القياس والتحكم في العمليات الكيميائية (نظري)

أجهزة قياس معدل التدفق ومستوى السائل

الجدارة :

يجب أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل وبنسبة ١٠٠٪.

الهدف العام :

معرفة مبادئ قياس معدل التدفق الحجمي للموائع ومستوى السائل وكذلك أنواع الأجهزة ومزاياها وعيوبها.

مقدمة الفصل :

أصبحت عملية القياس والتحكم في العمليات الصناعية من الشروط المهمة للحصول على إنتاج ممتاز ومقاييس التدفق تستخدم بشكل كبير في عمليات مزج المواد الكيميائية. تستخدم الطرق التالية بكثرة في أجهزة قياس معدل التدفق الحجمي للغازات وللسوائل : استخدام آلية خانقة، ويحسب معدل التدفق عن طريق الضغط الفرقي قبل وبعد الخنق مثل مقياس الفنشوري، كذلك يمكن قياس سرعة التدفق، ويحسب معدل التدفق عن طريق السرعة ومساحة المقطع ومثال على ذلك مقياس بيتوت، يوجد مقياس التدفق على أساس تغيير المساحة، وبحساب التدفق عن طريق تغيير مساحة مقطع الخانق للمحافظة على ضغط فرقي ثابت دائما، وهو يستخدم لقياس التدفقات الصغير، أو في حالة الموائع ذات اللزوجة العالية نسبيا، وهو لا يصلح للأنظمة التحكم الآلي لأنه يعطي قيمة القياس المرئي فقط. كذلك توجد أنواع أخرى من مقاييس معدل التدفق مثل الاجهزة التي تستخدم المحاثة الكهرومغناطيسية الناتجة من تدفق المائع في مجال كهربي. توجد أنواع كثيرة من أجهزة قياس مستوى السائل وفي معظم الحالات يكون الاحتياج إلى معرفة مستوى السائل يكون تقريبيا. مقاييس مستوى السائل ذو العوامة تعتمد على وجود عوامة تطفو فوق سطح السائل ويقاس مستوى السائل بناءا على موضع العوامة. توجد أنواع أخرى من أجهزة قياس مستوى السائل مثل مبين مستوي السائل بالضغط الفرقي، ومبين مستوى السائل فق الصوتي، ومبين مستوى السائل بشعاع إشعاعي.

الأهداف السلوكية :

يجب أن يكون الطالب قادرا على معرفة أنواع ومزايا وعيوب الأنظمة الآتية لقياس معدل السريان ومستوى السائل :

- مقياس الروتامتر.
- مقياس الفنشوري.
- مقياس بيتوت.
- مقياس النومتر ذو السلك الساخن.
- أنظمة العوامات.

المهام المشمولة : D2, D5 D1,

متطلبات الجدارة :

يجب على الطالب أن يكون قد اجتاز حقيبة : أسس الهندسة الكيميائية.

الوقت المتوقع للتدريب : ٣ ساعات نظري

٤- ١ أجهزة قياس التدفق الحجمي (Instrumentation of Flow)

تستخدم الطرق التالية بكثرة في استخدام أجهزة قياس التدفق:

٤- ١- ١ مقياس التدفق بالضغط الفرقي (التفاضلي) Differential Pressure Flowmeter

في حالة توفر خانق، في جزء من خط الأنابيب، ذي فتحة (orifice)، أو فوهة (nozzle)، أو أنبوبة فنشوري (venturi) كما في الشكل (٤- ١)، يتغير الجذر التربيعي للفرق في الضغط قبله وبعده بالتناسب مع معدل ضغط التدفق. ويتميز مقياس التدفق بالضغط الفرقى بأنه ذو تركيب بسيط ودقة عالية، وهى تستخدم بكثرة حيث أنها ذات فقد قليل في الضغط ولكنها تحتاج إلي مكان كبير. يمكن حساب التدفق Q (م^3/ث) لسائل كما يلي، باستعمال نظرية ومعادلة برنولي:

$$Q = \alpha A \sqrt{(2g(p_a-p_b)/\gamma}$$

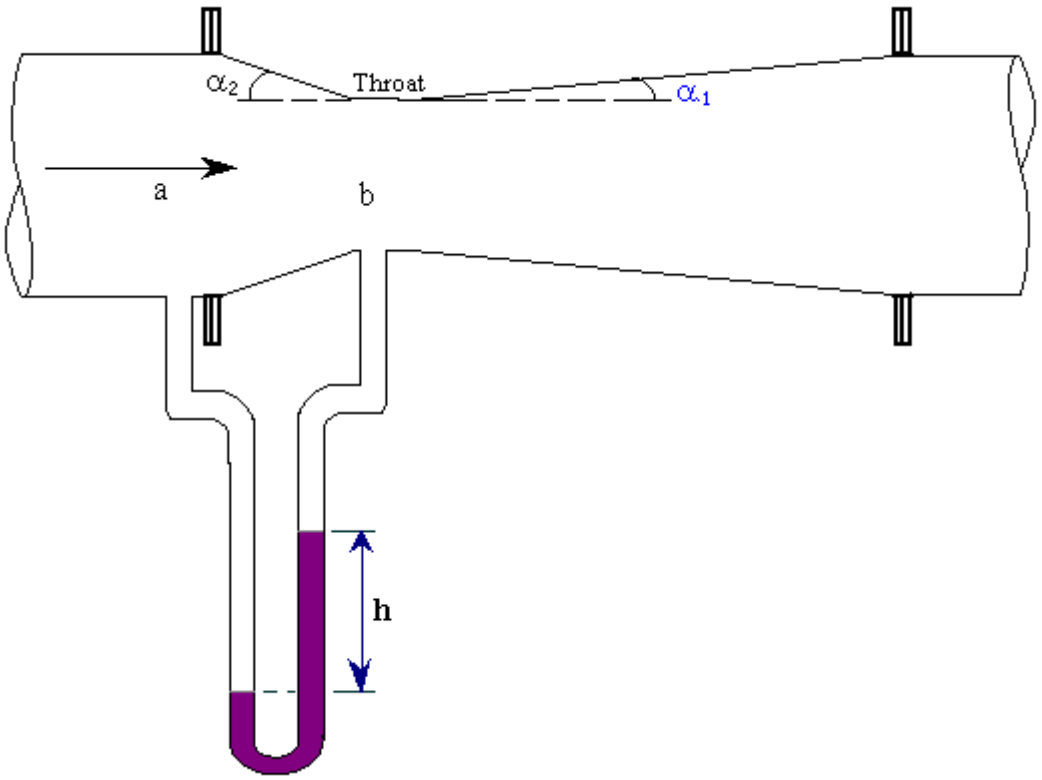
حيث α : معامل التدفق

A : مساحة مقطع أقل جزء في الخانق (م^2)

g : عجلة الجاذبية (م/ث^2)

γ : الوزن النوعي للسائل (كجم قوة/م^3)

(p_a-p_b) : الضغط الفرقى (كجم قوة/م^2)



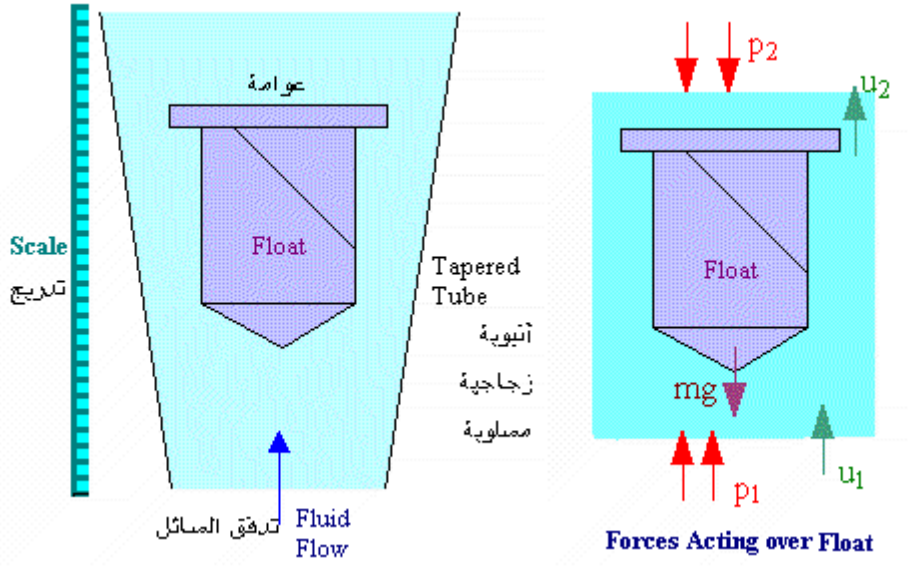
شكل (٤- ١) أنبوبة فنشوري

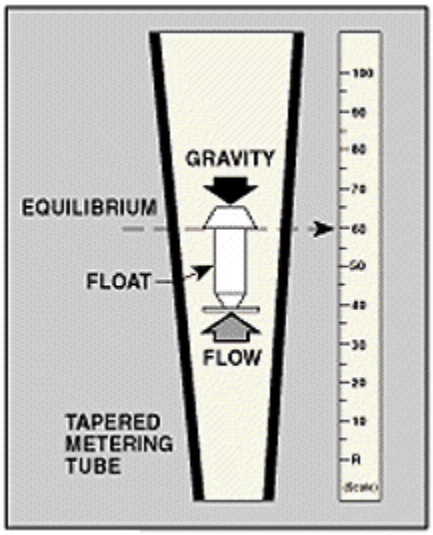
٤- ١- ٢ مقياس المساحة المتغيّرة (Variable Area Flowmeter (Rotameter)

في مقاييس فرق الضغط المتغيّر، منطقة الانقباض أو الفوهة ثابتة فأن الانخفاض في الضغط معتمدة على نسبة التدفّق. أما في مقياس المساحة المتغيّرة، الانخفاض في الضغط يكون ثابت ومعدل التدفّق يتوقف على منطقة الانقباض.

المقياس المعروف باسم الروتامترrotameter شكل (٤- ٢) يتضمّن أنبوب زجاجي على شكل مخروط يكون قطره الأصغر في القاع. يحتوي الأنبوب على عوامة (float) تتحرك بحرية والتي تستند إلى توقّف في قاعدة الأنبوب. مبدأ عمله يعتمد على أنه عند مرور السائل أو الغاز عبر الأنبوبة المخروطية ترتفع العوامة إلى أعلى وإلى أسفل حتى لحظة حصول توازن القوى المؤثرة عليها، موقعهاّ يشير إلى معدل التدفّق. معدل التدفّق يمكن أن يقرأ من المقياس المجاور، الذي يحفر في أغلب الأحيان على الأنبوب الزجاجي. إنّ العوامة تثبّت في أغلب الأحيان بالأخاديد الحلزونية (مشقبيات مائلة) قطعت فيها، تؤدي إلى دوران العوامة

حول محورها حتى تبقى في وضعها المركزي داخل الأنبوب، ومن هنا يأتي أسم المقياس. هذا المقياس يمكن اعتباره كمقياس فوهة بفتحة متغيّرة. إن تركيب مقياس التدفق على أساس تغيير المساحة بسيط، ولا يلزم معه وجود أنابيب مستقيمة قبل أو بعد بوابة خروج الضغط الفرقي. ويمكن تركيبه مباشرة على خط أنابيب، ويستخدم لقياس التدفقات الصغيرة، التي لا يمكن قياسها بواسطة مقياس التدفق بالضغط الفرقي أو في حالة الموائع ذات درجة اللزوجة العالية نسبيا. يوجد أنواع تستخدم محولات إشارة ليكون عنصرا من عناصر التحكم الآلي أو لقراءة القياس من بعد. دقة قياس هذه الأجهزة الرخيصة هي ±3%، ولكن يوجد منها أنواع تصل دقة قياسها إلي ±0.2%.





ينساب السائل من أسفل إلى أعلى في الأنبوبة الزجاجية المسلوبة، فتبدأ العوامة في التحرك إلى أعلى،

وتتوقف العوامة في وضع موازنة تام بين وزنها (وزنها ناقص الطفوية) والضغط الفرقي أعلى وأسفل العوامة. وبذلك يتم الحصول على كمية التدفق. ويسمى مقياس التدفق على أساس تغير المساحة بمقياس العضو الدوار.
شكل (٤- ٢) مقياس التدفق على أساس تغير المساحة من نوع العوامة

الهبوط في الضغط الذي ينتج من تحويل طاقة الضغط إلى طاقة الحركة (معادلة بارنوللي) وكذلك الناتج من الفقد الناتج من الاحتكاك والذي يتضمن في معامل خروج المائع C_D.

$$\Delta p/(\rho g) = u_2^2/(2g) - u_1^2/(2g) \qquad (1)$$

معادلة استمرار التدفق (Continuity equation):

$$A_1u_1 = A_2u_2 \qquad (2)$$

حيث:

A_1 = مساحة مقطع الأنبوب.

A_2 = المساحة الحلقية التي يمر من خلالها المائع حول العوامة.

من المعادلة (١) و (٢) نجد سرعة تدفق المائع خلال المساحة الحلقية:

$$u_2 = \frac{1}{\sqrt{1-(A_2/A_1)^2}}\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

فرق الضغط قبل وبعد العوامة

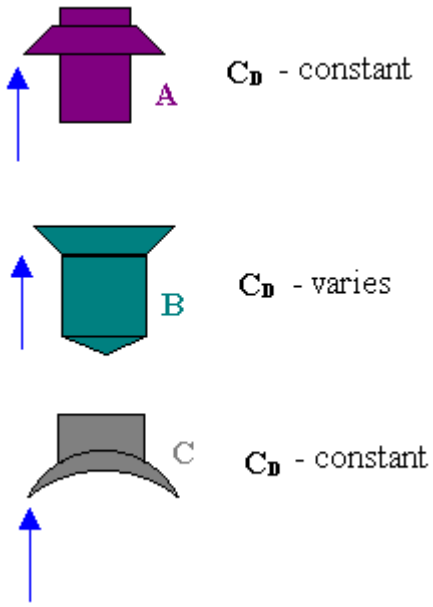
$$\Delta p = V_f(\rho_f - \rho)g/A_f$$

حيث V_f هو حجم العوامة، ρ_f هي كثافة العوامة، و A_f هي مساحة أكبر مقطع للعوامة في المستوى الأفقي. بالتعويض نجد:

$$Q = C_D A_2 \sqrt{\frac{2V_f(\rho_f - \rho)g}{\rho A_f (1 - (A_2 / A_1)^2)}}$$

حيث معامل خروج المائع C_D يعتمد عل شكل العوامة كما هو موضح في شكل (٤- ٣)، وكذلك يعتمد علي رقم رينولدز (Reynolds Number -Re) المعتمدة على السرعة خلال الحلقة والقطر الهيدروليكي المتوسط للحلقة. وعليه:

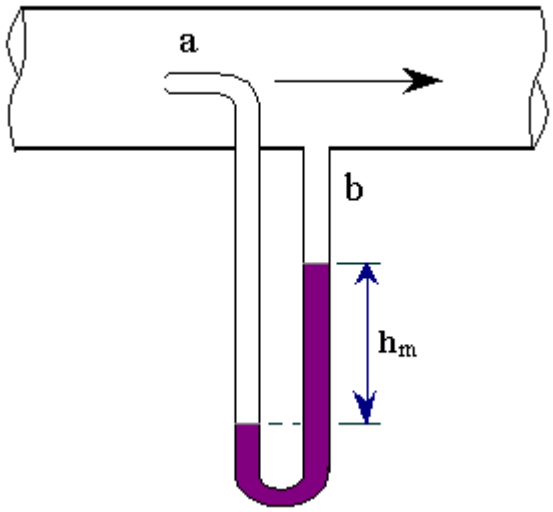
- لنفس الجهاز ونفس المائع فإن جميع العناصر في الطرف الأيمن من المعادلة ثابتة ما عدا ارتفاع العوامة. أي أن معدل التدفق يتناسب خطيا مباشرة مع ارتفاع العوامة.
- نظرا لأن كثافة السوائل مرتفعة لذلك يجب استخدام عوامات ذات كثافة عالية (مثل الحديد الذي لا يصدأ) ويكون جسم العوامة أيضا مصمت، أما في حالة الغازات فإن كثافتها منخفضة لذلك تستخدم عوامات مصنوعة من الألمونيوم مثلا ويكون جسم العوامة أيضا مفرغا.



شكل (٤- ٣) أشكال العوامات الشائعة الاستخدام ومعامل خروج المائع

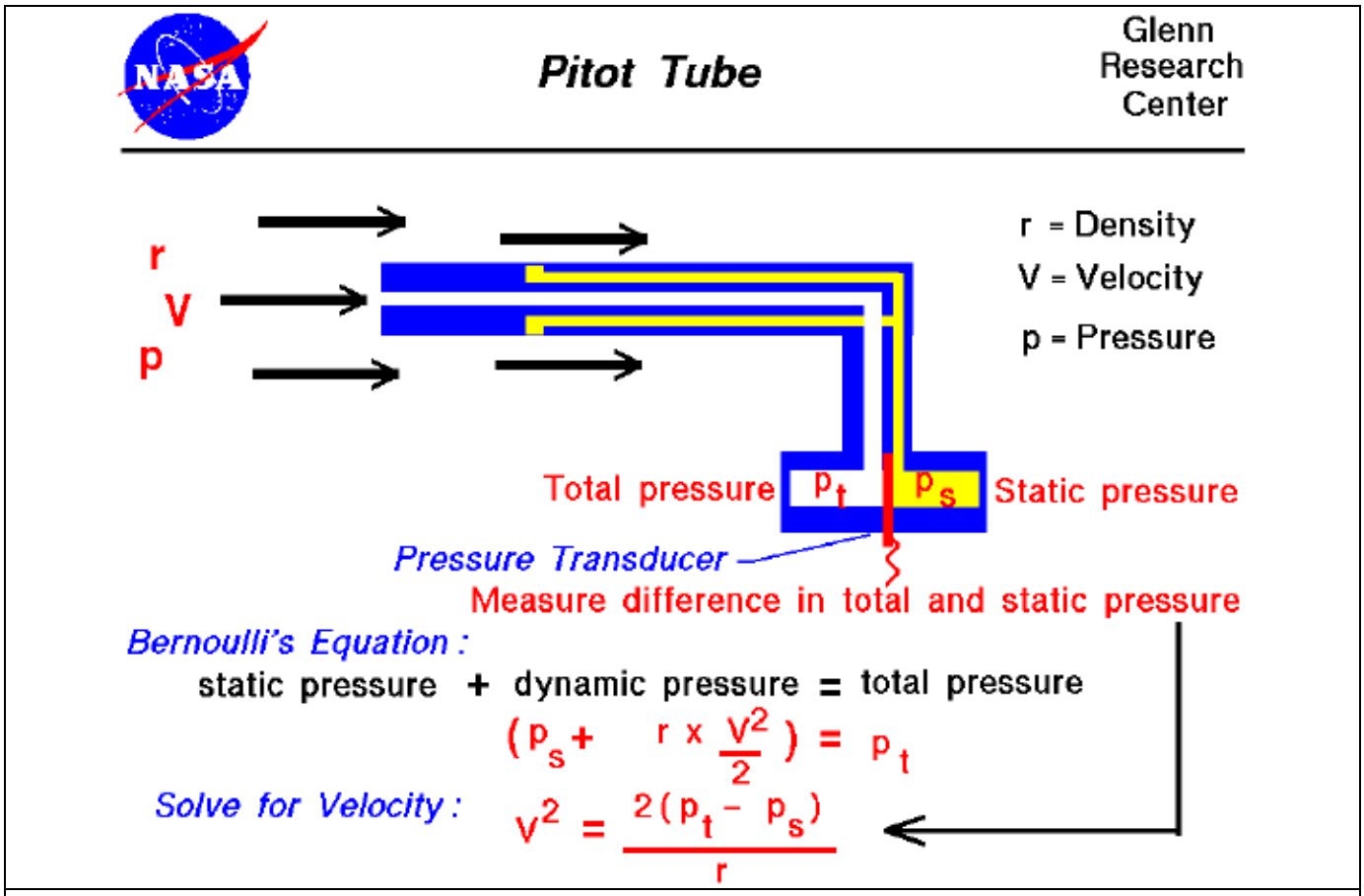
٤- ١- ٣ أنبوب البيتوت (Pitot Tupe)

إنّ أنبوب pitot أداةُ لقيَاْس السرعةِ المحليّةِ على طول اتجاه التدفقِ عند نقطة واحدة. كما في الشكل (٤- ٤)



شكل (٤- ٤) أنبوب بيتوت

يبين هذا الشكل (٤- ٥) رسم تخطيطي لأنبوب pitot مستعملة كعدّادات سرعة.



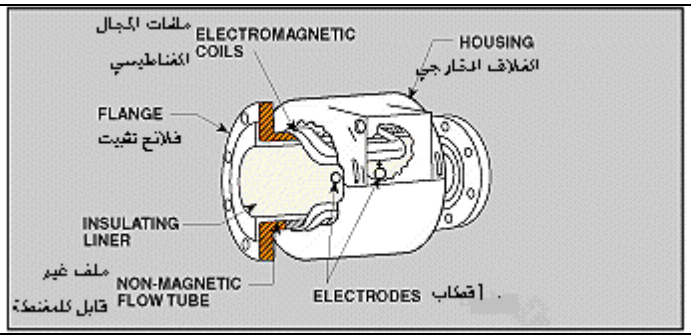
شكل (٤- ٥) أنبوب بيتوت لقياس سرعات الموائع

٤- ١- ٤مقياس التدفق الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Flowmeter)

مقاييس معدل التدفق الكهرومغناطيسية يمكنها أن تستخدم لجميع السوائل الموصلة للكهرباء. المكوّنات الرئيسية أنبوب التدفّق (عنصر أساسي)، يبينه شكل (٤- ٦). يركب أنبوب التدفّق مباشرة في الأنبوب الذي يتدفق فيه السائل المراد قياس معدل تدفقه. هبوط الضغط فيه يساوى طول مكافئ من الأنبوب لأن ليس هناك أجزاء أو عوائق مؤثّرة إلى التدفّق. الفولتميتر يمكن أن يربط مباشرة إلى أنبوب التدفّق أو يمكن أن يركب عن بعد ويوصل إليه بسلك محمي من التشويشات الكهربية، أو يكون الجهاز عنصر من عناصر نظام تحكم آلي.

شكل (٤- ٦) مقياس معدل التدفق من النوع الكهرومغناطيسي وهو وزنه خفيف ومجمع في وحدة واحدة ويمكن تركيبه بالأنابيب بواسطة فلانجات تثبيت وليس له أجزاء متحركة ولا يعوق التدفق.

يشتغل flowmeters الكهرومغناطيسي على قانون فاراداي للحثّ الكهرومغناطيسي الذي يصرّح بأنّ فرق جهد كهربي يتولد عندما يتحرّك موصل كهربي خلال حقل مغناطيسي. يعمل السائل كموصل والمجال المغناطيسي يتولد عن طريق الملفات المنشّطة خارج أنبوب التدفّق، كما في شكل (٤- ٧). وعليه فعندما يتدفق السائل في المجال المغناطيسي تنتج قوة دافعة كهربية (تتناسب مع السرعة المتوسطة للسائل) . وعلى ذلك، في حالة أنبوبة ذات قطر ثابت، يكون كمية فرق الجهد الكهربي الناتج يتناسب مباشرة مع معدل التدفّق حيث أن قطبان كهربائيان يركبان في حائط الأنبوب يلقطان فرق الجهد المتولد.

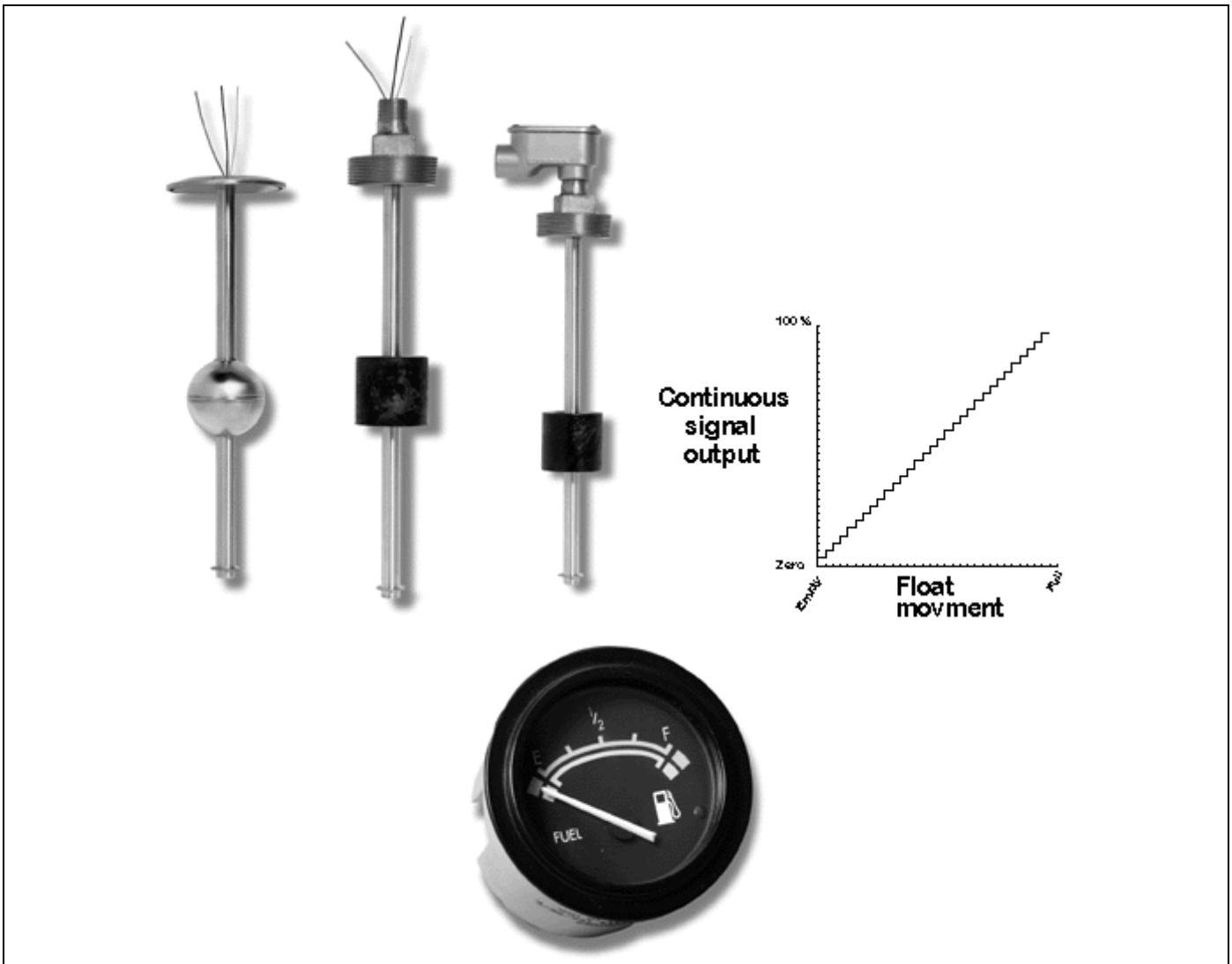


شكل (٤- ٧) المكونات الرئيسية لمقياس تدفق السوائل الكهرومغناطيسي.

٤- ٢ أجهزة قياس مستوى السائل (Instrumentation of Liquid Level)

٤- ٢- ١ مبين مستوى السائل ذو العوامة (Float Liquid Level Indicator)

يستخدم عوامة تطفو على سطح السائل ويقاس مستوى السائل بناءا على موضع العوامة. شكل (٤- ٨) يوضح بعض أشكال المجسات الملحقة مع نظام العوامة لتحديد مستوى سائل بصورة مستمرة .

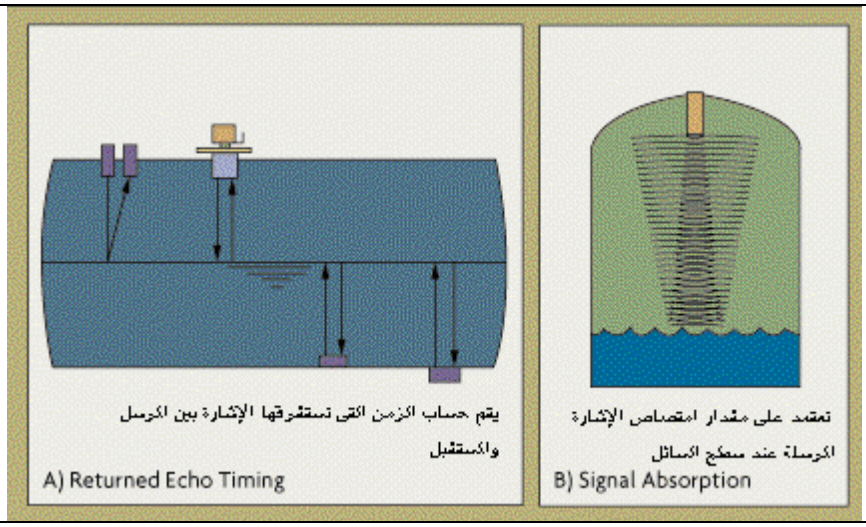


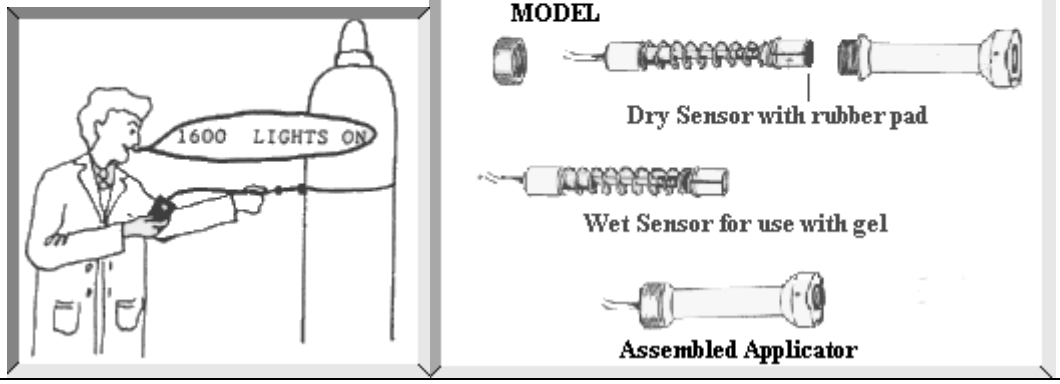
شكل (٤- ٨) نظام لتحديد مستوى سائل بصورة مستمرة لترسل الإشارة إلي أجهزة التحكم

Liquid level sensors with a continuous output signal for process control signal data

٤- ٢- ٢ مبين مستوى السائل فوق السمعي (Ultra sonic)

يمكن قياس ارتفاعات مستوي السائل باستخدام مرسل / مستقبل فوق السمعي كما يظهر في الشكل (٤- ٩)، وبشكل عام يتكون محول الإشارة الفوق السمعي من بلورتين من البلورات الكهروضغطية كلاهما يكون على تماس مع الوسط المراد قياسه ولكنها مفصولة عن بعضها بمسافة قصيرة. تعمل إحدى البلورتين كمرسلة لنبضة فوق سمعية وتقوم الأخرى باستقبال النبضة بعد تأخير يعتمد على هندسة الظروف التي يعمل فيها محول الإشارة. يمكن تثبيت مقدار المقاس عن طريق كشف الإزاحة الطويلة بين الإشارة المرسلة والإشارة المستقبلة.

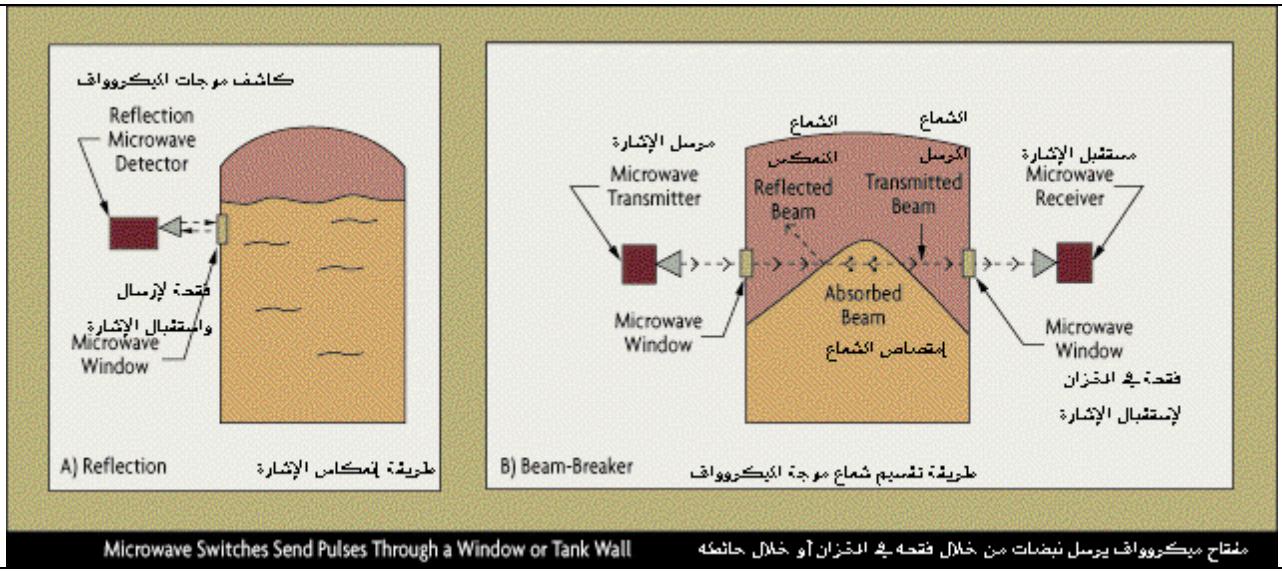




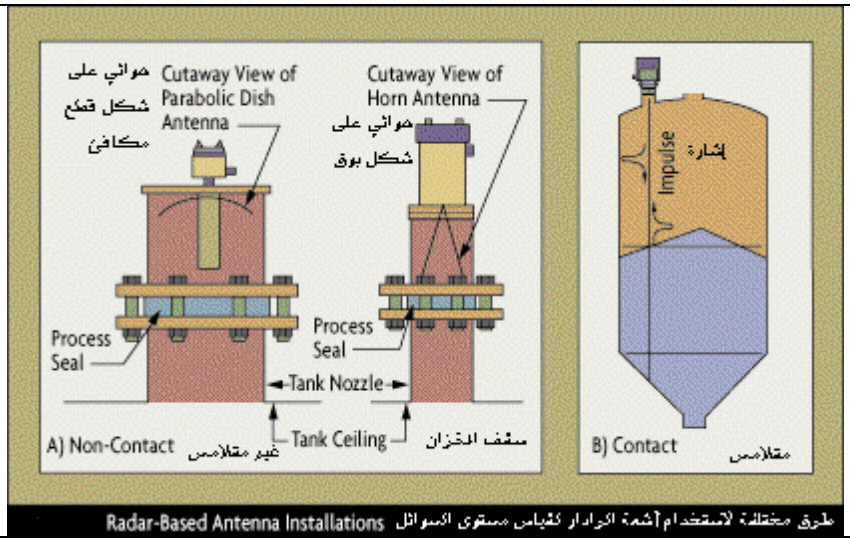
شكل (٤- ٩) مبين مستوي السائل داخل أسطوانة أو خزان بواسطة محول إشارة فوق السمعية (Ultrasonic Transducers)

٤- ٢- ٣ مقاييس أخرى لمستوى السائل

يمكن قياس مستوى السائل باستخدام موجات قصيرة جدا –ميكرو واف (microwave) كما يظهر في الشكل (٤- ١٠). كذلك يبين شكل (٤- ١١) مبينات تستخدم أشعة الرادار في قياس مستوى السائل وهي غالية التكاليف، ولكن التطورات الهائلة في صناعة الإلكترونيات. وهى يمكنها أن تقيس مستوى السوائل التي تكون في تطبيقات صعب قياسه بالطرق الأخرى مثل الخزانات المغلقة، وكذلك عندما يكون سائل في حالة دوامات، وكذلك عندما يكون هناك عوائق مثل تكثف البخار.



شكل (٤- ١٠) استخدام الأشعة القصير جدا (microwave) لقياس مستوى السوائل



شكل (٤- ١١) استخدام أشعة الرادار لقياس مستوى السوائل

امتحان ذاتي رقم ٤

أجب على الأسئلة التالية ثم تأكد من صحة إجابتك بالنظر إلى الحل في نهاية الحقيبة.

٤- ١ أذكر جهاز يستخدم العلاقة بين فرق الضغط ومعدل الانسياب.

٤- ٢ أذكر جهاز يمكن اعتباره كمقياس لمعدل الانسياب ذات فوهة بفتحة متغيرة.

٤- ٣ أذكر جهاز يمكنه قياس السرعة المحلية على طول اتجاه التدفق عند نقطة واحدة.

٤- ٤ بأي طريقة يتم بيان مقدار البنزين في خزان وقود السيارة على العداد الموجود أمام كرسي السائق؟