ENGINEERING INSTRUMENTATION

أجهـــزة قيـــاس

OSAMA MOHAMMED ELMARDI SULEIMAN

جامعـة وادي النيـل

كليـة الهندسـة والتقنيـة

قســم الهندســة الميكانيكيــة

برنامج بكالوريوس الشرف في الهندسة الميكانيكية

أجهـــزة قيـــاس

إعداد أستاذ مساعد /

أسامة محمد المرضي سليمان

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة والتقنية

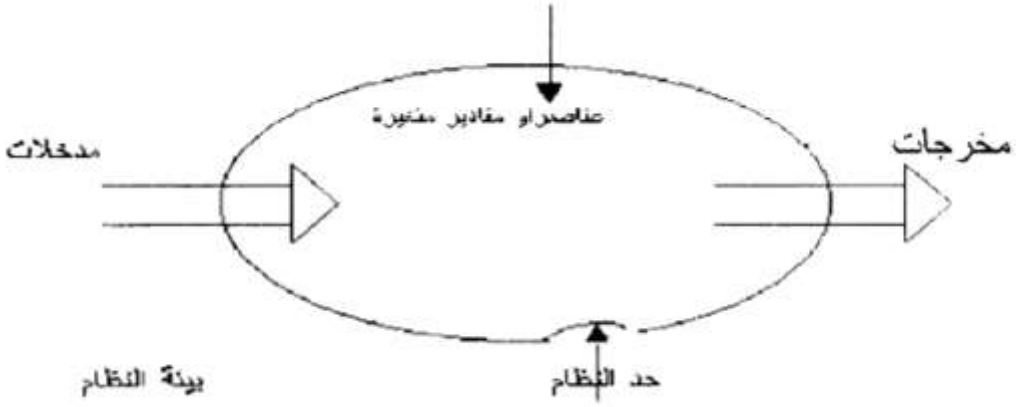
جامعة وادي النيل - عطبرة

التاريخ : فبراير 1995م

الفصـــل الأول
مقدمـــــة Introduction

1.1 تعريفات : (Definitions)

النظام : (System) النظام هو مجموعة من المكونّات التى تعمل مجتمعة لأداء وظائف محددة . الشكل (1.1) أدناه يُوضح وصفاً لنظام بمكوناته المختلفة .



شكل (1.1) نظام بمكوناته المختلفة

حد النظام (System Boundary) : هو الاطار الخارجي للنظام ويعمل كمحتوى لمكونات النظام .

العناصر أو المقادير المتغيرة(Parameters):هي العناصر التي تحدد سلوك النظام مدخلات ومخرجات النظام (Inputs and outputs) : هي كميات معينة تدخل إلى المنظومة ويتم معالجتها لإنتاج كميات معينة عند المخرج .

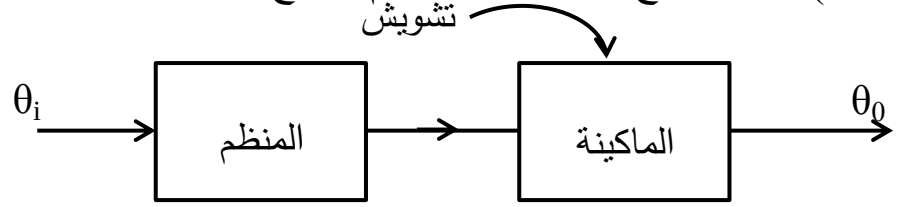
البيئة (Environment) : بيئة النظام هي مجموعة من التأثيرات الخارجية التي تؤثر على أداء النظام .

1.2 أنواع أنظمة القياس :

هنالك نوعان من الأنظمة التي تستخدم في أجهزة القياس هي :

1.2.1 نظام قياس مفتوح الحلقة (Open – Loop Measurement System) :

يتم ضبط متطلبات الأداء لمنظومة ما وفي المنظم ويسمح للماكينة بأداء الوظيفة المطلوبة منها بصرف النظر عن النتيجة عند المخرج كمثال لذلك ماكينة غسيل الأطباق أو الملابس ، لوحة إشارات المرور ، ولمبات الشوارع . الشكل رقم (1.2) أدناه يوضح مخطط كتلى لنظام مفتوح الحلقة .



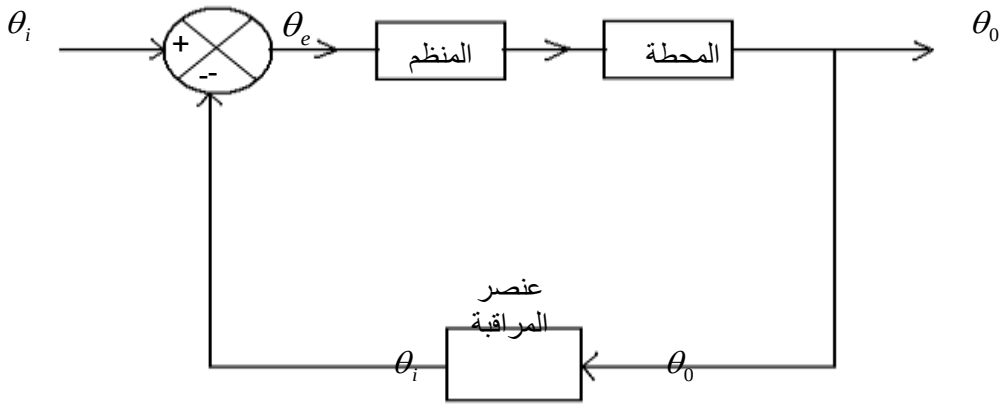
شكل (1.2) مخطط كتلي لنظام قياس مفتوح الحلقة .

حيث θi هو المتغير المطلوب او المرغوب أو متغير الدخل و θ_0 هو المتغير الفعلي أو متغير الخرج .

1.2.2 نظام مغلق الحلقة :

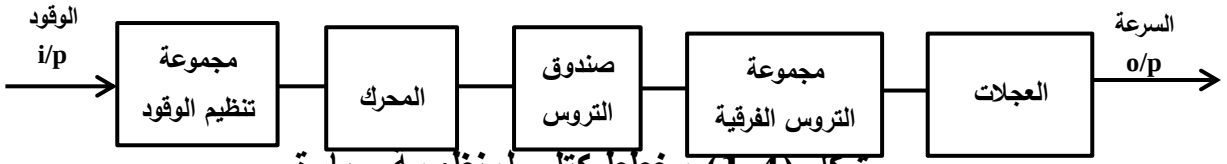
(Closed – Loop Measurement System)

يتم قياس متغير الخرج بانتظام ومقارنته بمتغير الدخل وذلك لتصحيح النتيجة عند مخرج النظام . مثال لنظام مغلق الحلقة متقطع (Intermittent System) هو الثيرموستات ومنظومة السيارة ونظام العوامة الذي يحدد مناسيب السوائل في الخزانات ومثال لنظام مغلق الحلقة مُتصل أو مستمر (Continuous System) هو الحاكم الميكانيكي في محركات الديزل أو جهاز الكاربوريتر في محركات البنزين . الشكل رقم (1.3) أدناه يوضح مخططاً كتلياً لنظام مغلق الحلقة .



حيث يتم في هذا النظام قياس متغير الخرج θ_0 باستمرار بواسطة عنصر المراقبة ويتم إرسال القراءة إلى عنصر المقارنة الذي يتم فيه مقارنة متغير الخرج بمتغير الدخل . ناتج هذه المقارنة يتم إرساله إلى المنظم في شكل إشارة (Signal) (i.e. ميكانيكية ، هايدروليكية نيوماتيه ، كهربية ، الكترونية ... الخ) .. يقوم المنظم (regulator) بتنظيم امداد الطاقة إلى المحطة (i.e. الماكينة أو المصنع التى يراد التحكم أو السيطرة في بعض كمياتها الفيزيائية ، الكيميائية أو الميكانيكية) بما يتوافق ويجعل قيمة متغير الخرج θ_0 قريبة من أو مساوية كقيمة متغير الدخل θ_i .

الشكل رقم (1.4) أدناه يوضح مخططاً كتلياً لمنظومة سيارة :



شكل (1-4) مخطط كتلي لمنظومه سيارة

1.3 عامل أو دالة الانتقال أو التحويل :

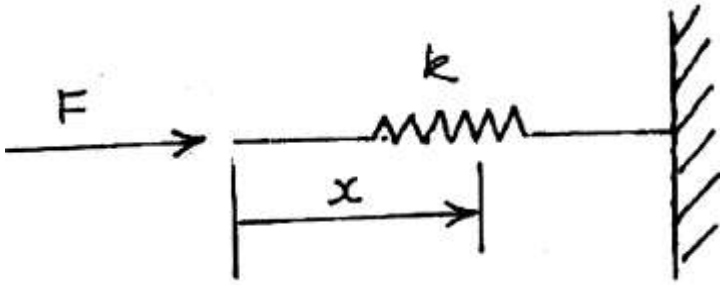
(Transfer Operator Function)

هو نسبة المخرجات إلى المدخلات لعنصر فردي أو لمنظومة كاملة ويكون عادة دالة في الزمن .

هنالك عدة أمثلة متباينة لدوال الانتقال سيتم سياقها فيما يلي :

1/ الياي (Spring) :

الشكل (1.5) أدناه يوضح منظومة ياي مسلط عليها حمل انضغاط محوري في الطرف الحر ومثبتة بجساءة في الطرف الآخر .



شكل (1.5) منظومة ياي مسلط عليها حمل محوري

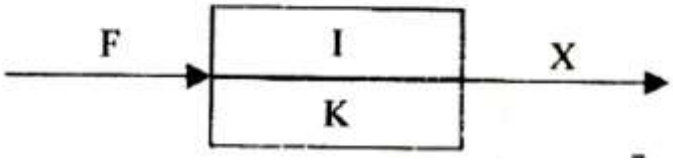
حيث k = كزازة الياي أو ثابت التناسب للعلاقة بين F و X .
x = الإزاحة .

F = قوة الانفعال .
F∝x = قوة الإزاحة .
F = kx قوة الانفعال

$$T.o = \frac{o/p}{i/p} = \frac{x}{F} = \frac{I}{k}$$

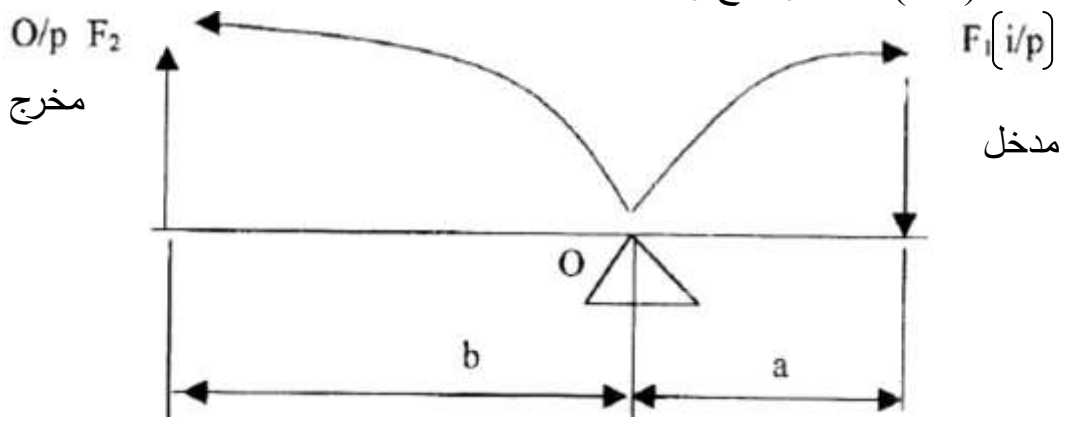
، عامل أو دالة الانتقال

حيث يمكن تمثيل عامل الانتقال بمخطط كتلي كما يلي :



2/ الذراع أو الرافعة Lever :

الشكل (1.6) أدناه يوضح رافعة ميكانيكية بسيطة



شكل رقم (1.6) رافعة ميكانيكية بسيطة

حيث :

F_1 = قوة الدخل

F_2 = قوة الخرج

الدخل = i/p

الخرج = o/p .

للاتزان ، وبأخذ العزوم حول محور الارتكاز 0 . نحصل على الآتي:

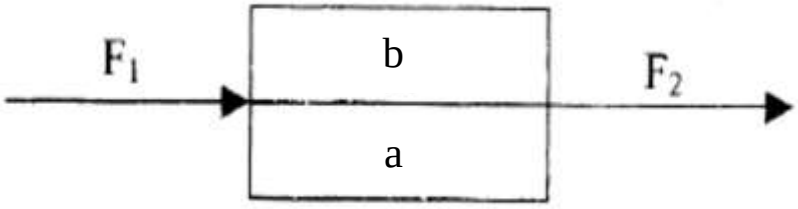
العزوم في اتجاه دوران عقارب الساعة = العزوم في اتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة .

أو تأصيلاً العزوم في اتجاه معاكس للطواف حول الكعبة = العزوم في اتجاه الطواف حول الكعبة .

$$F_1 b = F_2 a$$

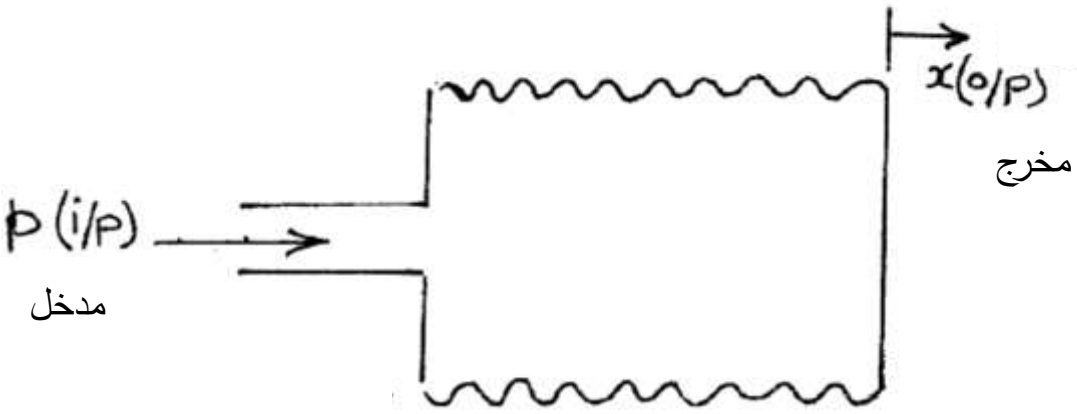
عامل أو دالة الانتقال $T.o = \frac{o/p}{i/p} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{b}{a}$

ويتم تمثيله مخططياً كما يلي :



2/ نفاخ أو كير (Bellows) :

الشكل (1.7) أدناه يوضح نفاخ أو كير أو آلة نفخ موسيقية



شكل رقم (1.7) نفاخ أو كير

حيث B = ثابت النفاخ .

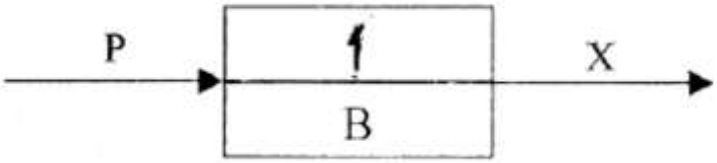
x = الإزاحة .

$P \propto x$ ضغط الهواء .

$\therefore P = B\,x$

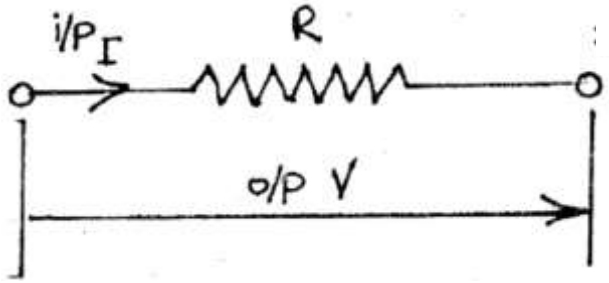
$$T.o = \frac{o/p}{i/p} = \frac{x}{P} = \frac{1}{B}$$ ، عامل أو دالة الانتقال

ويتم تمثيله مخططياً كالآتي :



4/ المقاومة الكهربية : Electrical Resistor

الشكل (1.8) أدناه يوضح عنصراً لمقاومة كهربية في دائرة كهربية

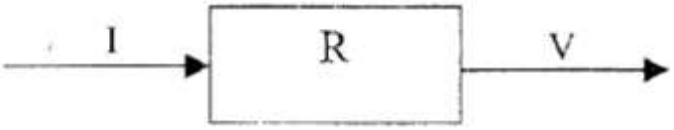


شكل رقم (1.8) عنصر مقاومة كهربية

من قانون أوم : V = IR فرق الجد الكهربي

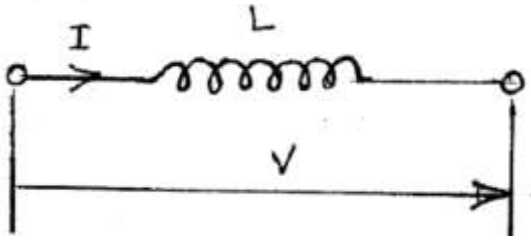
، عامل الانتقال $T.o = \frac{V}{I} = R$

ويتم تمثيله مخططياً كالآتي :



5/ المحث الكهربي : Inductor :

الشكل (1.9) أدناه يوضح عنصراً لمحث كهربي في دائرة كهربية



شكل رقم (1.9) عنصر محث كهربي

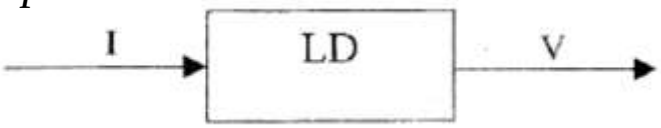
حيث L = المحاثة الكهربية (Inductance)

فرق الجهد الكهربي $V\alpha \frac{dI}{dt} = LDI$

حيث $D \equiv \frac{d}{dt}$ (D عامل

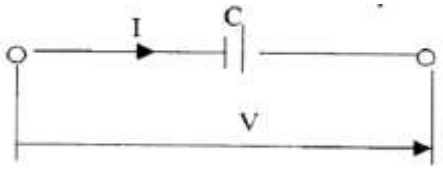
، عامل أو دالة الانتقال $T.o = \frac{o/p}{i/p} = \frac{V}{I} LD$

ويتم تمثيله مخططياً كالآتي :



6/ الميسع الكهربي : (Capacitor) :

الشكل (1.10) أدناه يوضح عنصراً لميسع كهربي في دائرة كهربية .



شكل رقم (1.10) عنصر ميسع كهربي

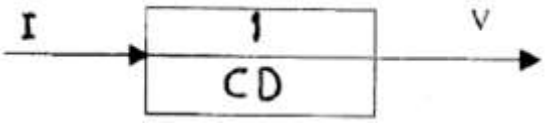
$I \alpha \frac{dV}{dt}$

شدة التيار $I = C\frac{dV}{dt} = CDV$

حيث C هي المواسعة الكهربية

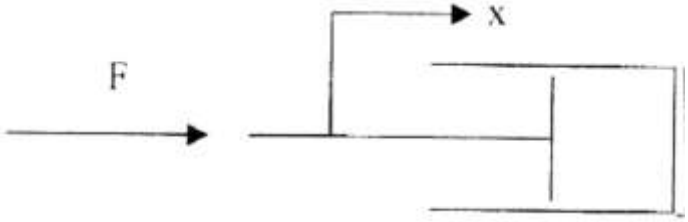
، عامل أو دالة الانتقال $T.o = \frac{V}{I} = \frac{I}{CD}$

ويمكن توضيحه مخططياً كما يلي :



7/ مخمد الاهتزاز : Dash pot or damper :

الشكل (1.11) أدناه يوضح مخمد أو مضائل اهتزاز



شكل رقم (1.11) مخمد أو مضائل اهتزاز

قوة المضاءلة $F \alpha x^{\circ}$ قوة المضاءلة أو الاخماد $F \propto x$

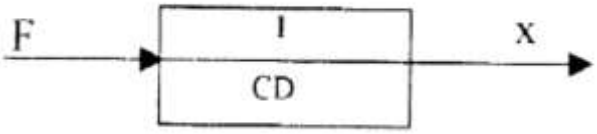
$$\frac{dx}{dt} = x^{0}$$

حيث السرعة =

قوة المضاءلة والاخماد $F = C\,x$

حيث C هو معامل المضاءلة .

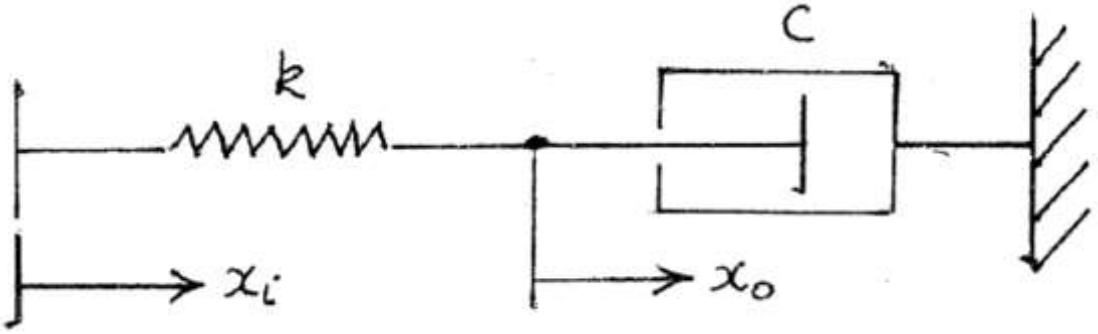
عامل أو دالة الانتقال $T.o = \frac{o/p}{i/p} = \frac{x}{F} = \frac{I}{CD}$



8/ منظومة ميكانيكية بها ياي مخمد :

(Spring damper System)

الشكل (1.12) أدناه يوضح منظومة بها ياي ومخمد او مضائل اهتزاز



الشكل رقم (1.12) منظومة ياي ومخمد اهتزاز

حيث x_i هي إزاحة الدخل .

x_0 هي إزاحة الخرج .

معادلة الحركة للمنظومة :

$$k(x_i - x_0) - C^{0}x_0 = 0$$

$$kx_i kx_0 - CDx_0 = 0$$

$$kx_i = kx_0 + CDx_0 = x_0\{k + CD\}$$

عامل أو دالة الانتقال . ، $T.o = \frac{x_0}{x_i} = \frac{k}{k + CD}$

$$T.o = \frac{x_0}{x_i} = \frac{1}{1 + \frac{c}{k}D}$$

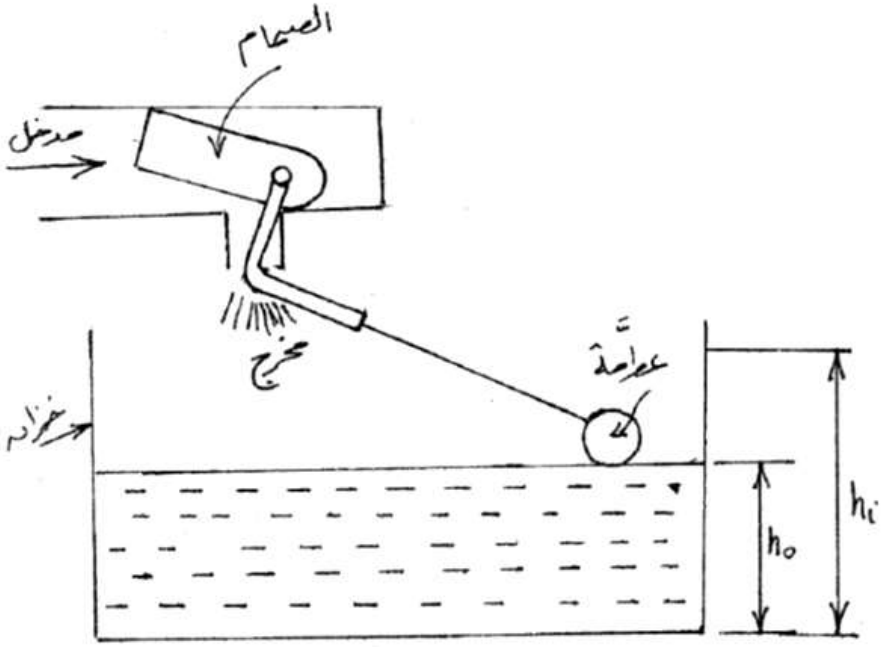
بقسمة البسط والمقام % k

بالتالي فإن دالة الانتقال للمنظومة تكون مناظرة للصبغة القياسية لدالة الانتقال ذات التأخر الأسى والتى يتم التعبير عنها كما يلي :

$$T.o = \frac{o/p}{i/p} = \frac{\theta_0}{\theta_i} = \frac{1}{1+CD}$$

9/ مستوى (منسوب) الوقود : petrol level :

الشكل (1.13) أدناه يوضح منظومة لتحديد منسوب سائل في خزان



شكل رقم (1.13) منظومة لتحديد منسوب سائل في خزان

يمكن القول أن معدل السريان يتناسب طردياً مع إزاحة الصمام .

إزاحة الصمام ∝ معدل السريان .

التغير في منسوب الوقود ∝ إزاحة الصمام .

$$\therefore Q\alpha(h_i - h_o)$$

التغير في منسوب الوقود ∝ معدل السريان Q=A ، ايضاً

حيث h_i هو المستوى المطلوب أو المرغوب (مستوى انقطاع الوقود إلى الحوض)

$$Av\alpha(h_i - h_o) = A\frac{dh_o}{dt} = C(h_i - h_o)$$. h_o هو المستوى الفعلي .

اعتبر C = 1

$$\therefore A\frac{dh_0}{dt}\alpha h_i - h_0$$

يمكن كتابة المعادلة عالية كالآتي :

$$\frac{dh_0}{dt} = \frac{1}{A}(h_i - h_0)$$

حيث A هي مساحة مقطع حوض الوقود

$$Dh_0 = \frac{1}{A}h_i - \frac{1}{A}h_0$$

$$Dh_0 + \frac{1}{A}h_0 = \frac{1}{A}h_i$$

$$h_0\left\{D + \frac{1}{A}\right\} = \frac{1}{A}h_i$$

$T.o = \dfrac{o/p}{i/p} = \dfrac{h_0}{h_i}\dfrac{\frac{1}{A}}{D+\frac{1}{A}}$ ، عامل أو دالة الانتقال

بضرب البسط والمقام × (A) نحصل على :

$T.o = \dfrac{1}{AD+1} = \dfrac{1}{1+AD}$ ، عامل أو دالة الانتقال

والذي يكون مناظراً للصيغة العامة للتأخر الأسى للنظم

(Standard Formula of Exponential lag elements)

والتى تكتب كـ $\dfrac{I}{1+\tau D}$ حيث τ هو ثابت الزمن للنظام . أو الزمن الدوري للنظام .

1.4 أنواع استجابة المنظم : (Types of Controller response)

1/ استجابة الفتح والغلق (on – off response):

يعمل المنظم أو يتوقف حسب مقتضيات الظروف الخاصة بمتغير التحكم . أما إذا كان التحكم مستمراً ، فإن المنظم يعطي استجابة تعتمد على الخطأ . وهذه الاستجابة في بعض النظم قد تسبب تباطؤا ثابتاً عند المخرج ، وربما لا تكون الاستجابة سريعة بدرجة كافية .

2/ الاستجابة التفاضلية (Derivative response):

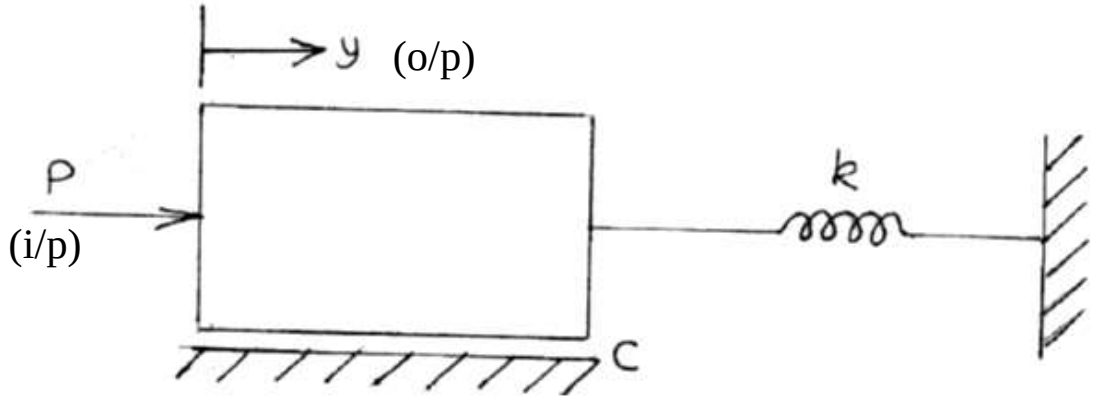
بالإضافة إلى أجزاء التصحيح الذي يتناسب مع الخطأ فإن المنظم قد يستجيب ايضاً لمعدل التغير في الخطأ لكي يمكن من توقع التغير عند المخرج .

3/ الاستجابة التكاملية : (Integral response) :

الاستجابة التكاملية مرغوب فيها ، حيث يتوقف التصحيح ايضاً على الوقت الذي يستغرقه الخطأ ، والعملية التكاملية تستخدم لتحسين الاستجابة في حالة الاستقرار. عموماً فإن العملية التفاضلية تستخدم لتحسين الاستجابة في حالة عدم الاستقرار .

1.5 أمثلة محلولة : (Solved examples) :

نظام كتلة ياي احتكاكي يتم توضيحه في الشكل رقم (1.14) أدناه . اعتبر أن القوة P هي الدخل والإزاحة y للكتلة m هي خرج النظام . أوجد عامل الانتقال لهذا النظام .



شكل رقم (1.14) نظام كتلة وياي احتكاكي

حيث C هو معامل احتكاك الكتلة مع السطح ، k كزازة الياي وp هي القوة المسلطة خارجياً .

معادلة الحركة للنظام :

لاتزان النظام :

$$p - m\frac{d^2y}{dt^2} - C\frac{dy}{dt} - ky = 0$$

$$p = m\frac{d^2y}{dt^2} - C\frac{dy}{dt} - ky$$

$$p = mD^2y + CDy + ky$$

$$= y\{mD^2 + CD + k\}$$

$$T.o = \frac{y}{p} = \frac{1}{MD^2 + CD + k} = \frac{1}{k + CD + MD^2}$$

عامل أو دالة الانتقال

بقسمة البسط والمقام % K

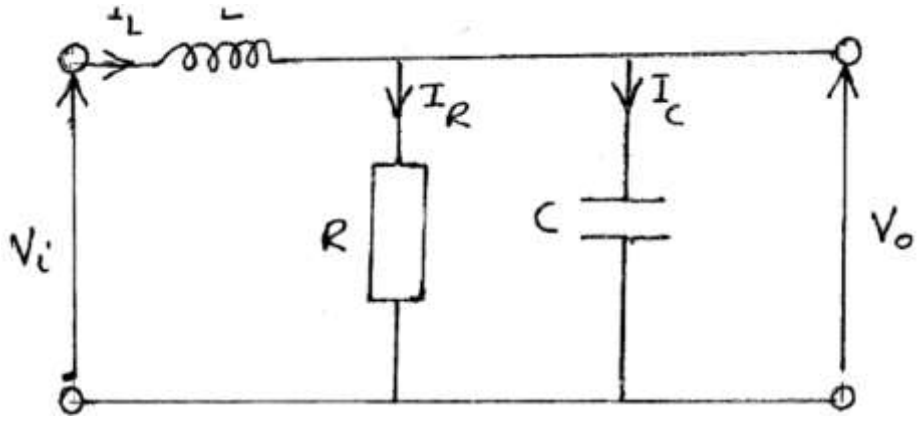
$$T.o = \frac{y}{p} = \frac{1/k}{1 + \frac{C}{k}D + \frac{m}{k}D^2}$$

والذي يكون مناظراً للصيغة القياسية لنظام تأخر مركب (Standard formula of a complex lag element) الذي يُكتب كالآتي :

$$T.o = \frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{\mu}{1 + 2\xi\tau D + \tau^2 D^2}$$

حيث ξ هي نسبة المضاءلة للنظام ، هو ثابت الزمن ، وμ هو كسب النظام .

2. حدد دالة الانتقال للدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل (1.15) أدناه بافتراض عدم وجود حمل خارجي .



شكل رقم (1.15) دائرة كهربية بها محث ، مقاومة وميسع

بتطبيق قوانين كيرتشوف للدائرة عاليه :

$$V_i = LDI_L + V_0 \rightarrow (1)$$

ولكن ،

$$V_0 = L_R R = \frac{1}{CD} I_C \rightarrow (2)$$

أيضاً ،

$$I_L = I_R + I_C \rightarrow (3)$$

عليه من المعادلات (1) و (3)

$$V_i - V_0 = LD[I_R + I_C]$$

ومن المعادلة (2) :

$$I_c = CDv_o, I_R = \frac{v_o}{R}$$

$$= LD\left[\frac{V_0}{R} + CDV_0\right]$$

$$V_i - V_0 = \frac{L}{R}DV_0 + LCD^2V_o$$

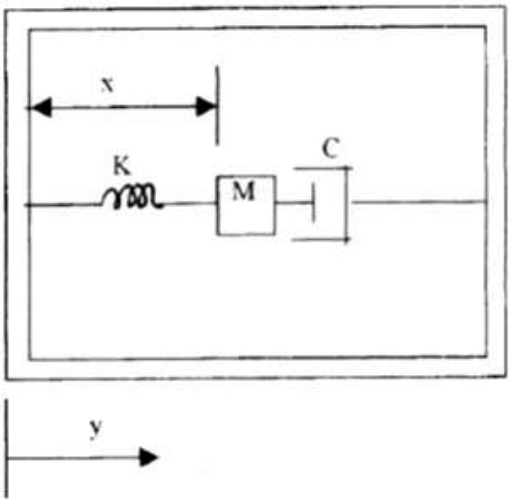
$$V_i = V_o\left[1 + \frac{L}{R}D + LCD^2\right]$$

عامل أو دالة الانتقال ،

$$T.o = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + \frac{L}{R}D + LCD^2} \rightarrow (4)$$

والذي يكون مناظراً للصيغة القياسية لنظام تأخر مركب .

مقياس تسارع ميكانيكي بسيط موضح في الشكل رقم (1.16) أدناه. يكون الوضع x للكتلة M بالنسبة لغلاف مقياس التسارع متناسباً مع تسارع الغلاف. حدد دالة الانتقال بين التسارع الدخلي والخرج X .



شكل رقم (1.16) مقياس تسارع ميكانيكي بسيط

معادلة الحركة :

في هذا المثال ، فإن مجموع القوى التى تعمل على الكتلة M يتم مساواتها بقوة القصور الذاتي للكتلة M .

$$\frac{Md^2(x-y)}{dt^2} + C\frac{dx}{dt} + kx = 0 \rightarrow (1)$$

$$\frac{Md^2}{dt^2} + C\frac{dx}{dt} + kx = M\frac{d^2y}{dt^2} = Ma \rightarrow (2)$$ عليه

$$a = \frac{d^2y}{dt^2}$$ حيث تسارع الدخل

$$MD^2x + CDx + kx = Ma$$
$$x\{MD^2 + CD + k\} = Ma$$

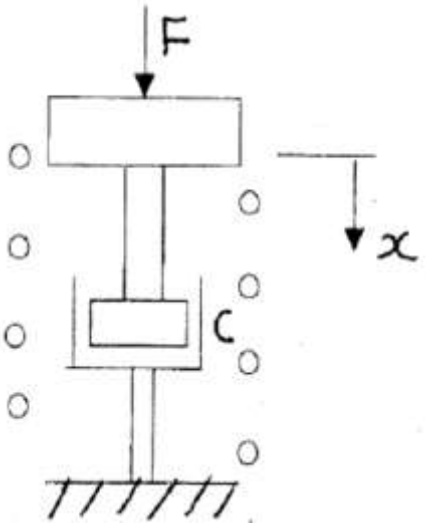
عامل أو دالة الانتقال

$$T.o = \frac{x}{a} = \frac{M}{MD^2 + CD + k} = \frac{M}{k + CD + MD^2}$$

بقسمة البسط والمقام % K نحصل على :

$$T.o = \frac{M/k}{1 + \frac{C}{k}D + \frac{M}{k}D^2}$$

4. الشكل رقم (1.17) أدناه يوضح لوحة يمكن تجاهل كتلتها مسندة على ياي حلزوني كزازته 200N/m يتم اعتراض حركة اللوحة بواسطة مخمد اهتزاز يعطى مقاومة مقدارها 50N/(m/s) . أوجد عامل الانتقال ومن ثم ثابت الزمن للمنظومة وكسب النظام .



شكل رقم (1.17)

معادلة الحركة :

$$F - kx - cx^0 = 0$$

$$F - kx - CDx = 0$$

$$F = kx + CDx = x(k + CD)$$

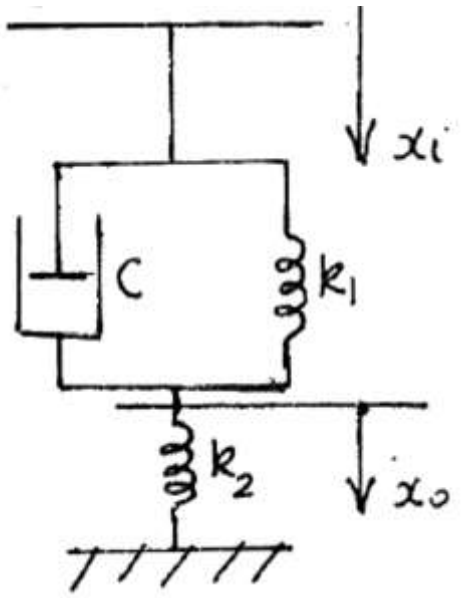
$$T.o = \frac{x}{F} = \frac{1}{k + CD}$$

$$= \frac{1}{200 + 50D} = \frac{0.005}{1 + 0.25D}$$

$\frac{1}{1 + \tau D}$ الذي يناظر الصيغة القياسية للتأخر الأسى ،

ثابت الزمن $\tau = 0.25$ sec وكسب النظام k=0.005

5/ أوجد عامل أو دالة الانتقال للمنظومة الميكانيكية الموضحة في الشكل رقم (1.18) أدناه:



شكل رقم (1.18)

معادلة الحركة للنظام :

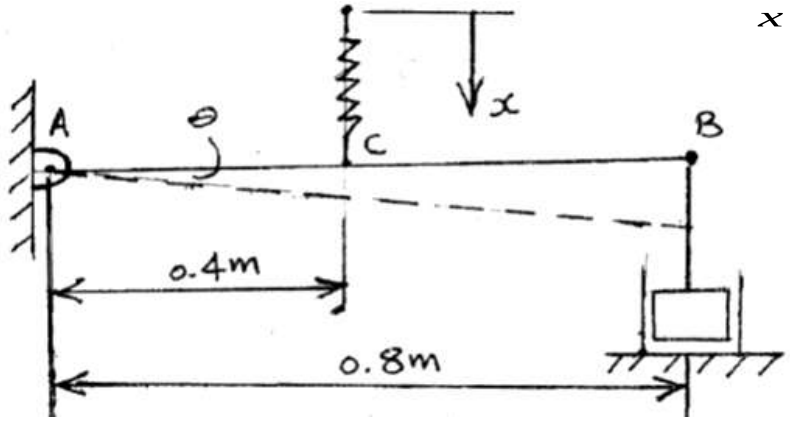
$$k_1(k_i - x_0) + C(x_i^0 - x_0^0) - k_2 x_0 = 0$$
$$k_1(x_i - x_0) + C(Dx_i - CDx_0) = k_2 x_0$$
$$k_1 x_i - k_1 x_D + CDx_i - CDx_0 = k_2 x_0$$
$$k_1 x_i + CDx_i = k_1 x_0 + CDx_0 + k_2 x_0$$
$$x_i[k_1 + CD] = x_0[k_1 + k_2 + CD]$$

عامل أو دالة الانتقال ،

$$\frac{x_0}{x_1} = \frac{k_1 + CD}{k_1 + k_2 + CD}$$

مسائل اضافية :

المنظومة الموضحة في الشكل رقم (1.19) أدناه تتكون من قضيب خفيف (يمكن تجاهل كتلته) مُثبَّت على المفصَّلة Aومضائل اهتزاز مقاومته اللزجة 40N/m/s موصل على الجانب B وياي كزازته IKN/m يقوم باسناد القضيب عند النقطة C . إذا كانت الحركة الراسية x للقضيب تُؤدِّي إلى ازاحته زاوياً بمقدار θ. أوجد النسبة للازاحات الصغيرة $\frac{\theta}{x}$.

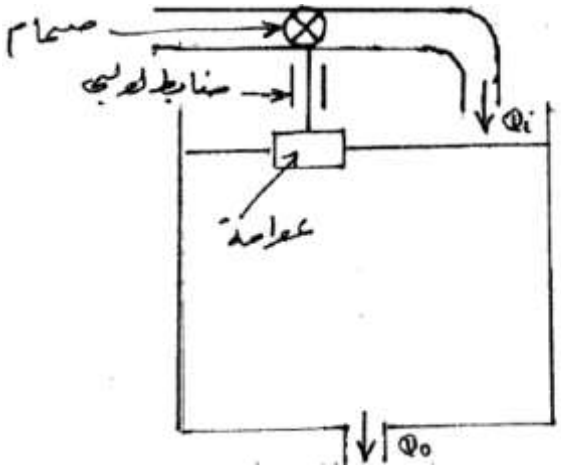


شكل رقم (1.19)

$Ans.(2.5/(1+0.16D))$

يبين الشكل رقم (1.20) أدناه صهريجاً كمية المياه الداخلة فيه Qi والخارجة منه Q_0 ويتم التحكم في منسوب الماء بواسطة صمام يُضبط وضعه باستخدام عوامه يمكن تعديل وضعها بواسطة قلاووظ . ويتناسب تدفق المياه إلى الصهريج مع حركة العوامة ، ويمكن اعتبار تدفق المياه إلى خارج الصهريج متناسباً مع منسوب المياه الموجودة به ، وذلك عندما يكون التغيير في المنسوب صغيراً .

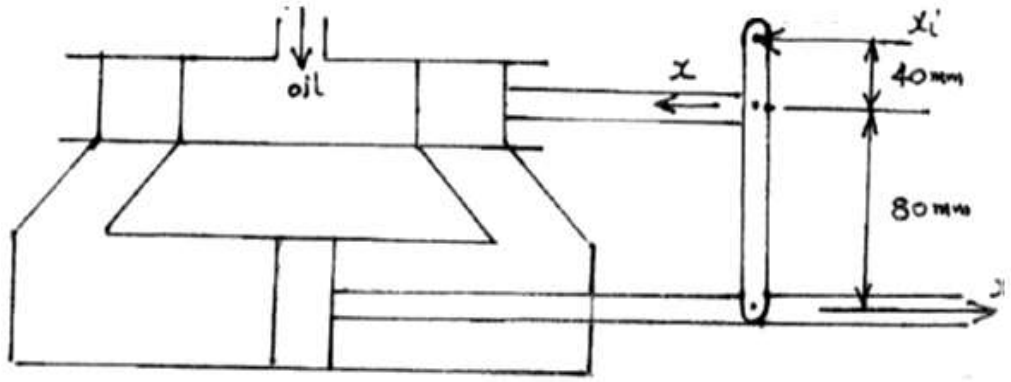
استنبط العلاقة بين العلو الفعلي لمنسوب المياه ، وبين العلو المطلوب عند تغير ضبط القلاووظ.



شكل رقم (1.20)

$$Ans\left(\frac{h_0}{h_i}=\frac{1}{1+\frac{c_2}{c_1}+\frac{A}{C_1}D}\right)$$

3. يبين الشكل رقم (1.21) كباساً هيدروليكياً يتم التحكم فيه بصمام متأرجح . عندما يكون الصمام في وضعه الأوسط ، يقف التدفق عند نهايتي الاسطوانة . مساحة مقطع الكباس $0.003m^2$ ، وعندما يتحرك الصمام من وضعه الأوسط، فإنَّ معدَّل تدفُّق الزيت إلى داخل الاسطوانة هو $0.01m^3/s$ لكل متر يحركه الصمام . وضح أن عامل الانتقال يكون على الصورة $k/(1+\tau D)$ ، مع ذكر الافتراضات المناسبة ، ثم اوجد قيمة كل من τ و K .

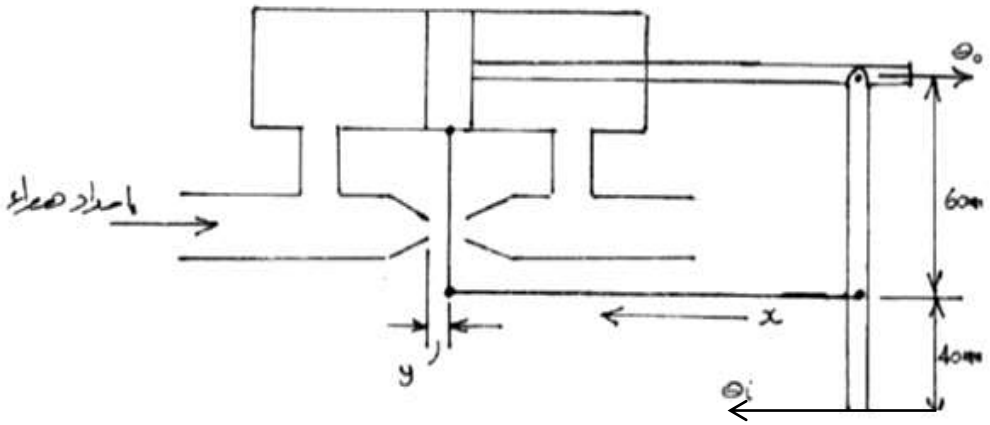


شكل رقم (1.21)

$$Ans\left(\frac{\theta_0}{\theta_1}=\frac{2}{1+0.9D}, k=2, \tau=0.9s\right)$$

4. يُوضح الشكل رقم (1.21) أدناه آلية مؤازرة تعمل بالهواء المضغوط ، حيث يتم التحكم في تدفق الهواء إلى داخل الاسطوانة بصمام قلابي يحركه ذراع حركة الصمام y تساوي نصف حركة الوصلة x ومساحة المكبس تعادل 1600mm2 . يمكن ايجاد معدل سريان الهواء إلى داخل الاسطوانة من العلاقة Q=0.01ym3/s حيث y بالأمتار . استنبط عامل الانتقال للآلية مع إيجاد ثابت الزمن ، وذلك بإهمال مساحة مقطع عمود المكبس.

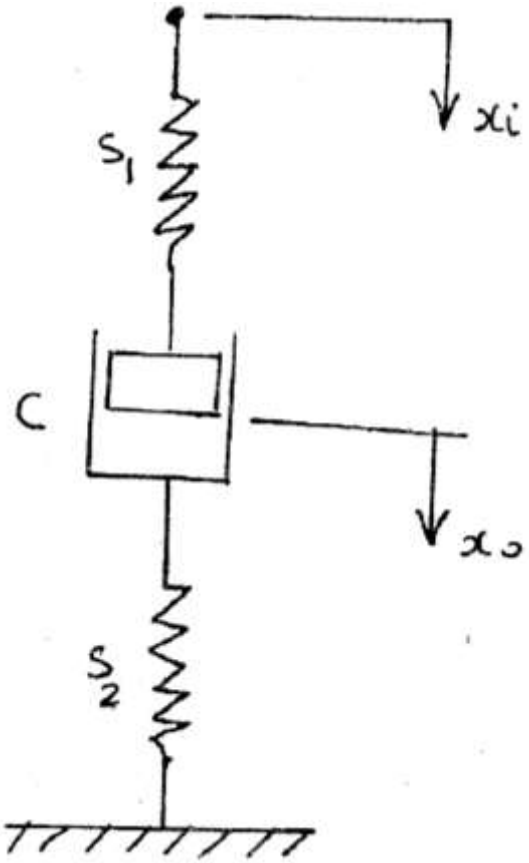
$$Ans\left(\frac{\theta_0}{\theta_i}=\frac{1.5}{1+0.8D},\tau=0.8s\right)$$



شكل رقم (1.22)

أوجد عامل الانتقال للمنظومة المبينة في الشكل رقم (1.23) ادناه :

$$Ans\left(s_1(CD+s_2)/\left[CD(s_1+s_2)+s_1s_2\right]\right)$$



شكل رقم (1.23)

الفصل الثاني

المخططات الكتلية **Block diagrams**

2.1 استخدام الجبر في الرسومات التخطيطية:
(Block diagram algebra)

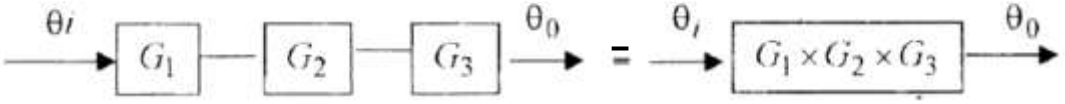
يبين المخطط الوظيفي لمنظومة ما كيفية توصيل العناصر المختلفة ، وكذلك دوال التحويل أو الانتقال الفردية المدونة في الخانات الخاصة بكل منها . وبذلك يمكن إيجاد دالة التحويل أو الانتقال الاجمالية للمنظومة بتجميع دوال عناصرها . وفيما يلي من شرح ستُميِّز دوال التحويل الخاصة بالعناصر في المسارات الأمامية بالحرف G أما دوال العناصر في اتجاه التغذية المرتدة فتميز بالحرف H .

2.1.1 العناصر المتصلة على التوالي:
(Elements in series or cascade)

الشكل رقم (2.1) أدناه يوضح ثلاث عناصر موصلة على التوالي (i.e. بمعنى أن خرج العنصر هو دخل للعنصر الثاني) .

يتأثر خرج كل عنصر تبعاً لدالة التحويل أو الانتقال الخاصة به ، وعلى ذلك فإن دالة التحويل أو الانتقال الاجمالية تكون عبارة عن حاصل ضرب القيم المنفردة لدوال التحويل ، أي أنَّ :

$$\frac{\theta_0}{\theta_1} = G_1 \times G_2 \times G_3$$



الشكل رقم (2.1) عناصر موصَّلة على التوالي

2.1.2 العناصر المتصلة على التوازي (Elements in parallel)

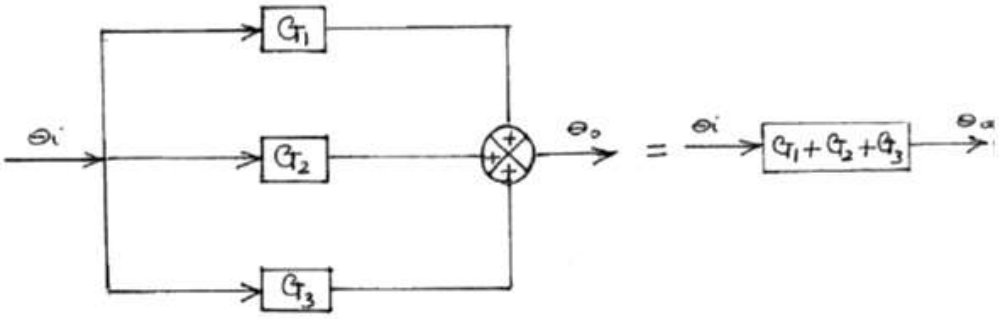
الشكل رقم (2.2) أدناه يوضح عدد ثلاث عناصر موصلة على التوازي.

في هذه الحالة تتم تغذية كل من العناصر الثلاثة بنفس الدخل θ1 وعلى ذلك يكون الخرج هو مجموع قيم الخرج الخاصة بكل عنصر.

أي أن :

$$\frac{\theta_0}{\theta_i} = G_1 + G_2 + G_3$$

ويدل الرمز ⊗ على نقطة تجميع مع بيان علامة الإشارة الداخلة فيها .



الشكل رقم (2.2) عناصر موصلة على التوازي

2.1.3 منظومة التغذية المرتدة ذات الوحدة:

الشكل رقم (2.3) أدناه يوضح منظومة تغذية خلفية ذات وحدة (unity feedback system).

في هذه الحالة يتم تغذيــة مدخل المنظومـة بالإشـارة θ_i وبذلك يكون الفرق θ_i-θ_o والذي يميز بالرمز θ_e هو الذي يتأثر فقط بالعنصر.

وهكذا فإنَّ :

$$\theta_0 = G\theta_e = G(\theta_i - \theta_0)$$

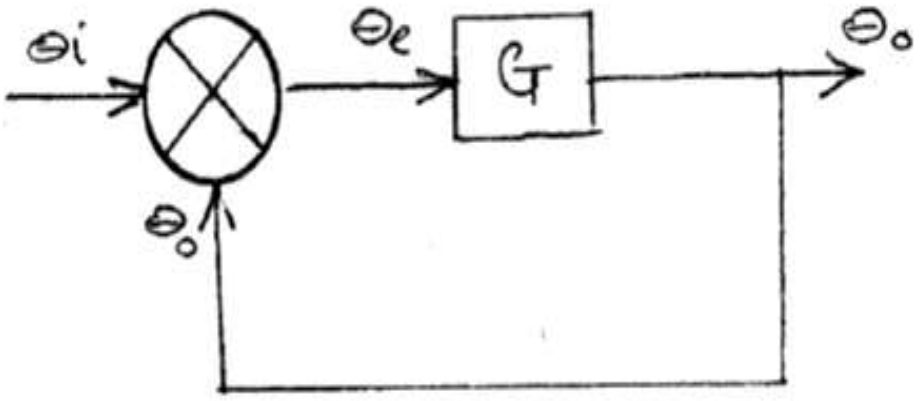
$$\theta_0 = G\theta_i - G\theta_0$$

$$\theta_0 + G\theta_0 = G\theta_i$$

$$\theta_0[1+G] = G\theta_i$$

دالة التحويل أو الانتقال ،

$$\frac{\theta_0}{\theta_1} = \frac{G}{1+G}$$



الشكل رقم (2.3) منظومة تغذية خلفية ذات وحدة

2.1.4 منظومة التغذية المرتدة التى يعترضها عنصر:

(Feed-back loop with element)

الشكل رقم (2.4) أدناه يوضح منظومة يعترضها عنصر في المسار الخلفي .

في هذه الحالة يتم تعديل الإشارة θ_0 وهي في مسارها في اتجاه التغذية المرتدة بواسطة العنصر H لاعطاء الإشارة $H\theta_0$ عند نقطة التجميع . وبذلك تكون إشارة الخطأ θe التى يغذي بها العنصر الموجود في المسار الأمامي هي $(\theta_i - H\theta_0)$ وعلى ذلك فإن :

$$\theta_o = G\theta_e = G(\theta_i - H\theta_0)$$

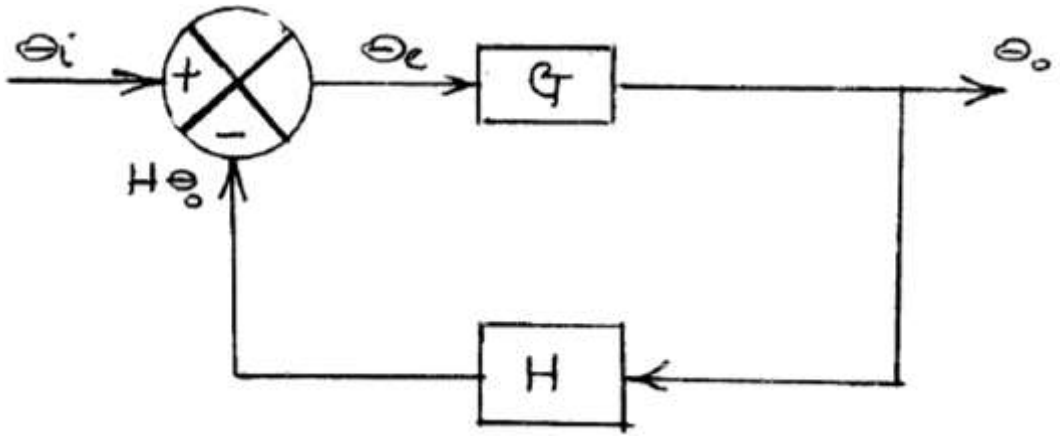
$$\theta_0 = G\theta_i - GH\theta_0$$

$$\theta_0 + GH\theta_0 = G\theta_i$$

$$\theta_0[1+GH] = G\theta_i$$

ومنها نجد أنّ :

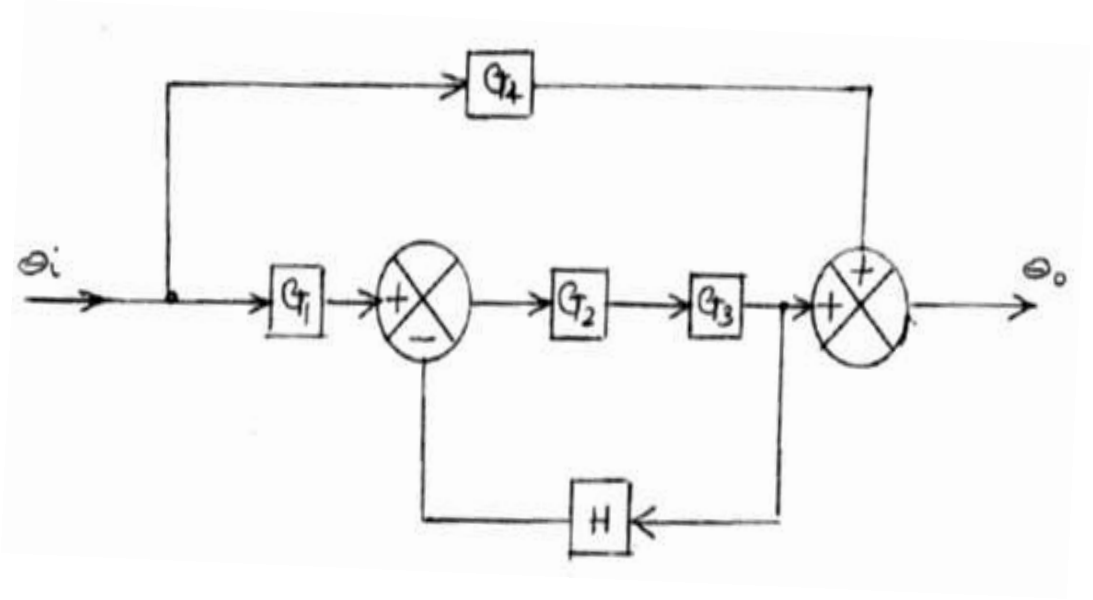
$$T.o = \frac{\theta_0}{\theta_i} = \frac{G}{1+GH}$$



الشكل رقم (2.4) منظومة يعترضها عنصر في المسار الخلفي

2.2 أمثلة محلولة : (Solved examples) :

1/ أوجد عامل التحويل او الانتقال للمنظومة الموضحة في الشكل رقم (2.5) أدناه:



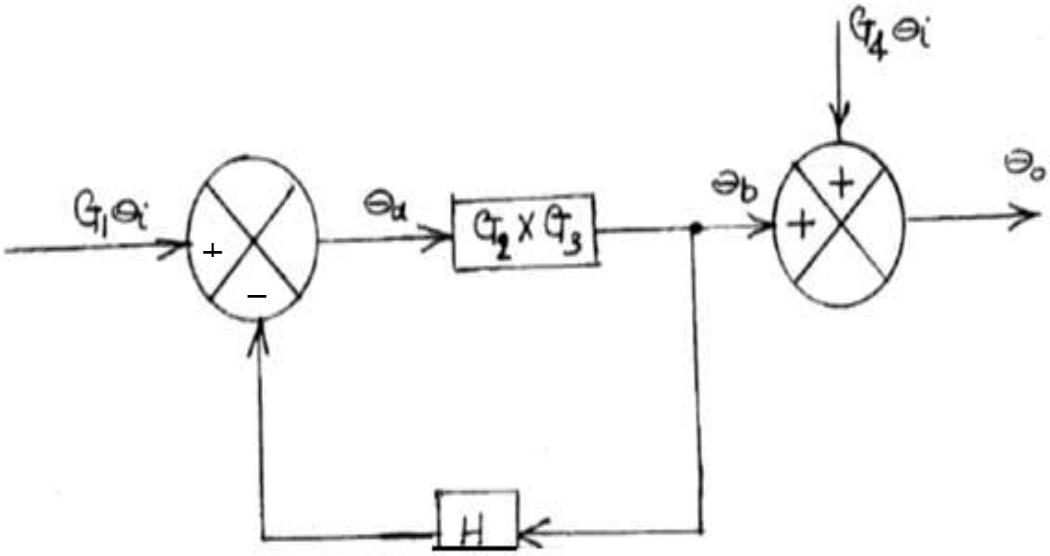
الشكل رقم (2.5)

الحل :

الخرج من العنصر $G_1\theta_i = G_1$.

الخرج من العنصر $G_4\theta_i = G_4$.

العناصر G2 و G3 هي عناصر متصلة على التوالي يمكن ضربها وتوحيدها في كتلة واحدة .

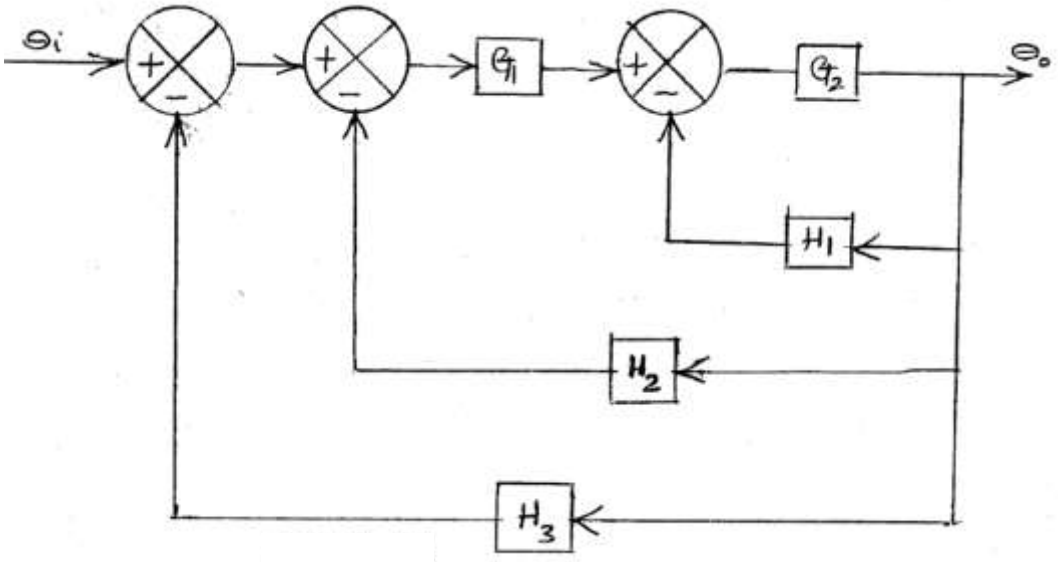


$$\theta_b = \theta_a G_2 G_3$$
$$\theta_a = G_1\theta_i - H\theta_b$$
$$\therefore \theta_b = (G_1\theta_i - H\theta_b)G_2G_3$$
$$\theta_b = G_1G_2G_3\theta_i - G_2G_3H\theta_b$$
$$\theta_b + G_2G_3H\theta_b = G_1G_2G_3\theta_i$$
$$\theta_b(1 + G_2G_3H)_3\theta_i$$
$$\theta_b = \frac{G_1G_2G_3}{1+G_2G_3H}\theta_1 + G_4\theta_i$$
$$\theta_0 = \theta_i + G_4\theta_i$$
$$\therefore \theta_0 = \frac{G_1G_2G_3}{1+G_2G_3H}\theta_i + G_4\theta_i$$
$$\therefore \theta_0 = \theta_i\left[\frac{G_1G_2G_3}{1+G_2G_3H} + G_4\right]$$

عامل التحويل أو الانتقال ،

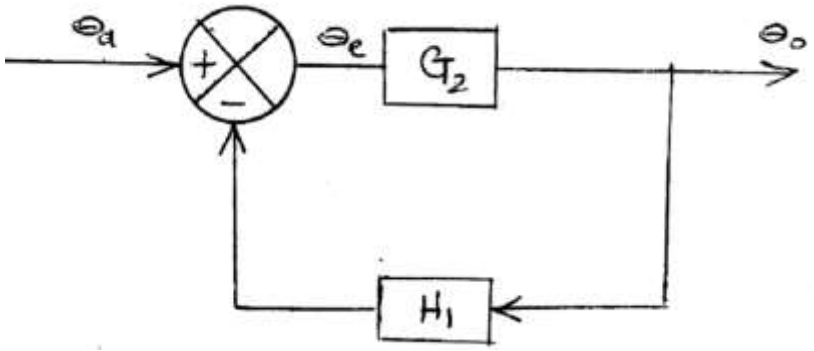
$$\frac{\theta_0}{\theta_i} = \frac{G_1G_2G_3}{1+G_2G_3H} + G_4 = \frac{G_1G_2G_3 + G_4 + G_2G_3G_4H}{1+G_2G_3H}$$

2/ استنبط دالة التحويل أو الانتقال للمنظومة المبينة في الشكل رقم (2.6) أدناه :



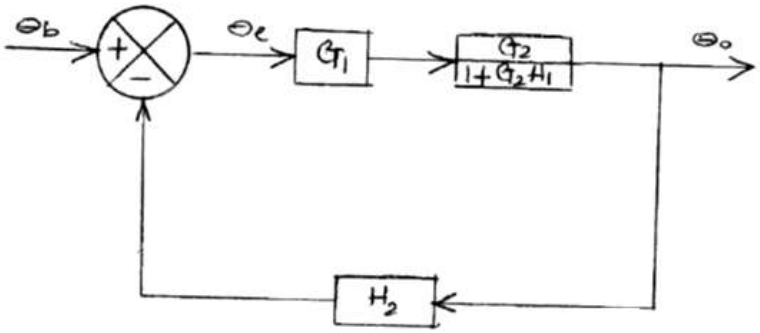
شكل رقم (2.6)

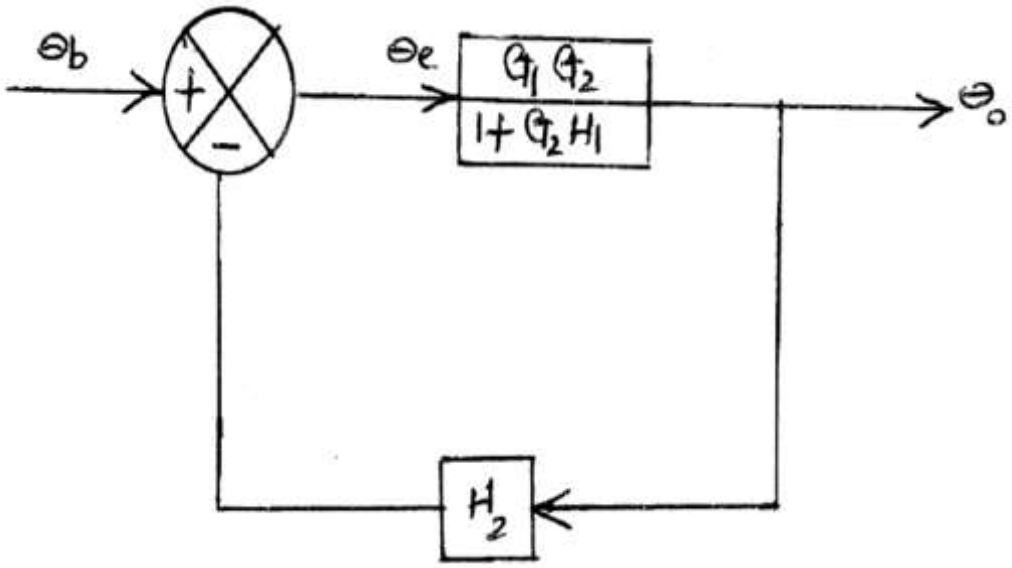
الحل : يتم البدء من دالة الانتقال الموجودة أقصى يمين الشكل:



$$\frac{\theta_0}{\theta_1} = \frac{G_2}{1+G_2H_1}$$

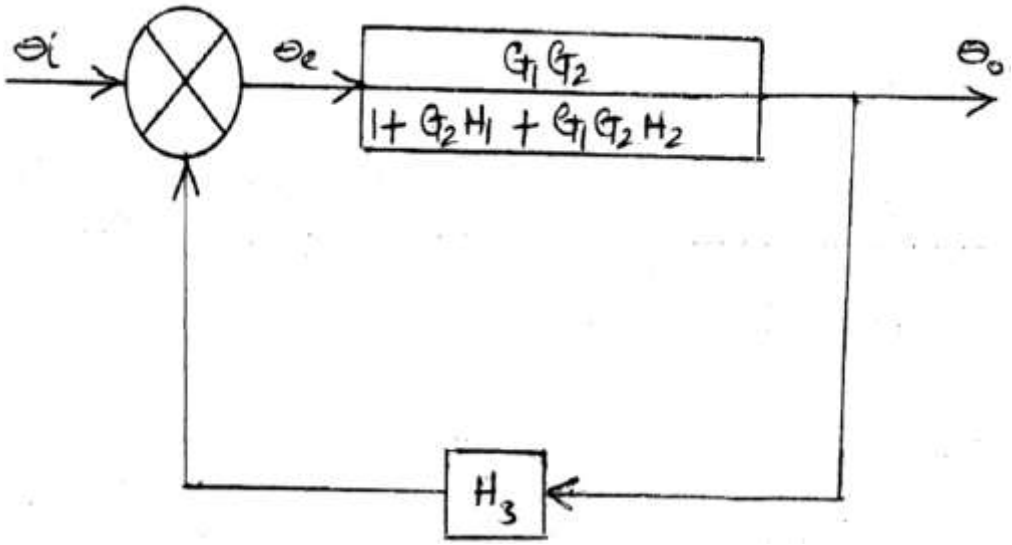
من بعد يتم الانتقال إلى الدالة التى تليها .





ثم $$\frac{\theta_0}{\theta_1}=\frac{1+\dfrac{G_1G_2}{G_2H_1}}{1+\dfrac{G_1G_2H_2}{1+G_2H_1}}=\frac{1+\dfrac{G_1G_2}{G_2H_1}}{1+\dfrac{G_2H_1+G_1G_2H_2}{1+G_2H_1}}=\frac{G_1G_2}{1+G_2H_1+G_1G_2H_2}$$

الانتقال أخيراً إلى الدالة الموجودة في أقصى يسار الشكل .

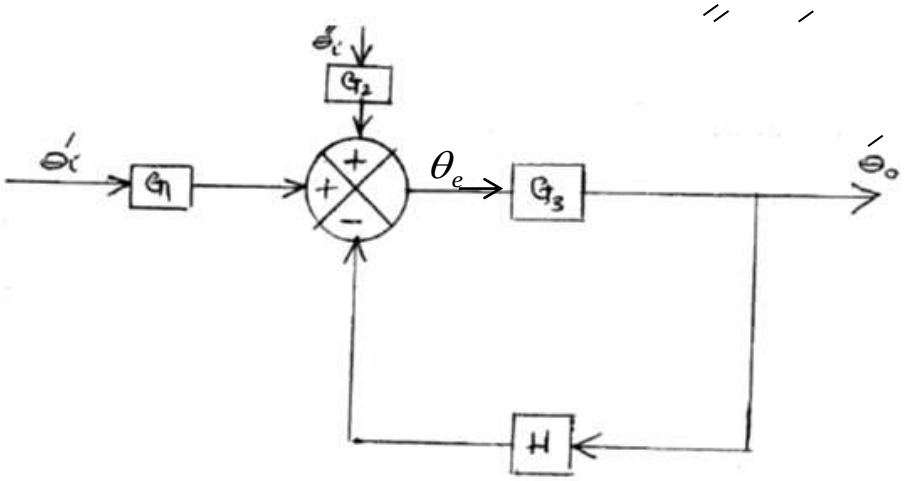


$$\frac{\theta_0}{\theta_i}=\frac{\dfrac{G_1G_2}{1+G_2H_1+G_1G_2H_2}}{1+\dfrac{G_1G_2H_3}{1+G_2H_1+G_1G_2H_2}}$$

$$=\frac{\dfrac{G_1G_2}{1+G_2H_1+G_1G_2H_2}}{\dfrac{1+G_2H_1+G_1G_2H_2+G_1G_2H_3}{1+G_2H_1+G_1G_2H_2}}$$

$$=\frac{G_1G_2}{1+G_2H_1+G_1G_2H_2+G_1G_2H_3}$$

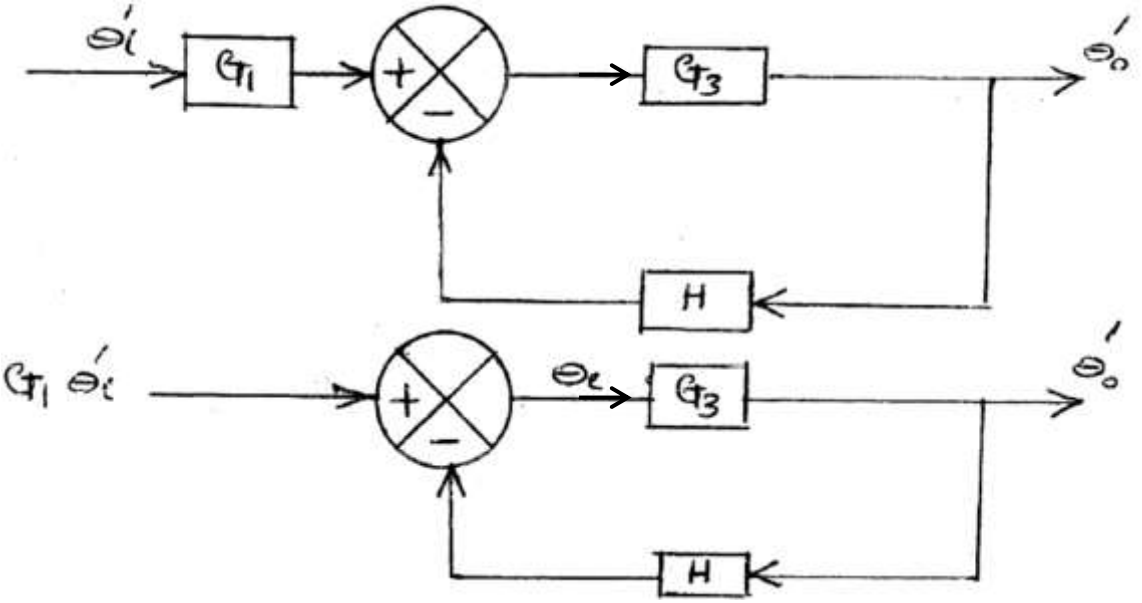
3/ أوجد باستخدام قانون التراكب (principle of superposition) الخرج θ_0 للمنظومة المبينة في الشكل رقم (2.7) أدناه التى تتعرض لاشارتي دخل θ_i و θ_i .



شكل رقم (2.7)

الحل : لحل هذه المسألة يتم استخدام قانون التراكب بما أن هنالك دخلان وخرج واحد .

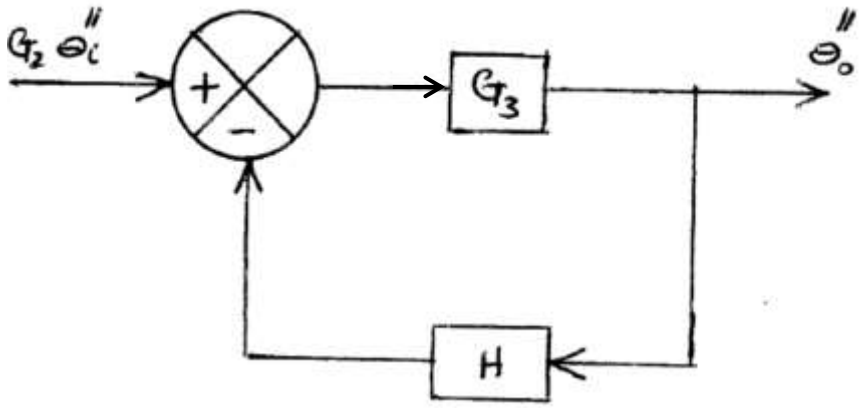
أ/ بفرض أن الدخل θ_i يساوي صفر ، وأنθ_0 هو الخرج الناتج منθ_i :



$$\frac{\theta_0}{G_1\theta_1} = \frac{G_3}{1+G_3H}$$

$$\theta_0 = \frac{G_1G_3\theta_1}{1+G_3H}$$

ب/ بفرض أنّ الدخل θ_i يساوي صفراً ، وأن الخرج الناتج من θ_i هو θ_0 :



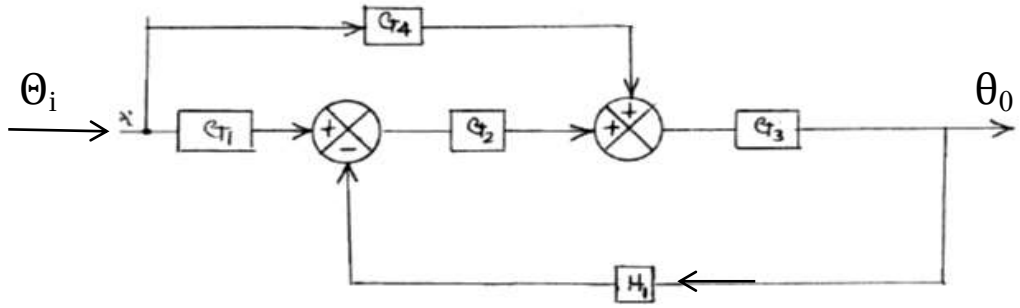
$$\frac{\theta''}{G_2\theta_i''} = \frac{G_3}{1+G_3H}$$

$$\theta'' = \frac{G_1G_3\theta_i''}{1+G_3H}$$

$$\theta_0 = \theta_0' + \theta_0'' = \frac{G_1G_3\theta_i'}{1+G_3H} + \frac{G_2G_3\theta_0''}{1+G_3H}$$

$$= \frac{G_1G_3\theta_i' + G_2G_3\theta_i''}{1+G_3H}$$

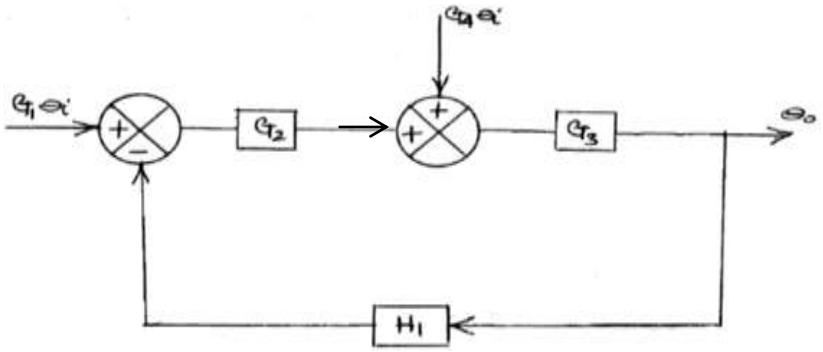
4/ أعد رسم المخطط الكتلى في الشكل رقم (2.8) أدناه للحصول على علاقة θ_i هو θ_0 .



شكل رقم (2.8)

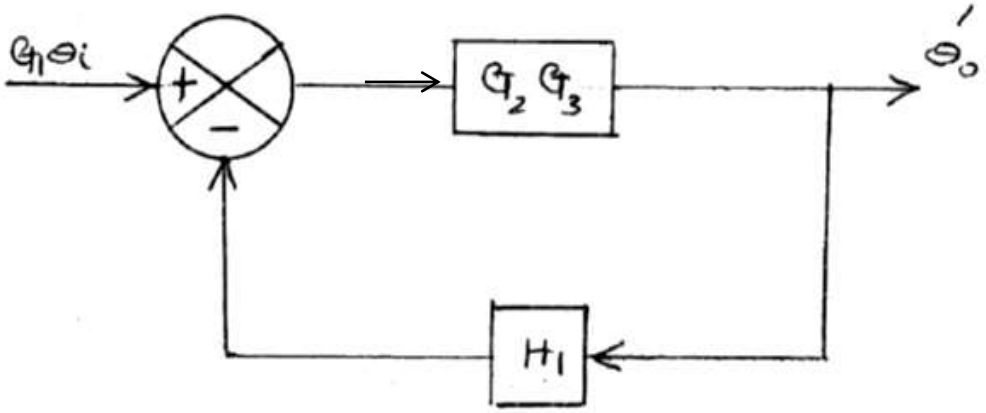
الحل :

بإعادة ترتيب المخطط عاليه :



باستخدام قانون التراكب :

أ/ نفترض أنّ $G_4\theta_i$ تساوي الصفر ، وأنّ هو الخرج الناتج من $G_1\theta_i$ هو θ_0'

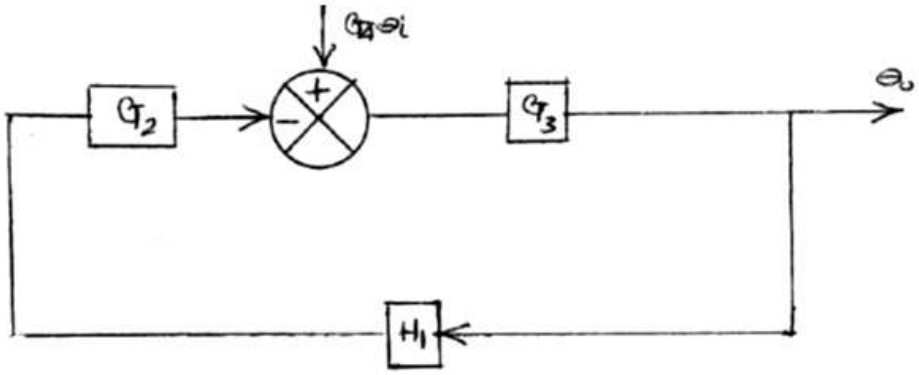


$$\therefore \frac{\theta_0'}{G_1\theta_i} = \frac{G_2G_3}{1+G_2G_3H_1}$$

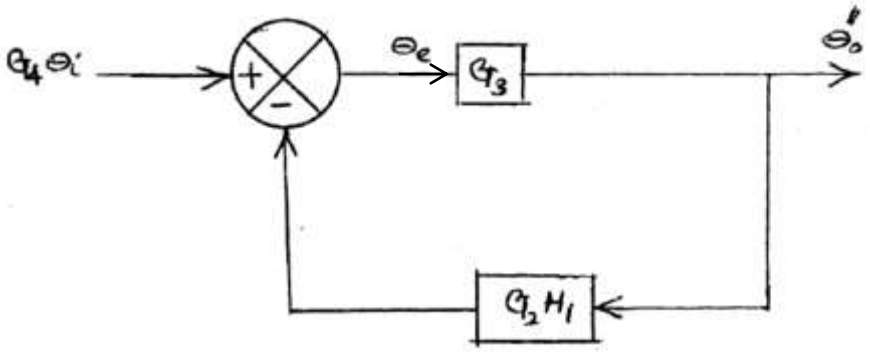
أو يتم التعبير عنها كالآتي :

$$\frac{\theta_0'}{\theta_i} = \frac{G_1G_2G_3}{1+G_2G_3H_1}$$

ب/ نفترض أنّ $G_1\theta_i$ تساوي الصفر وأن هو الخرج الناتج من $G_4\theta_i$: θ_0''



وبإعادة الترتيب مرة أخرى :



$$\therefore \frac{\theta_0''}{G_4\theta_i} = \frac{G_3}{1+G_2G_3H_1}$$

أو يتم التعبير عنها كالآتي:

$$\frac{\theta_0''}{\theta_i} = \frac{G_3G_4}{1+G_2G_3H_1}$$

بما أن عاملي التحويل أو الانتقال موصلين على التوازي ، فهذا يعني جمعهما للحصول على عامل التحويل أو الانتقال الاجمالي للمنظومة .

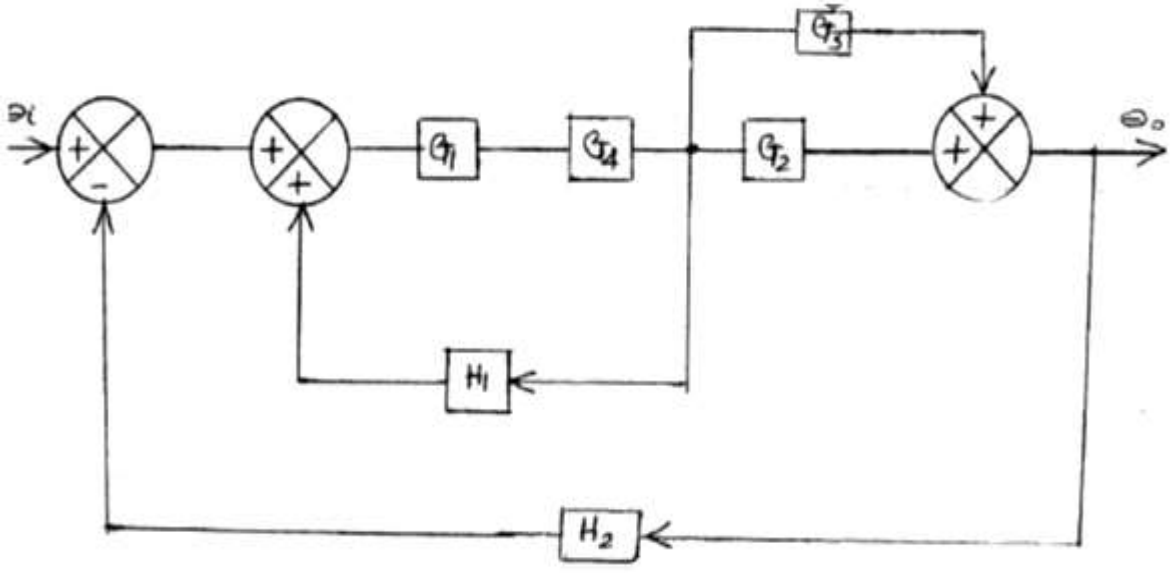
$$\therefore \frac{\theta_0}{\theta_i} = \frac{\theta_0'}{\theta_i} + \frac{\theta_0''}{\theta_i}$$

$$= \frac{G_1G_2G_3}{1+G_2G_3H_1} + \frac{G_3G_4}{1+G_2G_3H_1}$$

$$= \frac{G_3(G_1G_2+G_4)}{1+G_2G_3H_1}$$

2.3 مسائل إضافية : (Additional Problems):

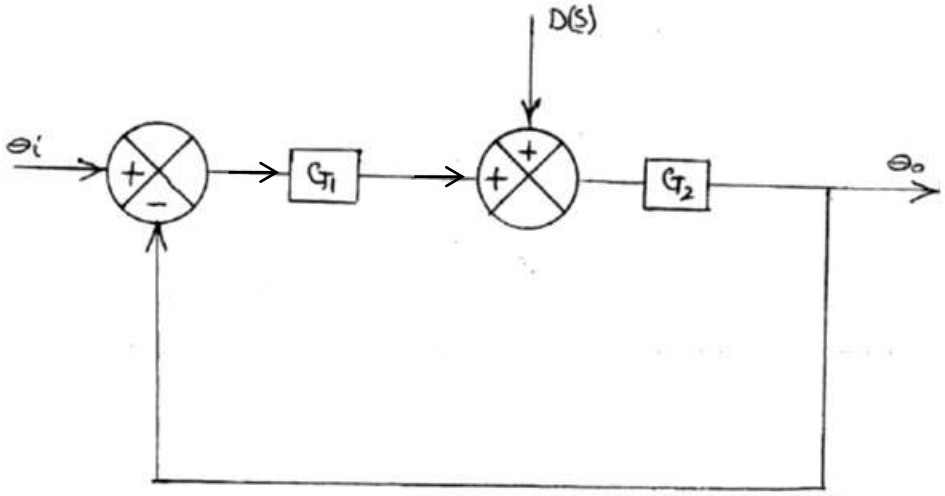
للمخطط الكتلي الموضح في الشكل رقم (2.9) أدناه حدد العلاقة θ_0 هو θ_i بالتخفيض المتعاقب للمخطط الكتلي .



شكل رقم (2.9)

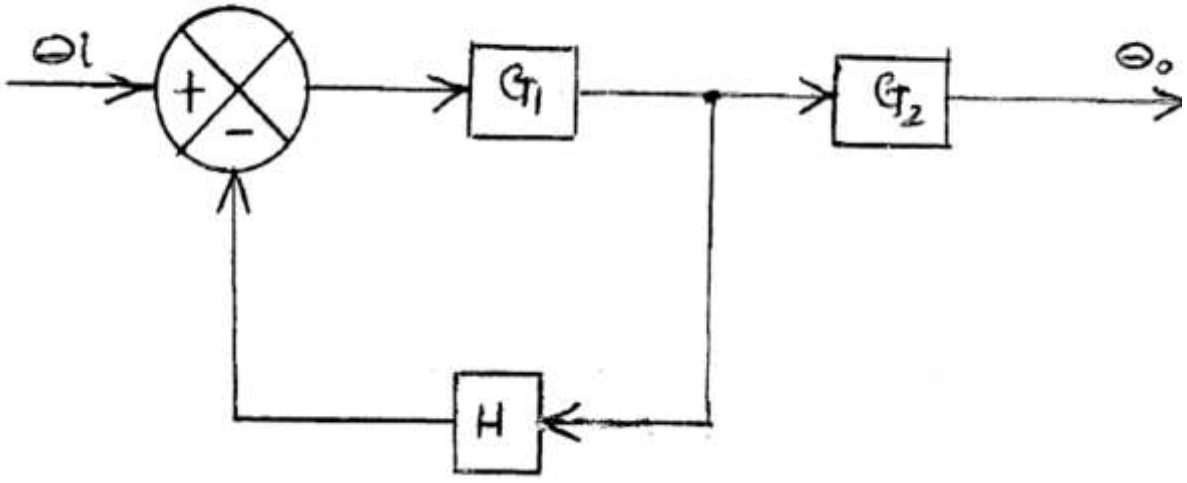
$$Ans.\left\{\frac{G_1G_4(G_2+G_3)}{1-G_1G_4H_1+G_1G_4H_2(G_2+G_3)}\right\}$$

2/ نظام تحكم مغلق الحلقة مسلط عليه تشويشاً (disturbance) D(S) كما موضح في الشكل رقم (2.10) أدناه . وضح باستخدام مبدأ التراكب الأثر على خرج النظام.



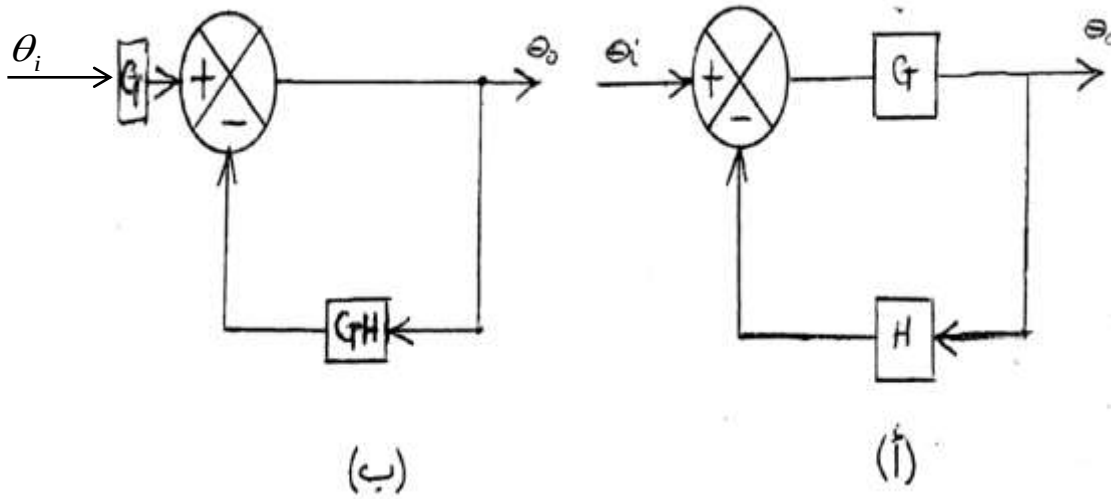
شكل رقم (2.10)

3/ استنبط دالة التحويل أو الانتقال للمنظومة المبينة في الشكل رقم (2.11) ادناه:



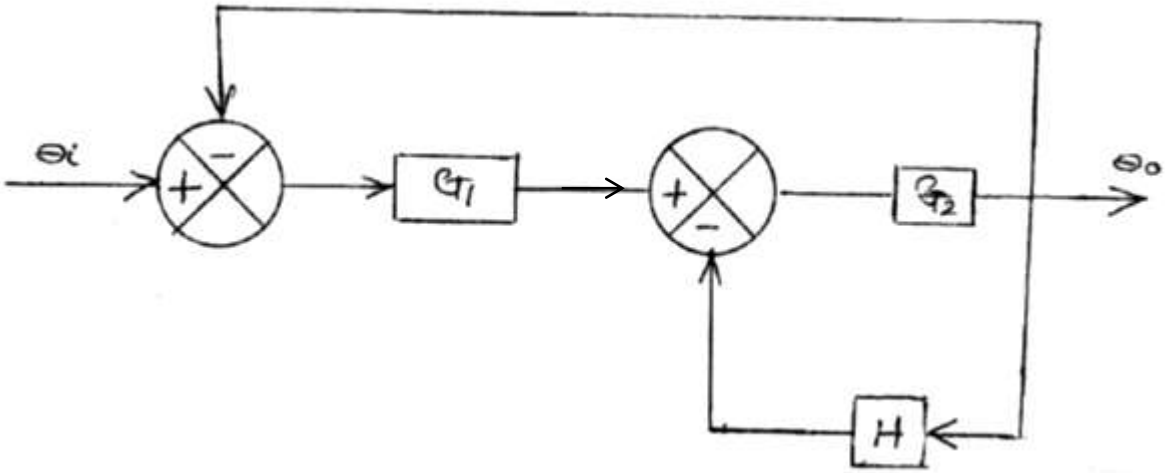
شكل رقم (2.11)

4/ المنظومة المبينة في شكل رقم (2.12 ـ أ) أعيد ترتيبها بتحريك نقطة التجميع إلى خلف العنصر G ، كما في الشكل رقم(2.12 ـ ب) أثبت أن دالة التحويل أو الانتقال في كل حالة هي G/(1+GH) .



شكل رقم (2.12)

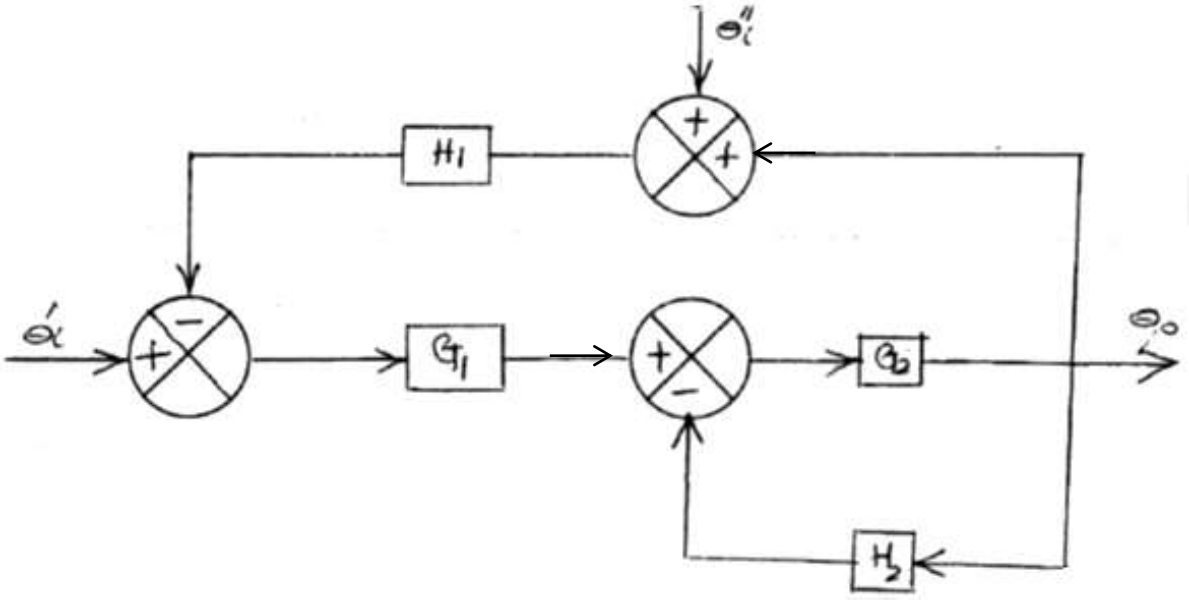
5/ أوجد دالة التحويل أو الانتقال للمنظومة المبينة في الشكل رقم (2.13) أدناه .



شكل رقم (2.13)

$$Ans.\left(G_1G_2/(1+G_1G_2+G_2H)\right)$$

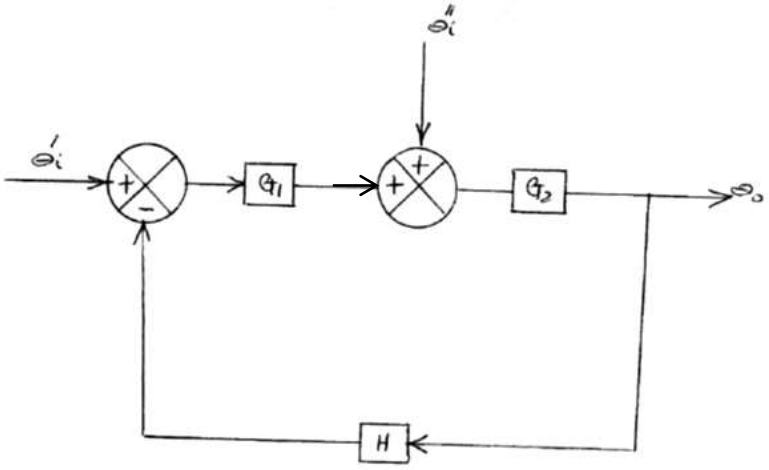
6/ أوجد الخرج θ_0 للمنظومة الموضحة في الشكل رقم (2.14) أدناه.



شكل رقم (2.14)

$$Ans.\left((G_1G_2\theta_i^{/} - G_1G_2H_1\theta_i^{//}/(1+G_1G_2H_1+G_2H_2)\right)$$

7/ يبين الشكل رقم (2.15) أدناه منظومة ذات دخلين . استنتج علاقة لايجاد $\theta_i^{/}, \theta_i^{//}$ خرج المنظومة θ_0 .



شكل رقم (2.15)

$$Ans.\left\{\frac{G_1G_2\theta_i^{/}+G_2\theta_i^{//}}{1+G_1G_2H}\right\}$$

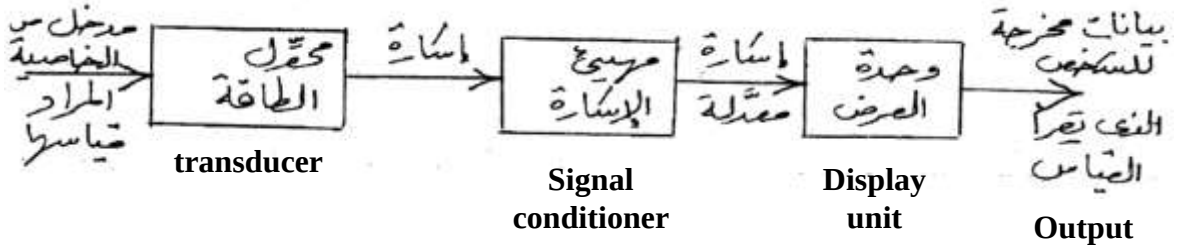
نظم القياس **Measurement systems**

3.1 تحليل النظام : (Analysis of a system)

تعتمد الهندسة أساساً على القياس . لتصنيع المكونّات (الأجزاء) الهندسية أو للتحكم في إجراءات مستمرة في محطات القدرة أو لاختبار السيارات أو الآلات أو هياكل المباني وغيرها نحتاج لمعلومات دقيقة وكافية وهذا لا يتأتى إلا بالقياس.

3.2 تمثيل منظومة القياس في مخطط كتلي: (Block diagram representation)

الشكل رقم (3.1) أدناه يوضح المكونات الأساسية لنظام قياس نموذجي. يتركب من محول طاقة يقوم بتحويل الخواص الفيزيائية ، الكيميائية والميكانيكية صعبة القياس إلى خواص أخرى يمكن قياسها بسهولة . ومهيئ إشارة يقوم بتكبير أو تصغير الإشارة بحيث يمكن قياسها بسهولة كما له القدرة على تغيير شكل الإشارة من خطية إلى زاوية وبالعكس . أما وحدة العرض فتقوم بعرض الإشارة في صورتها النهائية على شاشات أو مبينات مثل مبين سرعة السيارة ، منسوب الوقود في خزانات حفظ الوقود وغيرها .



شكل رقم (3.1) الأجزاء الأساسية لنظام قياس نموذجي

افترض أنه يُراد قياس درجة حرارة ماء ومعلوم أن درجة حرارة المادة تعتمد على شدة اهتزاز ذرات وجزيئات المادة . بما أنه لا يمكن قياس الاهتزازات لصغرها ، فسنحتاج لثيرموميتر عادي يستخدم كمحول للطاقة (Transducer) وهو عبارة عن أنبوبة شعرية داخل أنبوبة زجاجية في نهايتها بُصيلة (bulb) مليئة بالزئبق تقوم بتحويل الاهتزازات إلى تمدُّد أو إنكماش في الحجم وهذه يتم التعامل معها بسهولة. ولكن التغير في الحجم لا يستفاد منه إذا ظل الزئبق في شكل البصيلة ، عليه يتطلب أن يكون هنالك مهيئ إشارة (Signal conditioner) لتغيير الإشارة إلى إشارة يمكن قياسها بسهولة . ففي حالة الثيرموميتر فإن التغير في حجم الزئبق يمر خلال أنبوبة شعرية (capillary tube) في ساق الزجاجة ، عليه فإن التغير في الحجم يصبح تغيراً في ارتفاع الزئبق بحيث يمكن رؤيته خلال الزجاج.

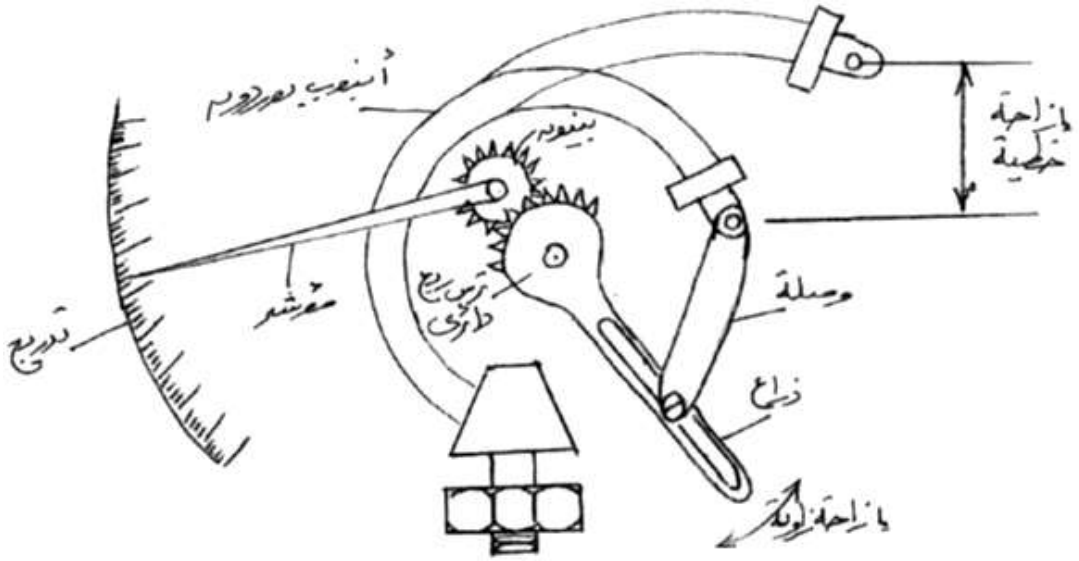
الإشارة في صورتها النهائية يجب عرضها من خلال وحدة العرض (display unit) بحيث يمكن قراءتها بسهولة ويسر وهذا يتم مباشرة في حالة الثيرموميتر بمقارنة نهاية خيط الزئبق مع درجة تدريج الساق الزجاجية .

3.3 أمثلة عملية لبعض نظم القياس:

3.3.1 أجهزة قياس الضغط : (Pressure measuring devices):

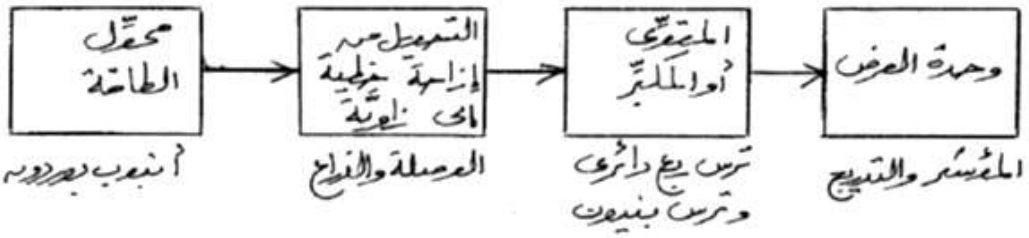
أ/ أنبوب بوردون لقياس الضغط: (Bourdon tube pressure gauge)

أنبوب بوردون عبارة عن أنبوب بيضاوي المقطع (oval cross-section) محنى في شكل قوس دائري ، مغلق عند أحد طرفيه ومفتوح عند الآخر كما موضحٌ في شكل رقم (3.2) أدناه . عندما يسمح للضغط بالمرور يتحول المقطع من بيضاوي إلى دائري ، حيث يتسبب هذا في ميل الأنبوب للاستقامة ليصبح قوساً لنصف قطر دائرة أكبر . هذا يعني أن أنبوب بوردون يعمل كمحول للطاقة حيث يقوم بتحويل الضغط إلى إزاحة وبما أن إزاحة حافة الأنبوب تكون صغيرة فإنها تحتاج إلى تكبير باستخدام مهيئ إشارة . والمكبر أو المقوي في هذه الحالة هو ميكانيكي حيث يتم استخدام ترس في شكل ربع دائرة وترس صغير (بنيون) معشقان مع بعضهما ، ولكن تكبيره أو إزاحته زاوية وليست خطية . ولهذا فسنحتاج لتحويل للإشارة من إزاحة خطية إلى إزاحة زاوية بواسطة الوصلة والذراع . أخيراً يتم عرض النتيجة بتركيب مؤشر يدور مع البنيون ليقرأ الضغط في تدريج دائري.



شكل رقم (3.2) أنبوب بوردون لقياس الضغط

الشكل رقم (3.3) أدناه يوضح المخطط الكتلي لمقياس بوردون لقياس الضغط



شكل رقم (3.3) مخطط كتلي لجهاز بوردون

مثال (1) :

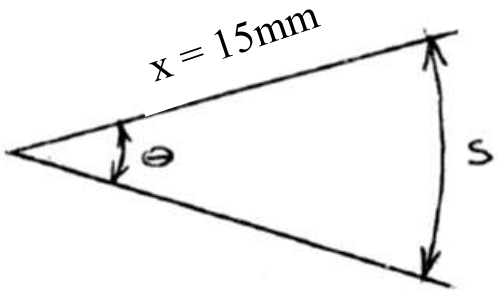
مقياس ضغط يراد تصميمه بدورة مؤشر مقدارها 300 درجة عندما يتغير الضغط من صفر إلى 10 bar . تُزاح حافة أنبوب بوردون بمقدار 2.5mm عند ضغط مقداره 10 bar . إذا كانت حافة أنبوب بوردون موصلة بذراع بنصف قطر

مقداره 15mm. أحسب نسبة عدد الأسنان المناسبة بين الترس ربع الدائري والبنيون . إذا كانت نسبة التروس القياسية هي 30:1 أوجد نصف قطر الذراع الجديد .

الحل :

* أنبوب بوردون: (Boundon tube) عامل الانتقال أو الكسب (G) = المخرجات / المدخلات $= \frac{2.5}{10} = 0.25 mm/bar$

* الوصلة والذراع: (Link and arm)



$$\tan\theta = \frac{s}{x}$$

بما أن θ قيمتها صغيرة جداً ، فإن :

$$\tan\theta = \theta = \frac{s}{x}$$

$$\therefore \theta = \frac{s}{15} \qquad rad$$

$$\therefore \theta = \frac{s}{15} \times \frac{180}{\pi} = 3.82S \qquad \deg$$

الكسب أو عامل الانتقال :

$$G = \frac{o/p}{i/p} = \frac{\theta}{S} = \frac{3.82S}{S} = 3.82 \deg/mm$$

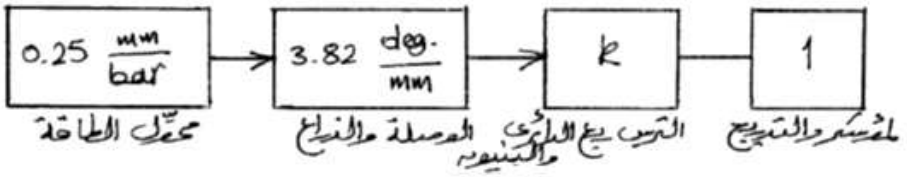
المؤشر والتدريج : (pointer and scale)

وهو عبارة عن جهاز عرض (display device) فقط ، عليه يمكن اعتبار عامل انتقاله او كسبه مساوياً لوحدة .

عامل الانتقال أو الكسب ،

$$G = \frac{o/p}{i/p} = 1$$

فيما يلي يمكن تمثيل جهاز أنبوب بوردون بمخطط كتلي رقمي ،



النسبة الكلية للمخرجات إلى المدخلات تسمى بحساسية أو عامل القياس للجهاز (sensitivity or scale factor) .

الحساسية او عامل القياس أو دالة الانتقال الكلية ،

$$= \frac{300^{\circ}}{10bar} = 30\,\text{deg}/\,bar$$

يتم ضرب عوامل الانتقال لكل عنصر ومساواتها بالحساسية للحصول على k :

$$0.25\frac{mm}{bar} \times 3.82\frac{\text{deg}}{mm} \times k \times 1 = 30\frac{\text{deg}}{bar}$$

$$\therefore k = \frac{30}{0.25 \times 3.82 \times 1} = 31.4$$

وهكذا فان نسبة التروس القياسية 30:1 ستكون مناسبة مع انها ستعطي دورة مؤشر أقل قليلاً عن 300° ولتصحيح هذا الوضع سيتم تقصير نصف قطر الذراع قليلاً.

نسبة عدد أسنان الترس ربع الدائري إلى ترس البنيون ، $\left(\frac{T_Q}{T_p}\right)$

$$k = \frac{\text{الحساسية}}{\text{عامل انتقال المؤشر والتدريج} \times \text{عامل انتقال الوصلة والذراع} \times \text{عامل انتقال انبوب بوردون}}$$

$$k = \frac{30}{0.25 \times \mu \times 1} = 30$$

$$0.25 \times 30\mu = 30$$

عامل انتقال الوصلة والذراع الجديد ،

$$\mu = \frac{1}{0.25} = 4\,\text{deg}./\,mm$$

أيضاً ،

$$\mu = \frac{o/p}{i/p} = \frac{\theta}{S}\,4\,\text{deg}./\,mm$$

$$\therefore \theta = 4S$$

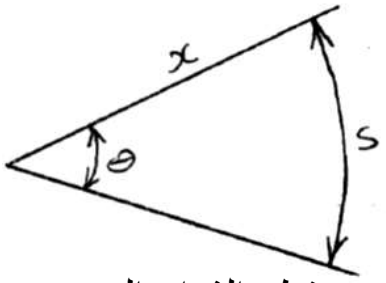
أيضاً

$$\tan\theta = \theta = \frac{s}{x} \qquad rad$$

$$\theta = \frac{s}{x} \times \frac{180}{\pi} = 4s$$

$$\therefore 4x\pi = 180^\circ$$

$$\therefore x = \frac{180^\circ}{4\pi} = 14.3mm$$



∴ نصف قطر الذراع الجديد = 14.3 mm

للتأكد من الإجابة ، يتم ضرب عوامل الانتقال لجميع العناصر والتأكد من أنها مساوية للحساسية

$$check : 0.25 \times 4 \times 30 \times 1 = 30 \deg./bar$$

2/ المانوميتر : (manometer)

هو عبارة عن أنبوب في شكل حرف U كما هو واضح في الشكل رقم (3.4) . وهو عادة ما يملأ بالماء أو الزئبق إلى حوالي نصف ارتفاع الانبوب في شكل حرف U (المستوى الأولي واضح في الشكل) إذا تم تطبيق ضغوط بمقدار P_2 و P_1 إلى طرفي الأنبوب سينشأ فرق في المستوى بمقدار h يتناسب طردياً مع فرق الضغط ($p_1 - p_2$) .إذا كان أحد طرفي الأنبوب U مفتوحاً إلى الضغط الجوي P_2 ، فإن المانوميتر يقيس الفرق في الضغط بين P_1 والضغط الجوي (i.e. يقيس ضغط القياس (gauge pressure) لـ p_1) .

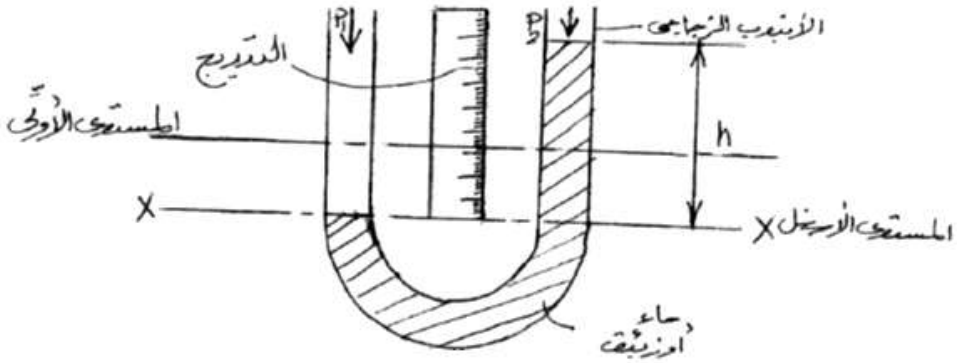
الفرق في الضغط الذي يتم قياسه باستخدام الانبوب في شكل حرف U يتم التعبير عنه بالارتفاع المليمترى (mm) للزئبق (Hg) أو الماء (H2o) معتمداً على السائل الذي يتم استخدامه . عليه ولقياس الفرق في الضغط يمكن استخدام المعادلة التالية:

ضغط القياس = الفرق في المستوى للمعطى × الضغط الجوى
ارتفاع الزئبق نتيجة

عند المستوى الاسفل للمانوميتر (x-x) شكل رقم (3.4) تكون الضغوط متساوية في الطرفين ، عليه يمكن استخدام المعادلة التالية للتعبير عن الفرق في الضغط.

ضغط القياس ،

$$p_1 - p_2 = \ell gh$$



شكل رقم (3.4) مانوميتر قائم أو معتدل في شكل حرف U

للأغراض العملية ، فإن الضغط الأقصى الذي يمكن قياسه على أنبوب المانوميتر (U) هو حوالي 1 ضغط جوي . عند ضغوط أكبر من هذه القيمة فإننا نحتاج لزيادة طول الأنبوب وكمية الزئبق المطلوبة .

مثال (2) :

أنبوب في شكل حرف U يحتوي على زئبق ويكون أحد طرفيه معرضاً للضغط الجوي:

أ/ لفرق في المستوى مقداره 28.5mm حدِّد الآتي :

ضغط القياس (The gauge pressure) .

الضغط المطلق (The absolute pressure) .

باستخدام المنظومة الدولية لوحدات القياس (SI) .

ب/ تحقق من إجابتك للسؤال (أ-1) مستخدماً الطريقة البديلة .

ج/ كم سيكون الفرق في المستوى إذا استخدمنا الماء بدلاً عن الزئبق عند نفس الضغط ؟

الحل : أ/1/ ضغط القياس :

$$\text{ضغط القياس} = \frac{\text{الفرق في المستوى المعطى}}{\text{ارتفاع الزئبق نتيجة لتأثير الضغط الجوى}} \times \text{الضغط الجوى}$$

$$= \frac{28.5}{670} \times 1.013 \times 10^5 = 3798.75 N/m^2$$

$$\approx 3.8 KN/m^2 or (kpa)$$

2/ الضغط المطلق:

الضغط الجوي+ ضغط القياس= الضغط المطلق

$$= 3.8 + 101.3 = 105.1 kN/m^2$$

ب/ ضغط القياس = ℓgh

$$= 13.6 \times 10^3 \times 9.81 \times 0.0285 = 3800 N/m^2$$

$$= 3.8 KN/m^2$$

ج/ الفرق في المستوي المقابل إذا تم استخدام الماء :

$$h_w = h_m \times \frac{e_m}{e_w} = 28.5 \times 13.6 = 388 mmH_2o$$

3/ مانوميتر في شكل حرف U مليئ بسائل فوق الزئبق :

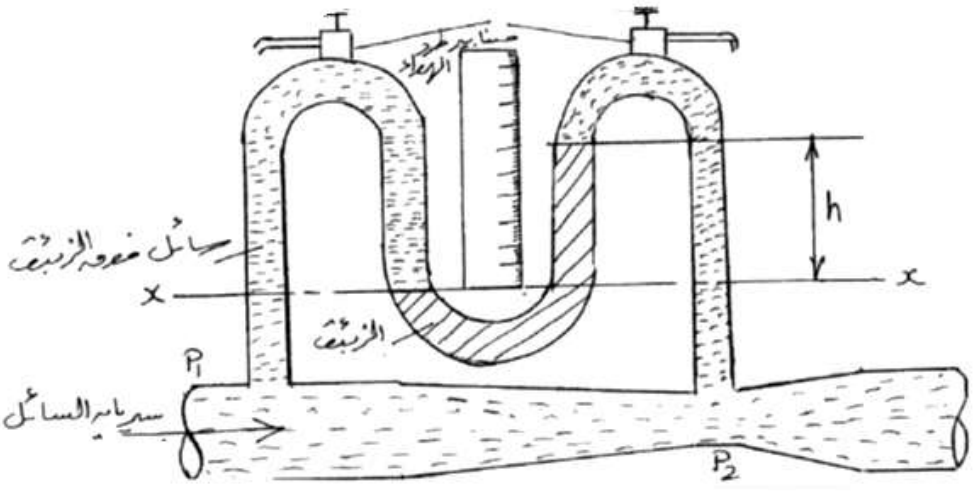
(U- tube manometer with liquid above the mercury)

عندما يتم استخدام أنبوب في شكل حرف U لقياس فرق ضغط سائل (مثال لذلك فرق الضغط بين مقدمة مقياس فنشوري وعنقه) . عادة ما يتم طرد الهواء المحبوس خارج النظام خلال صنابير (bleed cocks) كما هو واضح في الشكل (3.5) حتى يكون السائل متصل تماماً بالزئبق في طرفي الأنبوب .

عند المستوى الأدنى (x-x) يكون الضغط متساوياً عند طرفي الأنبوب وعليه يمكن حساب فرق الضغط بالمعادلة :

$$p_1 - p_2 = (13.6 - d) \times 10^3 gh$$

في هذه الصيغة 13.6 هي الكثافة النسبية للزئبق و d هي الكثافة النسبية للسائل فوق الزئبق .



شكل رقم (3.5) مانوميتر في شكل حرف U بسائل فوق الزئبق

مثال (3) :

مقياس فنشوري يتم توصيله إلى مانوميتر في شكل حرف U يحتوي على زئبق ، إذا كان النظام مليئاً بسائل . أحسب فرق الضغط بين مدخل الفنشوري وعنقه عندما يكون الفرق في مستوى الزئبق 170mm ، إذا كان السائل الموجود فوق الزئبق هو:

أ/ الماء .

ب/ الكيروسين (kerosene) بكثافة نسبية مقدارها 0.8 .

الحل أ/ :

$$p_1 - p_2 = (13.6 - d) \times 10^3 gh$$
$$= (13.6 - 1) \times 10^3 \times 9.81 \times 0.17 = 21000 N/m^2$$
$$= 21 KN/m^2$$

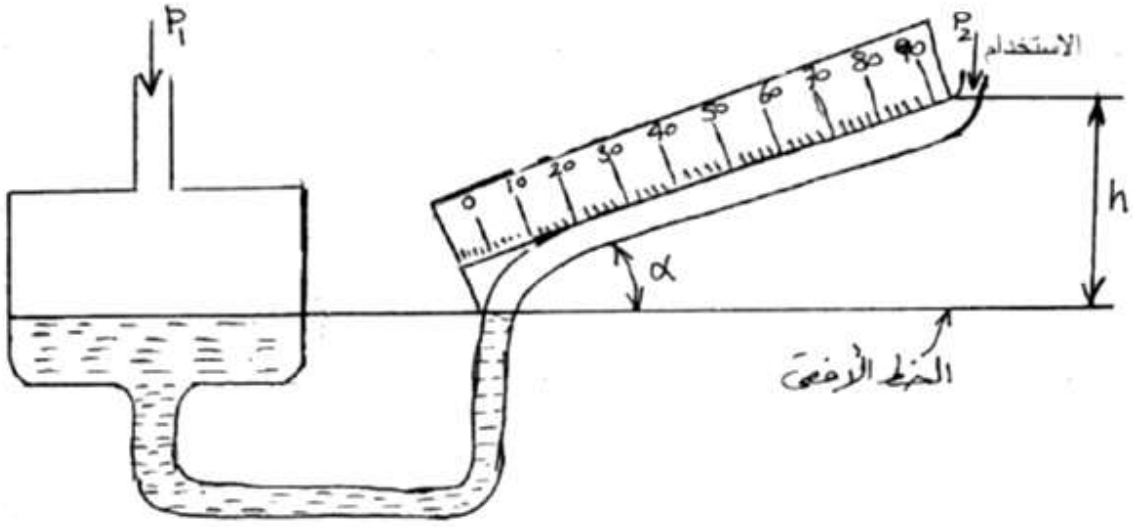
ب/

$$p_1 - p_2 = (13.6 - 0.8) \times 10^3 \times 9.81 \times 0.17 = 21300 N/m^2$$
$$= 21.3 KN/m^2$$

4/ المانوميتر المائل : (The inclined manometer)

هذا النوع يستخدم لقياس فروق ضغوط صغيرة أقل بكثير عن الضغط الجوي . لقياس مثل هذه الضغوط الصغيرة جداً على أنبوب المانوميتر في شكل حرف U العادي ، يجب استخدام الماء كسائل أو من الأفضل استخدام زيت خفيف أقل كثافة من الماء لاعطاء فرقاً أكبر في المستوى في أنبوب U . هنالك احتمال كبير للخطأ في القراءة في المانوميتر العادي نتيجة لتأثيرات الجاذبية والقصور الذاتي وقوى التماسك والالتصاق . عليه فإن المانوميتر يقوم بتخفيض هذا الخطأ وذلك يتم باستمالة أحد أطرافه بزاوية صغيرة $\propto$ بالنسبة للأفقي ويكون تأثير ذلك هو توزيع التقسيمات في التدريج على جانب الأنبوب . عليه فإن كل (mm) من المقياس يجب ضربها في $\csc \propto$.وماذا عن الطرف الآخر ؟ يجب أن يكون المستوى في هذا الجانب ثابتاً بقدر الامكان وهذا يتم بتوسيع مقطع الأنبوب . عليه فإن إزاحة السائل المطلوبة لانحراف كامل للمقياس في الطرف المائل تتسبب في تغيير في المستوى يمكن تجاهله في الطرف الواسع. بما ان قراءة المانوميتر ذات حساسية عالية لأي تغيير في الزاوية $\propto$ فإنه عادة ما يتم حمل الجهاز على ميزان ماء أو كحول (spirit level) حتى يتم ضبطه بدقة قبل الاستخدام.

الشكل رقم (3.6) أدناه يوضح مانوميتر أنبوبي مائل .



شكل رقم (3.6) مانوميتر أنبوبي مائل

مثال (4) :

مانوميتر مائل يحتوي على ماء ، احد طرفيه مائل بزاوية مقدارها 8˚ على الأفقي .يكون القطر الداخلي للطرف المائل مساوٍ لـ 2.5 mm ، وللطرف الواسع 38mm . يكون مدى قياس الجهاز من صفر وحتى 40mmH2o.

أ/ حدِّد طول مقياس التدريج ، ومنه تحصل على طول 1mm من تقسيم التدريج .

ب/ افترض أن المقياس يمكن قراءته بدقة مقدارها 0.5mm ± (من الطول الفعلي) ، حدِّد أقصى نسبة خطأ عندما يتم قياس ضغط يعادل 10mmH2o .

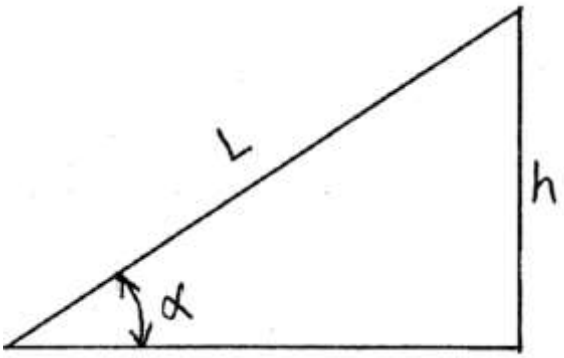
i/ على مانوميتر عادي .

ii/ على مانوميتر مائل .

ج/ حدِّد التغير في المستوى في الطرف الواسع للحصول على أقصى انحراف لمقياس التدريج .

الحل :

بالرجوع للشكل رقم (3.6) فإن العلاقة بين طول المقياس والارتفاع الرأسي يتم توضيحها في الشكل أدناه :



$$\frac{h}{l} = \sin\alpha$$

$$L = \frac{h}{\sin\alpha} = \frac{40}{\sin 8^0} = 287mm$$

وعليه فإن طول l mm من الارتفاع الرأسي يعادل $\frac{287}{40} = 7.19mm$ من الارتفاع المائل أو مقياس التدريج .

ب/ i/ النسبة المئوية القصوى للخطأ على ما نوميتر عادي :

$$\frac{0.5mm}{10mm} \times 100\% = 5\%$$

ii/ النسبة المئوية للخطأ على مانوميتر مائل :

$$\frac{0.5mm}{10 \times 7.19mm} \times 100\% = 0.7\%$$

ج/ مساحة المقطع الداخلي للطرف المائل :

$$A_i = \frac{\pi}{4} \times 2.5^2 = 4.9/mm^2$$

حجم السائل المحتوي بين قراءة للتدريج (0) و (40) :

$$= 287 \times 4.91 = 1411mm^3$$

مساحة المقطع الداخلي للطرف الواسع :

$$A_e = \frac{\pi}{4} \times 38^2 = 1134mm^2$$

وعليه فإن التغير في المستوى في الطرف الواسع لاعطاء أقصى قراءة للتدريج :

$$\frac{1411}{1134} = 1.24mm$$

وهذا يعني أن قراءة ضغط مقداره 40mm H2o على مقياس التدريج هو حقيقة 40 + 1.24 = 41.24mm .

ولتصحيح هذا الوضع فإن التقسيمات المليميترية على المقياس يجب تقصيرها على النحو التالي :

$$\frac{7.19\times 40}{41.24}=6.97mm$$

يمكن استخدام الصيغة التالية للحصول مباشرة على طول 1mm في مقياس التدريج :

طول 1mm من المقياس الراسي = $\left\{\frac{1}{(A_i/A_e)+\sin\alpha}\ mm\right\}$ من المقياس المائل

حيث: A_i = مساحة مقطع الطرف المائل .

A_e = مساحة مقطع الطرف الواسع .

طول 1mm من المقياس الرأسي ،

$$\frac{1}{4.91/1134+\sin 8}=6.97mm$$

مثال (5) :

مانوميتر مائل يستخدم لقياس فرق ضغط هواء يعادل 3mm من الماء بدقة مقدارها ± 3% . يكون القطر الداخلي للطرف المائل 8mm وللطرف الواسع 24mm . كثافة المائع المانوميتري 740kg/m3 . أوجد الزاوية التى يصنعها الطرف المائل مع الاحداثي الأفقي لتحقيق الدقة المطلوبة بافتراض أن التدريج يمكن قراءته بخطأ أقصى مقداره ± 0.5mm .

الحل :

فرق ضغط الهواء المقاس كماء h_w ،

$$h_w=3mmH_2o$$

دقة القياس = ±3%

$$d_i=8mm$$

$$d_e=24mm$$

$$e_m=740kg/m^3$$

أوجد : ? = ∝

الخطأ في قراءة التدريج = ± 0.5mm

فرق ضغط الهواء المقاس بالنسبة للسائل المانوميتري ،

$$h_m=\frac{h_w\times e_w}{e_m}=3\times\frac{1000}{740}=4.054mm$$

أجعل 1mm من المقياس الرأسي يعادل x mm من مقياس التدريج (المقياس المائل)

النسبة المئوية للخطأ :

$$\frac{0.5}{4.054x}\times 100\% = 3\%$$

$$4.054\times 3x = 50$$

$$\therefore x = \frac{50}{3\times 4.054} = 4.11mm$$

طول 1mm من المقياس الراسي = $\left\{\text{1 من المقياس المائل } mm\right\}$

$$4.11 = \frac{1}{\left(8^2/24^2\right)+\sin\alpha}$$

$$4.11 = \frac{1}{\left(1/3\right)^2+\sin\alpha}$$

$$4.11\times\left(\frac{1}{3}\right)^2 + 4.11\sin\alpha = 1$$

$$\sin\alpha = \frac{1-4.11\times\left(\frac{1}{3}\right)^2}{4.11} = 0.1322$$

زاوية ميل الأنبوب ،

$$\alpha = \sin^{-1}0.322 = 7.597^0$$

$$= 7^0 35' 48.3''$$

$$= 7^0 36'$$

3.3.2 محوِّلات المقاومة : (Resistance Transducers) :

تقوم محولات المقاومة بتحويل التغير في الخاصية المراد قياسها إلى تغير في المقاومة الكهربية . وبما ان التغير في المقاومة الكهربية يمكن إيجاده فقط بتمرير تيار خلال مقاومة فإن محولات المقاومة تحتاج دائماً إلى مصدر قدرة كهربية .

ومن مميزات هذه الطريقة ان خرجها دائماً هو جهد أو تيار بحيث يمكن تصميم إشارة تهيئتها بمرونة .

هنالك نوعان من محولات المقاومة :

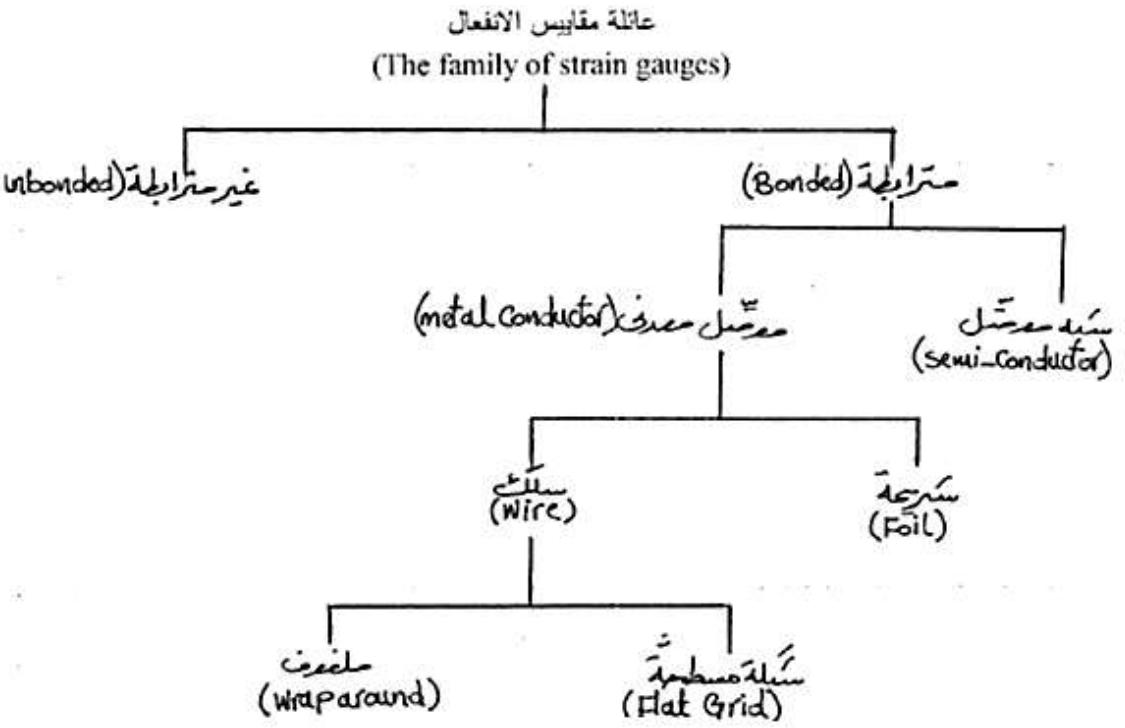
1. محولات المقاومة لقياس الانفعال الميكانيكي (i.e. مقاييس الانفعال) .

2. محولات المقاومة لقياس درجة الحرارة (.i.e ثيرموميتر المقاومة والثيرمستور) ..

1/ مقاييس الانفعال (Strain Gauges) :

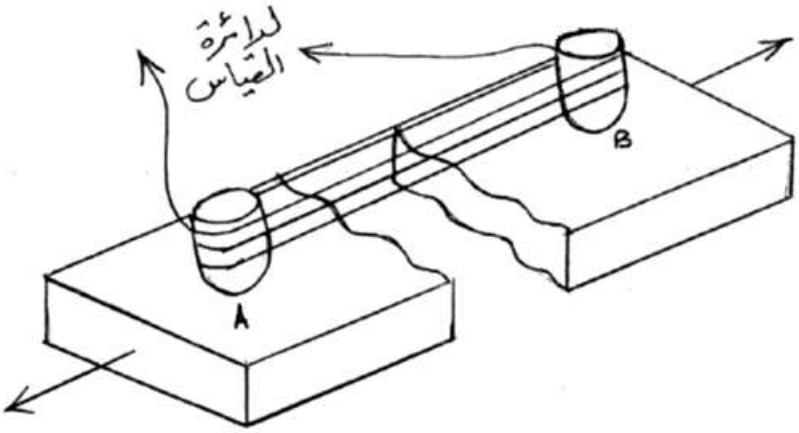
عندما يتم تعريض موصِّل كهربائي إلى قوة شد فإن طوله سيزيد وتقل مساحة مقطعه بحيث يصبح رفيعاً . هذه التأثيرات تتسبب في زيادة بسيطة في مقاومة الموصل الكهربية . وهذا هو مبدأ تشغيل مقياس الانفعال .

هنالك أنواع عديدة الانفعال يمكن تصنيف الاختلافات بينها حسب شجرة العائلة الموضحة أدناه :



أ/ مقياس الانفعال غير المترابط(Unbounded Strain Gauge):

يتكون من أسلاك توصيل ناعمة في شكل خيوط موصلة بين طقمين من الأوتاد العازلة (Insulating pegs) كما هو واضح في الشكل رقم (3.7) أدناه :



شكل رقم (3.7) مقياس انفصال غير مترابط

تباعد النقطتان A و B نتيجة لقوى الشد يتسبب في انفعال شد في سلك المقاومة ، وبالتالي زيادة مقاومته .

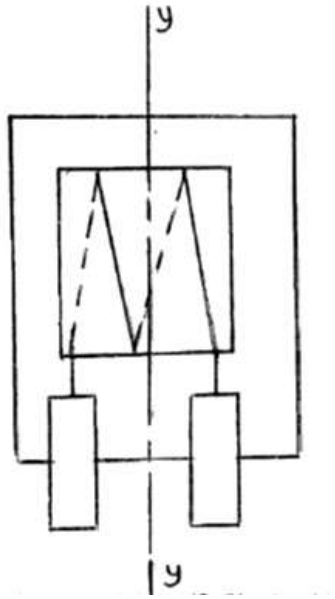
ب/ مقياس الانفعال المترابط : (Bonded Strain Gauge) :

باستثناء حالات قليلة جداً من محولات الطاقة ذات الاستخدام الخاص ، فإن كل مقاييس الانفعال هي مقاييس مترابطة بمعنى أنها مثبتة بصلادة بواسطة لاصق مناسب إلى الماكينة أو الجزء المراد قياس الانفعال فيه . وهذا يجعل الموصل يتعرض لنفس الانفعال الميكانيكي الذي تتعرض له المادة الملصق عليها . ربط المقياس على المادة المتعرضة للانفعال يجعله يقيس انفعال الانضغاط بنفس المستوى الذي يقيس به انفعال الشد . وحيث أن انفعال الشد يزيد مقاومة المادة فإن انفعال الانضغاط يخفض مقاومة المادة . هنالك ثلاثة أنواع رئيسية لمقاييس الانفعال المترابطة كما هو واضح في الأشكال التالية وجميعها ذات حساسية عالية في قياس الانفعال في اتجاه المحور Y-Y وذات عدم حساسية لقياس الانفعال في اتجاه المحور X-X.

ب/ 1/ مقياس الانفعال الملفوف : (Wrap- Around Gauge)

الشكل رقم(3.8) أدناه يوضح رسماً لمقياس انفعال ملفوف .

في هذا النوع نجد أن سلك مقياس الانفعال ملفوف حول ورقة مقواه رفيعة مُسطَّحة (thin flat card) يغطيها لوحين من الورق أو البلاستيك الرفيع في شكل ساندوتش .

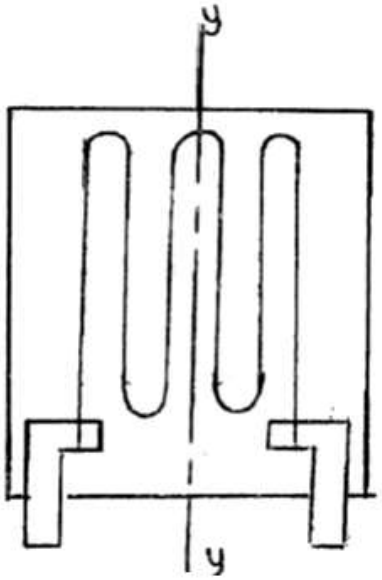


شكل رقم (3.8) مقياس الانفعال الملفوف

ب/2/ مقياس الشبكة المسطحة : (Flat Grid gauge)

الشكل رقم (3.9) أدناه يوضح مقياس انفعال ذو شبكة سلك مسطحة .

في هذا النوع نجد أن سلك مقياس الانفعال يتم طيه (folded) في مستوى واحد بحيث تكون هنالك أطوال متمددة بجانب بعضها البعض . ومثل مقياس الانفعال الملفوف فإن السلك يوضع كساندوتش بين الورق أو البلاستيك الرفيع.

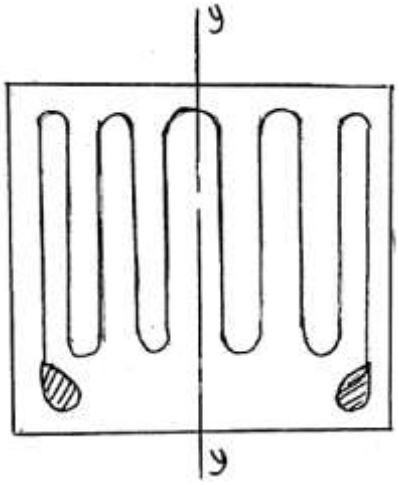


شكل رقم (3.9) مقياس الانفعال ذو شبكة السلك المسطحة

ب/3/ مقياس الشريحة : (The foil gauge)

الشكل رقم (3.10) أدناه يوضح رسماً لمقياس شريحة . وهو يتكون من موصل ذو نمط متعرج او مشرشر يتم استخلاصه من شريحة معدنية رفيعة ويوضع على قاعدة لوحة بلاستيكية رفيعة .

مقياس السلك هو الشكل الأصلي لمقياس الانفعال ويستخدم بكثرة حتى الآن . ولكن بدأ يستعاض عنه بمقياس الشريحة الذي يعطي نسبة عرض إلى مساحة مقطع أفضل للموصل ويعطي التصاق وفقدان حرارة افضل .



شكل رقم (3.10) – مقياس الانفعال ذو الشريحة

عندما يتم شد القطعة المراد قياس الانفعال فيها سينخفض مقطعها جانبياً i.e وهذا يعني أن لها انفعال سالب مقداره حوالي 0.3 من الانفعال الطولي الموجب (حيث 0.3 هي نسبة بواسون) .

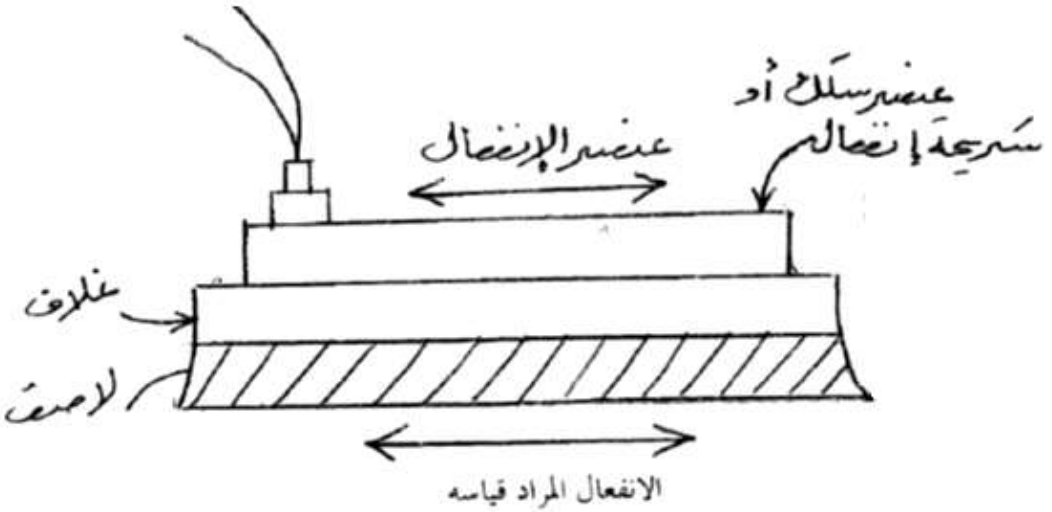
ونسبة بواسون (Poisson's ratio) ،

$$\nu = \frac{-\in_x}{\in_y}$$

حيث : $\in_x$ هو الانفعال العرضي و $\in_y$ هو الانفعال الطولي .

تعاني النهاية الحلقية لمقياس الانفعال من تغير في المقاومة نتيجة لهذا الانفعال العرضي السالب في القطعة المراد إجراء الاختبار عليها مسببة خطأ في قراءة المقاومة وبالتالي الانفعال . هذا التأثير يسمى بالحساسية العرضية (cross sensitivity). في مقاييس الشريحة من السهولة بمكان ترك نهايات حلقية واسعة لتقليل الحساسية العرضية بصورة كبيرة .

تتغير مقاومة مقياس الانفعال المترابط نتيجة لتغير الانفعال في عنصر السلك أو الشريحة ، وبما أننا نهدف لقياس الانفعال في المادة التى يلصق عليها مقياس الانفعال عليه ، فإن انفعال المقياس يجب أن يكون قريباً بقدر الامكان من انفعال المادة ، ولعمل هذا فإن غلاف المقياس إذا كان قطعة ورقة أو بلاستيك يجب لصقه قريباً من المادة . إذا كانت المادة اللاصقة سميكة جداً ، فإن انفعال المقياس سيكون أقلَّ من انفعال المادة الملصق عليها . الشكل رقم (3.11) أدناه يُوضح مقياس انفعال مترابط.



شكل رقم (3.11) مقطع عرضي لمقياس انفعال مترابط

هنالك العديد من المواد اللاصقة المتوفرة لربط مواد التغليف المختلفة على الأسطح المختلفة . عليه ، ينصح دائماً باتباع ارشادات المنتج في كل حالة . على أي حال ، يمكن تطبيق الأحكام العامة التالية:

i. نظف المادة التى يتم ربط المقياس عليها ، بحيث تكون حرة من الأكاسيد ، الشحم أو أي مادة ملوثة .
ii. نظف سطح المقياس الذي يتم ربطه باستخدام محاليل نظافة مناسبة .
iii. وزع المادة اللاصقة بانتظام على المادة ، ضع المقياس على المادة، واضغط بقوة في الوضع المناسب لطرد فقاعات الهواء المحبوسة ، وتأكد من محاذاة المقياس (check the gauge for alignment) .
iv. أترك اللاصق فترة مناسبة حتى يجف تماماً قبل لحام الوصلات .
v. عندما يجف اللاصق ، احميه من الجو بغطاء مناسب حسب توصية المصنع.

يمكن أن تحدث الأخطاء إذا كان سمك اللاصق كبيراً ، وأيضاً نتيجة لتفاوت معدلات التمدد الحراري للمادة والمقياس باختلاف درجات الحرارة . كمثال إذا زادت درجة الحرارة ستتمدد مادة المقياس بصورة أكبر من المادة ، ولكن هذا لن يحدث لأنها مربوطة تماماً إلى المادة ولكن سينتج عن ذلك انفعال انضغاط في المقياس . إحدى الوسائل المتبعة لتخفيض ذلك هي مُواءمة معاملات التمدد الحراري للمقياس والمادة .

مقاييس انفعال شبه الموصلات :

(Semi- Conductor Strain Gauges)

وهي إضافة حديثة لمقاييس الانفعال . الموصَّل هو عبارة عن بلورة من الجرمانيوم (Germanium) او السليكون (silicon) يتم معالجتها بالشوائب لجعل

مقاومتها ذات حساسية عالية للانفعال . وحساسية هذه المقاييس هي حوالي مائة مرة مقارنة بمقاييس الانفعال العادية ولذلك فإنها تستخدم لقياس الانفعالات الصغيرة جداً.

حساب الانفعال :

الانفعال الميكانيكي والذي يُرمز له بالرمز الاغريقي∈يتم حسابه كالآتي

$$\in_{mech} = \frac{\delta L}{L}$$

حيث : δL هي الاستطالة و L هو الطول الأصلي .

ويمكن حساب الانفعال الكهربائي المناظر كالآتي :

$$\in_{elec} = \frac{\delta R}{R}$$

حيث : δR هي الزيادة في المقاومة و R هي المقاومة الأصلية .

يتناسب الانفعال الكهربائي لمقياس الانفعال تناسباً طردياً مع الانفعال الميكانيكي:

$$\frac{\delta R}{R} \alpha \in_{mech}$$

$$\frac{\delta R}{R} = K \in ----*$$

حيث إن المعادلة * هي المعادلة الأساسية لتحويل الانفعال الكهربائي إلى انفعال ميكانيكي . حيث K هو ثابت التناسب للعلاقة بين الانفعالين الكهربائي والميكانيكي ويطلق عليه ايضاً عامل المقياس (scale factor) لمقياس الانفعال. ويتم تحديده بواسطة مُصنِّعي مقياس الانفعال من اختبارات النماذج لمقياس خاص . وهو غالباً ما يحمل القيمة 2 ، إلا في حالة مقاييس انفعال شبه الموصلات التى لديها عامل مقياس في المدى بين (100-300) . تكون عوامل المقياس هي نفسها بالنسبة للتمدد والانكماش .

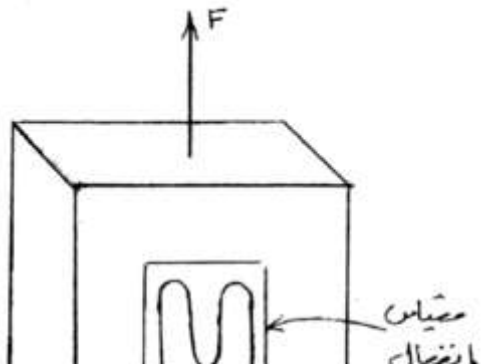
مثال (6) :

مقياس انفعال يتم تثبيته إلى سيخة مستطيلة المقطع كما هو واضح في الشكل رقم (3.12) أدناه . مقاومة مقياس الانفعال هي 120.27 أوم وعامل مقياسه 2.1 . تكون أبعاد مقطع السيخة 6mm × 25mm ، ويكون معاير المرونة لمادة السيخة مساو لـ 200GN/m2 .

إذا تم تعريض السيخة لحمل شد (F) فإن مقاومة مقياس الانفعال تتغير إلى 120.42 أوم. أوجد :

الانفعال في مادة السيخة .

الاجهاد في مادة السيخة .



قيمة الحمل .

الحل : **شكل رقم (3.12)**

i/ التغير في المقاومة ، δ R :

$$\delta R = 120.42 - 120.27 = 0.15\Omega$$

$$\frac{\delta R}{R} = k \in$$

$$\frac{0.15}{120.27} = 2.1 \in$$

$$\therefore \in = \frac{0.15}{120.27 \times 2.1} = 0.000594$$

أو $594 microstrain = 594 \times 10^{-6}$

وهي عبارة عن قيمة لا بعدية .

ii/ أوجد : σ = ? :

معاير المرونة ،

$$E = \frac{\delta}{\in}$$

$$\therefore \sigma = \in E = 594 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^{9} = 118.8 \times 10^{6} N/m^2$$

$$= 118.8 \, MN/m^2$$

$$= 118.8 \, N/mm^2$$

F = ? /iii

$$\text{الاجهاد} \quad \sigma = \frac{F}{A} = \frac{\text{الحمل}}{\text{مساحة المقطع المتعامدة مع الحمل}}$$

$$\therefore F = \sigma . A = 118.8 \times 25 \times 6 = 17820 N$$

$$= 17.82 KN$$

مثال (7) :

تم تحميل السيخة في المثال السابق بحيث ينتج عن ذلك اجهاد انضغاط منتظم على مساحة المقطع مقداره $30\,N/mm^2$. حدِّد مقاومة مقياس الانفعال عندما تحمل السيخة هذا الاجهاد الجديد .

الحل :

معاير المرونة ،

$$E=\frac{\sigma}{\in}$$

$$\in=\frac{\sigma}{E}$$

خذ قيم الشد موجبة والانضغاط سالبة

$$\delta_c=-30\,N/mm^2=-30\,MN/m^2=-0.03\,GN/m^2$$

$$\in=\frac{-0.03}{200}=-0.00015$$

$$\frac{\delta R}{R}=k\in$$

$$\frac{\delta R}{120.27}=2.1\times(-0.00015)$$

$$\therefore \delta R=120.27\times 2.1\times(-0.00015)=-0.038\Omega$$

عليه فإن مقاومة مقياس الانفعال ،

$$R_f=120.27-0.038=120.232\Omega$$

مثال (8) :

مقياس انفعال لديه معامل درجة حرارة لتمدد خطي مقداره $16\times10^{-6}{}^{\circ}c^{-1}$ يتم ربطه على قطعة من الديورالومين (Duralumin) معامل تمددها الخطي يساوي $23\times10^{-6}{}^{\circ}c^{-1}$. أحسب الانفعال عندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار 80°.

الحل :

اجعل L هو طول مقياس الانفعال

$\delta L = L\times23\times10^{-6}\times80=1840L\times10^{-6}$ تمدد الديور الومين

$\delta L=L\times16\times10^{-6}\times80=1280L\times10^{-6}$ تمدد المقياس

عليه سيتمدد المقياس بمقدار

$$x = (1840 - 1280)L \times 10^{-6}$$

$$= 560L \times 10^{-6}$$

انفعال المقياس ،

$$\in = \frac{x}{L} = \frac{560L \times 10^{-6}}{L} = 560 \times 10^{-6}$$

$$= 0.56 \times 10^{-3}$$

هذه تعتبر قيمة كبيرة ، وبدون عمل بعض التصحيح فإن قياسات الانفعال تحت ظروف درجة الحرارة المتغيرة ستكون غير دقيقة .

2/ محولات المقاومة لقياس درجة الحرارة :

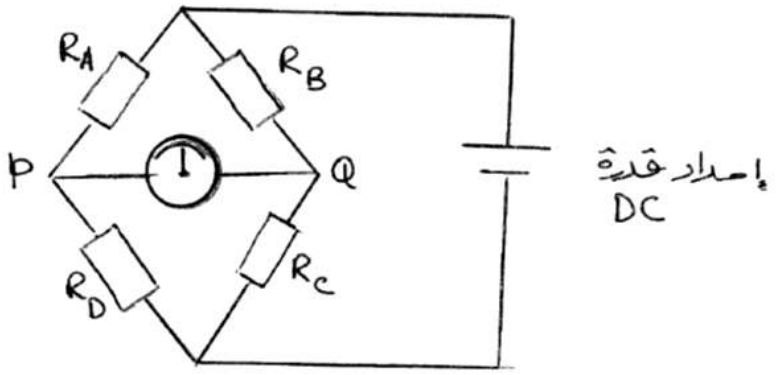
(Resistance Transducers for Temperature Measurement)

معظم المعادن تزيد مقاومتها الكهربية بزيادة درجة حرارتها . هذا المبدأ يتم استخدامه في أجهزة قياس درجة الحرارة والتى تعرف بثيرموميترات المقاومة . بما أن التغُّير في المقاومة الناتج من التغير الصغير في درجة الحرارة قيمته صغيرة جداً ، عليه ولتصنيع نظام قياس يجب أن تكون هنالك إشارة تهيئة في شكل دائرة قنطرة هويتستون (Wheatstone Bridge Circuit) وهذه تجعل ثيرموميتر المقاومة أكثر دقة في قياس درجة الحرارة خاصة درجات الحرارة العالية .

تم تطوير قنطرة هويتستون بواسطة السير شارلس هويتستون في القرن التاسع عشر . وهي عبارة عن دائرة كهربية لقياس المقاومة بدقة . الشكل رقم (3.13) أدناه يُوضِّح دائرة القنطرة .

حيث RA = المقاومة المراد قياسها .

RD = مقاومة ثابتة .



شكل رقم (3.13)

والنسبة R_B / R_C يمكن ضبطها إما بجعل R_B أو R_C مقاومة متغيرة أو بجعل (R_B+R_C) مقاومة ثابتة مستمرة متغيرة نقطة التفريع لتوصيل الجلفانوميتر .

الجلفانوميتر هو عبارة عن مقياس ذو ملف متحرك حساس مركزه صفري وهذا يعني ان التدريج يتم تقسيمه بعدد من الأقسام المتساوية وذلك بوضع الصفر في منتصف التدريج ، ودائماً ما يشير المؤشر إلى وضع الصفر عندما لا يتم استخدام الجهاز . لاستخدام دائرة القنطرة لقياس المقاومة RA ، فإننا يجب في البداية موازنة القنطرة وهذا يتم بضبط النسبة RB / RC حتى يشير الجلفانوميتر إلى الصفر وهذا يعني عدم وجود تيار مار به وعدم وجود جهد بين طرفيه (أي أن الجهد عند النقاط P و Q يكون متساوياً).

والآن R_C و R_D تحمل نفس شدة التيار .

الجهد عند $P = \frac{R_D}{R_A + R_D} \times$ جهد امداد القدرة .

وأيضاً R_B و R_C تحمل نفس شدة التيار .

الجهد عند $Q = \frac{R_C}{R_B + R_C} \times$ جهد امداد القدرة

عليه عند موازنة القنطرة ،

$$\frac{R_C}{R_B + R_C} = \frac{R_D}{R_A + R_D}$$

$$\therefore R_C\left(R_A + R_D\right) = R_D\left(R_B + R_C\right)$$

$$R_A R_C + R_C R_D = R_B R_D + R_C R_D$$

$$\therefore \frac{R_A}{R_D} = \frac{R_B}{R_C}$$

$$\therefore R_A = R_D \times \frac{R_B}{R_C}$$

وهذه النتيجة تكون مستقلة عن جهد امداد القدرة .

مثال (9) :

أوجد R_A إذا كانت R_B و $R_D = 390\Omega$ ، $R_C = 180\Omega$

يمكن ضبطها إلى 227.3Ω لموازنة القنطرة .

الحل :

$$R_A = R_D \times \frac{R_B}{R_C}$$

$$\therefore \quad R_A = 390 \times \frac{227.3}{180} = 492\Omega$$

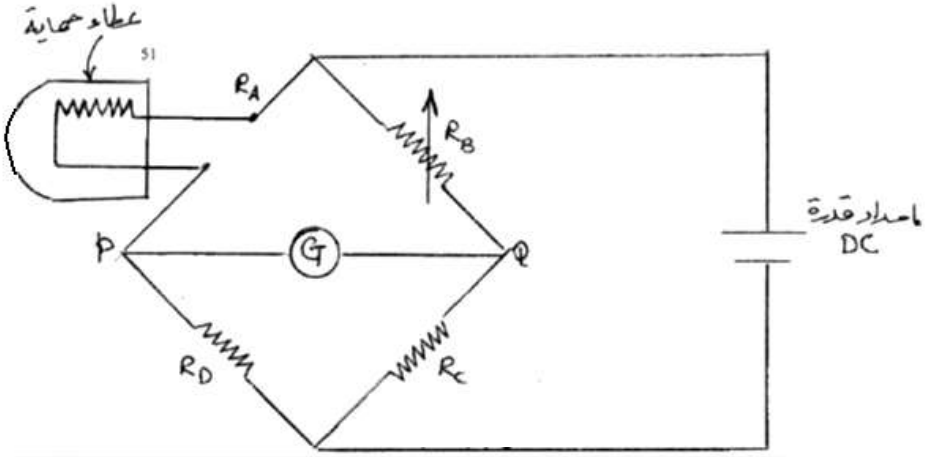
1/ ثيرموميتر المقاومة (The Resistance Thermometer):

الشكل رقم (3.14) أدناه يوضح ثيرموميتر مقاومة موصل بدائرة قنطرة هويتستون . معظم المعادن تزيد مقاومتها بزيادة درجة حرارتها. عند مدى صغير للمقاومة فإن هذه الزيادة تتناسب طردياً مع الزيادة في درجة الحرارة ، فإذا كانت مقاومة طول معين من سلك عند $0^{\circ}c$ هي R_0 فإن مقاومته R عند درجة حرارة $t^{\circ}c$ تُعطي بالمعادلة التالية :

$$R = R_0(1+\alpha t)$$

حيث ∝ = مقدار ثابت (معامل التمدد الخطي لدرجات الحرارة) .

يتكون ثيرموميتر المقاومة من ملف صغير ودائرة كهربية تقيس التغير في مقاومته. هنالك ثلاثة أنواع من الأسلاك يمكن استخدامها في الملف هي النحاس ، النيكل والبلاتين . ويفضل البلاتين لأنه يقاوم الصدأ والتأكسد . مقاومة البلاتين العادي هي 100 أوم ويصنع من سلك قطره 0.1mm ملفوف حول قطعة من المايكا (Mica) ومغلق في غطاء حماية .



شكل رقم (3.14) ثيرموميتر مقاومة

مثال (10):

ثيرمومتر مقاومة من البلاتين يتم ضبطه بوضع ملف المقاومة أولاً في خلية ثلاثية النقاط ومن بعد في بخار ماء عند الضغط الجوي القياسي . وفي كل حالة يتم قياس مقاومته باستخدام قنطرة هويتستون حيث يتم الحصول على القيم التالية على الترتيب 102.515 أوم و 142.482 أوم . وعندما يتم وضعه في سائل غير معلوم درجة الحرارة وجد أن مقاومته تساوي 131.635 أوم . افترض علاقة خطية بين درجة الحرارة والمقاومة ، ماهي درجة حرارة السائل :

أ/ بالمقياس المئوي ، ب/ بمقياس كلفن .

الحل :

درجة الحرارة ثلاثية النقاط يتم تعريفها بأنها تساوي $0.01^\circ c$ ، ودرجة حرارة غليان الماء عند الضغط الجوي تساوي $100^\circ c$.

من المعادلة ،

$$R = R_0(1+\alpha t)$$

$$102.515 = R_0(1+0.01\alpha) \rightarrow (1)$$

$$142.482 = R_0(1+100\alpha) \rightarrow (2)$$

بقسمة المعادلة (1) ÷ (2) وبالضرب العكسي نحصل على :

$$102.515+10251.5\alpha = 142.482+1.42482\alpha$$

$$10250.08\alpha = 39.967$$

$$\therefore \alpha = \frac{39.967}{10250.08} = 3.9\times10^{-3} = 0.0039$$

من المعادلة (1) ،

$$102.515 = R_o(1+0.01\times0.0039)$$

$$\therefore R_0 = \frac{102.515}{1.000039} = 102.511$$

$$\therefore 131.635 = 102.511(1+0.0039t)$$

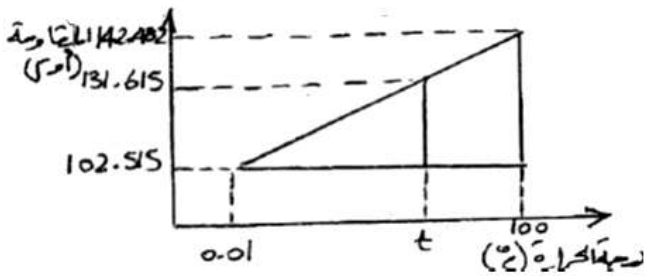
درجة الحرارة بالمقياس المئوي ،

$$t = 72.78^\circ c$$

درجة الحرارة بمقياس كلفن ،

$$T = 72.85+273.15 \approx 346K$$

أو بطريقة أخرى (تشابه المثلثات) ،



$$t = 0.01+\frac{131.615-102.515}{142.482-102.515}\times99.99$$

$$\therefore t = 72.81^\circ C$$

$$T = 72.81+273.15 = 345.96 \approx 346K$$

2/ الثيرمستور : (Thermistor)

الثيرمستور هو محول لدرجة الحرارة وهو أقل دقة ولكن أكثر حساسية ودائماً ما تتم التغذية مباشرة دون الحاجة إلى إشارة تهيئة .

والثيرمستور هو أحد أنواع اشباه الموصلات (Semi-Conductors) حيث تتغير مقاومته تبعاً لتغيُّر درجة الحرارة حسب المعادلة $R = Ae^{B/T}$ ويتم تصنيع مادة الثيرمستور غالباً من أكاسيد المعادن (Metallic Oxides) .

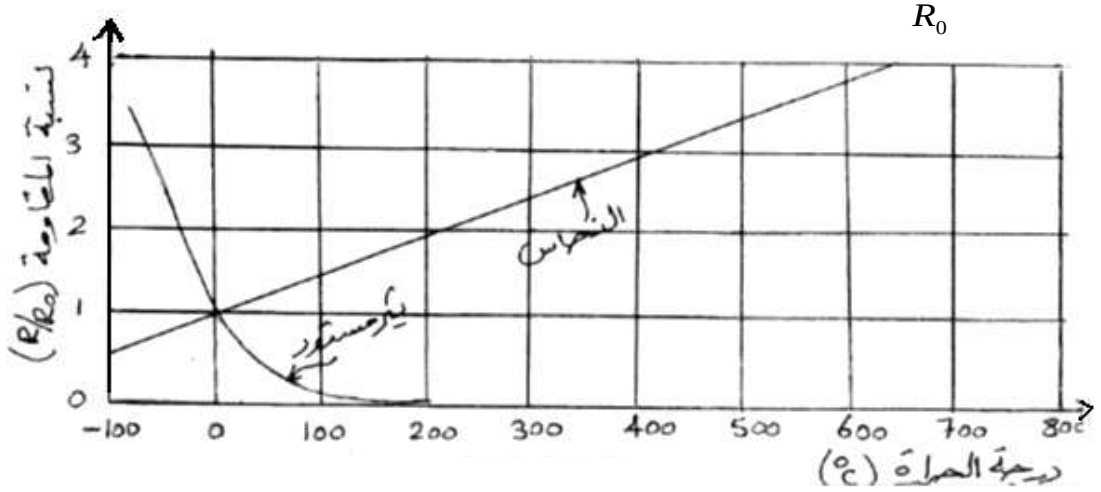
حيث A,B = ثوابت .

T = درجة الحرارة المطلقة .

تعطى هذه المعادلة انخفاضاً كبيراً في المقاومة عند الزيادة الصغيرة في درجة الحرارة .

الشكل رقم (3.15) أدناه يوضح مخطط درجة الحرارة ضد المقاومة للثيرمومستور والنحاس . ولعمل المقارنة بين المخططين فإننا نأخذ النسبة ، التى هي النسبة بين المقاومة الفعلية والمقاومة عند $0^{\circ}c$ بدلاً عن R .

$\frac{R}{R_0}$

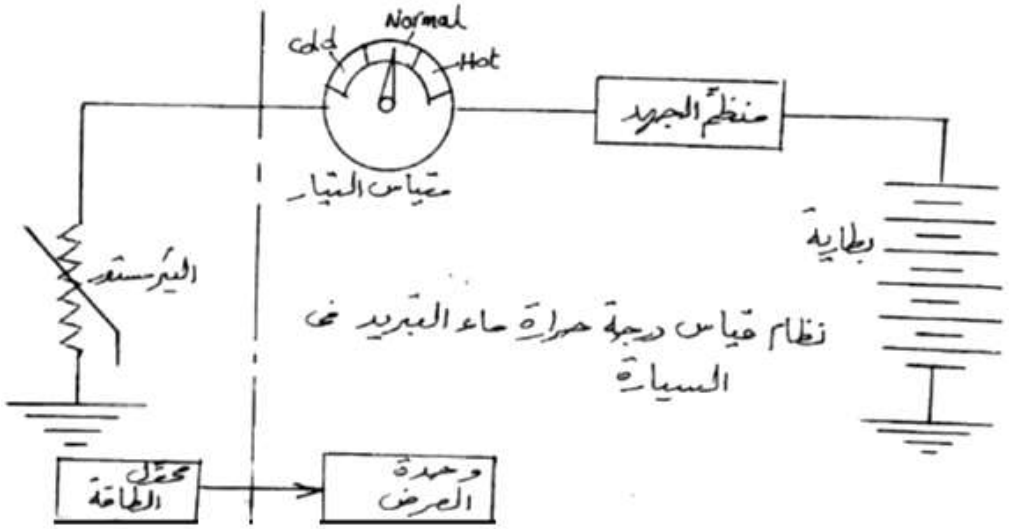


شكل (3.15)مخطط درجة الحرارة ضد المقاومة للثيرمستور والنحاس

يُلاحظ من المخطط أنه يمكن استخدام الثيرمستور كمحول لدرجة الحرارة في مدى صغير لدرجات الحرارة . مثال لذلك نظام قياس درجة حرارة الماء في محركات السيارات ، حيث إننا لا نحتاج لدقة في القياس بقدر ما نحتاج لتحديد ثلاثة حالات هي إما أن يكون الماء بارداً ، عادياً او ساخناً . ومقياس شدة التيار في هذه الحالة ليس هو مقياس ذو ملف متحرك ، فهنالك مؤشر يتم حمله في شريط معدني من مادتين يتم تسخينه بالتيار المار ويتمدد تبعاً لذلك وهو النوع الغالب من أجهزة العرض.

من مميزات الثيرمستور أنه يستخدم لقياس درجة الحرارة بدقة أكبر حتى درجة حرارة $300^{\circ}c$ وايضاً بحساسية أكبر ويمكن تصنيعه بحجم أصغر ويمكنه قياس درجة الحرارة في نقطة واحدة باستجابة سريعة .

الشكل رقم (3.16) أدناه يوضح نظاماً لقياس درجة حرارة ماء التبريد في سيارة .



شكل رقم (3.16) نظام قياس درجة حرارة ماء التبريد في سيارة

مثال (11):

في تجربة معملية لتحديد خواص ثيرمستور يستخدم كمحول لدرجة حرارة ماء التبريد في محرك سيارة . تم تعليق الثيرمستور في خليط من الثلج والملح الذي يُزاد درجة حرارته تدريجياً إلى نقطة الغليان ثم يترك ليبرد . تم أخذ قراءات متعددة لدرجة حرارة الخليط بواسطة ثيرموميتر ، وتمَّ قياس مقاومة الثرمستور بواسطة مقياس تعددي رقمي حيث تم تسجيل النتائج التالية :

درجة الحرارة $(^{\circ}C)$	**-5**	**3.5**	**17.5**	**36**	**55**	**76**	**85**	**100**	**97**
المقاومة (Ω)	**3260**	**1831**	**675**	**263**	**97.7**	**36.2**	**24.3**	**13.3**	**14.2**

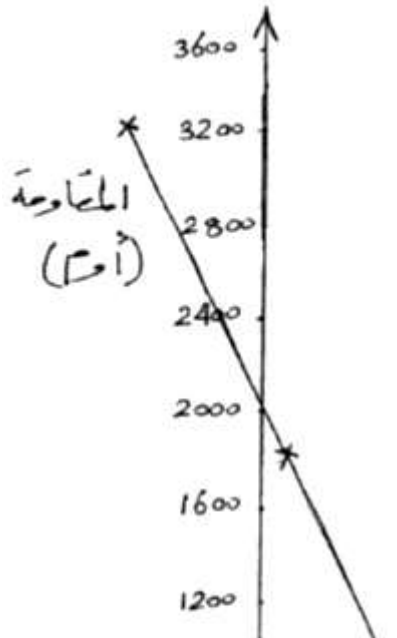
66	43	21
55.6	171.4	581

أ/ أرسم مخطط معايرة الثيرمستور.

ب/ حدد قانون الثيرمستور .

الحل :

أ/ مخطط معايرة الثيرمستور .



ب/ القانون العام للثيرمستور هو $R = Ae^{B/T}$

بأخذ اللوغاريثم الطبيعي لطرفي المعادلة (i.e. اللوغاريثم للأساس e)

$$LnR = Ln\left(Ae^{B/T}\right)$$

$$LnR = LnA + Lne^{B/T}$$

$$LnR = \frac{B}{T} Ine + LnA = \frac{B}{T} + LnA \rightarrow (1)$$

تكون هذه المعادلة في الصورة $y = ax + b$

حيث LnR=y

$$\frac{1}{T} = x$$

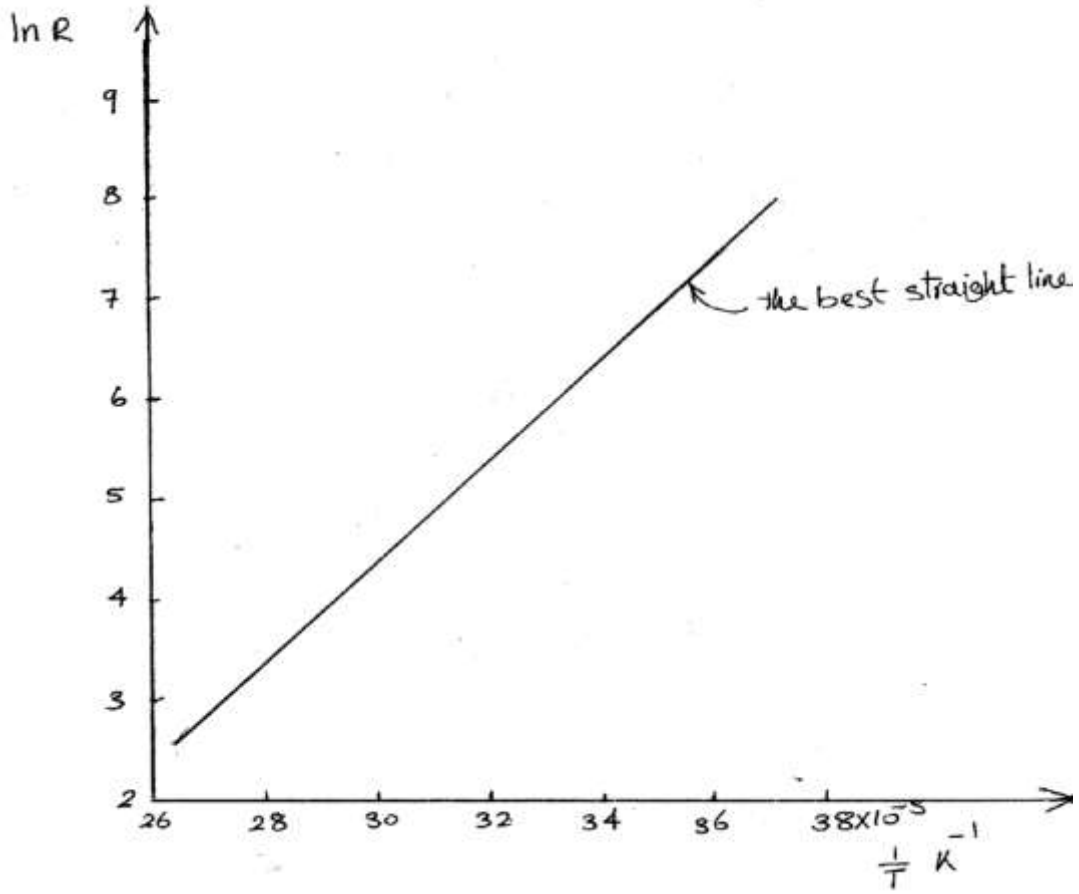
$$LnA = b$$

$$B = a$$

عليه ، إذا تم رسم مخطط InR ضد $\frac{1}{T}$ سنحصل على خط مستقيم ومنه يمكن ايجاد الثوابت InA,B وبالتالي قيمة A .

درجة الحرارة (t) (c°)	المقاومة (R) (أوم)	درجة الحرارة المطلقة (T) (كلفن)	$\frac{1}{T}(K^{-1})$	InR
-5	3260	273-5=268	0.00373	8.09
3.5	1831	273+3.5=276.5	0.00362	7.51
17.5	765	290.5	0.00344	6.64
36	263	309	0.00324	5.57
55	97.7	328	0.00305	4.58
76	36.2	349	0.00287	3.59
85	24.3	358	0.00279	3.19
100	13.3	373	0.00268	2.59

97	14.2	370	0.00270	2.65
66	55.6	339	0.00295	4.02
43	171.4	316	0.00316	5.14
21	581	294	0.00340	6.36



خذ نقطتين على الخط المستقيم ،

$$InR = 8.09, \frac{1}{T} = 0.00373k^{-1}$$

و

$$InR = 3.19, \frac{1}{T} = 0.00279k^{-1}$$

بالتعويض في المعادلة (1) سنحصل على زوج من المعادلات التى يمكن حلها آنياً :

$$8.09 = 0.00373B + InA \rightarrow (2)$$

$$3.19 = 0.00279B + InA \rightarrow (3)$$

$$4.90 = 0.00094B$$

وبالطرح يتم الحصول على :

$$\therefore B = \frac{4.9}{0.00094} = 5213K$$

بالتعويض في المعادلة (2) ،

$$8.09 = 0.00373 \times 5213 + InA$$

$$InA = 8.09 - 0.00373 \times 5213 = -11.35$$

$$InA = Log_e A = x = -11.35$$

$$\because A = e^x$$

$$\therefore A = e^{-11.35} = 0.00001177\Omega$$

بالتالي يمكن كتابه القانون العام للثيرمستور كالآتي ،

$$R = 0.00001177e^{5213/T}$$

3.3.3 أجهزة قياس درجة الحرارة :

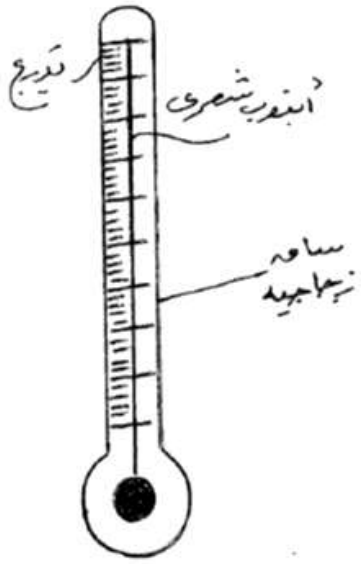
(Temperature Measurement Devices)

عندما تتعرض مواد مختلفة لتغييرات في درجة الحرارة ، يمكن بالتالي أن تحدث ايضاً تغييرات في الخصائص مثل البعد ، المقاومة الكهربية ، اللون ، والحالة . لاتحادات معينة للمعادن فإن التغييرات في درجة الحرارة ستنتج ايضاً قوة دافعة كهربية صغيرة . هذه التغييرات التى تحدث يتم استخدامها في أجهزة قياس درجة الحرارة الموصوفة أدناه .

1/ ثيرمومترات سائل في زجاجة:

:(Liquid –in- Glass Thermometers)

عندما يتم تسخين سائل فإنه يتمدد ، i.e. يزداد حجمه ، وعندما يبرد فإنه ينكمش i.e. يقل حجمه . هذا التغير الذي يحدث مع التغير في درجة الحرارة يمكن الاستفادة منه في ثيرموميترات سائل في زجاجة. الشكل رقم (3.17) أدناه يوضح ثيرموميتر سائل في زجاجة.



شكل رقم (3.17) ثيرموميتر سائل في زجاجة

في ثيرموميتر سائل في زجاجة الموضَّح في الشكل (3.17)، فإنَّ البصيلة الزجاجية الرفيعة تحتوي على سائل ، زئبق في هذه الحالة ، يكون حراً ليتمدد بطول القطر الناعم للأنبوب الزجاجي ، الذي يسمى بالأنبوب الشعري (Capillary Tube) . الفضاء الذي يتمدد فيه الزئبق يمكن أن يكون فراغاً (Vacuum) أو يمكن أن يحوى غاز النيتروجين . من المهم أن يكون الأنبوب الشعري ذو قطر منتظم بطول طوله التشغيلي ، بحيث أن تغييرات متساوية في درجة الحرارة تنتج تغييرات متساوية في طول عمود الزئبق . العلامات المحفورة على خارج الثيرموميتر هي تدريج لدرجة الحرارة . من العادة وضع العلامات على التدريج بالدرجات المئوية ($^{\circ}C$).

على تدريج درجة الحرارة المئوي فإن درجات حرارة $0^{\circ}C$ و $100^{\circ}C$ ترتبط على الترتيب بنقطة التجمد (Freezing Point) ونقطة الغليان (Boiling Point) للماء عند ضغط جوي قياسي . يكون الضغط الجوي القياسي مساوياً لـ $101.325kN/m^2$.

السوائل المستخدمة في الثيرموميترات يجب ان تمتلك مثالياً :

أ/ معامل جيد للتمدد الحجمي .

ب/ لا تبلل الزجاج ، i.e. يجب ألا يلتصق السائل بسطح الزجاج .

ج/ يجب أن تُرى بسهولة .

د/ يكون لديها نقطة تجمد منخفضة أو نقطة غليان مرتفعة أو الاثنتان .

بعض السوائل المستخدمة في الثيرموميترات يتم توضيحها في الجدول أدناه :

مدى درجة الحرارة ($^{\circ}C$)	السائل

+350 ——— -3.9	الزئبق
+ 70 ——— - 80	الكحول
+ 200 ——— -5	Creosote
+30 ——— -200	Pentane
+100 ——— -80	Toluene

لجعل السوائل أكثر قابلية للرؤية ، فإن بعضها يمكن صبغه بلون ممَّيز .
حد درجة الحرارة الأعلى الموضَّح في الجدول عاليه للزئبق يمكن زيادته إلى حوالي $510^{\circ}C$ بادخال غاز نايتروجين تحت ضغط في الفضاء فوق السائل . تأثير الغاز هو زيادة نقطة الغليان للزئبق . يمكن زيادة نقطة الغليان أكثر من ذلك بزيادة الضغط ، لكن هذا استخدامه محدود بما أنّ الزجاج نفسه سيبدأ في الذوبان . تكون ثيرمومترات سائل في زجاجة رخيصة ، سهلة الاستخدام ، ومتنقلة .
تنحصر العيوب الرئيسية لهذه الأجهزة في أنَّها :

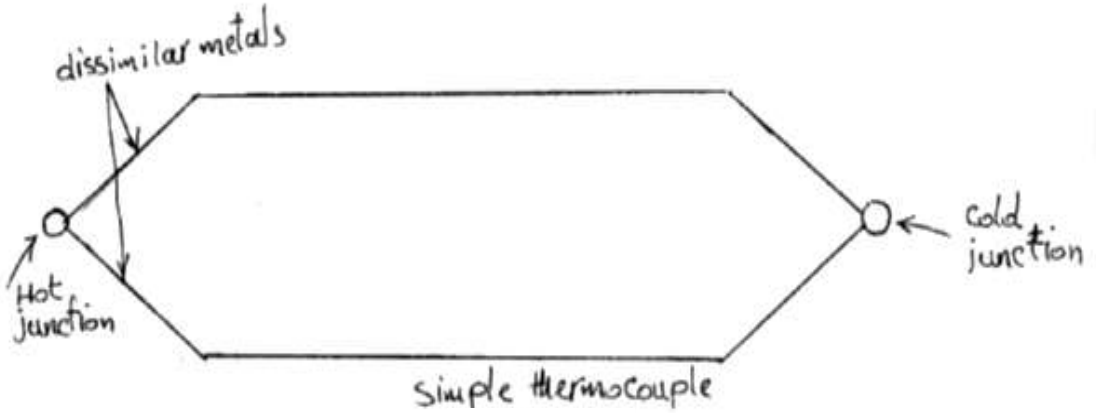
i. تكون هشة وسهلة الكسر .
ii. لها استجابة بطيئة للتغير في درجة الحرارة .
iii. يمكن استخدامها فقط عندما يكون عمود السائل مرئياً .
iv. لا يمكن استخدامها لقياس درجة حرارة سطح .
v. لا يمكن تكييفها كاجهزة استشعار (Sensor) للتحكم الذاتي في درجة الحرارة .
vi. لا يمكن قراءتها من مسافة بعيدة .

2/ المزدوجات الحرارية (Thermo Couples) :
هنالك دائرة مزدوج حراري يتم توضيحها في الشكل رقم (3.18) أدناه . تتكون من سلكين معدنيين مختلفين يتم توصيلهما عند طرفيهما لتكوين نقاط توصيل .

إذا تم تسخين احدى نقاط التوصيل وتبريد الأخرى ، سيتم توليد تيار مباشر صغير لقوة دافعة كهربية e.m.f . إذا تم قياس هذه القوة الدافعة الكهربية ، بالتالي يمكن تحديد الفرق في درجة الحرارة بين نقطتي التوصيل الساخنة والباردة بمعلومية الخاصية الحرارية/ الكهربية أو الحساسية للمعادن المتحدة الموضحة في الجدول أدناه .

اتحاد المعادن	**مدى درجة الحرارة** $^{\circ}C$ **(قراءة متصلة)**	**الحساسية** (mV/C°)
Copper – Constantan	**-250 to + 400**	**0.03**
Iron - Constantan	**-200 to + 850**	**0.05**

Chromel - alumel	**-200 to + 1100**	**0.04**
Platinum/10% rhodium platinum	**0 to + 1400**	**0.06**



شكل رقم (3.18) دائرة مزدوج حراري

إذا تم معرفة درجة حرارة نقطة التوصيل الباردة ، بالتالي درجة حرارة نقطة التوصيل الساخنة = درجة حرارة نقطة التوصيل الباردة + فرق درجة الحرارة .

مثال (12): القوة الدافعة الكهربية e.m.f بواسطة مزدوج حراري مُكَّون من حديد كونستانتان هي 3.5mV . إذا كانت نقطة التوصيل الباردة عند درجة حرارة $8^{\circ}C$ ، حدِّد درجة الحرارة لنقطة التوصيل الساخنة .

من الجدول عاليه ، حساسية الحديد – كونستانتان هي $0.05mv/^{\circ}C$

فرق درجة الحرارة لـ 3.5 mV = $\frac{3.5mV}{0.05mV/^{\circ}C} = 70^{\circ}C$

فرق درجة الحرارة + درجة حرارة نقطة التوصيل الباردة = درجة حرارة نقطة التوصيل الساخنة

درجة حرارة نقطة التوصيل الساخنة :

$$=8^{\circ}C + 70^{\circ}C = 78^{\circ}C$$

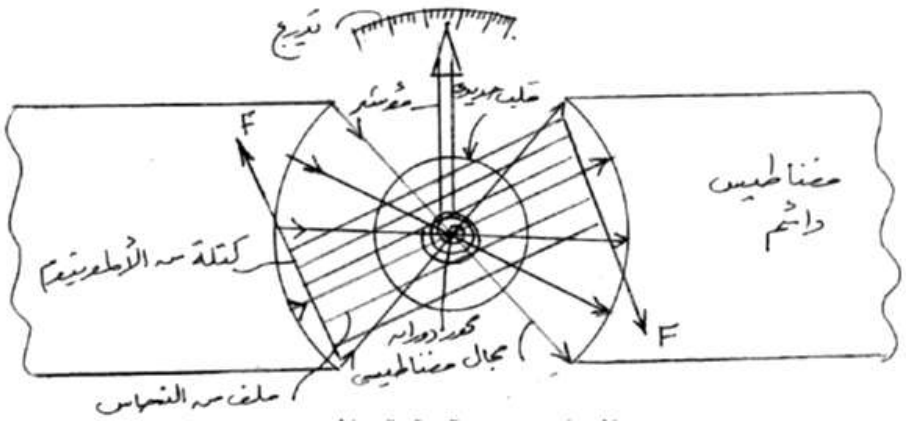
i.e. درجة حرارة نقطة التوصيل الساخنة هي $78^{\circ}C$.

3.3.4 أجهزة قياس الجهد والتيار :

1/ المقياس ذو الملف المتحرك (The Moving Coil Meter) :

محول الطاقة عبارة عن ملف من سلك رفيع جداً مطلي وملفوف على كتلة مستطيلة من الألمونيوم ومغلق بحيث يتم دورانه بحرية خلال حوالي 90 درجة في المجال المغناطيسي بين أقطاب المغناطيس الدائم . تكون الفجوة بين الأقطاب دائرية ، وهنالك قلب اسطواني من الحديد الطري (Soft Iron) مُعلَّق بصلادة (بجساءة)

وبتمركزية في الفجوة لجذب المجال المغناطيسي ، بحيث يكون تقريباً نصف قطرياً بالنسبة لمركز دوران الملف . عليه يمكن للملف أن يدور في الفجوة بين أقطاب المغناطيس والقلب الحديدي.

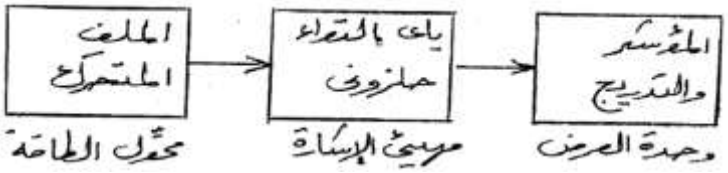


شكل رقم (3.19) المجال المغناطيسي

القوة المغناطيسية التى تعمل على موصل كهربي في مجال مغناطيسي تكون متناسبة مع التيار المنساب خلال الموصل ، ومتعامدة مع كل من المجال المغناطيسي والتيار . بحيث أنَّ القوة الكلية ، F ، التى تعمل على أحد جانبي الملف في الشكل رقم (3.19) تكون متناسبة مع التيار . على الجانب الآخر للملف فإن اتجاه المجال لا يكون متغيراً لكن التيار هنا يكون منساباً في الاتجاه المضاد ، بحيث يتم انتاج قوة مساوية ومضادة F . القوتان تُكوِّنان ازدواجاً معطياً عزم دوران متناسباً مع التيار .

نحتاج الآن إلى وسيلة لتحويل العزم إلى إزاحة زاوية وهذا يتأتَّى باستخدام ياي التواء حلزوني كالذي يستخدم في الساعات الميكانيكية . دوران الملف في اتجاه معاكس للعزم المقاوم للياي يحتاج إلى عرض وهذا يتم بتركيب مؤشر نصف قطري على الملف يقوم بالإشارة إلى قيم معينة في لوحة التدريج .

يتم تمثيل المخطط الكتلى للمقياس ذو الملف المتحرك في الشكل رقم (3.20) أدناه .



شكل رقم (3.20)

مثال (13) :

ينتج الملف في مقياس ذو ملف متحرك عزماً مقدار 0.002N.m عندما يسري فيه تيار شدته A □ 500 . حدِّد الكزازة المناسبة للياي الحلزوني إذا كان المقياس يقرأ A □ 100 في مقياس كامل للإنحراف مقداره 90 درجة .

الحل :

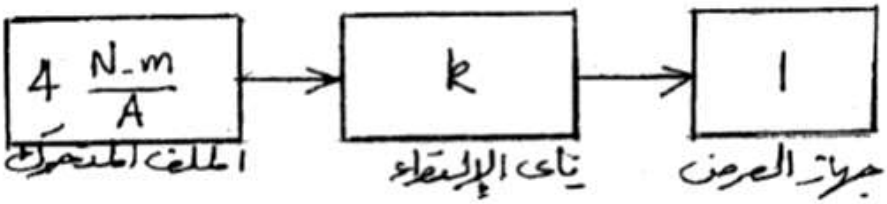
الكسب أو عامل التحويل أو الانتقال ،

$$G = \frac{o/P}{i/P} = \frac{0.002}{0.0005} = 4N.m/A$$

حساسية أو عامل القياس للجهاز ،

$$\frac{o/P}{i/P} = \frac{90}{0.0001} = 900{,}000\,\text{deg.}/A$$

وهكذا فإن المخطط الكتلي للقيم الرقمية يمكن تمثيله كالآتي :



$$4\frac{N.m}{A} \times k \times 1 = 900{,}000\frac{\text{deg.}}{A}$$

$$\therefore R = 900{,}000\frac{\text{deg.}}{A} \times \frac{1}{4}\frac{A}{N.m} = 225000\,\text{deg.}/N.m$$

ولكن كزازة الالتواء للياي (λ) تساوي $\frac{T}{\theta}$ ووحدتها هي $\frac{N.m}{\text{deg}}$

عليه ، فإنَّ الكزازة المطلوبة هي مقلوب k

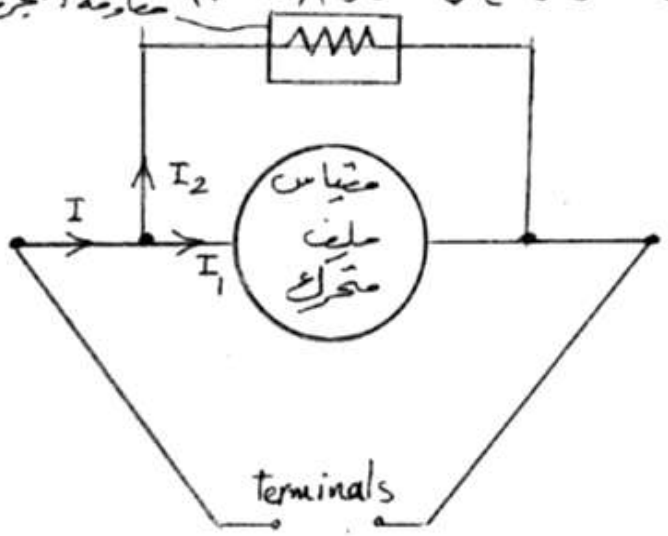
$$\lambda = \frac{1}{k} = \frac{1}{225000}\frac{N.m}{\text{deg.}} = 4.44\times10^{-6}\frac{N.m}{\text{deg.}}$$

مقاييس الجهد وشدة التيار (Voltmeters and Ammeters) :

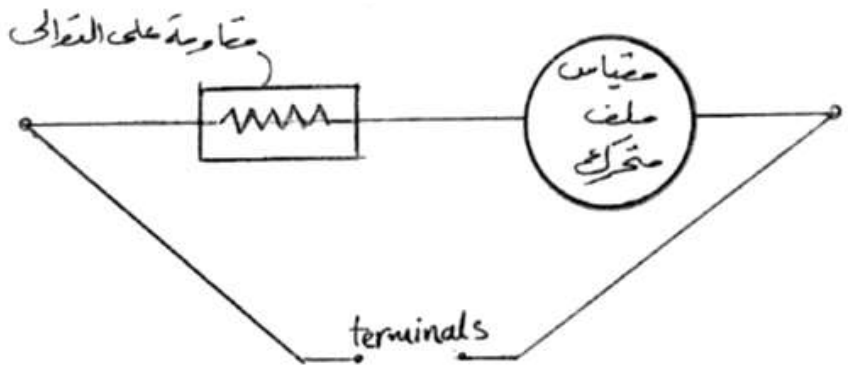
ندرك الآن أن المقياس ذو الملف المتحرك هو جهاز حساس لقياس شدة التيار . وبما أن سلك الملف رفيع فإنه يمتلك مقاومة كهربية عالية (i.e. حوالي 300 أوم) ، وأي تيار صغير يتسبب في اعطاء قيمة قصوى (انحراف كامل لمقياس التدريج) . وإذا تم تمرير تيار أكبر من الانحراف الأقصى للتدريج فإن الملف سينصهر وسيتعطل الجهاز . ورغم ذلك فإننا يمكن قياس تيارات كبيرة باستخدام المقياس ذو الملف المتحرك وذلك بتمرير معظم التيار خلال مُجزِّئ (Shunt) له مقاومة صغيرة جداً موصلة على التوازي مع دائرة المقياس كما في الشكل (21-أ) .

ورغم أن الملف سينصهر بتطبيق فرق جهد بسيط نسبياً بين طرفيه . بالتالي يمكن استخدام مقياس لقياس الجهد الكبير بوضع مقاومة كبيرة جداً موصلة على التوالي مع المقياس كما هو موضح في الشكل رقم (21-ب) .

مع المقياس كما هو موضح في الشكل رقم (21 – ب). مقاومة الجزئ



شكل رقم (3.21 ـ أ) الاميتر أو مقياس شدة التيار



شكل رقم (3.21 ـ ب) الفولتميتر أو مقياس الجهد

3.3.5 [illegible]

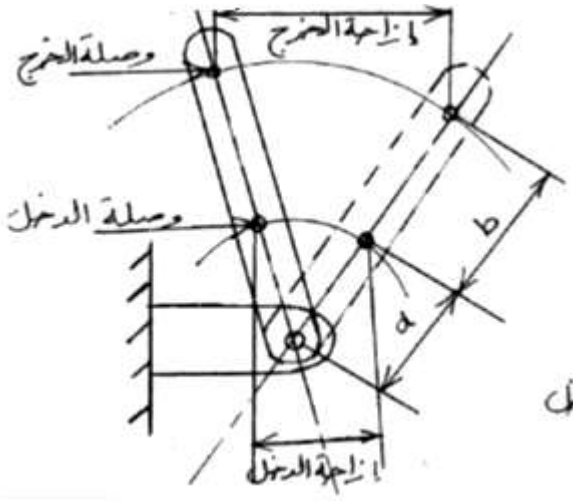
1/ المضخمات (Amplifiers) :

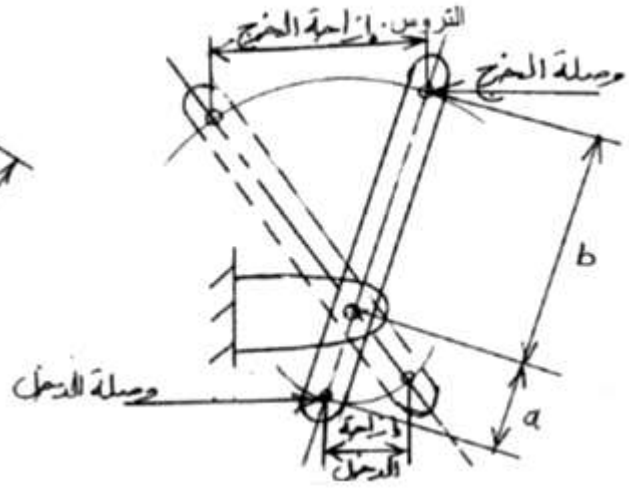
الكلمة (To amplify) تعنى يزيد ، وهكذا فإن المضخِّم هو شكل من أشكال مهيئات الإشارة التى تزيد الإشارة بطريقة ما دون تغيير طبيعتها لاعطاء مخرج ميكانيكي أو كهربائي أكبر من المدخل .

1.1/ المضخمات الميكانيكية (Mechanical Amplifiers) :

المضخمات الميكانيكية هي أجهزة غير فعالة أو خاملة تستخدم لتضخيم الازاحة الخطية أو الزاوية . وهي لا تملك أي امداد قدرة خارجي بقدر ما توضع القدرة فيها بواسطة إشارة دخل .

مثال لمضخم ميكانيكي للإزاحة الخطية هو الرافعة ومثال للإزاحة الزاوية هي التروس.





شكل رقم (3.22–أ) مضخم عاكس للإزاحة **شكل رقم (3.22–ب) مضخم غير عاكس للإزاحة**

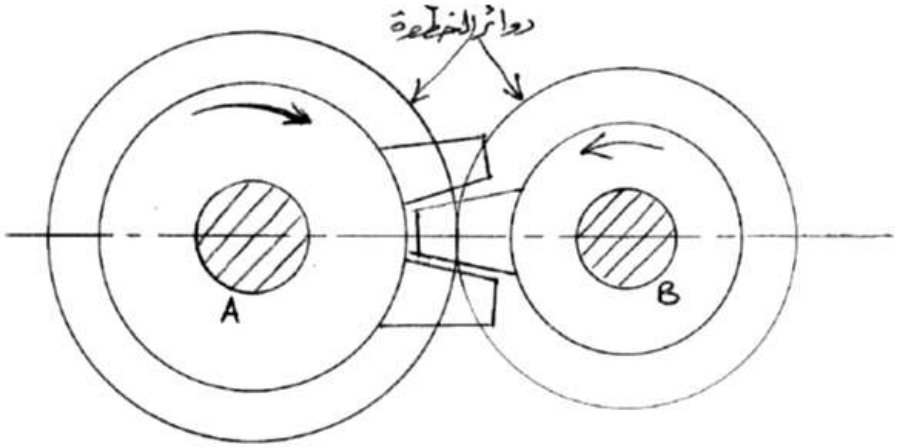
في كلا الحالتين :

$$\text{الكسب} = \frac{\text{إزاحة الخرج}}{\text{إزاحة الدخل}} = \frac{\text{نصف القطر من محور الدوران إلى وصلة الخرج}}{\text{نصف القطر من محور الدوران إلى وصلة الدخل}} = \frac{b\theta}{a\theta}$$

∴ الكسب ،

$$T.o = G = \frac{b}{a}$$

الشكل رقم (3.23) أدناه يوضح مجموعة تروس بسيطة (Simple Gear Train) معشقة من بعضها البعض .



الشكل رقم (3.23) – مجموعة تروس بسيطة

ترس الدخل A به عدد 12 سنة وترس الخرج B به عدد 9 أسنان

∴ الكسب ،

$$G = \frac{12}{9} = 1.333$$

$$\text{الكسب} = \frac{\text{سرعة الترس B}}{\text{سرعة الترس A}} = \frac{\text{عدد أسنان الترس A}}{\text{عدد اسنان الترس B}}$$

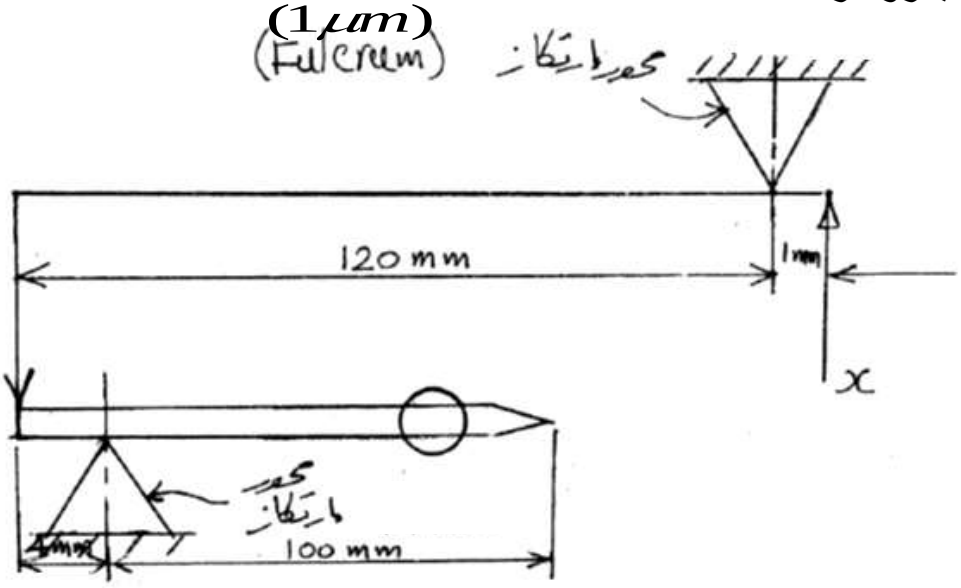
$$G = \frac{N_B}{N_A} = \frac{T_A}{T_B} = \frac{12}{9} = 1.333$$

بمعنى أن الكسب = **سرعة الترس المقود = حاصل ضرب عدد اسنان التروس القائدة**
سرعة الترس القائد حاصل ضرب عدد اسنان التروس المقودة

في حالة مجموعات التروس المركبة فإنَّ الكسب الكلي يساوي حاصل ضرب الكسب للأزواج المفردة للتروس المعشقة .

مثال (14):

أ/ آلية رافعة مركبَّة لعنصر مقارنة ميكانيكي يتم توضيحها بالمخطط في الشكل رقم (3.24) أدناه . أحسب تضخيم المنظومة وعرض تقسيم التدريج الذي يمثل 1 ميكرومتر .



شكل رقم (3.24)

ب/ وضح لماذا لا يزيد التضخيم المتحصل عليه بواسطة مقارن ميكانيكي أكثر من 5000:1 بينما يمكن الحصول على تضخيم مقداره 50,000:1 بواسطة نظم هوائية (Pneumatic) وكهربائية (Electrical).

الحل :

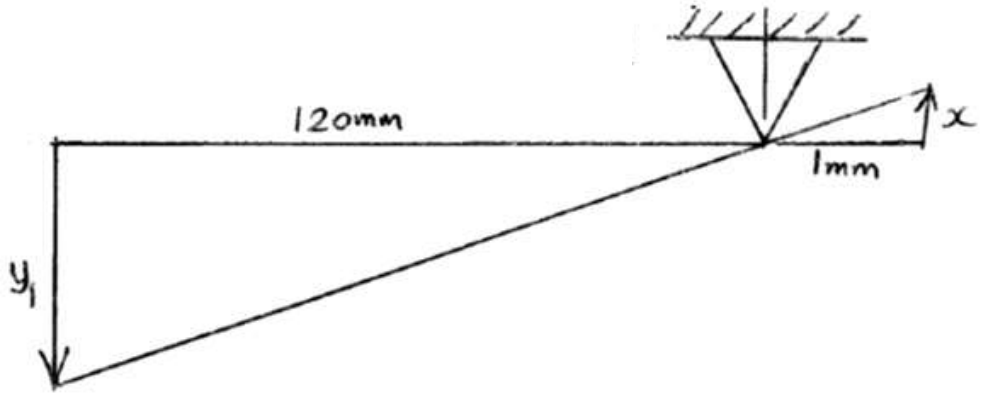
أ/

نفرض أن ازاحة الدخل = x

إزاحة الخرج للمرحلة الأولى = y_1

إزاحة الخرج للمرحلة الثانية = y_2

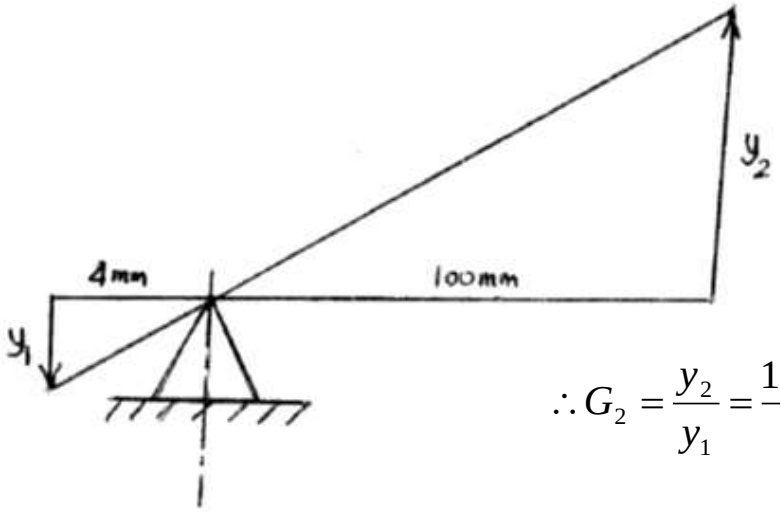
من الشكل أدناه كسب المرحلة الأولي :



$$G_1 = \frac{y_1}{x}$$

بتشابه المثلثات ، $G = \frac{y_1}{x} = \frac{120}{1} = 120$

كسب المرحلة الثانية : $G_2 = \frac{y_2}{y_1}$



$$\therefore G_2 = \frac{y_2}{y_1} = \frac{100}{4} = 25$$

الكسب الكلي للمنظومة (تضخيم المنظومة) ،

$$G1 \times G2 = 120 \times 25 = 3000$$
$$= 3000 : 1$$

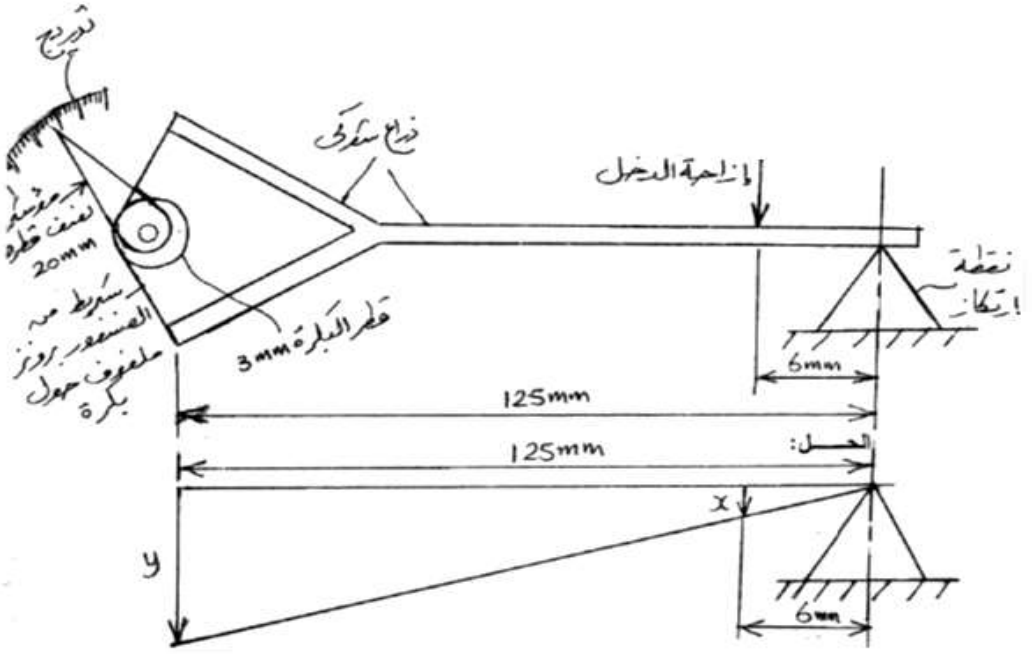
عرض تقسيم التدريج ،

$$3mm = 10^3 \times 10^{-6} \times 3{,}000$$

ب/ لعدة تأثيرات من بينها تأثير القصور الذاتي ، تأثير التسارع ، المقاومة الاحتكاكية عند الاسنادات وغيرها .

مثال (15) :

الشكل رقم (3.25) أدناه يمثل آلية لمقارن ميكانيكي ، أحسب تضخيم المنظومة ؟



شكل رقم (3.25)

باستخدام تشابه المثلثات :

كسب المرحلة الاولي G_1 ،

$$G_1 = \frac{y}{x} = \frac{125}{6}$$

وبما أن : $y = r\,\theta$

كسب المرحلة الثانية G_2 ،

$$G_2 = \frac{\theta}{y} = \frac{1}{r} = \frac{1}{1.5}$$

حيث r هو نصف قطر البكرة .

بما أن المدخل هو إزاحة زاوية θ والمخرج هو إزاحة خطية s تعادل $r\theta$

∴ كسب المرحلة الثالثة ، G3

$$G_3 = \frac{s}{\theta} = \frac{r\theta}{\theta} = 120$$

حيث r هو نصف قطر المؤشر .

تضخيم المنظومة ،

$$= G_1 \times G_2 \times G_3 = \frac{125}{6} \times \frac{1}{1.5} \times 120 = 1667$$

مثال (16):

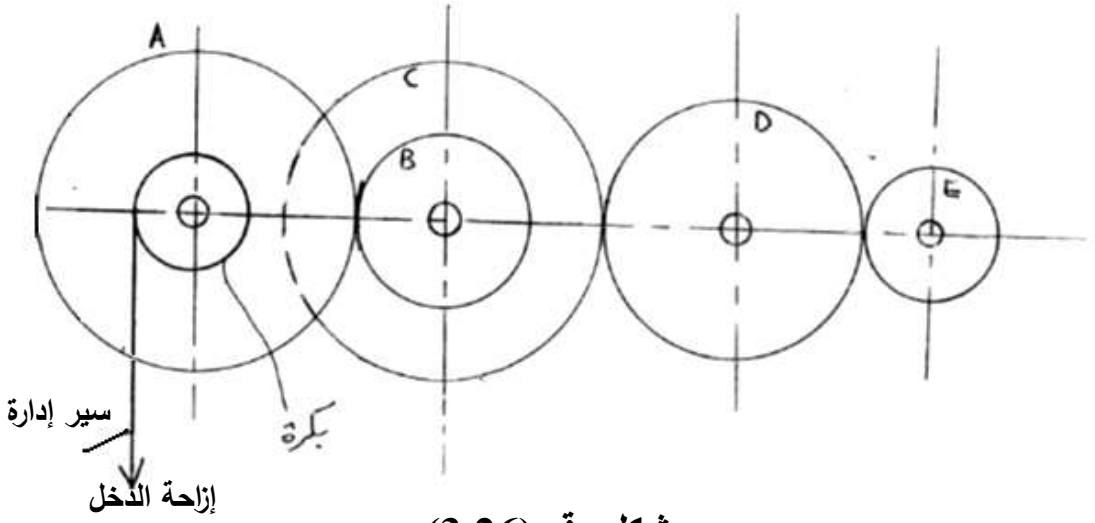
الشكل رقم (3.26) أدناه يُوضَّح مجموعة من عجلات التروس يتم ادارتها بواسطة سير إدارة يصنع قوة سحب مماسية على بكرة قطرها 20mm يتم حملها

بواسطة العجلة A. وتمثل الترتيبة الموضحَّة في الشكل منظومة قياس إزاحة . عدد أسنان العجلات E,D,C,B,A هي على الترتيب 150 ، 75 ، 150 ، 100 و50

أحسب الآتي :

أ/ كسب مجموعة التروس بين العجلة A والعجلة E .

ب/ الكسب الكلي للمنظومة بالـ deg/mm .



شكل رقم (3.26)

أ/ كسب مجموعة التروس بين العجلة A والعجلة E ،

حاصل ضرب عدد أسنان التروس القائدة / حاصل ضرب عدد أسنان التروس المقودة = سرعة الترس المقود / سرعة الترس القائد

$$G_1 = \frac{N_E}{N_A} = \frac{T_A}{T_B} X \frac{T_c}{T_D} X \frac{T_D}{T_E} = \frac{T_A \times T_C}{T_B \times T_E}$$

$$= \frac{150 \times 150}{75 \times 50} = 6$$

ب/ الكسب الكلي للمنظومة بالـ deg./mm ،

الكسب بين السير والبكرة ، $G_2 = \frac{\theta}{S}$

حيث θ هي الإزاحة الزاوية للبكرة و S هي الإزاحة الخطية للسير.

$$= \frac{\theta}{S} = \frac{\theta}{r\theta} = \frac{1}{r} = \frac{1}{10} rad/mm$$

$$= \frac{1}{10} \times \frac{180}{\pi} = 5.73 \deg./mm$$

الكسب الكلي للمنظومة ،

$$G_1 \times G_2 = 6 \times 5.73 = 34.4 \deg./mm$$

3.3.6 مسائل إضافية :

1. مقياس ضغط يراد تصميمه بدورة مؤشر مقدارها 315 درجة ، عندما يتراوح الضغط من صفر إلى 7 bar . تنحرف نهاية وصلة أنبوب بوردون بمقدار

1.75mm لزيادة في الضغط مقدارها 7 bar . إذا كانت نهاية أنبوب بوردون متصلة بذراع بنصف قطر 10mm . حدد نسبة عدد الأسنان المناسبة بين الترس ربع الدائري وترس البنيون . وإذا كانت نسبة التروس المعيارية هي 30:1 فأحسب نصف قطر الذراع الجديد .

Ans. (31.4 , 9.55 mm)

2. أشرح باختصار وباستخدام مفرداتك الخاصة معنى المصطلحات الآتية المستخدمة في أجهزة القياس الهندسية عندما يراد قياس درجة حرارة ماء بثيرموميتر عادي :

أ/ محول الطاقة .

ب/ مهيئ الإشارة .

ج/ وحدة العرض .

3. أ. ما هو الثيرمستور ؟

ب. أرسم رسماً كروكياً لمخطط مدخل – مخرج ثيرمستور .

ج. أرسم مخططاً لدائرة كهربائية لمنظومة قياس مكونة من ثيرمستور وأذكر تطبيقاً عملياً لاستخدام هذا النوع من نظم القياس .

د. العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة لثيرمستور تعطى بالمعادلة $R = Ae^{B/T}$.

درجة الحرارة المميزة B هي 3050k إذا كانت مقاومة الثيرمستور عند درجة حرارة $25^{\circ}C$ هي 1650 أوم ، حدد مقاومته عند :

درجة حرارة $0^{\circ}C$.

درجة حرارة $300^{\circ}C$.

4.ثيرموميتر مقاومة من البلاتين يمتلك مقاومة مقدارها 56.68 أوم عند درجة حرارة النقطة الثلاثية للماء (i.e. $0.01^{\circ}C$) ومقاومة مقدارها 78.925 أوم عند درجة حرارة غليان الماء عند الضغط الجوي القياسي . ما هي درجة حرارة الثيرموميتر عندما تكون مقاومته مساوية لـ :

أ/ 64.56 أوم .

ب/ 93.12 أوم .

بالمقياس المئوي والمقياس المطلق . افترض علاقة خطية بين درجة الحرارة والمقاومة .

5. أ/ ماهو مقياس انفعال المقاومة الكهربية ؟ وكيف يتم استخدامه لقياس الانفعال ؟

ب/ تم الحصول على البيانات التالية من اختبار شد لقضيب مقياس انفعال:

المقاومة الأصلية للمقياس = 500.32 أوم .

المقاومة النهائية للمقياس = 501.46 أوم .
عامل المقياس = 2.04
معاير المرونة لمادة القضيب = 200GN/m2 .
قطر القضيب = 14mm
حدد الآتي للقضيب :
انفعال الشد .
اجهاد الشد .
حمل الشد .

6. مانوميتر مائل يحتوى على زيت كثافته النسبية 0.8 ، أحد طرفيه مائل بزاوية مقدارها 10 درجة على الافقي . القطر الداخلي للطرف المائل يساوي 2mm ، والطرف الواسع مقطعه مستطيل بالأبعاد الداخلية 40mm×20mm . مدى قياس الجهاز هو من صفر وحتى 30mm H2o . أحسب الطول الفعلي لمقياس التدرج بين التقسيمات 0mm H2o و 30mm H2o .

$Ans.(211mm)$

7. يكون انسياب الحرارة في غلاية $1.5(\theta_i-\theta_0)kw$ ، حيث θ_i ضبط المتحكم (Controller Setting) و θ_0 هي درجة حرارة الغلاية . إذا كانت السعة الحرارية للغلاية مساوية لـ $150kj/^\circ C$. تحصل على عامل الانتقال وثابت الزمن للغلاية .

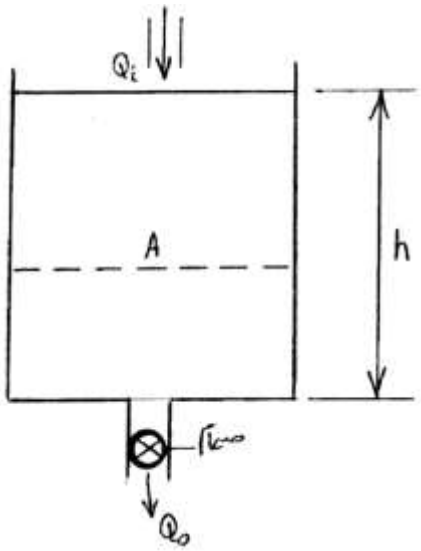
8. بحيرة صغيرة بمساحة سطح مقدارها $10^4 m^2$ يتم تغذيتها بجدول ويتم قياس السريان إلى الخارج بواسطة هدار (Weir) ، يتم اعطاء معدل السريان بـ $Q=5h^{\frac{1}{2}}m^3/s$ ، حيث h هو سمت الماء فوق الهدار بالأمتار . تحصَّل على علاقة بين السريان الخرجي والسريان الدخلى لتفاوتات صغيرة في h وحدد ثابت الزمن للمنظومة .

$$Ans.\left(\frac{Q_0}{Q_i}=\frac{1}{1+(400/3\sqrt{h})D}\text{، }\frac{400}{3}\sqrt{h}\right)$$

9. ثرموميتر غاز موصليته الحرارية $0.02w/^\circ C$ وسعته الحرارية $0.1j/^\circ C$ حدد ثابت الزمن للثيرموميتر .

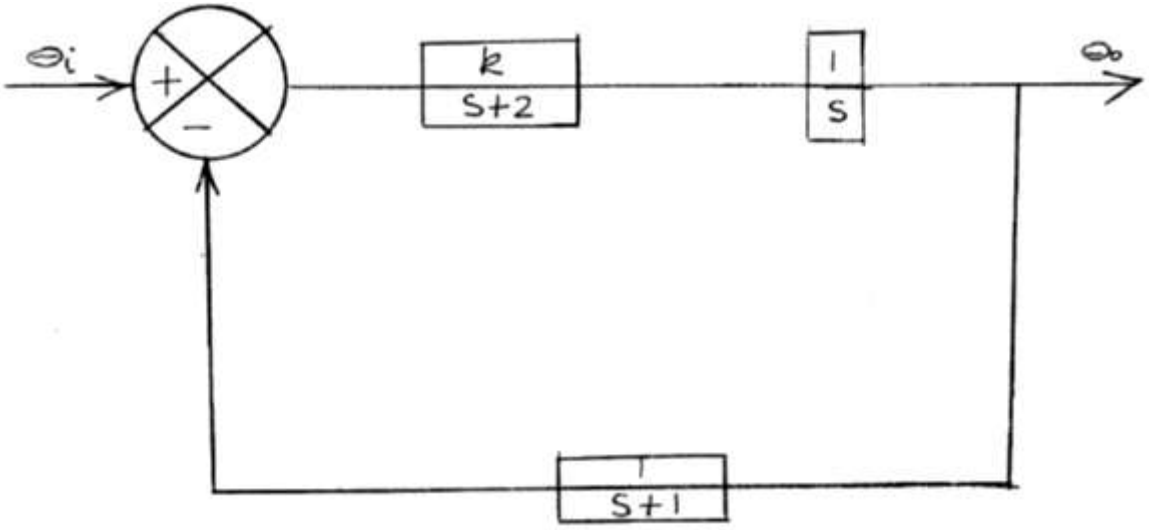
10. الشكل رقم (3.27) أدناه يوضح خزان بمعدل سريان حجمي دخلي Q_i ومعدل سريان حجمي خرجي Q_0 ، عمق الماء h في الخزان يتم إعداده ثابتاً تقريباً .أوجد عامل التحويل أو الانتقال لهذه المنظومة وثابت الزمن τ.

$$Ans.\left(\frac{Q_0}{Q_i}=\frac{1}{1+ARD};AR\right)$$



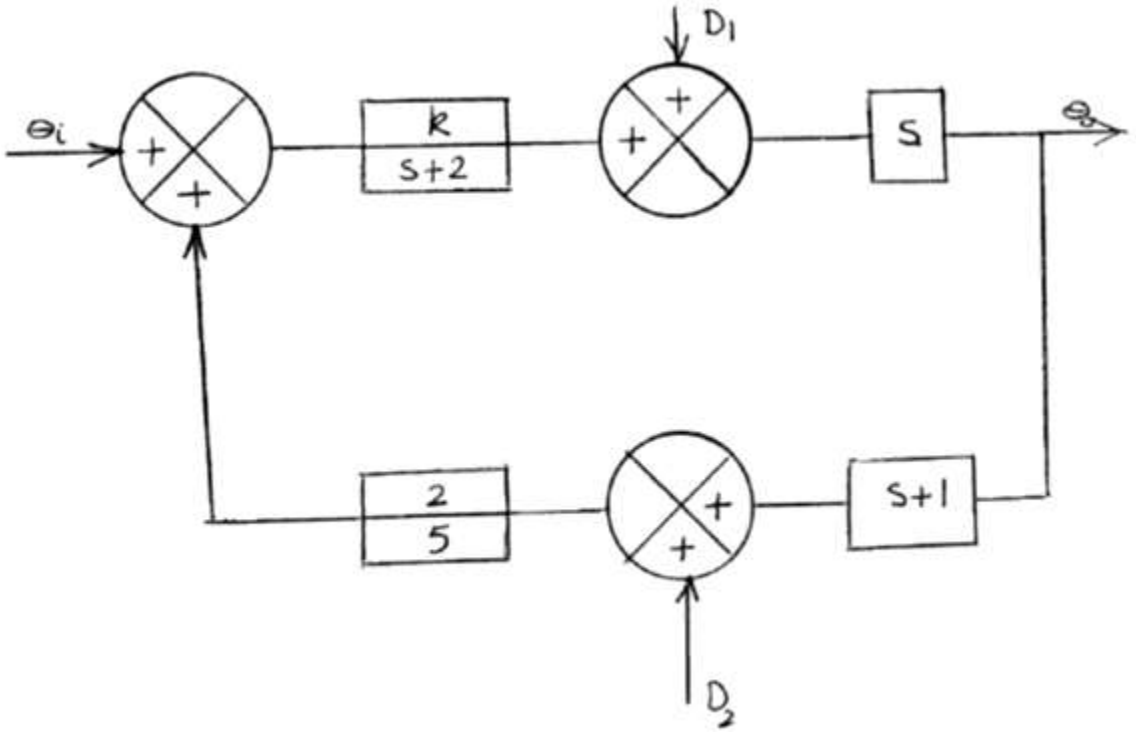
شكل رقم (3.27)

11. أ/ خفض المخطط الكتلى التالي رقم (3.28) في شكل تغذية خلفية بوحدة



شكل رقم (3.28)

ب/ حدد الخرج θ_i للنظام الموضح في الشكل رقم (3.29) أدناه :



شكل رقم (3.29)

$$Ans.\left\{\frac{2kD_2 + ks\theta_i + s(s+2)D_1}{2(1-2k)+2(1-k)}\right\}$$

12. دوَّار له عزم قصور ذاتي $J(kgm^2)$ مقترن بمضائل لزج يتطلب عزماً مقداره $F(N.m.rad^{-1}s)$. أرسم مخططاً كتلياً بين السرعة الزاوية للدوار $\omega(rads^{-1})$والعزم المطبق T(N.m) وبالتالي تحصل على دالة التحويل أو الانتقال بين هذين المتغيرين .

13. أشرح بنية ومبدأ التشغيل لجهازين من الأجهزة التالية ، معطياً في كل حالة مخططاً كتلياً للجهاز .

أ. أنبوب بوردون لقياس الضغط .

ب. المقياس ذو الملف المتحرك .

ج. الثيرمستور .

د. الثيرموميتر .

14. الاجهاد الأقصى المسموح به لقطعة من الفولاذ الطري معرضَّة لحمل شد هو 100MPa ومعاير المرونة للمادة هو 200GPa. أحسب الانفعال الأقصى الذي يحدث نتيجة لهذا الاجهاد ، وايضاً التغير في مقاومة مقياس الانفعال الذي مقاومته تساوي 99.89 أوم وعامل مقياسه يساوي 2.15 والذي يتم ربطه إلى السطح في خط محوري مع الإجهاد . أحسب أيضاً التغييرات الواضحة للانفعال والاجهاد التى تحدث في قطعة الفولاذ نتيجة لتغير درجة الحرارة من $20^{\circ}C$ للفولاذ إلى $80^{\circ}C$ إذا لم

يكن هنالك تعويض في درجة الحرارة . خذ معاملات درجة الحرارة للتمدد الخطي $12\times10^{-6}\,^{\circ}C^{-1}$ للفولاذ و $16\times10^{-6}\,^{\circ}C^{-1}$لمقياس الانفعال.

15. في اختبار لتحديد درجة الحرارة المميزة لثيرمستور ، تم تسجيل النتائج التالية :

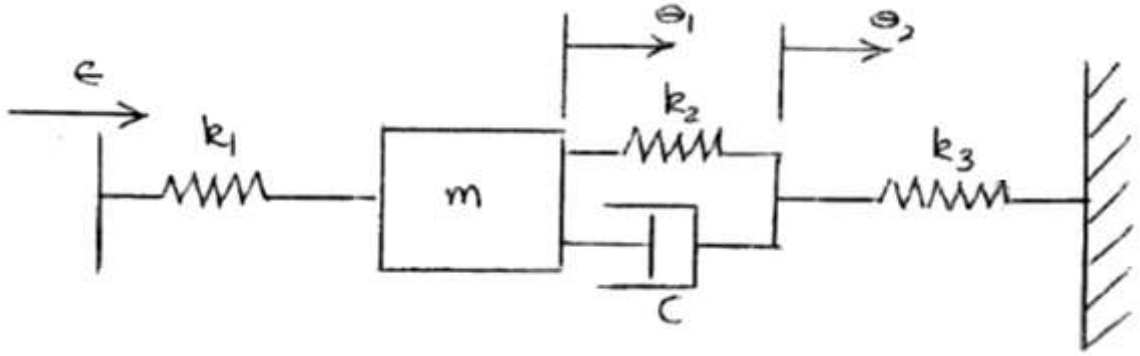
درجة الحرارة $(^{\circ}C)$	21	30	40	50	60	70	80	90	100
المقاومة $(k\Omega)$	1117	680	449	278	174	113	75.5	51	35.3

أرسم In R ضد $1/T$ واستخدم نقطتين على الخط المستقيم لتحديد قيم الثوابت A و B في المعادلة العامة للثيرمستور .

16. نظام الكتلة والمضائل والياي الموضحة في الشكل رقم (3.30) أدناه تمثل المسار الأمامي لنظام تحكم مغلق الحلقة . وإشارة الخطأ $\in$ هي دخل الجزء الموضح . حدِّد دوال المسار الأمامي لهذا النظام .

أ/ إذا كان θ_i هو الخرج .

ب/ إذا كان θ_2 هو الخرج .



شكل رقم (3.30)

17. مانوميتر في شكل حرف U يتم استخدامه كنظام لقياس فرق ضغط بتوصيل أحد الساقين إلى الضغط الأدنى والساق الأخرى إلى الضغط الأعلى . أحسب فرق الضغط المناظر لفرق في المناسيب مقداره 291mm بين الساقين:

أ. إذا كان السائل في أنبوب -U هو زئبق ، والضغوط هي ضغوط غاز.

ب. إذا كان السائل في أنبوب -U هو زئبق ، وبقية النظام مليئ تماماً بماء.

ج. إذا كان السائل في أنبوب -U هو ماء ، وبقية النظام مليئ تماماً ببترول (بكثافة نسبية 0.68) .

18. أ. أرسم رسماً توضيحياً وأوصف مانوميتر مائل ؟

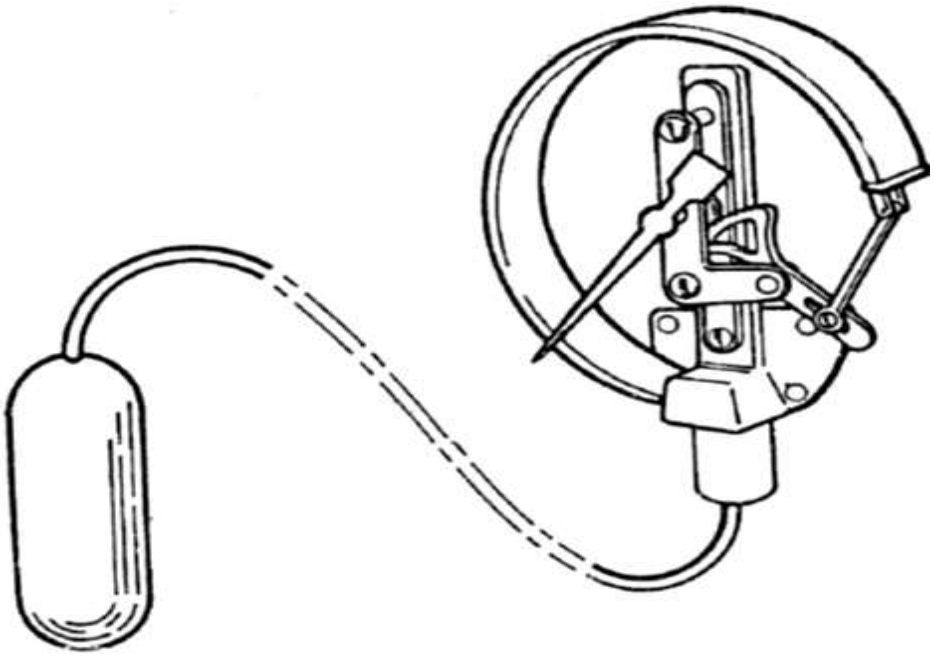
ب. ماهو نوع القياس الذي يستخدم فيه هذا النوع من المانوميترات ؟

ماهي التحوطات التى يجب أخذها قبل أخذ أي قراءات من هذا النوع من المانوميترات .

19. مقياس درجة حرارة من نوع ضغط البخار يتكون من بصيلة فولاذ موصلة إلى مقياس ضغط بواسطة أنبوب فولاذ شعري ، كما هو مُوضَّح في المخطط شكل رقم (3.31) . البصيلة ، الأنبوب الشعري وأنبوب بوردون لمقياس الضغط يتم ملئها بسائل متبخر بحيث أن الضغط في النظام يعتمد على درجة حرارة السائل في البصيلة . يتم تقسيم تدريج مقياس الضغط بالدرجات المئوية . أرسم المخطط الكتلى للنظام ، متضمناً كتلاً للمكونات الرئيسية لمقياس الضغط . يجب أن تكون هنالك كتلة لكل مكونة تقوم بتغيير الإشارة إلى شكل مختلف أو تغيير مقدارها .

أ. وضِّح على المخطط الكتلى محوِّل الطاقة ، مهيئ الإشارة ووحدة العرض .

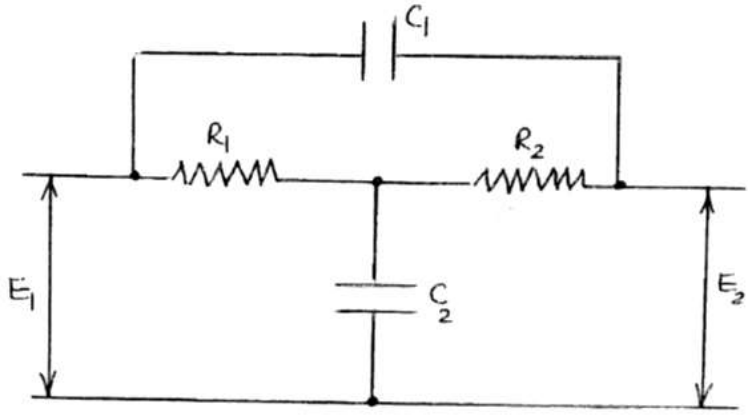
ب.وضِّح المضخِّم في النظام .



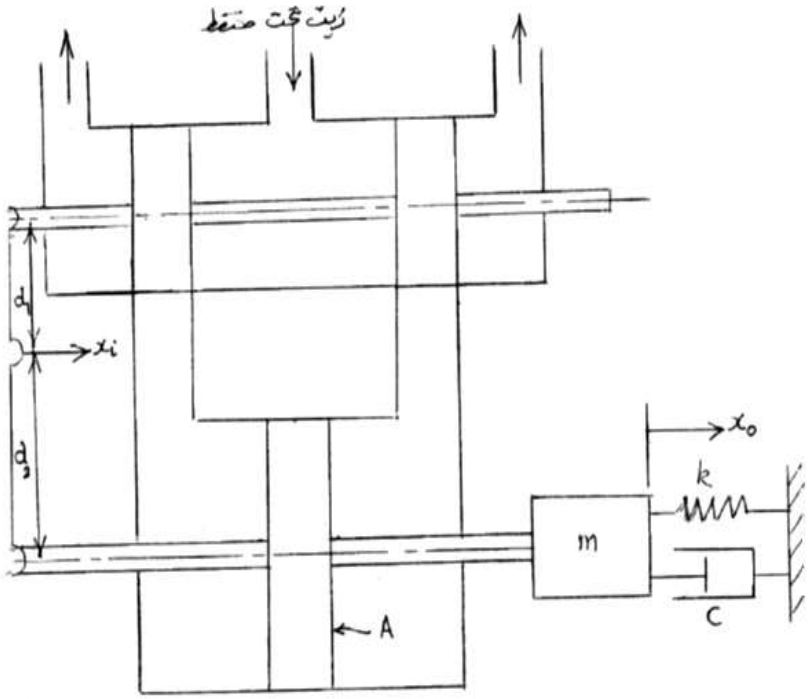
شكل رقم (3.31)

20. الشكل رقم (3.32) يُوضِّح منظومة كهربائية . أوجد عامل تحويلها .

21. الشكل رقم (3.33) يوضح مرحل هايدروليكي متصل بعنصر ياي وكتلة ومضائل . معدل انسياب الزيت إلى اسطوانة المكبس هو q مضروباً في إزاحة الصمام . أوجد عامل التحويل أو الانتقال لهذه المنظومة .



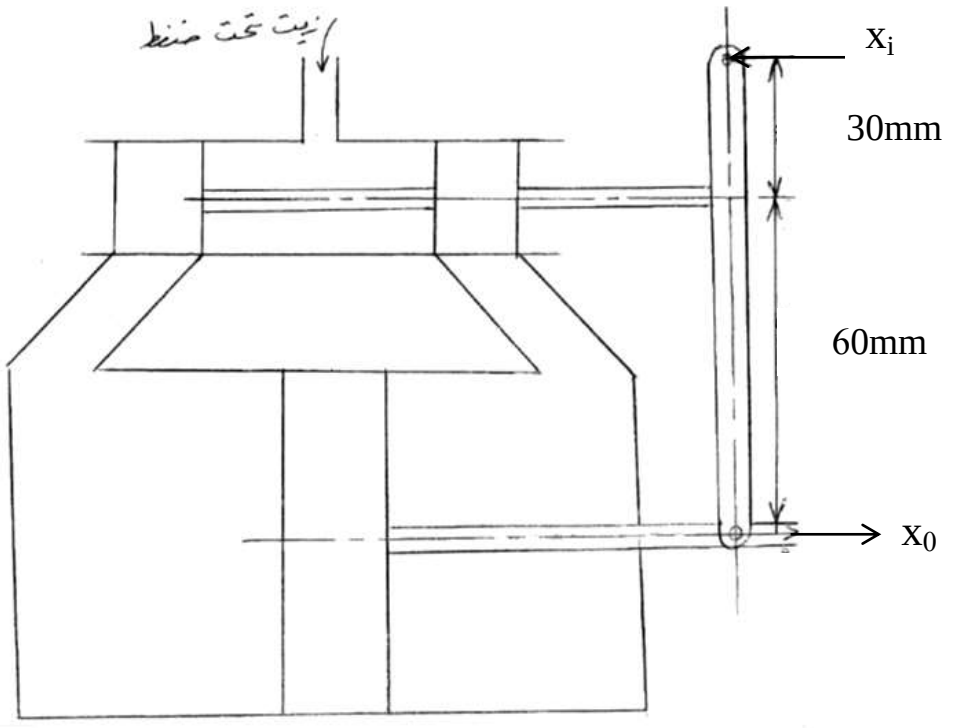
شكل رقم (3.32)



شكل رقم (3.33)

22. الشكل رقم (3.34) يُوضِّح كباساً هايدروليكياً يتم التحكم فيه بصمام تأرجحي. عندما يكون الصمام في وضعه الأوسط يقف السريان عند طرفي الاسطوانة. مساحة مقطع الكباس 0.002m2 وعندما يتحرك الصمام من وضعه الأوسط ، فإن معدل سريان الزيت إلى داخل الأسطوانة هو 0.01m3/sec لكل متر يتحركه الصمام .

وضح أن دالة التحويل أو الانتقال تكون على الصورة $\frac{k}{1+\tau D}$ مع ذكر الافتراضات المناسبة ، ثم أوجد قيمة كل من τ , k .



شكل رقم (3.34)

23. مقياس انفعال يتم ربطه على عمود بقطر 10mm مُسلَّط عليه حمل محوري حدِّد مقدار الحمل بالـkN بمعلومية الآتي : مقاومة المقياس 350 أوم ، التغير في مقاومة المقياس 0.15 أوم ، عامل المقياس 2.02 ومعاير المرونة 207 GN/m2 .

24. مانوميتر زئبقي في شكل حرف U يستخدم لقياس ضغط هواء تفاضلي . إذا استخدم المانوميتر فيما بعد لقياس نفس الضغط التفاضلي في خط مواسير زيت ، أحسب الفرق المئوي في قراءات المـانوميتر . تكون خطوط التوصيل للمانوميتر مليئة تماماً بزيت . تكون كثافة الزيت 800 kg/m3 وتلك للزئبق 13600 kg/m3 يمكن تجاهل كثافة الهواء .

Ans.(h_{oil} *is* 6.25% *higher than* h_{air})

25. مانوميتر أنبوبي مائل يتكون من اسطوانة معدنية معتدلة موصلة عند قاعدتها بأنبوب مائل بزاوية 30 درجة على الأفقي . يتم ملء الجهاز بماء ويتم توصيل الطرف العلوي للاسطوانة بامداد غاز عند ضغط 500N/m2 . إذا كان الأنبوب المائل مفتوح إلى الجو ونسبة مساحة المقطع العرضي للأسطوانة إلى مساحة القطع العرضي للأنبوب هي 50:1 . أحسب المسافة التى يتحركها منسوب السائل في الأنبوب المائل . خذ كثافة الماء 1000kg/m3 .

Ans.(98mm)

26. لنفس المانوميتر في المسألة السابقة ، أحسب النسبة المئوية للخطأ إذا تم تجاهل هبوط منسوب الماء في الاسطوانة المعدنية.

Ans.(4%)

27. مانوميتر ماء بسيط يستخدم لقياس ضغط هواء تفاضلي حيث سجَّل سمتا تفاضلياً مقداره 200mm ماء . إذا تم استخدام المانوميتر من بعد لقياس نفس الضغط التفاضلي في خط مواسير ماء ، باستخدام الزئبق كمائع للمانوميتر بدلاً عن الماء ، أحسب السمت التفاضلي للزئبق الذي يسجله المانوميتر . يمكن أخذ كثافة الهواء 1.3kg/m3 وكثافة الماء 1000kg/m3 . الثقل النوعي للزئبق هو 13.6 .

Ans. (15.9mm)

28. أ. أوصف مستعيناً بالرسومات التوضيحية مبدأ تشغيل ومكونات جهاز بوردون لقياس الضغط .

ب. أرسم تخطيطاً حركة ترس بنيون مشابهة لتلك المستخدمة في مقياس انبوب بوردون واحسب الزاوية التى يدور بها الترس ربع الدائري حول المحور لكي يدور عمود المؤشر خلال 270 درجة . نسبة التروس بين ترس البنيون والترس ربع الدائري هي 1:15 .

$Ans.(18^{\circ})$