

القياس عملية مهمة وجوهرية
بصفة عامة وللتحكم الآلي
بصفة خاصة ولذلك يوجد مقرر
إجباري مخصص للقياسات بكل
جوانبها النظرية والعملية

الأهداف بإكمال الوحدة الثانية يكون المتدرب قادراً على:

- * أن يعرف مكونات عنصر الحس.
- * أن يفهم مفهوم الحساسات النشطة والخاملة
- * أن يعرف أنواع عناصر الحس الخاصة بقياس الوضع، السرعة، القوة، درجة الحرارة، الضغط، مستوى سائل ومعدل التدفق.
- * أن يعدد ويشرح كيفية تحويل الإشارة.
- * أن يتعرف على مختلف أنواع محولات الإشارة.

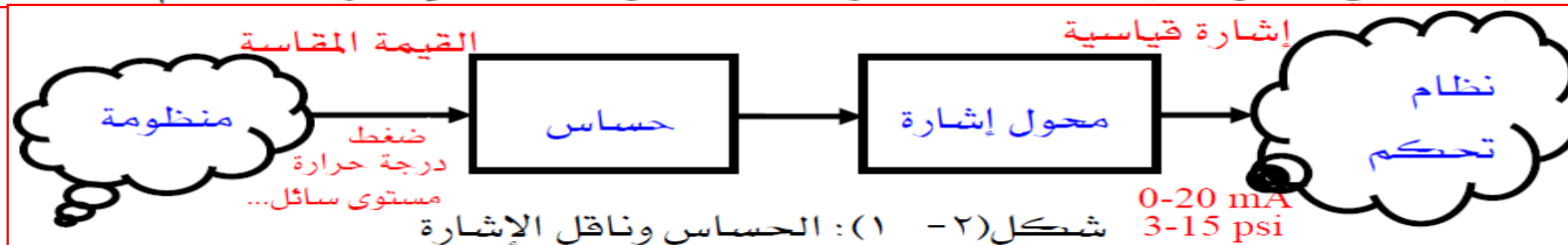
الوحدة الثانية: عناصر القياس ومحولات الإشارة

في هذا الباب سوف نقوم بعرض أحد المكونات الأساسية لمنظومة التحكم الآلي والذي يتعلق بقياس الكميات الطبيعية، التي تمثل إحدى أهم أسس عملية التحكم الآلي مثل قياس: درجة الحرارة، الضغط، مستوى سائل، معدل التدفق، الوضع، السرعة والقوة.

١- عنصر الحس Sensor

١-١ تعريف:

عنصر الحس هو عنصر يقوم بقياس قيمة فيزيائية ثم يحولها إلى قيمة فيزيائية مختلفة (عادة تكون كهربية). هذه القيمة التي تمثل القيمة المقاسة سوف تستعمل مثلاً كإشارة تحكم.



شكل (٢-١): الحساس وناقل الإشارة

١-٣ الحساس الخامل Passive sensor

الحساس عبارة عن معاوقة impedance حيث لأحد بارامتراتهما علاقة مع القيمة المقاسة. ينتج عن تغيير قيمة المعاوقة التالي:

- ❖ تغيير في مقاسات الحساس، وهذا هو مبدأ عمل العديد من حساسات الوضع، المقاومة المتغيرة، لفيفة كهربائية ذات قلب متحرك، مكثف بذراع متحرك.
- ❖ إزاحة نتيجة قوة، ضغط، تسارع وهو حساس التنسو Tenso-sensor. وهناك نوعان من الحساسات:

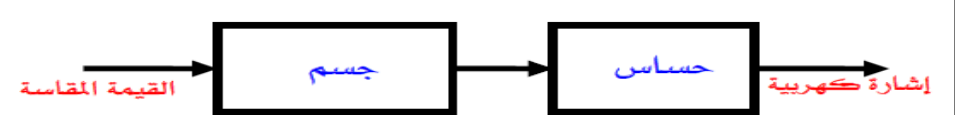
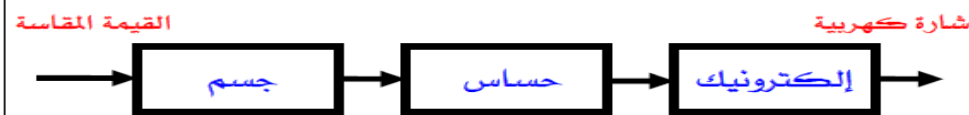
١-٢ الحساس النشط Active sensor

هذا الحساس يعمل بمبدأ التأثير الفيزيائي الذي يضمن تحويل شكل طاقة القيمة الفيزيائية (طاقة ميكانيكية، طاقة حرارية، طاقة إشعاعية... الخ) إلى طاقة كهربية، وهذه الحساسات التقليدية هي:

- ❖ حساس حراري - كهربائي thermoelectric sensor.
- ❖ حساس بيزو - كهربائي Piezoelectric sensor.
- ❖ حساس إلكترومغناطيسي Electromagnetic sensor.
- ❖ حساس كهربائي - ضوئي Photoelectric sensor.
- ❖ حساس فولتي - ضوئي Photovoltaic sensor.

حساس مدمج

حساس مؤلف



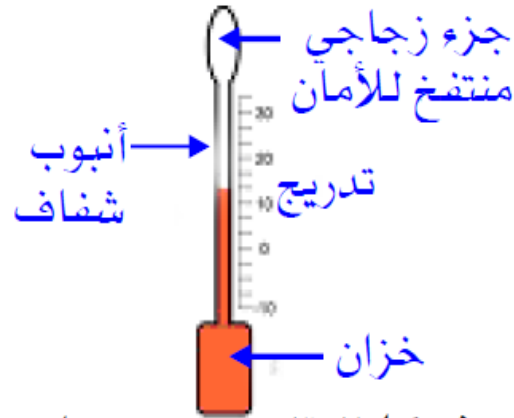
٢- عناصر قياس الكميات الطبيعية ٢-١ عناصر قياس درجة الحرارة:

٢-١-٣ ترمومترات التمدد Dilatation thermometers

هذه الترمومترات تعمل بمبدأ تمدد الأجسام والذي يكون صورة لقيمة درجة الحرارة، حيث نلاحظ أن حجم الجسم يزداد بتصادد درجة الحرارة والعكس صحيح وهذا يعني أن العلاقة عكسية، والذي يمكننا من عمل علاقة عملية. مبدأ تمدد الأجسام ينطبق أيضا على السوائل والغازات وبذلك نجد أن هناك ثلاثة أنواع من هذه الترمومترات.

أ- الترمومترات التي تعمل بمبدأ تمدد سائل:

يتكون من خزان متصل من الأعلى بأنبوب شفاف ذو مساحة مقطع صغيرة وينتهي من الأعلى عند جزء زجاجي منتفخ للأمان. تحت تأثير ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة فإن السائل يتمدد أو يتقلص ونقرأ درجة الحرارة المناسبة على التدرج المبين في الشكل.



شكل ٢-٣: ترمومتر يعمل بمبدأ تمدد سائل

بنتان (Pentane)	200 → -20 °C
ethanol	110 → -100
toluene	90 → -100
creosote - ethanol	10 → -200
زئبق (Mercury)	38 → +650
Mercury - Thallium	58 → +650
Mercury - Gallium	0 → 1 000

❖ السوائل المستخدمة هي المذكورة في الجدول التالي

حسب مجال درجة الحرارة °C ويتم اختيار مادة الأنبوب الشفاف حسب درجة الحرارة القصوى كالتالي:

❖ زجاج Iena حتى 450 °C.

❖ زجاج Supermax حتى 630 °C.

❖ مادة silica نقية ومنصهرة حتى 1000 °C.

ب- الترمومترات التي تعمل بمبدأ تمدد الغاز:

معادلة الغاز المثالي هي: $PV = nRT$

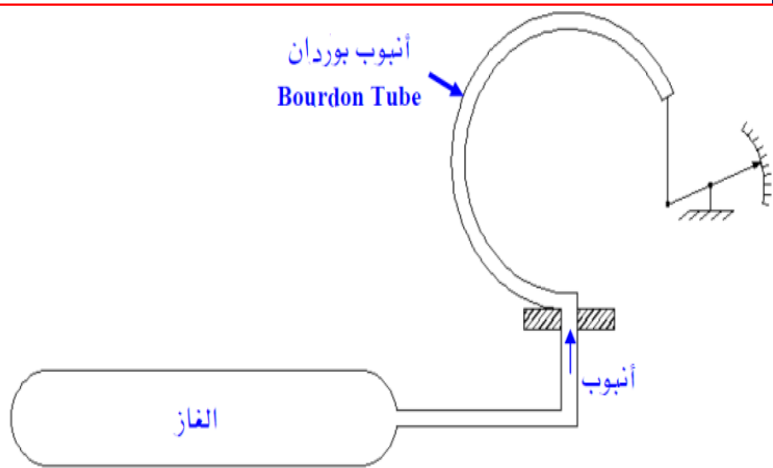
حيث: P: الضغط المطلق، V: حجم الغاز، $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.K^{-1}$ ، T: درجة الحرارة المطلقة °K.

نلاحظ أننا إذا أخذنا كمية غاز في وعاء مغلق: $P = \{RT\} / \{V\}$

حيث R/V ثابت وبذلك يصبح ضغط الغاز له علاقة تناسبية مع درجة الحرارة.

helium	-267,8 °C
hydrogen	-239,9 °C
nitrogen	-147,1 °C
Carbonic gaz	-31,1 °C

❖ الغازات المستخدمة هي المذكورة في الجدول التالي حسب درجة الحرارة التي يصبح فيها الغاز سائلا: من إيجابيات ترمومتر الغاز أنه دقيق حيث إن دقته 1% في المجال الصناعي



شكل ٢-٤: ترمومتر غازي

ج- الترمومترات التي تعمل بمبدأ تمدد الأجسام:

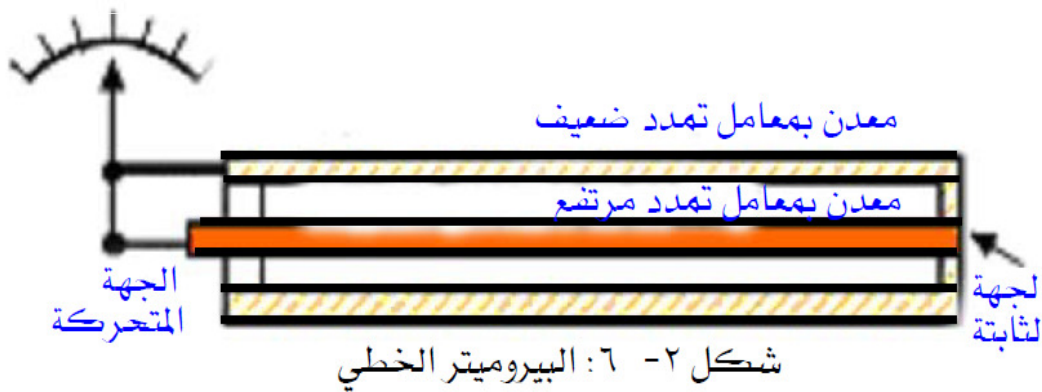
عندما نرفع درجة حرارة قضيب معدني إلى درجة معينة t نلاحظ أنه هناك علاقة بين درجة الحرارة وطول القضيب المعدني L ، وبذلك يصبح التمدد الخطي للمعدن قيمة ترمومترية.

❖ ترمومتر الشريحتين:

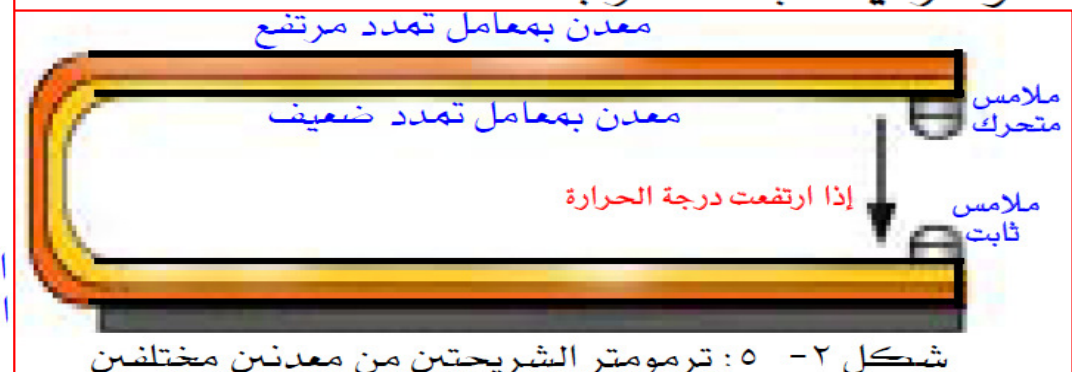
ويتكون من شريحتين من معدنين مختلفين بحيث يكونا معامل التمدد مختلفين اختلافا كبيرا، وهاتين الشريحتين ملحومتين على طول مساحة التلامس، عندما تتغير درجة الحرارة فإن تمددهما سوف يكون مختلفا وبذلك يحصل انحناء الشريحتين.
مثلا: خليط الحديد Iron alloy معدن شديد التمدد بينما معدن Invar قليل التمدد.

❖ البيروميتر الخطي Linear pyrometer (لقياس درجات الحرارة المرتفعة):

عندما ترتفع درجة الحرارة فإن المعدن ذو معامل التمدد المرتفع يتمدد نحو اليسار وبذلك يتغير وضع المؤشر في اتجاه عقارب الساعة.



شكل ٢- ٦: البيروميتر الخطي



شكل ٢- ٥: ترمومتر الشريحتين من معدنين مختلفين

٢- ١- ٤ الترمومترات الكهربائية Electric thermometers:

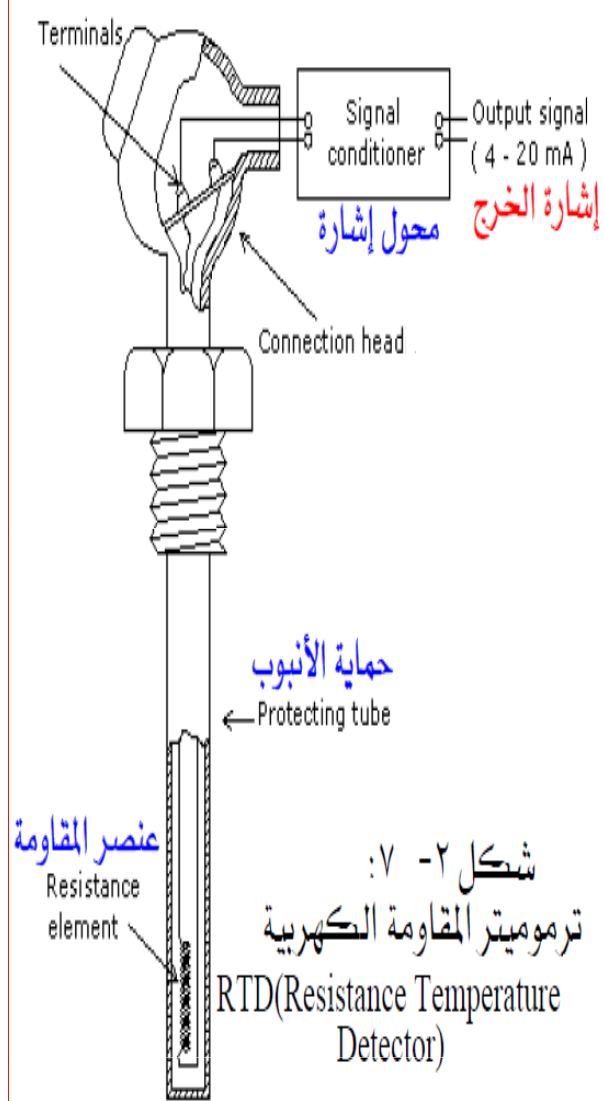
في هذا النوع من الحساسات يمكن قراءة درجة الحرارة بطريقة مباشرة، وهذا قليل الاستخدام في المجال الصناعي. الحساسات الكهربائية التي تتابع الوضع لها إيجابية أكثر من حيث المرونة في الاستخدام (معلومة قابلة للنقل، التخزين) مع المحافظة على دقة كافية للاستخدامات الصناعية وعديد الاستخدامات في المختبرات.

ونجد في المجال الصناعي تركيبة خاصة بهذه الحساسات وهي المبينة في الشكل التالي. وتنقسم الترمومترات الكهربائية إلى قسمين:

- الحساسات الخاملة Passive sensor باستخدام المقاومة أو الثرميستور.

- الحساسات النشطة Active sensor باستخدام الازدواج الحراري.

ترموتر المقاومة الكهربائية أو الثرميستور هذا النوع من الحساسات يتركز حول تأثير درجة الحرارة على المقاومة الكهربائية للموصل. وعليه فإن قياس درجة الحرارة تحول إلى قياس مقاومة كهربية، ونجد نوعين من الترمومترات ترمومتر المقاومة الكهربائية والثرميستور.



أ - ترمومتر المقاومة الكهربائية: يكون الموصل عنصر معدني، ونستطيع أن نوجد علاقة بين المقاومة R ودرجة الحرارة T وهي ممثلة في المعادلة التالية:

$$R = R_0(1 + a_1 T + a_2 T^2)$$

R : المقاومة (الوحدة: ohm) عند درجة حرارة T °C
 R_0 : المقاومة (الوحدة: ohm) عند درجة حرارة 0 °C
 a_1, a_2 : ثابتان، لإيجاد قيمة a_1 و a_2 يلزمنا ثلاثة معادلات، وعليه سوف نستخدم الجدول التالي الذي يبين العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة لمادة البلاتين:

درجة الحرارة (°C)	المقاومة	إشارة الخرج (mA)
0	100.0	4
25	109.9	8
50	119.8	12
75	129.6	16
100	139.3	20

هذه المعادلات تكون كالتالي:

- (أ) عند 100 °C: $100.0 = R_0(1 + 0a_1 + 0^2a_2)$
 (ب) عند 119.8 °C: $119.8 = R_0(1 + 50a_1 + 50^2a_2)$
 (ج) عند 139.3 °C: $139.3 = R_0(1 + 100a_1 + 100^2a_2)$

ثم نستنتج من المعادلة (أ): $R_0 = 100$

ثم نقوم بتعويض $R_0 = 100$ في المعادلتين (ب) و (ج) فيصبحان:

- (د) عند 119.8 °C: $0.198 = 50a_1 + 2500a_2$
 (هـ) عند 139.3 °C: $0.393 = 100a_1 + 10000a_2$
 وأخيرا نستنتج a_1 و a_2 :
 $a_2 = -6 \times 10^{-7}$ $a_1 = 0.00399$

$$R = 100(1 + 0.00399T - 6 \times 10^{-7}T^2)$$

فتصبح العلاقة كالتالي:



شكل ٢-٨: مسبار PT100

وفي ما يلي جدول يبين بعض المعادن المستخدمة لقياس درجة الحرارة ومجال درجة الحرارة لكل نوع من هذه المعادن.

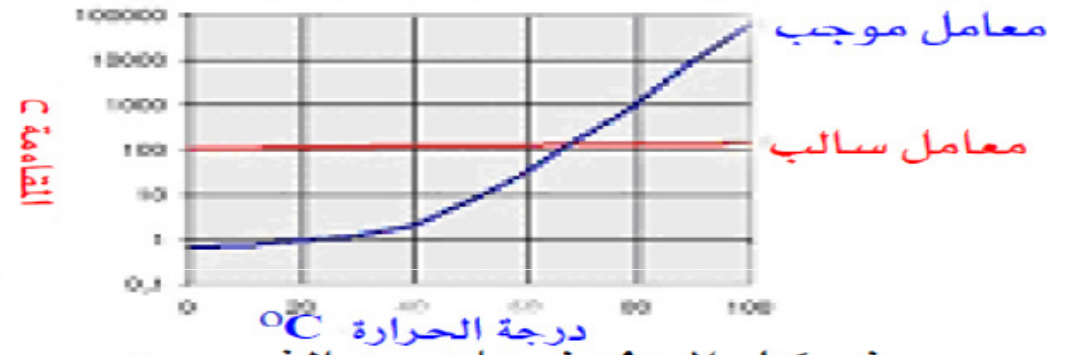
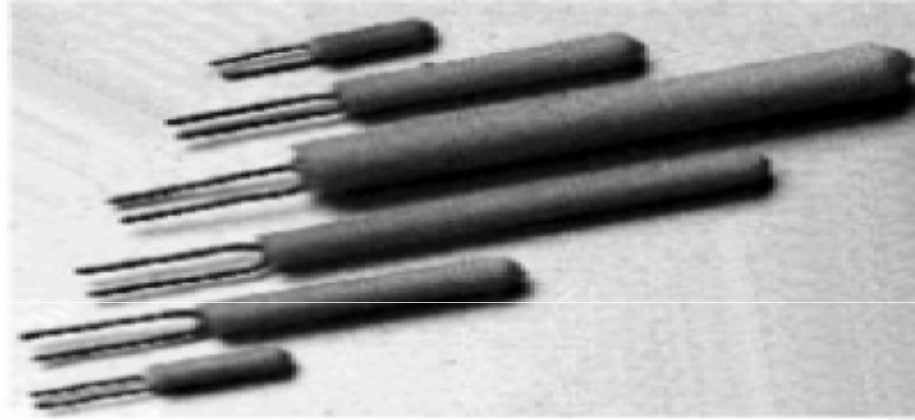
النحاس	-190 → 250
النيكل	-60 → 180
البلاتين	-250 → 1100

البلاتين هو المعدن الأكثر استخداما، في الشكل التالي نبين مسبار PT100

ب- الثرميستور:

الثرميستور هو شبه موصل مصنوع من أكسيد الحديد تم ضغطه إلى مستويات عالية عند درجة حرارة مرتفعة حوالي 1000°C و 150 بار، من مكونات الثرميستور مثلا:

❖ أكسيد الحديد Fe_2O_3 . ❖ ألومينات المغنيسيوم $MgAl_2O_4$ ❖ تيتانيوم القصدير Zn_2TiO_4 . وهناك نوعان من الثرميستور النوع الأول بمعامل حراري سالب والثاني بمعامل حراري موجب وتغير درجة الحرارة في النوعين حسب الرسم البياني التالي:



شكل ٢-٩: نوعان من الثرميستور بمعامل حراري سالب وموجب

شكل ٢-١٠: ثرميستور في شكل أسطوانات

من إيجابيات الثرميستور أن حجمه صغير، حيث يتم صنعه في شكل أسطوانات (القطر = ١ إلى 12 مم، الطول = 5 إلى 50 مم). وأيضاً في شكل أقراص أو خرزات. ومن إيجابيات الثرميستور أيضاً أنه ذو حساسية عالية، ولكن تغير المقاومة مع درجة الحرارة لاخطى.

❖ طريقة قياس درجة الحرارة:

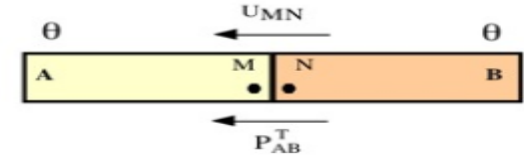
هناك ثلاثة طرق للقياس نلخصها في الجدول التالي:

طريقة القياس	المخطط الكهربى
١- سلكين مع مصدر طاقة	<p>مخطط كهربى: دائرة كهربائية تحتوي على مصدر طاقة (E) متصلة بـ ثرميستور (R) داخل سحابة صفراء تمثل الحرارة. يتم قياس الجهد (V) عبر الثرميستور. تيارات (I) تدور في الدائرة. المقاومة (R) هي مقاومة الثرميستور. درجة الحرارة (T) هي درجة الحرارة.</p> <p>مكان قياس درجة الحرارة</p>
٢- أربع أسلاك مع مصدر طاقة	<p>مخطط كهربى: دائرة كهربائية تحتوي على مصدر طاقة (E) متصلة بـ ثرميستور (R) داخل سحابة صفراء تمثل الحرارة. يتم قياس الجهد (V) عبر الثرميستور. تيارات (I) تدور في الدائرة. المقاومة (R) هي مقاومة الثرميستور. درجة الحرارة (T) هي درجة الحرارة.</p> <p>مكان قياس درجة الحرارة</p>
٣- باستخدام قنطرة هويتستون	<p>مخطط كهربى: دائرة كهربائية تحتوي على مصدر طاقة (E) متصلة بـ ثرميستور (R) داخل سحابة صفراء تمثل الحرارة. يتم قياس الجهد (V) عبر الثرميستور. تيارات (I) تدور في الدائرة. المقاومة (R) هي مقاومة الثرميستور. درجة الحرارة (T) هي درجة الحرارة.</p> <p>مكان قياس درجة الحرارة</p>

ج- الازدواج الحراري:

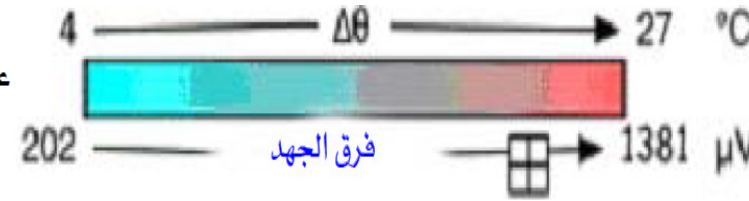
مفهوم الازدواج الحراري في المعادن الموصلة وشبه الموصلة هو ما يحصل تغيرات في الشحنات الحرارية والكهربائية في المعدن. حيث إنه عندما يتلاصق معدنين مختلفين كما هو مبين في الشكل، ويكونان في نفس درجة الحرارة يتولد فرق جهد حسب نوع المعدنين ودرجة الحرارة. فمثلا عند استخدام معدني حديد/نحاس - نيكل نلاحظ تغير فرق الجهد كما هو مبين في الجدول التالي:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	50	101	151	202	253	303	354	405	456
10	507	558	609	660	711	762	814	865	916	968
20	1019	1071	1122	1174	1226	1277	1329	1381	1433	1485



شكل ٢- ١: تلاصق معدنين مختلفين

عند 4°C : باستخدام الجدول فرق الجهد يساوي $202\mu\text{V}$ وعند 27°C : فرق الجهد يساوي $1381\mu\text{V}$ وبذلك يكون فرق الجهد: $(1381-202)$ يعني $1179\mu\text{V}$.



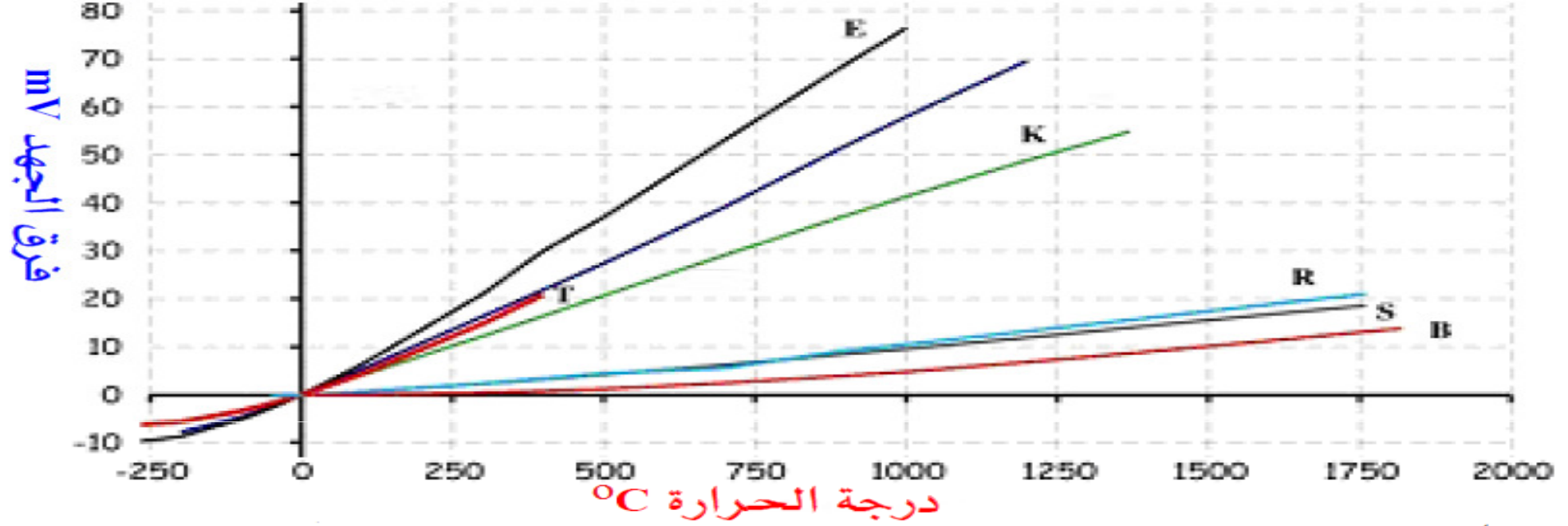
مثال: نريد إيجاد قيمة فرق الجهد للازدواج الحراري عند 4°C و 27°C .

❖ أنواع الازدواج الحراري:

لعمل ازدواج حراري يجب اختيار معدنين يمتازا بدقة وحساسية كبيرة كما يجب أخذ خاصية التآكل بعين الاعتبار (بيئة مؤكسدة أو كبريتية.... الخ) ويبين لنا الجدول التالي خصائص بعض الازدواجات الحرارية الأكثر استخداما:

النوع		مجال درجة الحرارة	%	
E	نيكل-كروم	0°C à 800°C	1,5	استخدام في فراغ
	نحاس- نيكل	-40°C à 900°C		أو بيئة مؤكسدة
R	بلاتين 13% - روديوم	0°C à 1600°C	1	
	بلاتين	0°C à 1700°C		
S	بلاتين 10% - روديوم	0°C à 1550°C	1	مقاوم للأكسدة
	بلاتين	0°C à 1700°C		والتآكل

النوع		مجال درجة الحرارة	%	
K	نيكل- كروم	0°C à 1100°C	1,5	صالح لبيئة مؤكسدة
	نيكل- ألومينيوم	-180°C à 1300°C		صالح لبيئة مؤكسدة
T	نحاس	-185°C à 300°C	0,5	
	نحاس- نيكل	-250°C à 400°C		
J	حديد	20°C à 700°C	1,5	مقاوم لتآكل
	نحاس- نيكل	-180°C à 750°C		



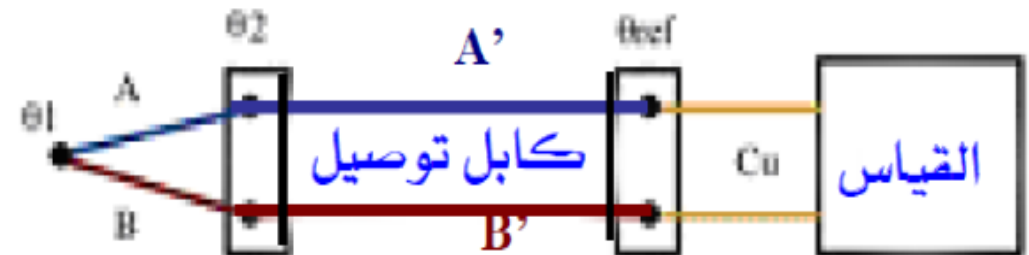
شكل ٢-١: العلاقة بين فرق الجهد ودرجة الحرارة حسب كل نوع ازدواج حراري

❖ كابل التوصيل في الازدواج الحراري:

عندما يكون ثمن معادن الازدواج الحراري مرتفع وتكون المسافة طويلة بين مكان التقاط درجة الحرارة وجهاز الاستقبال كما هو مبين في الشكل التالي، نضطر لاستخدام كابل توصيل من خصائص هذا الكابل $A'B'$ أنه لا يغير فرق الجهد الذي يولده الازدواج الحراري AB ، في الجدول التالي نبين التوصيلات الأكثر استخداماً.

ملاحظة: الازدواج الحراري له قدرة حرارية أقل (زمن استجابة أقل) ودرجة حرارة تشغيل تصل إلى 2700°C يعني أكبر من حساسات المقاومة الكهربائية، كما يمكن استخدام الازدواج الحراري في درجات الحرارة المنخفضة.

سالب	موجب	سالب	موجب
Constantan	نحاس	Constantan T	نحاس
Constantan	حديد	Constantan J	حديد
ألومينيوم	كروم	Constantan V	نحاس
بلاتين	بلاتين روديوم - 10 %	Cupronickel S	نحاس



شكل ٢-١٣: كابل توصيل الازدواج الحراري

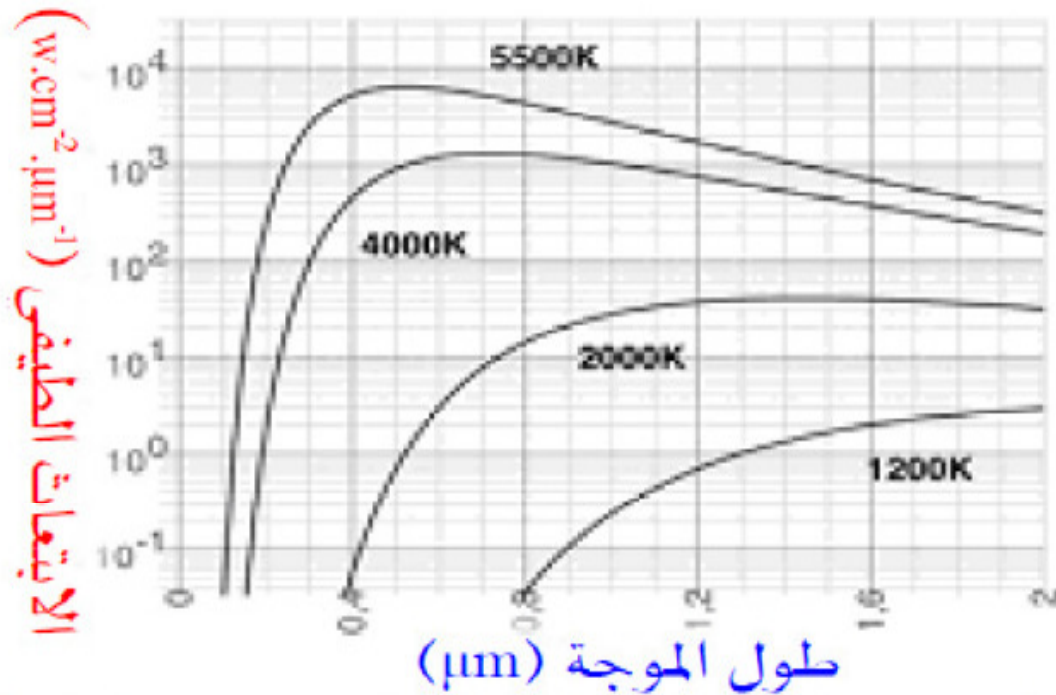
د- البيروميتر الضوئي:

البيروميتر الضوئي هو طريقة لقياس درجة الحرارة تستند إلى العلاقة بين درجة الحرارة الجسم والإشعاع الحراري (تحت الحمراء أو المرئي) الذي يصدره الجسم. الحساسات المستخدمة إذن هي حساسات ضوئية، ضوئية - كهربية أو حرارية.

أهمية البيروميتر الضوئي تكمن في قياس درجة الحرارة بدون ملامسة الأشياء. وهي طريقة جيدة في الظروف التي تمنعنا من استخدام الحساسات الحرارية الكلاسيكية:

- درجة حرارة مرتفعة جدا (أكبر من 2000°C) - قياس على مسافات كبيرة.
- بيئة صعبة. - جسم متحرك. - تحديد نقاط الحرارة.

الرسم البياني التالي يبين الابتعاث الطيفي Spectral emittance حسب طول الموجة لدرجات حرارة مختلفة .



شكل ٢-١ أ: البيروميتر الضوئي شكل ٢-١ ب: الابتعاث الطيفي حسب طول الموجة

نلاحظ في الرسم البياني تزايد الابتعاث مع درجة الحرارة مع انتقال الطيف من الأشعة تحت الحمراء إلى الإشعاع المرئي (من $0.4\mu\text{m}$ إلى $0.8\mu\text{m}$) كلما زادت درجة الحرارة.

❖ تحت 500°C الإشعاع الحراري يكون بالكامل في مجال الأشعة تحت الحمراء.

❖ في حالة الشمس (5000°K) الطول الأقصى يتناسب مع حساسية العين.

هناك ثلاثة أنواع من البيروميترات:

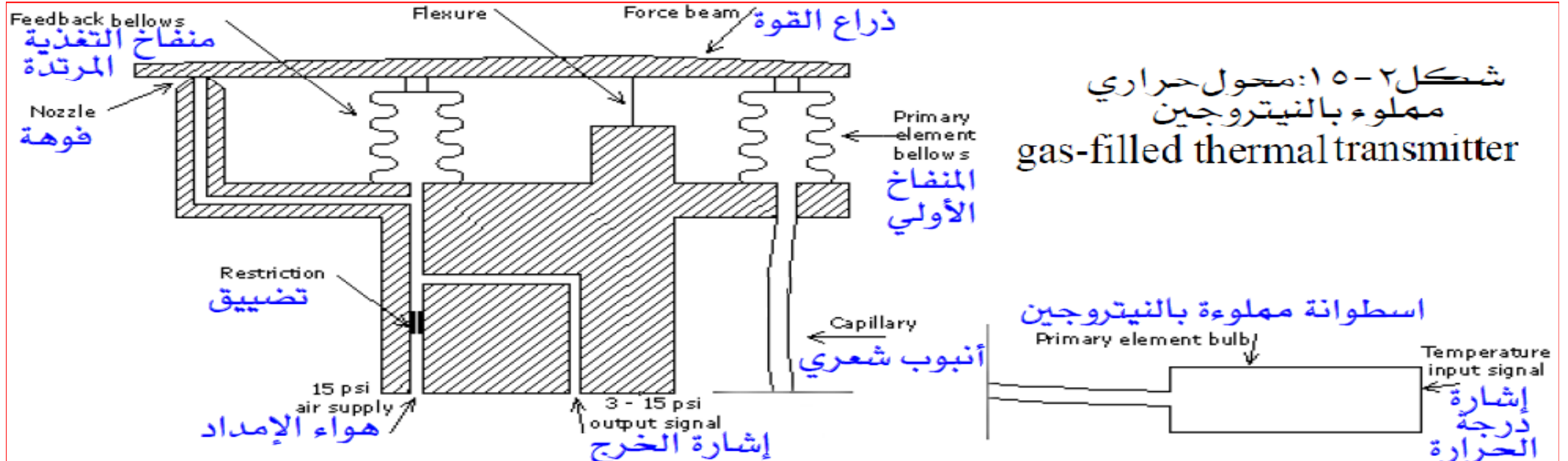
- **بيروميتر أحادي اللون monochromatic pyrometer** ($\lambda=0.65\mu m$) والجدول التالي يبين لنا حدود استخدام الحساسات الضوئية - الكهربائية في البيروميترات الضوئية:

0 °C	مقاومة ضوئية In Sb	100 °C	مقاومة ضوئية Pb S	600 °C	ديود ضوئي Si
-50 °C	مقاومة ضوئية Hg Cd Te	50 °C	مقاومة ضوئية Pb Se	200 °C	ديود ضوئي Ge

- **بيروميتر ثنائي اللون bichromatic pyrometer** ، هذا البيروميتر يمكن اعتباره بيروميترين أحادي اللون يستخدم مجالين متقاربين من الإشعاع الحراري متمركز على طولين للموجة λ_1 و λ_2 .
- بيروميتر لقياس الطاقة: مجموعة طيف الإشعاع الحراري للهدف يتم التقاطها عن طريق حساس له نطاق واسع وهو من النوع الحراري. عمليا تتم معايرة البيروميتر في ظروف الاستخدام عن طريق ازدواج حراري إذا أمكن ذلك.

هـ- المقياس الحراري المملوء بالنيتروجين Gas-filled thermal system :

هذا المقياس (شكل ٢ - ١٥) يستطيع أن يقيس درجات حرارة في نطاق $268^{\circ}C$ - إلى $760^{\circ}C$. وهو يستخدم أسطوانة مملوءة بالنيتروجين، أو البخار غاطسة في السائل الذي نريد قياس درجة حرارته، كعنصر حس درجة حرارة عند طرفه الأسفل. وهناك أنبوب شعري يوصل الأسطوانة بالمنفاخ الذي يحول الضغط إلى قوة على الناحية اليمنى بينما في الجهة اليسرى يوجد منفاخ التغذية المرتدة الذي يولد توازن مع القوة. منفاخ التغذية المرتدة تم توصيلة بتضييق عند خط الإمداد وفوهة وقلاب من الناحية الأخرى. تم معايرة تضييق الإمداد بحيث يكون ضغط المنفاخ 3psi عندما تكون المسافة بين الفوهة والقلاب في أقصى حد لها. ضغط المنفاخ سوف يتزايد حتى 15psi عندما تكون الفوهة مغلقة بالكامل.



٢- عناصر قياس الضغط:

٢-١- تعريفات:

أ- تعريف الضغط: الضغط هو القوة المطبقة على مساحة معينة: $P=F/A$

F: القوة (Newton) ، A: المساحة (m^2) ، P: الضغط (N/m^2)

ويُقاس الضغط بعدة وحدات: $1N/m^2=1Pascal$ بحيث أن:

$$1.02kgf/cm^2 = 10^6 barye = 14.5psi = 751.9 \text{ مم زئبق} = 10.194 = 1bar = 100000Pa$$

ب- تعريف أنواع الضغوط:

- الضغط المطلق: هو الضغط الحقيقي باعتبار الضغط الجوي
- الضغط الجوي: معدل الضغط الجوي في مستوى البحر عند درجة حرارة $158C$ تقريبا $1013mbar$ يمكن أن تتغير بتغير درجة حرارة الجو والارتفاع.
- الضغط النسبي: هو فرق الضغط بالنسبة للضغط الجوي، وهو الأكثر استخداما بما أن أغلب الحساسات تعمل في الضغط الجوي. لقياس ضغط مطلق يجب عمل فراغ شديد في غرفة.
- الضغط التبايني: هو الفرق بين ضغطين ، أحدهما يكون من المرجع. الضغط التبايني يمكن أن يأخذ قيم سالبة.
- الفراغ: يناسب نظريا ضغط مطلق مساو للصفر. عمليا لا يمكن الحصول عليه ولا تعديده، عندما نقرب منه نقول أنه فراغ شديد.
- ضغط التشغيل: هي القوة لكل وحدة مساحة مطبقة على مساحة عن طريق مائع يسري في أنبوب.

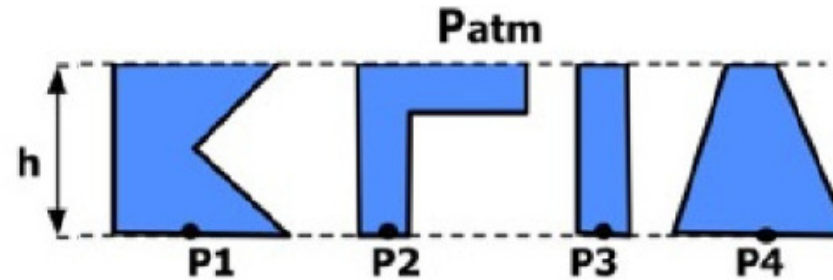
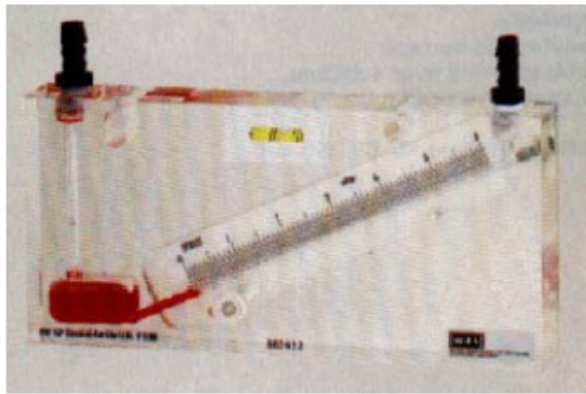
ج- ضغط الموائع (سائل وغاز):

- الضغط الهيدروستاتيكي:

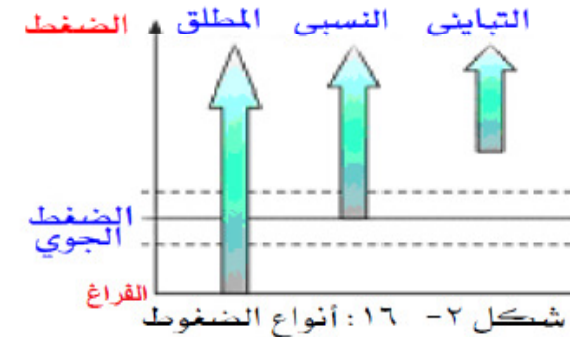
داخل الأنبوب يتولد ضغط بسبب وزن كتلة السائل على مساحة مقطع الأنبوب ، بالنسبة للأربعة الخزانات المبينة في الشكل التالي فإن الضغط في قاع كل خزان متساو وقيمته:

$$P = \rho . g . h$$

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4$$



شكل ٢- ١٧: الضغط الهيدروستاتيكي



شكل ٢- ١٦: أنواع الضغوط

- ضغط بسبب القوى الخارجية:

أي مائع يتحرك بسرعة V يولد ضغط إضافي: $P = 1/2 . \rho . v^2$

- الضغط الكلي: $P_t = \rho . g . h + 1/2 . \rho . v^2$

P_t هي قيمة ضغط مائع (غير قابل للانضغاط) في حالة حركة أفقية وقيمتها ثابتة في أي نقطة. وهذا هو قانون برنولي.

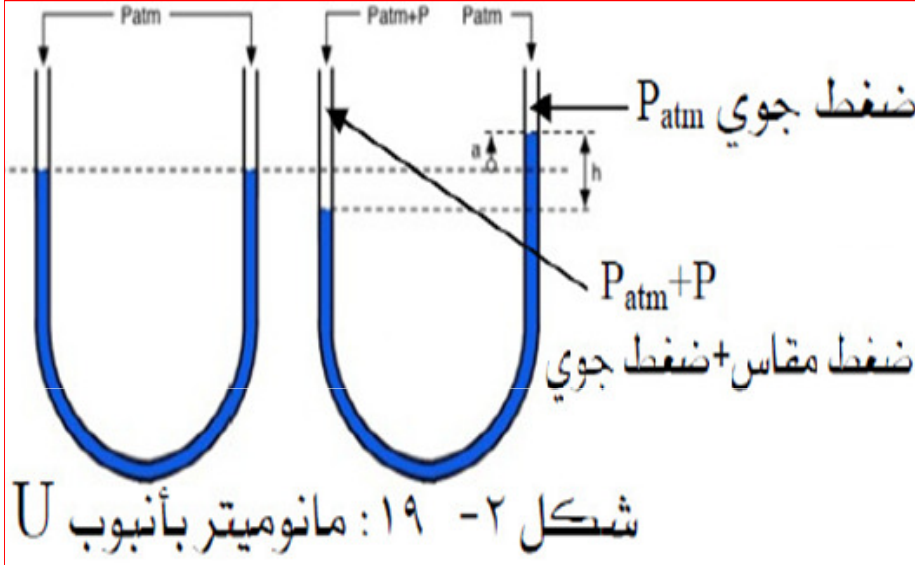
شكل ٢- ١٨: المانومتر الهيدروستاتيكي

٣-٢-٢ المانومتر الهيدروستاتيكي:

كما هو مبين في الشكل السابق فإن ارتفاع السائل يعطي قياس ضغط.، الحساسية تكون ذات أهمية كلما كانت كثافة السائل أقل.

❖ مانومتر بأنبوب U:

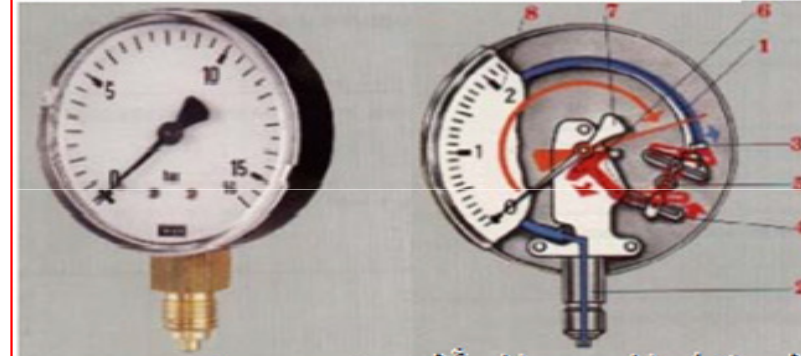
- فرق الارتفاع h للسائل المانومتري بين ناحيتين للنفس الأنبوب U ، تعطي قياس فرق الضغط P بين حافتي الأنبوب. هذا المانومتر يعطي إشارة في الناحية اليمنى للشكل.
- من إيجابيات وسلبيات الأنبوب المانومتري الذي يغطي من 0 إلى 5.10^5 Pa بالنسبة لقياس ضغط الغاز فقط:
- الإيجابيات: دقة جيدة (يمكن أن تتعدى 0.1)، استقرار جيد، حساس بسيط وغير مكلف.
 - السلبيات: حجمه كبير وقابل للتكسير، يتأثر بالحرارة والاهتزاز، يجب معايرة الأنبوب بشكل دقيق، عدم استخدام السوائل اللزجة والأنابيب الخشنة، هذا الجهاز لا يحول الضغط المقاس إلى إشارة تناظرية. لاستغلالها في عملية التحكم.
 - مجالات الاستخدام: قياس الضغوطات المطلقة، النسبية والتباينية حتى 2 بار، عمليا ارتفاع السائل لا يتعدى 2 متر، يستخدم أساسا في المختبرات وكجهاز معايرة.



٢-٢-٢ مانومتر الأجسام المرنة (المبين المرن):

أ- مانومتر أنبوب بوردين Bourdon tube:

يتكون هذا المانومتر من:



شكل ٢-٢٠: أنبوب بوردين

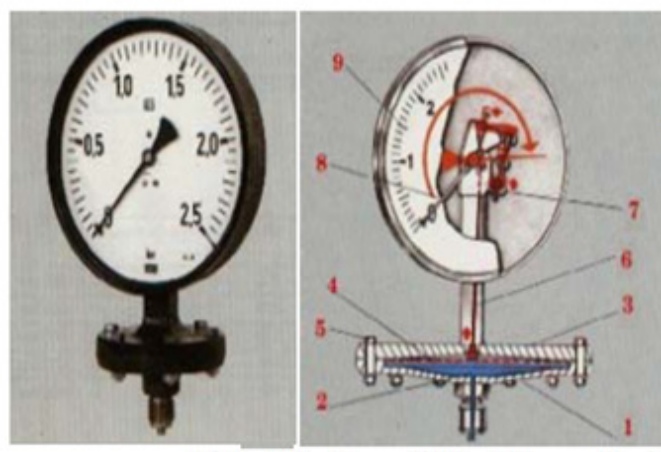
- ١- عنصر محرك، أنبوب بوردين
- ٢- حامل الأنبوب
- ٣- غطاء الأنبوب
- ٤- جزء مسنن
- ٥- ذراع
- ٦- قرص
- ٧- عقرب
- ٨- مؤشر

تم لحام أنبوب بوردين مع حامل الأنبوب الذي يكون قطعة كاملة مع الوصلة. عن طريق ثقب في الوصلة يهر السائل الذي نريد قياس ضغطه داخل الأنبوب. الجهة المتحركة في نهاية الأنبوب تتحرك بتغير الضغط (تأثير بوردين). هذه الإزاحة لها علاقة تناسبية مع الضغط المقاس، ثم يتم تحويله عن طريق الحركة إلى العقرب ومن ثم قراءة قيمة الضغط على المؤشر.

مانوميترات بوردين تستخدم لقياس الضغط السالب والموجب للسوائل والغازات بشرط أن تكون اللزوجة منخفضة. مجال القياس يمتد من 0.6 بار إلى 4 كيلوبار.

ب- المانومتر الغشائي:

تم مسك الغشاء بين الحامل السفلي والعلوي، عن طريق ثقب في الوصلة يصل المائع الذي سيتم قياس ضغطه إلى غرفة الضغط تحت الغشاء، يتمدد الغشاء تحت تأثير الضغط. إزاحة الغشاء لها علاقة تناسبية مع الضغط المقاس ويتم تحويلها عن طريق حركة العقرب لقراءتها على المؤشر. المانومترات الغشائية تستخدم لقياس ضغوط منخفضة موجبة أو سالبة من 16 ميليبار إلى 40 بار.

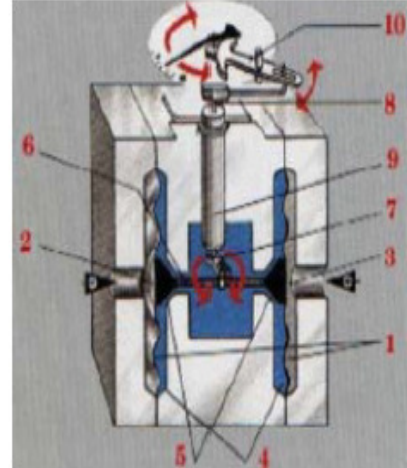


- ١- حامل سفلي
- ٢- غرفة الضغط
- ٣- حامل علوي
- ٤- الغشاء
- ٥- برغي
- ٦- ترس
- ٧- عقرب
- ٨- مؤشر

شكل ٢- ٢١: المانومتر الغشائي

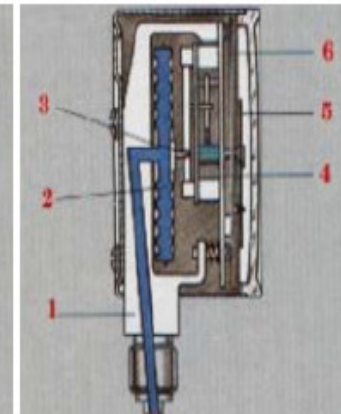
ج- مانومتر الكبسولة: (شكل ٢- ٢٢)

الكبسولة تم تركيبها مباشرة على الوصلة باستخدام أنبوب معدني. عن طريق ثقب في الوصلة يمر السائل داخل الكبسولة. وتحت تأثير الضغط ينتفخ جزأي الكبسولة، هذه الإزاحة لها علاقة تناسبية مع الضغط المقاس وتتحول إلى حركة على مستوى العقرب ويمكن قراءة الضغط على المؤشر. يستخدم مانومتر الكبسولة لقياس الضغوط المنخفضة والمنخفضة جداً، موجبة أو سالبة وأساساً الغازات. مجال القياس يكون من 2.5 مليبار إلى 600 مليبار.



- ١- عنصر محرك، الغشاء
- ٢- غرفة قياس سالبة
- ٣- غرفة قياس موجبة
- ٤- غرفة قياس
- ٥- صمام ثنائي
- ٦- ذراع
- ٧- ذراع نقل
- ٨- عمود إدارة
- ٩- أنبوب عزم
- ١٠- حركة

شكل ٢- ٢٣: مانومتر الضغط التفاضلي



- ١- حامل عنصر المحرك
- ٢- عنصر المحرك، الكبسولة
- ٣- ذراع
- ٤- حركة
- ٥- عقرب
- ٦- مؤشر

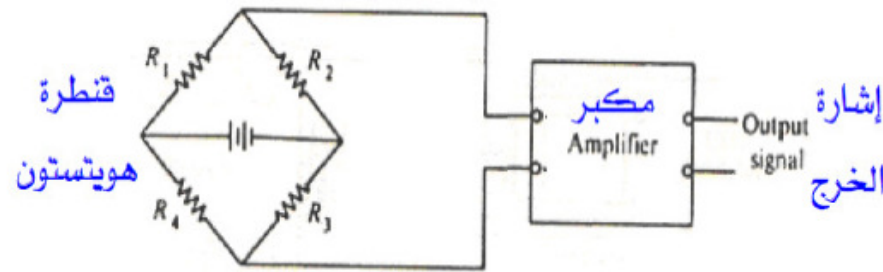
شكل ٢- ٢٢: مانومتر الكبسولة

د- مانومتر الضغط التفاضلي:

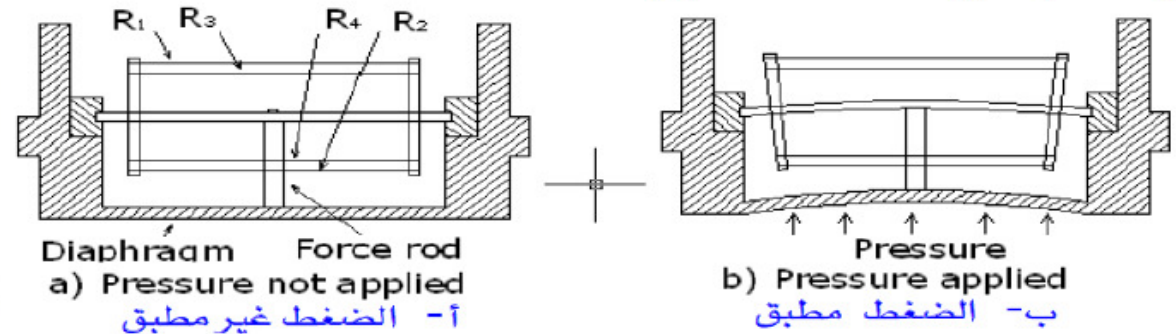
يتكون هذا المانومتر من العناصر التالية: شكل ٢- ٢٣
تم تركيب الكبسولة في صندوق محكم الإغلاق مقاوم للضغط، وهو تحت ضغط داخلي وخارجي. فرق الضغط بين الناحيتين يولد حركة للكبسولة. هذه الإزاحة لها علاقة تناسبية مع الضغط المقاس وحركة العقرب تجعلنا نقرأ قيمة الضغط التبايني على المؤشر.

هـ - عنصر حس مقياس الانفعال :

يتم لصق مقاومات R_1 و R_2 و R_3 و R_4 على الجسم المرن وعند تطبيق ضغط معين تتمدد هذه المقاومات التي تمثل قنطرة هويتستون وبذلك يتولد عدم توازن في القنطرة مما يولد فرق جهد عند الخرج يتناسب مع الضغط المطبق.

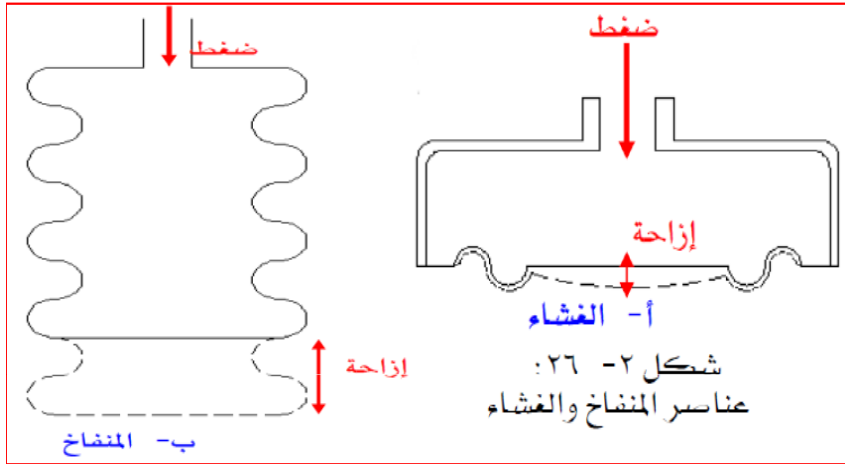


شكل ٢-٢٤: عنصر حس لقياس الضغط باستعمال مقياس الانفعال

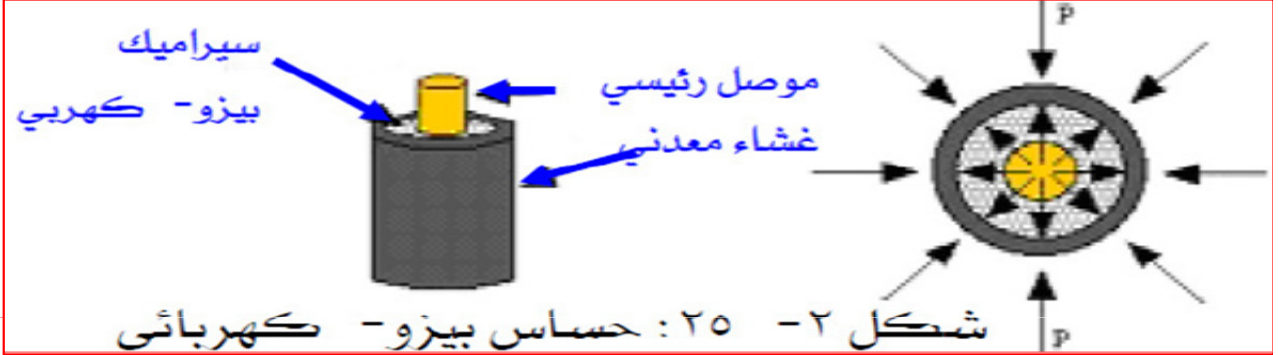


و - عنصر حس البيزو - كهربى :

التركيبات البيزو - كهربية تمكنا من التحويل المباشر للإجهاد إلى شحنة كهربية. هناك تركيبات بيـزو - كهربية في شكل كابل متحد المحور Coaxial cable تمكنا من قياس التغيرات الضعيفة للضغط لمراقبة الازدحام المروري مثلاً.



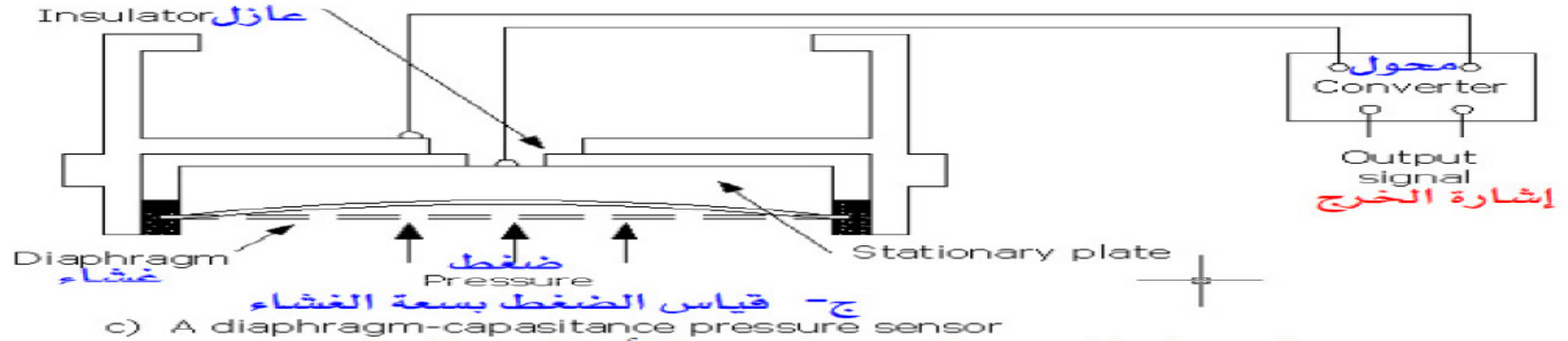
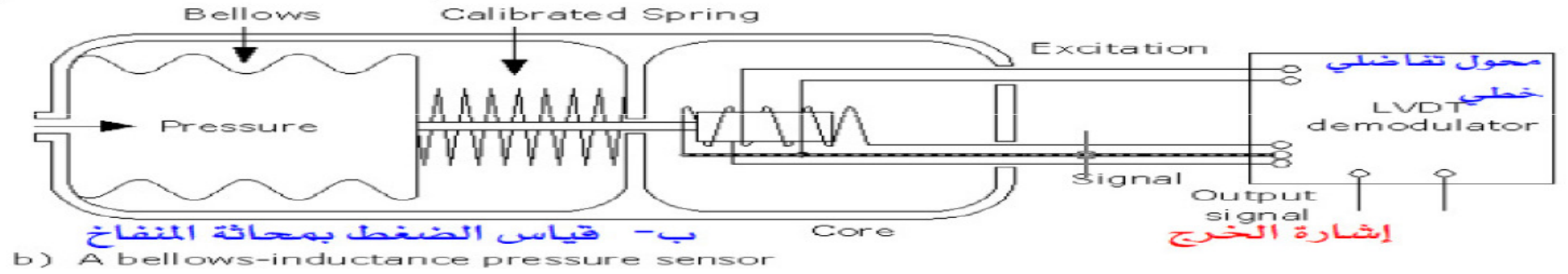
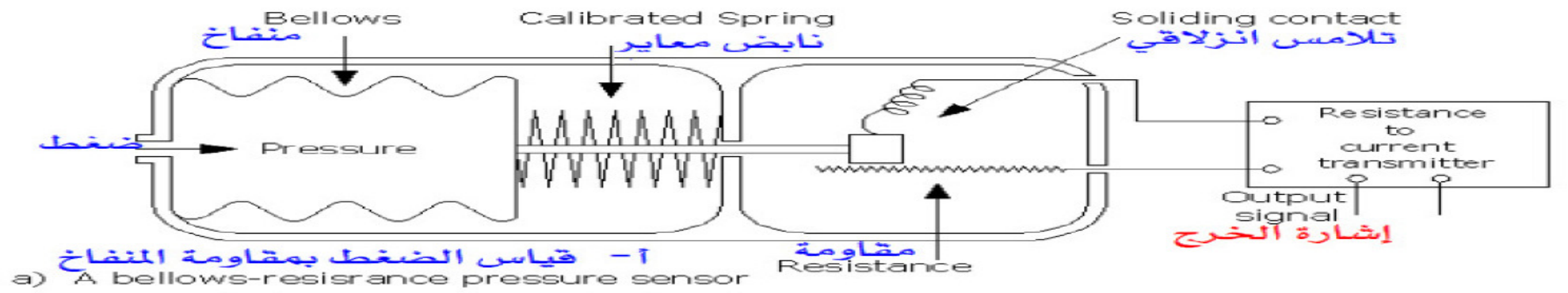
شكل ٢-٢٦: عناصر المنفاخ والغشاء



شكل ٢-٢٥: حساس بيـزو - كهربائى

ي - عنصر حس الأغشية المرنة :

يتمثل هذا الحساس في عنصر أولي وعنصر ثانوي ومحول إشارة. العنصر الأولي يحول قياس الضغط إلى إشارة ضغط مقاسة متناسبة مع الإزاحة. العنصر الثانوي يحول الإزاحة إلى تغير في العنصر الكهربى. محول الإشارة يحول التغير في العنصر الكهربى إلى إشارة مناسبة لاستخدام المنظم، الكمبيوتر أو عنصر التأشير. الشكل التالي يبين العناصر الأولية المستخدمة كعناصر مرنة لتحويل الضغط وهما المنفاخ والغشاء. المنفاخ هو عبارة عن أسطوانة معدنية بجوانب متموجة، هذا الشكل يجعل العنصر يتمدد حسب قيمة الضغط الداخلي ضد نابض معاير. إزاحة المنفاخ تتناسب مع الضغط المقاس. الغشاء يكون مسطح أو مهوج. هذا الغشاء يسمح بحركة لموازنة الضغط ضد النابض المعاير أو محول القوة.



شكل ٢ - ٢٧ : عناصر الأغشية المرنة

العنصر الثانوي يحول إزاحة العنصر الأولي إلى إشارة قابلة للاستخدام. هذا التحويل يكتمل باستخدام الإزاحة لتعديل إحدى الثلاثة عناصر الدائرة الكهربائية: المقاومة، السعة أو المحثة الكهربائية، ثم ينتج إشارة كهربائية على أساس قيمة متغير العنصر. هناك أمثلة للثلاث أنواع من العناصر الثانوية مبينة في الشكل السابق (أ) ونبين فيه متغير مقاومة الضغط. هناك نابض معاير يزاح بالضغط الذي يتناسب مع ضغط المنفاخ. التلامس الانزلاقي يسبب تغير في المقاومة بين تلامسين من الرصاص إلى المحول. المحول في لفة واحدة ينتج إشارة كهربائية على أساس قيمة المقاومة.

عنصر حس السعة يبين في الشكل السابق (ب) أن المحول التفاضلي الخطي ينتج إشارة فرق جهد خطية تتناسب مع إزاحة القلب انطلاقاً من الوضع المركزي.

عنصر حس المحثة يبين في الشكل السابق (ج) الغشاء والسطح الثابت من شريحتي المكثف. إزاحة الغشاء تنتج مسافة بين الشريحتين مما يزيد من قيمة المكثف. الإشارة المحولة تنتج إشارة كهربائية تتناسب مع قيمة المكثف.

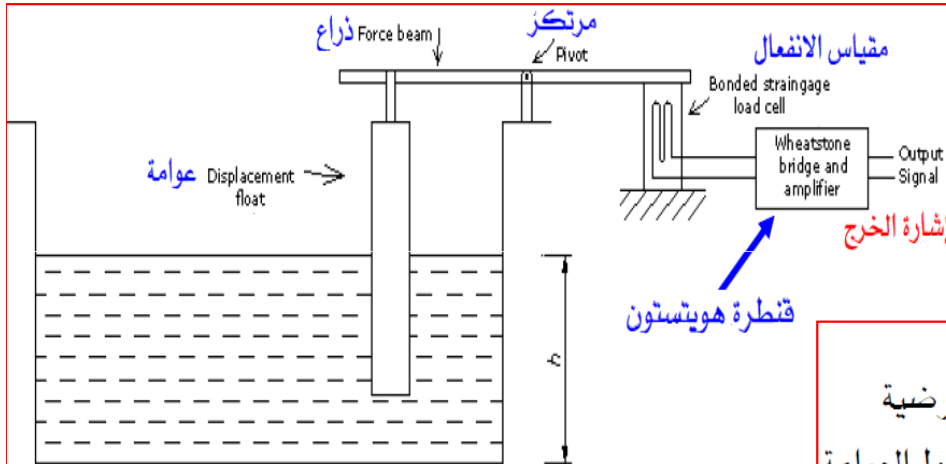
٢- ٣ عناصر قياس مستوى سائل:

قياس مستوى سائل في خزان تجده بكثرة في العمليات الصناعية ، وهناك طرق قياس مباشرة وغير مباشرة. الطرق المباشرة تحتوي على خزانات شفافة وعوامات مع مؤشرات خارجية ، بينما الطرق غير المباشرة تزودنا بإشارات تحكم. عدة طرق قياس غير مباشرة تستخدم قوانين الهيدروستاتيكا والتي تستند إلى القانون الذي يعطي العلاقة بين الضغط ومستوى السائل كالتالي:

$$P = \rho g h$$

حيث: P : الضغط الإستاتي (Pascal) ، ρ : كثافة السائل (kg/m^3) ، h : مستوى السائل بالمتر (m) ، g : تسارع الجاذبية الأرضية (m/sec^2) ($g=9.81\text{m/sec}^2$)

٢- ٣- ١ قياس مستوى سائل في خزان باستخدام العوامة:



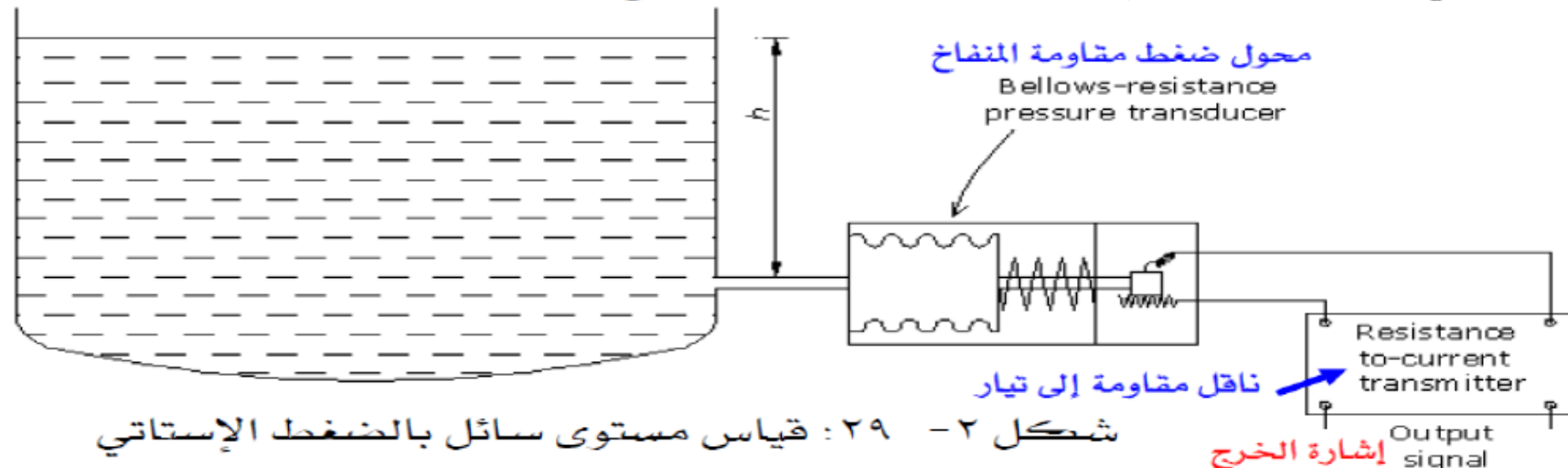
نلاحظ كما هو مبين في الشكل التالي أنه كلما ازداد مستوى السائل في الخزان ازدادت القوة التي تدفع العوامة إلى أعلى مما يولد عزمًا يحاول إدارة الذراع حول المرتكز وينتج عن ذلك قوة ضغط على مستوى الجسم الذي يحمل مقياس الانفعال مما ينتج عنه عدم توازن لقنطرة هويتستون وبذلك تكون هناك إشارة كهربائية عند الخرج تتناسب مع مستوى السائل في الخزان.

القوة المسلطة على الذراع بفعل العوامة ، معطاة بالمعادلة التالية: $f = Mg - \rho g h \cdot A$

حيث: f : القوة التي تدفع العوامة إلى الأعلى (N) ، M : كتلة العوامة ، g : تسارع الجاذبية الأرضية ($g=9.81\text{m/sec}^2$) ، ρ : كثافة السائل (kg/m^3) ، A : مساحة مقطع العوامة (m^2) ، h : طول العوامة تحت السائل بالمتر (m).

٢- ٣- ٢ قياس مستوى سائل بالضغط الإستاتي:

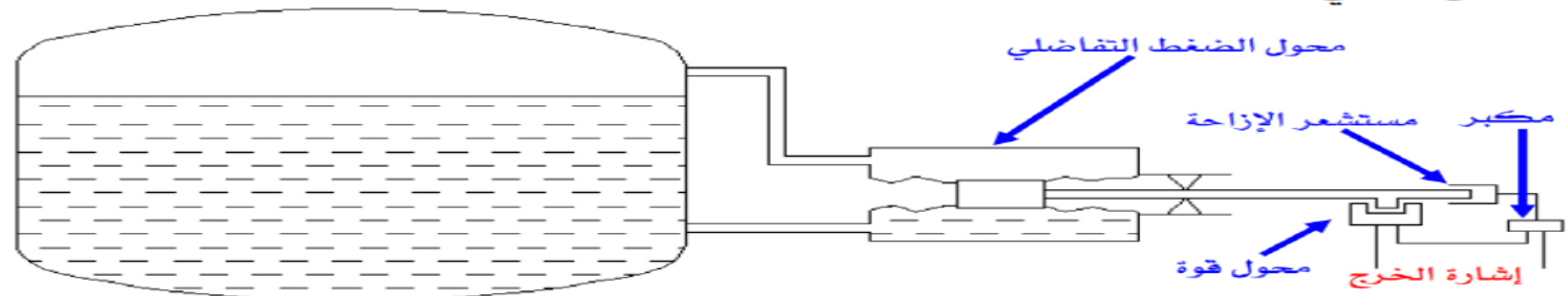
العلاقة بين الضغط والمستوى هي: $P = \rho \cdot g \cdot h$. إذا كان أعلى الخزان مفتوح للضغط الجوي يمكن استخدام عنصر حس ضغط لقياس الضغط في نقطة معينة. هناك عدة طرق لقياس الضغط إحداها مبين في الشكل التالي ، حيث نستخدم محول ضغط مقاومة المنفاخ و ناقل لقياس المستوى.



شكل ٢- ٢٩: قياس مستوى سائل بالضغط الإستاتي

خرج الناقل من 4 إلى 20mA يقابله نطاق مستوى من 0% إلى 100%.

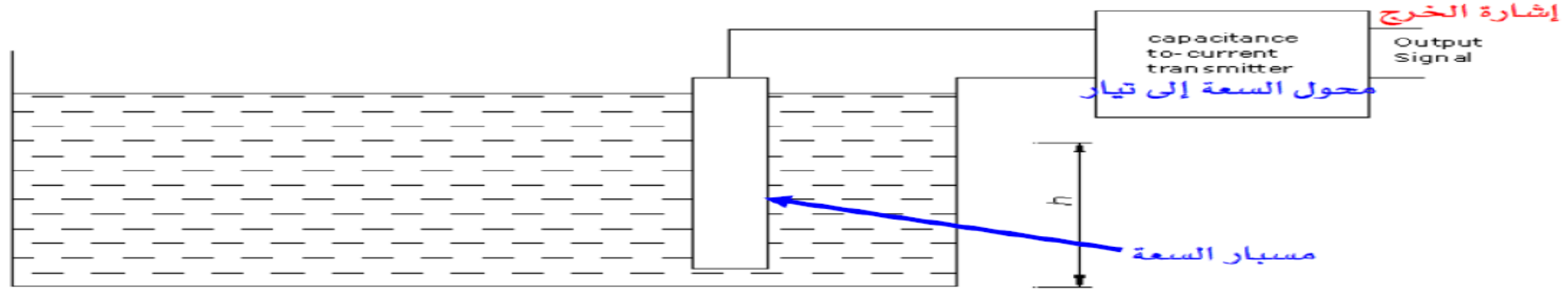
إذا كان أعلى الخزان مغلق يزداد الضغط الاستاتي الموجد داخل الخزان عند سطح السائل. ارتفاع السائل فوق نقطة القياس تكون له علاقة تناسبية مع فرق الضغط بين الضغط الاستاتي والضغط عند سطح السائل. وعليه فمن المستحسن في هذه الحالة استخدام مقياس الضغط التفاضلي كما هو مبين في الشكل التالي.



شكل ٢-٣٠: قياس مستوى سائل في خزان مغلق باستخدام مقياس الضغط التفاضلي

٢-٣-٣ قياس مستوى سائل باستخدام مسبار السعة capacitance probe

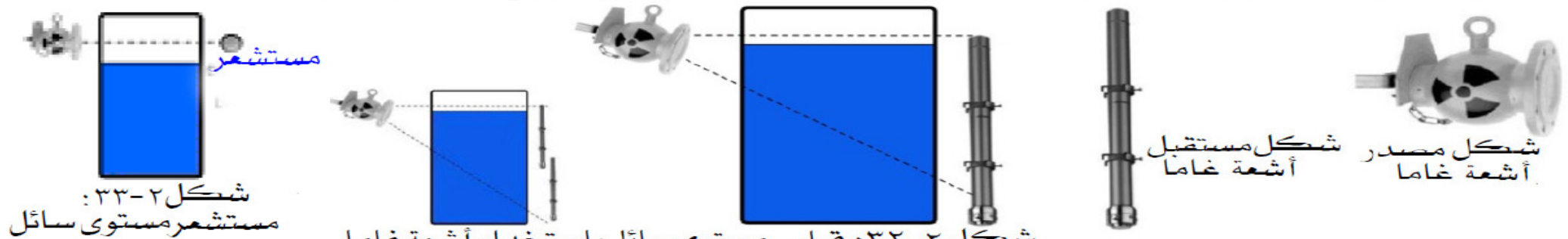
الشكل التالي يبين مسبار السعة لقياس مستوى سائل في خزان، المعدن العازل يكون من جانب المكثف وجدار الخزان يكون من الجانب الآخر. تتغير سعة المكثف حسب تغير مستوى السائل المحيط بالمسبار.



شكل ٢-٣١: قياس مستوى سائل باستخدام مسبار السعة (حتى 70 متر)

٢-٣-٤ قياس مستوى سائل باستخدام أشعة غاما Gamma radiation

يتم وضع المصدر والمستقبل في الخارج في ناحيتي الخزان كما هو مبين في الشكل، وهذه الوضعية تناسب السوائل المسببة للتآكل أو عند وجود ضغوط عالية أو درجات حرارة مرتفعة.



شكل ٢-٣٢: قياس مستوى سائل باستخدام أشعة غاما

المصدر يصدر أشعة غاما . المستشعر عبارة عن غرفة تأيين أو عدة أنابيب Geiger-Muller. القياس دقيق وبدون ملامسة ولا يتأثر بأي عوامل مثل درجة الحرارة، الضغط، اللزوجة، التآكل. المصدر له شعاع ذات زاوية تغطي الارتفاع الكلي للخزان. في الارتفاعات الكبيرة يمكن استخدام أكثر من مستقبل. لاستشعار مستوى سائل نضع المصدر والمستشعر في نفس المستوى عند المستوى المرغوب.

٢-٤ عناصر قياس معدل التدفق:

معدل تدفق مائع متغير هام في المنظومات الصناعية، وقياسه يبين لنا كمية المائع المستخدمة في المنظومة، لذلك يمكن استخدامه كمقياس تحكم للحفاظ على مردودية المنظومة.

معدل التدفق الحجمي (m^3/sec): $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ حيث: ΔV : فرق الحجم، Δt : فرق الزمن

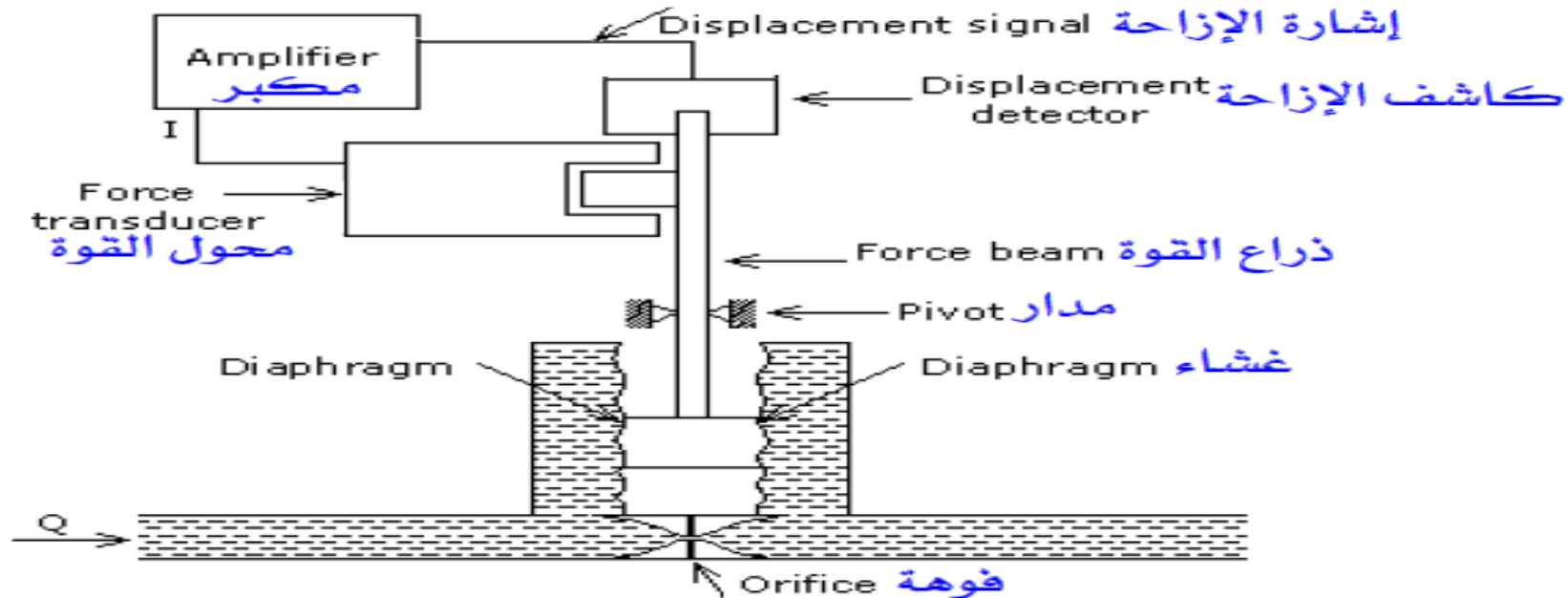
أيضا: $Q = A.v$ حيث: A : مساحة مقطع الأنبوب، v : سرعة السريان
معدل التدفق الكتلي (kg/sec): $Q_m = \rho.Q$ حيث: ρ : كثافة المائع

٢-٤-١ عنصر حس معدل التدفق ذي الفوهة:

هذا العنصر يعمل على أساس قياس معدل التدفق باستخدام الفوهة Orifice في أنبوب تسبب نقصا محليا في الضغط ΔP يمكن قياسه وحساب معدل التدفق منه، ويسمى حساس معدل التدفق ذي الفوهة Orifice flow meter.

القانون الفيزيائي الذي يربط فرق الضغط بمعدل التدفق هو: $Q = K.\sqrt{\Delta P}$

هذه الفوهة وضعت داخل الأنبوب كما هو مبين في الشكل التالي، بحيث كل السائل يمر عبر هذا الثقب، الذي يقوم بتحويله إلى ضغط على مستوى واجهتي غشاء وحدة ناقل الضغط التفاضلي. فرق الضغط المولد يتحول إلى قوة عند نهاية ذراع القوة، وهناك محول قوة في النهاية الثانية للذراع ينتج قوة توازن مساوية لها. كاشف الإزاحة يحس بأي حركة تنتج عن عدم توازن في القوى المسلطة على الذراع. المضخم يحول هذه الإزاحة إلى تعديل في تيار الدخل لمحول القوة. قوة التوازن الناتجة عن محول القوة تتناسب مع ضغط الأنبوب وتيار الدخل. وبذلك فإن التيار يتناسب مع فرق الضغط عند الفوهة. نفس هذا التيار يستخدم كإشارة خرج لناقل الضغط التفاضلي.



A typical differential pressure flow transducer

شكل ٢-٣٤: عنصر حس معدل التدفق ذي الفوهة