



الجمهورية الجزائرية
الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
المدرسة العليا لأساتذة التعليم
التكنولوجي - سكيكدة -



قسم التكنولوجيا

التخصص: هندسة ميكانيكية

مذكرة التخرج لنيل شهادة أستاذ التعليم
الثانوي

دراسة، تصميم وصناعة حساس رقمي لقياس عزم التدوير

من اعداد:

- معسكري رزيقة
- بوعطيط ملاك

تحت اشراف الاستاذ:

- إساسة ابراهيم

لجنة المناقشة:

م ع ت ت سكيكدة	رئيسا	أستاذ محاضر.ب.	لعداسي نوري
م ع ت ت سكيكدة	ممتحنا	أستاذ محاضر.أ.	سعايدية عزيز
م ع ت ت سكيكدة	مشرفا	أستاذ محاضر.ب.	إساسة إبراهيم

السنة الجامعية 2024/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَلَا تَقُولَنَّ لِشَايٍ إِنِّي فَاعِلٌ ذَٰلِكَ غَدًا ﴿٢٤﴾

إِلَّا أَن يَشَاءَ اللَّهُ

وَأذْكُرُ رَبَّكَ إِذَا نَسِيتَ

وَقُلْ عَسَىٰ أَن يَهْدِيَنِي رَبِّي لِأَقْرَبَ مِنْ هَٰذَا رَشْدًا

الإهداء

الحمد لله وكفى والصلاة والسلام على الحبيب المصطفى

لك ربنا كل الحمد على تيسير الدرب وتحقيق الحلم وتنوير العقل بالعلم والفكر

عالي مقامك فأعليت شأننا لنبلغ اليوم المعالي ونختم المسيرة بالتوفيق والفخر.

من أحب الأعمال إلى الله طلب العلم والعلم بحر لم نحصي منه إلا القليل وها أنا اليوم أضع أول بصماتي في

سجل الباحثين بمذكرة تخرجي من المدرسة العليا للأساتذة وبكل تواضع ومن أعماق القلب أهدي هذا العمل إلى:

إلى من وهبوني الحياة والأمل ، النشأة على شغف الاطلاع والمعرفة ومن علموني أن أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبرا، برا وإحسانا ووفاء لهما

أمي الحنونة "سعاد حمودي" لا أجد كلمات يمكن أن تمنحها حقها، فدعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي

أبي العطوف "احسن بوعطيط" إلى من أحمل اسمه بكل افتخار، داعمي الأول و مصدر قوتي وأمني

إلى أخي "يحي" سندي وعضدي حفظه الله ورزقه من واسع فضله

إلى أخواتي "آية ودعاء" حبيباتي وملأذي فقد وهبني الله نعمة وجودهما في حياتي

إلى كل عائلتي من كبيرها إلى صغيرها أدامهم الله وحفظهم من كل سوء

إلى صديقاتي ورفيقاتي اللواتي تقاسمت معهن لحظات لا تنسى بجلوها ومرها أميرة روميسة إيمان² ريمة نور نزمين صبرينة

إلى من تقاسمت معها هذا العمل شريكتي وزميلتي "معسكري رزيقة"

إلى أساتذتي الكرام، لكل من علمني حرفا وساهم في تكويني وكان لهم الفضل في هذا العمل وكانت هذه ثمرة أتعابهم واجتهادهم وصبرهم

وأخص بالذكر أساتذتي وأخياتي في الله من جمعتي بهن أفضل البيوت "م التوبة"

إلى كل من كان لهم أثر على حياتي، وإلى كل من أحبهم قلبي ونسيم قلبي

أحبكم جميعا ...

ملاك

الإهداء

الحمد لله وكفى والصلاة والسلام على الحبيب المصطفى

لك ربنا كل الحمد على تيسير الدرب وتحقيق الحلم وتنوير العقل بالعلم والفكر

عالي مقامك فأعليت شأننا لنبلغ اليوم المعالي ونختم المسيرة بالتوفيق والفخر.

من أحب الأعمال إلى الله طلب العلم والعلم بحر لم نحصي منه إلا القليل وها أنا اليوم أضع أول بصماتي في

سجل الباحثين بمذكرة تخرجي من المدرسة العليا للأساتذة وبكل تواضع ومن أعماق القلب أهدي هذا العمل إلى:

إلى من وهبوني الحياة والأمل ، النشأة على شغف الاطلاع والمعرفة ومن علموني أن أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبرا، برا وإحسانا ووفاء لهما

إلى العظيمة أمي "خليفة ميمنة" التي كانت تودعني بدمعة طول خمس سنوات الى التي كانت ولا تزال السند الأول والقلب الحنون

الذي لا يبخل عليا بدعاء علني ولا سري تناجي به الله أن يحفظني ويوفقني.

إلى أبي "معسكري لخضر" الذي كان دائما سنندا وكتفا معنويا وماديا أدامه الله.

إلى إخوتي عيسى سمير عبد الحق مصطفى سندي وعضدي أدامهم الله ورزقهم من فضله.

إلى أختي حبيبي "فاطمة" التي أبعدتنا المسافات وهي في شوق لامتناه للقاء يرد ما في القلب من حنين أخوي.

إلى أختي أحلام الصديقة والرفيقة حفظها الله وأطال في عمرها وأسأل الله أن يرزقها ذرية صالحة.

إلى خالاتي عائشة وحدة إلى هند فاطمة نصيرة إلى كل عائلتي من كبيرها إلى صغيرها أدامهم الله وحفظهم من كل سوء.

إلى أحياتي ورفيقاتي اللواتي تقاسمت معهن لحظات لا تنسى بجلوها ومرها خولة خيرة زهرة ريمة.

إلى من تقاسمت معها هذا العمل شريكتي و زميلتي " ملاك بوعطيط " .

إلى أساتذتي الكرام، لكل من علمني حرفا وساهم في تكويني وكان لهم الفضل في هذا العمل

وكانت هذه ثمرة أتعابهم واجتهادهم وصبرهم جزاكم الله عنا خير الجزاء وبارك سعيكم.

أحبكم جميعا

رزيقة

شكر وتقدير

﴿...وَمَنْ يَشْكُرْ فَإِنَّمَا يَشْكُرُ لِنَفْسِهِ وَمَنْ كَفَرَ فَإِنَّ اللَّهَ غَنِيٌّ حَمِيدٌ﴾ سورة لقمان [12]

انطلاقاً من الآية الكريمة نشكر المولى عز وجل على أنه وفقنا وسدد خطانا فله الحمد حتى يرضى، وله الحمد عند الرضى وله الحمد بعد الرضى وله الحمد على كل حال، فالحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله والحمد لله الذي منحنا، رزقا وسدد طريقنا إلى كل خير. لك ربنا كل الحمد والشكر ان وفقتنا إلى اتمام انجاز مذكرة تخرجنا نرجو أن تنال القبول وتلقى الاستحسان وأن تكون عوناً لمن بعدنا.

أنه من القيم الأخلاقية الرفيعة أن يرد الجميل إلى صاحبه أو يتحدث به، وفي هذا المقام لا يسعنا إلا أن نتقدم بالشكر الجزيل إلى أستاذنا المشرف **إساسة إبراهيم** الذي شرفنا بقبوله الإشراف على هذا العمل وعلى كل ما قدمه لنا من توجيهات ونصائح قيمة طيلة فترة انجازنا للمذكرة.

كما نتقدم بخالص الشكر إلى أعضاء اللجنة الموقرة الدكتور **إساسة إبراهيم مشرفا، والدكتور لعداسي نوري رئيسا** والدكتور **سعايدية عزيز ممتحننا** الذين أضافوا لنا ولعلمنا شرفاً وثنوا هذه المذكرة بقراءتها ومناقشتها، نتقدم لكم بأسمى معاني التقدير والاحترام.

رئيس قسم التكنولوجيا الدكتور "**صالح رحموني**": الذي كان خير داعم لنا منذ أول يوم ولجنا فيه إلى المدرسة. إلى كل أعضاء هيئة التدريس بقسم التكنولوجيا، وإلى كل من مد يد العون والمساعدة من قريب أو من بعيد وساهم في إخراج هذه المذكرة إلى النور بالعمل أو بالكلمة الطيبة أو بالدعاء كل باسمه لكم منا جزيل الشكر والامتنان جزاكم الله عنا خير الجزاء.

ولكن بالطبع لا ننسى من جاهدت وسهرت وتعبت وتحملت رغم كل أف وكل حسرة وعثرة وواجهت اليأس بالصمود، ودمعة الضعف بالأمل، فشكرا أنفسنا.

إلى كل هؤلاء جميعاً لهم منا جزيل الشكر والامتنان.

المخلص

هذا العمل، يتطرق الى دراسة وانجاز جهاز حساس عزم الدوران، حيث يحتوي على لمحة عامة عن الحساسات، أنواعها المختلفة، مع عرض المكونات الأساسية لحساس عزم الدوران ومبدأ عمله ومختلف تطبيقاته. كما يتضمن تصميم ودراسة جهاز الاختبار الخاص بهذه المذكرة، حيث استخدم برنامج SolidWorks 2019، وبرنامج ANSYS لمحاكاته الرقمية، وبالاعتماد عليهم استطعنا دراسة أداء الحساس تحت ظروف التشغيل لضمان دقته وفاعليته، وتحسين التصميم بناء على نتائج المحاكاة. وفي الأخير تنويعا وإثراء للمذكرة، تم الانتقال من التصميم النظري الى التنفيذ العملي للحساس وصناعة حساس ذكي لعزم التدوير في الواقع وفقا للإمكانيات المتاحة من مكونات الكترونية وميكانيكية. تم تطبيق الحساس في مفك براغي وتقييم أداءه في تحسين كفاءة ودقة عمليات الربط.

الكلمات المفتاحية: حساس عزم الدوران، SolidWorks، ANSYS، محاكاة رقمية، مستشعرات التشوه.

Résumé

Ce travail porte sur l'étude et la réalisation d'un capteur de couple, comprenant une vue d'ensemble des capteurs, de leurs différents types, ainsi que la présentation des composants de base du capteur de couple, de son principe de fonctionnement et de ses différentes applications. Il inclut également la conception et l'étude d'un dispositif de test spécifique à ce mémoire, en utilisant le logiciel SolidWorks 2019 et le logiciel ANSYS pour sa simulation numérique. En s'appuyant sur eux, nous avons pu étudier les performances du capteur dans des conditions réelles afin d'assurer sa précision et son efficacité et améliorer la conception en fonction des résultats de la simulation.

Enfin, pour diversifier et enrichir ce mémoire, on est passé de la conception théorique à la mise en œuvre pratique du capteur et à la fabrication d'un capteur de couple intelligent dans la réalité en fonction des capacités disponibles des composants électroniques et mécaniques. Le capteur a été testé dans une clé des boulons, et ses performances ont été évaluées pour améliorer l'efficacité et la précision des opérations de fixation.

Mots-clés: capteurs, SolidWorks, ANSYS, conception, simulation numérique, conditions de fonctionnement, composants électroniques et mécaniques, les jauges de contraintes, clé de boulons.

Abstract

The study, design and manufacturing of torque sensors is the subject of this work. An overview of sensors, their various forms, and the basic components of torque sensors, their working principles, and their various uses are all included. It also includes the design and study of a test device specific to this work, using SolidWorks 2019 and ANSYS software for its numerical simulation. This led us to investigate the performance of the sensor under real-world conditions to ensure its precision and effectiveness, and to refine the design based on the simulation outcomes.

In order to enhance and broaden the scope of our research, we transitioned from the theoretical design of the torque sensor to its actual fabrication, taking into account the mechanical and electronic components' capacities. Using a bolt wrench, the sensor's performance was assessed in order to increase the accuracy and efficiency of fastening procedures.

Keywords: sensors, torque sensor, SolidWorks, ANSYS, design, numerical simulation, operating conditions, electronic and mechanical components, strain gauges, bolt wrench.

الفهرس

01	المخلص
02	Résumé
03	Abstract
04	الفهرس
07	قائمة الأشكال
10	قائمة الجداول
11	قائمة الاختصارات
12	المقدمة العامة

الفصل الأول: دراسة تعريفية للحساسات

14	1-1 مقدمة
14	1-1-1 الحساسات
15	2-1-1 تصنيف الحساسات
16	3-1-1 أنواع الحساسات
18	2-1 حساس القوة
18	3-1 حساس عزم الدوران
19	1-3-1 أنواع حساس عزم الدوران
19	1-1-3-1 أجهزة استشعار عزم الدوران الديناميكي
21	2-1-3-1 أجهزة استشعار عزم الدوران الثابت
23	2-3-1 المكونات الأساسية لحساس عزم الدوران الديناميكي
27	4-1 مبدأ عمل حساس عزم الدوران الدوار
28	5-1 تطبيقات حساس عزم الدوران
34	6-1 خاتمة

الفصل الثاني: تصميم ومحاكاة حساس العزم الديناميكي

35	1-2 مقدمة.....
35	2-2 تصميم الحساس.....
36	1-2-2 الجزء الدوار.....
40	2-2-2 الجزء الثابت.....
44	3-2 تجميع مكونات الحساس.....
45	4-2 المحاكاة الرقمية لعمل الحساس.....
46	1-4-2 برنامج ANSYS.....
46	2-4-2 خصائص طريقة العناصر المنتهية.....
50	3-4-2 خصائص المواد.....
52	4-4-2 نتائج الدراسة.....
55	5-2 خاتمة.....

الفصل الثالث: دراسة وانجاز حساس عزم الدوران الديناميكي

56	1-3 مقدمة.....
56	2-3 تثبيت مستشعرات التشوه.....
59	3-3 الدارة الكهربائية.....
61	4-3 برمجة الحساس.....
62	1-4-3 مخطط البرنامج.....
63	2-4-3 البرنامج.....
65	5-3 تطبيق تجريبي.....
66	6-3 دليل استعمال الحساس.....
67	7-3 معايرة حساس عزم الدوران.....
68	8-3 طريقة تثبيت الحساس.....

69	9-3 خاتمة
70	خاتمة عامة
72.....	المراجع

قائمة الأشكال

- الشكل 1-1: الحساس (المستشعر) 14
- الشكل 1-2: تصنيف الحساسات 15
- الشكل 1-3: حساس تقاربي مغناطيسي 16
- الشكل 1-4: حساس الموجات فوق الصوتية 17
- الشكل 1-5: حساس درجة الحرارة 17
- الشكل 1-6: حساسات القوة 18
- الشكل 1-7: حساسات عزم الدوران 19
- الشكل 1-8: حساس عزم الدوران الديناميكي 19
- الشكل 1-9: حساس عزم الدوران الديناميكي 20
- الشكل 1-10: كيفية قياس عزم المحرك 21
- الشكل 1-11: حساس عزم الدوران الثابت 22
- الشكل 1-12: حساس عزم الدوران الثابت (التفاعلي) 22
- الشكل 1-13: التحكم في عزم دوران المحرك 23
- الشكل 1-14: حساس عزم الدوران الديناميكي و مكوناته 23
- الشكل 1-15: مستشعر التشوه عند الشد او الضغط 24
- الشكل 1-16: قنطرة (جسر) ويتستون 25
- الشكل 1-17: عمود قياس عزم الدوران 26
- الشكل 1-18: شفة قياس عزم الدوران 27
- الشكل 1-19: التشوه الدوراني للعمود 28
- الشكل 1-20: مفك البراغي الكهربائي المصغر TAT200 29
- الشكل 1-21: تحديد كفاءة المحرك الكهربائي 30
- الشكل 1-22: أجهزة استشعار السلوكية 31
- الشكل 1-23: مفتاح عزم الدوران 32

- الشكل 1-24: مفك البراغي 33
- الشكل 2-1: تصميم حساس العزم الديناميكي 36
- الشكل 2-2: تصميم الجزء الدوار لحساس العزم الديناميكي 37
- الشكل 2-3: العناصر المكونة للجزء الدوار 37
- الشكل 2-4: مستشعر القوة HX711 39
- الشكل 2-5: تصميم الجزء الثابت لحساس العزم الديناميكي 40
- الشكل 2-6: العناصر المكونة للجزء الثابت 41
- الشكل 2-7: لوحة Arduino Pro micro 43
- الشكل 2-8: الشاشة OLED مقاس 0.91 بوصة مقاس 128×32 43
- الشكل 2-9: تجميع مكونات الحساس 45
- الشكل 2-10: الشروط الحدية لعمل الحساس 46
- الشكل 2-11: تقسيم الجزء الدوار للحساس 49
- الشكل 2-12: الإزاحة الكلية للحساس 52
- الشكل 2-13: الانتقال حول المحور X 53
- الشكل 2-14: الاجهادات الرئيسية الأعظمية على الجزء الدوار 53
- الشكل 3-1: المعدات اللازمة لتكريب مستشعرات التشوه 56
- الشكل 3-2: تحديد منتصف العارضة 57
- الشكل 3-3: تنظيف سطح العارضة 57
- الشكل 3-4: كيفية تثبيت مستشعرات التشوه 58
- الشكل 3-5: ربط الأسلاك مع الاختبار 59
- الشكل 3-6: عزل مستشعرات التشوه 59
- الشكل 3-7: الدارة الكهربائية للمكونات الالكترونية للحساس 60
- الشكل 3-8: المخطط البياني لبرنامج التحكم في الحساس 63

- الشكل 3-9: واجهة التطبيق الأردوينو 64
- الشكل 3-10: طريقة تحديد نوع الأردوينو 64
- الشكل 3-11: تطبيق تجريبي للدارة الكهربائية 66
- الشكل 3-12: حساس عزم الدوران (التطبيق الفعلي) 67
- الشكل 3-13: طريقة معايرة الحساس 67
- الشكل 3-14: طرق تثبيت حساس عزم الدوران 68
- الشكل 3-15: تركيب الحساس في مفك البراغي 69

قائمة الجداول

- الجدول 2-1: العناصر الميكانيكية والعناصر الالكترونية والكهربائية للجزء الدوار 38
- الجدول 2-2: العناصر الميكانيكية والعناصر الالكترونية والكهربائية للجزء الثابت 41
- الجدول 2-3: نظام الوحدات 46
- الجدول 2-4: خصائص الدراسة العددية 47
- الجدول 2-5: معلومات حول الوصلات 47
- الجدول 2-6: معلومات حول تقسيم الحساس 49
- الجدول 2-7: خصائص مواد صنع الحساس 50
- الجدول 2-8: نتائج دراسة المحاكاة الرقمية للجزء الدوار للحساس 54
- الجدول 3-1: مداخل و مخارج الدارة 61

قائمة الرموز الاختصارات

PLC	وحدة التحكم المنطقية القابلة للبرمجة
ϵG	ثابت التناسب ويسمى عامل القياس
R	مقاومة المستشعر
ΔR	التغير في المقاومة
M_t	عزم التدوير
G	معامل كولومب (Coulomb)
θ	زاوية الالتواء على وحدة قياس الطول
I_0	العزم التريبيعي
CAD	التصميم بمساعدة الكمبيوتر
SRAM	Static Random Access Memory ذاكرة الوصول العشوائي الثابتة
EEPROM	Electrically erasable programmable read-only memory ذاكرة قابلة للمسح والبرمجة كهربائياً
SI (MKS)	نظام الوحدات العالمية
mm	وحدة الطول الميليمتر
Kelvin	وحدة درجة الحرارة كالفن
Rad\Sec	وحدة سرعة الزاوية الراديان/الثانية
$N\backslash m^2$	وحدة الاجهاد نيوتن/متر مربع

المقدمة العامة

المقدمة العامة

تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، الذكاء الاصطناعي، الروبوتات، الطباعة ثلاثية الأبعاد، السيارات ذاتية القيادة، والعديد من التكنولوجيات الأخرى جعلت هذا العصر عصر التكنولوجيا والتقدم التقني يشهد تطورات هائلة في مجالات متعددة مما أحدث تغييرات جذرية في الحياة اليومية التي أصبحت أكثر سهولة وراحة. حيث يمكننا اكتشاف الحرائق، والتحكم في الإضاءة، وضبط درجات الحرارة والأعمال الميكانيكية (ضغط، قوى، عزوم) بالإضافة إلى الاستفادة منها في بناء الروبوتات والمشاريع الهندسية والإلكترونية، وذلك بفضل تطوير الحساسات Sensors التي هي مطلب عالمي للمهندسين والمخترعين والمستهلكين. هذا التقدم التقني يؤثر على جميع جوانب حياتنا، سواء في مجال العمل، التعليم، الرعاية الصحية، الاتصالات، الترفيه، وحتى في تفاعلنا اليومي مع البيئة المحيطة بنا. ومن المهم أن نكون على دراية بتلك التطورات ونستفيد منها بشكل إيجابي لتحسين جودة حياتنا وتطوير المجتمعات التي نعيش فيها.

فيما يتعلق بقدرتنا كبشر على التفاعل مع بيئتنا، فإن لدينا نظام تحسس معقد يعتمد على مجموعة متنوعة من الحواس، فليست هنالك مشكلة في الحديث عن أمور مثل: ارتفاع الصوت، أو درجة حرارة الغرفة التي نجلس بها أو التعرف على تفاصيل الوجوه واللوحات أو حتى التعرف على مدى قساوة مادة ما. نحن نعلم ذلك لأننا نمتلك الآليات التي تساعدنا على ذلك.

نظام التحسس (Sensing) الخاص بنا يبدأ من أجهزة التحسس فعلى سبيل المثال، نظامنا السمعي يستطيع التقاط ترددات الصوت وتحويلها إلى إشارات يمكن لدماغنا تفسيرها، مما يمكننا من التعرف على مصادر الأصوات المختلفة مثل الحديث البشري أو أصوات الطبيعة مثل هطول المطر، فتح الباب، النقر على لوحة مفاتيح الحاسوب... الخ. بفضل هذا النظام المعقد، نستطيع بسهولة تحديد وفهم العديد من التفاصيل والمحافظة على تفاعل فعال مع العالم من حولنا.

هذا المفهوم نفسه نجده أيضا في الأنظمة الحاسوبية والرقمية: تستطيع الآلة امتلاك القدرة على "التحسس" عبر تزويدها بأجهزة "تحسس" ضمن نظام يعرف بنظام استحصال البيانات. Data Acquisition System. الفكرة مشابهة تماما لآلية عمل الحواس البشرية: دماغ الآلة (المعالج) يتلقى بيانات من أجهزة التحسس ومن ثم يقوم بمعالجتها وتفسيرها، مما يمكنها من التفاعل مع بيئتها بنفس الطريقة التي يتفاعل بها البشر. على سبيل المثال،

يمكن للروبوتات استخدام هذه البيانات للتفاعل مع البيئة المحيطة بها ضمن نظام استحصال البيانات الخاص بالأنظمة الحاسوبية الرقمية، تمر الإشارة المراد التقاطها عبر عدة مراحل قبل أن يتم تفسيرها وتحويلها للشكل الذي يفهمه المعالج الحاسوبي: قد تكون الإشارة هي درجة حرارة الغرفة، أو درجة الرطوبة، أو شدة الضوء، أو سرعة وتسارع حركتنا (التي تستطيع الهواتف الذكية والساعات الذكية التعرف عليها). مهمة أنظمة استحصال البيانات هي النقاط هذه الإشارات وتهيئتها وتحويلها للشكل الذي يستطيع المعالج التعامل معه، أي أرقام مكتوبة بالترميز الثنائي (سلسلة من الأصفار والوحدات).

يمكن تعريف الحساس على أنه جهاز إدخال، أي أن الحساس جزء من نظام متكامل. يوفر الحساس في هذا النظام إشارة دخل لنظام التحكم الرئيسي. تكون الإشارة التي تدخل إلى الحساس إشارة تماثلية analog أي مستمرة لأنها واردة من البيئة المحيطة بواسطة المستشعر، ثم يقوم الحساس بتحويلها إلى إشارة كهربائية رقمية يمكن للمتحكم الرئيسي فهمها وإصدار الأوامر المناسبة للنظام.

نهتم في دراستنا بمستشعر القوة، الذي تعد تطبيقاته في الحياة اليومية واسعة جداً، وبعد إلقاء نظرة عامة على أجهزة استشعار القوة المختلفة، اخترنا جهاز استشعار عزم الدوران الديناميكي لأن مجالات استعماله كثيرة خاصة ورشات التصليح الميكانيكي، الأنظمة الميكانيكية ذات التغذية الخلفية للشروط القوي والعزوم، نبدأ هذا العمل بملخص ومقدمة عامة ثم تقسيمه على ثلاثة فصول:

الفصل الأول عبارة على دراسة تعريفية ونظرية حول الحساس بصفة عامة لنبرز أهمية هذه الأنواع من الحساسات، ثم تطرقنا إلى تصنيفاته، أنواعه ومكوناته. لينتهي هذا الفصل بتطبيقاته.

الفصل الثاني قد خصص لتصميم جهاز الاختبار ومكوناته باستخدام برنامج SolidWorks 2019 والمحاكاة الرقمية بواسطة برنامج ANSYS مع التحليل العددي وعرض نتائج التشوه، الاجهادات والإزاحة.

الفصل الثالث يتعلق بتصنيع وبناء جهاز الاختبار (حساس عزم الدوران الديناميكي) الذي يتكون من دائرة إلكترونية، وبرمجة الحساس باستخدام برنامج ARDUINO IDE 2.2.1 مع دليل الاستخدام.

وأخيراً ننهي هذه المذكرة بخاتمة عامة تلخص نتائج دراستنا.

الفصل الأول:

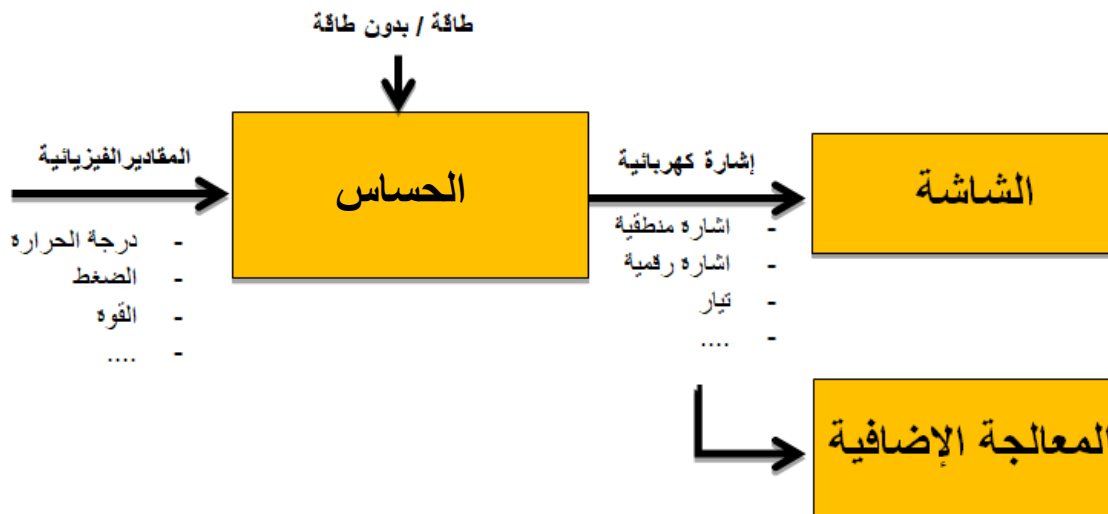
دراسة تعريفية للحساسات

1-1-1 مقدمة

في قطاع السيارات والصناعة بشكل عام، أصبحت أجهزة الاستشعار ذات أهمية قصوى وهي التي أعطت حلول تقنية لتحويل الآلات القديمة ذات التحكم اليدوي الى آلات ذات التحكم الآلي، كما انها زادت مدة حياة الآلة ودقة عملها. أجهزة الاستشعار تشكل "أعضاء الحواس" للمركبة أو الآلة، حيث إشارة الحساسات ضرورية للعديد من وظائف التحكم والتنظيم لمختلف الأنظمة التكنولوجية، لذلك لا يمكن الاستغناء عنها، خاصة في الأنظمة الآلية. حيث أنها تعطينا القيمة او الكمية الفيزيائية الحقيقية التي تعمل بها الآلة وترسل قيمتها الى المعالج وبمقارنتها مع شروط العمل المبرمجة يخبرنا هل تستمر الالة في العمل او التوقف؟ حفاظا على سلامتها. ومن مزاياها أيضا انها توفر السلامة والراحة لمستغل الآلة.

1-1-1- الحساسات (Sensors)

الحساس هو مستشعر يكشف ويستجيب لبعض أنواع المدخلات من البيئة المادية. يمكن أن يكون المدخل ضوء أو حرارة أو حركة أو رطوبة أو ضغط أو أي عدد من الظواهر البيئية الأخرى. يكون الإخراج بشكل عام إشارة يتم عرضها على الشاشة (الشكل 1-1) لإمكانية قراءتها من طرف المشغل او العامل، أو يتم إرسالها إلكترونيا عبر الشبكة للقراءة أو المعالجة الإضافية[1].



الشكل 1-1: الحساس (المستشعر)

1-1-2- تصنيف الحساسات [2]

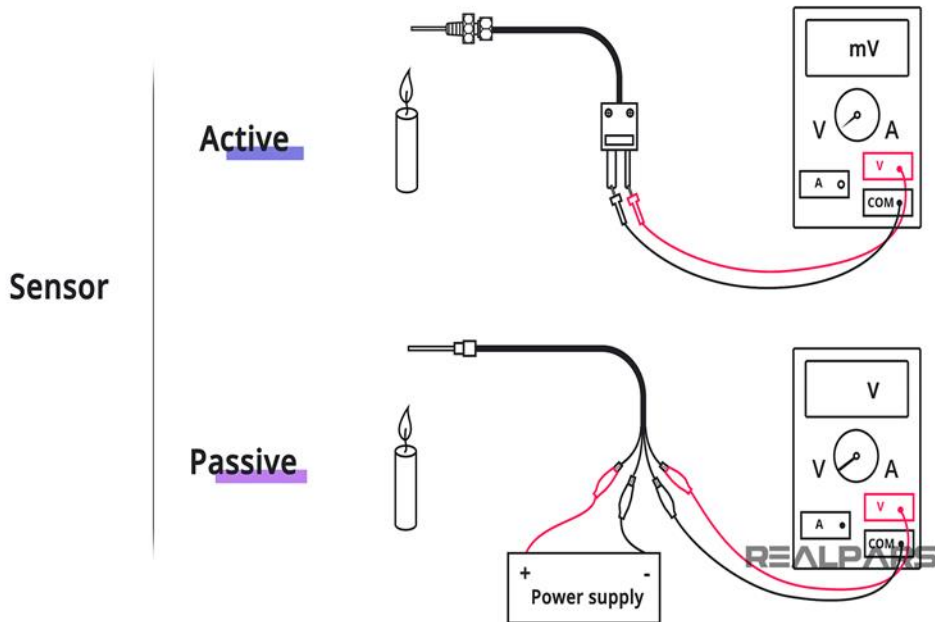
هناك العديد من التصنيفات الممكنة للحساسات، بعضها سهل وبسيط، وبعضها الآخر صعب ومعقد، حيث أن المجسات تُصنف إلى مجموعتين (الشكل 1-2):

- حساسات تولد فرق جهد (Active sensors)

تتصرف مثل مولد للطاقة حيث تقوم بتحويل الطاقة المرتبطة بالكمية الفيزيائية إلى طاقة كهربائية (تيار أو جهد أو شحنة) وتستطيع هذه الحساسات أن تعمل حتى دون وجود مصدر تغذية خارجي، مثال: الخلايا الكهروضوئية تقوم بتحويل الشدة الضوئية إلى تيار أو جهد كهربائي.

- حساسات لا تولد فرق جهد (Passive sensors)

تتصرف كمانعة متغيرة، ولهذا من أجل أن تقوم بإعطائنا جهد كهربائي (أو تيار أو شحنة) عند الخرج يجب أن نقوم بتوصيلها مع مصدر تغذية خارجي. مثال: يمكننا استخدام حساس التشوه كمجس لقياس القوة.



الشكل 1-2: تصنيف الحساسات [3]

1-1-3- أنواع الحساسات المختلفة [2]

هناك العديد من الأنواع المختلفة من الحساسات، والتي يستخدم كل منها من أجل غرض أو تطبيق معين وقياس كمية فيزيائية محددة، نذكر من بين هذه الأنواع على سبيل المثال:

- الحساسات التقاربية (Proximity Sensor)

- حساس الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Sensor)

- حساس درجة الحرارة (Temperature Sensor)

- حساس القوة (Force Sensor)

- حساس الضغط (Pressure Sensor)

- الحساسات التقاربية (Proximity Sensor)

يتم استخدام الحساس التقاربي (الشكل 1-3) لقياس المسافة أو مدى قرب جسم معين من الحساس. هناك عدة حلول و تقنيات مستعملة لصناعة هذه النوعية من الحساسات منها؛ الكهربائية والمغناطيسية (الحساس التقاربي الحثي، الحساس التقاربي السعوي، الحساس التقاربي المغناطيسي) والبصرية بمقارنة الصور (detect trajectory,digital image correlation)[4].



الشكل 1-3: حساس تقاربي مغناطيسي [4]

- حساس الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Sensor)

حساس موجات فوق صوتية (الشكل 1-4) يستخدم لقياس بعد الاجسام عن طريق الموجات فوق الصوتية

[5].



الشكل 1-4: حساس الموجات فوق الصوتية [5]

- حساس درجة الحرارة (Temperature Sensor)

يعتبر حساس الحرارة (الشكل 1-5) من بين أنواع الحساسات الأكثر استعمالاً، تتمثل وظيفة هذا الحساس

في قياس تغيرات درجة الحرارة مثل ما يدل على ذلك اسمه.



الشكل 1-5: حساس درجة الحرارة [6]

1-2- حساس القوة (Force Sensor)

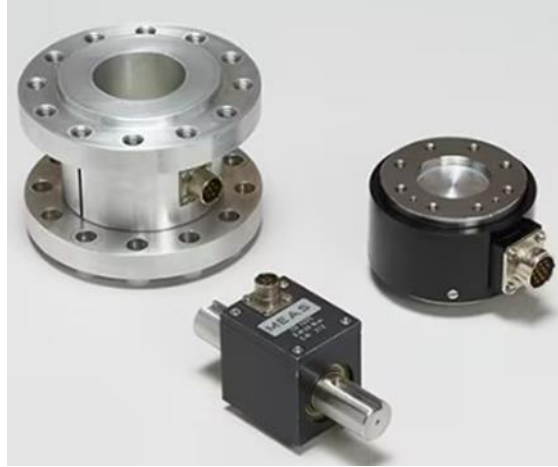
حساس القوة (الشكل 1-6) هو عبارة عن محول يحول القوة المادية (الفيزيائية) إلى إشارة كهربائية قابلة للقياس والتحليل والتحويل، يمكن تطبيق القوة المراد قياسها في قياس الضغط أو السحب، أما الإشارة الكهربائية فإنها تتغير بشكل يتناسب مع شدة القوة المؤثرة على الحساس عندما يتم تطبيق قوة على جسم الحساس، فإنه يعمل مثل النابض ويتشوه قليلا. وهذا يجعل من الممكن تقييم شدة هذه القوة من تحويل الإشارة الكهربائية الناتجة عن التشوه. يمكن أن تختلف هذه الإشارة اعتمادا على سعة حساس القوة وحساسيته [7].



الشكل 1-6: حساسات القوة [8]

1-3- حساس عزم الدوران (Torque Sensor)

حساس عزم الدوران (الشكل 1-7) هو جهاز إرسال يحول عزم الدوران (رد فعل ثابت، ديناميكي أو دوار) إلى متغير فيزيائي آخر، في هذه الحالة إلى إشارة كهربائية يمكن قياسها وتحويلها إلى ما يكافئها فيزيائيا. مع زيادة عزم الدوران المطبق على الحساس، تتغير إشارة الخرج الكهربائي بشكل متناسب (كاشف عزم الدوران) [9].



الشكل 1-7: حساسات عزم الدوران [10]

1-3-1- أنواع حساس عزم الدوران

هناك فئتان رئيسيتان من أجهزة استشعار الالتواء (الدوران): أجهزة استشعار عزم الدوران الدوار وأجهزة استشعار عزم الدوران التفاعلي. باختصار يقيس حساس التفاعل عزم الدوران الثابت (شبه ثابت أو غير دوراني)، ويقيس الدوار عزم الدوران (حساس عزم الدوران الديناميكي).

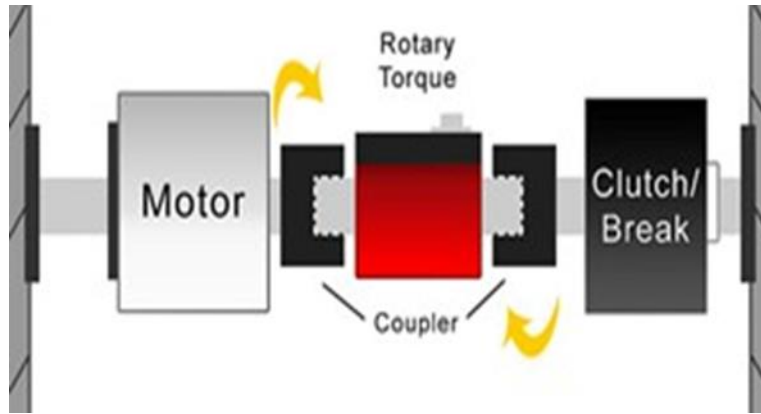
1-1-3-1- أجهزة استشعار عزم الدوران الديناميكي (Rotary Torque Sensor or Dynamic torque)

يتم استخدام مقياس عزم الدوران (الشكل 1-8) لإجراء قياسات عزم الدوران في كلا اتجاهي الدوران ديناميكيا. مثلا الشركة المصنعة للحساسات (الشكل 1-8) لديها نطاق واسع جدا لقياس عزم الدوران من $0.2+/-$ نيوتن متر إلى $5\ 000+/-$ نيوتن متر، بدقة تتكيف مع تطبيقاتها وميزانيات المستهلك (1%، 0.2%، 0.1%) وسرعة دوران قادرة على الوصول إلى 20 000 دورة في الدقيقة [9].



الشكل 1-8: حساس عزم الدوران الديناميكي لمجموعة منتجات FUTEK [11]

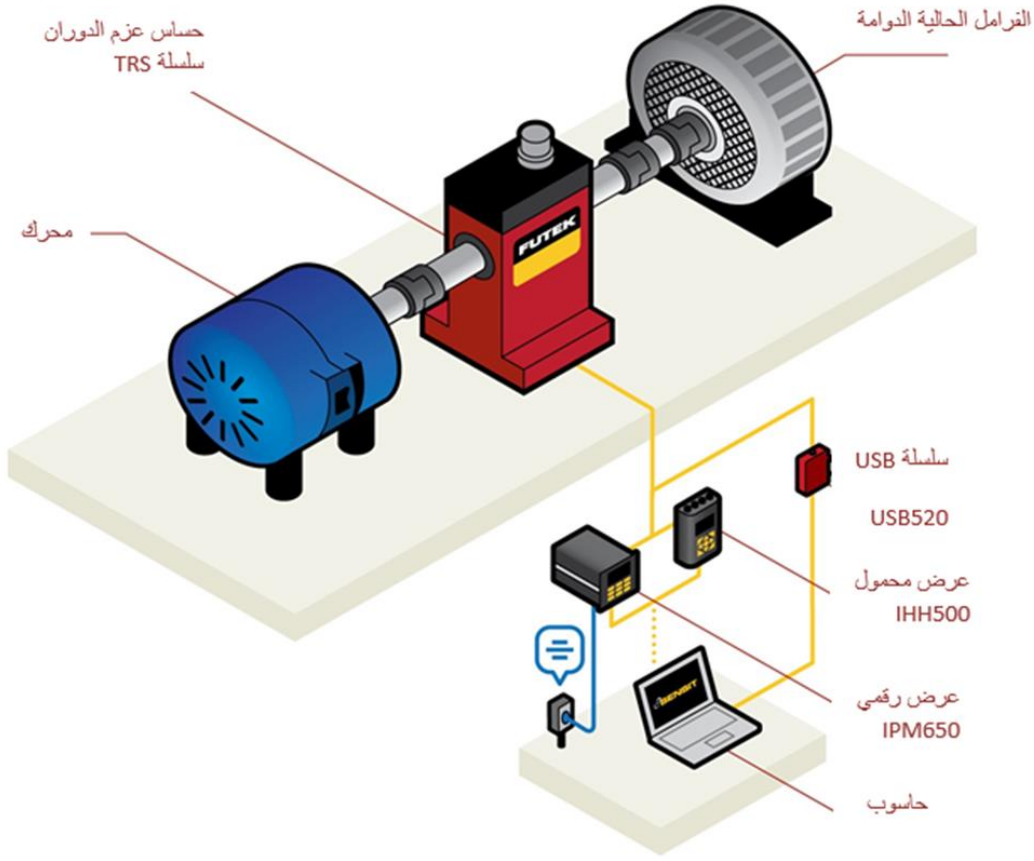
تستخدم حساسات الدوران (أو حساس عزم الدوران الديناميكي) في التطبيقات التي يجب فيها قياس عزم الدوران على عمود أو آلة أو محرك دوار (الشكل 1-9). في هذه الحالة، يجب أن يدور الحساس في الخط المتصل بالعمود. يتم تجهيز حساس عزم الدوران بمبدل دوران أو إلكترونيات لاسلكية تسمح بنقل إشارة عزم الدوران أثناء الدوران (حساس بدون تلامس) [9].



الشكل 1-9: رسم تخطيطي حساس عزم الدوران الديناميكي [9]

تستخدم حساسات عزم الدوران بشكل متكرر كأدوات اختبار (تدقيق) للمحركات والأدوات الكهربائية والتوربينات والمولدات لقياس عزم الدوران.

يقترن قياس عزم الدوران بين المحرك والحمل. عندما يدور العمود، يقوم الحساس بقياس عزم الدوران الناتج عن المحرك استجابة للحمل المطبق على العمود الدوار. تم تجهيز بعض أجهزة الاستشعار الدوارة بأجهزة تشفير مدمجة. تقوم أجهزة التشفير هذه بقياس زاوية أو سرعة الدوران الناتجة أثناء الاختبار. يمكن مراقبة القياسات على الشاشة، مثل المؤشر المثبت على اللوحة، أو العرض المحمول باليد، أو توصيلها بـ PLC (وحدة التحكم المنطقية القابلة للبرمجة) أو نقلها في الوقت الفعلي إلى جهاز كمبيوتر باستخدام وصلة USB (الشكل 1-10) [9].



الشكل 1-10: كيفية قياس عزم المحرك [12]

1-3-1-2- أجهزة استشعار عزم الدوران الثابت (Reaction Torque Sensor or Static torque)

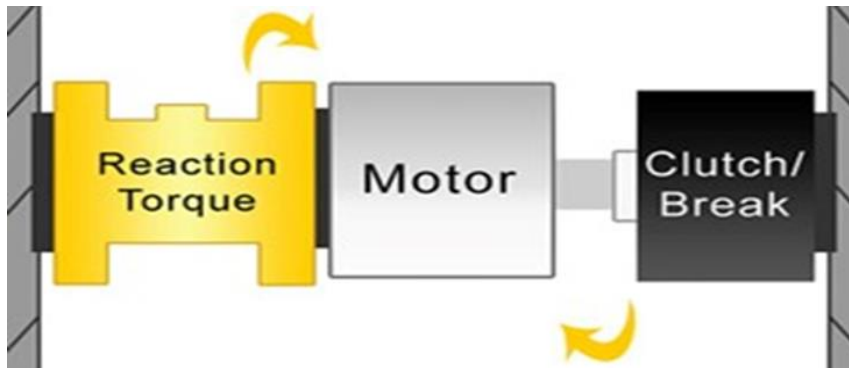
أجهزة استشعار عزم التدوير الثابتة (الشكل 1-11) هي أجهزة استشعار لقياس الضغط تستخدم بشكل متكرر لإجراء قياسات عزم الدوران المشدودة، والتحكم ومعايرة مفكات البراغي ومفاتيح عزم الدوران، أيضاً نستطيع استعمالها للقياسات على حوامل المحرك.

لدينا نطاق واسع جدا لقياس عزم الدوران حيث يتراوح من $0.04 \pm$ نيوتن متر إلى $5000 \pm$ نيوتن متر، بدقة عالية (1%، 0.25%). يتم تشغيل مستشعرات التشوه بشكل عام عند 10 فولت، مع حساسية (إشارة الخرج) تبلغ 2 مللي فولت لكل فولت إثارة. وبالتالي فإن الناتج سيكون 20 مللي فولت على نطاق كامل.



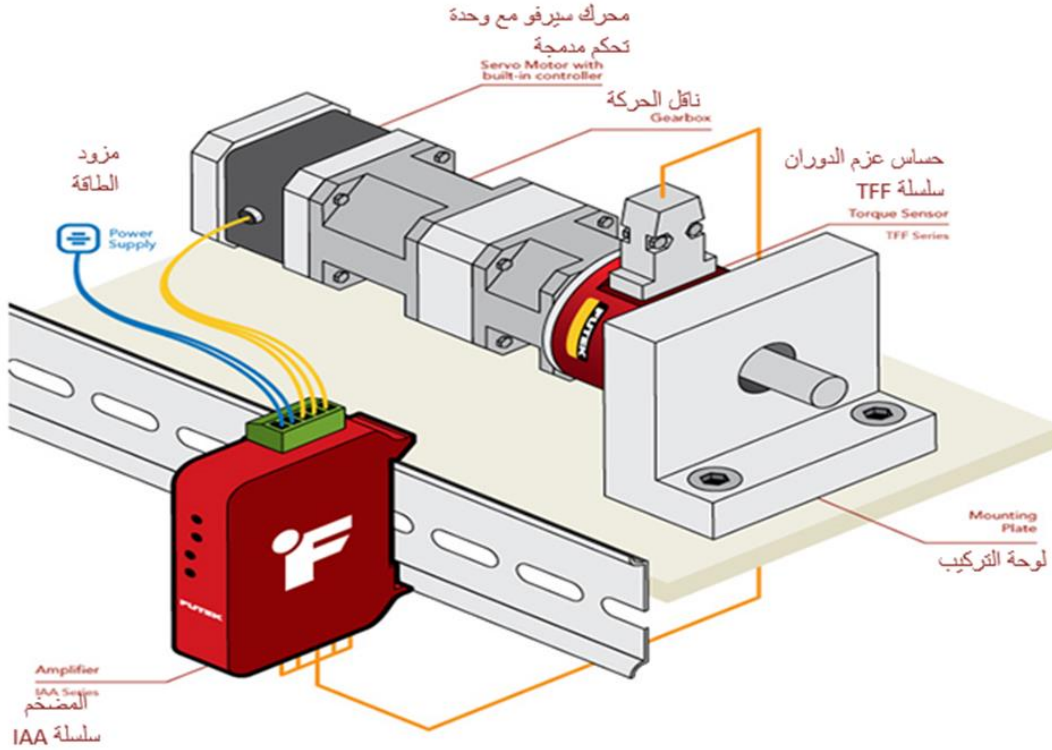
الشكل 1-11: حساس عزم الدوران الثابت [9]

حساس عزم الدوران الثابت مزود بشفتي التركيب، والمستشعر مركب بينهما اي من شفة إلى شفة. يتم ربط إحدى الشفة بالأرضية أو عضو هيكل صلب والأخرى بالعمود الدوار أو العضو الدوار (الشكل 1-12). يولد الدوران قوى القص بين الشفاه، والتي يتم قياسها بواسطة مستشعرات الاجهاد (gauge) ويتم تحويلها إلى تيار كهربائي بواسطة جسر ويتستون.



الشكل 1-12: رسم تخطيطي لحساس عزم الدوران الثابت (التفاعلي) [9]

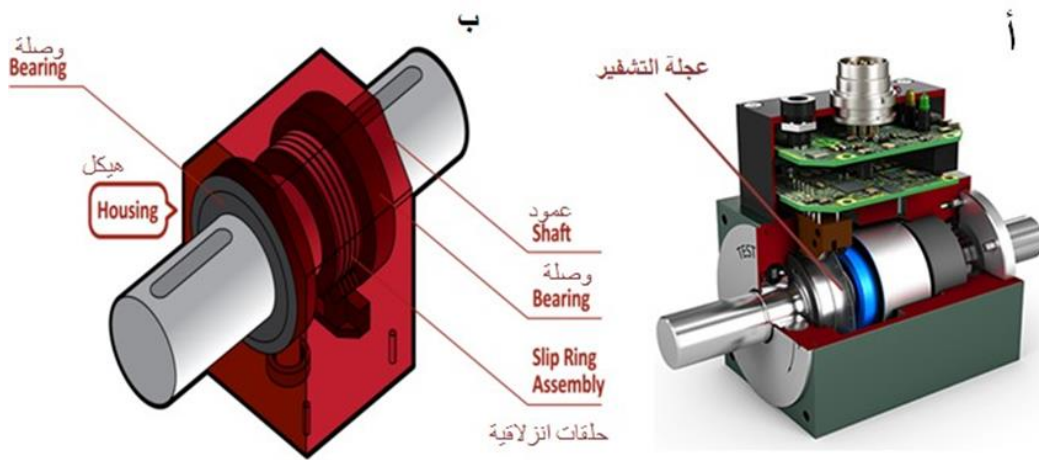
في بعض الحالات، غالبا ما يكون مقياس عزم الدوران للتفاعل الساكن أقل تعقيدا وبالتالي أقل تكلفة من حساس عزم الدوران الدوار [9].



الشكل 1-13: التحكم في عزم دوران المحرك [13]

1-3-2- المكونات الأساسية لحساس عزم الدوران الديناميكي

على الرغم من توفر أجهزة استشعار عزم الدوران في تصاميم مختلفة ، إلا أنها تشترك جميعاً في بعض المكونات (الشكل 1-14).



الشكل 1-14: حساس عزم الدوران الديناميكي ومكوناته [14، 15]

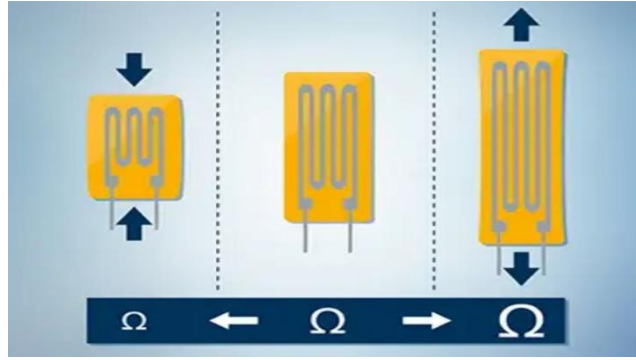
من الناحية الهيكلية، يتكون مستشعر الالتواء من:

1- محول عزم الدوران / مقياس التشوه (strain gauge) [16]

تتكون مستشعرات التشوه من شريط معدني أو سلك معدني بطول مسطح، أو شريط من مادة شبه موصلة يمكن لصقها على الأسطح مثل طابع البريد. عندما يتم تمديد السلك أو الرقاقة أو الشريط أو شبه الموصل،

تتغير مقاومته R . يتناسب التغير الجزئي في المقاومة $\Delta R / R$ مع التشوه ε ، أي: $\varepsilon G = \frac{\Delta R}{R}$

حيث G : ثابت التناسب ويسمى عامل القياس.



الشكل 1-15: مستشعر التشوه عند الشد او الضغط [17]

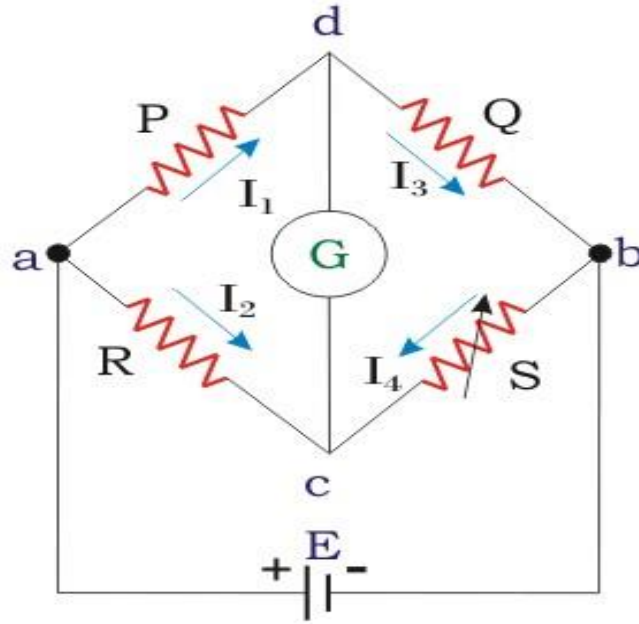
عادة ما تحتوي مستشعرات التشوه المعدني على عوامل قياس تبلغ 2.0. عندما يتم تمديد المستشعر تزداد مقاومته وعندما يتم ضغطه تقل مقاومته. الانفعال هو " التغير في الطول / الطول الأصلي" وبالتالي فإن تغير مقاومة المستشعر هو قياس للتغير في طول المستشعر والذي يأخذ نفس نسبة التغير في الأبعاد للسطح الذي يتصل به. لكن توجد مشكلة التأثير بشروط وسط عمل المستشعر والتي يجب التغلب عليها، هي أن مقاومة المستشعر تتغير عندما تتغير درجة الحرارة ولذلك يجب استخدام طرق للتعويض عن هذه التغيرات حتى يمكن التخلص من تأثيرات درجة الحرارة [16].

مستشعرات التشوه هي حساس صغير مرتبط بسطح المادة وتقوم بقياس الانفعال. على سبيل المثال، عندما يتم تطبيق عزم الدوران على مادة ما، فإنه يسبب تشوها يتم اكتشافه بواسطة المستشعر. ويتم بعد ذلك تحويل هذا الانفعال إلى إشارة كهربائية يمكن قياسها وتحليلها. غالبا ما تستخدم حساسات الإجهاد مع أنواع أخرى من أجهزة

الاستشعار لقياس الظواهر الفيزيائية لأخرى، مثلا الضغط ودرجة الحرارة والاهتزاز. تتضمن بعض التطبيقات الشائعة لأجهزة قياس الإجهاد دارات ومحولات التشوه [18].

ب- جسر ويتستون (Wheatstone Bridge)

جسر ويتستون (الشكل 1-16) المعروف أيضا باسم جسر المقاومة، يحسب المقاومة المجهولة عن طريق موازنة قطبي دائرة الجسر. يتضمن أحد القطبين عنصر مقاومة غير معروفة. تتكون دائرة جسر ويتستون من مقاومتين معروفتين، مقاومة واحدة غير معروفة ومقاومة متغيرة متصلة على شكل جسر. هذا الجسر موثوق للغاية لأنه يعطي قياسات دقيقة. [19]



الشكل 1-16: قنطرة (جسر) ويتستون [20]

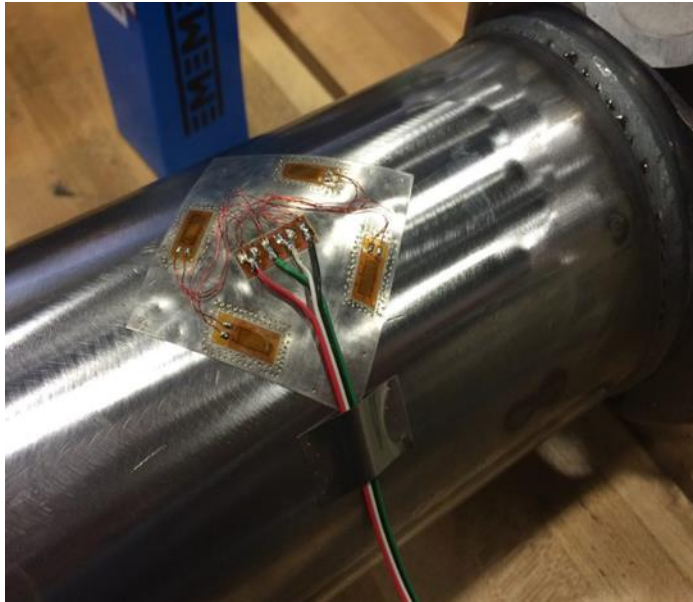
يعمل جسر ويتستون على مبدأ الانحراف الصفري، أي أن نسبة مقاوماتها متساوية، ولا يمر تيار عبر الدائرة. في الظروف العادية، يكون الجسر في حالة غير متوازنة حيث يتدفق التيار عبر الجلفانوميتر. ويقال إن الجسر متوازن عندما لا يتدفق تيار عبر الجلفانوميتر. يمكن تحقيق هذا الشرط عن طريق ضبط المقاومة المعروفة والمقاومة المتغيرة [19].

ج- عمود قياس عزم الدوران

هو جسم معدني (يسمى أيضا جسم الاختبار) يتم لصق مستشعرات التشوه (Strain gauge) عليه (الشكل 17-1). عادة ما تكون مادة صنع العمود من الألومنيوم أو الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless steel)، مما يمنح محول الطاقة خاصيتين مهمتين:

(1) يوفر المتانة لتحمل عزم الدوران العالي.

(2) يتمتع بالمرونة اللازمة للتشوه إلى الحد الأدنى حيث عند إزالة عزم الدوران يعود إلى شكله الأصلي [21].



الشكل 17-1: عمود قياس عزم الدوران [22]

تستخدم أجهزة استشعار الالتواء بشكل شائع في أجهزة اختبار الالتواء. عند تطبيق عزم الدوران (في اتجاه عقارب الساعة أو عكس اتجاه عقارب الساعة)، يعمل الجسم المعدني مثل "النايظ" ويتشوه قليلا ما لم يتم تحميله بشكل زائد فإنه يعود إلى شكله الأصلي. عندما يتشوه الحساس، يتغير شكل مقياس الضغط أيضا وبالتالي المقاومة الكهربائية، مما يخلق اختلافا في الجهد التفاضلي عبر دائرة جسر ويتستون. وبالتالي فإن تغير الجهد يتناسب مع عزم الدوران المطبق على محول الطاقة، والذي يمكن حسابه من خلال خرج الجهد لدائرة مستشعر عزم الدوران [21].

د- شفة قياس عزم الدوران

تحتوي حواف القياس بشكل أساسي على بنية مشابهة لأعمدة القياس، ولكنها تبدو مختلفة تماماً من حيث الأبعاد الهندسية. وهي تتكون أيضاً من عمود مجوف في الغالب، على الرغم من أنه قصير للغاية. توجد الشفاه على طرفي العمود. يتيح ذلك دمج محول الطاقة في هيكل أو منضدة اختبار عن طريق اتصال ملولب. تتكون شفاه القياس أيضاً من العضو الدوار والجزء الثابت. ومع ذلك، على عكس أعمدة القياس، فإن الدوار ليس محاطاً بالكامل بالهيكل. لذلك، ليست هناك حاجة إلى تجميع المحمل لأن الدوار مثبت بشكل آمن في قسم القياس [23].



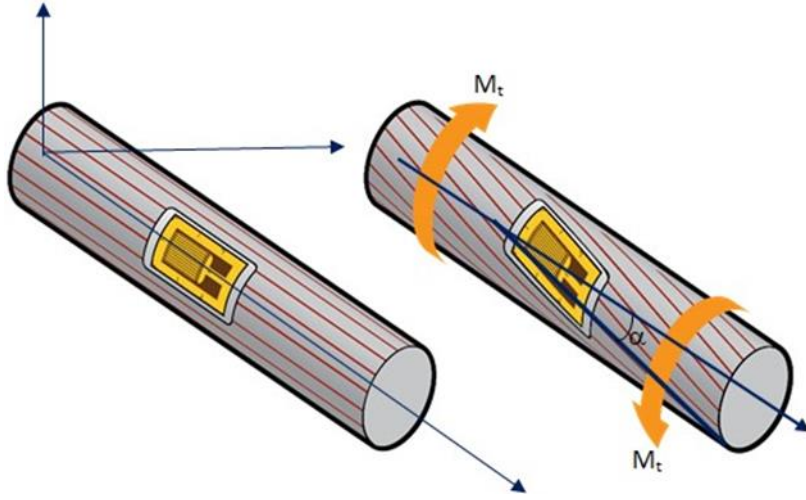
الشكل 1-18: شفة قياس عزم الدوران [17]

وهذا لا ينطبق فقط على محاولات عزم الدوران، ولكن أيضاً على خلايا التحميل، وأجهزة استشعار القوة، وأنواع أخرى من أجهزة الاستشعار. ومع ذلك، أجهزة استشعار عزم الدوران لديها بعض الميزات الخاصة [23].

1-4-1 مبدأ عمل حساس عزم الدوران الدوار

مهما يكن نوع الحساس، ديناميكي أو سكوني فإن لهما مبدأ عمل واحد، وهو قياس قوة التدوير، وذلك بتحويل التغير في فرق الكمون الكهربائي بين طرفي جسر مستشعرات التشوه (Strain gauge) الناتج عن التشوه الدوراني للعمود (الشكل 1-19). بواسطة دائرة الكترونية خاصة يتم تضخيم فرق الكمون و موازنته مع التشوه الزاوي (كل قياس زاوية التدوير ما يقابله من فرق كمون) ثم بتطبيق قانون هوك نجد عزم التدوير $M_t = G\theta I_0$

حيث: G هو معامل كولومب (Coulomb) و θ زاوية الالتواء على وحدة قياس الطول I_0 عزم تربيعي.



الشكل 1-19: التشوه الدوراني للعمود

1-5- تطبيقات حساسات عزم الدوران

في مجال تطبيقات قياس عزم الدوران توجد مجموعة واسعة من أجهزة استشعار عزم الدوران ومقاييس عزم الدوران الدوارة والتي تستخدم بشكل رئيسي في التحكم في العمليات والتدقيق، وقد تطورت أجهزة استشعار عزم الدوران لتلبية متطلبات ومعايير معظم الصناعات [24].

يشمل تطبيق حساسات عزم الدوران عدة مجالات نذكر بعض المجالات الأكثر شيوعاً، على سبيل المثال:

التصنيع: الغرض الرئيسي من حساسات عزم الدوران في التصنيع هو التحكم في أداء الآلات والأنظمة الميكانيكية، بما في ذلك خطوط التجميع الكاملة والأنظمة الآلية. ويمكن استخدامها أيضاً في بيئة عملية للاختبار ومراقبة الجودة.

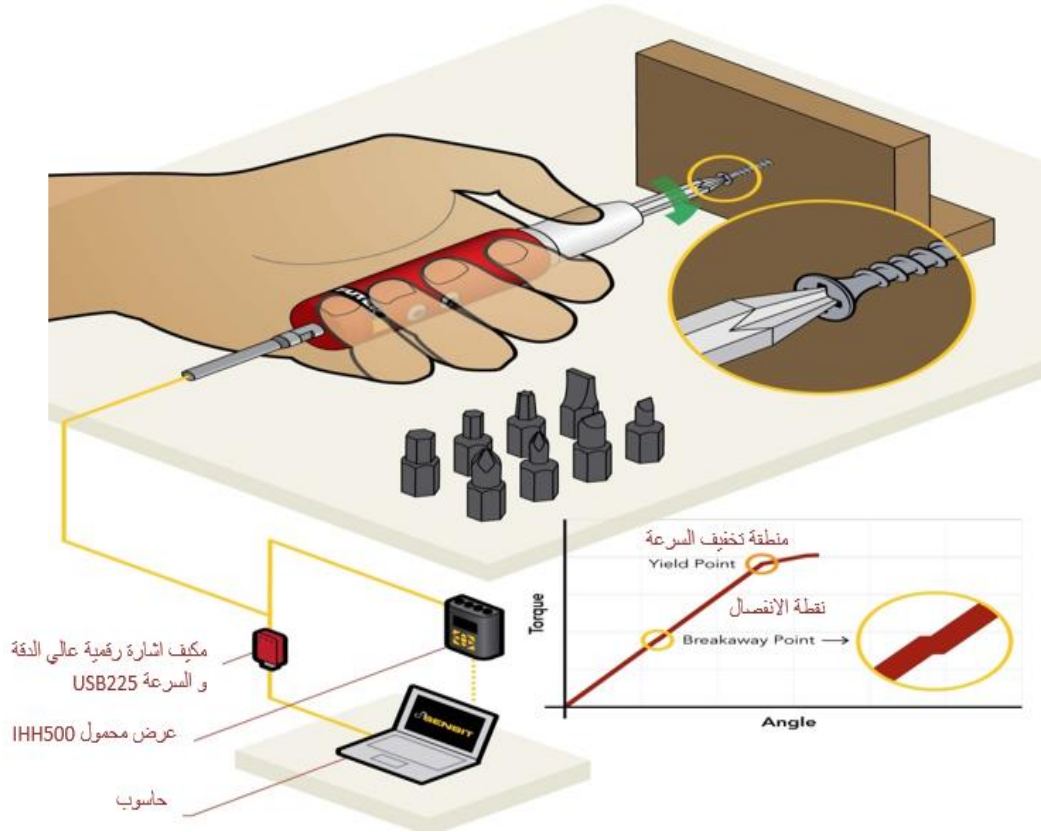
الفضاء: تعتمد محركات الطائرات والتوربينات على أجهزة استشعار عزم الدوران لمراقبة الأداء. تستخدم حساسات عزم الدوران أيضاً في البحث وتطوير تقنيات جديدة في مجال الطيران مثل أسطح الدفع والتحكم.

السيارات: تعتبر أجهزة استشعار عزم الدوران ضرورية لقياس ناتج عزم الدوران للمحركات وناقلات الحركة [25].

توضح مخططات التطبيق المحاكاة أدناه الاستخدامات المحتملة لأجهزة استشعار التفاعل وعزم الدوران:

• قياس عزم الكسر والتحقق من جودة العزم المتبقي

يتم استخدام مفك البراغي الكهربائي المصغر TAT200 (الشكل 1-20)، المجهز بمستشعر عزم الدوران عالي الدقة، لقياس عزم الدوران المطبق على المفصل وتقييم عزم الدوران المتبقي مما يوفر بيانات دقيقة للتحليل والتقييم.



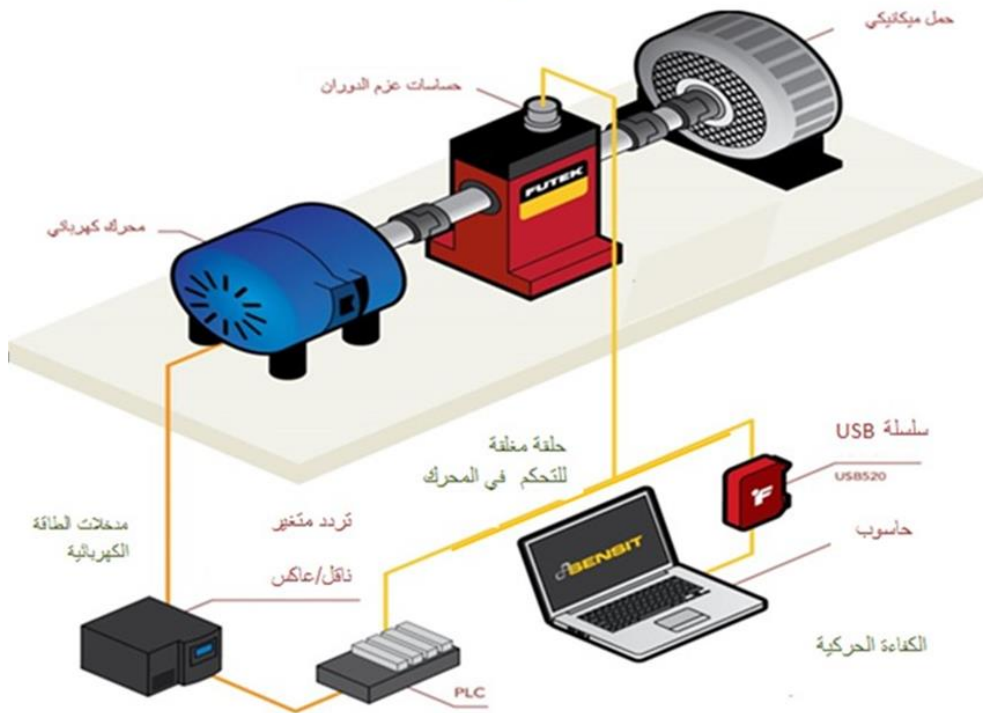
الشكل 1-20: مفك البراغي الكهربائي المصغر TAT200 [26]

يتم الجمع بين مكيف الإشارة الرقمية USB225 و TAT200 لتكثيف إشارة خرج الميلي فولت لكل فولت (mV/V) من مستشعر عزم الدوران. يضمن مكيف الإشارة التضخيم المناسب والتكثيف الرقمي لإشارة مستشعر عزم الدوران، مما يتيح القياس والتحليل الدقيق لقيم عزم الدوران. يقوم برنامج تسيير وقراءة الإشارة (مثلاً

(SENSIT) بتسجيل البيانات المجمعة وتقديمتها في شكل رسوم بيانية. يقوم نظام الحصول على البيانات بالنقاط وتخزين قياسات عزم الدوران، مما يتيح التحليل الإحصائي وإعداد التقارير. يساعد هذا التكامل على منع الأخطاء من خلال التحكم في العمليات الإحصائية ويوفر معلومات قيمة لمراقبة الجودة وتحسينها[26].

• تحديد كفاءة المحرك الكهربائي

تشكل مستشعرات عزم الدوران الدوارة مع جهاز التشفير المدمج مع USB520 أداة فعالة لاختبار/تدقيق قوة المحرك، والتحكم في ردود الفعل بالإضافة إلى مراقبة عزم الدوران وتحليل أداء المحرك الكهربائي(الشكل 1-21). عندما يعمل المحرك، يقوم المستشعر بقياس عزم الدوران الناتج عن المحرك استجابة للحمل الناتج عن الحمل الميكانيكي. لدينا أجهزة استشعار عزم الدوران مع أجهزة التشفير المدمجة. وهذا يجعل من الممكن قياس نسبة الزاوية/السرعة (RPM) الناتجة أثناء هذا الاختبار. يعد USB520 مثاليا لأنظمة تكييف الإشارة التي تتطلب قياس عزم الدوران الدوار وقرءات التشفير، مثل الزاوية والسرعة. يمكن دمج مخرج USB520 مع حل PLC/VFD للتحكم في طاقة المحرك ذو الحلقة المغلقة[27].

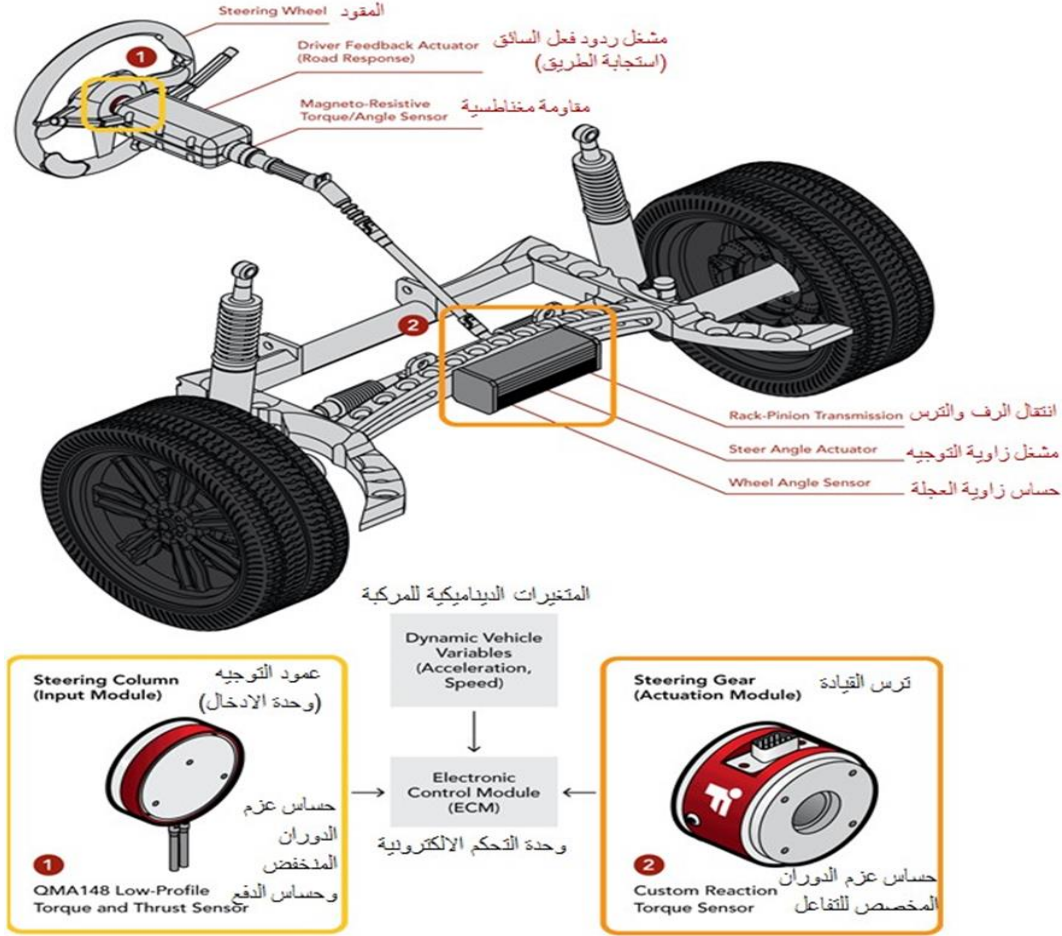


الشكل 1-21: تحديد كفاءة المحرك الكهربائي[27]

• القيادة والتوجيه بواسطة أجهزة الاستشعار السلوكية

(الشكل 1-22) يمثل نظام توجيه للسيارات ذات عجلة قيادة معززة. أثناء مرحلة التحقق من صحة المنتج، يوفر مستشعر عزم الدوران والقوة QMA148 [28] لمهندسي الجودة والتحكم الأدوات المناسبة لقياس عزم الدوران المطبق على أدوات التحكم في التوجيه. يمكن أيضا استخدام مستشعر عزم الدوران متعدد المحاور لمراقبة سحب ودفع يدي السائق على عجلة القيادة أثناء التسارع والتباطؤ و قياس قوة التأثير الأمامي لاختبارات التصادم. يتم تثبيت مستشعر QMA148 الخاص بـ FUTEK بين عجلة القيادة وعمود التوجيه (1).

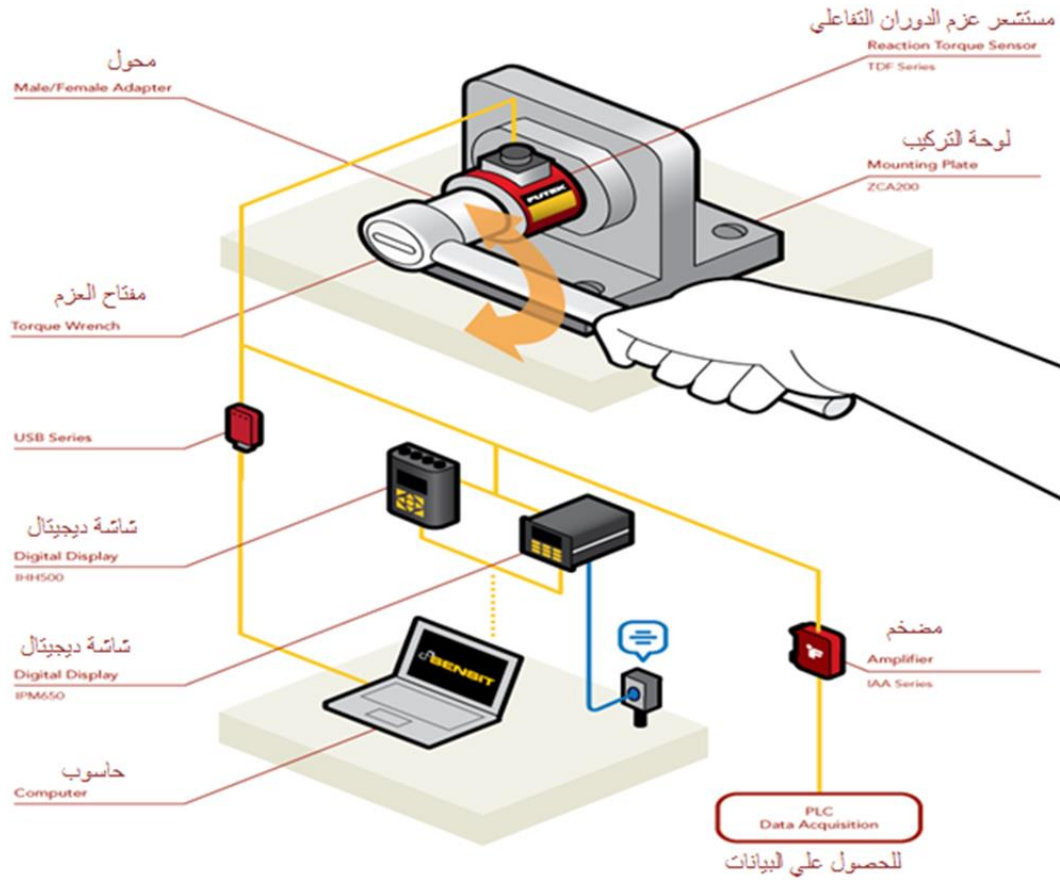
ترس التوجيه/وحدة التشغيل: أثناء التحقق من صحة تصميم المنتج، يجب على مهندسي التحكم قياس عزم دوران التشغيل المطبق على ناقل الحركة بالجريدة المسننة والترس (وحدة التشغيل). وهذا يضمن المعايير الصحيحة لحلقة التحكم في عزم الدوران. يمكن تركيب مستشعرات عزم الدوران المخصصة لرد الفعل مع مشغل زاوية التوجيه لقياس عزم دوران التشغيل الفعلي المبذول ومعايرة وحدة التشغيل بشكل صحيح من خلال ردود فعل عزم الدوران الإضافية [29].



الشكل 1-22: أجهزة استشعار السلكية [29]

• فحص مفتاح عزم الدوران

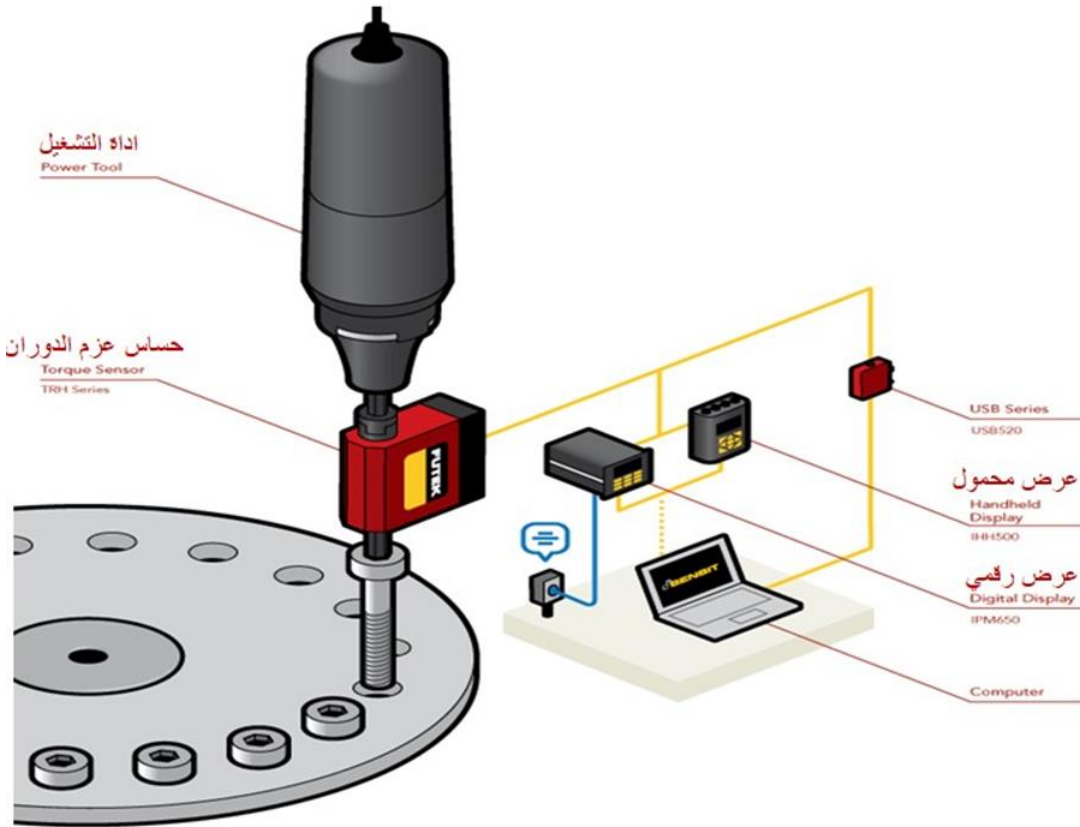
في هذا التطبيق، يتم تثبيت مقياس عزم الدوران الثابت (سلسلة TDF600) (الشكل 1-23) على دعامة ومقترن بمفتاح عزم الدوران باستخدام محول. غالباً ما تستخدم حساسات عزم الدوران الثابتة لمعايرة مفاتيح عزم الدوران. عندما يستعمل المشغل المفتاح، يقوم حساس عزم الدوران بقياس عزم التدوير المطبق. يتم إرسال القياسات مباشرة إلى أداة قياس مناسبة (مؤشر رقمي IMP650 أو IHH500، أو نظام USB210) [30].



الشكل 1-23: مفتاح عزم الدوران [30]

• قياس عزم الدوران اللولبي

يتم استخدام مستشعرات عزم الدوران بشكل متكرر للتحقق من عزم الدوران المشدود/اللولبي لمفكات البراغي (الشكل 1-24). في هذا الرسم التوضيحي، يتم ربط مقياس عزم دوران المحرك بمفك البراغي للتحقق من عزم الدوران وزاوية/سرعة الدوران عند الشد. يمكن عرض قياس عزم الدوران على مؤشر رقمي IPM650 أو IHH500 أو نقله إلى جهاز كمبيوتر باستخدام مكيف USB210. ثم يتم استخدام برنامج الحصول على SENSIT للحصول على البيانات وتحليلها [31].



الشكل 1-24: مفك البراغي [31]

أي جهاز استشعار يخضع لأخطاء القياس. المجال أو الارتياح هو ببساطة الفرق الجبري بين القيمة التي يشير إليها مخرج الحساس والقيمة الفعلية للمتغير المقاس أو الأحمال المرجعية المعروفة. يمكن عرض البيانات على مؤشر رقمي، ونقلها إلى جهاز الكمبيوتر. عندما تكشف البيانات عن وجود خلل، قد يلزم إعادة معايرة حساس عزم الدوران، هذا الخلل ناتج عن عدة عوامل منها:

- الإزاحة الصفيرية (أو موازنة خلية التحميل الصفيرية)

- الخطية (أو عدم الخطية)

- التكرار (أو عدم التكرار)

- معايرة إزاحة درجة الحرارة والصفير [31].

6-1 خاتمة

يعد القياس الدقيق لعزم الدوران أمرا لا غنى عنه عندما تريد تحسين ومراقبة كفاءة محركات، لأنه يتيح تحديد رد فعل القوى لقوة المحركات مثل الاحتكاك وتعويضها في المحركات الكهربائية والهجينة، ما يهم هو المدى وتحسين الكفاءة في محركات الاحتراق الهجين والداخلي، يكون المفتاح دائما هو الحفاظ على البيئة من خلال أقل قدر ممكن من انبعاث ثنائي أكسيد الكربون وكفاءة عزم تدوير قوي.

علاوة على ذلك، تستخدم مستشعرات عزم الدوران في اختبارات نهاية الخط على ناقلات الحركة والمحركات أو في اختبارات الوظائف على المفاتيح الدوارة. ومع ذلك، تبدو بعض التطبيقات مختلفة تماما كما هو الحال عندما يتم خلط السوائل وتتطلب العملية مراقبة بواسطة حساس عزم الدوران. أو عندما يتم تركيب أجهزة استشعار عزم الدوران في مجموعة نقل الحركة للسفينة. تستخدم محولات الطاقة هذه أيضا كمحولات طاقة مرجعية في آلات الاختبار القياسية [23].

الفصل الثاني:

تصميم ومحاكاة حساس العزم الديناميكي

1-2 مقدمة

عدة برامج المحاكاة والتصميم الهندسي (Conception Aided Design) التصميم بمساعدة الكمبيوتر CAD Software مثل SOLIDWORKS أو SIEMENS NX أو Auto Desk Inventor أو ANSYS. توفر هذه البرامج أدوات النمذجة والمحاكاة التي تتيح إنشاء نموذج افتراضي للحساس ومحاكاة تشغيله في ظل ظروف عملية محددة.

هذا الفصل، اخترنا من بين هذه البرامج برنامج SOLIDWORKS باعتباره الأنسب والأسهل للتصميم وبرنامج ANSYS لمحاكاة رقمية لحساس عزم الدوران موضوع دراستنا، الذي هو جهاز مصمم لقياس وتسجيل عزم الدوران المبذول على جسم متحرك. غالبا ما يستخدم في تطبيقات الاختبار والقياس لتقييم أداء المحركات وناقلات الحركة والأنظمة الميكانيكية الأخرى.

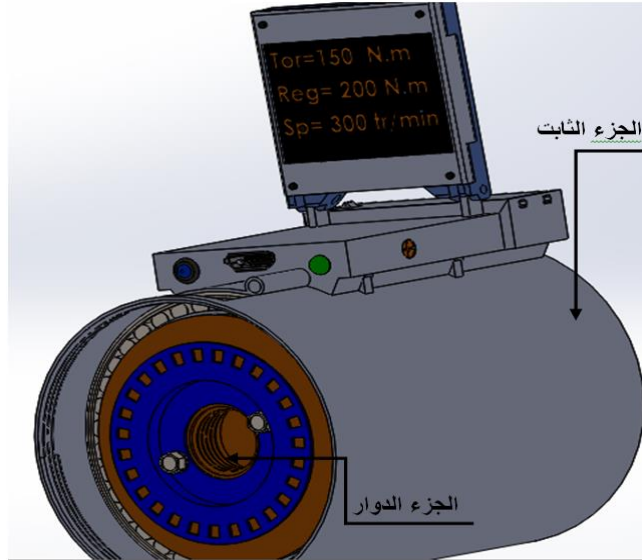
2-2 تصميم الحساس

تصميم حساس عزم الدوران الديناميكي (الشكل 1-2) يتطلب مهارات هندسية وتقنية متقدمة فهو تمثيل ثلاثي الأبعاد لمركب تصوري بسيط. تتكون هذه الحساسات عادة من عناصر ميكانيكية وإلكترونية تعمل سويا لتحويل العزم إلى إشارة كهربائية قابلة للقياس.

عناصر ميكانيكية: تشمل العناصر الميكانيكية أجزاء مثل: الجزء الثابت والدوار، والعناصر المرنة التي تستجيب للعزم.

عناصر إلكترونية: تشمل الدوائر الإلكترونية والمكونات الإلكترونية التي تحول الحركة الميكانيكية إلى إشارة كهربائية (اللوحة HX711 ، الأردوينو...).

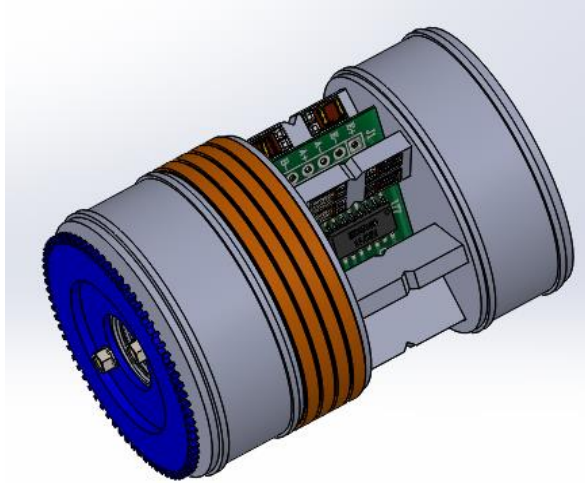
واجهات الاتصال: تستخدم لنقل البيانات من الحساس إلى الأنظمة الأخرى أو أجهزة القياس الأخرى.



الشكل 2-1: تصميم حساس العزم الديناميكي

2-2-1 الجزء الدوار

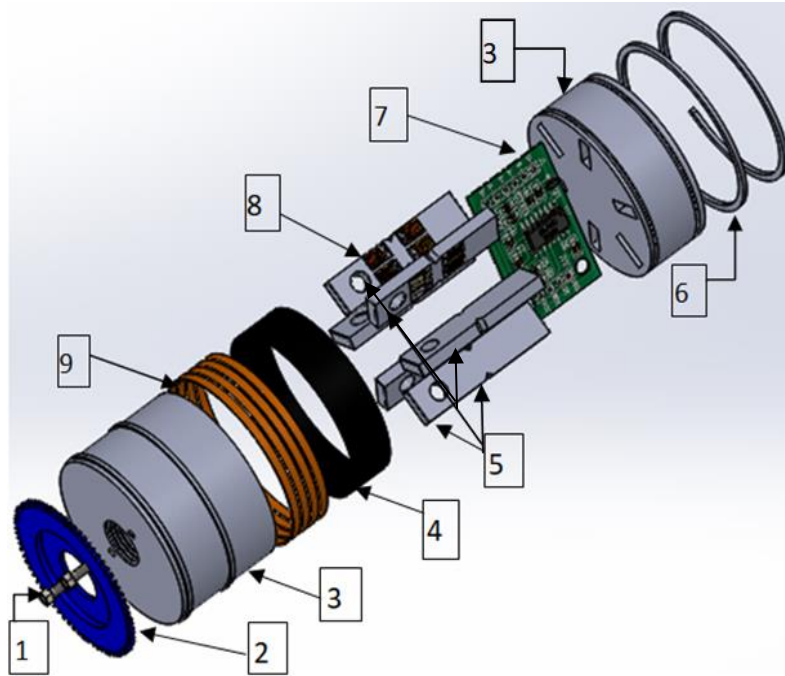
العنصر الدوار في حساس عزم الدوران الديناميكي (الشكل 2-2) هو الجزء الذي يتحرك أو يدور بسبب القوة المطبقة عليه من احدى القطبين. عندما يتم تطبيق عزم دوران على هذا العنصر الدوار، يحدث تغيير في الإشارة الكهربائية المولدة عند حدوث تشوه في العناصر المرنة الحاملة لمستشعرات التشوه، مما يمكن للحساس أن يقيس هذا التشوه ويحوّله إلى إشارة كهربائية تمثل العزم المطبق على العنصر الدوار، وهذا يتم بواسطة تطبيق خوارزمية محروقة على الأردوينو. وبالتالي، يساعد العنصر الدوار في تحويل القوة الميكانيكية إلى إشارة كهربائية يمكن قياسها وفهمها.



الشكل 2-2: تصميم الجزء الدوار لحساس العزم الديناميكي

مكونات الجزء الدوار

يتكون الجزء الدوار عموماً من 6 قطع ميكانيكية و 3 إلكترونية وكهربائية انظر الشكل (2-3) حيث القطع المتكررة تحسب واحدة انظر الجدول (2-1):



الشكل 2-3: العناصر المكونة للجزء الدوار

الجدول 2-1: العناصر الميكانيكية والعناصر الإلكترونية والكهربائية للجزء الدوار

العناصر	رقم العنصر	اسم العنصر	عدد العنصر
العناصر الميكانيكية	1	البراغي	2
	2	شفرة السرعة	1
	3	الغمد	2
	4	العازل	1
	5	العارضه	6
	6	الحلقة المرنة	4
العناصر الإلكترونية والكهربائية	7	لوح HX711	1
	8	مستشعرات التشوه	24
	9	الحلقات	4

✓ العناصر الميكانيكية

- البراغي (1): يتم استخدامها لتثبيت القطع في مكانها وتجميعها.
- عجلة التشفير (2): هي قطعة تستخدم في تشفير البيانات لحساب سرعة الدوران بتقنية حساس الخلية الكهروضوئية (Optical interrupt).
- الغمدان (3): وهما غمدان على طرفي الحساس حيث يتم تثبيت العارضات الحاملة للمستشعرات بينهما بصفة مدمجة قابلة للفك.
- العازل (4): وهي عبارة عن حلقة بلاستيكية تستخدم كعازل كهربائي بين الحلقات والغمد.
- العوارض (5): وهم ستة عارضات، كل عارضة مثبتة عليها أربع مستشعرات للتشوه.
- الحلقات المرنة (6): وهي وسيلة تثبيت القطع (المدحرجات) على العمود وبالتالي تستخدم لمنع الحركة الانزلاقية للمدحرجات على العمود.

✓ العناصر الإلكترونية وكهربائية

- لوحة HX711 (7): هي خلية إلكترونية تعمل مع وحدات التحكم الدقيقة مثل Arduino (الشكل 2-4) وهي تتألف من مركب إلكتروني مسمى على اسمها HX711، يتمثل عملها في تحويل الإشارة الكهربائي الناتجة عن تشوه المستشعر من تماثلية إلى رقمية و تعمل على تضخيمها.

تتواصل وحدة HX711 مع وحدة الأردوينو pro micro باستخدام طرفين رقميين SCK و DOUT ويتم تشغيلها بجهد لا يتعدى 5 فولت. توصل بخلية قوة بواسطة 4 أسلاك [32].

مميزات اللوح HX711

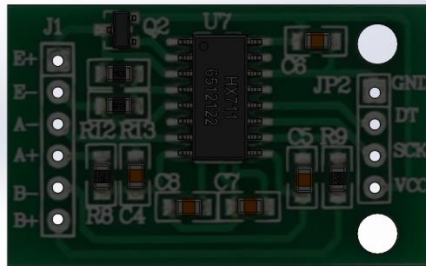
○ مصدر الطاقة: 2.6 إلى 5.25 فولت تيار مستمر

○ الاستهلاك: > 1.5 مللي أمبير

○ التردد: 10 أو 80 قياسات/ثانية

○ درجة حرارة الخدمة: -40 إلى +85 درجة مئوية

○ الأبعاد: 34.2 × 20 × 3 ملم



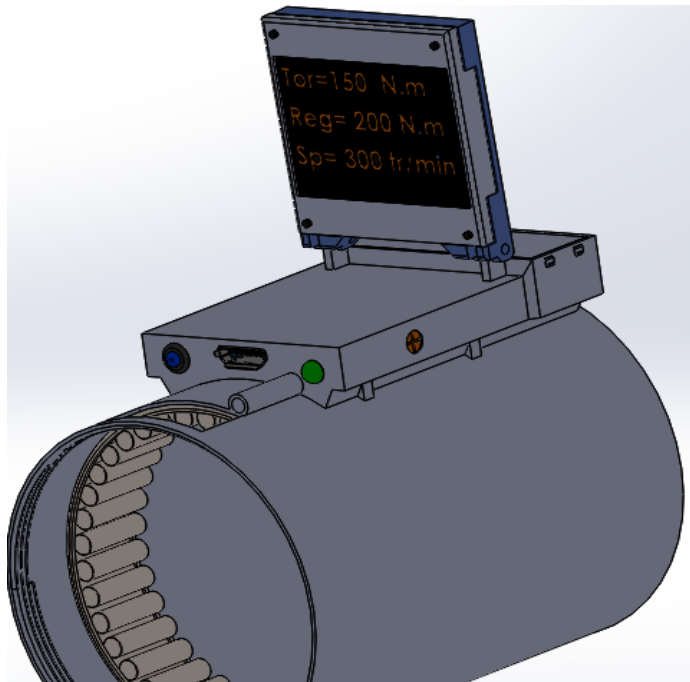
الشكل 2-4: مستشعر القوة HX711

- مستشعرات التشوه (8): حساس صغير يقوم بقياس الانفعال عندما يتم تطبيق عزم الدوران على الجزء الدوار للحساس وتحويله إلى إشارة كهربائية يمكن قياسها وتحليلها.

- الحلقات (9): وهي أربع حلقات وصل بين المضخم والأردوينو بواسطة أسلاك ربط.

2-2-2 الجزء الثابت

الجزء الثابت (الشكل 2-5)، في حساس عزم الدوران هو الجزء الثابت من الحساس الذي يحيط بالجزء الدوار والحامل للشاشة وأزرار التحكم والأردوينو و اضواء التحذير. تم تصميم الجزء الثابت لتثبيت الدوار في مكانه وتوفير مجال شروط عملية مستقرة للمستشعرات لقياس عزم الدوران المطبق. إنه يلعب دورا رئيسيا في دقة قياس عزم الدوران من خلال الحفاظ على موضع الدوار وضمان المعايرة الدقيقة.

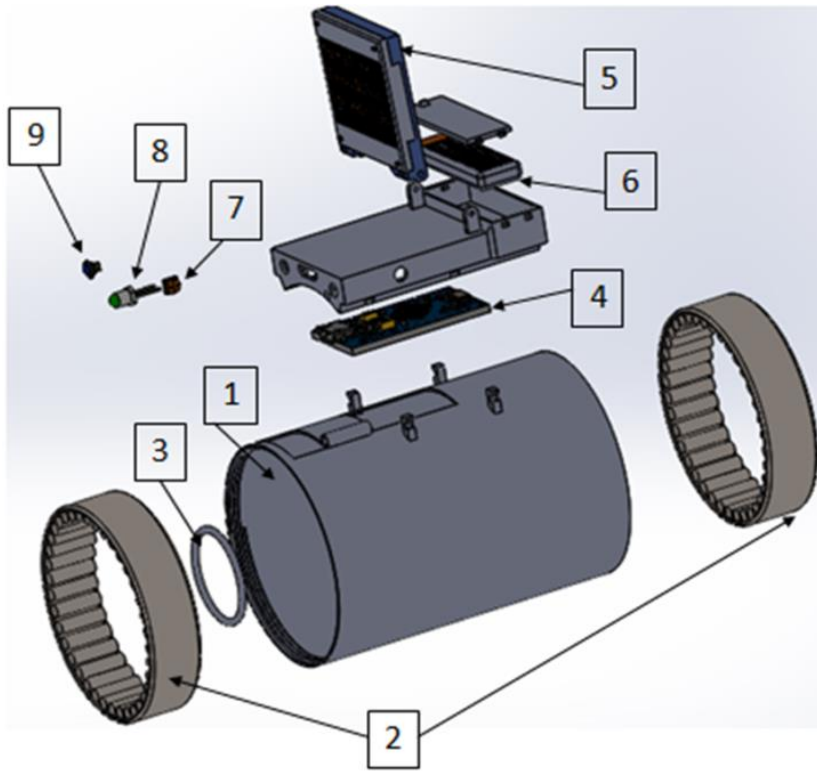


الشكل 2-5: تصميم الجزء الثابت لحساس العزم الديناميكي

مكونات الجزء الثابت

يتكون الجزء الثابت عموما من 3 قطع ميكانيكية و 6 إلكترونية وكهربائية انظر الشكل (2-6) والجدول

(2-2):



الشكل 2-6: العناصر المكونة للجزء الثابت

الجدول 2-2: العناصر الميكانيكية والعناصر الإلكترونية والكهربائية للجزء الثابت

عدد العنصر	اسم العنصر	رقم العنصر	العناصر
1	الهيكل الخارجي	1	العناصر الميكانيكية
2	المدحرجات	2	
1	فاصل الكتامة	3	
1	لوحة Ard P M	4	العناصر الإلكترونية والكهربائية
1	الشاشة OLED	5	
1	البطارية	6	
1	المقاومة المتغيرة	7	
1	المصباح Led	8	
1	الأزرار	9	

أ. العناصر الميكانيكية

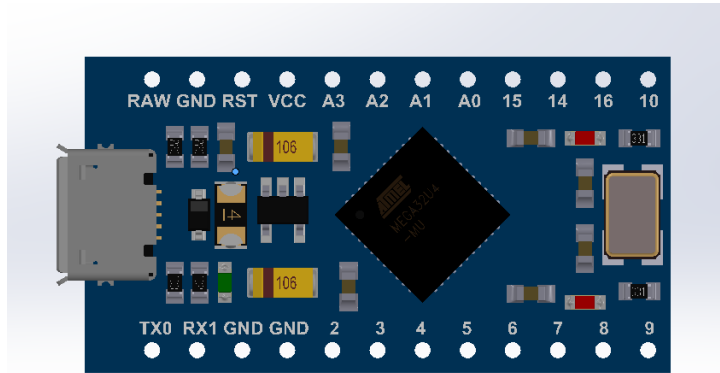
- الهيكل الخارجي (1): يشكل الغلاف الخارجي للحساس لحماية الأجزاء الداخلية و يعتبر حامل للجزء الدوار حيث يسمح له بالتحرك و التفاعل مع القوى الدوارة.
- المدرجات (2): وهما مدرجتين من نوع ذات إبر، يتم تركيبهما على الجزء الدوار بالشد وبتردد مع الجزء الثابت.
- فاصل الكتامة (3): هو نوع من الختم يستخدم لمنع تسرب السوائل أو دخول شوائب خارجية بين سطحين متحركين. وتتكون من شفة مطاطية أو بلاستيكية ناعمة تشكل اتصالاً محكماً بالسطح المتحرك.

ب. العناصر الإلكترونية والكهربائية

- لوحة أردوينو Arduino Pro Micro (4):

وهي عبارة عن نوع من انواع الأردوينو (الشكل 2-7) ذات متحكم دقيق ATmega32u4 متوافق مع نظام Arduino. تعمل هذه اللوحة بتردد 16 ميجاهرتز وهو مطلوب لمزامنة الوظائف الداخلية. يأتي مزوداً بمنفذ USB صغير مدمج يساعد على اختبار وبرمجة لوحة Arduino مع جهاز الكمبيوتر. تأتي هذه اللوحة مع ذاكرة فلاش بسعة 32 كيلو بايت. ويبلغ حجم ذاكرتي SRAM و EEPROM 1 كيلو بايت و 2.5 كيلو بايت على التوالي. ذاكرة الفلاش هي الذاكرة التي يتم فيها تخزين برنامج Arduino. بينما يتم استخدام ذاكرة EEPROM لتخزين المعلومات طويلة المدى، ويتم استخدام ذاكرة SRAM لإنتاج المتغيرات ومعالجتها عند بدء تشغيلها. تدعم هذه اللوحة الاتصال التسلسلي UART مع دبوسين Rx و Tx. الأول هو خط نقل البيانات المستخدم لاستقبال البيانات التسلسلية بينما الأخير هو خط النقل المستخدم لنقل البيانات التسلسلية. تشتمل اللوحة على مثبت الجهد متعدد قابل لإعادة الضبط يستخدم بشكل أساسي لتأمين منفذ USB. فهو يمنع اللوحة من استهلاك الكثير من الطاقة من الكمبيوتر. وعندما يتجاوز التيار الحد المحدد تزداد مقاومة هذه المادة البوليمرية أثناء تسخينها. عند إزالة التيار الزائد من الجهاز يبرد هذا العنصر وتعود مقاومته إلى قيمتها الأصلية [33].

المميزات المتحكم ATMEGA32U4 يعمل عند 3.3 فولت / 8 ميجاهرتز



الشكل 2-7: لوحة Arduino Pro micro

- الشاشة OLED مقاس 0.91 بوصة مقاس 32×128 (5):

تتميز هذه الشاشة (الشكل 2-8) مقاس 0.91 بوصة بوحدة عرض OLED بدقة 32×128 pixel ، و تشتغل على تيار مستمر قدره 3.3 فولت، يمكنها عرض النصوص والرسومات المتجهة والأيقونات باللون الأبيض على خلفية سوداء. الشاشة تكون مدمجة بنظام I2C، وهي واجهة سهلة الاستخدام، يمكن التحكم فيه عبر برنامج تشغيل SSD1306 [34].



الشكل 2-8: الشاشة OLED مقاس 0.91 بوصة مقاس 32×128 [34]

- البطارية (6): بطارية ليثيوم بوليمر صغيرة الحجم، ذات سعة عالية وشكل صغير لتناسب التطبيقات ذات المساحات الصغيرة.
- المقاومة المتغيرة (7): تستعمل التحكم في العزم المطلوب.

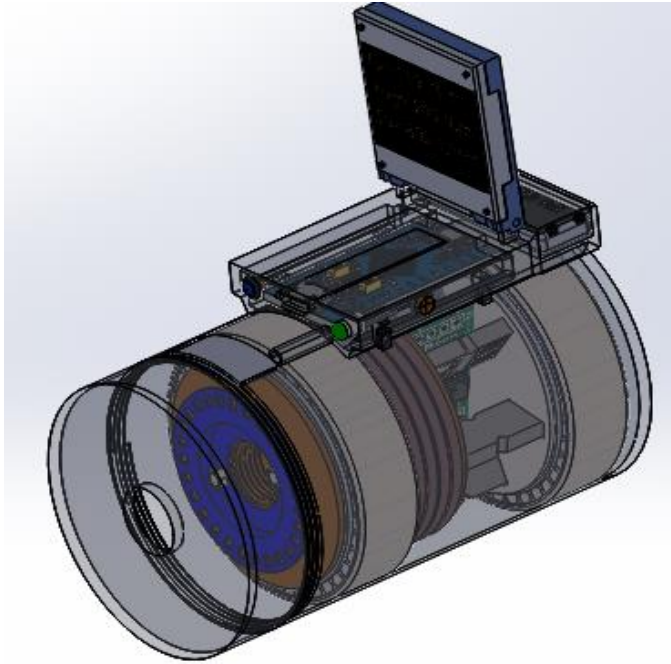
- **مصباح Led (8) :** يستعمل كعنصر إنذار، حيث له ثلاثة أرجل يشتغل بـ 3.3 فولت بتيار مستمر. مبرمج ليعطي ضوء أخضر لإشعار تشغيل الحساس، و عند تجاوز عزم الدوران القيمة المحددة يشتعل بضوء أحمر .
- **أزرار(9):** يستخدم لتشغيل وإيقاف الحساس النظام الالكتروني للحساس

3-2 تجميع مكونات الحساس

لتجميع مكونات الحساس (الشكل 2-9) نبدأ أولاً بالجزء الدوار حيث نختر مكوناته بالترتيب والوصلات اللازمة، ثانياً ننتقل إلى الجزء الثابت بنفس الطريقة.

نأخذ الغمدين بهما مجاري، مجرى لتثبيت لوح HX711 بوصلة مندمجة، و6 مجاري تثبت عليها اندماجيا 6 عارضات، حيث هذه العارضات مثبتة عليها مستشعرات التشوه كل عارضة بها 4 مستشعرات. يركب على أحد الغمدين 4 حلقات متقاربة بمسافات متساوية، يفصل بين الغمد والحلقات بحلقة بلاستيكية كعازل كهربائي، كما نثبت على السطح المستوي بواسطة برغيين عجلة تشفير لمراقبة سرعة الدوران. ثم نقوم بتركيب مدحرجتين ذات إبر بالشد مع الغمدين، مع منع الحركة الانزلاقية لهما باستعمال الحلقات المرنة وبتردد مع الهيكل الخارجي. ثانياً الهيكل الخارجي المتكون من جزئين جزء يثبت عليه حامل للأردوينو حيث هذا الأخير يحمل كل من زر التشغيل والإيقاف و زر التحكم المتمثل في المقاومة المتغيرة، ومصباح التحذير (الضوء الأخضر يدل على تشغيل الحساس، والضوء الأحمر وصول عزم الدوران المحدد).

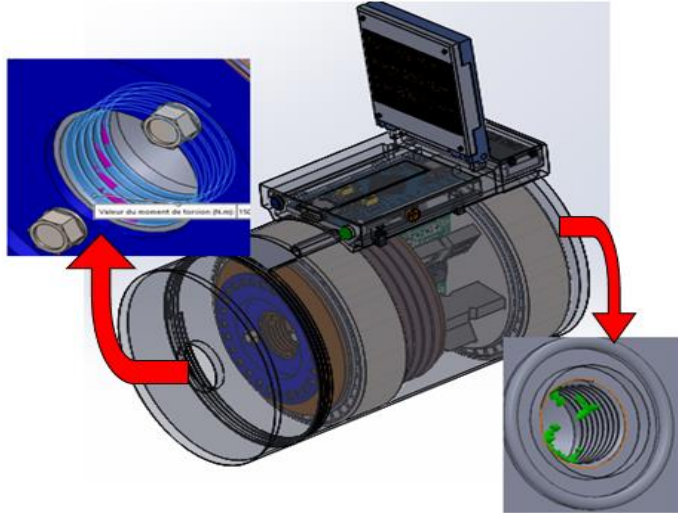
أيضاً، يحتوي الجزء الثابت على شاشة لعرض السرعة الدوران، العزم المطلوب والمقاس، كما يثبت عليه كذلك حامل لمستشعر السرعة، والجزء الثاني عبارة عن غطاء لعجلة تشفير السرعة الذي نركب عليه فاصل الكتامة من الداخل، نقوم بالتجميع بين الجزئين بوصلة لولبية.



الشكل 2-9: تجميع مكونات الحساس

4-2 المحاكاة الرقمية لعمل الحساس

لتحديد الخصائص وشروط عمل الحساس قمنا في هذا الجزء من العمل بمحاكاة تشغيل الحساس. باستخدام أدوات المحاكاة الخاصة ببرنامج (ANSYS). يتم محاكاة تشغيل الحساس في نفس ظروف الاختبار المحددة، قد يشمل ذلك قياس عزم الدوران واستجابة الحساس لتغيرات الاعمال الميكانيكية وغيرها من شروط حدية، الغمد 1 تكون فيه وصلة إندماجية و الغمد 2 الحامل لعجلة التشفير يطبق عليه عزم تدوير قدره 25 نيوتن ×متر، موضع كلا الشرطين يكون في لولبة الغمدين الموضحة في الشكل 2-10. بعد الانتهاء من المحاكاة يتم تحليل النتائج لتقييم أداء الحساس من حيث الإجهاد، التشوه والإزاحة الكلية.



الشكل 2-10: الشروط الحدية لعمل الحساس

2-4-2 برنامج ANSYS

يعتبر هذا البرنامج من أقوى وأهم برامج النمذجة العددية التي تستخدم طريقة العناصر المنتهية، وهو قابل للتطبيق في مجالات مختلفة مثل:

المجالات الإنشائية الساتاتيكية (static)، اللاخطية (nonlinear)، الحرارية (thermic)، الديناميكية (dynamic)، جريان السوائل (hydraulic)، الكهرومغناطيسية، التحليل الكهربائي...، ويمكن ان يجمع معا بين واحد او اكثر من هذه المجالات. يمتاز هذا البرنامج بالقدرة العالية على تمثيل المسألة المدروسة مهما بلغت درجة التعقيد [35].

2-4-2 خصائص طريقة العناصر المنتهية:

الوحدات المستخدمة في المحاكاة هي بنظام الوحدات العالمية SI (MKS) إلا الإزاحة (الجدول 2-3) حيث تعتمد دراسة محاكاة تشغيل حساس العزم الدوران الديناميكي على التحليل العددي باستعمال طريقة العناصر المنتهية.

الجدول 2-3: نظام الوحدات

mm	الطول/الإزاحة
Kelvin	درجة الحرارة
Rad\Sec	السرعة الزاوية
N\m ²	الضغط/الاجهاد

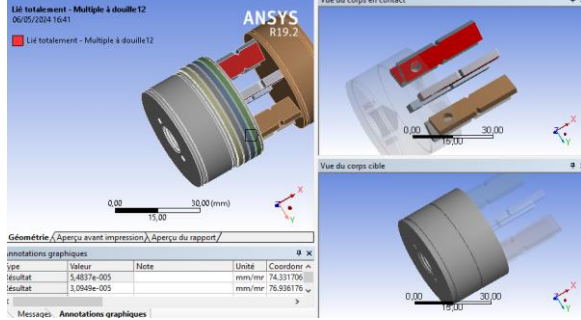
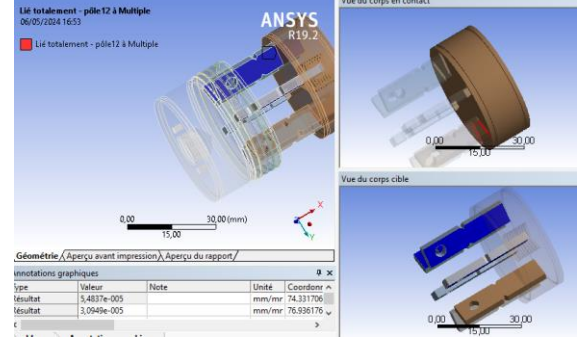
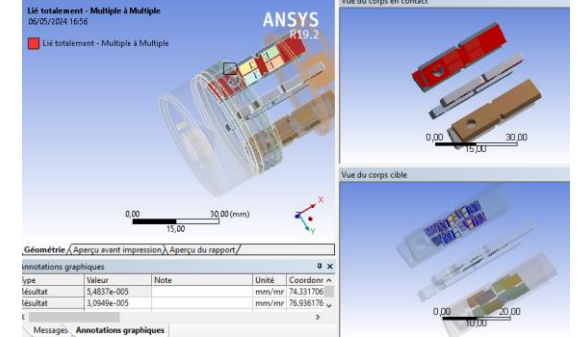
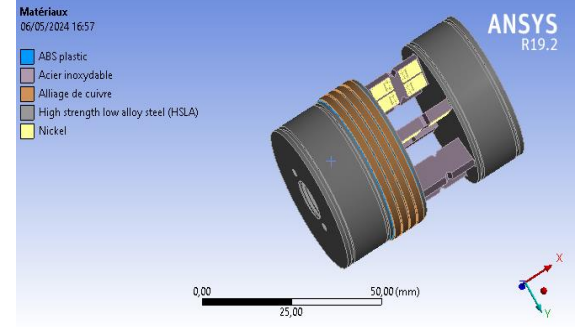
يوضح الجدول (4-2) تقسيمات العناصر من نوع حجمي والمحاكاة تجرى تحت الشرط الوسط من درجة حرارة وضغط. الوصلات بين القطع المكونة للحساس أنجزت على برنامج SolidWorks وحدد نوعها على برنامج ANSYS (الجدول 5-2)

الجدول 4-2: خصائص الدراسة العددية

نوع التحليل	عددي
نوع التقسيم	تقسيم حجمي
درجة حرارة	298 كالفن K
خيارات الاتصال صلبة اندماجية	محددة يدويا
التحقق من القوى الخارجية	نشط
العزم	25 ن.م

الجدول 5-2: معلومات حول الوصلات

الوصلة	صورة الوصلة	خصائص الوصلة
العازل-غمد 2		مدمجة دائمة
حلقة موصلة -عازل		مدمجة دائمة

<p>مدمجة توافق بشد</p>		<p>غمد2-عارضة</p>
<p>مدمجة توافق بشد</p>		<p>الوصلة غمد1-عارضة</p>
<p>مدمجة</p>		<p>الوصلة -2- (عارضة-مستشعرات)</p>
<p>الجزء الدوار هو الجزء الخاضع للأعمال الخارجية (عزم دوران) لذلك المحاكات تجري عليه</p>		<p>الشكل الكلي للجزء الدوار</p>

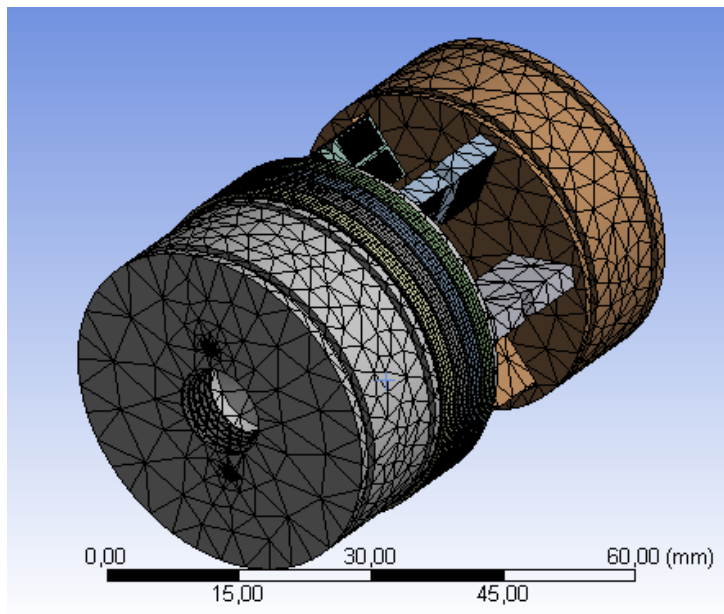
التقسيم (Meshing):

تقسيم الجزء الدوار (الشكل 2-11) الى عناصر أصغر لتسهيل التحليل العددي الذي يسمح بتمثيل الهندسة المعقدة لأي قطعة ما باستخدام عناصر بسيطة مثل العناصر الثلاثية ذات أربعة عقد TET4 أو الأشكال الرباعية ذات أربعة عقد quadratic، وقد استعملنا في هذه الدراسة عنصر التقسيم TET4 elements للجزء الدوار

مع عدم تنشيط المستشعرات. عند تنفيذ التقسيم تحصلنا على عدد إجمالي يساوي 56904 عنصر بـ 222955 عقدة. والجدول 2-6 يوضح معلومات مفصلة حول التقسيم.

الجدول 2-6: معلومات حول تقسيم الحساس

نوع التقسيم	تقسيم حجمي
استخدام التقسيم	تقسيم قائم على الانحناء
نقاط جاكوبيا	4 نقاط
المساحة المتوسطة لأوجه عنصر التقسيم	5,554 mm ²
طول الضلع الأدنى لعنصر التقسيم	2.10 ⁻² mm
جودة التقسيم	عالي
العدد الإجمالي للعقد	222955
العدد الإجمالي للعناصر	56904
التحقق من نوعية التقسيم	معالجة الأخطاء (Yes, Errors)
مراقبة الشكل	Standard mechanics method



الشكل 2-11: تقسيم الجزء الدوار للحساس

3-4-2 خصائص المواد:

الجزء الخاضع للأعمال الخارجية (الشروط العمل) هو الجزء الدوار، لذلك اعتمدنا عليه في المحاكاة الرقمية مع عدم تنشيط الأجزاء (القطع) التي لا تهمنا النتائج فيها وبالتالي دراسة النتائج على كل من القطع الأساسية والمبينة في الجدول (2-7):

✓ صلب عالي السرعات الذي استخدم لصنع الغمدين مما يعطيها صلابة عالية ومقاومة للتآكل والحرارة العاليتين.

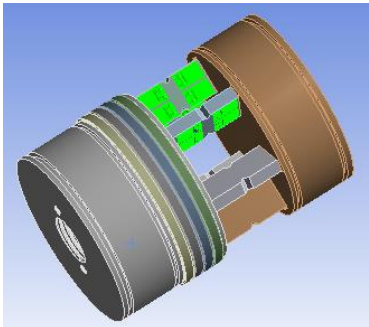
✓ الفولاذ المقاوم للصدأ والذي يستخدم لصنع العارضات وهذا ما يجعلها تتميز بخصائص فيزيائية وميكانيكية محددة.

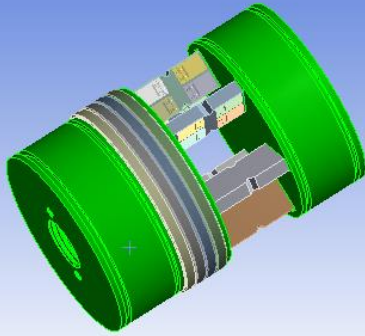
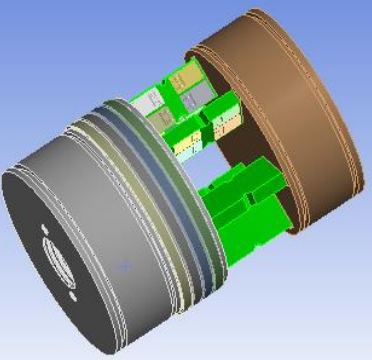
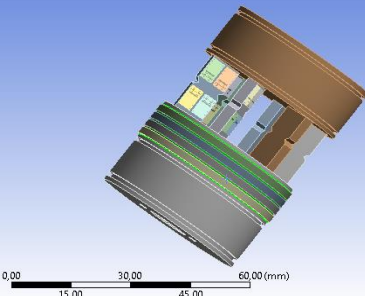
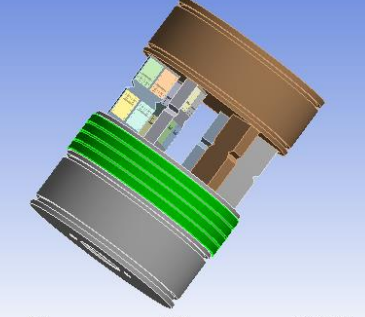
✓ النحاس يستخدم لصنع الحلقات له موصلية حرارية وكهربائية عالية ومقاومة التآكل.

✓ النيكل والذي يستخدم لصنع مستشعرات التشوه لأنه معدن له مقاومة كبيرة للتآكل و لدرجة الحرارة.

✓ البلاستيك (ABS) استخدم لصنع العازل حيث له مقاومة ممتازة للصدمات، المقاومة للحرارة، مقاومة درجات الحرارة المنخفضة، المقاومة الكيميائية.

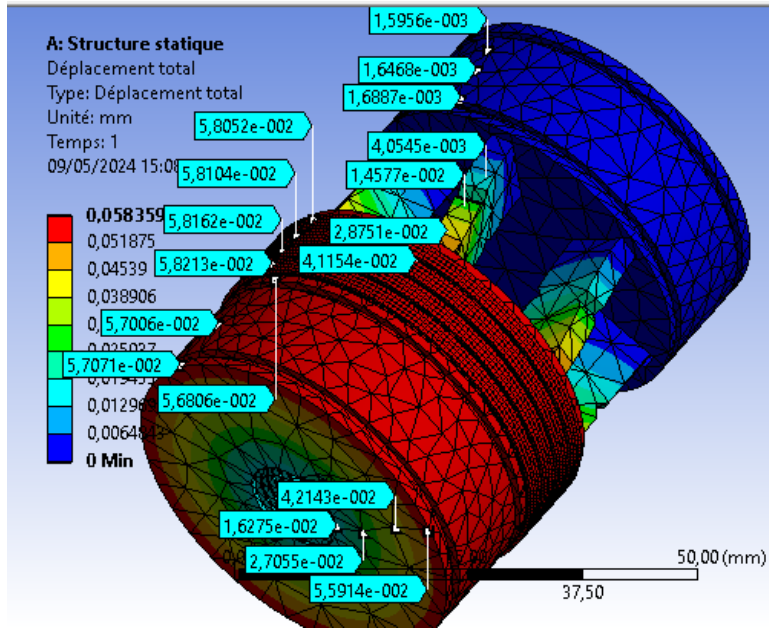
الجدول 2-7: خصائص مواد صنع الحساس

المكونات	الخصائص	مرجع النموذج
	النيكل الاجهاد حد المرونة: $1.5e^{08}$ Pa اجهاد شد الاقصى: $4.56e^{08}$ معامل يونغ: $2.04e^{11}$ معامل بواسون: 0.31 معامل القص: $7.78e^{10}$ Pa	المستشعرات

	<p>صلب عالي السرعات الاجهاد حد المرونة: $3.78 e^{08}$ اجهاد شد الاقصى: $4.57e^{08}$ معامل يونغ: $2.1e^{11}$ معامل بواسون: 0.3 معامل القص: $8.07e^{10}$</p>	الغمد 1 و 2
	<p>الفولاذ المقاوم للصدأ الاجهاد حد المرونة: $2.07e^{08}$ اجهاد شد الاقصى: $5.86e^{08}$ معامل المرونة: $1.93e^{11}$ معامل بواسون: 0.31 معامل القص: $7.36e^{10}$</p>	العوارض
 <p>0,00 15,00 30,00 45,00 60,00 (mm)</p>	<p>البلاستيك ABS الاجهاد حد المرونة: $4.1e^{07}$ اجهاد شد الاقصى: $4.43e^{07}$ معامل يونغ: $2.39e^9$ معامل بواسون: 0.399 معامل القص: $8.54e^8$ Pa</p>	العازل
 <p>0,00 15,00 30,00 45,00 60,00 (mm)</p>	<p>النحاس الاجهاد حد المرونة: $2.8e^{08}$ اجهاد شد الاقصى: $4.3e^{08}$ معامل يونغ: $1.14e^{11}$ معامل بواسون: 0.34 معامل القص: $4.10e^{10}$ Pa</p>	الحلقات

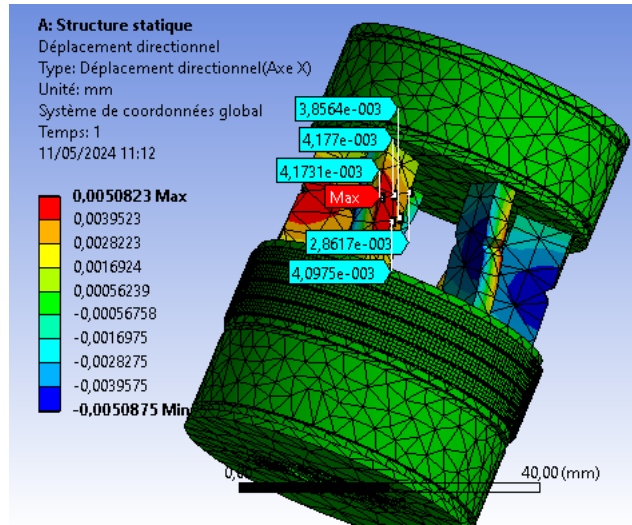
4-4-2 نتائج الدراسة:

الشكل 2-12 يبين أن توزيع الإزاحة تبدأ بقيم صغيرة بمحاذاة موضع التدوير (اللولبة) ثم تكون تصاعدية بدلالة نصف قطر الغمد 2 حيث تبدأ قيمتها من 1.62×10^{-2} وتنتهي عند الحافة بـ 5.70×10^{-2} وتكون تقريبا متساوية على جميع السطح الخارجي ذو البعد الأقصى للقطر. تكون الإزاحة أعظمية في الحلقات الموصلة للإشارة كما أن الإزاحة الأدنى تكون على الغمد 1 الحامل للموصلة الإندماجية.



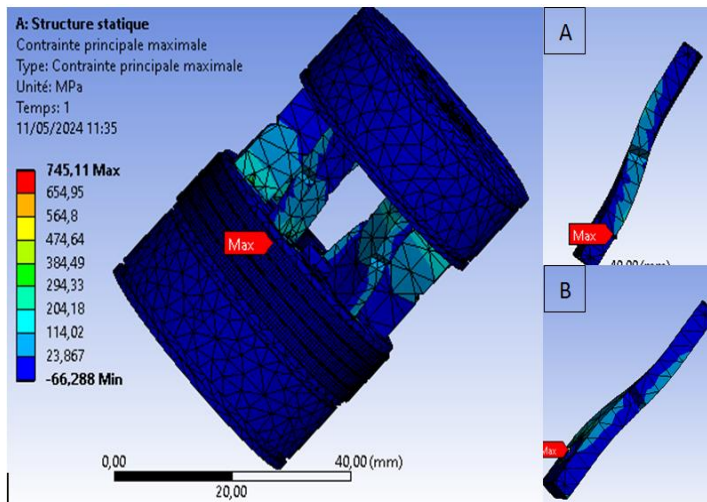
الشكل 2-12: الإزاحة الكلية للحساس

الشكل 2-13 يمثل الانتقال حول المحور x حيث نلاحظ أن مركزه الانتقال في منتصف العارضات من الناحية الخارجية و يتناقص في اتجاه محور الدوران، حيث أن قيمته القصوى 5.08×10^{-3} . ويبين الشكل أن الانتقال يتناقص تناظريا بالنسبة للمنتصف على طول العارضات في اتجاه الغمدين.



الشكل 2-13: الانتقال حول المحور X

من الشكل 2-14 نلاحظ أن القيم القصوى للإجهادات تكون على جانبي العارضات في موضع الوصلة الإندماجية بين العارضة والعمدين حيث تصل إلى 745.11 MPa وتتوزع من الأقصى إلى الأدنى على طول العارضات بحث تأخذ منحنى حلزوني بدلالة سمك وعرض العارضة وتتناقص في اتجاه محور الدوران. أستخلص هذا السلوك من الصور التوضيحية للعارضة A و B حيث A تمثل الوجه الخارجي و B تمثل الوجه الداخلي.



الشكل 2-14: الاجهادات الرئيسية الأعظمية على الجزء الدوار

يلخص الجدول 2-8 النتائج المحصل عليها في هذه المحاكاة والتي تتمثل في:

- تموضع القيمة القصوى والدنيا للإجهاد الناظمي وإجهاد القص وكذا القيمة القصوى للإجهاد الرئيسي على مستوى العارضة ، أما بالنسبة للإجهاد الرئيسي الأدنى فيكون على مستوى الغمد(1).
- قيمة إجهاد Von mises القصوى تكون على العازل و الدنيا على العارضة في حين التشوه المرن والتشوه المرن المكافئ الأقصى يكون على الغمد (2) والأدنى على العارضة .
- تموضع الإزاحة الكلية القصوى في الحلقات اما الدنيا تكون في الغمد(1).

الجدول 2-8: نتائج دراسة المحاكاة الرقمية للجزء الدوار للحساس

النوع	الازاحة الكلية mm	التشوه المرن المكافئ mm/mm	التشوه المرن الأقصى للقصر mm/mm	تشوه المرن للقصر mm/mm	اجهاد Von mises MPa	الاجهاد الرئيسي الأقصى MPa	الاجهاد الناظمي MPa	اجهاد القص MPa
الأدنى	0,	2,40e-7	3,04e-7	-8,6e-4	1,33e-2	-29,308	-225,1	-54,16
الأقصى	8,1e-2	2,26e-3	2,35e-3	9,15e-4	303,31	269,79	209,3	61,752
موضع القيمة الدنيا	الغمد-1	الغمد-2	الغمد-2	العازل	العازل	الغمد-1	العارضة	العارضة
موضع القيمة القصوى	الحلقات	العارضة	العارضة	العازل	العارضة	العارضة	العارضة	العارضة

5-2 خاتمة

باستعمال برنامج SOLIDWORK قمنا بتصميم ثلاثي الابعاد وبرنامج ANSYS لمحاكاة تشغيل حساس عزم الدوران تحت مجموعة متنوعة من ظروف و شروط الاختبار وتقييم أدائه دون الحاجة إلى معدات مادية، و ذلك لتحسين تصميمه ودقته قبل تصنيعه واستخدامه في الواقع، كما يمكن استخدام المحاكاة لتعلم وفهم كيفية عمل الحساس وتأثير الظروف المحيطة عليه.

نستخلص من محاكاة الالتواء لحساس عزم الدوران الديناميكي تحت شروط الحدية التي تمثل عمله أن احسن منطقة التي تتركب فيها مستشعرات التشوه هي التي تأخذ أقصى قيمة لتشوه القص حول محور الدوران، حيث انها وجدت على العارضة بمحاذاة منتصف العارضة أين صممت منطقة الضعف. كما أن المواد المختارة في صناعة العارضات والغمدين يتحملوا احمال التوائية مهمة (اجهاد، تشوه، إزاحة...)

تحت تأثير عزم الدوران نلاحظ أن الغمد 2 تطراً عليه تغيرات في الشكل مما يؤثر على الحلقات لذلك نغير في موضعي الشرطين الحديين حيث الوصلة المندمجة تكون على الغمد 2 و موضع العزم على الغمد 1، للمحافظة على دقة عناصر التوصيل والقياس وعمرهم الافتراضي.

الفصل الثالث:

دراسة وانجاز حساس عزم الدوران الديناميكي

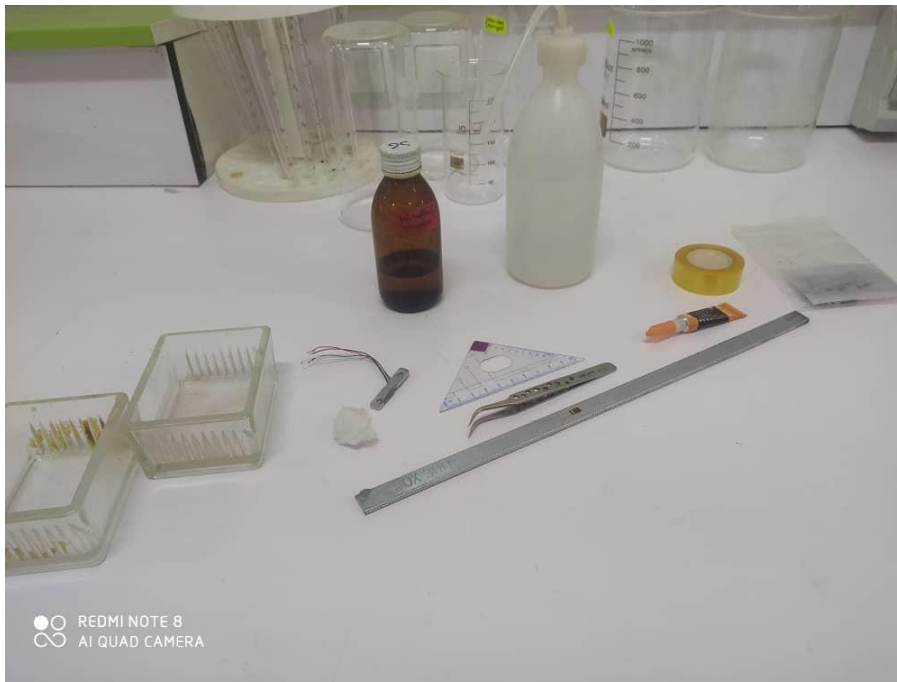
"تطبيق : مفك براغي"

1-3 مقدمة

يحتوي الفصل الثالث على دراسة وتصنيع حساس عزم الدوران، وذلك بالقيام ببعض الاختبارات لتحديد الخصائص الميكانيكية للعنصر الحامل لمستشعرات التشوه (العارضة) وتركيب مكوناته الالكترونية اعتمادا على دارة كهربائية مجربة مسبقا على لوح التجريبي. يتحكم فيه برنامج تشغيل خاص مكتوب بلغة برمجة ARDUINO C++، وذلك بمراعاة الخصائص الفيزيائية للمستشعرات، كما يحتوي على دليل كامل لاستخدام الحساس.

2-3 تثبيت مستشعرات التشوه

تثبيت مستشعرات التشوه على العارضة يعد عملية مهمة لضمان الدقة والثبات في قياسات عزم الدوران وذلك باستخدام المعدات اللازمة والموضحة في (الشكل 3-1):

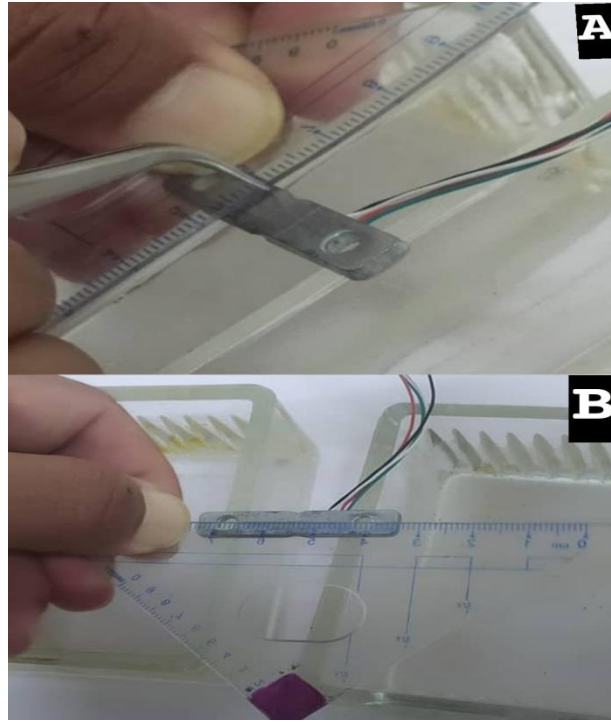


الشكل 3-1: المعدات اللازمة لتركيب مستشعرات التشوه

حيث تتضمن هذه العملية عدة خطوات أساسية تتمثل في:

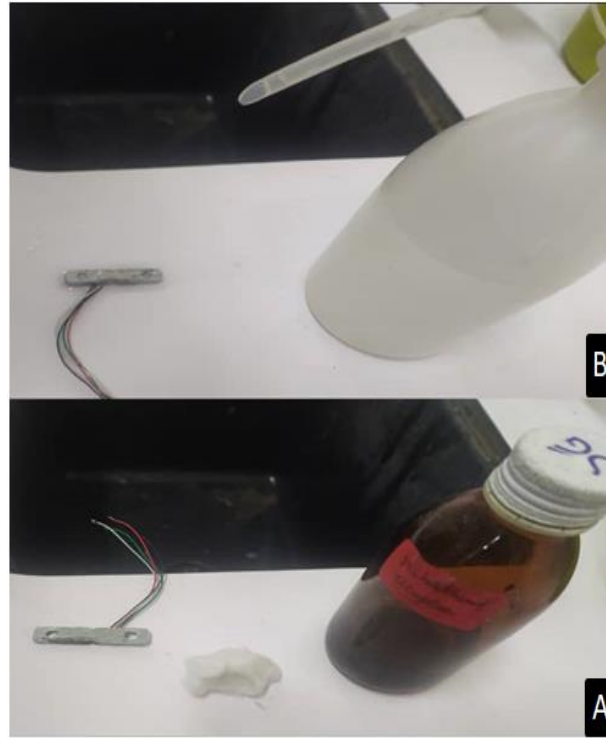
✓ تحديد الموقع: قمنا بتحديد الموقع الأمثل (الشكل 3-2) والذي يكون على جانبي منتصف العارضة (منطقة ضعف العارضة) من حيث العرض A والطول B، مع مراعاة اتجاه عزم دوران الحساس.

ثم تعيين نقطة التلصيق مع الاخذ بعين الاعتبار أبعاد مستشعر التشوه، حيث تكون في مركزه الهندسي.



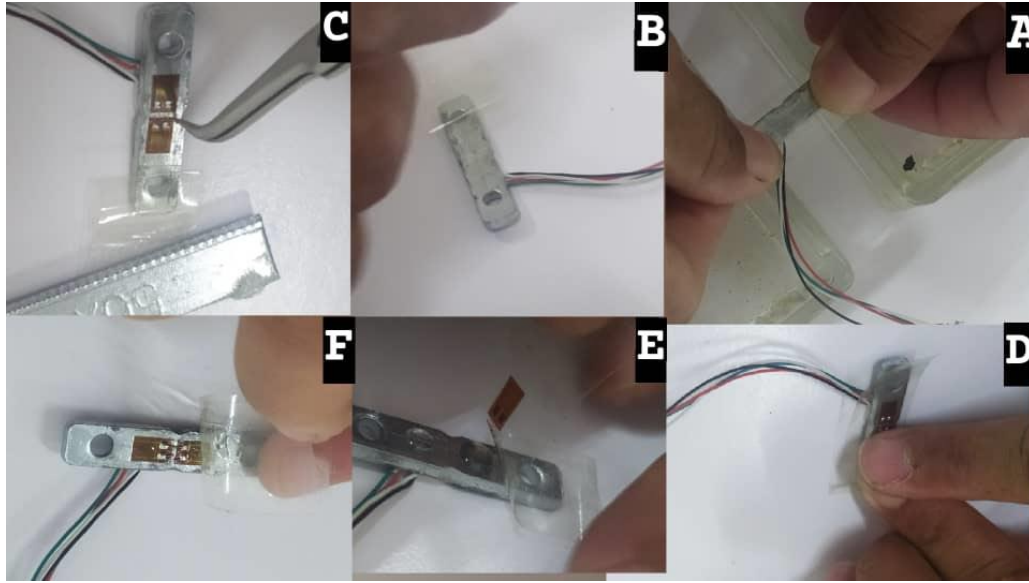
الشكل 3-2: تحديد منتصف العارضة

✓ تنظيف السطح: تنظيف السطح المراد تثبيت المستشعر عليه باستخدام الكحول (كحول البوتانول $C_4H_{10}O$) للتأكد من إزالة كل الشوائب (الشكل 3-A)، ثم الماء المقطر لإزالة آثار الكحول (الشكل 3-B).



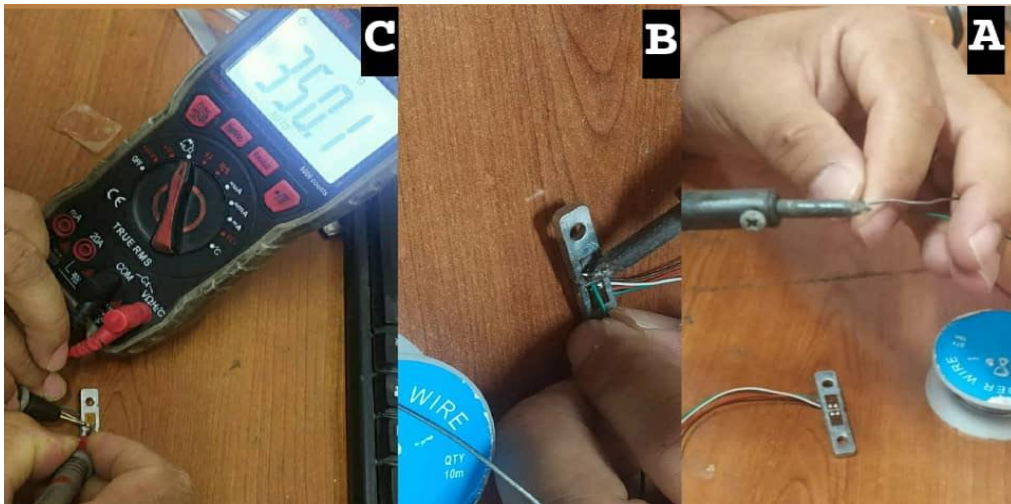
الشكل 3-3: تنظيف سطح العارضة

✓ تثبيت المستشعرات: أول خطوة نضع الشريط اللاصق على العارضة (الشكل 3-A)، ثم نقوم بإزالته جزئياً (الشكل 3-B) لوضع المستشعرات في مكانهم المحدد في الخطوة السابقة (الشكل 3-C) ثم إرجاع الشريط اللاصق فوقهم للحفاظ على موقعهم (الشكل 3-D) وذلك لتجنب إزاحة المستشعرات بالتصاقها عليه، ثم نقوم مرة أخرى بنزع الشريط قليلاً الحامل للمستشعرات ووضع الغراء في الموقع المحدد على العارضة (الشكل 3-E)، ثم نقوم بإرجاع الشريط الحامل للمستشعرات لتثبيتهم بصفة دائمة (الشكل 3-F)، ثم انتظار بضع دقائق ليجف الغراء وتثبت المستشعرات ثم نزع الشريط نهائياً.



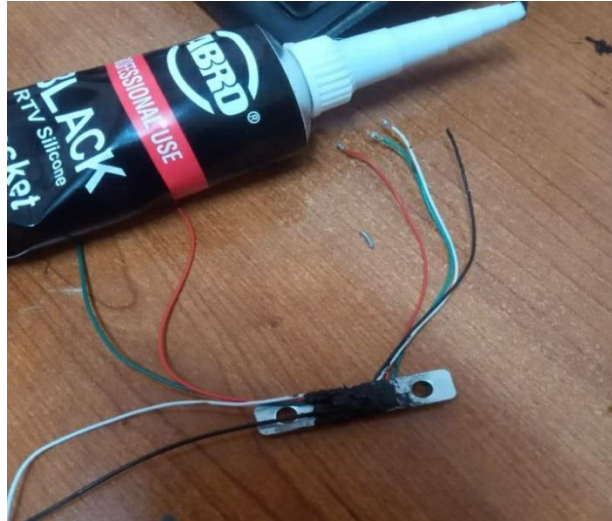
الشكل 3-4: كيفية تثبيت مستشعرات التشوه

✓ ربط الأسلاك والاختبار: ربط أربعة أسلاك بدبابيس مستشعرات التشوه عن طريق التلحيم (بسلك التلحيم) (الشكل 3- A و B)، والتأكد من تثبيت الأسلاك في مكانها وعدم تلامسهم مع بعضهم البعض ومع العارضة (الشكل 3- C) باستخدام جهاز متعدد القياسات لاختبار مقاومة المستشعر والناقلية.



الشكل 3-5: ربط الأسلاك مع الاختبار

✓ عزل المستشعرات: عزل وحماية المستشعرات من الأعمال الخارجية كصدمات و الحرارة باستخدام مادة عازلة من نوع السليكون RTV Silicone توضع فوقهم (الشكل 3-6).

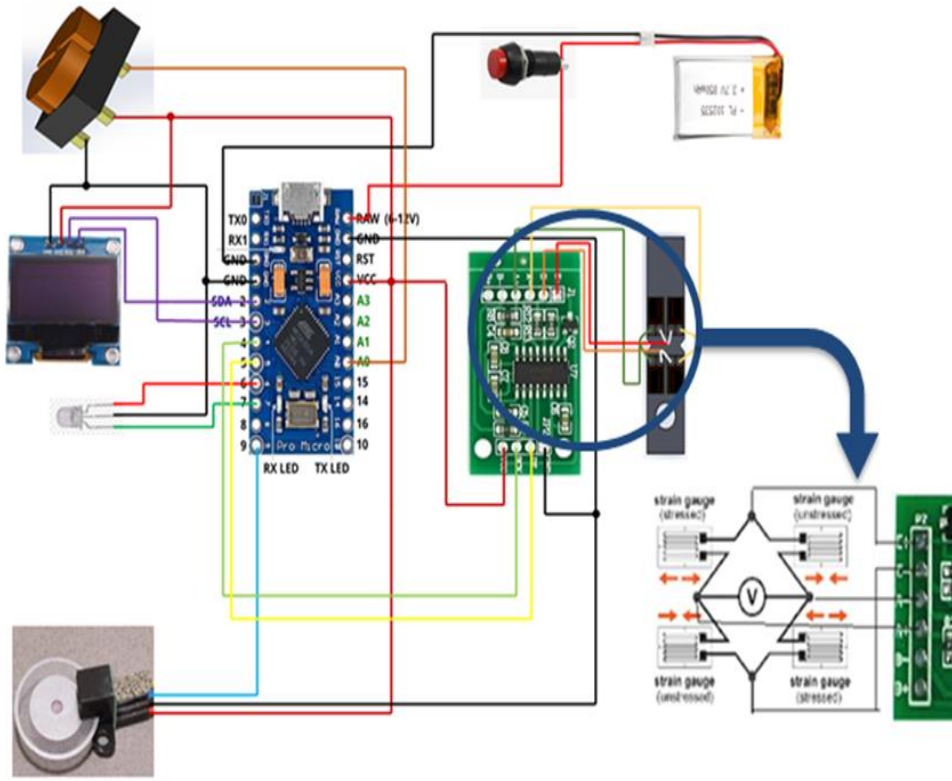


الشكل 3-6: عزل مستشعرات التشوه

3-3 الدارة الكهربائية

- الدارة الكهربائية لحساس عزم الدوران الديناميكي لهذا العمل (الشكل 3-7) هي عملية توصيل الأجزاء الكهربائية والالكترونية عبر مداخل ومخارج (الجدول 3-1) الحساس، يتم ذلك عن طريق:
- توصيل القطب الموجب للبطارية بزر التشغيل ثم الى المنفذ RAW لتغذية الأردوينو حيث الجهد لا يتعدى 12 فولط وذلك حسب نوع الأردوينو المستعمل.
 - توصيل القطب السالب للبطارية بالمنفذ GND للأردوينو ثم الى كل من منفذ GND الشاشة، المصباح الليد، رجل الطرف الثاني للمقاومة المتغيرة، المضخم وشفرة السرعة.
 - توصيل VCC الأردوينو بأحد أرجل طرفي المقاومة المتغيرة (VCC) ثم برجل الـ VCC لكل من الشاشة والمضخم HX711 وشفرة السرعة.
 - توصيل كل زوج من أقطاب مستشعرات التشوه بمدخل المضخم HX711.
 - توصيل مخرجي المضخم DT و SCK بالرجلين 5 و 4 الأردوينو على الترتيب.
 - توصيل مخرج المقاومة المتغيرة بالمنفذ A0.
 - توصيل منافذ SCL و SDA لكل من الأردوينو (2 و 3) والشاشة.
 - توصيل المنفذين ledR (الضوء الأحمر) و ledG (الضوء الأخضر) للمصباح الليد مع المنفذين 6 و 7 للأردوينو على الترتيب.

- توصيل الرجل الثالث من شفرة السرعة بالمنفذ 9 للأردوينو.



الشكل 3-7: الدارة الكهربائية للمكونات الإلكترونية للحساس

الجدول 3-1: مداخل و مخارج الدارة

الوصف	الاسم	الرمز
يوفر الجهد المنظم لمعالج اللوحة الجهد يعتمد على إصدار اللوحة (3.3 فولت / 5 فولت)	Common Collector Voltage pin	VCC
دبوس التأريض: يوفر الجهد المرجعي المشترك للنظام (0 فولت)	Ground pin	GND
الأردوينو (Arduino)		
إشارة الجهد غير المنظمة للوحة، يمكنها قبول الجهود تصل إلى (12 فولت) عند تشغيل اللوحة خارجياً	Unregulated Voltage	RAW/VIN
دبوس يستخدم لإعادة تشغيل اللوحة وبدأ إعادة التعيين	Reset pin	RST
يستخدم لنقل البيانات من جهاز إلى آخر (مدخل / مخرج) رقمي	Transmit pin	TX
يستخدم لاستقبال البيانات الواردة (مخرج / مدخل)	Receive pin	RX1
دبابيس إدخال تماثلية: يتم استخدام هذه الدبابيس بشكل أساسي	Analog pins	A0 A1 A2 A3 A4 A5

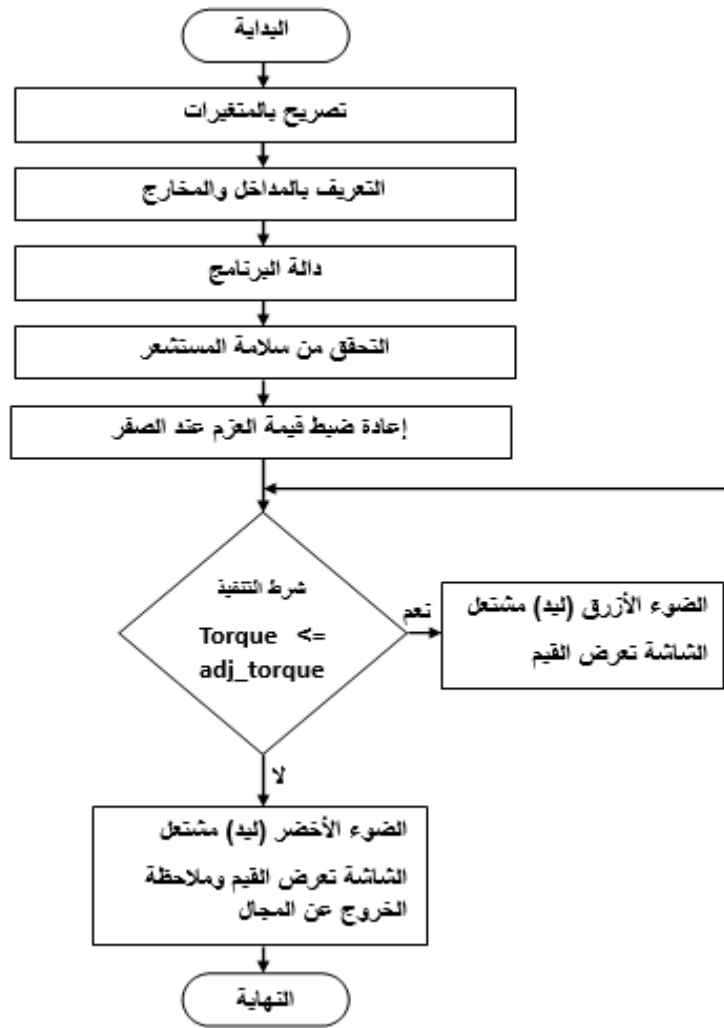
لقرءة الإشارات التماثلية، يمكن أيضا ان تعمل كدبابيس رقمية إذا لزم الأمر		A6 A7 A8 A9 A10
دبابيس رقمية: تستعمل سواء للإدخال أو الإخراج للتواصل مع أجهزة رقمية أخرى	Digital pins	0 1 2 3 4 15
الوح HX711		
التغذية الكهربائية	Electrical power supply	E- E+
قنوات لنقل الإشارة من المستشعرات إلى المضخم HX711	Channels	A ⁺ , A ⁻ , B ⁺ , B ⁻
نقل الإشارة من المضخم HX711 الأردوينو	Dout,Clock Output	dt,sck
الشاشة		
نقل الإشارة للعرض على الشاشة بتقنية I2C	Serial Data /Serial Clock	SDA و SCL

3-4 برمجة الحساس

باستخدام لغة البرمجة ARDUINO C++ (هو برنامج يتم من خلاله كتابة الكود البرمجي للوحة الأردوينو بلغة C) قمنا بكتابة برنامج للتحكم في الحساس باستخدام تعليمات البرمجة الخاصة بـ Arduino IDE (بيئة التطوير المتكاملة)، والتي تم تصميمها خصيصاً لبرمجة لوحات Arduino.

3-4-1 مخطط البرنامج

برنامج التشغيل يتكون من متغيرين أحدهما لإدخال قيمة العزم المحددة (adj_torque) بواسطة المقاومة المتغيرة والمتغير الثاني يعطى العزم المؤثر على العارضة بواسطة حساس التشوه، وبتحويل البيانات الخاصة بهذه المتغيرات بواسطة دوال داخل البرنامج إلى بيانات مشفرة معروفة نتحصل على عزم الدوران. نعتمد على هذا المخطط البياني (الشكل 3-8) الذي يوضح كيفية التحكم في الحساس وكيفية عمله، بداية بقرءة المدخلات ثم التحقق من صحتها. إذا كانت البيانات صحيحة يتخذ القرار الشرطي الذي يؤدي إلى تنفيذ الإجراءات المناسبة و ذلك بمقارنة المتغير الاول و الثاني إذا كان الشرط محقق نتيجته تعرض على الشاشة (قيم المتغيرين) و إضاءة الليد بالون الأزرق، إذا كان الشرط غير محقق تعرض على الشاشة القيم و ملاحظة خروج عن المجال و إضاءة الليد بالون الأخضر. يسمى هذا بالنظام ذو التغذية الخلفية (feed back system).



الشكل 3-8: المخطط البياني لبرنامج التحكم في الحساس

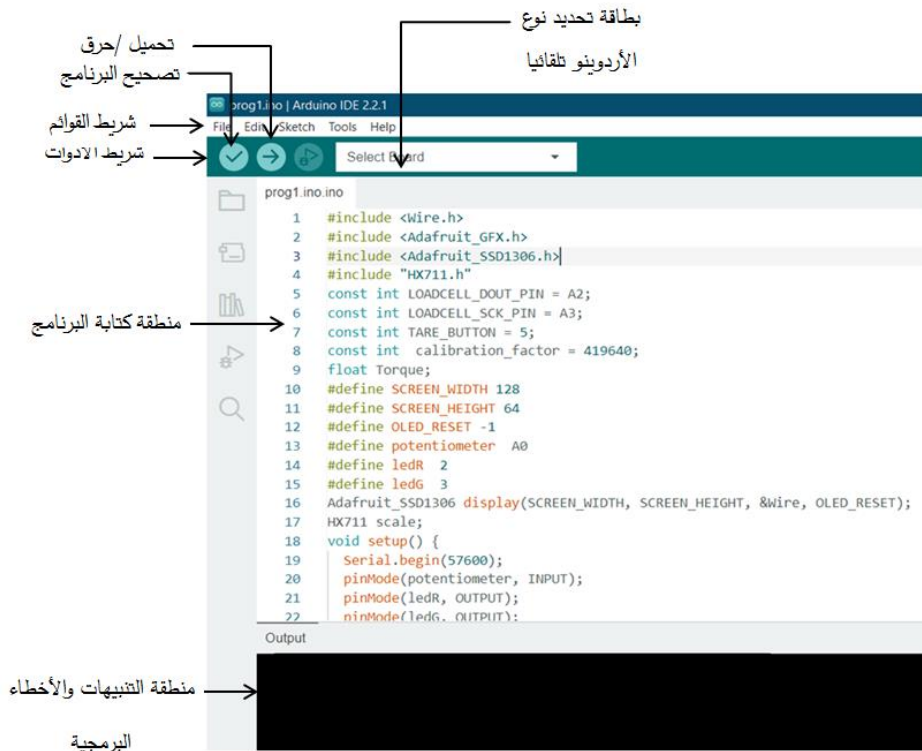
2-4-3 البرنامج

- تطبيق الأردوينو Arduino IDE 2.2.1

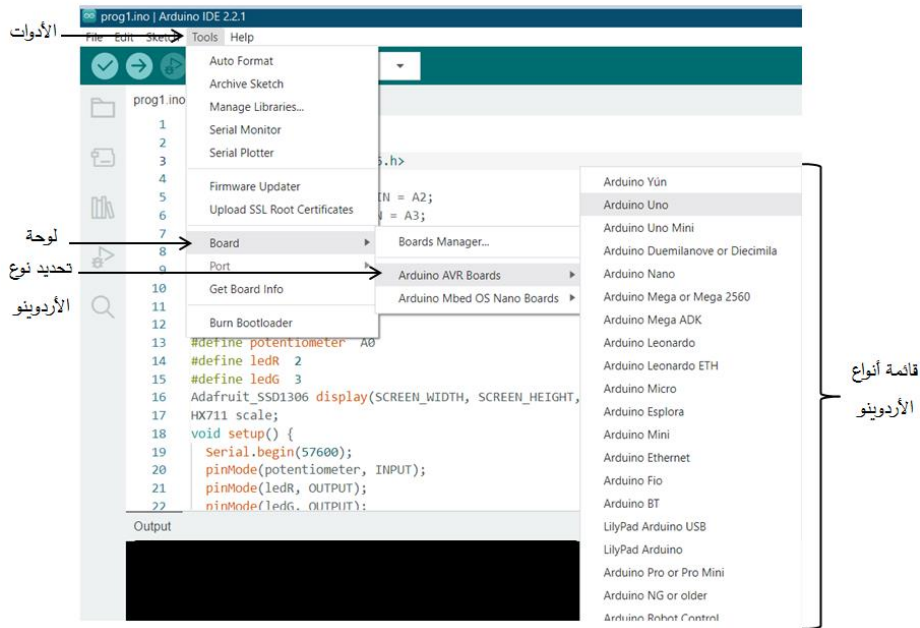
اعتمادا على الدارة الكهربائية (الشكل 3-7) والمخطط البياني (الشكل 3-8) وباستخدام برنامج الأردوينو C++ قمنا بكتابة برنامج خاص بتشغيل الحساس. نفتح التطبيق لتظهر أمامنا الواجهة الخاصة به (الشكل 3-9) نقوم بكتابة البرنامج ثم التأكد من صحته بالضغط على زر التحقق (Verify) الموجود في شريط الأدوات، هذا الزر سيقوم بترجمة الكود والتحقق من عدم وجود أخطاء وعرضها على الشاشة في منطقة التنبيهات والأخطاء البرمجية، بعد التحقق من صحة البرنامج نقوم بتوصيل لوح الأردوينو مع الحاسوب باستخدام الكابل USB فيقوم البرنامج بتحديد نوع اللوح تلقائيا، وفي حالة لم يتعرف التطبيق على اللوح نقوم

بتحديد نوع اللوح من شريط القوائم والضغط على Tools ثم Board ونختار نوع اللوح المستخدم (الشكل 3-10).

وأخيرا تحميل أو حرق البرنامج على اللوح بالضغط على الزر Upload الموجود على شريط الادوات، ستبدأ عملية التحميل وسيظهر شريط تقدم في الأسفل، إذا كان كل شيء صحيحا تظهر رسالة تأكيد أن التحميل تم بنجاح، بمجرد تحميل البرنامج سيبدأ في العمل مباشرة.



الشكل 3-9: واجهة تطبيق الأردوينو



الشكل 3-10: طريقة تحديد نوع لوح الأردوينو

- البرنامج

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include "soc/rtc.h"
#include "HX711.h"
const int LOADCELL_DOUT_PIN = 12;
const int LOADCELL_SCK_PIN = 13;
boolean TARE_BUTTON = 14;
const int calibration_factor =11;
float Torque;
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1
#define potentiometer 15
#define ledB 25
#define ledR 26
#define ledG 27
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH,
SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
HX711 scale;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(potentiometer, INPUT);
  pinMode(ledR, OUTPUT);
  pinMode(ledB, OUTPUT);
  pinMode(TARE_BUTTON, INPUT);
```

```
  scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN,
LOADCELL_SCK_PIN);
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC,
0x3C);
  delay(2000);
  display.clearDisplay();
  display.setTextColor(WHITE);
}

void loop() {
  if (digitalRead(TARE_BUTTON) ==
HIGH) {
    scale.tare();
    Serial.println("Scale tared");
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(0, 0);
    display.print("Scale tared");
    display.display();
    delay(2000);
  }

  int adjustment =
analogRead(potentiometer);
  double adjustment_torque=
map(adjustment, 0, 4095, 0, 50);
  if (scale.is_ready()) {
```

```

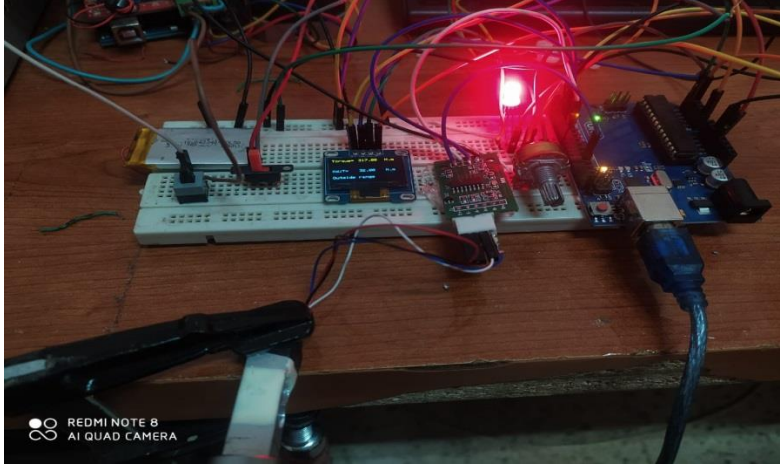
scale.set_scale();
float reading = scale.read();
Torque =
reading/calibration_factor;
Serial.print("Torque= ");
Serial.print(reading);
Serial.println("N.m");
Serial.print("Adj_Torque= ");
Serial.print(adjustment_torque);
Serial.println("N.m");
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 0);
display.print("Torque=");
display.setTextSize(1);
display.setCursor(50, 0);
display.print(Torque);
display.setTextSize(1);
display.setCursor(100, 0);
display.print("N.m");
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 30);
display.print("AdjT=");
display.setTextSize(1);
display.setCursor(50, 30);
display.print(adjustment_torque)
;
display.setTextSize(1);
display.setCursor(100, 30);
display.print("N.m");

display.display();
if ( Torque>= adjustment_torque ){
Serial.println("Outside range
");
digitalWrite(ledR, LOW);
digitalWrite(ledB, HIGH);
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 50);
display.print("Outside range");
display.display();
}
else {
digitalWrite(ledB, LOW);
digitalWrite(ledR, HIGH);
}
}
else {
display.clearDisplay();
Serial.println("HX711 not found.");
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 0);
display.print("HX711 not found");
display.display();
}
}
}

```

3-5 تطبيق تجريبي

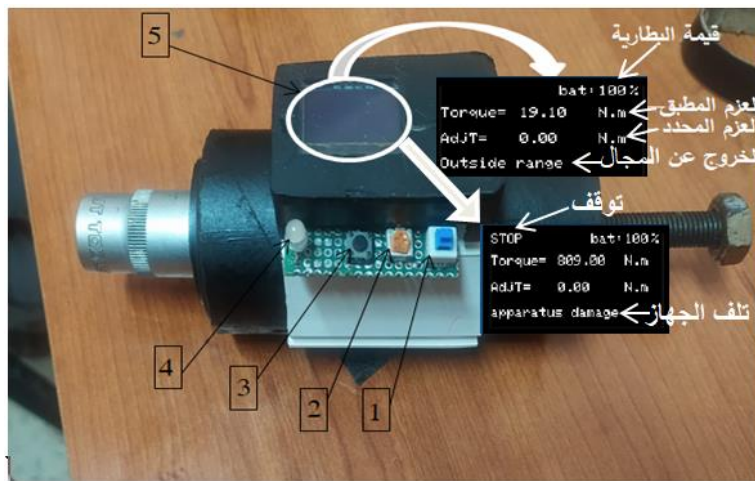
يمثل (الشكل 3-11) التطبيق التجريبي لمحاكاة الدارة كهربائية السابقة (الشكل 3-7) لتأكد من صحة وفعالية التركيب، تم الاعتماد على لوح التجريب لتثبيت وتسهيل عملية ربط مكونات الدارة، حيث نربط الأردوينو UNO بجهاز الحاسوب ثم نقوم بحرق البرنامج عليها وبالضغط على زر القاطعة تبدأ الدارة بالعمل، وبتدوير المقاومة المتغيرة نضبط قيمة العزم المحدد (Adj_Torque) ونضغط على الحساس من أجل تغيير الإشارة (Torque) ومقارنتها مع قيمة العزم المحدد، إذا كانت قيمة العزم المؤثر أقل من قيمة العزم المحدد يضيء الليد باللون الأخضر وإذا تم تجاوز قيمة العزم المحدد يضيء باللون الأحمر ويعرض على الشاشة "Outside range"، ونستعمل الزر "Tare" لإعادة ضبط عزم التدوير عند الصفر.



الشكل 3-11: تطبيق تجريبي للدائرة الكهربائية

3-6 دليل استعمال الحساس

يمثل (الشكل 3-12) التطبيق الفعلي لحساس عزم الدوران، والذي يستخدم في عمليات التصنيع والصيانة بقياس عزم الدوران المطبق على الاعمدة الدوارة أو الثابتة، يتم تشغيل الحساس بالضغط على زر التشغيل (1) يشتعل الليد (4) باللون الأزرق و يتم العرض على الشاشة (5) كل من قيمة البطارية، والعزم المحدد (Adj_Torque) وفق متطلبات التطبيق الذي يتم ضبطه بواسطة المقاومة المتغيرة (2)، وقيمة العزم المؤثر (Torque)، اذا كانت قيمة هذا الأخير أكبر من قيمة العزم المحدد يتوهج الليد باللون الأخضر وتظهر رسالة الخروج عن المجال "Outside range"، و اذا تجاوز قيمة العزم اكبر قيمة يتحملها الحساس يتوهج الليد باللون الأحمر وتظهر رسالتين؛ "Stop" في اعلى الشاشة وفي اسفلها "Apparatus damage". ونستعمل الزر (3) "Tare" لإعادة ضبط عزم التدوير عند الصفر.

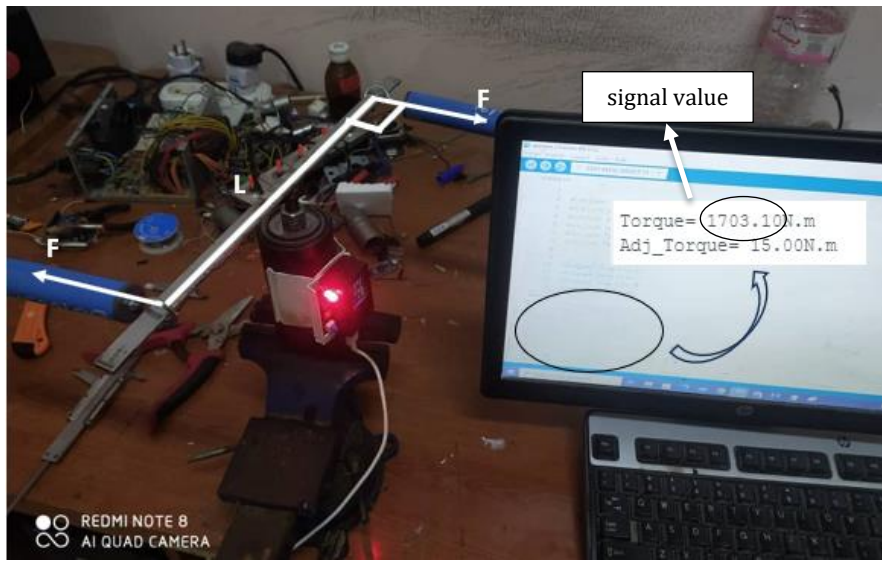


الشكل 3-12: حساس عزم الدوران (التطبيق الفعلي)

7-3 معايرة حساس عزم الدوران

المتغير calibration_factor من نوع float في البرنامج نتحصل عليه من المعايرة التي تتم بتنفيذ عزم مزدوجة قوتها F مقاسة بجهاز الربيع (couple measured) الموجودة على مستوى مخبر الفيزياء للمدرسة العليا للأساتذة التعليم التكنولوجي (الشكل 3-13)، الحساس يعطينا إشارة (signal value). بتطبيق العلاقة 1-3 نتحصل على قيمة المعايرة.

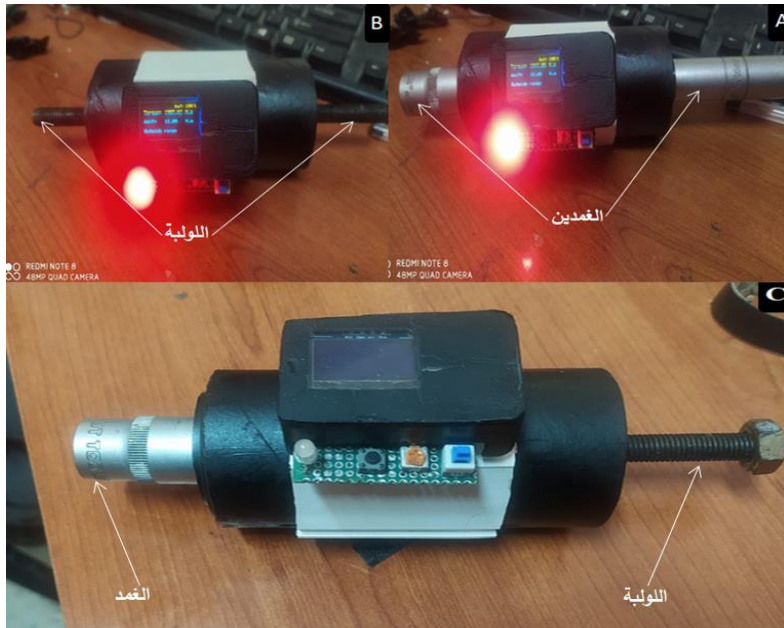
$$\text{calibration_factor} = \frac{\text{couple measured}}{\text{signal value}} \quad 1-3$$



الشكل 3-13: طريقة معايرة الحساس

8-3 طريقة تثبيت الحساس

يثبت هذا الحساس بثلاث طرق؛ الطريقة (A) والتي يتم فيها التركيب عن طريق الغمدين (ذو قطر 17mm) حيث يتم تثبيت أحد الغمدين على العمود الدوار (أو الثابت) والأخر على الجزء المراد قياس العزم فيه، والطريقة (B) يتم فيها التركيب عن طريق اللولبة حيث يكون الجزء الذي يركب فيه ذو لولبة داخلية ويكون لهم نفس المميزات (القطر الإسمي والخطوة) لولبة من نوع M10*1.5 كما يمكن تركيب مختلط بين اللولبة و الغمد (C) (الشكل 3-14)



الشكل 3-14: طرق تثبيت حساس عزم الدوران

نأخذ كمثال مفك البراغي (الشكل 3-15) والذي يركب الحساس وفق الطريقة (A) (الشكل 3-14) باستعمال الغمدين، احدهما يركب على مفك البراغي (الذي يتم تطبيق العزم عليه) والغمد الآخر على البرغي، نقوم بتحديد العزم المحدد (Adj_Torque) من خلال المقاومة المتغيرة والذي يعرض قيمته على الشاشة، ثم نطبق عزم (Torque) على ساق المفك وتعرض قيمته، نزيد في قيمة العزم حتى يتجاوز قيمة العزم المحدد يشتعل الليد باللون الأخضر ويعرض على الشاشة "Outside range"، وعند تجاوز قيمة العزم الأقصى الذي يتحمله الحساس يضيء الليد باللون الأحمر يعني التوقف لتجنب تلف الحساس.



الشكل 3-15: تركيب الحساس في مفك البراغي

9-3 خاتمة

في هذا الفصل، قدمنا دراسة وإنجاز حساس عزم الدوران وتطبيقه في مفك براغي، كما تم التركيز على تصميم وتطوير حساس قادر على قياس عزم الدوران بدقة عالية.

تبين من خلال البحث أن استخدام حساس عزم الدوران الديناميكي يساهم بشكل كبير في تحسين أداء مفك البراغي، من خلال توفير قياسات دقيقة وفورية لعزم الدوران المطبق. هذا التحسين لا يساهم فقط في زيادة الكفاءة الإنتاجية، بل يعزز أيضا من سلامة العمل من خلال تفادي الإفراط في التشديد أو عدم كفايته، مما يقلل من مخاطر تلف البراغي أو المكونات المرتبطة.

كما تم استعراض الاختبارات والتجارب التي أجريت على النموذج المطور، والتي أظهرت نتائج مشجعة تؤكد فعالية الحساس في تطبيقات الحياة العملية. تشير هذه النتائج إلى أن الحساس يمكن أن يكون إضافة قيمة لأدوات الصناعة المختلفة التي تتطلب التحكم الدقيق في عزم الدوران.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

الهدف من هذا العمل هو صناعة وانجاز حساس عزم الدوران الديناميكي، الذي يتميز بقدرته العالية على تقديم بيانات دقيقة وموثوقة حول التغيرات في عزم الدوران، مما يساهم بشكل كبير في تحسين الأداء التشغيلي وصيانة المعدات، الذي يعد أحد الابتكارات الهامة في مجال قياس ومراقبة الأنظمة الميكانيكية والصناعية.

لقد استعرضنا في هذه المذكرة نظرة شاملة على المفاهيم الأساسية والتصنيفات المختلفة للحساسات، ومعرفة الأنواع الرئيسية للحساسات المستخدمة في التطبيقات الصناعية والتكنولوجية، بما في ذلك الحساسات الميكانيكية، الحرارية، البصرية، والكهربائية.

كما ألقينا الضوء على حساس القوة مع تحليل دقيق لحساس عزم الدوران الديناميكي، شرحنا المبدأ الأساسي لعمل هذا الحساس وكيفية استخدامه لقياس القوى والعزوم بدقة عالية في البيئات الديناميكية حيث تتغير الظروف بشكل مستمر، وناقشنا التطبيقات العملية له في مختلف المجالات مثل صناعة السيارات، والآلات الصناعية، وأنظمة التحكم الآلي.

يقدم هذا العمل طريقة عملية لتصميم وتطوير حساس عزم الدوران مع التركيز على استخدام أدوات التصميم والمحاكاة الحديثة، بدأنا بتوضيح أهمية التصميم الدقيق لحساس عزم الدوران في تحقيق الأداء المطلوب في التطبيقات الصناعية المختلفة باستخدام برنامج SolidWorks لإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد للحساس، مما أتاح لنا إمكانية دراسة تفاصيل التصميم بدقة وتحسين الهيكل لتحقيق الأداء الأمثل.

لإجراء المحاكاة والتحليل الهيكلي للحساس كنا بحاجة لاستخدام برمجية ANSYS الذي يستخدم طريقة العناصر المنتهية مع نموذج SolidWorks، حيث تمكنا من محاكاة رقمية للنموذج تحت ظروف تشغيله، من خلال هذه المحاكاة استطعنا تقييم أداء الحساس في ظل تأثيرات القوى المختلفة والتأكد من قدرته على قياس عزم الدوران بدقة واستجابة سريعة، أظهرت نتائج التصميم والمحاكاة أن النموذج المقترح يمتلك القدرة على تلبية متطلبات القياس الديناميكي لعزم الدوران، كما ساهمت أدوات المحاكاة في تحديد النقاط الحرجة في التصميم لتحديد الموقع الأمثل لوضع مستشعرات التشوه على العارضات.

بعد تصميم ومحاكاة الحساس قمنا بإنجازه وتنفيذه عمليا، بالإضافة إلى تحرير برنامج بلغة ARDUINO C++ للتحكم به وتطبيقه في مفك البراغي، الذي يساهم في قياس القوى الدوارة والتحكم فيها وتحسين كفاءة عملية ربط وفك البراغي وتجنب فقدان العزم أو تلف البراغي، كما يعتبر هذا الحساس مفيدا لمراقبة عمليات الصيانة والتشغيل والتأكد من استخدام البراغي بالطريقة الصحيحة.

من بين المميزات الرئيسية لحساس عزم الدوران في مفك البراغي يمكن ذكر دقته العالية في القياس، وقدرته على تحمل البيئات القاسية والاهتزازات، وسهولة استخدامه وقراءة البيانات كما يمكن أن يساعد في توفير الوقت والجهد وتحسين كفاءة العمل وتقليل التكاليف.

كما يجب مراعاة بعض النقاط الهامة عند استخدام حساس عزم الدوران في مفك البراغي، مثل ضرورة صيانتها واختباره بانتظام لضمان دقة القياسات، والتأكد من توافقه مع معايير السلامة والجودة كما يجب مراعاة عوامل البيئة وظروف التشغيل التي قد تؤثر على أداء الحساس.

من خلال هذه النتائج المتحصل عليها تأكدنا من فعالية حساس عزم الدوران في تعزيز الكفاءة وتقليل الأعطال، مما يؤدي إلى تحسين الإنتاجية وتوفير التكاليف على المدى الطويل.

المراجع

قائمة المراجع

- [1] Robert Sheldon. Sensor [1] <https://www.techtargt.com/whatis/definition/sensor> تاريخ الدخول 2023-11-12
- [2] Ahmed Gunaid. types of sensors , Oct 17, 2020 [2] <https://fr.scribd.com/document/480442850/%D8%A3%D9%86%D9%88%D8%A7%D8%B9-%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%B3%D8%A7%D8%B3%D8%A7%D8%AA> تاريخ الدخول 2023-11-15
- [3] <https://www.realpars.com/blog-> What is a Sensor? Different Types of Sensors, Applications [3] <post/types-of-sensors> تاريخ الدخول 2024-06-04
- [4] الحساس التقاربي (Proximity switch) و الحساس التقاربي المغناطيسي <https://sciencesky.net/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%B3%D8%A7%D8%B3-%D8%A7%D9%84%D8%AA%D9%82%D8%A7%D8%B1%D8%A8%D9%8Aproximity-switch-%D9%88-%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%B3%D8%A7%D8%B3-%D8%A7%D9%84%D8%AA%D9%82%D8%A7%D8%B1%D8%A8%D9%8A/> تاريخ الدخول 2023-11-15
- [5] حساس موجات صوتية <https://jeem3.com/Ultrasonic/p2113147041> تاريخ الدخول 2023-11-15
- [6] <https://www.indiamart.com/proddetail/thermocouple-sensor-14858705897.html> Sensors. Temperature Sensor [6] تاريخ الدخول 2024-06-05
- [7] Capteurs de force en traction compression : fonctionnement des cellules de charge pont de jauges <https://instrumentys.com/capteurs-de-force/> تاريخ الدخول 2023-11-07
- [8] Force transducers Versatile application <https://primosensor.com/produktinfo/force-transducers> تاريخ الدخول 2024-06-05
- [9] Capteur de couple <https://sensel-measurement.fr/fr/18-capteur-de-couple> تاريخ الدخول 2023-11-01

<https://www.te.com/usa-en/products/sensors/torque-> Torque Sensors & Torque Meters [10]
2024-06-04 تاريخ الدخول [sensors.html?tab=pgp-story](https://www.te.com/usa-en/products/sensors/torque-sensors.html?tab=pgp-story)

تاريخ [/https://metromatics.com.au/product/rotary-torque-sensors](https://metromatics.com.au/product/rotary-torque-sensors) Rotary Torque Sensors [11]
الدخول 2024-06-04

[https://www.futek.com/applications/How-to-Measure-](https://www.futek.com/applications/How-to-Measure-Torque-of-a-Motor) How to measure torque of a motor [12]
2024-06-04 تاريخ الدخول [Torque-of-a-Motor](https://www.futek.com/applications/How-to-Measure-Torque-of-a-Motor)

[https://sensel-measurement.fr/en/blog/servo-motor-torque-](https://sensel-measurement.fr/en/blog/servo-motor-torque-control) Servo Motor Torque Control [13]
[2024-06-04 تاريخ الدخول control--n144](https://sensel-measurement.fr/en/blog/servo-motor-torque-control)

<https://www.directindustry.fr/prod/burster-> Capteur de couple statique 8661 [14]
2024-06-04 تاريخ الدخول [praezisionsmesstechnik-gmbh-co-kg/product-13615-1166243.html](https://www.directindustry.fr/prod/burster-praezisionsmesstechnik-gmbh-co-kg/product-13615-1166243.html)

[https://sensel-measurement.fr/fr/18-capteur-de-](https://sensel-measurement.fr/fr/18-capteur-de-couple) Capteur de couple [15]
[couple#:~:text=Dans%20un%20capteur%20de%20couple,contrainte%20qui%20modifie%20sa%20r%C3%A9sistance](https://sensel-measurement.fr/fr/18-capteur-de-couple#:~:text=Dans%20un%20capteur%20de%20couple,contrainte%20qui%20modifie%20sa%20r%C3%A9sistance)
2024-06-04 تاريخ الدخول [%20r%C3%A9sistance](https://sensel-measurement.fr/fr/18-capteur-de-couple#:~:text=Dans%20un%20capteur%20de%20couple,contrainte%20qui%20modifie%20sa%20r%C3%A9sistance)

John X.J. Zhang, Kazunori Hoshino. Chapter 6 - Mechanical transducers: Cantilevers, [16]
acoustic wave sensors, and thermal sensors. In Micro and Nano Technologies, Molecular
[https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814862-](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814862-4) Sensors and Nanodevices (Second Edition), 2019
[4.00006-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814862-4)

[https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-](https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/how-does-a-torque-transducer-actually-work#:~:text=Like%20many%20other%20kinds%20of,firmly%20connected%20to%20the%20of) Torque Sensors Basic Knowledge [17]
[center/articles/how-does-a-torque-transducer-actually-](https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/how-does-a-torque-transducer-actually-work#:~:text=Like%20many%20other%20kinds%20of,firmly%20connected%20to%20the%20of)
[work#:~:text=Like%20many%20other%20kinds%20of,firmly%20connected%20to%20the%20of](https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/how-does-a-torque-transducer-actually-work#:~:text=Like%20many%20other%20kinds%20of,firmly%20connected%20to%20the%20of)
2024-06-04 تاريخ الدخول [oil](https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/how-does-a-torque-transducer-actually-work#:~:text=Like%20many%20other%20kinds%20of,firmly%20connected%20to%20the%20of)

Measuring the Force of Rotation: Torque Sensors. Anotonio Armenta, May 04,2023 [18]
[https://control.com/technical-articles/measuring-the-force-of-rotation-torque-](https://control.com/technical-articles/measuring-the-force-of-rotation-torque-sensors/#:~:text=A%20torque%20sensor's%20basic%20working,strain%20gauges%20or%20ma)
[sensors/#:~:text=A%20torque%20sensor's%20basic%20working,strain%20gauges%20or%20ma](https://control.com/technical-articles/measuring-the-force-of-rotation-torque-sensors/#:~:text=A%20torque%20sensor's%20basic%20working,strain%20gauges%20or%20ma)
2023-12-03 تاريخ الدخول [gnetoelastic%20sensors](https://control.com/technical-articles/measuring-the-force-of-rotation-torque-sensors/#:~:text=A%20torque%20sensor's%20basic%20working,strain%20gauges%20or%20ma)

2023-11-08 تاريخ الدخول <https://byjus.com/physics/wheatstone-bridge/> Wheatstone Bridge [19]

<https://riverglennapts.com/ar/instrument/467-measurement-of-resistance.html> قياس المقاومة [20]
تاريخ الدخول 2024-06-04

<https://sensel-measurement.fr/fr/18-capteur-de-couple#:~:text=Dans%20un%20capteur%20de%20couple,contrainte%20qui%20modifie%20sa%20r%C3%A9sistance> Capteur de couple [21]
تاريخ الدخول 2023-12-03

<https://studentlesson.com/definition-applications-diagram-types-working-of-a-strain-gauge> what is strain gauge [22]
تاريخ الدخول 2024-06-04

Torque Sensors Basic Knowledge. Torque Measurement Flange. [23]
<https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/how-does-a-torque-transducer-actually-work#:~:text=Like%20many%20other%20kinds%20of,firmly%20connected%20to%20the%20oil>
تاريخ الدخول 2023-12-02

<https://sensel-measurement.fr/fr/blog/applications-de-mesure-de-couple> Applications de mesure de couple [24]
تاريخ الدخول 2023-11-25

Antonio Armenta. Measuring the Force of Rotation: Torque Sensors. May 04, 2023 [25]
<https://control.com/technical-articles/measuring-the-force-of-rotation-torque-sensors/#:~:text=A%20torque%20sensor's%20basic%20working,strain%20gauges%20or%20magneetoelastic%20sensors>
تاريخ الدخول 2024-06-04

Applications de mesure de couple. mesure du couple de rupture et contrôle de la qualité du couple résiduel [26]
<https://sensel-measurement.fr/fr/blog/mesure-du-couple-de-rupture-et-contrôle-de-la-qualité-du-couple-résiduel>
تاريخ الدخول 2023-12-05

Applications de mesure de couple. déterminer le rendement d'un moteur électrique [27]
تاريخ <https://sensel-measurement.fr/fr/blog/determiner-le-rendement-d-un-moteur-electrique-n486>
الدخول 2023-12-05

<https://www.futek.com/store/load-cells/multi-axis-load-cell/QMA148> Custom low profile torque and thrust biaxial sensor [28]
تاريخ الدخول 2023-12-18

<https://sensel-measurement.fr/fr/blog/conduite-et-direction-par-capteur-filaire-n473> Applications de mesure de couple. conduite et direction par capteur filaire [29]
تاريخ الدخول 2023-12-05

<https://sensel-measurement.fr/fr/blog/verification-de-clef-dynamometrique-n25> Applications de mesure de couple vérification de clef dynamometrique [30]
تاريخ الدخول 2023-12-05

<https://sensel-measurement.fr/fr/blog/mesure-de-couple-de-vissage-n24> Applications de mesure de couple. Mesure de couple de vissage [31]
تاريخ الدخول 2023-12-05

Electronic Components Datasheet. [32]

[Searchhttps://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Hx711%20datasheet&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw9vqyBhCKARIsAIIcLMG4_9YmheDG7nOPLobSyF2uYxICZ9YjqFAHgJAd6fkS9Z4GKDPX3t4aAm7vEALw_wcB](https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Hx711%20datasheet&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw9vqyBhCKARIsAIIcLMG4_9YmheDG7nOPLobSyF2uYxICZ9YjqFAHgJAd6fkS9Z4GKDPX3t4aAm7vEALw_wcB)

<https://pdf1.alldatasheet.fr/datasheet-ATMEGA16U4-ATMEL-Alldatasheet> [33]
تاريخ الدخول 2024-05-09 <pdf/download/241056/ATMEL/ATMEGA16U4.html>

Écran OLED 0.91 Pouces 128x32 compatible ARDUINO / STM32 / Raspberry [34]
<https://electro-proto.fr/ecrans/48--ecran-oled-091-pouces-128x32-compatible-arduino-stm32-raspberry-3760373490217.html>
تاريخ الدخول 2024-06-05

محمد صفو. معتر حسين برنامج ANSYS في الهندسة المدنية 2017 [35]
تاريخ الدخول 2024-06-04 <https://www.slideshare.net/Bahzad5/ansys-254942995>