

حساسات التدفق

Flow sensors

تعتبر عمليات القياس والتحكم بالتدفق من العمليات الأساسية التي يتطلب توفرها في الصناعة، وذلك نتيجة الحاجة للمراقبة الدائمة لتدفق المواد الخام والمواد المنتجة.

تختلف أجهزة القياس والتحكم بالتدفق حسب طبيعة العملية الإنتاجية والمادة المصنعة.

سوف نصنف أجهزة القياس والتحكم بالتدفق بناء على حالة المادة المصنعة إلى صلبة - سائلة - غازية.

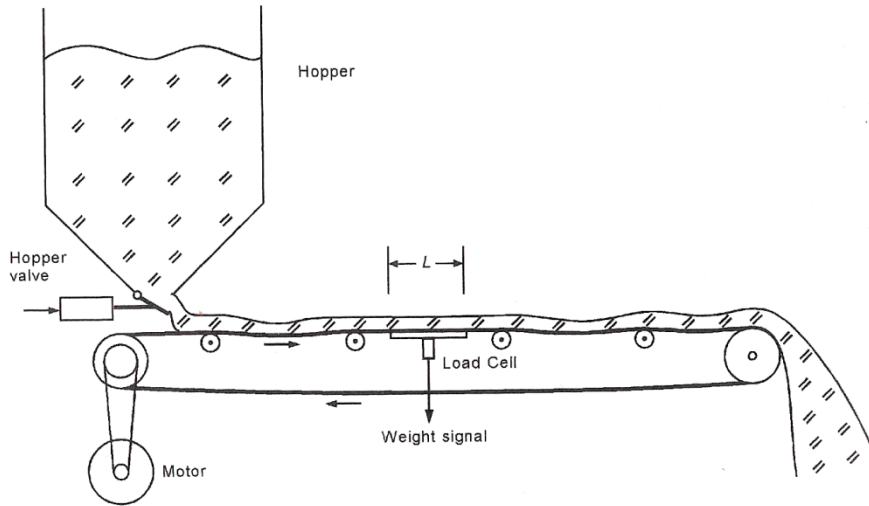
سوف نستعرض في هذا القسم أجهزة القياس والتحكم بالتدفق التي تعتمد على قياس الضغط كوسيط لتحديد التدفق في عمليات التحكم والقياس.

1. قياس تدفق المواد الصلبة : Solid flow measurement

تأخذ المواد الصلبة في الصناعة أشكالاً مختلفة مثل المواد مكسرة (الأحجار في معامل الاسمنت-الفحم) أو البودرة (الاسمنت - الفوسفات..).

يتم نقل المواد الصلبة من عملية إنتاجية لأخرى بواسطة نواقل على شكل قشاطر بعامل احتكاك عالي يدار بواسطة محرك كهربائي ومستند على اسطوانات معدنية حرة الحركة لمنع القشاطر من التدلي فوق الحدود المسموحة، حيث تركب هذه الاسطوانات على مسافات متساوية من طول الخط.

يبين الشكل (1) مخطط لخط إنتاج حيث يتم تحويل المادة الصلبة من المستودع الرئيسي (hopper) إلى خط الإنتاج عبر صمام للتحكم (hopper valve) بتدفق المادة المصنعة الصلبة.



الشكل (1)

يركب على أسفل القشاطر وفي منتصف المسافة الفاصلة بين اسطوانتين خلية حمل (Load Cell) تقوم بتحديد وزن أو كتلة المادة المنقولة (W).

يحدد تدفق المواد الصلبة بوحدات مختلفة مثل (Lb/min) أو (Kg/min)، لذلك يمكن تحديد التدفق بدلالة الكتلة أو الوزن بالنسبة لزمان محدد.

يمكن تحديد مستوى تدفق المادة بمعرفة سرعة خط الإنتاج (R) وطول خلية الحمل (L) (Load Cell)، والمعادلة التالية تحدد مستوى تدفق المادة

$$Q = \frac{W \cdot R}{L} \left(\frac{\text{Lb}}{\text{min}}, \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \right)$$

حيث:

(W): وزن أو كتلة المادة المنقولة تقاس (L, Kg).

(R): سرعة خط الإنتاج تقاس $\left(\frac{\text{m}}{\text{min}}, \frac{\text{ft}}{\text{min}} \right)$.

(L): طول صفيحة خلية الحمل (Load Cell) تقاس (m, ft).

نلاحظ أن التحكم والقياس لمستوى التدفق يمكن أن يتم باستخدام مقياس وزن فقط وذلك عند قيم محددة لسرعة خط الإنتاج (R) وطول الصفيحة (L).

كما يمكن استخدام نظام (LVDT) المشروح سابقا لقياس وزن المادة المنقولة عند نقطة القياس للحصول على جهد خرج يتناسب مطاله مع مدى هبوط الناقل والذي يتناسب مع وزن أو كتلة المادة المنقولة.

مثال:

بفرض خط نقل إنتاجي لنقل الفحم يتحرك أفقيا بسرعة خطية تعادل $\left(100 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \right)$ وبفرض أن طول صفيحة خلية الحمل (L = 5 ft) وان خلية الحمل كانت تشير إلى وزن قدره (75 Lb)، والمطلوب تحديد تدفق الفحم على الخط بالوحدات (Lb/h).

الحل:

$$Q = \frac{W \cdot R}{L} \left(\frac{\text{Lb}}{\text{min}} \right) = \frac{75 \text{ Lb} * 100 \text{ ft/min}}{5 \text{ ft}} = 1500 \text{ Lb/min}$$

$$Q = 1500 \frac{\text{Lb}}{\text{min}} * 60 = 90000 \text{ Lb/h}$$

2. قياس تدفق المواد السائلة : Liquid flow measurement

تتطلب معظم العمليات التكنولوجية الصناعية الحديثة أنظمة للتحكم وقياس مستوى تدفق السوائل. تختلف أنظمة التحكم وقياس مستوى تدفق السوائل حسب ظروف العملية الإنتاجية، لذلك توجد أنواع مختلفة من طرق القياس والتحكم في مستوى التدفق للسوائل وسوف نستعرض المفاهيم الأساسية لهذه الطرق.

وحدات التدفق: Flow units

تستخدم الوحدات لشرح قياس مستوى التدفق والتي يمكن أن تقدر بطرق مختلفة حسب معطيات النظام.

الوحدات الأكثر استخداما في عمليات التحكم والقياس الصناعية:

• مستوى التدفق الحجمي (Volume flow rate)

والذي يعرف بحجم المادة المتدفقة في وحدة الزمن والتي يمكن أن تقاس بالوحدات التالية:
(gals/min, m³/h, ft³/h) حيث (1gal=231 in³).

• سرعة التدفق (flow velocity)

تحدد سرعة التدفق بمسافة الانتقال للسائل بوحدة الزمن، والتي يمكن أن تقاس بالوحدات التالية:
(m/min, ft / min).

$$V = \frac{Q}{A} \left(\frac{\text{Lb}}{\text{min}} \right)$$

حيث:

V : سرعة التدفق (flow velocity).

Q : مستوى التدفق الحجمي (Volume flow rate).

A : مساحة المقطع العرضي للناقل (الأنبوب).

• التدفق الكتلي أو الوزني (Mass or weight flow rate)

والذي يعرف بكتلة أو وزن المادة في وحدة الزمن والتي يمكن أن تقاس بالوحدات التالية:
(Kg/h, Lb / h).

$$F = \rho * Q$$

حيث:

F : التدفق الكتلي أو الوزني (Mass or weight flow rate)

ρ : كثافة الكتلة أو الوزن.

Q : التدفق الحجمي (Volume flow rate).

مثال:

يتم ضخ ماء عبر أنبوب بقطر (1.5 in) وبسرعة خطية (2.5 ft/s) والمطلوب تحديد التدفق الحجمي (ft³/h) و التدفق الوزني (Lb/min)، مع العلم بأن الكثافة الوزنية للماء تعادل (62.4Lb/ft³).

الحل:

1. تحديد التدفق الحجمي

يتم تحديد التدفق الحجمي من المعادلة

$$V = \frac{Q}{A} \left(\frac{\text{Lb}}{\text{min}} \right)$$

نحدد مساحة (A) مساحة المقطع العرضي للناقل (الأنبوب)

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

حيث: d يمثل قطر الانبوب

$$1 \text{ in} = \frac{1}{12} \text{ ft}$$

$$d = (1.5 \text{ in}) * \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} = 0.125 \text{ ft}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.14 * 0.125^2}{4} = 0.0122 \text{ ft}^2$$

بالتعويض في المعادلة نجد

$$Q = V * A = \left(2.5 \frac{\text{ft}}{\text{s}}\right) * 0.0122 \text{ ft}^2 * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 1.8 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} = 13.5 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{ft}^3 = 7.5 \text{ gal}$$

2. تحديد التدفق الوزني

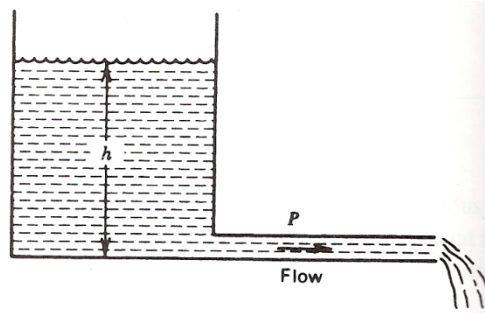
$$F = \rho * Q = \left(\frac{62.4 \text{ Lb}}{\text{ft}^3}\right) * 1.8 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} = 112 \text{ Lb/min}$$

مبادئ تدفق الأنابيب: pipe flow principles

يتحدد مستوى تدفق السائل في أنبوب من مستوى ضغط السائل.

سوف نستخدم مبدأ الضغط الراسي الذي تم شرحه سابقا كضغط قسري عند تحديد تدفق السائل من أنبوب التفريغ في أسفل الخزان.

يبين الشكل (2) تدفق السائل عبر أنبوب التصريف بضغط خروج قدره P. يمكن تحديد هذا الضغط من وزن السائل في الخزان ذو الارتفاع h.



الشكل (2)

كما نعلم يتم تحديد ضغط السائل من المعادلات التالية:

$$P = \rho_w \cdot h \quad \text{أو} \quad P = \rho \cdot g \cdot h$$

يتعلق تدفق السائل بالإضافة إلى الضغط بعدة عوامل أخرى نذكر منها لزوجة السائل (Viscosity liquid) - عيار الأنبوب - الاحتكاك - اضطراب جريان السائل - وعوامل أخرى لن نتعرض لها.

حساس التدفق المتضيق: Restriction flow sensors

تعتبر طريقة تضيق الأنبوب من إحدى الطرق الشائعة الاستخدام في قياس تدفق السوائل في الأنابيب. عند تشكيل تضيق في الأنبوب فإن سرعة السائل سوف تزداد وينخفض الضغط عند التضيق.

تتحدد علاقة التدفق Q من هبوط الضغط ΔP بالمعادلة التالية:

$$Q = K \sqrt{\Delta P}$$

حيث:

Q : التدفق الحجمي

K : ثابت يتحدد بنوع الأنبوب والسائل.

ΔP : هبوط الضغط عبر التضيق.

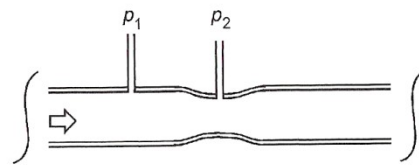
يعتمد الثابت K على عوامل كثيرة منها نوع السائل - حجم الأنبوب - سرعة التدفق - درجة الحرارة وغيرها.

يعتبر شكل تضيق الأنبوب من إحدى العوامل الأساسية في تحديد الثابت K.

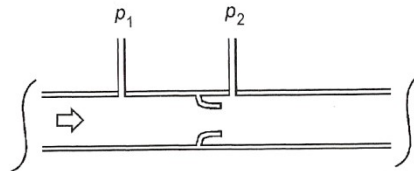
بما أن التدفق يتناسب مع الجذر التربيعي لفرق الضغط فإن تضاعف فرق الضغط سوف يؤدي إلى زيادة تدفق بمقدار $(\sqrt{2} = 1.4)$.

تحدد المواصفات العالمية أشكال تضيق الأنابيب المعتمدة لقياس التدفق.

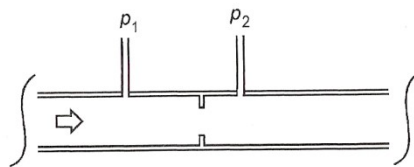
يبين الشكل (3) الطرق الثلاثة الأكثر انتشارا في تحويل قياس فرق الضغط إلى تدفق.



a) Venturi



b) Nozzle



c) Orifice plate

الشكل (3)

لقد شرحنا سابقا طرق قياس الضغط التي تعتمد بشكل أساسي على تحديد قيمة الإزاحة.

لتحديد فرق الضغط على طرفي التضيق نستخدم طريقة الضغط التفاضلي (Differential pressure).

مثال:

يراد التحكم بتدفق سائل عبر أنبوب متضيق ضمن المجال (20-150 gal/min)، ويفرض اعتماد شكل التضيق للأنبوب كما هو مبين بالشكل (c) والذي يتحدد ثابتة k بالقيمة

$$\left(K = 119.5 \frac{\text{gal}}{\text{min}} / \sqrt{P_{si}} \right)$$

وإذا علمت أن قياس الضغط يتم بجهاز نافخ الهواء الاكوردوني مع نظام LVDT يتابع نقل (1.8 V/ Psi) والمطلوب: تحديد تغيرات جهود الخرج نظام LVDT والمتوافقة مع حدود التدفق المطلوبة.

الحل:

يتم تحديد هبوطات الضغط من المعادلة التالية:

$$\Delta P = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

نحدد هبوطات الضغط الحدية من المعادلة السابقة

تحديد هبوط الضغط الحدي الاصغري

$$\Delta P_{\min} = \left(\frac{Q_{\min}}{K} \right)^2 = \left(\frac{20 \text{ gal/min}}{119.5 \frac{\text{gal}}{\text{min}} / \sqrt{P_{si}}} \right)^2 = 0.0280 P_{si}$$

تحديد هبوط الضغط الحدي الاعظمي

$$\Delta P_{\max} = \left(\frac{Q_{\max}}{K} \right)^2 = \left(\frac{150 \text{ gal/min}}{119.5 \frac{\text{gal}}{\text{min}} / \sqrt{P_{si}}} \right)^2 = 1.5756 P_{si}$$

ونظرا لان تابع نقل نظام LVDT يعادل (1.8 V/ Psi)، فان حدود جهود الخرج تكون كما يلي:

الحد الاصغري لجهود الخرج:

$$V_{\min} = 0.0280 \text{ Psi} * (1.8 \text{ V/ Psi}) = 0.0504 \text{ V}$$

الحد الاعظمي لجهود الخرج:

$$V_{\max} = 1.5756 \text{ Psi} * (1.8 \text{ V/ Psi}) = 2.836 \text{ V}$$

مقاييس التدفق وفق مبدأ الإعاقاة

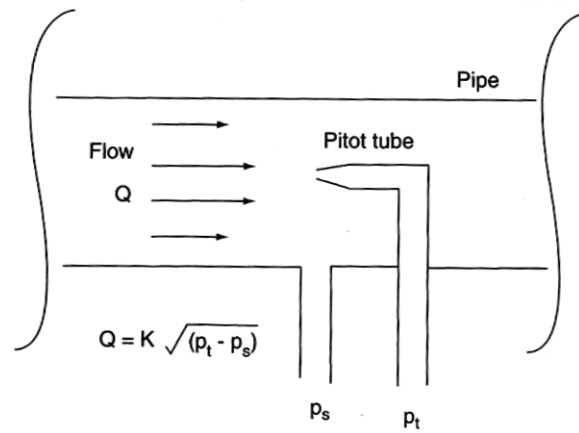
قناة الإعاقاة: Piton – Tube

هي طريقة شائعة الاستخدام لقياس التدفق في نقطة من مجرى السائل أو الغاز الذي يتدفق في أنبوب. يبين الشكل التالي كيفية توضع القناة بحيث تكون فتحة القناة مقابلة لجريان السائل أو الغاز في الأنبوب الرئيسي.

مبدأ عمل الأنبوب يعتمد على عبور السائل من خلال فتحة الأنبوب لذلك سوف يكون الضغط مساويا لمجموع الضغط الساكن للسائل والضغط الفعال للمجرى.

يتناسب الجذر التربيعي لفرق الضغط الناتج عن القناة والضغط الستاتيكي للسائل مع مستوى تدفق السائل في نقطة فوهة القناة

$$Q = K\sqrt{(P_t - P_s)}$$



حساس التدفق بالإعاقة: Obstruction Flow Sensor

تعمل هذه الحساسات على مبدأ اثر الإعاقة لجريان السوائل أو الغازات والتي تكون متوضعة ضمن أنبوب الجريان الرئيسي.

يبين الشكل التالي الأنواع المختلفة لهذه الحساسات:

• Rotameter flow meter (الشكل a) مقياس الجريان الدوار

يتشكل من جسم عائم Float شاقوليا على محور العمود Tapered column. تتناسب المسافة بين الجسم العائم والموضع الأساس مع تدفق السائل أو الغاز.

• Moving vane flow meter (الشكل b) مقياس التدفق ذو الريشة المتحركة

يتم قياس التدفق من زاوية الريشة. يمكننا التحكم بمستوى التدفق في الأنبوب في حسب تطبيقات أنظمة التحكم بالعملية إذا تم وصل محور الريشة مع حساس لقياس الزاوية.

• Turbine flow meter (الشكل c) مقياس التدفق التوربيني

يتشكل هذا المقياس من توربين مع شفرات على محور التوربين الحر ويكون المقياس متوضع في مجرى جريان السائل. يتناسب مستوى التدفق مع السرعة الزاوية للتوربين. يمكن الحصول على إشارة كهربائية متناسبة مع تدفق السائل إذا تم وصل محور التوربين مع محور تاكوميتر Tachometer.

جميع هذه المقاييس تعتمد على مبدأ الإعاقة لجران السوائل أو الغازات وهي تكون مغمورة في الأنابيب لذلك تستخدم هذه الأجهزة لقياس مستوى التدفق في الحالات التي لا تؤدي إلى أي تفاعل بين السوائل أو الغازات وهذه الأجهزة.

