من نقطةٍ لأخرى. إذًا فإن توليد الضغط الكهربائي هو بالفعل توليد التيار.

يتكون المولد البسيط من مغناط **magnets** وموصل **conductor**، هذا الأخير في الغالب عبارة عن سلكٍ ملفوفٍ. داخل المولد، يتصل ذراع التوصيل بتركيب (مجمع) من المغناط الدائمة التي تحيط بالسلك الملفوف. بالنسبة للتحفيز الكهرومغناطيسي، إذا كان لديك موصلٌ مُحاطٌ بالمغناط، وكانت إحدى هذه الأجزاء تدور بالتناسب مع غيرها، يؤدي ذلك لتحفيز الضغط الكهربائي في الموصل. فحين يقوم الدوار بتدوير ذراع التوصيل، يدور هذا الأخير مجمع المغناط، مولدًا بذلك ضغطًا كهربائيًا داخل السلك الملفوف، يقوم هذا الضغط بنقل التيار الكهربائي (التيار المتناوب في العادة) [6].



الشكل (2) يوضح تركيب الداخلي للعنفة الهوائية

2. الجانب العملي والمنهجية:

في هذا الجانب سيتم دراسة وتصميم دائرة لقياس درجة حرارة مولد "أو محرك كهربائي" باستخدام متحسس حرارة Lm35 عن طريق لوحة الأردوينو باستخدام لوحة اوردينو اونو. عن طريق الأردوينو يتم كتابة الكود الخاص بالبرنامج وبواسطته يتم إيقاف تربيئة الرياح عن العمل عند ارتفاع درجة الحرارة عن 70 درجة مئوية وأسباب هذا الارتفاع بالدرجة الأولى عن زيادة سرعة التربيئة عن المعدل الطبيعي وذلك نتيجة لارتفاع سرعة الرياح أعلى من 25 متر في الثانية ولم تقف التربيئة عن العمل (مستمرة في العمل) لأن سرعة الرياح أعلى من 25 متر في الثانية سرعة عالية تسبب في ارتفاع حرارة أقطاب المولد التزامني لتربيئة طاقة الرياح.

2-1. العناصر المستخدمة في توصيل الدائرة:

1. لوحة اردوينو نوع اونو.
2. شاشة عرض LCD.
3. مقاومة متغيرة.
4. المرحل Relay.
5. متحسّن حرارة Lm35.
6. مروحة تبريد.
7. أسلاك توصيل.

لوحة الأردوينو:

هي عبارة عن لوحة تطوير إلكترونية Development Borad تتكون من دائرة إلكترونية مفتوحة المصدر مع متحكم دقيق من شركة ATMEL على لوحة واحدة يتم برمجتها عن طريق الحاسوب [4]. تم تصميمها لكي تجعل عملية استخدام الإلكترونيات التفاعلية في مشاريع متعددة التخصصات أكثر سهولة وأقل تكلفة. من الأشياء التي ساعدت على سرعة انتشارها أنها مفتوحة المصدر ونقصد هنا أنه قد تم نشر كافة التفاصيل الفنية والتصميمية والبرمجية حول الأردوينو وكل ما تقوم به من مشاريع وتمكين أي شخص من الوصول إليها والتعديل عليها. وتبرمج الأردوينو بلغة Arduino C وقد تم اشتقاقها من لغة C والتي تعد أساساً إحدى لغات البرمجة الحديثة ومن أقوى لغات البرمجة.



الشكل (3) يوضح لوحة الاردوينو

شاشة العرض: LCD

إن شاشة الإظهار الكريستال عبارة عن مصفوفة نقطية تستخدم لعرض المعلومات والنتائج حيث يمكن من خلالها عرض جميع رموز شفرة اللاسكي وهي عبارة عن شاشة مؤلفة من سطر أو أكثر يحتوي كل سطر على عدد من الخانات والخانة هي عبارة عن مربع صغير يتم إظهار الحرف عليه أي أن كل خانة تستطيع إظهار حرف واحد فقط. كما في الشكل (4).



الشكل (4) شاشة العرض

مميزات شاشة العرض LCD:

1. تملك شاشة الإظهار الكريستالية معالج إظهار خاص بها بحيث توفر على المستثمر القيام بعمليات عديدة شاقة ومعقدة.
2. تحتوي على ذواكر تقسم إلى: DD-ram ذاكرة المعطيات و GG-ram ذاكرة مولد الرمز حيث تقوم هذه الذواكر بحفظ الرموز المراد إظهارها.
3. تغذيتها من 4.5 فولت إلى 5.5 فولت إذا تم تغذيتها بجهد أقل فإنها لا تعمل وإذا تم رفع الجهد فإنها تسخن لذلك يفضل تغذيتها بجهد 5 فولت تماماً.
4. استهلاك قليل للطاقة.

المقاومة المتغيرة Variable resistor:

المقاومة المتغيرة Variable resistor: هي عنصر إلكتروني غير فعال تستطيع تغيير المقاومة عبرها، ولها استخدامات واسعة جداً حتى أننا لا نجد جهاز واحد يخلو منه هذا العنصر وهي مقاومة يمكن تغيير قيمتها حيث

تتراوح قيمتها بين الصفر وأقصى قيمة لها فمثلاً عندما تقول إن قيمة المقاومة هي $10\text{ k}\Omega$ ، فهذا يعني أن قيمة المقاومة تتراوح بين صفر وتزداد بالتدرج يدوياً حتى تصل قيمتها العظمى إلى $10\text{ k}\Omega$ وبمعنى آخر أنها تتغير من 0 إلى $10\text{ k}\Omega$ ، ويمكن تنبيهها على قيمة معينة ومن أكثر استعمالات الشائعة للمقاومة المتغيرة

1. تحديد التيار المار في الدوائر الكهربائية.
 2. التحكم في المضخات العملية Amplifier.
 3. كوحدة إدخال التحكم بوظائف معينة اعتماداً على قراءتها كالتحكم بالمحركات الكهربائية أو التحكم بشدة الإضاءة لباعث ضوئي LED.
- قد يكون الشكل المألوف للمقاومة المتغيرة هو الشكل التماثلي Analog كما هو موضح في الشكل (5).



الشكل (5) المقاومة متغيرة

المرحلات: Relays

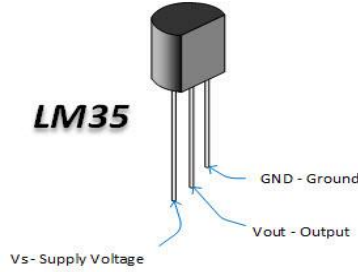
يسمى الكونتاكتور المساعد حيث يشبهه في طريقة عمله الكونتاكتور إلا أنه لا يحتوي على نقاط رئيسية Main contacts ولذلك فهو لا يستخدم في دوائر القوة power circuits ولكن يستخدم فقط في دوائر التحكم والموصل المستخدم مع الأردوينو يتم تغذية ملفه جهد 5VDC



الشكل (6) المرهل

الحساس LM35

هو نوع واحد من أجهزة استشعار درجة الحرارة شائعة الاستخدام التي يمكن استخدامها لقياس درجة الحرارة في الدوائر الكهربائية والالكترونية. هذا المستشعر يولد جهد خرج يتناسب خطياً مع درجة الحرارة حيث يزداد جهد الخرج بمقدار 0.01 لكل درجة حرارة.



الشكل (7) حساس LM35

الجدول (1) يبين أرجل الحساس LM35 Pin Configuration

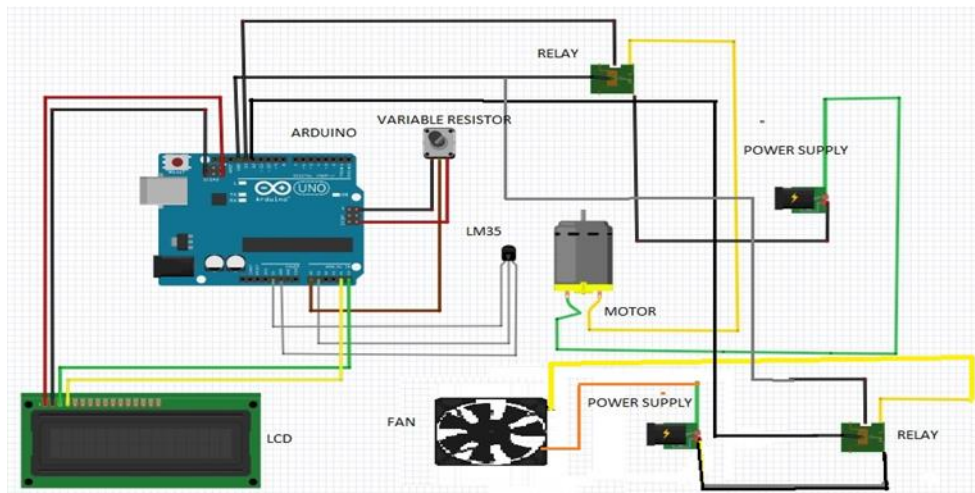
Pin Number	Pin Name	Description
1	Vcc	Input voltage is +5V for typical applications
2	Analog Out	There will be the increase in 10mV for raise of every 1°C. Can range from -1V(-55°C) to 6V(150°C)
3	Ground	Connected to ground terminal of the circuit

بعض تطبيقات حساس الحرارة LM3

قياس درجة حرارة بيئة معينة وتطبيقات HVAC

توفير الاغلاق الحراري لمكونات الدوائر الكهربائية والالكترونية

فحص درجة حرارة البطارية [1].



الشكل (8) الدائرة العملية.

يقوم الحساس بقياس درجة حرارة المحرك ويرسل إشارة كهربائية للأردوينو على هيئة فولت ويقوم الأردوينو بتغيير هذه الإشارة إلى درجة حرارة عن طريق معادلات رياضية.

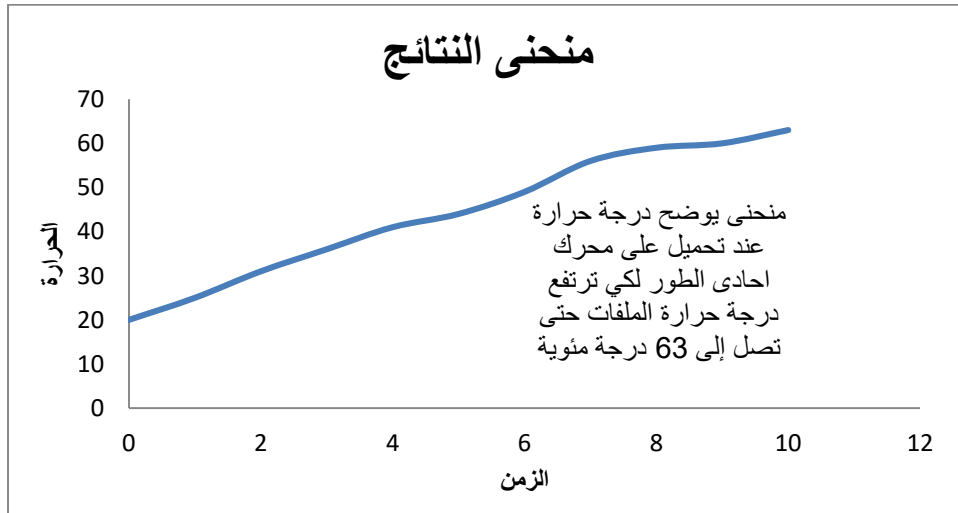
يتم تحديد درجة الحرارة المطلوبة باستخدام مقاومة متغيرة متصلة بالأردوينو يتم عرض كلا من درجة حرارة المحرك ودرجة الحرارة المطلوبة على شاشة عرض يقوم الأردوينو بمقارنة درجة حرارة المحرك مع درجة الحرارة المطلوبة فإذا كانت درجة حرارة المحرك أقل من الدرجة المطلوبة يعمل المحرك بشكل طبيعي أما إذا كانت درجة حرارة المحرك تساوي أو أعلى من الحرارة المطلوبة يقوم الأردوينو بإرسال إشارة كهربائية لفصل المحرك [4].

التجربة لمحاكاة ارتفاع مولد طاقة الرياح باستخدام محرك أحادي الطور:

لقد قمنا بإجراء تجربة على محرك أحادي الطور وقوة واحد حصان وتحميله لكي ترتفع درجة حرارة الملفات حتى تصل إلى 63 درجة مئوية وبعدها يقوم الأردوينو بإيقاف المحرك وأخذ القراءات كما مبين في الجدول (2).

الجدول (2) يبين ارتفاع درجات الحرارة مع الزمن

الزمن (بالدقيقة)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
الحرارة (بالدرجة مئوية)	20	25	31	36	41	44	49	56	59	60	63



الشكل (9) يبين منحنى النتائج أ.

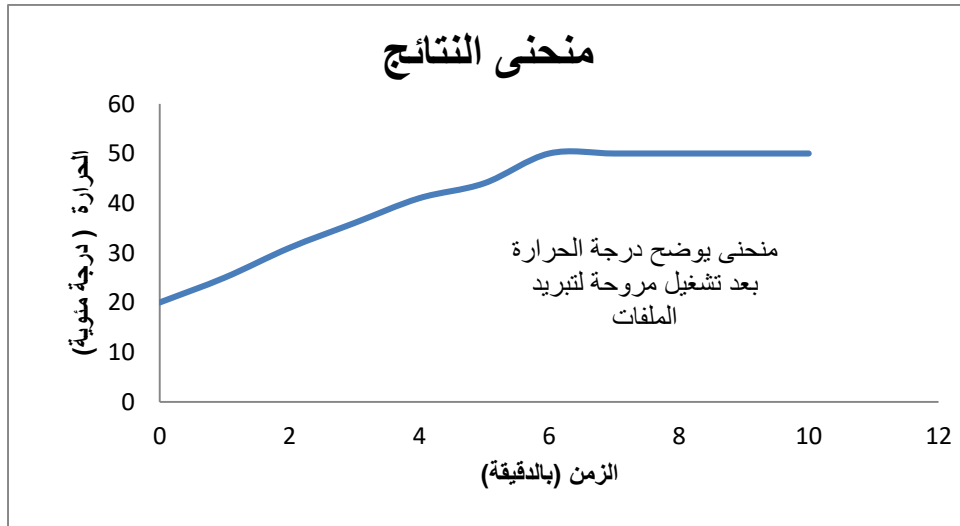


الشكل (10) الدائرة العملية (أ)

ثم قومنا بوضع مروحة لتبريد الملفات بحيث يتحكم الأردوينو في تشغيل هذه المروحة، وعندما تصل درجة حرارة الملفات إلى 50 درجة مئوية يقوم الأردوينو بتشغيل المروحة لتبريد الملفات وأخذ القراءات كما مبين في الجدول (3).

الجدول (3) يبين انخفاض درجات الحرارة مع الزمن

الزمن (بالدقيقة)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
الحرارة (درجة مئوية)	20	25	31	36	41	44	50	50	50	50	50



الشكل (11) يبين منحنى النتائج (ب).



الشكل (12) الدائرة العملية (ب)

الاستنتاجات:

- من خلال تصميم وتنفيذ الدوائر الإلكترونية نستنتج الآتي:
1. إمكانية تغيير الكود البرمجي والتعديل فيه إذا تطلب الحاجة لذلك دون التغيير في المكونات المادية لهذه الدائرة.
 2. نستنتج أن لوحة الأردوينو لديها القابلية لتحليل واستقبال الإشارات واتخاذ الإجراءات اللازمة في تنفيذ البرنامج بسرعة عالية.
 3. بواسطة هذه الدائرة يتم عرض درجة الحرارة الماسة على الشاشة ويتم إيقاف المحرك أو (المولد الكهربائي) على العمل على حسب درجة الحرارة المطلوبة.
 4. يمكن تنفيذ هذه الدائرة على كثير من التطبيقات الأخرى منها قياس درجة حرارة الغلاية والمحافظة على درجة حرارة غرفة وقياسها.

التوصيات:

1. اعطاء وقت كافي في أعداد مثل هذه المشاريع للوصول إلى نتائج أفضل وأكثر دقة.
2. دعم الباحثين في مجال لوحات الأردوينو ومجال طاقة الرياح.
3. نوصي بأجراء الدراسات الأزمنة للاستفادة منها في تنفيذ محطات طاقة الرياح لتوليد الكهرباء في مدن ليبيا.
4. عند تنفيذ محطات طاقة الرياح يجب مراعاة أن تكون قريبة من شبكات توزيع الكهرباء القائمة لتقليل التكلفة عند ربطها مع الشبكة العامة.

المراجع

- [1] A. S. Ismailov and Z. B. Jo'rayev, "Study of arduino microcontroller board," *Science Educ. Sci. J.*, vol. 3, no. 3, pp. 172–179, 2022, [Online]. Available: www.openscience.uz
- [2] A. Murad, O. Bayat, and H. M. Marhoon, "Implementation of rover tank firefighting robot for closed areas based on arduino microcontroller," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 21, no. 1, pp. 56–63, 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v21.i1.pp56-63.
- [3] A. A. Malik *et al.*, "Power Monitoring System for Wind Turbine in Ducting System Using Arduino and Labview Application," *J Fundam Appl Sci*, vol. 10, no. 6S, p. 1845, 2018, doi: 10.4314/jfas.v10i6s.148.
- [4] E. B. Hani, "Data Acquisition for Wind Turbine Design and Analysis using Arduino," *Adv. Robot. Autom.*, vol. 06, no. 03, pp. 1–5, 2017, doi: 10.4172/2168-9695.1000180.
- [5] N. S. Attemene, K. S. Agbli, S. Fofana, and D. Hissel, "Optimal sizing of a wind, fuel cell, electrolyzer, battery and supercapacitor system for off-grid applications," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 8, pp. 5512–5525, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.05.212.
- [6] E. Q. Ahmed, I. A. Aljazeera, A. F. Al-zubidi, and H. T. S. ALRikabi, "Design and implementation control system for a self-balancing robot based on internet of things by using Arduino microcontroller," *Period. Eng. Nat. Sci.*, vol. 9, no. 3, p. 409, Jul. 2021, doi: 10.21533/pen.v9i3.2178.