الجمهورية العربية السورية
جـــــامـــعة دمـــشـــق
كلية التطبيقية
قسم الميكاترونيكس

أنظمة تحصيل البيانات

Data Acquisition Systems

الدكتور المهندس
سامر حسام الدين
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم التصميم الميكانيكي

2020 -2019

الفهرس:

الفصل	العنوان	الصفحة
مقدمة		
الفصل الأول	القياسات في الميكاترونيكس	1
الفصل الثاني	الحساسات والتقنيات المستخدمة في قياس البارامترات	23
الفصل الثالث	تحصيل البيانات حاسوبياً	35

مـقدمـــــــــــة:

بدأ الإنسان منذ بدايته وحتى يومنا هذا بالتعامل مع القياسات المختلفة، وهويقوم إما بتطبيقها بشكل ذاتي أويقوم بمراقبة إنجازها وتسجيل البيانات الخاصة بها، ونتذكر كيف أننا نلجأ في حياتنا اليومية إلى استخدام مقاييس الحرارة الزجاجية، المساطر المدرجة، الموازين.....وغيرذلك.

تنجز القياسات بواسطة وسائل تقنية خاصة، هذه الوسائل تختلف عن بعضها من حيث تعقيد البنية ومبدأ العمل، وتسمى منظومات القياس أوأنظمة القياس. يقصدعادةً بتقنية القياس مجموعة من الوسائل التقنية المستخدمة في تحقيق القياسات، ومجموعة من الطرائق والأساليب المتخذة لإجراء عمليات القياس المختلفة وتفسير نتائجها.

أما تاريخياً فإن تطور تقنيات القياس وتسجيل البيانات يرتبط بشكل وثيق مع تطور متطلبات المجتمع، حيث اتصف القرن الماضي بالتقدم المتسارع للعلم والإنتاج الصناعي، وهذا ما لم يكن ليحدث دون الاستخدام الواسع للقياسات المختلفة ولوحدات القياس، وفي الوقت الحاضر لايمكن أن تجد مجالاً واحداً من مجالات نشاط الإنسان يخلو من القياسات.

تعتبر تقنية القياس وتسجيل البيانات جزءاً لايتجزأ من معظم الأجهزة والأنظمة الميكانيكية والطبية والحيوية، لإنها تستخدم في الحصول على المعلومات عن المحددات المختلفة والمتعددة لإنظمة العمل، والتي تُحدد سير العمليات فيها ومراقبة أدائها.

الفصل الأول

القياسات في الميكاترونيكس

1-1-أهمية القياسات في الميكاترونيكس:

تحتوي أغلب التقنيات الميكانيكية في بنيتها على وسائل قياس تُحدد بشكل أساسي جودة أدائها، حيث أن جودة المنظومة الميكانيكية تتعلق بالدرجة الأولى بمواصفات عناصر وواحدات القياس وأدائها ضمن شروط العمل، بالإضافة إلى ذلك تقوم وسائل القياس بعمليات فحص التقنيات الميكانيكية وضبطها وصيانتها ومعايرتها قبل أو أثناء الاستثمار، كل ذلك يرتبط بشكل وثيق بنوع أدوات ومعدات القياس المستخدمة ومواصفاتها.

ومن أجل التحكم بالتطبيقات الميكانيكية يلزمنا دائماً معلومات موضوعية أولية عن حالة العمليات التي تحدث ضمن هذه التطبيقات وسلوكها، وعن حالة المواد العاملة فيها وعن أداء العناصر والوحدات التقنية الداخلة فيها، إن التعبير عن الكميات في علم الفيزياء لابد أن يكون من خلال الأرقام والوحدات المناسبة وهو ما يكفي لوصفها وصفاً صحيحاً، كما أن علم الفيزياء لم يكن ليصل إلى ما وصل إليه من دور ريادي في تحقيق الإنجازات العلمية والتقنية لولم يكن علماً دقيقاً، ذلك إن جميع مسائله النظرية والعملية تحتم علينا التعامل مع كميات مُقاسة، ويتم التعبير عنها بدلالة رقم وواحدة قياس مناسبة، متفق عليها ومتوافقة مع الكمية المطلوب قياسها.

1-2- معلومات أساسية عن القياسات:

القياس: هو إيجاد قيمة المقدار الفيزيائي تجريبياً باستخدام وسائل تقنية خاصة، وتُنجز القياسات عادةً على مواضيع طبيعية أوعلى مواضيع من صنع الإنسان والتي تسمى بمواضيع القياس.

المقدار المقاس: هو مقدار فيزيائي تم اختياره من أجل القياس أوتم قياسه.

نتيجة القياس:هي قيمة المقدار الفيزيائي التي تم الحصول عليها بالتجربة (بالقياس). إذا كانت نتيجة قياس المقدار هي X فتكتب هذه النتيجة على شكل علاقة والتي تسمى معادلة القياس الأساسية:[1]

$$X = A\,[y] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

X: قيمة المقدارالفيزيائي

A : عدد مجرد يسمى القيمة العددية للمقدار الفيزيائي المقاس.

[y]: واحدة المقدار الفيزيائي (واحدة القياس).

دقة القياس: هي خاصية القياس التي تعبر عن قرب نتائجه من القيمة الحقيقية للمقدار المقاس، أما كمياً يمكن أن يعبر عن دقة القياس بواسطة القيمة المطلقة لمقلوب الخطأ النسبي:[1]

$$\varepsilon = \left| \frac{X_O}{\Delta} \right| \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

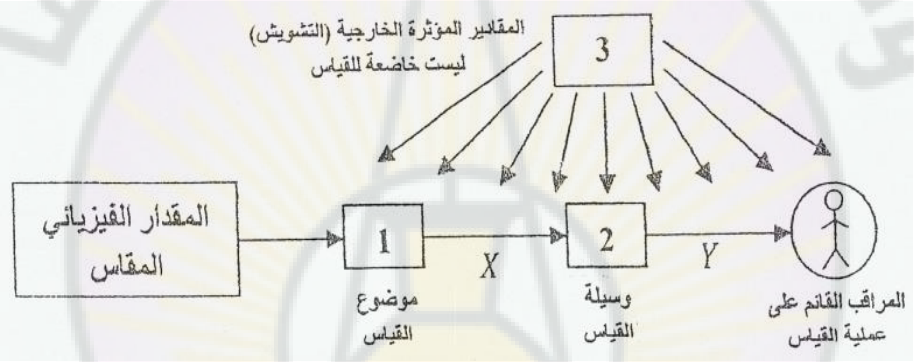
X_o: القيمة الحقيقية للمقدار الفيزيائي.

قيمة المقدار الفيزيائي: هي عبارة عن تقييم هذا المقدار على شكل قيمة عددية مرفقة بواحدة معتمدة، ويتم تمييز نوعين من قيمة المقدار الفيزيائي:

1- القيمة الحقيقية للمقدار الفيزيائي: هي قيمة المقدار الفيزيائي التي كان من الممكن أن تعبر بشكل مثالي، كماً ونوعاً، عن خاصية الموضوع المعني. من وجهة النظر العملية القيمة الحقيقية تبقى دائماً غير معروفة، فهي قيمة مطلقة لا يمكن الوصول إليها، وتطوير القياسات يسمح بالاقتراب من هذه القيمة.

2- القيمة الفعلية للمقدار الفيزيائي: هي قيمة المقدار الفيزيائي التي تم الحصول عليها تجريبياً وهي قريبة من القيمة الحقيقية لدرجة أنه يمكن أستخدامها من أجل الغرض المعطى بدلاًعن الحقيقية، ومن الممكن أن نحصل عليها بواسطة أجهزة قياس نموذجية أو معيارية عالية الدقة أثناء عملية القياس. كقاعدة عامة تؤثر على وسيلة القياس وعلى المُشغل وعلى موضوع القياس، عوامل خارجية مختلفة تسمى مقادير فيزيائية مؤثرة.

المقدار الفيزيائي المؤثر: هومقدار فيزيائي ليس خاضعاً للقياس بأية وسيلة، لكنه يؤثر على نتيجة القياس التي تم الحصول عليها بهذه الوسيلة.



الشكل (1-1) مخطط عملية القياس

1-3- أخطاء واحدات القياس:

خطأ القياس: هو انزياح نتيجة القياس X عن القيمة الحقيقية X_O للمقدار المقاس ويقسم خطأ القياس إلى ما يلي:

أ- خطأ القياس المطلق: هو فرق قراءات الجهاز X_r والقيمة الحقيقية X_O للمقدار المقاس ويكتب وفق الصيغة التالية:

$$\Delta = X_r - X_O \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

وواحدته هي نفس واحدة المقدار المقاس.[1]

ب- خطأ القياس النسبي: هو نسبة الخطأ المطلق للقياس إلى القيمة الحقيقية للمقدار المقاس.

$$\delta = \frac{\Delta}{X_O} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

ويمكن أن يعبر عن هذا الخطأ النسبي على شكل نسبة مئوية:

$$\delta = \frac{\Delta}{XO} \times 100\ \% \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

ج- الخطأ المنهجي (المنتظم): هو أحد مكونات الخطأ المطلق التي تبقى ثابتة أو تتغير وفق منهجية أو انتظام محدد عند إجراء القياسات المتكررة لذات المقدار المقاس، وتقسم إلى:

1. **الأخطاء الثابتة:** هي الأخطاء التي لاتتغير قيمتها عند القيام بعمليات القياسات المتكررة.
2. **الأخطاء المتغيرة:** هي الأخطاء التي تتغير قيمتها عند القيام بعمليات القياسات المتكررة، ويمكن أن يتزايد أو يتناقص عند إجراء عملية القياس، لذلك يسمى بالخطأ التصاعدي أو التنازلي، وهذا الخطأ المتغير يمكن أن يتغير بشكل دوري أو وفق قانون معقد.

إن كشف وتقييم هذه الأخطاء المنهجية هي من أكثر المواقف صعوبة وغالباً تكون مرتبطة بضرورة إجراء دراسة وتحليل. يستثنى الخطأ المنهجي من نتيجة القياس بواسطة إضافة ثابت أو عامل التصحيح إلى هذه النتيجة، وتصنف الأخطاء المنهجية حسب التالي:

1- خطأ طريقة القياس المتبعة (الخطأ النظري): هو أحد أخطاء القياس الناتج عن عدم استكمال طريقة القياس، وذلك بسبب عدم استكمال تحليل ودراسة الظاهرة التي يعتمد عليها مبدأ طريقة القياس.

2- خطأ أداة القياس: هو حد من حدود خطأ القياس الذي يتعلق بخطأ وسائل القياس المستخدمة، وينتج هذا الخطأ بسبب حدوث التآكل والتلف أو القدم التدريجي المصاحب لوسائل القياس.

3- خطأ التركيب: هو خطأ ينتج بسبب التوضع غير الصحيح لوسائل القياس (ميلان، عدم توازن ..... وغيرذلك).

4- خطأ بسبب المقادير المؤثرة: هو خطأ ناتج بسبب تأثير العوامل الخارجية على موضوع ووسيلة القياس (تدفقات حرارية، تدفقات هوائية، مجالات مغناطيسية، مجالات كهربائية). **5- الخطأ الذاتي الشخصي (المتعلق بالمراقب نفسه)**: هو خطأ ناتج بسبب خواص المراقب الشخصية وصفاته وسبب هذا الخطأ المهارات المكتسبة غير الصحيحة وغير الدقيقة للمراقب.

1-4- واحدات القياس(Measurement Units):

يقصد بواحدة القياس إظهار نتائج القياسات للمقادير الفيزيائية بواحدات معتمدة (مُشرعة ومنصوص عليها)، فهي تسمح لنا بمقارنة نتائج القياسات المنجزة باستخدام طرائق ووسائل قياس مختلفة في أماكن وأزمنة مختلفة، إن إجراءات وتدابير تحقيق وحدات القياس ودقتها المطلوبة تُقدم عادةً من قبل هيئات حكومية مختصة بحقل القياس، كهيئة المواصفات والمقاييس. عند تناول موضوع واحدات القياس وهو بلاشك موضوع أساسي في العلوم النظرية والتطبيقية، لابد من التأكيد على أن الواحدات الثلاثة الأساسية: المتر، الكيلوغرام، الثانية، هي واحدات قياس الكميات التالية، الطول، الكتلة، الزمن، والمتداولة في دراسة علم الميكانيكا، وقد تم زيادتها لاستكمال واحدات النظام الدولي للقياس ليكون شاملاً لباقي الفروع العلمية كالكهرباء والديناميكا الحرارية وغيرها، وذلك بإضافة أربع كميات أساسية أخرى وهي الكلفن، الأمبير، الشمعة، المول، وهي واحدات قياس الكميات الأساسية التالية، درجة الحرارة، التيار الكهربائي،

شدة الإضاءة، كمية المادة، ثم تلا ذلك إضافة الراديان كواحدة لقياس الزاوية المستوية والستراديان كواحدة لقياس الزاوية المجسمة.

إن هذا النظام هو النظام الدولي للقياس International System، واختصاراً (SI) وذلك عن التعبير الفرنسي System International، وهذا ما قرره المكتب الدولي للمقاييس والموازين باعتباره الجهة الدولية المسؤولة عن هذه العملية ومقره في مدينة سيفر بالقرب من العاصمة الفرنسية باريس واسمه الكاملInternational bureau of weight and measures وهو دون شك قد سهل اعتماد واحدات هذا النظام على مستوى دولي، وبالتالي استخدامها في المراجع العلمية.[1] الجدول (1-1) يوضح واحدات قياس الكميات السبعة الأساسية للنظام بكامله، وهي هنا الواحدات الأساسية وذلك لإن جميع واحدات القياس الأخرى مشتقة منها، أو بعبارة أخرى تدخل في تكوين غالبية الواحدات الأخرى.

الجدول (1-1) التالي يوضح واحدات قياس الكميات الأساسية للنظام الدولي (SI).[2]

الكمية	Quantity	الوحدة	(SI) Unit	الرمز	Symbol
الطول	length	المتر	meter	م	m
الكتلة	mass	الكيلوغرام	kilogram	كج	kg
الزمن	time	الثانية	second	ث	s
درجة الحرارة	thermodynamics temperature	الكلفن	kelvin	ك	K
شدة التيار	electric current	الأمبير	ampere	أمبير	A
قوة الإضاءة	luminous	الكانديلا	candela	الشمعة	cd
كمية المادة	amount of substance	المول	mole	مول	mol

الجدول (1-2) يبين الواحدات المكملة للواحدات الأساسية:[2]

الكمية	Quantity	الوحدة	(SI) Unit	الرمز	Symbol
الزاوية المستوية	plane angle	راديان	radian	راد	rad
الزاوية المجسمة	solid angle	ستراديان	steradian	ستي راد	sr.

أهم البارامترات في العمليات الصناعية الانتاجية والمطلوب قياسها:

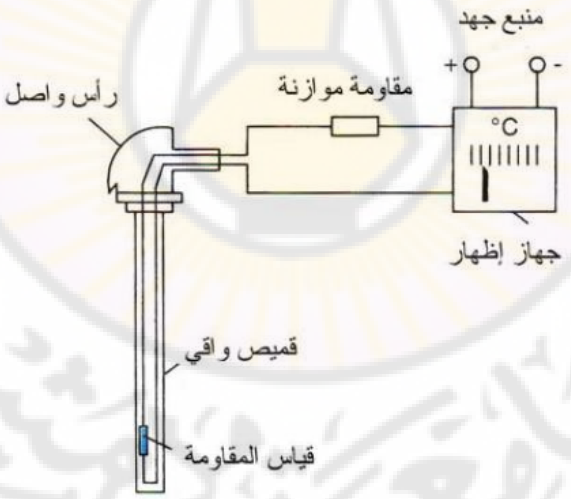
إن أهم البارامترات الناظمة لإدارة عمل محرك الاحتراق الداخلي والتي يمكن اجراء عمليات القياس عليها هي البارامترات التالية: الحرارة، الضغط، التدفق، السرعة الدورانية، المستوى، القوة، وفيما يلي نبين مفهوم كل من هذه البارامترات وطريقة قياسها:

1-5- مفهوم درجة الحرارة:

إن درجة الحرارة هي قياس لصفة فيزيائية للجسم وتصف درجة سخونته، نميز من خلالها ارتفاع أو انخفاض حرارته، كما نميز انتقال الحرارة منه وإليه، مثل درجة حرارة جسم الإنسان، ودرجة حرارة الجو. عملياً تتعلق معظم العمليات التكنولوجية والميكانيكية والخواص المختلفة للمواد بالحرارة.

1-6- طرق قياس درجة الحرارة:

1-6-1- قياس درجة الحرارة بالمقاومة المتغيرة: تزداد مقاومة المعادن الكهربائية كلما زادت درجة الحرارة، وإذا كانت تابعية درجة الحرارة للمقاومة الكهربائية قد دمجت إلى دارة كهربائية، فإن مرور التيار سوف يعتمد على المقاومة ولهذا سيعتمد على الحرارة، فإذا زادت الحرارة تزداد المقاومة ويقل التيار الكهربائي وعندما تنخفض درجة الحرارة عندها تنخفض المقاومة ويزداد التيار، إن هذا السلوك يمكن مراقبته باستخدام مقياس الفولت المربوط.



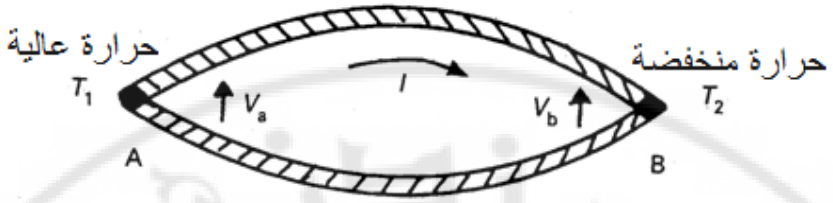
الشكل (1-2) جهاز قياس الحرارة مع مقاومة حرارية متغيرة.

وينتج مقياس الحرارة بتدريج المقياس بالدرجات المئوية، إن المقاومة الحرارية تناسب درجات الحرارة ضمن المجال °265C- إلى °750C+ والمعادن الرئيسة المستخدمة بها هي النيكل والبلاتينيوم.[3]

1-6-2- المزدوجة الحرارية:

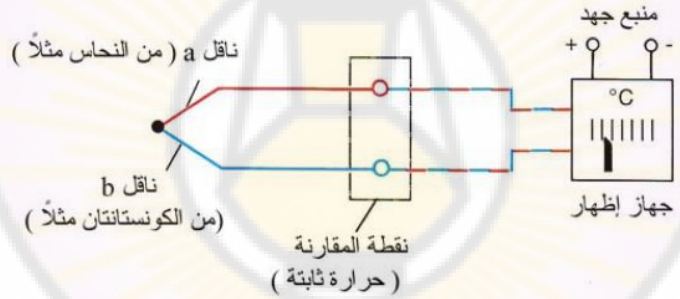
في الشكل (1-3) قمنا بوصل معدنين مختلفين بنقطتي التحام، إذا قمنا بتسخين إحدى النهايتين إلى درجة حرارة T_1 والاخرى إلى درجة حرارة أدنى T_2 سيمر تيار عبر الدارة، سيعتمد هذا التيار على نوع المعدن ودرجات الحرارة T_1 و T_2، اكتشفت هذه الظاهرة من قبل العالم الفيكتوري SEBECK وتدعى الأثر الكهرو حراري. ويمكن أن تستخدم لإجراء قياسات دقيقة لدرجات الحرارة. يرتفع هذا الأثر بسبب

نشوء جهد كهربائي خلال الوصلات المكونة من معدنين مختلفين، هذا الجهد يعتمد على درجة حرارة الوصلة ويحدث بسبب اختلاف الخاصيات الكهربائية الحرارية للمعادن.



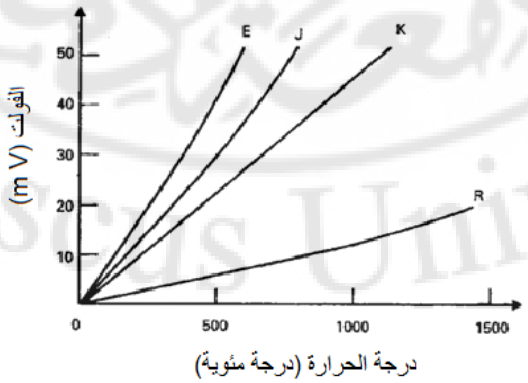
الشكل (1-3) مبدأ عمل المزدوجة الحرارية

تمتلك الالكترونات عند درجات الحرارة العالية T_1 طاقة حرارية أكبر من تلك الموجودة في النهاية الأبرد لكل معدن وهناك تدفق للالكترونات باتجاه T_2، والفرق في هذا التدفق بين المعدنين يولد جهد يكون عادة في حدود عشرات الميلي فولط. عند الوصلة A هناك جهد Va وهو تابع لدرجة الحرارة T_1 وبشكل مشابه هناك جهد Vb عند الوصلة B وهو تابع لدرجة الحرارة T_2، ينشأ التيار لإن Va ، Vb غير متساويتين ولكن في حالة $T_1 = T_2$ لن يمر أي تيار. ولذلك تدعى المزدوجة الحرارية جهاز قياس اختلافات درجة الحرارة.



الشكل (1-4) جهاز قياس الحرارة ذو المزدوجة الحرارية

جداول المزدوجات الحرارية:



الشكل (1-5) مقارنة خرج المزدوجات الحرارية

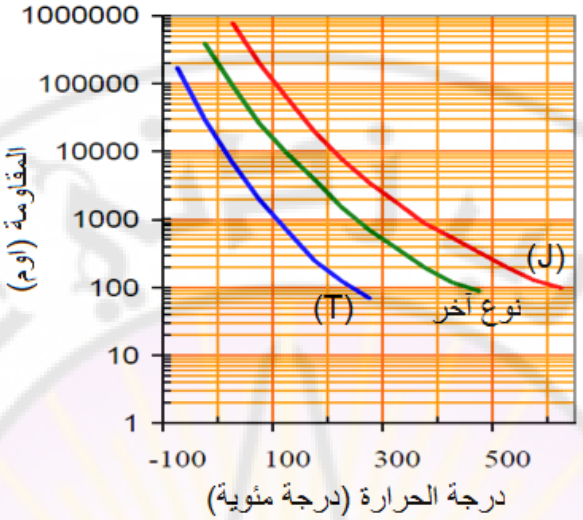
الجدول (1-3) مقارنة المزدوجات الحرارية:

ملاحظات	المجال C°	Δv/ C° عند 100C° (µv)	المادةالسالبة (-)	المادة الموجبة(+)	النوع
ذات خرج عالي	100→ 0	68	57%نحاس 43% نيكل	(90% نيكل) (10% كروم)	E
تستخدم للأوساط المرجعة أوالمؤكسدة (للمراجل مثلاً)	300→185	46	57%نحاس 43% نيكل	نحاس	T
عمومية الاستخدام، تستخدم بكثرة	1100→0	42	الألوميل 94%نيكل 3%منغنيز 2%ألمنيوم 1%سيليكون	(90% نيكل) (10% كروم)	K
تستخدم للأوساط المرجعة. (الحديد المعرض للصدأ والأكسدة).	700→20	46	57%نحاس 43% نيكل	حديد	J
للحرارة العالية (مثلاً لصناعة الفولاذ) تستخدم في بريطانيا برمز S	1600→0	8	بلاتينيوم	البلاتينيوم87% روديوم 13%	R
كما بالنوع R، لكن تستخدم خارج بريطانيا	1600→0	8	بلاتينيوم	البلاتينيوم90% روديوم 10%	S

3-6-1- المجس الحراري Thermistor:

من المعروف أن المقاومة الكهربائية لمعظم المواد تتغير مع درجة الحرارة، ومن الخواص المهمة لمواد أشباه الموصلات أن معاملها الحراري سالب أي أن مقاومتها تقل بارتفاع درجة الحرارة، والقيمة العددية لهذا المعامل الحراري السالب تكون عادةً كبيرة، ويتكون المجس الحراري من خليط من أكثر من نوع من المعادن مثل أكاسيد المعادن والمنغنيز والنيكل والكوبالت والنحاس واليورانيوم وغيرها وتتراوح قيمة

المقاومة من 0.5Ω إلى 75Ω. يبين الشكل (1-6) العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة لمجموعة من المجسات الحرارية.[3]



الشكل (1-6) العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة لمجموعة من المجسات الحرارية

1-7- مفهوم الضغط Pressure وأشكاله:

يعرف الضغط بنسبة القوة المؤثرة عمودياً على سطح ما إلى مساحة هذا السطح، ويعتبر أحد المقادير الأساسية المُحددة للحالة الترموديناميكية للمواد، ورياضياً يعبر عنه بالعلاقة التالية:

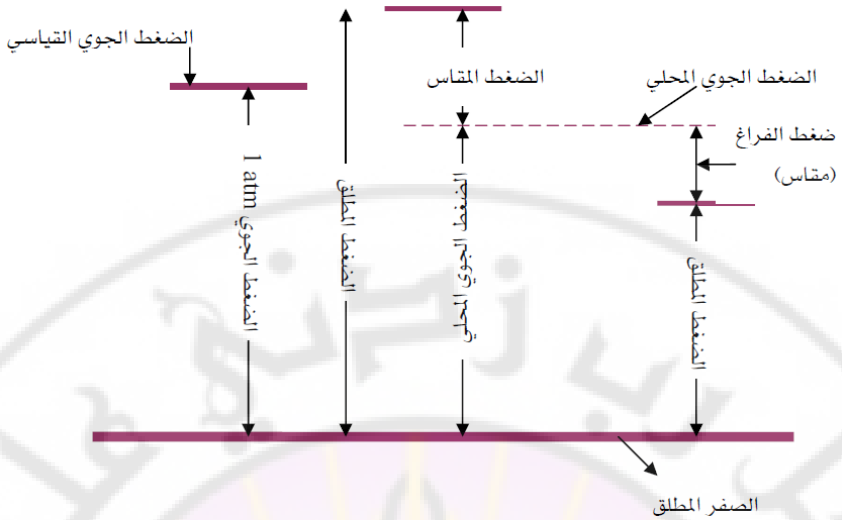
$$P = \frac{F}{A}\ \left\{\frac{N}{m2}\right\} \quad \left\{\frac{N}{m2}\right\} = Pascal(Pa) \quad .....(6)$$

P: الضغط بواحدة الباسكال (Pa).

F: القوة العمودية المؤثرة (N).

A: المساحة العمودية على اتجاه تأثير القوة (m^2).

ومن مقاسات الضغط المعروفة الضغط المقاس والضغط المطلق والضغط السالب أوضغط الفراغ أوالخلخلة، ويقاس الضغط دائماً على مرجعية معروفة وهي إما الصفر أو الضغط الجوي، والفرق بين الضغط المقاس والضغط المطلق هو الضغط الجوي. عند قياس الضغط تكون نقطة الصفر عند خط الضغط الجوي، وللضغط المطلق تكون نقطة الصفر هي الصفر المطلق. يوضح الشكل (1-7) قياسات الضغط المعروفة. الضغط السالب أوضغط الفراغ هو قياس الضغط تحت الضغط الجوي. في كثير من الحسابات التي تعني بالضغط هناك ما يعرف بالضغط الجوي القياسي (Standard)هذا الضغط قيمته دائماً 1.013bar أو $101.3KN/m^2$ وتستخدم هذه القيمة دائماً في الحسابات لإن الضغط الجوي المحلي متغير بصورة مستمرة.[5]



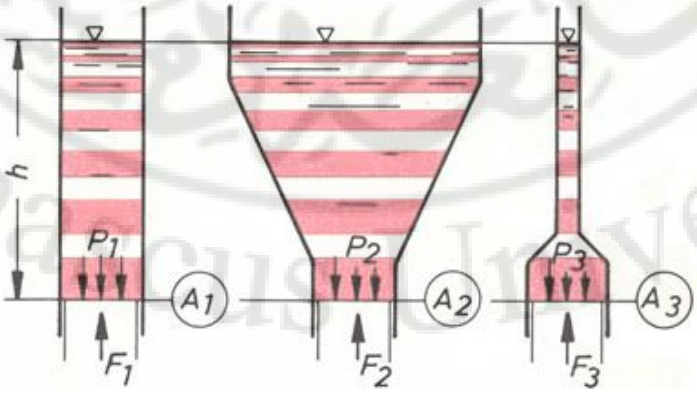
الشكل (1-7) مناطق الضغط المعروفة

1-7-1- الضغط الهيدروستاتيكي (الناجم عن قوة الجاذبية الأرضية):

في الدارات الهيدروليكية يرمز للضغط عادةً بالرمز P، والضغط المقصود بذلك هو الضغط المقاس، أي ارتفاع الضغط عن الضغط الجوي. ينشأ الضغط عند سطح معين داخل سائل نتيجة وزن السائل الموجود أعلى هذا السطح، وتتوقف قيمة الضغط P على كل من ارتفاع عمود السائل h أعلى السطح وكثافة السائل ρ والجاذبية الأرضية g ويحسب الضغط الناجم عن قوة الجاذبية الأرضية من العلاقة التالية:

$$P = h.\ \rho.\ g \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (7)$$

إذا أخذنا في الأعتبار مجموعة من الأوعية المختلفة الأشكال والمملوءة بسائل من نوع واحد، فإن الضغط عند النقاط المختلفة في الأوعية يكون متساوياً بتساوي ارتفاع السائل فوق هذه النقاط كماهو واضح من الشكل (1-8).

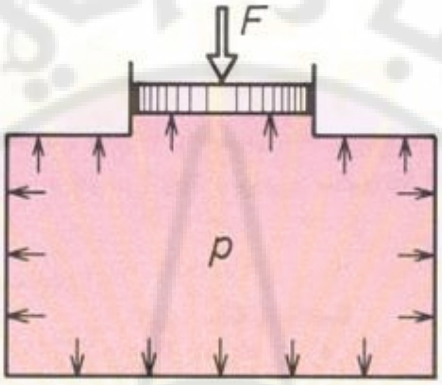


الشكل (1-8) تساوي الضغط مع تساوي الأرتفاع بالرغم من أختلاف شكل الوعاء

$P_1=P_2=P_3$ حيث يخلق الضغط الهيدروستاتيكي قوة على قاعدة الوعاء، وإذا تساوت مساحة قواعد الأوعية الموضحة في الشكل أي أن $A_1=A_2=A_3$ فإن القوى المؤثرة على قواعد هذه الأوعية الثلاث تكون متساوية أيضاً $F_1= F_2=F_3$.[5]

1-7-2- الضغط الناجم عن قوى خارجية (قانون باسكال):

عندما تؤثر قوة F على سائل في إناء من خلال سطح مساحته A كما هو واضح على الشكل (1-9)، فإنه ينشأ ضغط P في السائل تتوقف قيمته على مقدار مركبة القوة العمودية على السطح ومساحته.



الشكل (1-9) الضغط الناجم عن قوة خارجية

يؤثر هذا الضغط آنياً، وبنفس الوقت على كافة الجوانب، أي أن الضغط المؤثر في كل النقاط يكون متساوياً، ويشترط لصحة ذلك إهمال تأثير قوة الجاذبية الأرضية أما في حالة عدم إهمالها، فيجب أن نأخذ بالحسبان أثر ارتفاع سطح السائل عن النقطة التي يحسب عندها الضغط.

1-8- طرق قياس الضغط:

1-8-1- المانومترالأنبوبي بشكل حرفU:

إن المانومتر الأنبوبي يقدم الشكل الأساسي لمقياس الضغط التفاضلي، كما في الشكل (1-10) ويتألف من عمودين شاقوليين متصلين على شكل حرف U والتدريج مطبوع على هذه الأنابيب ويوجد بداخلها سائل مثل الزئبق.

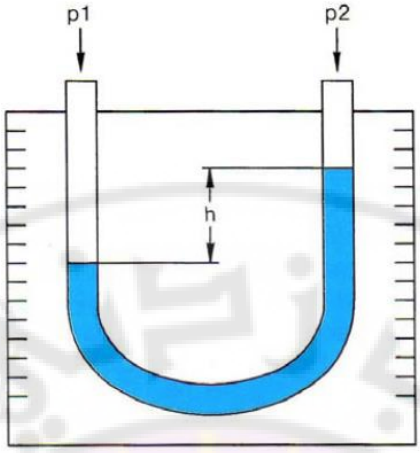
إن السائل في طرفي الأنبوب يكون على مستوى واحد عند تساوي الضغط على طرفيه، وإذا طبق ضغطين مختلفين P_1 وP_2 على طرفي الأنبوب U فإن مستوى السائل في الأعمدة سوف يختلف عن بعضهما بمقدار ارتفاع معين h، وعندها تكون معادلة فرق الضغط كما يلي:

$$P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot h \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

h: الفرق بين مستوى السائل في الأنبوبين الشاقوليين.

ρ: كثافة السائل داخل الأنبوب.

g: تسارع الجاذبية الأرضية ($g= 9{,}81\ m/sec^2$).



الشكل (1- 10) قياس الضغط بواسطة المانومترU الأنبوبي

1-8-2- قياس الضغط باستخدام الأغشية المحملة بنوابض: إذا أثر الضغط P على الغشاء فإنه سوف يضغط على النابض حتى يتم التوازن بين قوة النابض وقوة الضغط، عندها تكون المعادلة هي:

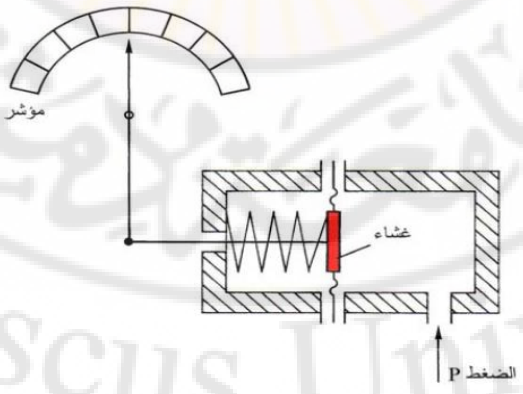
$$F = A \cdot P \quad \ldots\ldots\ldots(9)$$

F: قوة النابض.

A: سطح الغشاء.

P: الضغط المؤثرعلى الغشاء.

إن حركة النابض تتحول من خلال نظام أذرع إلى المؤشر الذي ينحرف معطياً قراءة مباشرة للضغط . [3]

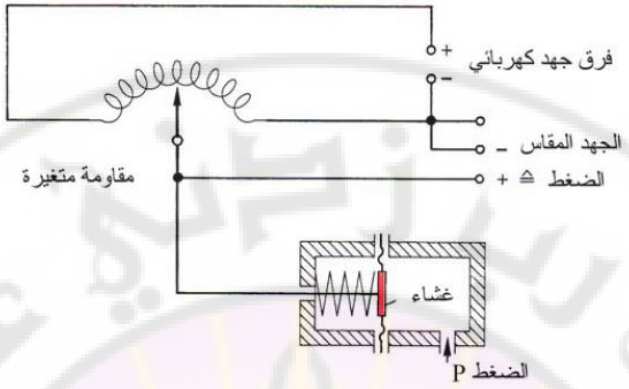


الشكل (1-11) قياس الضغط باستخدام مقياس غشائي ذي إظهارمباشر

1-8-3- قياس الضغط بشكل غير مباشر:

إذا كانت القيمة المقاسة للضغط يجب أن تنقل عبرمسافة طويلة، فإن إحدى طرائق تحقيق هذه العملية تكون عبروصل الحركة الميكانيكية للمؤشرإلى مقاومة كهربائية متغيرة، والتغيرفي المقاومة يعطي تغيراً

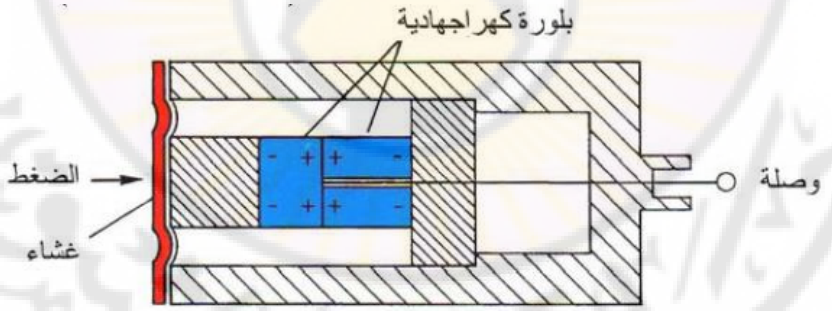
في الجهد المقاس والذي يمكن عندها وبسهولة تقديره في دارة إلكترونية، وهذا المثال يوضح حقيقة أن قيمة الحالة الفيزيائية عادة معرضة لعدة تحولات إلى قيم أخرى قبل تقديرها النهائي.[3]



الشكل (1-12) قياس الضغط باستخدام مقياس غشائي والتحويل إلى تياركهربائي

1-8-4- قياس الضغط باستخدام بلورات كهرإجهادية(أو كهرضغطية):

تنتج شحنات كهربائية على السطح الخلفي لبعض البلورات عندما تحمَّل ميكانيكياً ويؤدي ذلك إلى انفعالها، والتحميل إما بالضغط وإما بالشد، إن الشحنة الكهربائية الناتجة في هذه العملية تتناسب مع القوة المؤثرة، وهذا التغير في الشحنة صغير جداً، لذلك نستخدم المضخمات الكهربائية لنتمكن من معالجة هذه الإشارات.[3]

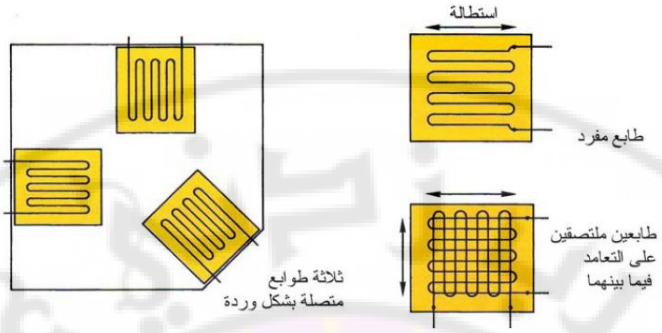


الشكل (1- 14) قياس الضغط باستخدام بلورات كهرإجهادية

1-8-5- قياس الضغط باستخدام مقاييس الانفعال:

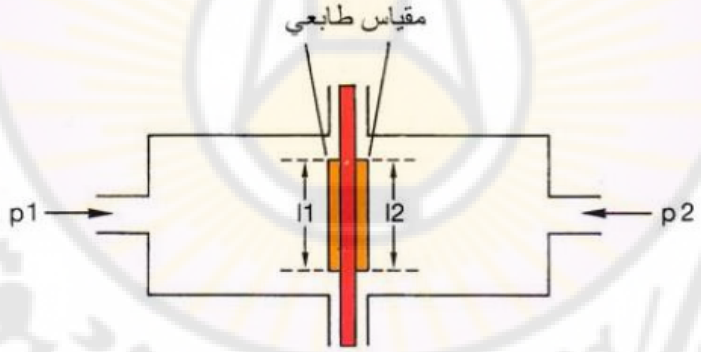
إن المقاومة الكهربائية للنواقل من نوع السلك تعتمد على أمور اخرى مثل سطح المقطع العرضي له، كلما صغر المقطع العرضي، فإن مقاومة السلك تزداد ضد تمرير التيار الكهربائي عبره، وإذا سحبت حزمة مطاطية على طول محورها، فإنه يمكن أن نلاحظ أنها اصبحت أقل قطراً (أرفع) مع ازدياد الشد، وإذا حررت ثانية فإنها من المفترض أن تعود إلى طولها وقطرها الأصليين، وقد اخترنا هنا حزمة المطاط لأنها مطيلية. في تقنية القياسات تستخدم مواد ذات خواص مشابهة. إن مقياس الانفعال هو سلك ناقل للكهرباء والذي ينتج الانفعال فيه بسبب مؤثرات ميكانيكية (الشد، الضغط، الفتل) وبسبب ذلك تتغير مقاومته الكهربائية بأسلوب طردي ويمكن إعادة توليد هذا التغير، وهذا السلك مربوط مع حامله الذي يمكن ربطه إلى الجسم المقاس. وبالعكس في حالة الانضغاط الخطي، مثلاً تتوسع المساحة للمقطع

العرضي في مقياس الانفعال، وفي هذه الحالة يمكن أن يحدد نقص المقاومة، ولهذا السبب يمكن أيضاً الكلام عن مقاييس التشوه بالانفعال ويبين الشكل (1-14) تصاميم مختلفة لمقاييس الانفعال.



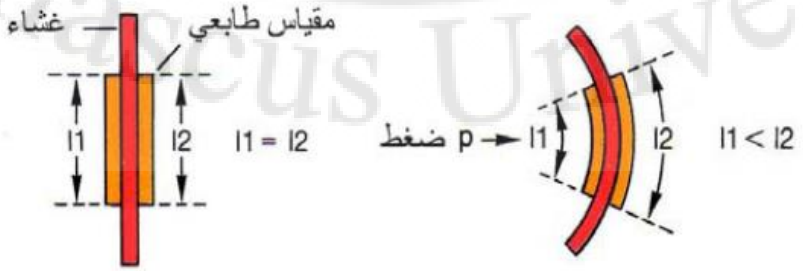
الشكل (1-14) نماذج مختلفة لمقياس الانفعال

في الشكل (1-14) فإن الضغط المطلوب قياسه يؤثر في غشاء القياس والقوة المتولدة تقدر بوساطة الأسلوب الكهرو إجهادي، ومن المعروف أن الغشاء المرن ينحرف عندما تؤثر فيه قوة، وهذا يسبب ظهور السطح وكأنه قد تمدد بالأسلوب نفسه كما يظهر في خزان هواء منفوخ (بالون)، فإذا ربط مقياس انفعال إلى هذا الغشاء، فإنه سوف تنتقل الحركة إليه من الغشاء، وهو إما أن يسحبه على طول محوره وإما أن يضغطه حسب الاتجاه الذي ربط فيه الغشاء مع مقياس الانفعال كما في الشكل (1-15)



الشكل (1-15) قياس الضغط التفاضلي باستخدام مقياس الانفعال

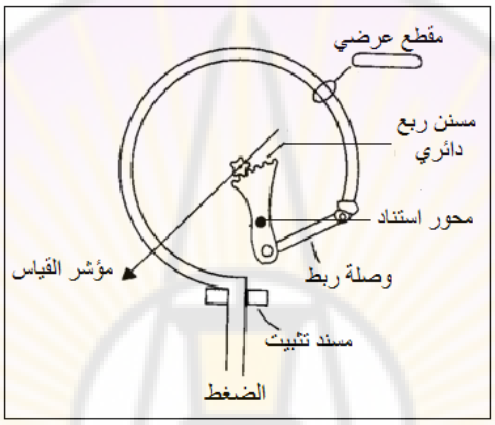
المقاومة الكهربائية تتغير نتيجة لتغير الطول، وهذا هو مقياس الضغط الذي يؤثر في الغشاء، ويفسر الشكل (1- 16) التغير في طول مقياس الانفعال المربوط مع الغشاء.



الشكل (1- 16) التغير في طول مقياس الانفعال

1-8-6- أنبوبة بوردون:

استخدم مقياس بوردون منذ منتصف القرن التاسع عشر، وما زال جهاز قياس الضغط الأكثر انتشاراً، حيث نستطيع بواسطته قياس الضغط العالي أو الضغط المنخفض جداً. المقياس مصنع عن طريق ثني أنبوب ذو مقطع عرضي دائري كما هو واضح في الشكل (1-17) وتكون إحدى النهايتين ثابتة، وتترك مفتوحة وتوصل إلى الضغط الذي نريد قياسه، أما النهاية الاخرى تكون مغلقة وتترك حرة. إذا طبق ضغط على الأنبوب سوف يحاول أن يتمدد مسبباً حركة للنهاية الحرة للأنبوب للأعلى واليمين، تحول هذه الحركة إلى مؤشر دائري عن طريق ربع دائرة مسننة ومسنن صغير مرتبطين مع بعضهما بشكل ميكانيكي. الحركة تعتمد على فرق الضغط بين داخل وخارج الأنبوب وبالتالي مقياس بوردون يقيس أصلاً ضغط المقياس استناداً للضغط الجوي المحيط.



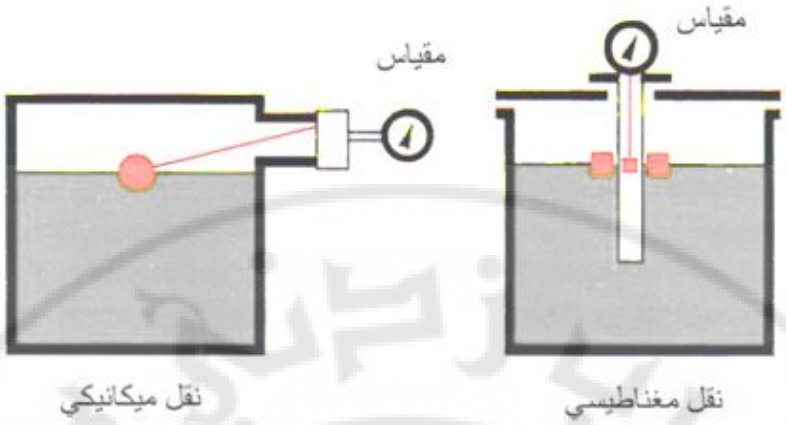
الشكل (1-17) أنبوبة بوردون لقياس الضغط

1-9- قياس مستوى ملء الخزانات:

إن مستوى الملء يمكن قياسه وفقاً لعدة أساليب فيزيائية، والأسلوب المختار لحالات إفرادية محددة يعتمد على شروط التشغيل السائدة وخواص المادة المطلوب قياسها وحالتها، وهنا سنوضح بعض الأساليب العامة:

1-9-1- قياس المستوى باستخدام الفواشة:

هذه العملية تستخدم غالباً في معالجة المواد للتحسس مباشرةً عن مستوى الملء، وتصنع الفواشة عادةً من كرة أو جسم مجوف عدسي الشكل. يمكن استخدام الأنظمة الميكانيكية والمغناطيسية لتشير إلى وضعية الفواشة ويبين الشكل (1-18) كلتا الحالتين.



الشكل (1-18) قياس مستوى الملء باستخدام فواشة

إن التحويل بوساطة الأذرع الميكانيكية مناسب في حالة الخزانات غير المضغوطة، أما أجهزة القياس ذات أجهزة التحويل المغناطيسية فهي مناسبة في حالة الخزانات المغلقة والمعرضة للضغط الستاتيكي.

1-9-2- قياس المستوى هوائياً:

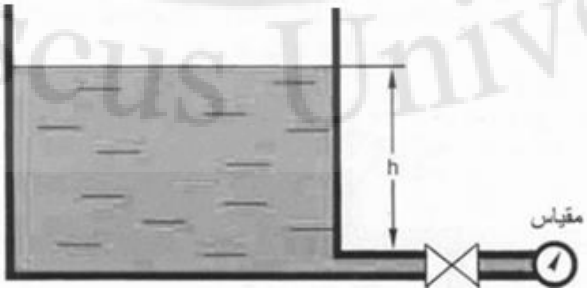
إن مستوى خزانات السوائل يمكن أن يحسب بوساطة أسلوب نفخ الفقاعات الهوائية، من خلال أنبوب مغموس في السائل لقياس مستواه، حيث إما أن نضخ الهواء المضغوط بشكل فقاعات وإما أن نسرب الغاز بشكل فقاعات مستمرة النفخ من خلال فتحة صغيرة جداً.

الشكل (1- 19) قياس المستوى هوائياً في خزان مفتوح.

إن الضغط الخلفي في التيار الهوائي خلف الصمام يعتمد على مستوى السائل، وكلما كان مستوى السائل أعلى، فإن مقاومته على خروج الفقاعات للأعلى سوف تزداد، وذلك حتى تتغلب الفقاعات الهوائية المتشكلة في السائل على هذه المقاومة فإنه يحتاج إلى ضغط أعلى للهواء من خلال فتحة الخانق، ومقدار هذا الضغط المقاس بالمقياس يدل على مستوى السائل في الخزان.

1-9-3- قياس المستوى الهيدروستاتيكي:

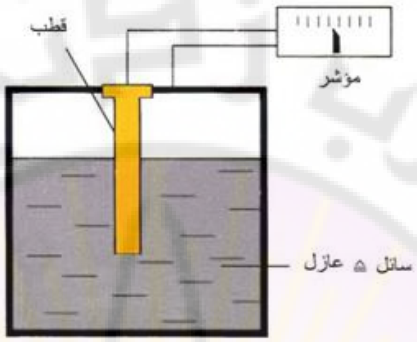
إن الضغط الهيدروستاتيكي (السكوني) للسائل يعتمد على مستوى سطح السائل، وهذا يمكن تحديده بوساطة مقياس ضغط، إن الضغط الستاتيكي في الأسفل يعتمد على ارتفاع عمود السائل فوق جهاز القياس وعلى الوزن النوعي للسائل كما هوواضح من الشكل(1-20).



الشكل (1-20) قياس المستوى الهيدروستاتيكي

1-9-4- قياس المستوى سعوياً:

إن قياس المستوى سعوياً يتحقق باستخدام المكثف، إن جدران الخزان والإلكترود المعزول كهربائياً والمغموس داخل السائل في الخزان يشكلان هذا المكثف، إن التيار المار من خلال المكثف على شكل تيار متناوب عالي التردد يتغير مع العازلية بين صفيحتي (لبوسي) المكثف، وهنا يكون الوسط العازل كهربائياً في الخزان هو السائل مثلاً.

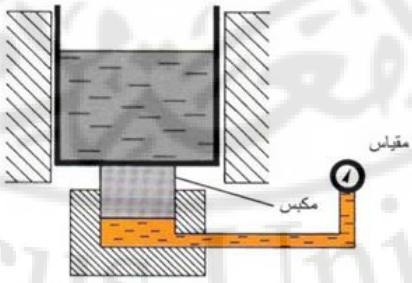


الشكل (1-21) قياس المستوى سعوياً

إن حجم العازل يتغير أيضاً مع المستوى ولهذا فإن التيار المار من خلال المكثف يتغير أيضاً، ويتم تقدير التيار المار بواسطة دارة إلكترونية.

1-9-5- قياس المستوى باستخدام حساس قوة:

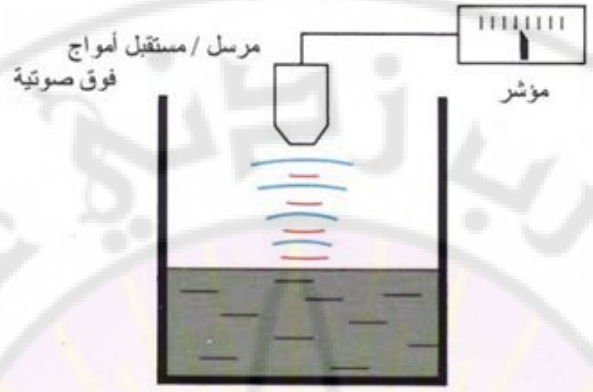
إن حجم المادة في الخزان يمكن حسابه بدقة عالية من خلال وزنها، وحساس القوة الهيدروليكية والكهربائية مناسبان كمحولات قوة، في حالة حساس القوة الهيدروليكي، فإن وزن الخزان يحدد من خلال المقياس، إن المكبس في حساس القوة يخضع إلى قوة من الأعلى، والمكبس يجب أن يختار ليناسب الوزن في الخزان ومجال القياس كما في الشكل(1-22).



الشكل (1-22) قياس المستوى باستخدام حساس قوة هيدروليكي

1-9-6- الأسلوب فوق الصوتي في تحديد المستوى:

إن المرسل فوق الصوتي يرسل نبضات صوت، وسطح المادة الموجودة في الخزان يعكس هذه النبضات ويلتقط المستقبل فوق الصوتي هذه النبضات المرتدة ثانية، والزمن المستغرق بين النبضة الأصلية والصدى الواصل للمستقبل هومقياس لمستوى ملء الخزان.



الشكل (1-23) قياس المستوى اعتماداًعلى الأسلوب فوق الصوتي

1-10- مفهوم القوة وقياسها(Force):

ارتبط مفهوم القوة بمفهوم الحركة منذ عهد أرسطو، إذ كان الاعتقاد السائد أن القوة ضرورية لتحريك الاجسام، وأنه لابد من استمرار تأثيرها على الجسم ليبقى متحركاً، وفي القرن السابع عشر الميلادي أرسى العالم الإيطالي جاليلو جاليلي قواعد علم الحركة وبين أنه لاضرورة لاستمرار تأثير القوة على الجسم ليبقى متحركاً بسرعة ثابتة في خط مستقيم، واستكمل نيوتن من بعده دراسة علم الحركة واضعاً قوانينه الثلاثة التي تعد أساس علم الحركة، فالقوة مؤثر خارجي يعمل على تغيير مقدار سرعة الجسم المتحرك أو اتجاه حركته وقد يغير من شكل الجسم (يشوهه)، وتعد واحدة النيوتن الواحدة الأساسية لقياس القوة في النظام العالمي للواحدات. النيوتن:هي القوة اللازمة لإكساب جسم كتلته 1كغ تسارعاً مقداره

1 م/ ث^2 باتجاه القوة المؤثرة.

الجدول (1-4) أنواع القوى:

النوع	أمثلة
قوى الشد	القوى التي تشد أجساماً مربوطة في أسلاك أو كابلات وما إلى ذلك.
قوى الإنضغاط	قوى تؤثر في أجسام جاسئة مثل قوى الوزن الذاتي، قوى ناتجة عن ضغط السوائل، قوى ناتجة عن تصادم الأجسام الصلبة.
قوى الاحتكاك أو اللزوجة	قوى تقاوم الحركة الإنزلاقية بين سطحين متلامسين وهي موازية للسطح.
القوة الأساسية المؤثرة بين أجسام متباعدة في الفراغ	- القوة الكهربائية والمغناطيسية بين أجسام تحمل شحنة كهربائية. - قوى التجاذب بين كل الأجسام المادية.

1-10-1- حساس قياس القوة:

عند قياس الضغط أصبح من الواضح أن القيمة الفيزيائية (الضغط) يمكن أن تحول إلى قوة وبعد ذلك إلى حركة ميكانيكية، أو بوساطة بلورة كهرإجهادية أو مقياس انفعال إلى قيمة يمكن تقديرها كهربائياً، والمبدأ نفسه يستخدم عند قياس القوة. إن مبدأعمل هذا الحساس هو أن القوة المطلوب قياسها تطبق على خلية والتي تسبب لها تغيراً في الشكل، الخلية تصبح أقصر وأثخن في المنتصف، حيث تكون مقاييس الانفعال موصولة في الوضعيات المناسبة لتستشعر التغير في الشكل، ويمكن أن نقدر عندها القوة.

الشكل (1-24) قياس القوة باستخدام حساس خلية التحميل ذومقياس الانفعال

إن مقياس الانفعال يتعرض إلى تغيرات ميكانيكية كماهوموضح في الشكل(1-24)، لهذا يمكن وضعه ليستخدم بشكل جيد في أي مكان حيث يمكن تحويل القيمة الفيزيائية المطلوب قياسها إلى قيمة ميكانيكية.

1-11- التدفق وأجهزة قياس التدفق:

التدفق هومقدار فيزيائي يتحدد بواسطة كمية السائل أو الغاز المارة عبر مقطع عرضي لقناة الجريان في واحدة الزمن، ويقاس التدفق الحجمي Q_0 بواحدة m^3/sec والتدفق الكتلي Q_m بواحدة kg/sec ويتعلق التدفق بالسرعة الوسطية لجريان المادة ϑ وبمساحة مقطع الجريان S وفق العلاقة :

$$Qm = \rho . \vartheta . S \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

$$Q0 = \vartheta . S \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

ρ: كثافة مادة الجريان.

S: مساحة مقطع الجريان.

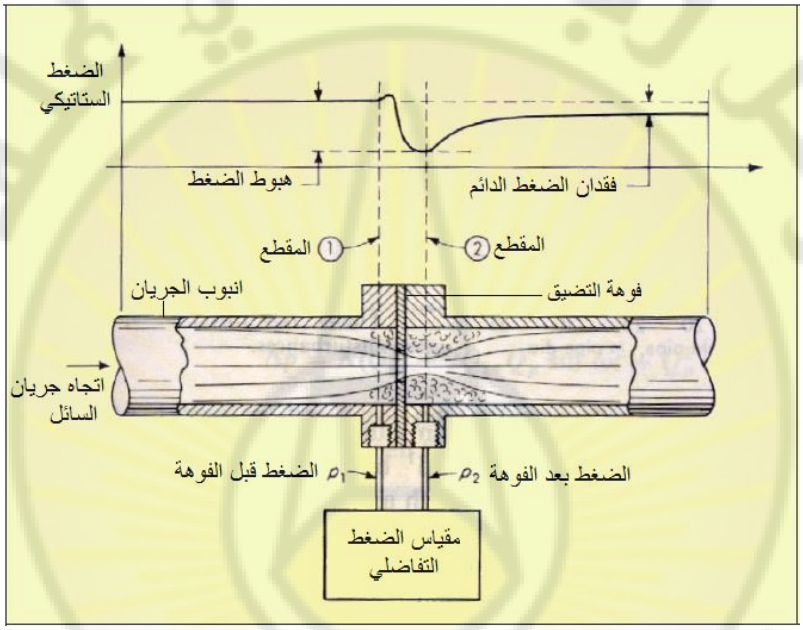
ϑ: السرعة الوسطية لجريان المادة.[7]

1-11-1- مقاييس التدفق بفرق الضغط المتغير:

هذا الجهاز هو أحد مقاييس تدفق السوائل والغازات الأكثر أنتشاراً ويعتمد مبدأ عمله على قياس الهبوط المتغير للضغط على وسيلة التضيق، إن الاستخدام الواسع لهذا المبدأ يرتبط بعدد من الميزات ومنها بساطة البنية، الوثوقية، غياب أجزاء متحركة فيه وإمكانية تصميمه من أجل جميع ضغوط ودرجات

حرارة الوسط المقاس، وإنخفاض التكلفة وعملياً إمكانية قياس جميع التدفقات، إن الخطأ المنسوب الأساسي لهذا النوع من أجهزة التدفق لايزيد عن (3 ÷ 1)%.

ويبين الشكل (1-24) بنية مقياس التدفق في أنبوب الجريان، وتوضع وسيلة التضيق مثلاً قرص مثقوب، ترتفع سرعة التدفق وتزداد طاقته الحركية في مكان التضيق ممايؤدي إلى إنخفاض الطاقة الكامنة المحددة بواسطة الضغط الستاتيكي، ويكون ضغط الجريان عندالتضيق أقل منه قبل التضيق، أما فرق الضغط يزداد بازدياد سرعة الوسط ويعتبر دليلاً للتدفق، أما وسيلة التضيق تعتبر مبدلاً لسرعة التدفق إلى فرق في الضغط ويقاس فرق الضغط بواسطة المانومتر التفاضلي والمدرج بواحدات التدفق.



الشكل (1-25) مقياس التدفق بفرق الضغط المتغير

يمكن تحديد علاقة فرق الضغط بالتدفق انطلاقاً من معادلة برنولي وتعطى معادلة التدفق بعد التبسيط عند جريان سائل عديم الانضغاط وذوكثافة ثابتة قبل وبعد التضيق بالعلاقة:

$$\vartheta_2^2 - \vartheta_1^2 = \frac{2}{\rho}(p'_1 - p'_2) \quad \text{.....(12)}$$

حيث p'_1, p'_2 ، ϑ_2 ، ϑ_1: السرعة الوسطية للتدفق والضغط الستاتيكي عند المقطع (1) وعند أكبر مقطع للجريان(2) عند التضيق.

وباستخدام علاقة Q_0 السابقة يكون:

$$Q_0 = \vartheta_1 . S_1 = \vartheta_1 . S \text{.....(13)}$$

وبالتالي نحصل على العلاقة النهائية التالية للتدفق:

$$Q_0 = \alpha . S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_2)} \quad \text{.....(14)}$$

P_1, P_2: الضغط الستاتيكي قبل وسيلة التضيق مباشرةً وعند أكبرمقطع تضيق للجريان.

S_0: مساحة مقطع ثقب التضيق.

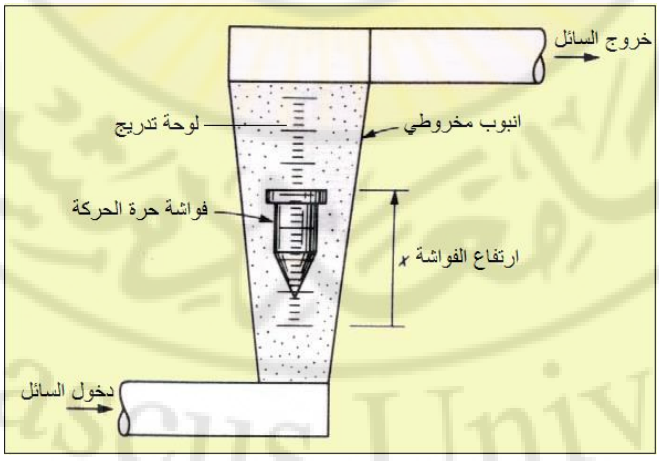
α: معامل التعديل (معامل التدفق) ويتعلق بنسبة قطري أنبوب الجريان ووسيلة التضيق، وببارامترات الوسط وعدد رينولدزوبمواصفات صفيحة التضيق. وعندما يكون وسط الجريان غازياً فيأخذ في العلاقة السابقة رقم *(14)* للتدفق معامل إضافي$\varepsilon<1$المسمى بمعامل التصحيح لتمدد الوسط الغازي المقاس وتصبح معادلة التدفق من الشكل:

$$Q_0 = \varepsilon . \alpha . S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)} \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

ρ: كثافة الوسط الغازي في شروط العمل على دخل وسيلة التضيق أي عند الضغط P_1 والحرارة T_1 قبل وسيلة التضيق.

1-11-2- جهازالتدفق بفرق الضغط الثابت:

يتكون هذا الجهاز من أنبوب رئيسي مخروطي الشكل وفواشة حرة الحركة متوضعة ضمن الأنبوب بحيث تطفو فوق سطح السائل عند مروره داخل الأنبوب، ويوجد على الأنبوبة السفلية الفرعية مقعد تتوضع الفواشة عليها عند عدم وجود تدفق للمادة، ويوجد على الأنبوبة العليا الفرعية مصد لحركة الفواشة، وتتم قراءة قيم التدفق عن طريق لوحة التدريج المتوضعة مباشرةً على السطح الخارجي للزجاج وبمثابة مؤشر قياس ويمكن أن يكون هذا المؤشر السطح الأفقي الأعلى للفواشة والذي يمكن أيضاً أن يتصل بهذا السطح سهم تأشير، يمكن أن تأخذ الفواشة أشكال مختلفة ومنها المخروطي والكروي حيث يستخدم الكروي فقط في المقاييس التي تكون أنابيبها ذات قطر صغير.



الشكل(1-26) جهاز قياس التدفق بفرق الضغط الثابت

عند صعود الفواشة نتيجة جريان المادة من الأسفل باتجاه الأعلى تزداد مساحة الفراغ (الحلقة) بين الفواشة وجدار الأنبوب المخروطي الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض القوة الناشئة عن التدفق المؤثرة على

الفواشة، وعند توازن القوى المؤثرة على الفواشة فإن الفواشة تتوضع عند الارتفاع الموافق لقيمة التدفق المقاس وعندها تعطى علاقة التدفق بالارتفاع كما يلي:

$$Q_0 = \alpha_f \cdot Sc \cdot \sqrt{\frac{2.g.V_{f.}(\rho_f . \rho)}{\rho . S_f}} \quad \ldots\ldots\ldots (16)$$

Sc: مساحة الحلقة (الفراغ).

α_f: معامل التدفق لجهاز التدفق المتعلق بالبارامترات الهندسية للفواشة وغير ذلك.

S_f: مساحة السطح الأعلى للفواشة.

V_f: حجم الفواشة.

ρ_f: كثافة مادة الفواشة.

ρ: كثافة الوسط المقاس.

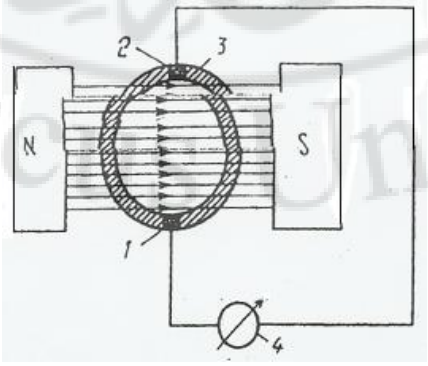
g: تسارع الجاذبية الأرضية.

يصنع أنبوب جهاز التدفق من الزجاج أو المعدن حيث تعمل الزجاجية منها عند قيم الضغط التي لا تزيدعن 0,6MPa، بينما من أجل قيم الضغط الأكبر من ذلك فتصنع الأنابيب من مادة معدنية، وضغط العمل لهذه المقاييس يمكن أن يصل تقريباً حتى 6,3MPa .[7]

1-11-3- جهازالتدفق الكهرومغناطيسي:

يعتمد مبدأعمل هذا النوع من أجهزة قياس التدفق على قانون التحريض الكهرومغناطيسي (قانون فاراداي) والذي وفقه تتحرض قوة محركة كهربائية في الناقل، الذي يقطع خطوط الساحة المغناطيسية فتكون متناسبة مع سرعة حركة هذا الناقل، إذا استُخدم عوضاًعن الناقل دفق لسائل واصل للكهرباء يتدفق بين أقطاب مغناطيس، وتم قياس القوة المحركة الكهربائية المحرضة في هذا السائل فيمكن تحديد سرعة جريانه أو تدفقه الحجمي.

يبين الشكل (1-27) أدناه بنية جهاز التدفق الكهرومغناطيسي حيث يتوضع بين أقطاب المغناطيس جزء من انبوب غير مغناطيسي(3) بشكل متعامد مع جهة خطوط الساحة المغناطيسية، في المستوي العمودي على خطوط الساحة المغناطيسية وبالتقابل بشكل قطري يتوضع على جسم الأنبوب الكترودين (1) و(2) موصولين بواسطة نواقل الوصل مع جهاز القياس(4) (ميلي فولت مثلاً).



الشكل (1-27) جهاز قياس التدفق الكهرومغناطيسي

القوة المحركة الكهربائية المتحرضة في المجال المغناطيسي الثابت تساوي:

$$E = B \cdot d \cdot \overline{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(17)$$

$\overline{V}$: السرعة الوسطية لتدفق السائل.
d: القطر الداخلي لأنبوب الجريان.
B: التحريض المغناطيسي .

وبما أن:

$$Q_0 = S \cdot \overline{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

فيكون:

$$E = \frac{4 \cdot B}{\pi \cdot d} \cdot Q \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

من المعادلة الأخيرة واضح أن القوة المحركة الكهربائية ترتبط خطياً مع التدفق الحجمي للسائل عند ثبات التحريض المغناطيسي وبهذا نستطيع أن ندرج مقياس الجهد بقيم التدفق. [7]

1-12- مفهوم السرعة (Velocity):

السرعة هي عبارة عن النسبة بين إزاحة الجسم المتحرك (Δx) والزمن المحدد (Δt) الذي يستغرقه الجسم كي يقطع تلك الإزاحة. ويعبر عن السرعة رياضياً بالعلاقة التالية:[8]

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(20)$$

وهذا ما يشير رياضياً إلى أن السرعة هي عبارة عن ميل الخط البياني للمتغيرين (x,t) حيث إن النقطة النهائية تمثلها الإحداثيات (x_2، t_2) والنقطة الابتدائية تمثلها الإحداثيات (x_1، t_1)، تقاس الإزاحة (x) بالأمتار وأما الزمن (t) بالثواني، وعليه يكون واحدة قياس السرعة هي m/sec.

1-13- مفهوم التسارع (Acceleration):

عندما تتغير سرعة جسم متحرك من السرعة الأبتدائية (V_1) إلى السرعة النهائية (V_2) فإننا نقول في هذه الحالة بأن الجسم قد خضع لعملية تسارع، ومن الممكن عندئذٍ تعريف التسارع رياضياً والذي يشار إليه عادة بالرمز(a) على النحوالتالي:[8]

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(21)$$

الفصل الثاني

الحساسات والتقنيات المستخدمة في قياس البارامترات

2-1- أهمية تقنية الحساسات:

تزامن القرن التاسع عشر مع التقدم والتطور في العلوم كافة، ولكن لم يخط خطواته المذهلة إلا بعد ظهور علم الإلكترونيات فاتجهت الأنظار جميعها نحو هذا العلم وقدراته العالية على تحقيق الكثير من متطلبات تطور الحياة والتأثير والسيطرة على الظواهر والنواحي الفيزيائية الموجودة في الطبيعة وخصوصاً توجهات العلماء والمهندسون في مجال صناعة السيارات وآليات تطوير التحكم بالمحرك ولكن إنجاز مثل هذه المهام اصطدم بحاجز كبير وهو كيفية تحويل مؤشرات الظواهر الطبيعية إلى ظواهر كهربائية وبذلك تم الإستفادة من التكنولوجيا الحديثة في تحسين التحكم بالمحرك وتطبيقاته وظهرت الأدوات المناسبة والمسماة الحساسات بكافة أنواعها، وهي عناصر قابلة لمعالجة ونقل المعلومات (البيانات)، والموزعة في مختلف أجزاء السيارة التي تقوم بقراءة المؤشرات المطلوبة وإرسالها الى لوحات الكترونية لمعالجة هذه الإشارات ومقارنتها بالقيم التجريبية الأولية المخزنة في ذاكرة لوحة التحكم بالمحرك والتي بدورها تقوم بإرسال هذه الإشارات الى المشغلات المختلفة لتنفيذ وظائف متعددة. وقد حققت الحساسات هذه المتطلبات وأصبحت في السنوات القليلة الأخيرة أكثر العناصر أهمية في عمليات القياس وفي تقنيات التحكم.

2-2- تعريف الحساسات:

هي أداة تستخدم لتحويل شكل خبر يصله كدخل (بشكل كمية فيزيائية قابلة للتحكم، أومقدار أو حالة)، إلى خرج قابل للاستخدام بشكل إشارة (نبضة أو إشارة تحكم مناسبة لمعالجات لاحقة وبثها إلى مسافات بعيدة. والدخل غالباً مايكون كمية غير كهربائية قابلة للتحكم (حرارة، قوة، ضغط، سرعة، شدة الإضاءة، إزاحة طبقية، الصوت .....الخ) أما الخرج فهو كمية ناتجة عن المحول الذي مهمته معالجة كمية الدخل، وإشارة الخرج يمكن أن تكون كهربائية أوهيدروليكية، هوائية، ميكانيكية، إشعاعية، أو أي نوع من القدرة، والحساسات قابلة للتشغيل بكل من الطريقتين:

1- الحساسات الملامسة مثل: المفاتيح الحدية (حساس نهاية الشوط)، حساسات القوة.

2- الحساسات غيرالملامسة مثل: الحساسات البصرية، الحساسات التحريضية، الحساسات فوق الصوتية، الحساسات المغناطيسية ....الخ.[9]

الجدول رقم (1-5) النماذج الأساسية (النمطية) لإشارات خرج الحساسات:[9]

النمط	التعريف	أمثلة على الأستخدام
A	حساسات ذات إشارة الخرج الثنائية:هي الحساسات التي تحول المقدار الفيزيائي إلى إشارة ثنائية، غالباً إلى إشارة كهربائية مع حالة "ON" تشغيل أو "OFF" إيقاف.	- الصمام الحدي Limit valve. - الحساس التقاربي. - حساس الضغط. - حساس مستوى الاملاء. - حساس الحرارة.

B	حساسات ذات إشارة خرج نبضية أو تماثلية: هي الحساسات التي تحول المقدار الفيزيائي إلى إشارة تماثلية وغالباً إلى إشارة تماثلية كهربائية مثل الجهد أوالتيار.	- حساسات الطول، المسافة، الإزاحة. - حساسات للحركة الخطية والدورانية. - حساسات القوة والوزن. - حساسات الضغط. - حساسات للعزم. - حساسات التدفق للغاز أو السائل. - حساسات مستوى الإملاء. - حساسات للحرارة.
C	عناصرالحساس مع خرج تماثلي دون مضخم مدمج وعناصر تحويل الكترونية، والتي تزود بإشارات خرج تماثلية صغيرة جداً ليست للتقييم الفوري مثل (مجال من الميلي فولت).	- (Pt 100) بلاتينيوم 100أو الخلايا الكهروحرارية. - المقاومة المتغيرة الخطية (مساطرالديجيتال).
D	الحساسات مع خرج تماثلي ومضخم مدمج وعناصرتحويل الكترونية والتي تزود بإشارة خرج يمكن تقديرها (تقييمها) بشكل مباشر.	- (0 ÷ 10 V) - (1 ÷ 5 V) - (-5 ÷ +5 V) - (0 ÷ 20mA) - (4 ÷ 20mA) - (-10 ÷ +10mA)
E	الحساسات ونظم الحساسات مع إشارة خرج نظامية	(RS-232-C ،RS - 422- A،RS-485) أوجسور بينية لنقل البيانات (profibus ،sensor actuator – bus)

2-3- أنواع الحساسات:

هناك الكثير من أنواع الحساسات، ولكننا رأينا أن نقدم الحساسات الأكثر استخداماً في مجال التحكم والميكانيك، لذا سنتحدث عن الحساسات التقاربية التحريضية والسعوية والحساسات البصرية وفوق الصوتية.

2-3-1- الحساسات التقاربية التحريضية:

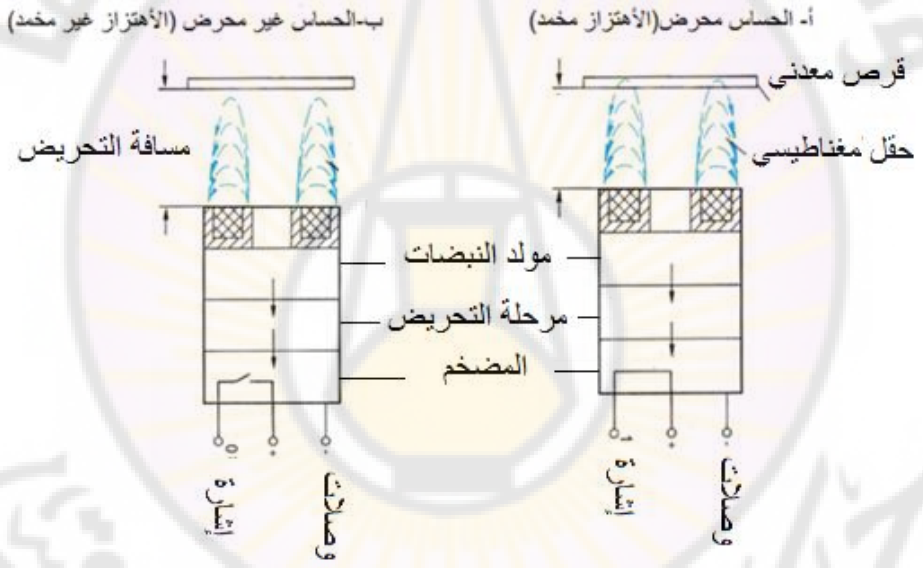
إن الحساسات التقاربية التحريضية والسعوية تعتمد على استخدام مولدات النبضات (التردد)، حيث إن مطال هذه النبضات يتأثر باقتراب جسم ما من الحساس، لكي يتم توليد تذبذب جيبي، يتم استخدام مولدات التذبذب LC (التي تتألف من ملف ومكثف ومضخم) للحساسات التحريضية، ويستخدم مذبذبات RC (التي تتألف من مقاومة ومكثف ومضخم) للحساسات السعوية.

حيث L: الذاتية (المفاعلة الذاتية) الواحدة: هنري (H) حيث 1H=1Vs/A.

C : السعة الواحدة: فاراد (F) حيث 1F=1As/V.

2-3-1-1- مبدأ تشغيل الحساس التقاربي التحريضي:

إن الحقل المغناطيسي الذي يتجه نحو الخارج، يتولد بواسطة نواة حديدية من الفريت تتوضع داخل ملف مولد النبضات ومغلفة بشبك إضافي، هذا يولد مساحة محددة عبر السطح الفعال للحساس التقاربي التحريضي، والتي تعرف بمنطقة التشغيل الفعالة، عند تطبيق الجهد على الحساس يقلع مولد النبضات و يتدفق التيار الساكن المحدد، إذا أدخل (هدف) جسم التوصيل (ذو الناقلية) الكهربائية إلى منطقة التشغيل الفعالة، فإن التيارات الإعصارية سوف تتولد، مستجرة الطاقة من مولد النبضات. عندما يخمد الاهتزاز، فإن هذا يؤدي إلى تغير في استهلاك الحساس للتيار وفي كلا الحالتين (اهتزاز متخامد أو غير متخامد) فإن ذلك يتم تقديره الكترونياً.



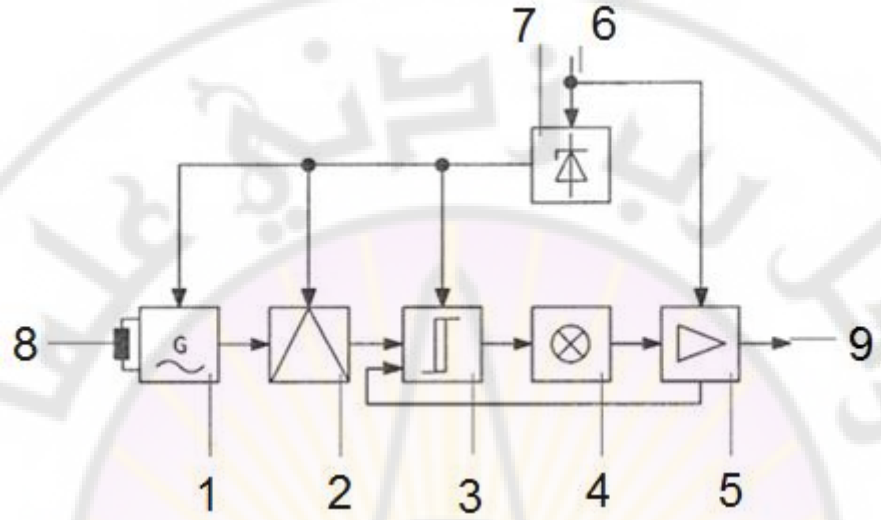
الشكل (2-1) منهجية تشغيل الحساس التحريضي

إن الحساسات التحريضية لاتتأثر بالمؤثرات الخارجية كالأوساخ والأهتزاز، لذلك فهي تناسب جزئياً للأستخدام في الأوساط الشديدة التلوث، وتنتج الحساسات التحريضية لتعمل على تيار مستمر نحوV(10÷30) أوعلى التيار المتناوب نحوV (20÷250)، وتتميز الحساسات التحريضية عن الميكانيكية في أنها لا تحتوي أجزاء ميكانيكية متحركة، وهي عادةً لا تهترئ، وهذا يؤدي إلى زيادة عمر تشغيلها.

في هذا النوع من الحساسات فقط المواد الناقلة للكهرباء هي التي يمكن كشفها بواسطة الحساسات التقاربية التحريضية. بالاعتماد على نمط التشغيل (الملامسات المفتوحة بالوضع الطبيعي)، مرحلة التشغيل النهائية للحساس تحرض أو تكبح من خلال اقتراب الجسم المعدني أو ابتعاده عن منطقة التشغيل الفعالة، والمسافة التي يبعد بها الجسم عن مساحة التفعيل، والتي تحدث تغير في إشارة الخرج المحدثة، توصف بمسافة التشغيل.

الفكرة الهامة للحساسات التحريضية هي قياس الملف الموجود في رأس الحساس، كلما ازداد حجم الملف، كلما ازدادت مسافة التشغيل الفعالة والتي يمكن ان تصل مداها إلى (250 mm).

2-3-1-2- الدارة الأساسية للحساس التقاربي التحريضي:



1- مولد النبضات. 2- وحدة التقييم. 3- مرحلة القدح.

4- مصباح إضاءة. 5- مضخم مع دارة الحماية. 6- الجهد الخارجي.

7- مغذي الجهد الداخلي الثابت. 8- المنطقة الفعالة (ملف). 9- إشارة الخرج النهائية.

الشكل (2-2) المخطط الصندوقي لدارة الحساس التقاربي التحريضي

عند اقتراب جسم معدني من المنطقة الفعالة (8) فإن مولد النبضات (1) يولد نبضات في السيالة المغناطيسية تسبب تحريضاً وتولد تيارات اعصارية حيث تقوم وحدة التقييم (2) بتمييز هذه التيارات وإرسالها إلى مرحلة القدح (3) الذي يولد جهد فيشغل المصباح (4) دلالة على اقتراب الجسم من الحساس ومن ثم يضخم هذا الجهد في المضخم (5) ليعطي نبضة قابلة للمعالجة لاحقاً على المخرج (9)، وكل العناصر الداخلية للحساس (1-2-3-4-5) تزود بجهد خارجي (6) بعد تنظيمه وتثبيته في مغذي الجهد الداخلي الثابت (7) وتقوم دارة المضخم (5) بتغذية مرتدة لتقارن قيمة الخرج مع القيمة المطلوبة من مرحلة القدح وتصحيحها عند الأختلاف.[9]

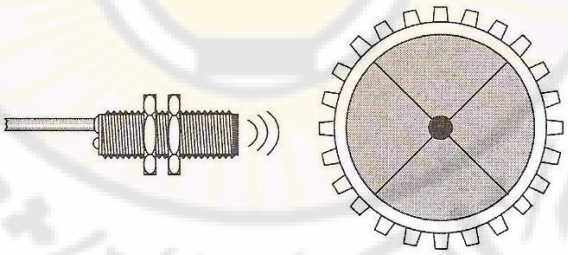
2-3-1-3- الصفات التقنية للحساسات التقاربية التحريضية:

الجدول (1-6) البيانات التقنية للحساسات التقاربية التحريضية، القيم المصنفة في الجدول هي كأمثلة نموذجية وقلما تعطي نظرة عامة.

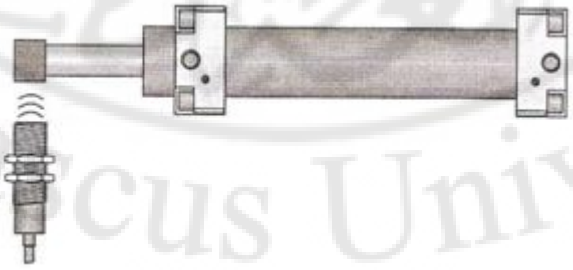
البارامتر	القيمة
مادة الجسم	المعادن
جهد التشغيل	(10÷30) V
مسافة التشغيل الإسمية	250 mm: القيمة العظمى ، 0.8÷10 mm
تيار التشغيل الأعظمي	(75 ÷ 400) mA
الاهتزاز	(10÷ 50) HZ
الحساسية للملوثات	غير حساس
زمن الخدمة	طويل جدا
تردد التشغيل	القيمة العظمى 20KH ، (10÷5000) HZ
التصميم	مقولب كأسطوانة

2-3-1-4- مجالات استعمال الحساسات التقاربية التحريضية:

حساس قياس السرعة الدورانية للمحرك



الشكل (2-3) قياس السرعة والاتجاه للأجزاء الدوارة



الشكل (2-4) حساس مكبس الاسطوانات الهوائية والهيدروليكية

2-3-2- الحساسات التقاربية السعوية:

إن مبدأ تصميم هذا الحساس مشابه لذلك المبدأ في الحساس التحريضي حيث إن الأسس التشغيلية للحساس التقاربي السعوي تعتمد على قياس (كمية) تغير السعة الكهربائية للمكثف في دارة الطنين RC عند اقتراب أي مادة من الحساس وغالباً كل المواد الداخلة إلى الحقل الفعال تولد رد فعل (ليس فقط للمعادن)على عكس الحساس التحريضي والذي يتحسس فقط للأجسام الناقلة للكهرباء، إذا تم إدخال عنصر أو وسيط (معدن – بلاستيك – زجاج – خشب – ماء) إلى منطقة التشغيل الفعالة، سوف تحدث تغيراً في سعة دارة الطنين، هذا التغير في السعة يعتمد بشكل أساسي على البارمترات التالية:

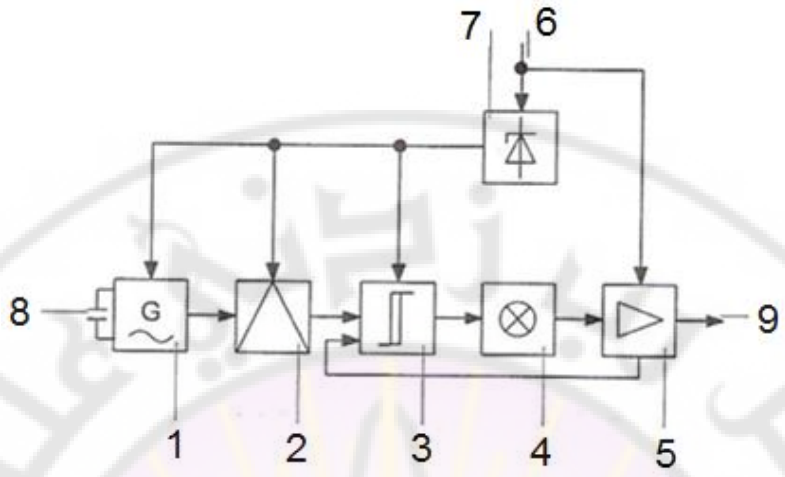
- مسافة بعد الوسط عن السطح الفعال.
- أبعاد الوسط.
- ثابت العازلية للوسط أو الجسم.

والقيمة التي تؤثر في المجال الكهربائي هي ثابت العازلية للمواد الداخلة إلى المجال، وكلما صغر ثابت العازلية، فإن المادة الأكثر كثافة يجب أن تقرّب إلى السطح الفعال للحساس لكي يستطيع أن يتحسس بها الحساس.

المواد ذات ثابت العازلية الكبير هي مثلاً، الماء والأسمنت، أما المواد ذات ثابت العازلية القليل نسبياً فهي مثلاً المطاط والورق. والحساسات السعوية تبدي رد فعل مختلف تماماً عند أختلاف المواد، لهذا فإن التشغيل الخاطئ قد يحدث بسهولة عند حدوث تغير في الظروف المحيطة بالحساس، مثلاً عند وجود تلوث أو رطوبة. يجب الانتباه إلى أن هذه الحساسات يمكن أن تتلوث بسهولة، وكذلك حساسيتها فيما يتعلق بالرطوبة تكون مرتفعة جداً بسبب ثابت العازلية الكبير للماء (Σ=81) من ناحية أخرى، يمكن استخدام هذه الحساسات للكشف عن الأهداف (الأجسام) من خلال الجدار الغير معدني، إن سماكة الجدار يجب أن تكون أقل من (4 mm) وثابت العازلية للمادة المراد اكتشافها يجب أن يكون أكبر بـ 4 مرات من عامل الجدار.

من ناحية أخرى، الحساسات التقاربية السعوية تتحسس لتأثيرات الرطوبة في منطقة التفعيل، العديد من الشركات المنتجة، تستخدم لبوس (قطب) إضافي لتقليل الآثار الناتجة عن الرطوبة، قطرات الندى أو الثلج وبالتالي تعمل على تعويض هذه التشويشات.

2-3-2-1- الدارة الأساسية للحساس التقاربي السعوي:



1- مولد النبضات. 2- وحدة التقييم. 3- مرحلة القدح.

4- مصباح إضاءة. 5- مضخم مع دارة الحماية. 6- جهد خارجي.

7- مغذي القدرة الداخلي الثابت. 8- المنطقة الفعالة (المكثف). 9- إشارة الخرج النهائية.

الشكل (2- 5) المخطط الصندوقي لدارة الحساس التقاربي السعوي

عند وجود جسم أمام المنطقة الفعالة (8) فإن مولد النبضات السعوي (1) يولد نبضات في كهربائية ويقوم بإرسالها إلى وحدة التقييم (2) والذي يقوم بتمييز هذه الإشارة وإرسالها إلى مرحلة القدح (3) حيث تولد جهد يشغل المصباح (4) الذي يوضح وجود تحريض بسبب الجسم المكتشف في المنطقة الفعالة أمام مولد النبضات ومن ثم يضخم هذا الجهد في المضخم (5) ليعطي إشارة الخرج النهائية (9)، وكل العناصر الداخلية للحساس (1-2-3-4-5) تزود بجهد خارجي مناسب (6) بعد تنظيمه وتثبيته في مغذي الجهد الداخلي الثابت (7)، وتقوم دارة المضخم (5) بتغذية مرتدة لتقارن قيمة الخرج مع القيمة المطلوبة من مرحلة القدح وتصحيحها عند الأختلاف.[9]

2-3-2-2- أمثلة على تركيب الحساسات السعوية:

تستخدم هذه الحساسات في السيارات وتركب في القسم الخلفي من الهيكل (الطبون الخلفي) حيث يقوم بإعطاء إشارة خرج على شكل تنبيه صوتي أثناء رجوع السيارة إلى الخلف، وكذلك تكون ملائمة لمراقبة مستويات الإملاء (الملئ) في خزانات السوائل (الوقود).

الشكل (6-3) حساسات الرجوع في السيارة

3-2-3-2- الصفات التقنية للحساسات التقاربية السعوية:

الجدول (1-7) البيانات التقنية للحساسات التقاربية السعوية، القيم المصنفة في الجدول هي أمثلة نموذجية وقلما تعطي نظرة عامة.[9]

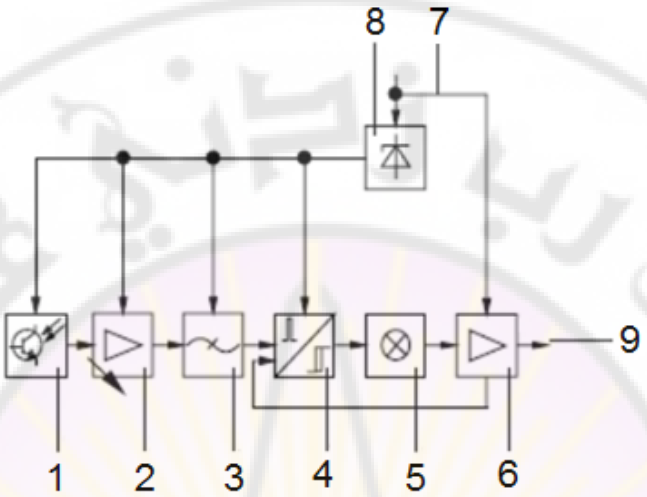
البارامتر	القيمة
مادة الجسم	كافة المواد مع ثابت العازلية (1)
جهد التشغيل	للتيار المستمر 10→30(V) DC
مسافة التشغيل الإسمية	5→20mm ،[60mm الأعظمي]
تيار التشغيل الأعظمي	(500 mA)
درجة الحرارة المحيطة عند التشغيل	(10÷ 50) Cº
الحساسية للملوثات	حساس
تردد التشغيل	حتى (300 KHZ)

2-3-2- الحساسات التقاربية البصرية:

تتألف الحساسات التقاربية البصرية من وحدتين رئيسيتين هما: المرسل والمستقبل، المرسل يحتوي على مصدر لانبعاث الضوء الأحمر أو الأشعة تحت الحمراء. والذي يمتد في خط مستقيم وفقاً إلى قوانين البصريات، ويمكن تحويله وتركيزه ويمكن أن يقطع أو أن تنعكس وتوجه. ويتم استقباله من قبل المستقبل ويقيمها الكترونياً، تستعمل الحساسات التقاربية الضوئية وسائل ضوئية والكترونية للكشف عن الأجسام وتستعمل الضوء الأحمر ومادون الأحمر، تعتبر الديودات الشبه موصلة والباعثة للضوء مصدراً موثوقاً للضوء الأحمر والضوء ما دون الأحمر، الضوء تحت الأحمر(غير مرئي) يستعملُ في الحالات التي يلزم

أداء الضوء المتزايد لكي يَمتدَّ عبر مسافات أكبر على سبيل المثال، كما أن الضوء تحت الأحمر أقل تعرّض للتشويش (الضوء المحيط).

2-3-3-1- الدارة الأساسية للحساس التقاربي البصري:



1- المستقبل الكهرضوئي. 2- مضخم أولي مع مقاومة متغيرة. 3- محول (فلتر). 4- محول مستوى النبضات. 5- مصباح إضاءة. 6- مضخم مع دارة الحماية. 7- جهد خارجي. 8- مغذي القدرة الداخلي الثابت. 9- إشارة خرج الحساس.

الشكل (2-7)المخطط الصندوقي لدارة الحساس التقاربي البصري

عند اقتراب جسم من المستقبل الكهروضوئي (1) فإنه يقوم بإرسال إشارة إلى المضخم الأولي ذو المقاومة المتغيرة (2) الذي يقوم بتضخيمها وإرسالها إلى المحول (الفلتر)(3) والذي بدوره يعطيها إلى دارة محول مستوى النبضة (4) الذي يعطي إشارة إلى المصباح (5) لإظهار وجود جسم أمام المستقبل الكهروضوئي ويعطي إشارة أيضاً إلى مضخم مرحلة الخرج مع دارة الحماية (6) والذي بدوره يعطي إشارة خرج الحساس (9). كافة عناصر دارة الحساس (1-2-3-4-5-6) تغذى بالجهد الخارجي (7) بعد تنظيمه وتثبيته في مغذي الجهد الداخلي(8)، ومرحلة الخرج (6) تعطي تغذية مرتدة إلى محول مستوى النبضة ليقارن الإشارة مع القيمة المطلوبة ليعطي أمر تصحيح في حال الأختلاف.

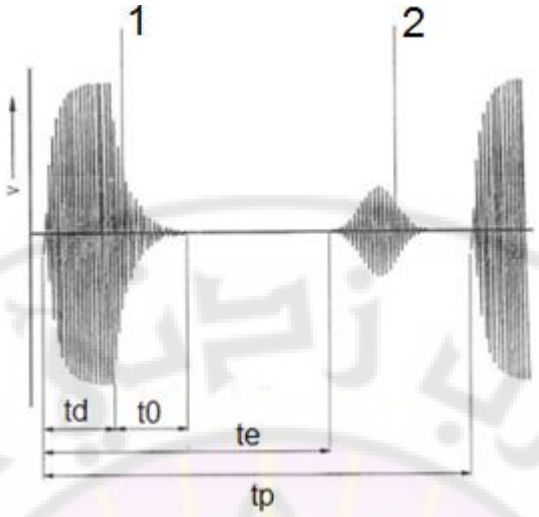
2-3-3-2- الخصائص التقنية للحساسات التقاربية البصرية:

الجدول (1- 8)البيانات التقنية للحساسات البصرية، القيم المصنفة في الجدول هي أمثلة نموذجية وقلما تعطي نظرة عامة.

البارامتر	القيمة
مادة الجسم	الأجسام الشفافة
جهد التشغيل	(10÷30) V DC او (20÷250)V AC
المدى	(1÷100) mm
تيار التشغيل الأعظمي	(100 ÷ 500) mA
الاهتزاز	(10÷ 50) HZ
الحساسية للملوثات	حساس
زمن الخدمة	طويل تقريبا (100000ساعة)
تردد التشغيل	(20÷10000) HZ
التصميم	عادةعلى شكل كتل لكن أيضا اسطواني الشكل
حرارة وسط المحيط	(0÷60)Cº أو (-25 ÷ +80)Cº
الحماية (IEC529,DIN40050)	فوق IP67

2-3-4- الحساسات التقاربية فوق الصوتية:

إن مبدأ العملية للحساسات التقاربية فوق الصوتية يعتمد على الانبعاث والانعكاس للموجات السمعية بين الجسم والمستقبل، عادة يكون الهواء هو الناقل لهذه الموجات الصوتية. يقاس زمن المسير للصوت ويقيم. يصدر المرسل فوق الصوتي موجات صوتية، مجال أصوات غير مسموعة، عندما يقع التردد ما بين (30÷300)KHZ فإن مرسل الإشارة فوق الصوتي يغير الإنبعاثات إلى استقبال في معظم الحالات، أي أن العملية الآن في الحساس تعمل بحساسية السماعة، وتقوم الفلاتر داخل الحساسات التقاربية فوق الصوتية بالتحقق فيما إذا كان الصوت الواصل هو صوت فعلي أو صدى الأمواج الفوق الصوتية المرسلة.



1: نبض الإرسال. td: مدى النبض. te: وقت ارسال الصدى.

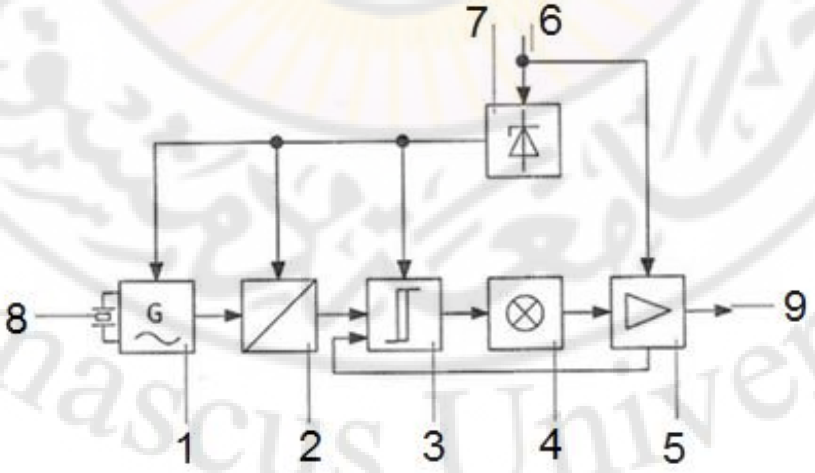
2: الصدى. t0: وقت تخامد. tp: فترة النبض.

الشكل (2- 8) قياس المسافة بتقييم وقت إرسال النبضات فوق الصوتية

إن سرعة أداء الحساسات التقاربية فوق الصوتية محدود باستقبال ترددات النبضات العظمى، والتي تعتمد على التصميم ويمكن أن يتراوح بين (100÷1)HZ.

إن الميزة الأساسية للحساسات فوق الصوتية تعتمد على أنه يمكن تمييز مجال واسع من المواد المختلفة بغض النظر عن الشكل- اللون- المواد، حيث المواد يمكن أن تكون صلبة سائلة أو على شكل بودرة والاختبار لا يتأثر بالأجواء المغبرة والأجواء المشبعة بالبخار أو بالدخان.

2-3-4-1- الدارة الأساسية للحساسات فوق الصوتية:



1- مولد النبضات. 2- وحدة التقييم. 3- مرحلة القدح. 5- مصباح إضاءة.

5- مضخم مرحلة الخرج. 6- الجهد الخارجي. 7- مغذي الجهد الداخلي الثابت.

8- منطقة فعالة (محول إشارة الفوق الصوتي). 9- إشارة الخرج النهائية.

الشكل (2- 9) المخطط الصندوقي لدارة الحساس التقاربي الفوق الصوتي

عند وجود جسم ضمن مجال المنطقة الفعالة (8) فإن مولد النبضات (1) يقوم باعطاء إشارة إلى وحدة التقييم (2) والتي بدورها تعطي إشارة إلى مرحلة القدح (3) حيث تعطي إشارة للمصباح (4) لإظهار التحريض بسبب وجود الجسم أمام الحساس ومن ثم تمرر الإشارة إلى مضخم مرحلة الخرج (5) والذي بدوره يعطي إشارة الخرج النهائية (9) للحساس، وكافة عناصر دارة الحساس (1-2-3-4-5) تغذى بجهد خارجي (6) بعد تنظيمه وتثبيته في مغذي الجهد الداخلي الثابت. والمضخم (5) يعطي إشارة تغذية مرتدة لتقارن في مرحلة القدح مع القيمة المطلوبة وإعطاء قيمة التصحيح اللازمة عند الضرورة.

2-3-4-2- الخصائص التقنية للحساسات فوق الصوتية:

الجدول (1-9) الخصائص التقنية للحساس فوق الصوتي، القيم المصنفة في الجدول هي أمثلة نموذجية وقلما تعطي نظرة عامة.[9]

البارامتر	القيمة
مادة الجسم	أي مادة ماعدا المواد الممتصة للصوت
جهد التشغيل	24V DC
مسافة التشغيل الإسمية	القيمة 100 mm ÷ 1m الأعظمية حتى 10m
تيار التشغيل الأعظمي	(100÷ 400)mA
التردد الفوق صوتي	(40÷220) kHz
الحساسية للملوثات	معقول
زمن الخدمة	طويل جدا
تردد التشغيل	(1÷125) k Hz
درجة حرارة الوسط المحيط	0 ÷70 Cº ، ينخفض حتى -10 Cº
الحماية (iEc529,DIN40050)	نوع ip65، حتى ip67
التصميم	اسطوانية، صندوقية الشكل

الفصل الثالث

تحصيل البيانات حاسوبياً

مقدمـــة: إن برنامج Fluid Lab – P يمكن من مراقبة ومعايرة حساسات (الضغط - الحرارة – القوة وغيرها) وفهم مبادئ عملها وتحليل المنحنيات المميزة لها وذلك باستخدام الحاسوب، وبالتالي فإن هذا البرنامج مناسب من أجل إدخاله في المناهج التعليمية بسبب إمكانية تحليل النتائج وتقصي نسبة الخطأ عند إجراء التجارب المختلفة للحساسات المذكورة اعلاه، حيث يكتسب الطالب فهم مبادئ الربط بين القسم المادي والقسم البرمجي (Hardware -Software) وتكوين بيئة الربط بينهما.

3-1- الأهداف التدريبية من البرنامج:

"1- تعليم وتدريب الطالب على كيفية تجميع دارت الحساسات مع برنامج Fluid Lap -P وكيفية الربط بينها وبين الحاسوب.

"2- تسجيل المنحنيات المميزة للحساسات (حرارة – ضغط – قوة).

"3- مقارنة النتائج والمنحنيات التي تم الحصول عليها مع قيم مثالية وإجراء المعايرة المناسبة لها للحصول على أدق النتائج.

3-2- معلومات فنية حول السلامة والتشغيل الآمن للتجارب:

"1- يتم الربط بين أجزاء الدارة الهوائية بواسطة أنابيب بلاستيكية بقطر خارجي 4 ملم ويتم تركيب هذه الأنابيب بدفعها بقوة صغيرة في المكان المناسب.

"2- إن أنابيب الهواء المضغوط يمكن أن تسبب حوادثاً عند انفصالها من نقاط الربط لذلك يجب إيقاف منبع الضغط الرئيسي الذي يقوم بتزويد هذه الأنابيب بالضغط أثناء توصيل الدارة.

"3- عدم فتح صمام أمان الضاغط و تزويد أنابيب الهواء المضغوط بالضغط قبل التأكد من توصيل وإحكام هذه الأنابيب بشكل جيد.

"4- يجب عدم تجاوز الضغط الأعظمي المسموح به عند إجراء التجارب.

"5- عدم تزويد الدارة بالتيار الكهربائي إلا بعد التأكد من توصيل جميع المكونات الهوائية والكهربائية بشكل صحيح.

"6- عدم فك أجزاء الدارة إلا بعد قطع التيار الكهربائي عنها وإغلاق صمام أمان ضاغط الهواء.

3-3- طريقة تثبيت البرنامج:

"1- أدخل CD برنامج Fluid Lab داخل السواقة CD-Rom في جهاز الكمبيوتر.

"2- الضغط على أيقونة بدء الاقلاع (SETUP.EXE).

"3- اختيار لغة التثبيت من القائمة.

"4- متابعة تنفيذ التعليمات لإكمال تثبيت البرنامج.

الشكل (3-1) طريقة تثبيت برنامج Fluid Lab.

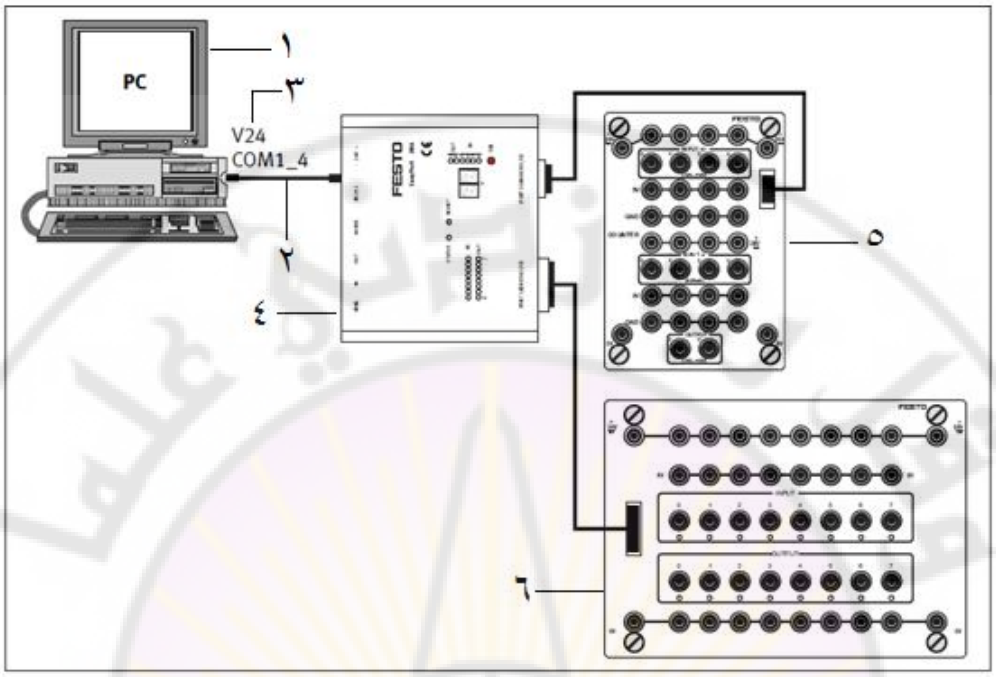
"5- إعادة اقلاع الحاسب بعد الإنتهاء من عملية تثبيت البرنامج.

"6- تعيين منفذ الوصل مع Esay Port.

الشكل (3-2) تحديد منفذ الوصل مع Esay Port

"7- إجراء عملية تشغيل البرنامج الجاهز للاستخدام.[20]

3-4- الأجهزة المطلوبة لتكوين بيئة العمل:



الشكل (3-3) المخطط العام لتكوين بيئة العمل بين الحاسوب و Esay Port

"1- جهاز حاسوب بمواصفات كحد أدنى:

(200 MHz, 32 MB RAM, graphics card 600 x 800, 8-fold CD ROM drive)

"2- أن يكون الحاسب مزود بمخرج تسلسلي (COM1…..COM8).

"3- مزود طاقة V (24 DC) لتزويد Easy Port بالتيار الكهربائي.

"4- جهاز Easy Port رقمي/ تماثلي.

"5- وحدة المآخذ التماثلية.

"6- وحدة المآخذ الرقمية.

ملاحظة:

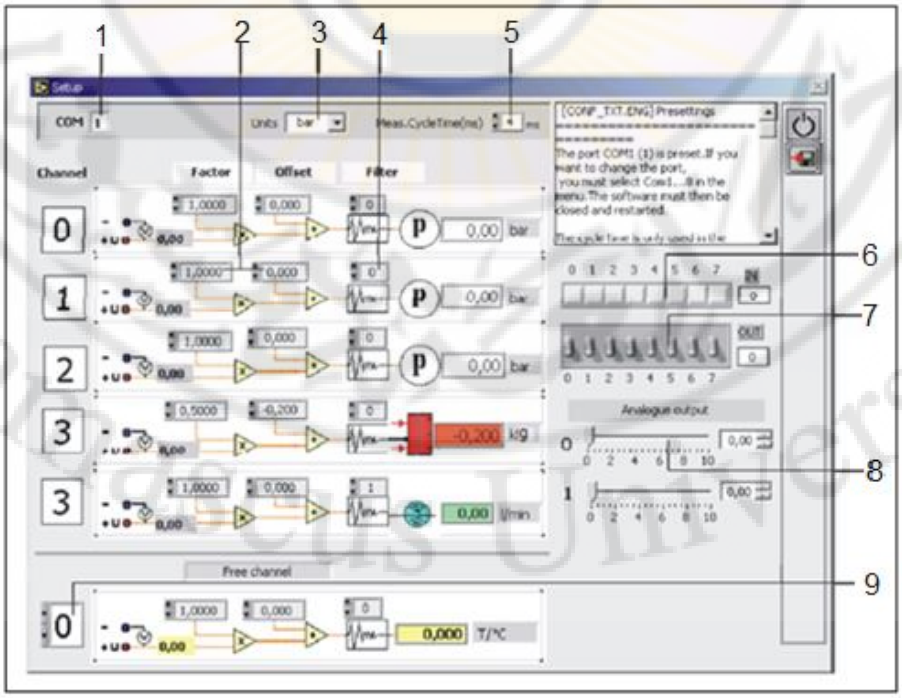
- يستخدم برنامج Fluid Lab فقط للحساسات التي تكون قيمة إشارة الخرج فيها ضمن المجال (10 ÷ 0 V).

- في حال إجراء أي تغيير على مدخلات البرنامج فإنه يحتاج إلى إغلاقه وإعادة تشغيله من جديد، كما يفضل أن يتم قطع الجهد الكهربائي عن Easy Port لفترة قصيرة من الوقت ومن ثم توصيله مرة أخرى.

3-5- الواجهات الأساسية في البرنامج وكيفية استخدامه:

يتم أختيار البرنامج المطلوب من القائمة الأساسية التالية:

الشكل (3-4) الواجهة الرئيسية لبرنامج Fluid Lab



الشكل (3- 5) الواجهة الفرعية للخيار / Interface test/من القائمة الرئيسية /الضبط/

1. رقم أو رمز منفذ الوصلة التسلسلية.
2. حقل إدخال معامل الميل ومعامل الإزاحة (Factor - Offset).
3. حقل إدخال الواحدة المراد استخدامها (bar – psi).
4. حقل إدخال معامل لتخفيف ذبذبات المؤشر (مرشح).
5. زمن دورة مسح المداخل واحدتها ملم ثانية.
6. عرض حالة المداخل الرقمية.
7. أزرار التحكم بتشغيل المخارج الرقمية.
8. تشغيل المخارج الرقمية.
9. إعدادات أقنية الربط المتاحة لإدخال المعطيات المقاسة.

3-6- معامل الميل ومعامل الإزاحة:

إن عملية معايرة أجهزة القياس هي إيجاد العلاقة الوظيفية بين قراءات المؤشر والبارامترات المراد قياسها. تتضمن المعايرة في أحيان كثيرة ضبط قراءات الجهاز المستخدم مع جهاز آخر دقيق يسمى المرجع وذلك لمعرفة مدى انحراف القيمة الحقيقية المقاسة عن القيمة المرجعية وعمل علاقة بين القرائتين، حتى نرجع لهذه العلاقة لمعرفة قيمة القياس الحقيقية. فعند دراسة سلوك عمل أي حساس ورسم منحني العلاقة بين الجهد والبارامتر المقاس بواسطة هذا الحساس نلاحظ أن هناك اختلاف بين القيمة الحقيقية للنتائج التي تم الحصول عليها وبين القيمة المرجعية، أي نلاحظ وجود انحرافات وعدم التطابق بين المنحني المميز للحساس وبين المنحني المقاس، لذلك تتم عملية المعايرة من أجل الحصول أكبر تطابق بين المنحنيين وأدق النتائج وذلك من خلال مقارنة قيم خرج الحساس مع قيم خرج نظامية (مرجعية) معاير مسبقاً في المخبر. تتم عملية المعايرة في برنامج Fluid Lab باستخدام معاملين (معامل الميل Factor ومعامل الإزاحة Offset)، ويبين الشكل (6-6)التالي تأثير كل من المعاملين على المنحني المميز للحساس (الإشارة).[20]

الشكل (3- 6) تأثير معاملي (الميل - الإزاحة) على شكل الإشارة

3-7- المعادلة العامة لتحديد معامل الميل ومعامل الإزاحة:

$$\text{معامل الميل} = \frac{\text{القيمة العظمى للبارامتر المقاس} - \text{القيمة الصغرى للبارامتر المقاس}}{\text{القيمة العظمى لإشارة الحساس} - \text{القيمة الصغرى لإشارة الحساس}}$$

$$\text{معامل الإزاحة} = - (\text{القيمة الصغرى للبارامتر المقاس} - \text{معامل الميل} \times \text{القيمة الصغرى لإشارة الحساس})$$

$$\text{القيمة المعروضة} = \text{الجهد على (Easy port)} \times \text{معامل الميل} + \text{معامل الإزاحة}$$

مثال1: عند استخدام حساس الضغط وبفرض أن البيانات المستخدمة والتي تم الحصول عليها هي: الضغط (0 ÷ 10 bar) ، جهد الإشارة (0 ÷ 10 V).

لحساب معامل الميل ومعامل الإزاحة نستخدم القوانين السابقة وبما أن جهد الإشارة متناسبة مع الضغط في هذه الحالة فإنه:

$$\text{معامل الميل} = \frac{10-0}{10-0} = \frac{10}{10} = 1$$

$$\text{معامل الإزاحة} = - (0 - 0 \times 1) = 0$$

مثال2: عند استخدام حساس قياس القوة وبفرض أن البيانات المستخدمة والتي تم الحصول عليها هي: (0 ÷ 10 Kg) ، جهد الإشارة (0 ÷ 10 V)

لحساب معامل الميل ومعامل الإزاحة نستخدم القوانين السابقة:

$$\text{معامل الميل} = \frac{10-0}{10-0} = \frac{10}{10} = 1$$

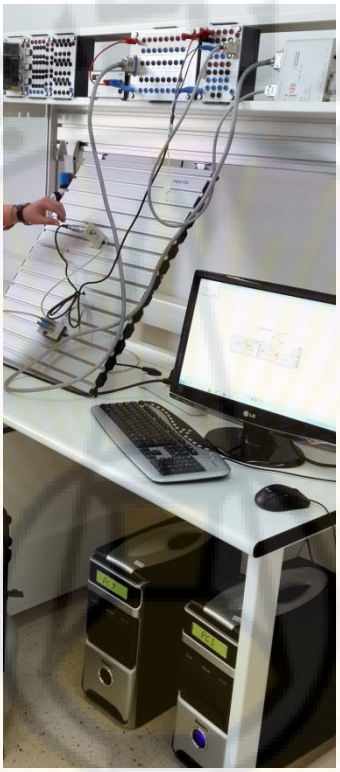
$$\text{معامل الإزاحة} = -(0 - 0 \times 1) = 0$$

3-8- مرشح (إشارة تخفيف الذبذبات):

غالباً ما تكون إشارات خرج الحساسات متذبذبة (مشوشة) في القيمة عند إجراء التجارب ، ويظهر ذلك على شاشة الإظهار، لذلك وللتخلص من هذا التشويش الحاصل في تلك الإشارات يمكن استخدام مرشح يعمل على تصفية الإشارة من هذه الذبذبات من خلال إدخال معامل تصفية أو منع حدوث التشويش، وكلما قمنا بزيادة قيمة هذا المعامل يختلف شكل إشارة الخرج عما كان عليه قبل إدخال قيمة هذا المعامل.

3-9- تجربة دراسة سلوك حساس الضغط وإجراء المعايرة الحاسوبية له:

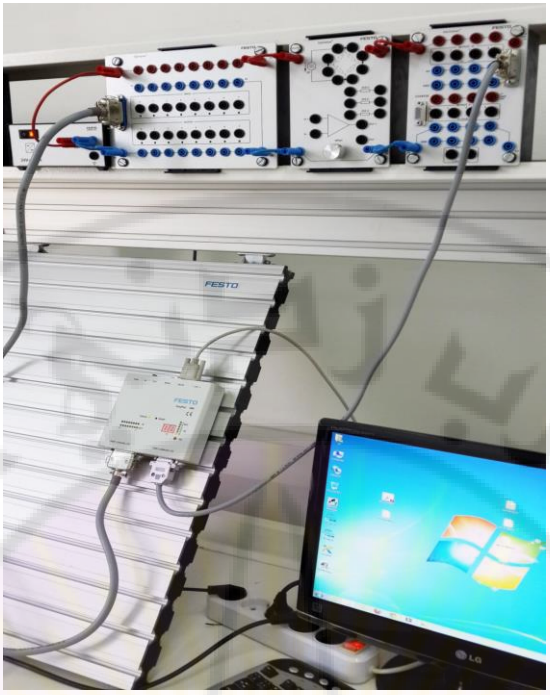
هدف التجربة: التعرف والتعلم على كيفية تكوين بيئة العمل الحاسوبية للربط بين حساس الضغط والحاسوب وإظهار مقدار انزياح القيمة الحقيقية لخرج حساس الضغط مع القيمة المرجعية بيانياً، وكيفية إجراء معايرة للحساس للحصول على أكثر تطابق بين القيمتين (المرجعية - الحقيقية)، وذلك من خلال حساب قيم معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة) وإدخالهما إلى برنامج Fluid Lab.



الشكل (3-7) الشكل العام للتجربة

خطوات إجراء التجربة:

"1- تكوين بيئة العمل المناسبة عن طريق ربط (Easy port) مع الحاسوب والمداخل والمخارج الكهربائية كما هو واضح في الشكل (3- 8).

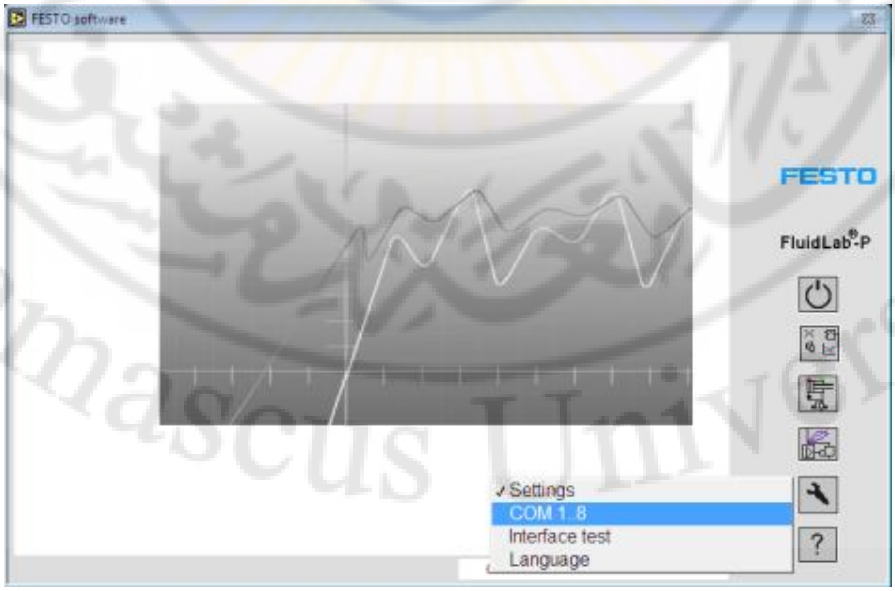


الشكل (3-8) تكوين بيئة عمل التجربة

"2- تغذية الحساس وجميع العناصر بالجهد الكهربائي من خلال وحدة التزويد بالقدرة الكهربائية.

"3- ربط دارة التحكم بالهواء المضغوط مع الحساس.

"4- تشغيل برنامج Fluid Lab وتحديد من القائمة الرئيسية خيار/ الضبط / منفذ الوصلة التسلسلية كما في الشكل (3-9) التالي.



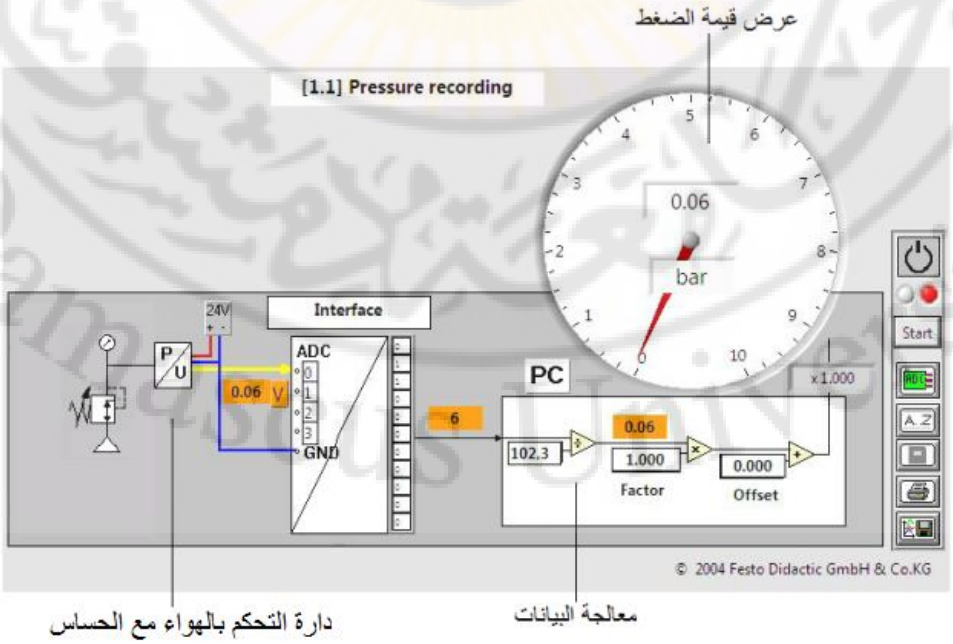
الشكل (3- 9) تحديد منفذ الوصلة التسلسلية لتعرف الحاسوب على (Easy port)

"5- حدد من القائمة الرئيسية للبرنامج (تجارب اساسية) / Pressure Recording/ كما في الشكل (3-10) التالي.

الشكل (3- 10) تحديد تجربة الضغط من القائمة الرئيسية للبرنامج

"6- ضبط صمام الضغط في وحدة الخدمة على قيمة الضغط المراد حسابها وبدء عملية القياس.

"7- تسجيل قيمة الضغط الظاهرة في البرنامج، وذلك بالتزامن مع تسجيل قيمة الضغط على مؤشر ساعة الضغط في وحدة الخدمة، وبالتزامن مع تسجيل قيمة إشارة خرج الحساس الظاهر على (Easy port) أوالظاهرة على البرنامج كما في الشكل (3-11) التالي.



الشكل (3-11) الواجهة الفرعية للبرنامج لحظة تسجيل قيم الضغط

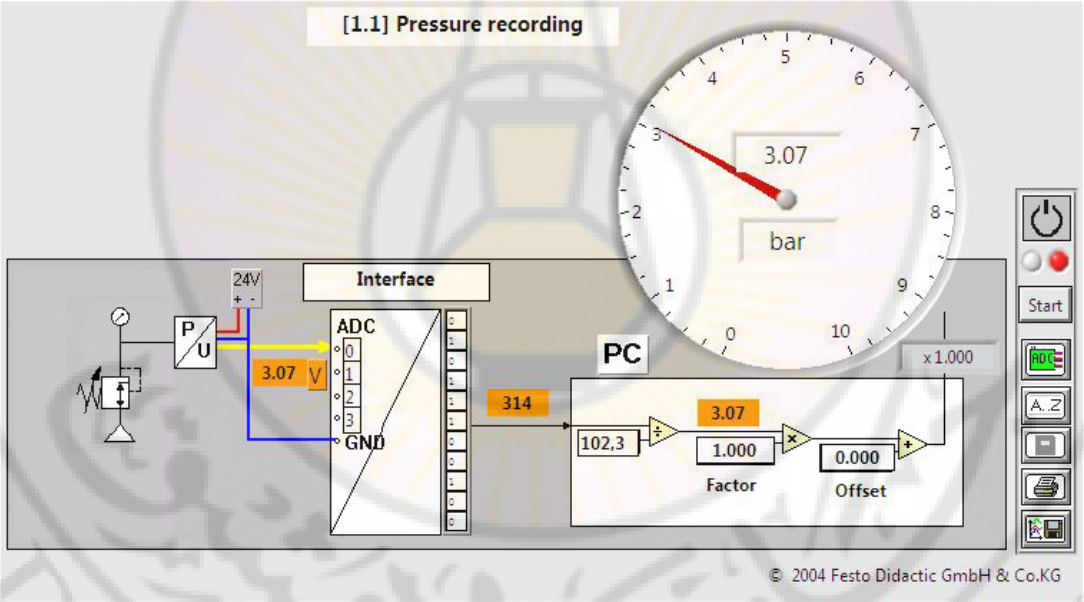
"8- زيادة الضغط بمقدار(1)bar من خلال فتح صمام الضغط في وحدة الخدمة وتسجيل القراءات.

"9- نكرر الخطوة ("7- "8) ونقوم بأخذ عدة قراءات لقيم الضغط والجهد الكهربائي ووضع القراءات في جدول النتائج.

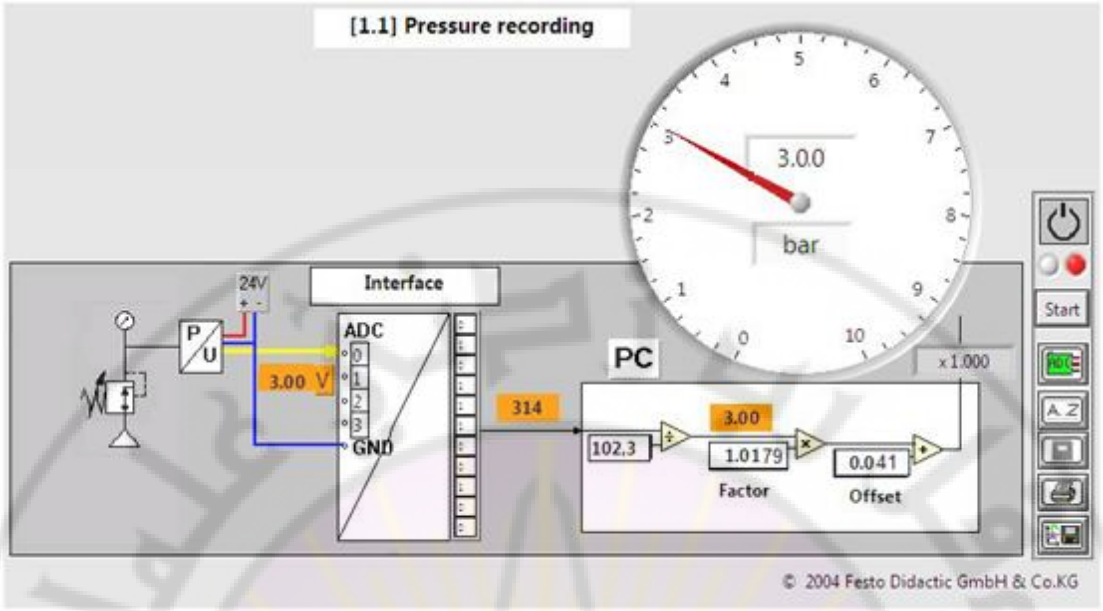
"10- رسم المنحني البياني المرجعي للحساس (الجهد من Easy port والضغط من مؤشر الضغط في وحدة الخدمة)، والمنحني الحقيقي (الجهد من Easy port وقيمة الضغط الظاهرة على البرنامج)، ونقوم بدراسة وتحليل النتائج ومقدار الأنزياح بين المنحنيين (المرجعي- الحقيقي).

"11- حساب معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة) وذلك عند وجود أنزياح بين المنحنيين المرجعي والحقيقي، وإدخالهما إلى البرنامج.

"12- نكرر التجربة بعد إدخال قيم معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة) إلى البرنامج، وندرس مدى التطابق بين قراءات الضغط الظاهرة على البرنامج، وقراءات الضغط من مؤشر الضغط على وحدة الخدمة. والأشكال(3-12) و(3-13) التالية تبين قيمة الضغط قبل وبعد إدخال معاملات التصحيح.



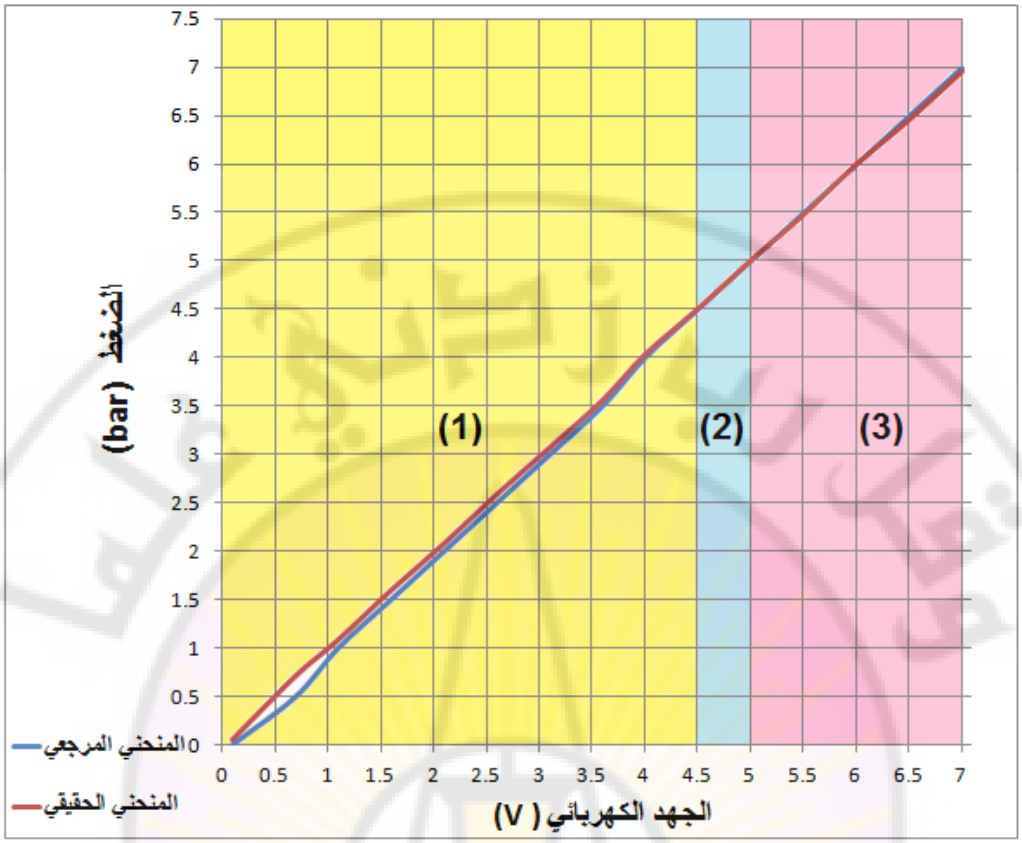
الشكل (3-12) قيمة الضغط عند (3) bar قبل إدخال معاملات التصحيح إلى البرنامج



الشكل (3- 13) قيمة الضغط عند 3 bar بعد إدخال معاملات التصحيح إلى البرنامج

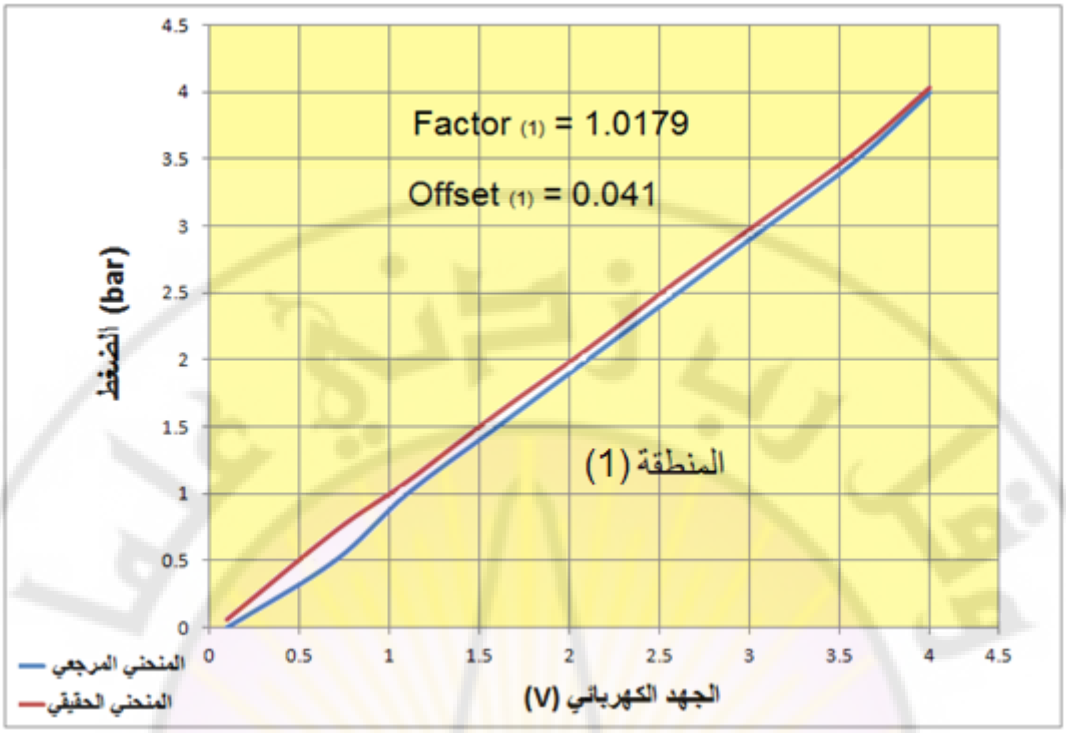
الجدول رقم () نتائج التجربة رقم /3-9/:

ضغط الساعة المرجعي (bar)	الضغط على الحاسوب (bar)	إشارة خرج الحساس (V)
0	0.06	0.1
0.5	0.72	0.7
1	1.09	1.1
1.5	1.60	1.6
2	2.08	2.1
2.5	2.59	2.6
3	3.07	3.1
3.5	3.56	3.6
4	4.03	4
4.5	4.5	4.5
5	5	5
5.5	5.47	5.5
6	5.99	6
6.5	6.45	6.5
7	6.95	7



الشكل (3- 14) مقارنة بين المنحني المرجعي والمنحني الفعلي وإظهار مقدارالإنزياح بينهما

نلاحظ من المنحني البياني في الشكل (3- 14) السابق وجود ثلاثة مناطق، المنطقة الأولى (اللون الاصفر) وفيه يكون المنحني الحقيقي منزاح عن المنحني المرجعي باتجاه الأعلى، والمنطقة الثانية (اللون الأزرق) في هذه المنطقة يكون المنحنيان متطابقان تماماً ولايوجد انزياح بينهما، المنطقة الثالثة (اللون الزهري) وفيه يكون المنحني الحقيقي منزاح عن المنحني المرجعي باتجاه الأسفل. وبالتالي نلاحظ أنه في المنطقتين الأولى والثالثة (الأصفر- الزهري) يحتاج الحساس إلى معايرة عن طريق حساب معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة) وإدخالهما إلى البرنامج، أما في المنطقة الثانية (اللون الأزرق) الحساس يعمل بشكل مثالي ولايحتاج إلى معايرة، عندها تكون قيم معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة)مساوية إلى الصفر. ولتوضيح مقدار الانزياح بين المنحنيين بشكل أكبر فقد تم رسم المنحنيات الجزئية لكل منطقة على حده كما في الأشكال التالية:

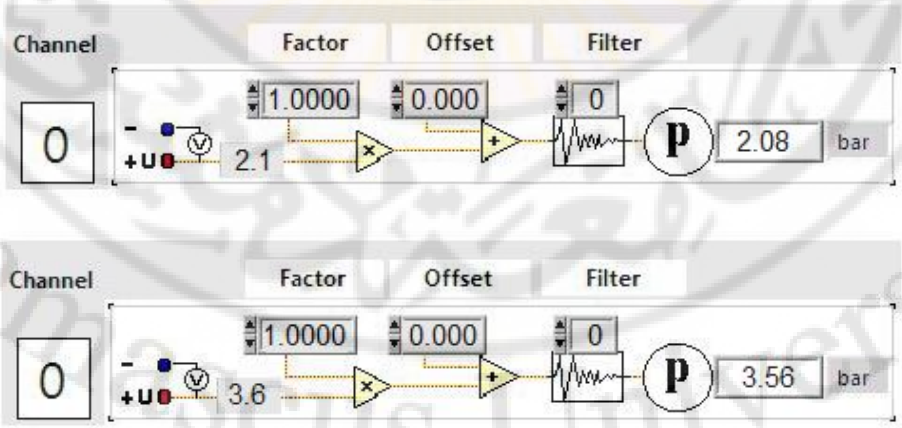


الشكل (3- 15) منحني مستقل للمنطقة (1) من المنحني البياني رقم (3- 14)

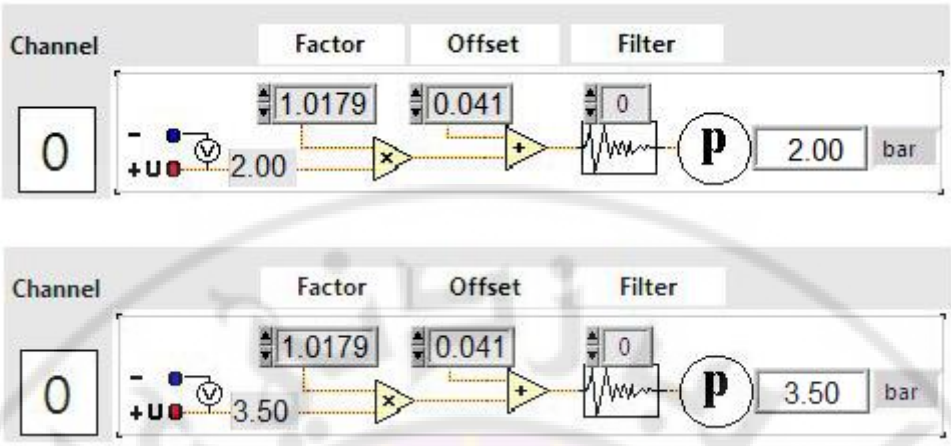
حساب معامل الميل والإزاحة في المنطقة الأولى:

$$\text{Factor}_{(1)} = \frac{40.3-0.06}{4-0.1} = 1.0179$$

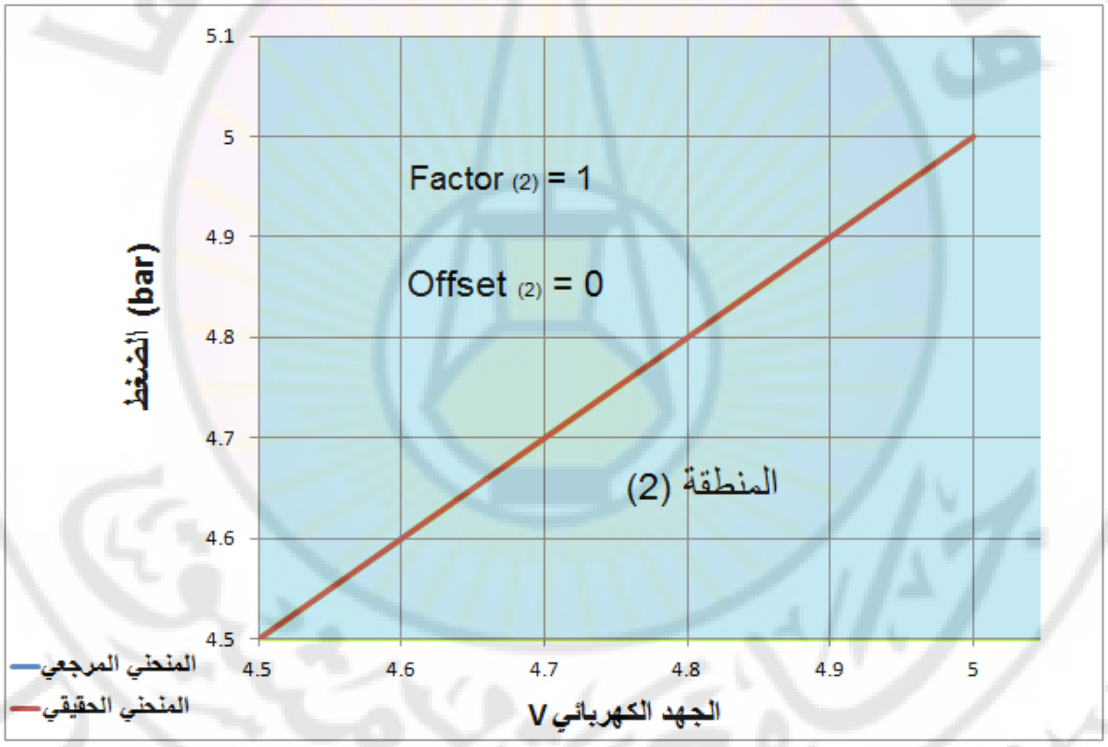
$$\text{Offset}_{(1)} = -\,(0.06 - 1.0179 \times 0.1) = 0.0417$$



الشكل (3- 16) عينتان من قيم الضغط قبل إدخال معاملات التصحيح



الشكل (3-17) عينتان من قيم الضغط بعد إدخال معاملات التصحيح

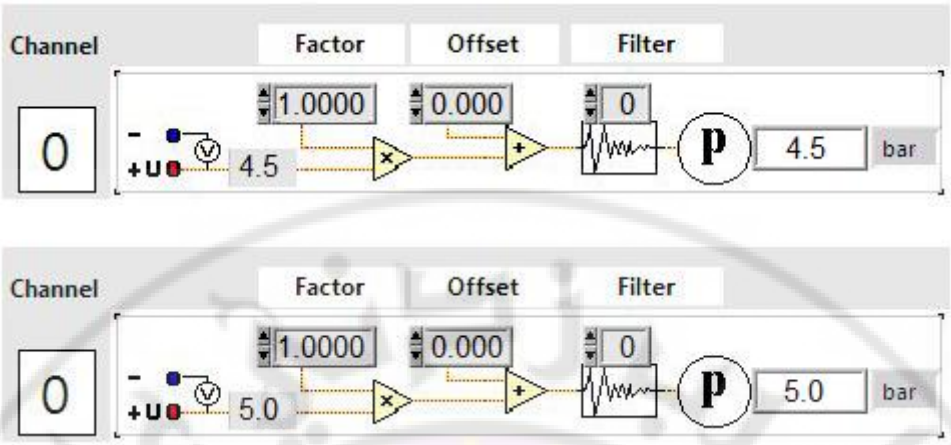


الشكل (3- 18) منحني مستقل للمنطقة (2) من المنحني البياني رقم (3- 14)

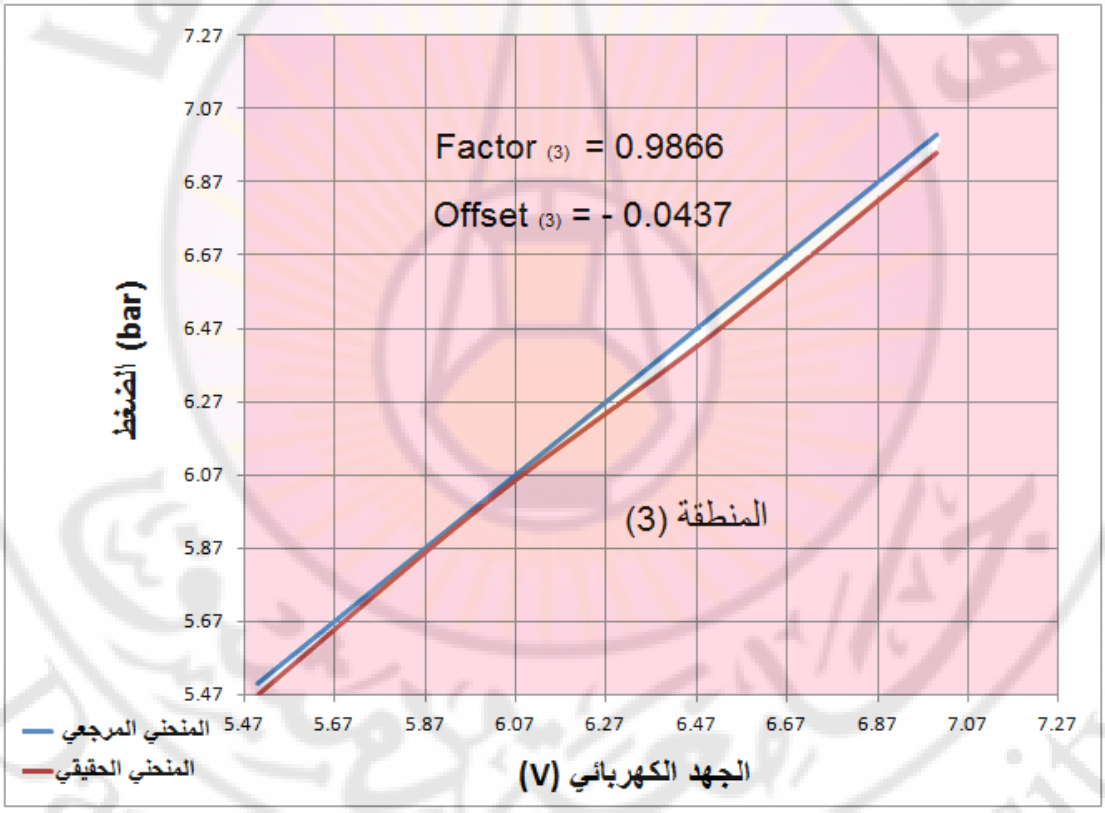
حساب معامل الميل والإزاحة في المنطقة الثانية:

$$Factor_{(2)} = \frac{5-4.5}{5-4.5} = 1$$

$$Offset_{(2)} = -\ (4.5 - 1 \times 4.5) = 0$$



الشكل (3- 19) عينات من قيم الضغط دون الحاجة لإدخال معاملات التصحيح

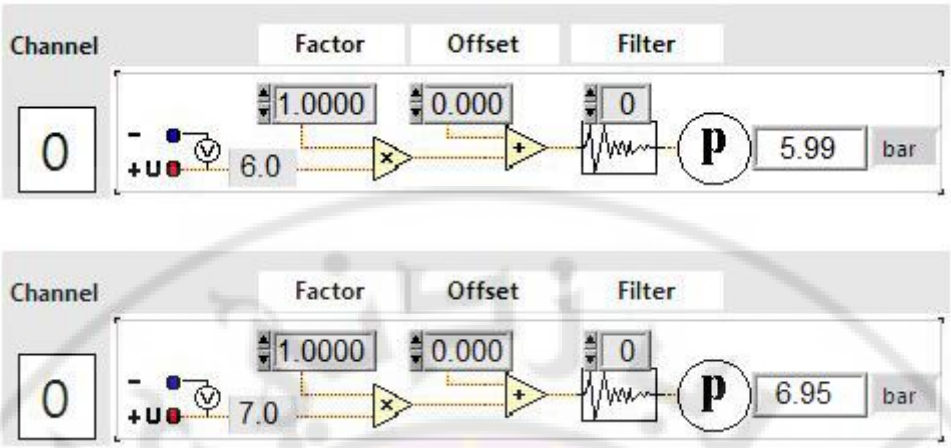


الشكل (3- 20) المنطقة (3) من المنحني البياني رقم (3- 14)

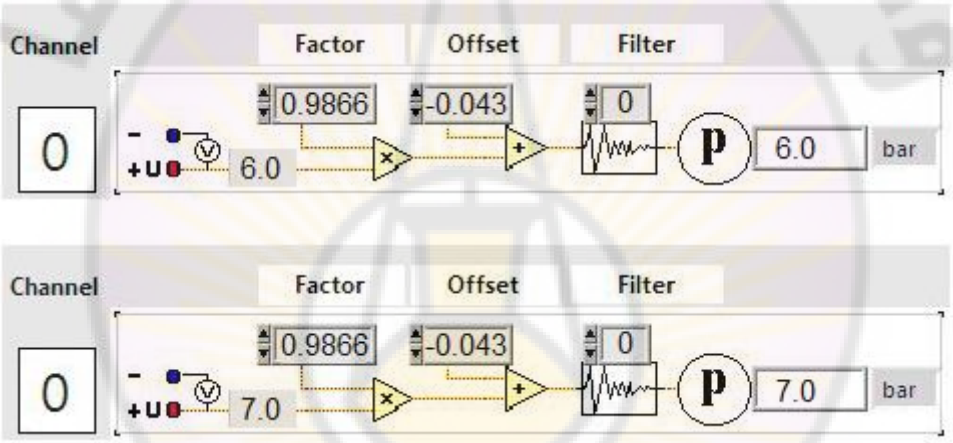
حساب معامل الميل والإزاحة في المنطقة الثالثة:

$$Factor_{(3)} = \frac{6.95-5.47}{7-5.5} = 0.9866$$

$$Offset_{(3)} = -\ (5.47 - 0.9866 \times 5.5) = -\ 0.043$$



الشكل (3-21) عينتان من قيم الضغط قبل إدخال معاملات التصحيح



الشكل (3-22) عينتان من قيم الضغط بعد إدخال معاملات التصحيح

أستنتاجات للطالب:

س1 – ما هي وظيفة (Easy port) في التجربة /3-9/ ؟

.....

س2 – حدد معامل الميل والإزاحة لحساس ضغط معطياته كالتالي: (P = 0 ÷ 10 bar) (V = 0 ÷ 10) ؟

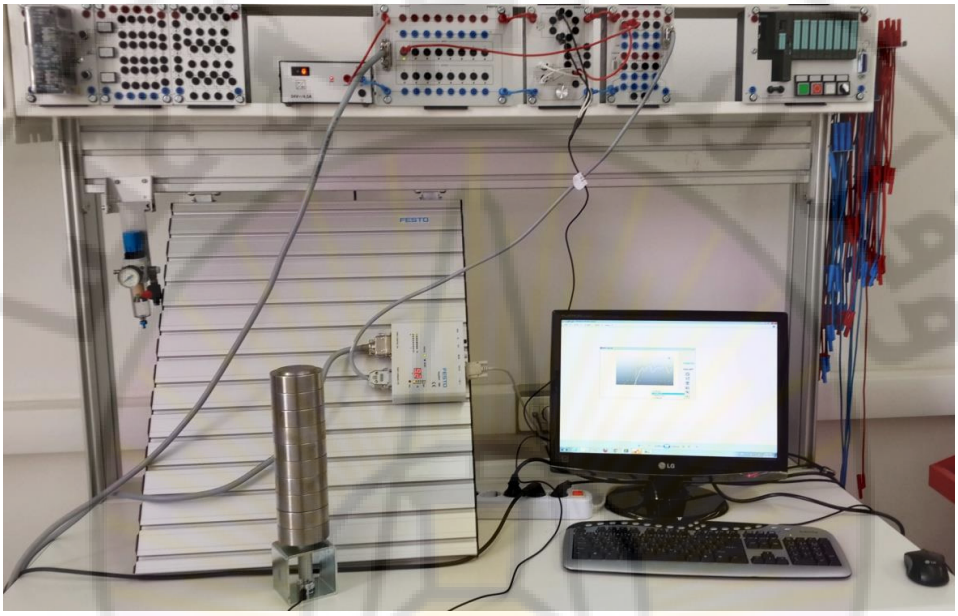
.....

س3– بفرض أن حساس الضغط يعطي دائماً اختلافاً في قيمة الضغط بمقدار (2 بار) عن القيمة المرجعية، ما هي التغيرات الواجب إجراؤها لضبط معايرة الحساس؟

.....

3-10- تجربة دراسة سلوك حساس القوة وإجراء المعايرة الحاسوبية له:

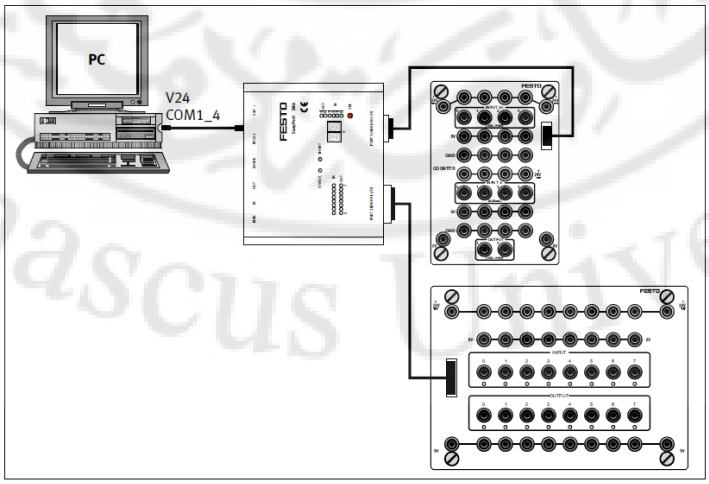
هدف التجربة: التعرف والتعلم على كيفية تكوين بيئة العمل الحاسوبية للربط بين حساس القوة والحاسوب وإظهار مقدارانزياح القيمة الحقيقية لخرج حساس القوة مع القيمة المرجعية بيانياً، وكيفية إجراء معايرة للحساس للحصول على أكثر تطابق بين القيمتين (المرجعية - الحقيقية)، وذلك من خلال حساب قيم معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة) وإدخالهما إلى برنامج Fluid Lab.



الشكل (3- 23) الشكل العام للتجربة رقم /3- 10/

خطوات إجراء التجربة رقم /10-6/:

"1- تكوين بيئة العمل المناسبة عن طريق ربط (Easy port) مع الحاسوب والمداخل والمخارج الكهربائية كما هو واضح في الشكل (3-24).

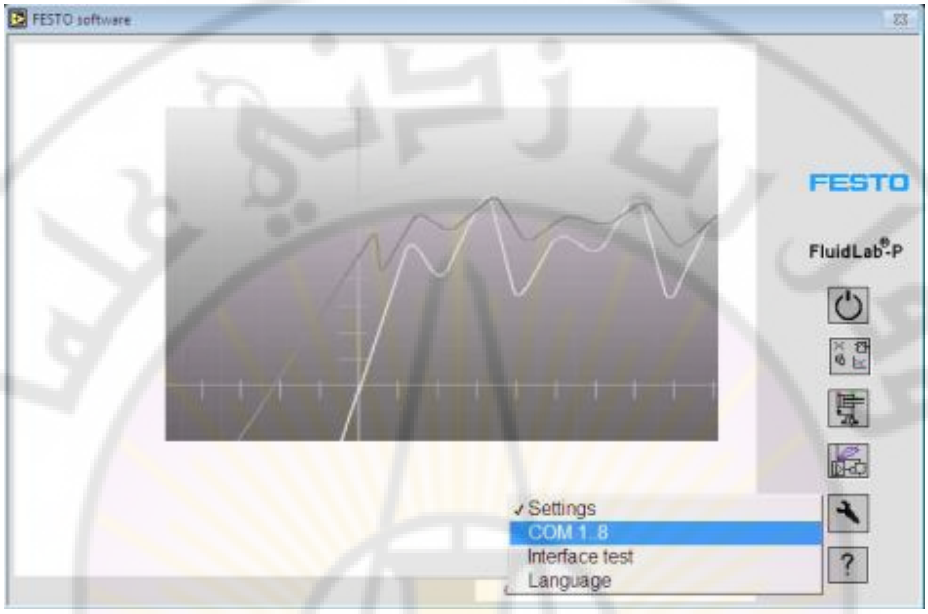


الشكل (3- 24) مخطط تكوين بيئة العمل

"2- تغذية الحساس وجميع العناصر بالجهد الكهربائي من خلال وحدة التزويد بالقدرة الكهربائية.

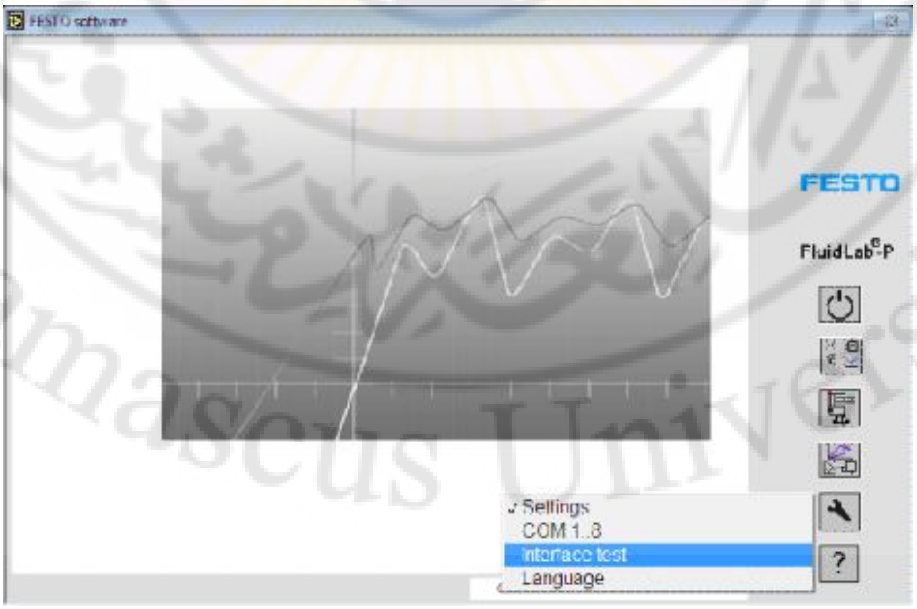
"3- توصيل دارة حساس القوة مع وحدة المضخم (Amplifier).

"4- تشغيل برنامج Fluid Lab وتحديد منفذ الوصلة التسلسلية كما في الشكل (3-25).



الشكل (3- 25) تحديد منفذ الوصلة التسلسلية لتعرف الحاسوب على (Easy port)

"6- تحديد من الخيار/ الضبط/ للقائمة الرئيسية للبرنامج الخيار/ Interface test / كما هو واضح في الشكل (3- 26) التالي:



الشكل (3- 26) واجهة فرعية للبرنامج

"7- وضع وزن بمقدار1 kg على الحساس وقراءة مقدار قيمة إشارة الخرج الموافقة لها.

"8- نكرر الخطوة السابقة عشر مرات بزيادة الوزن بمقدار1 kg في كل مرة ونسجل قيمة إشارة خرج الحساس على البرنامج.

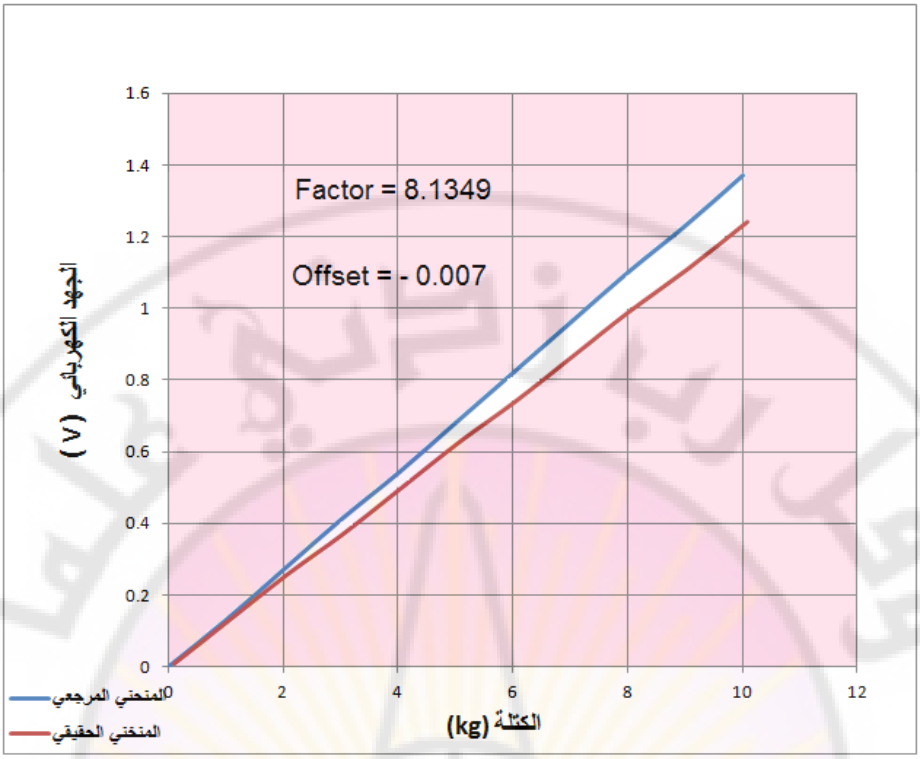
"9- رسم المنحني البياني المرجعي للحساس (الجهد من Easy port ومقدارالكتلة التي يتم إظافتها في كل مرة)، ورسم المنحني الحقيقي (الجهد من Easy port وقيمة الكتلة التي تظهر على البرنامج)، ونقوم بدراسة وتحليل النتائج ومقدار الانزياح بين المنحنيين (المرجعي- الحقيقي).

"10- حساب معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة) وذلك عند وجود انزياح بين المنحنيين المرجعي والحقيقي، وإدخالهما إلى البرنامج.

"11- نكرر التجربة بعد إدخال قيم معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة) إلى البرنامج، وندرس مدى التطابق بين قراءات الكتلة الحقيقية الموضوعة على الحساس، وقيمتها الظاهرة على البرنامج.

الجدول التالي يبين نتائج التجربة رقم /3-10/:

قيمة الكتلة على الحاسوب (kg)	قيمة الكتلة الحقيقية (الأوزان) (kg)	إشارة خرج الحساس (V)
0.089	0	0.01
1.042	1	0.13
2.075	2	0.26
3.028	3	0.37
4.060	4	0.50
5.092	5	0.63
6.045	6	0.74
7.078	7	0.87
8.031	8	0.99
9.063	9	1.11
10.095	10	1.24

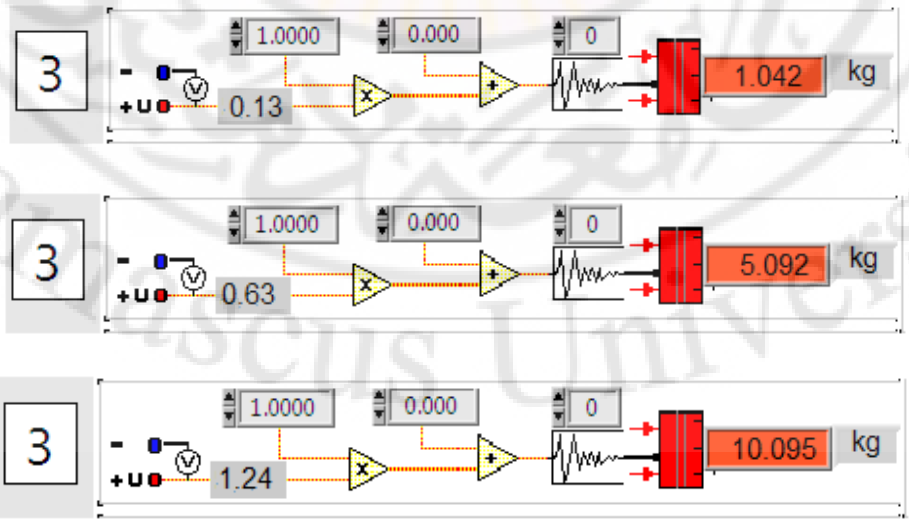


الشكل (3-27) مقارنة بين المنحني المرجعي والمنحني الفعلي لحساس القوة وإظهارمقدار الإزياح بينهما

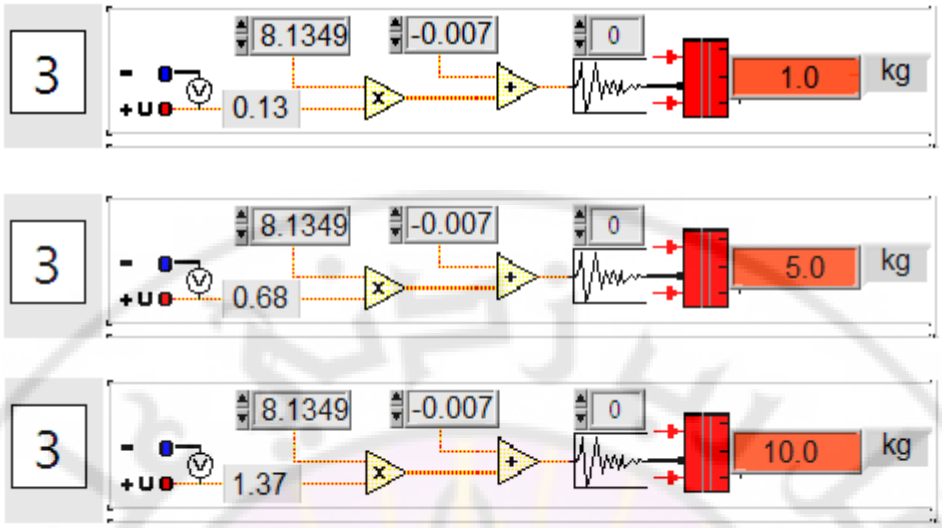
حساب معاملات التصحيح (الميل والإزاحة):

$$\text{Factor} = \frac{10.095-0.089}{1.24-0.01} = 8.1349$$

$$\text{Offset} = -\,(0.089 - 8.1349 \times 0.01) = -\,0.007$$



الشكل (3- 28) الواجهة الفرعية قبل إدخال معاملات التصحيح عند القيمة (1- 5 - 10) كغ



الشكل (3- 29) الواجهة الفرعية بعد إدخال معاملات التصحيح عند القيمة (1- 5 - 10) كغ

أستنتاجات للطالب:

س1 – ما هي وظيفة (Easy port) في التجربة رقم /3- 10/ ؟

.....

.....

س2 – حدد معامل الميل والإزاحة لحساس قوة معطياته كالتالي : (G=3÷10kg) V =) (3.2 ÷ 10.02 V ؟

.....

.....

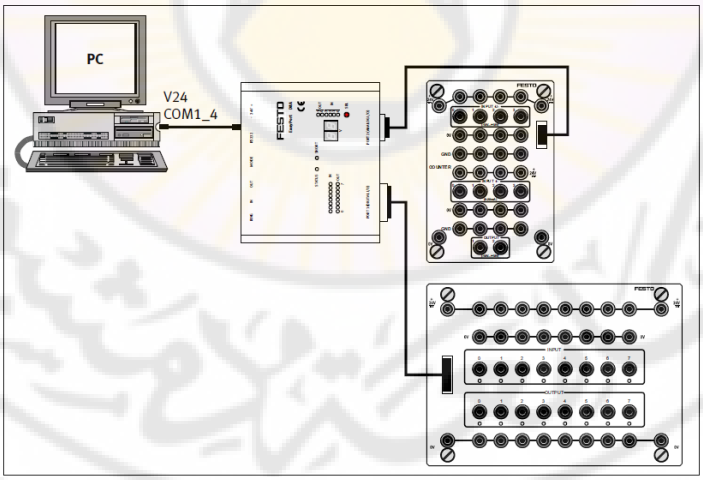
3-11-تجربة دراسة سلوك حساس درجة الحرارة وإجراء المعايرة الحاسوبية له:

هدف التجربة: التعرف والتعلم على كيفية تكوين بيئة العمل الحاسوبية للربط بين حساس درجة الحرارة والحاسوب وإظهار مقدار انزياح القيمة الحقيقية لخرج حساس درجة الحرارة مع القيمة المرجعية بيانياً، وكيفية إجراء معايرة للحساس للحصول على أكثر تطابق بين القيمتين (المرجعية - الحقيقية)، وذلك من خلال حساب قيم معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة) وإدخالهما إلى برنامج Fluid Lab.

الشكل (3- 30) الشكل العام للتجربة رقم /3-11/.

خطوات إجراء التجربة:

"1- تكوين بيئة العمل المناسبة عن طريق ربط (Easy port) مع الحاسوب والمداخل والمخارج الكهربائية كما هو واضح في الشكل (3-31).



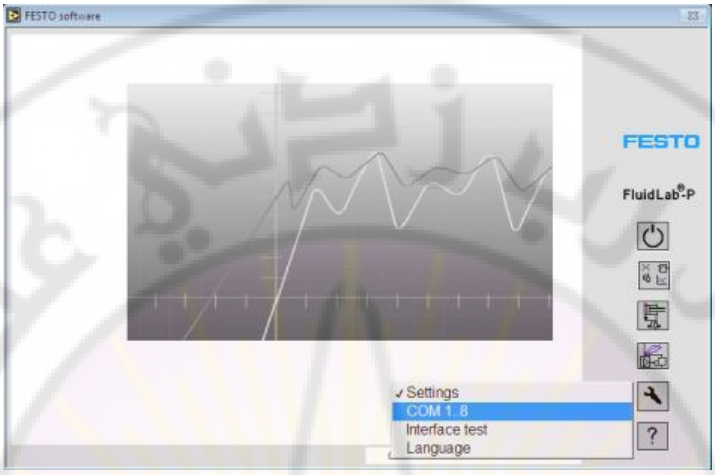
الشكل (3-31) تكوين بيئة العمل

"2- توصيل مخرج الإشارة لحساس درجة الحرارة المرجعي مع شاشة إظهار درجات الحرارة، وتغذية الحساس وشاشة الإظهار بالجهد الكهربائي من خلال وحدة التزويد بالقدرة الكهربائية.

"3- توصيل الحساس المدروس المراد معايرته مع الدارة وربط مخرج الإشارة الخاص به مع وحدة المداخل والمخارج الكهربائية والتي بدورها موصولة مع (Easy port).

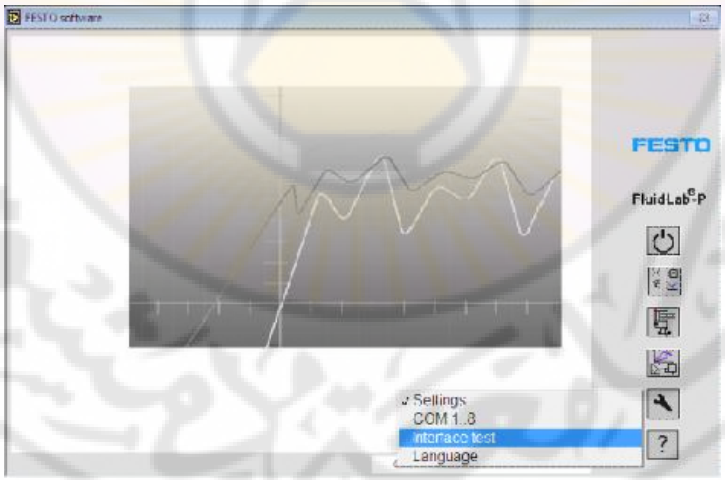
"3- ربط الحساسات مع دارة الهيدروليك (وحدة التزويد بالقدرة الهيدروليكية، صمام الاغلاق) بواسطة خراطيم هيدروليكية خاصة.

"4- تشغيل برنامج Fluid Lab-p وتحديد منفذ الوصلة التسلسلية كما في الشكل (6-32) التالي.



الشكل (3-32) تحديد منفذ الوصلة التسلسلية لتعرف الحاسوب على (Easy port)

"5- تحديد من الخيار/ الضبط/ للقائمة الرئيسية للبرنامج الخيار/ Interface test / كما هو واضح في الشكل (3-33) التالي:



الشكل (3- 33) واجهة فرعية للبرنامج

"6- تشغيل الدارة الهيدروليكية ورفع ضغط الدارة إلى القيمة العظمى (60 بار) وجعل صمام الأغلاق على الوضعية المفتوحة جزئياً.

"7- البدء بتسجيل قيمة درجة الحرارة للحساس المدروس والظاهرة في البرنامج، بالتزامن مع تسجيل قيمة درجة الحرارة المرجعية والظاهرة على شاشة الاظهار، و تسجيل قيمة إشارة خرج الحساس الظاهرعلى (Easy port) أوالظاهرة على البرنامج بالتزامن مع أخذ قيمة إشارة خرج الحساس المرجعي من مقياس الفولت الرقمي.

"8- رسم المنحنيات البيانية (المرجعي- الحقيقي) للحساسين، ونقوم بدراسة وتحليل النتائج ومقدار الانزياح بينهما.

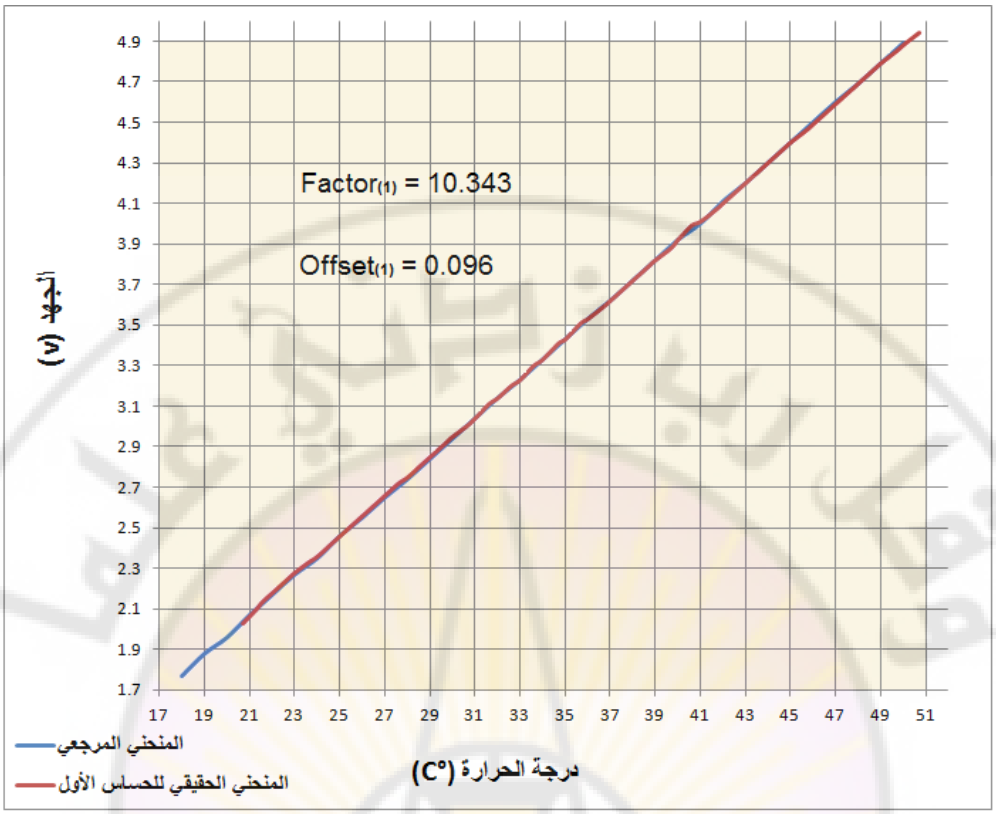
"9- حساب معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة) وذلك عند وجود انزياح بين المنحنيين المرجعي والحقيقي، وإدخالهما إلى البرنامج.

"10- نكرر التجربة بعد إدخال قيم معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة) إلى البرنامج، وندرس مدى التطابق بين قراءات الحرارة الظاهرة على البرنامج، وقراءات الحرارة من شاشة الأظهار.

ملاحظة: تم في هذه التجربة دراسة حساسين مدروسين وتم مقارنتهما مع الحساس المرجعي واستنتاج معاملات التصحيح لكل منهما على حدا.

الجدول () نتائج الحساس المدروس الأول:

درجةالحرارة °C	20.9	21.6	22	23	23.4	24	24.4	25
الفولت V	2.03	2.1	2.14	2.24	2.28	2.33	2.36	2.42
درجةالحرارة °C	25.4	26	26.4	27	27.4	28	28.4	29
الفولت V	2.46	2.52	2.56	2.62	2.66	2.72	2.75	2.81
درجةالحرارة °C	29.4	30	30.4	31	31.4	32	32.3	33
الفولت V	2.85	2.91	2.95	3	3.04	3.11	3.14	3.2
درجةالحرارة °C	3.33	34	34.2	35	35.3	36	36.2	37
الفولت V	3.23	3.3	3.33	3.41	3.43	3.51	3.53	3.6
درجةالحرارة °C	37.2	38	38.2	39	39.3	40	40.3	41
الفولت V	3.62	3.7	3.72	3.79	3.82	3.88	3.92	3.99
درجةالحرارة °C	41.3	42	42.3	43	43.3	44	44.3	45
الفولت V	4.01	4.07	4.1	4.17	4.2	4.27	4.3	4.37
درجةالحرارة °C	45.3	46	46.3	47	47.3	48	48.3	49
الفولت V	4.4	4.46	4.49	4.56	4.59	4.66	4.69	4.76
درجةالحرارة °C	49.3	50	50.3	51				
الفولت V	4.79	4.85	4.88	4.94				

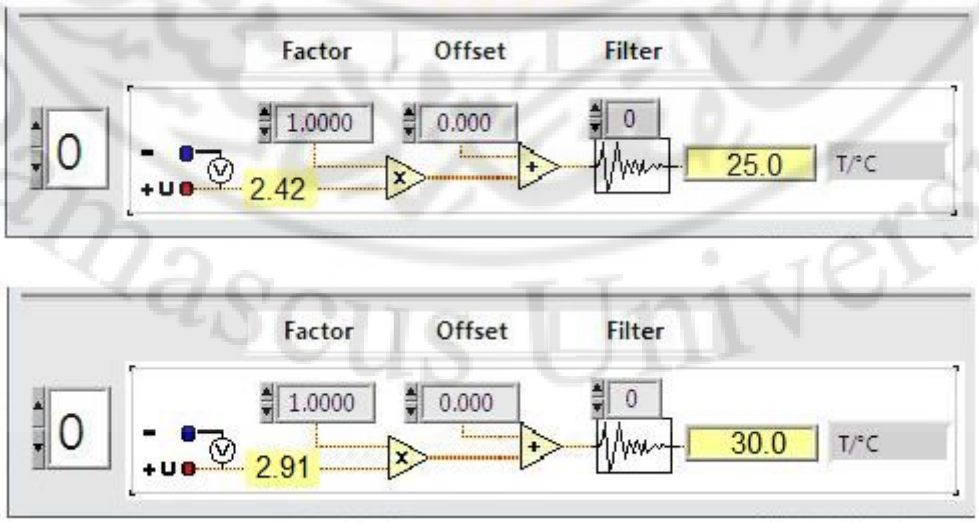


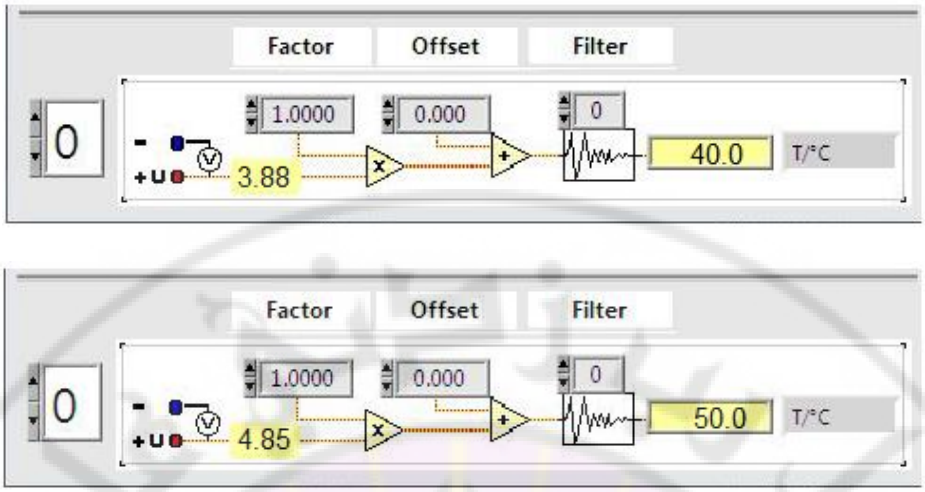
الشكل (3-34) مقارنة بين حساس درجة الحرارة المرجعي وحساس الحرارة المدروس الأول

حساب معامل الميل والإزاحة للحساس المدروس الأول:

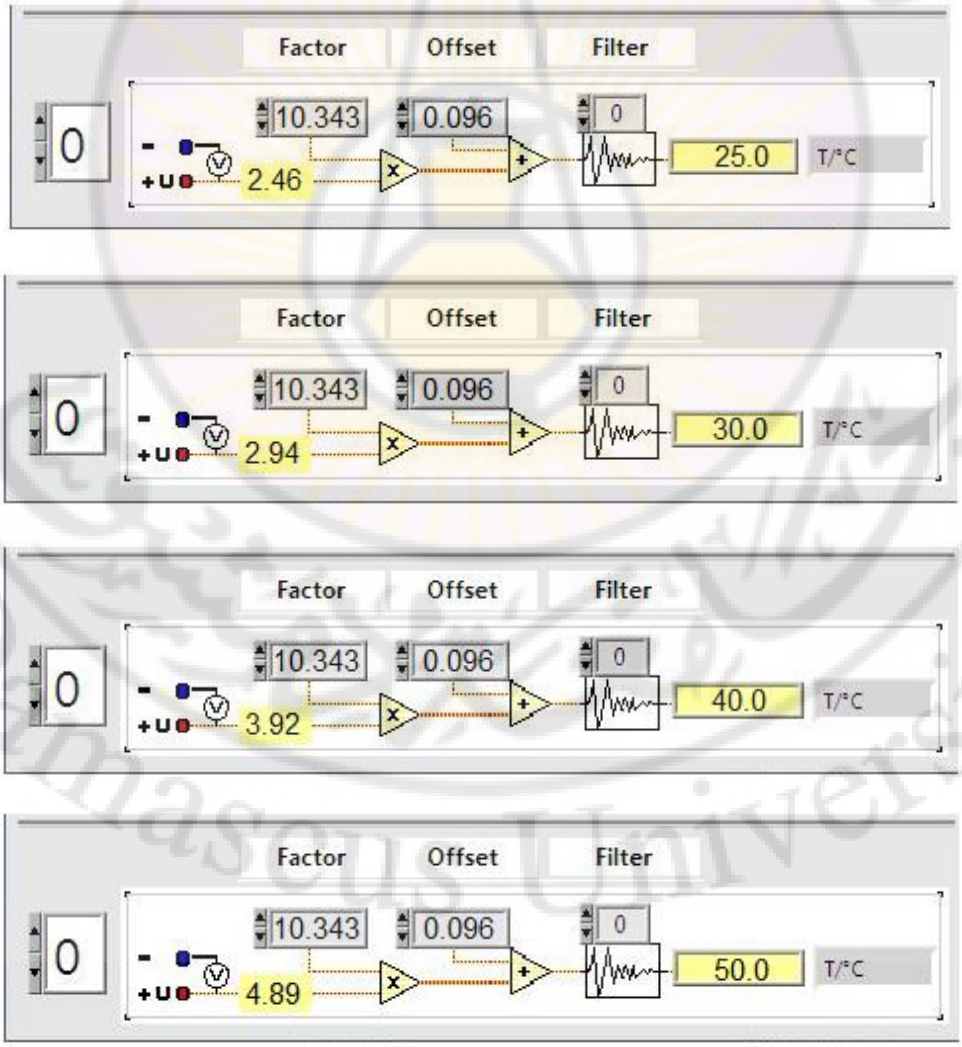
$$Factor_{(1)} = \frac{51-20.9}{4.94-2.03} = 10.343$$

$$Offset_{(1)} = -(20.9 - 10.343 \times 2.03) = 0.096$$





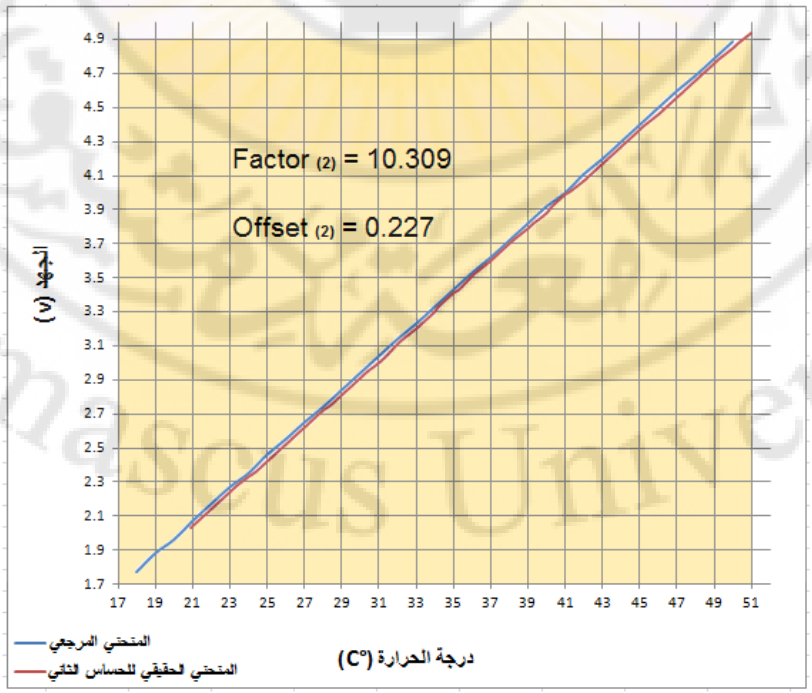
الشكل (3- 35) الواجهة الفرعية للبرنامج قبل إدخال معاملات التصحيح عند درجة الحرارة (25و 30 و 40 و50) C° بالنسبة للحساس المدروس الأول



الشكل (3- 36) الواجهة الفرعية للبرنامج بعد إدخال معاملات التصحيح عند درجة الحرارة (25و 30 و40 و 50) C° بالنسبة للحساس المدروس الأول

الجدول () نتائج الحساس المدروس الثاني:

درجةالحرارة C°	20.7	21.3	21.6	22.6	23	23.6	24	24.6
الفولت V	2.03	2.1	2.14	2.24	2.28	2.33	2.36	2.42
درجةالحرارة C°	25	25.6	26	26.6	27	27.6	28	28.6
الفولت V	2.46	2.52	2.56	2.62	2.66	2.72	2.75	2.81
درجةالحرارة C°	29	29.6	30	30.6	31	32.6	32	32.6
الفولت V	2.85	2.91	2.95	3	3.04	3.11	3.14	3.2
درجةالحرارة C°	33	33.6	34	34.7	35	35.7	36	36.8
الفولت V	3.23	3.3	3.33	3.41	3.43	3.51	3.53	3.6
درجةالحرارة C°	37	37.8	38	38.7	39	39.7	40	40.6
الفولت V	3.62	3.7	3.72	3.79	3.82	3.88	3.92	3.99
درجةالحرارة C°	41	41.7	42	42.7	43	43.7	44	44.7
الفولت V	4.01	4.07	4.1	4.17	4.2	4.27	4.3	4.37
درجةالحرارة C°	45	45.7	46	46.7	47	47.7	48	48.7
الفولت V	4.4	4.46	4.49	4.56	4.59	4.66	4.69	4.76
درجةالحرارة C°	49	49.7	50	50.7				
الفولت V	4.79	4.85	4.88	4.94				

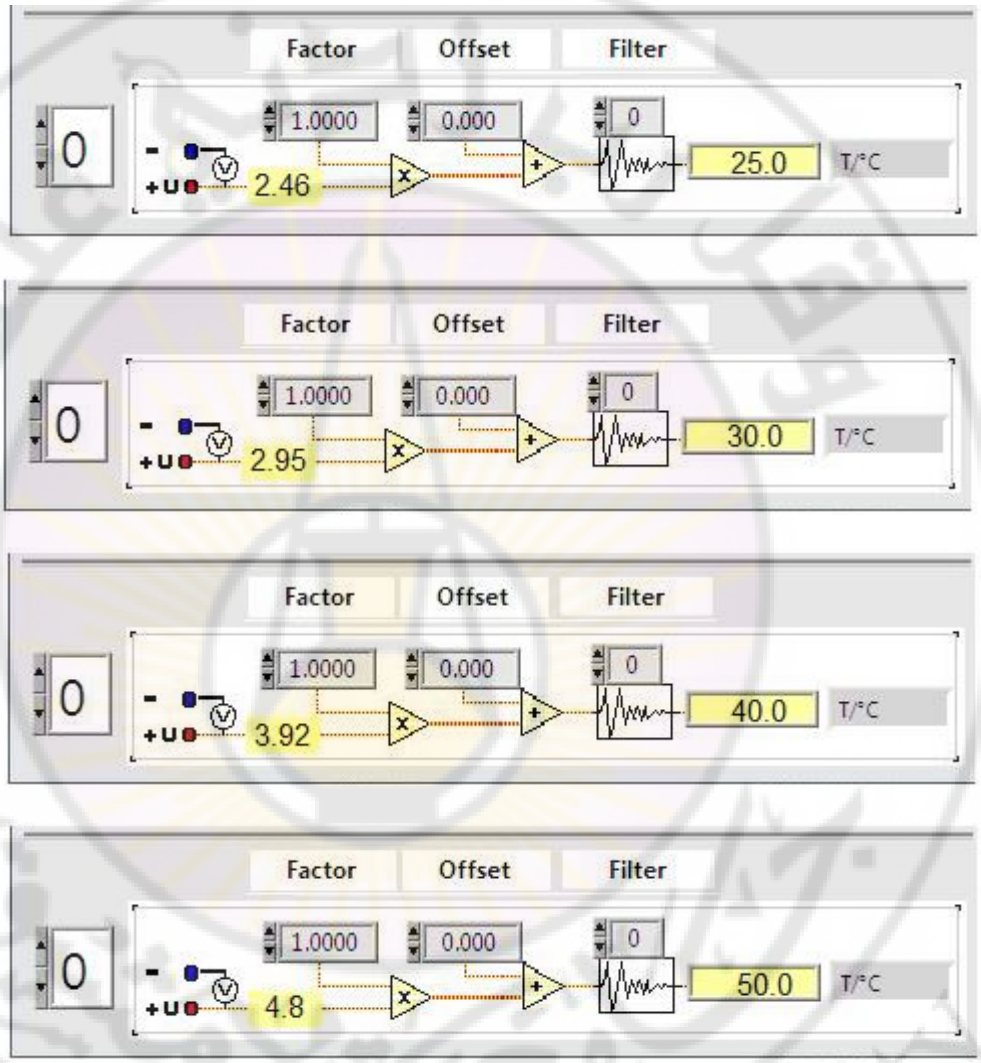


الشكل (3-37) مقارنة بين حساس درجة الحرارة المرجعي وحساس الحرارة المدروس الثاني

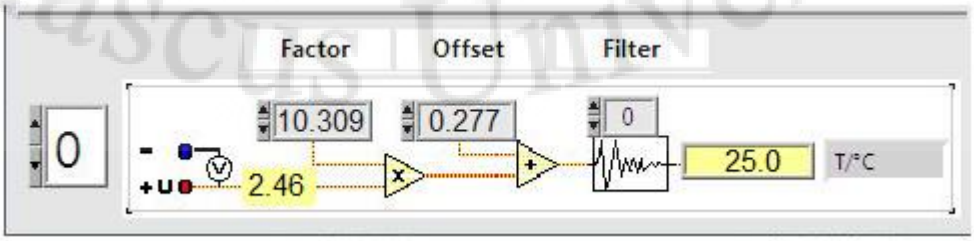
حساب معامل الميل والإزاحة للحساس المدروس الثاني:

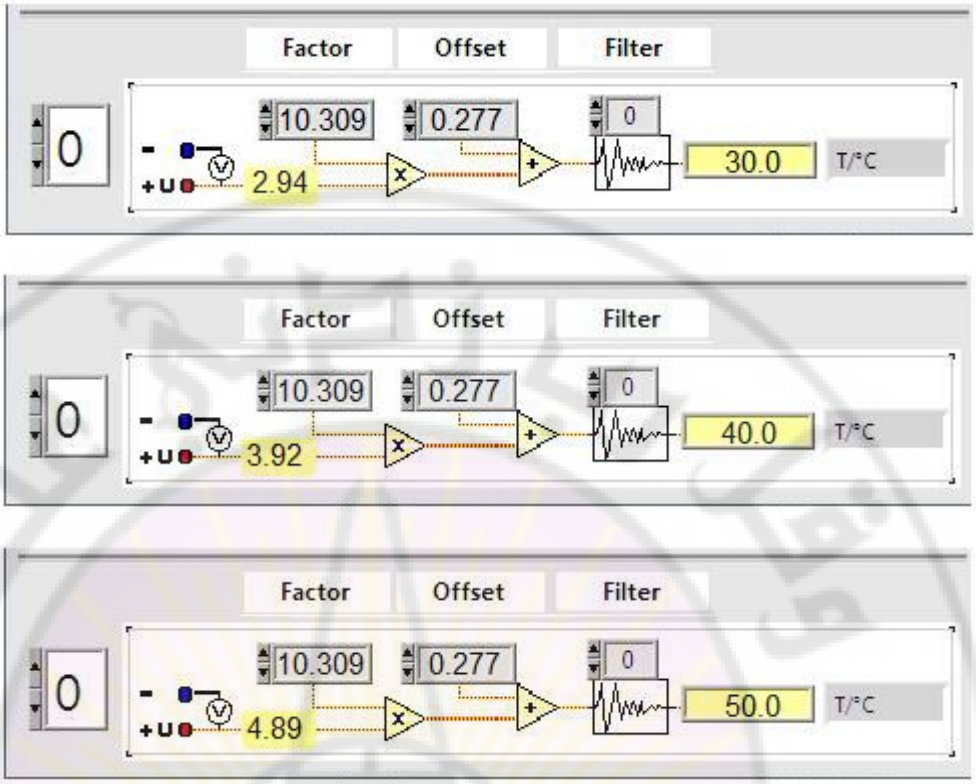
$$\text{Factor}_{(2)} = \frac{50.7-20.7}{4.94-2.03} = 10.309$$

$$\text{Offset}_{(2)} = -(20.7 - 10.309 \times 2.03) = 0.227$$



الشكل (3- 38) الواجهة الفرعية للبرنامج قبل إدخال معاملات التصحيح عند درجة الحرارة (25و 30 و 40 و50) °C بالنسبة للحساس المدروس الثاني





الشكل (3- 39) الواجهة الفرعية للبرنامج بعد إدخال معاملات التصحيح عند درجة الحرارة (25و 30 و40 و50) C° بالنسبة للحساس المدروس الثاني

أستنتاجات للطالب:

س1 – علل سبب اختلاف معاملات التصحيح (الميل - الإزاحة) بين الحساسين المدروسين ؟

.....

.....

س2 – حدد معامل الميل والإزاحة لحساس حرارة معطياته كالتالي : (T=15÷70 C°) (V 1 ÷ 6 V =) ؟

.....

.....