

بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة وادي النيل - كلية الهندسة والتقنية

قسم الهندسة الميكانيكية

برنامج بكالوريوس الشرف في الهندسة الميكانيكية

الفصل السابع

أجهزة قياس

إعداد:

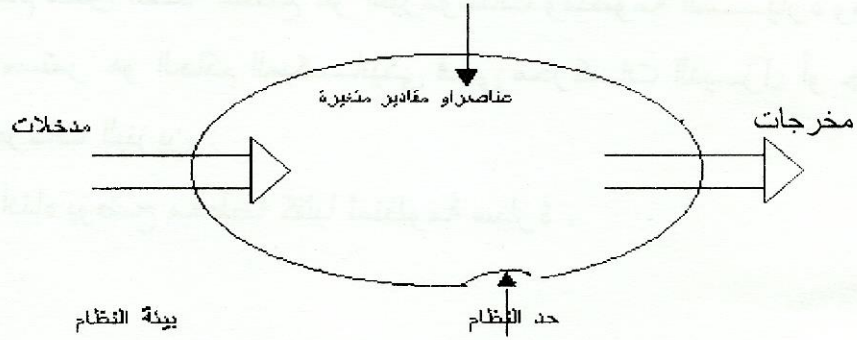
الأستاذ/أسامة المرضي

الفصل الأول

مقدمة

تعريفات :- (Definition)

النظام : (System) : النظام هو مجموعة من المكونات التي تعمل مجتمعة لاداء وظائف محددة



شكل رقم (1.1)

(راجع الشكل رقم 1.1 اعلاه) .

حد النظام (System boundary) :- هو الإطار الخارجي للنظام ويعمل كمحتوى لمكونات النظام .

العناصر أو المقادير المتغيرة (parameters) : هي العناصر التي تحدّد سلوك النظام .
مدخلات ومخرجات النظام (Inputs and out puts) : هي كميات معينة تدخل إلى المنظومة ويتم معالجتها لانتاج كميات معينة عند المخرج .

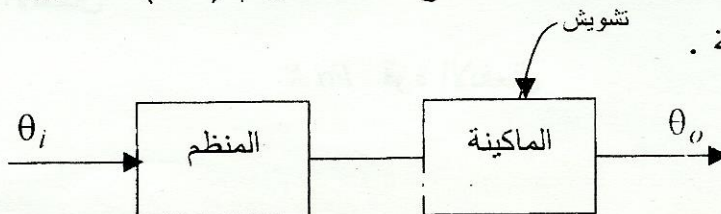
البيئة (Environment) : بيئة النظام هي مجموعة من التأثيرات الخارجية التي تؤثر علي أداء النظام .

1.2 أنواع أنظمة القياس :

هنالك نوعان من الأنظمة التي تستخدم في أجهزة القياس هي :-

1.2.1 نظام مفتوح الحلقة (open – loop system)

يتم ضبط متطلبات الأداء في المنظم ويُسمح 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 كتلي لنظام مفتوح الحلقة .

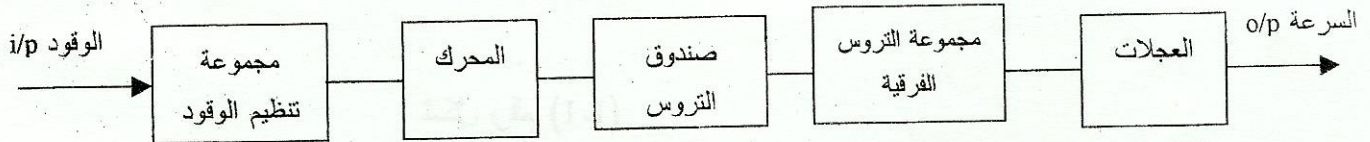


حيث θ_i هو المتغير المطلوب أو المرغوب أو متغير الدخل
 θ_0 هو المتغير الفعلي أو متغير الخرج

1.2.2 نظام مغلق الحلقة (Closed-loop system):

يتم قياس متغير الخرج بانتظام ومقارنته بمتغير الدخل وذلك لتصحيح النتيجة عند المخرج . مثال لنظام مغلق الحلقة متقطع هو الثيرموستات ومنظومة السيارة ومثال لنظام مغلق الحلقة مستمر هو الحاكم الميكانيكي في محركات الديزل أو جهاز الكربوريتر في محركات البنزين .

الشكل رقم (1.3) أدناه يوضح مخططا كتليا لمنظومة سيارة .



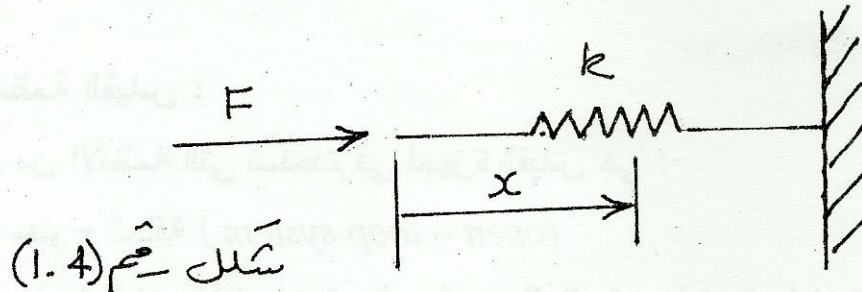
شكل رقم (1.3)

1.3 عامل الانتقال أو التحويل (Transfer operator):

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

هنالك عدة أمثلة سيتم سياقها فيما يلي :-

1/ الياي Spring:



شكل رقم (1.4)

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

x = الإزاحة

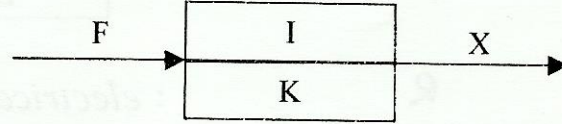
F = قوة الانفعال

$$F \propto X \text{ قوة الانفعال}$$

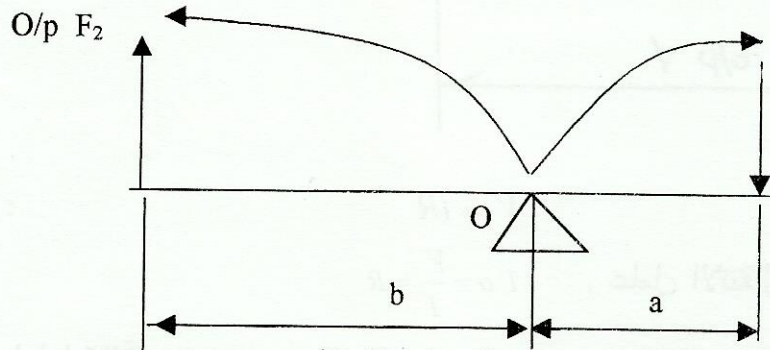
$$F = kx \text{ قوة الانفعال}$$

$$T.O = \frac{o/p}{i/p} = \frac{x}{F} = \frac{1}{k}$$

حيث يمكن تمثيل عامل الانتقال بمخطط كتلي كما يلي :



الذراع 2/Lever:



شكل رقم (1.5)

للاتزان ، وبأخذ العزوم حول محور الارتكاز 0

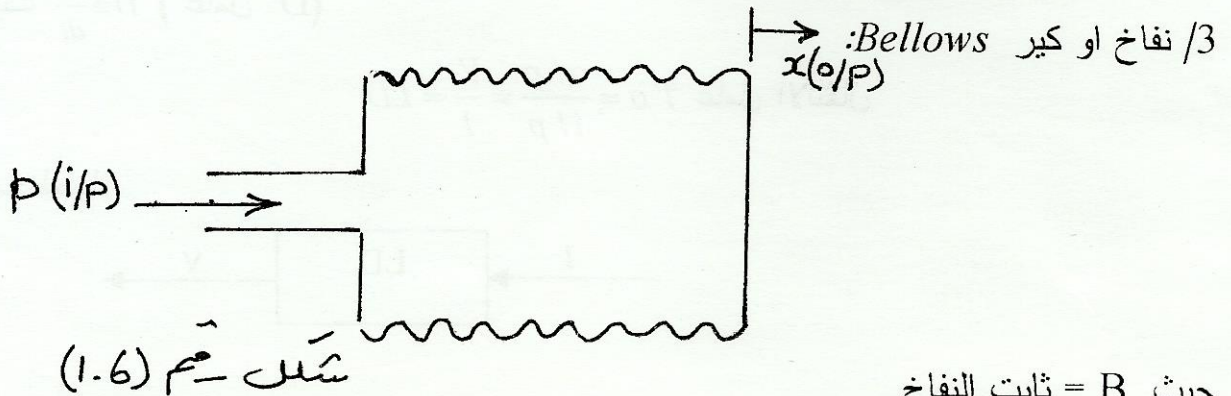
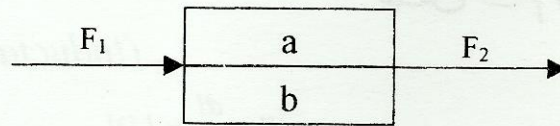
العزوم في اتجاه دوران عقارب الساعة = العزوم في اتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة .

$$F_1 a = F_2 b$$

$$T.O = \frac{o/p}{i/p} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{a}{b}$$

عامل الانتقال،

ويتم تمثيله مخططيا كما يلي :-



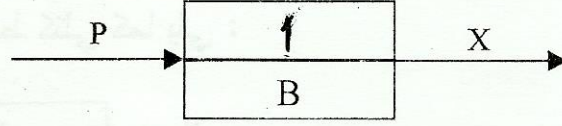
شكل رقم (1.6)

حيث $B =$ ثابت النفخ

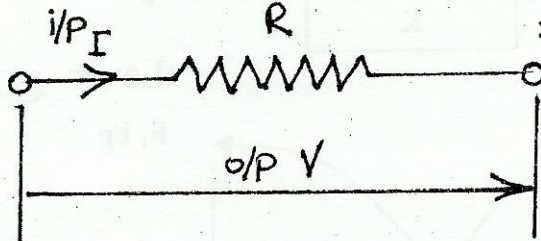
$x =$ الإزاحة

$$T.O = \frac{o/p}{i/p} = \frac{x}{p} = \frac{1}{B}$$

حيث يتم تمثيله مخططيا كما يلي :



4/ المقاومة الكهربائية : electrical resistor



سَلْسَلَة (1.7)

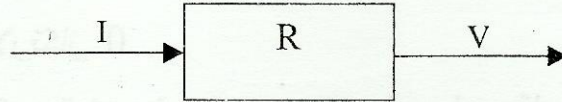
$$V = IR$$

من قانون اوم :

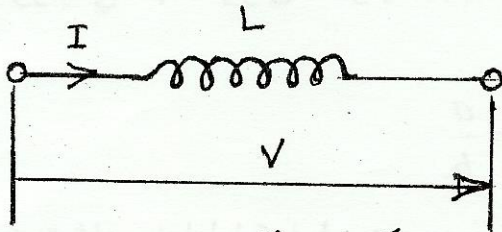
$$T.O = \frac{V}{I} = R$$

عامل الانتقال ,

ويتم تمثيله مخططيا كالآتي :



5/ المحث الكهربائي : Inductor



سَلْسَلَة (1.8)

حيث L = المحاثية الكهربائية (Inductance)

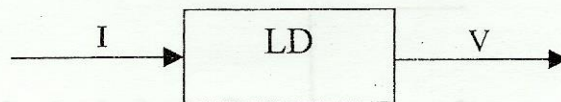
$$V \propto \frac{dI}{dt} = L \frac{dI}{dt}$$

حيث $D \equiv \frac{d}{dt}$ (عامل D)

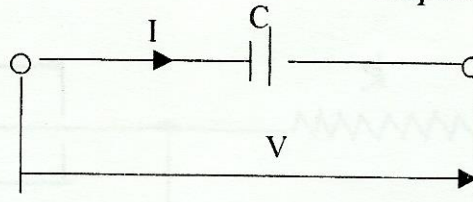
$$T.O = \frac{o/p}{i/p} = \frac{V}{I} = LD$$

عامل الانتقال

ومخططيا



6/ الميسع الكهربى Capacitor :



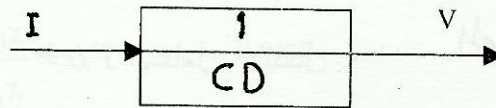
شكل رقم (1.9)

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

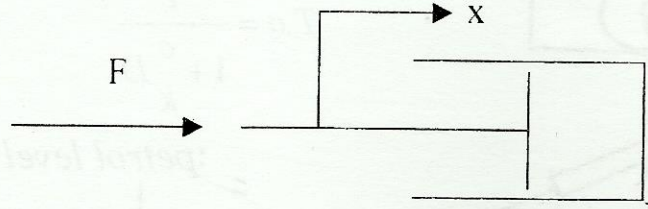
$$I = C \frac{dV}{dt} = CD \dot{V}$$

$$\therefore \text{عامل الانتقال } T.o = \frac{V}{I} = \frac{1}{CD}$$

ويمكن توضيحه مخططياً كما يلي :



7/ مخمد الإهتزاز dash pot or damper :



شكل رقم (1.10)

قوة المضاعلة $F \propto x^0$

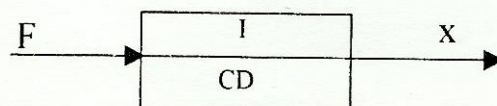
$$\text{حيث السرعة} = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$$

$$F = C \dot{x}$$

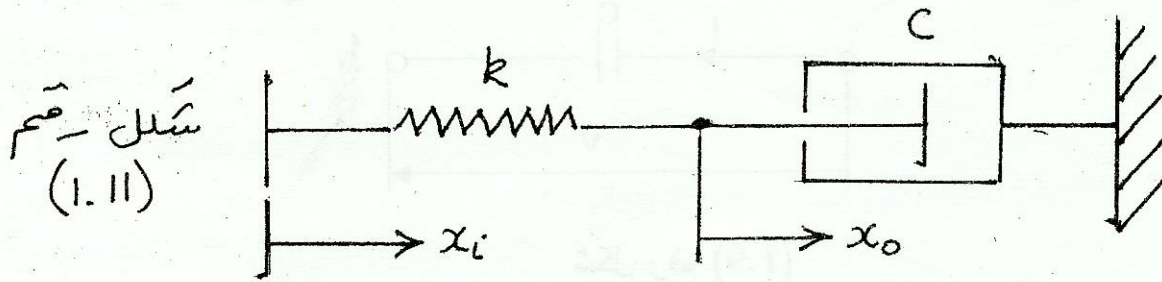
$$= C \frac{dx}{dt} = CD \dot{x}$$

حيث C هو معامل المضاعلة

$$T.o = \frac{o/p}{i/p} = \frac{x}{F} = \frac{1}{CD}$$



8/ منظومة ميكانيكية بها مخمد وياي :



حيث x_i هي إزاحة الدخل

x_0 هي إزاحة الخرج

معادلة الحركة للمنظومة :

$$k(x_i - x_0) - C \dot{x}_0 = 0$$

$$kx_i - kx_0 - C \dot{x}_0 = 0$$

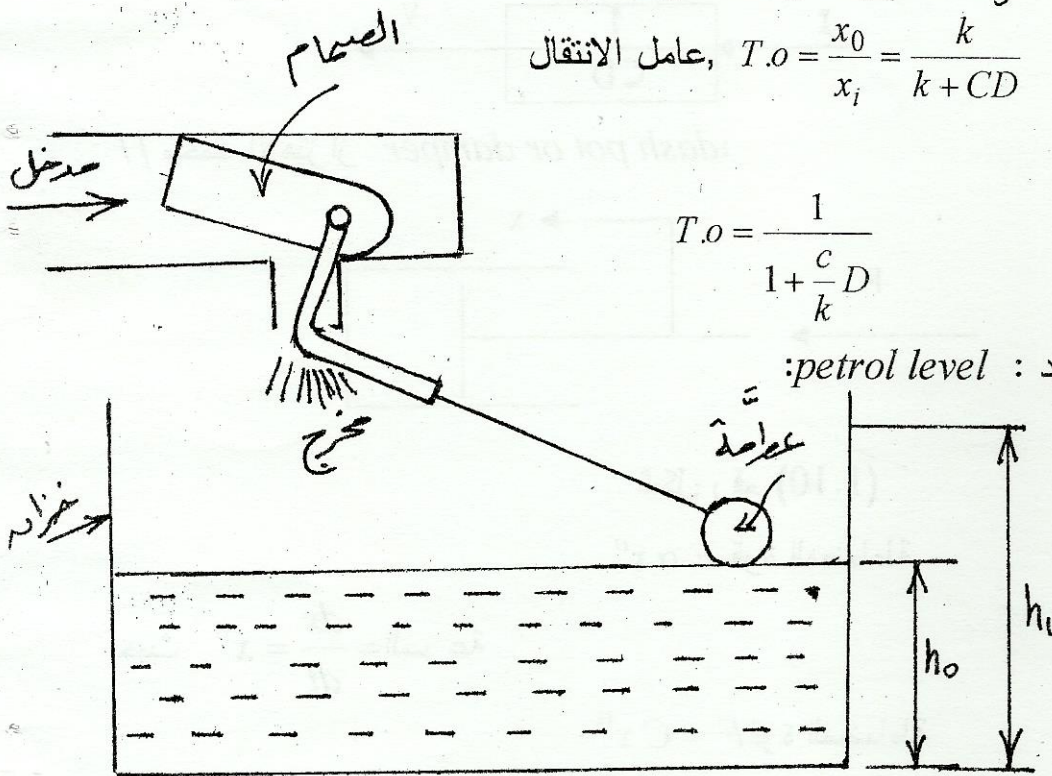
$$kx_i = kx_0 + C \dot{x}_0 = x_0 \{k + CD\}$$

$$\text{عامل الانتقال, } T.O = \frac{x_0}{x_i} = \frac{k}{k + CD}$$

بقسمة البسط والمقام $k\%$

$$T.O = \frac{1}{1 + \frac{C}{k} D}$$

9/ مستوى (منسوب) الوقود : petrol level :



سَلْسَلَة - قَم (1.12)

يمكن القول إن معدل السريان يتناسب طردياً مع إزاحة الصمام

إزاحة الصمام α معدل السريان

التغير في منسوب الوقود α إزاحة الصمام

التغير في منسوب الوقود α معدل السريان

$$q \propto h_i - h_o$$

حيث h_i هو المستوى المطلوب او المرغوب (مستوى انقطاع الوقود الى الحوض)
 h_0 هو المستوى الفعلي

$$\frac{dh_0}{dt} \propto h_i - h_0$$

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

حيث A هي مساحة مقطع حوض الوقود

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

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

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

$$T.O = \frac{o/p}{i/p} = \frac{h_o}{h_i} = \frac{\frac{1}{A}}{D + \frac{1}{A}}$$

عامل الانتقال

بضرب البسط والمقام $\times (A)$

$$T.O = \frac{1}{AD + 1} = \frac{1}{1 + AD}$$

عامل الانتقال

والذي يكون مناظراً للصيغة العامة للتأخر الاسي للنظم (Exponential lag) التي تكتب كـ $\frac{1}{1 + \tau D}$ حيث τ هو ثابت الزمن للنظام.

1.4 أنواع استجابة المنظم (Type of Controller response)

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

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

2/ الاستجابة التفاضلية (Derivative response) :-

بالإضافة الى أجزاء التصحيح الذي يتناسب مع الخطأ فان المنظم قد يستجيب أيضاً لمعدل التغير في الخطأ لكي يمنع توقع التغير عند المخرج .

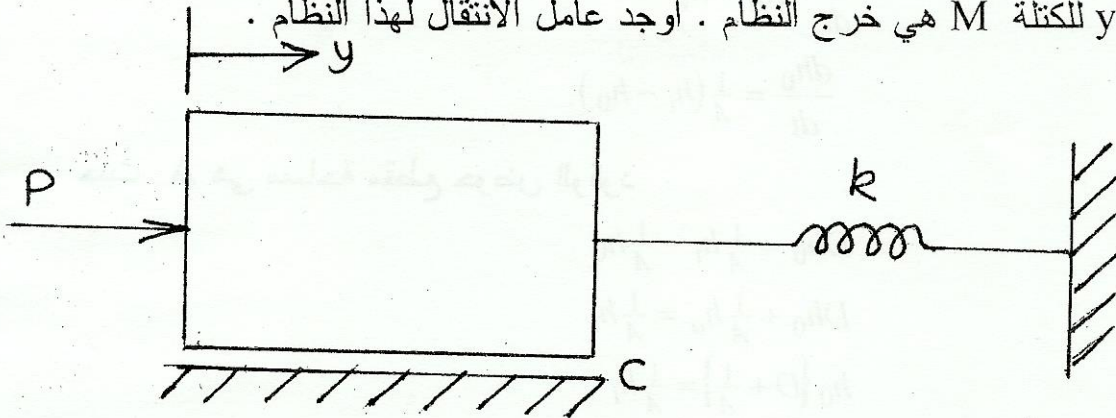
3/ الاستجابة التكاملية (Integral response) :-

الاستجابة التكاملية مرغوب فيها ، حيث يتوقف التصحيح أيضاً 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)

1/ نظام كتلة ياي احتكاكي يتم توضيحه في الشكل رقم (1.13) ادناه . اعتبر ان القوة P هي الدخل والإزاحة y للكتلة M هي خرج النظام . أوجد عامل الانتقال لهذا النظام .



شكل رقم (1.13)

حيث C هو معامل احتكاك الكتلة مع السطح

معادلة الحركة للنظام

$$p - M \frac{d^2 y}{dt^2} - C \frac{dy}{dt} - ky = 0 \quad \text{للاتزان}$$

$$p = M \frac{d^2 y}{dt^2} + C \frac{dy}{dt} + ky$$

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

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

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

بقسمة البسط والمقام $k\%$

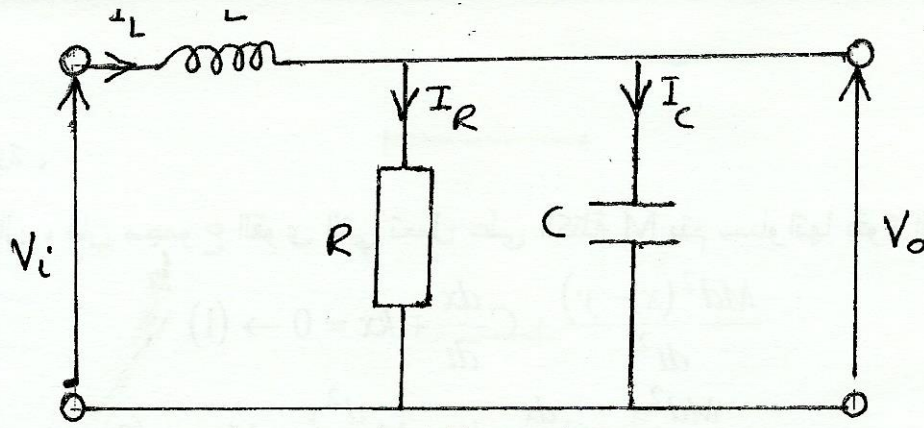
$$T.o = \frac{1/k}{1 + \frac{C}{K}D + \frac{M}{K}D^2}$$

والذي يكون مناظراً للصيغة القياسية لنظام تأخر مركب (complex lag) الذي يكتب كالاتي :

$$\frac{1}{1 + 2\zeta\tau D + \tau^2 D^2}$$

حيث ζ هي نسبة المضاعلة للنظام .

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



شكل رقم (1:14)

يتطبيق قوانين كيرتشفول للدائرة عاليه :

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

$$\text{ولكن , } V_o = I_R R = \frac{1}{CD} I_C \rightarrow (2)$$

$$\text{ايضاً } I_L = I_R + I_C \rightarrow (3)$$

عليه من المعادلات (1) و (3)

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

ومن المعادلة (2) ،

$$= LD \left[\frac{V_o}{R} + CDV_o \right]$$

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

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

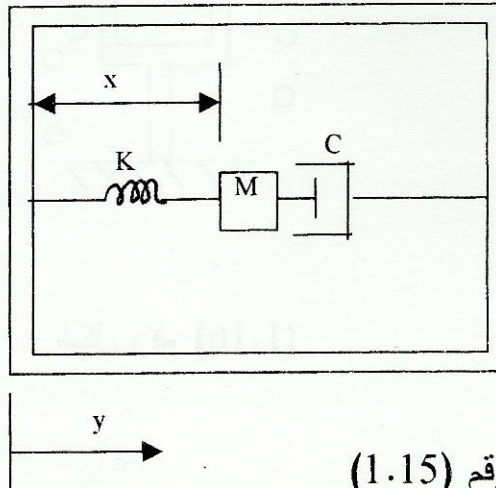
$$\text{عامل الانتقال , } T.O = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + \frac{L}{R} D + LCD^2} \rightarrow (4)$$

والذي يكون مناظراً للصيغة القياسية لنظام تأخر مركب .

3/ مقياس تسارع ميكانيكي بسيط موضّح في الشكل رقم (1.15) أدناه . يكون الوضع x للكتلة

M بالنسبة لغلاف مقياس التسارع متناسباً مع تسارع الغلاف .

حدّد دالة الانتقال بين التسارع الدخلي والخرج X .



شكل رقم (1.15)

معادلة الحركة ،

في هذا المثال ، فان مجموع القوى التي تعمل على الكتلة M يتم مساواتها بقوة القصور الذاتي

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

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

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

$$MD^2x + CDx + kx = Ma$$

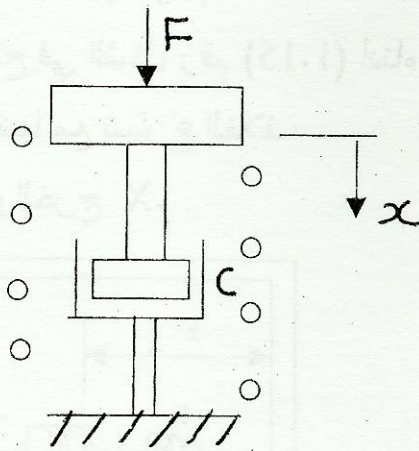
$$x \{ MD^2 + CD + k \} = Ma$$

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

بقسمة البسط والمقام $k\%$ نحصل على ،

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

الشكل رقم (1.16) أدناه يوضح لوحة يمكن تجاهل كتلتها مسندة على ياي حلزوني كزازته $200N/m$. يتم اعتراض حركة اللوحة بواسطة مخمد اهتزاز يعطي مقاومة مقدارها $50N/(m/s)$. أوجد عامل الانتقال ومن ثم ثابت الزمن للمنظومة .



شكل رقم (1.16)

معادلة الحركة ،

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

$$F - kx - CDx = 0$$

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

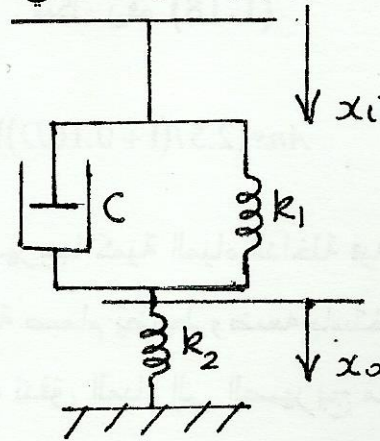
$$T.o = \frac{x}{F} = \frac{1}{k + CD}$$

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

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

$$\tau = 0.25 \text{ sec} \quad \text{ثابت الزمن } \tau$$

5/ أوجد عامل الانتقال للمنظومة الميكانيكية الموضحة في الشكل رقم (1.17) أدناه .



شكل رقم (1.17)

معادلة الحركة للنظام ،

$$k_1(x_i - x_o) + C(x_i^o - x_o^0) - k_2x_o = 0$$

$$k_1(x_i - x_o) + C(Dx_i - Dx_o) = k_2x_o$$

$$k_1x_i - k_1x_o + CDx_i - CDx_o = k_2x_o$$

$$k_1x_i + CDx_i = k_1x_o + CDx_o + k_2x_o$$

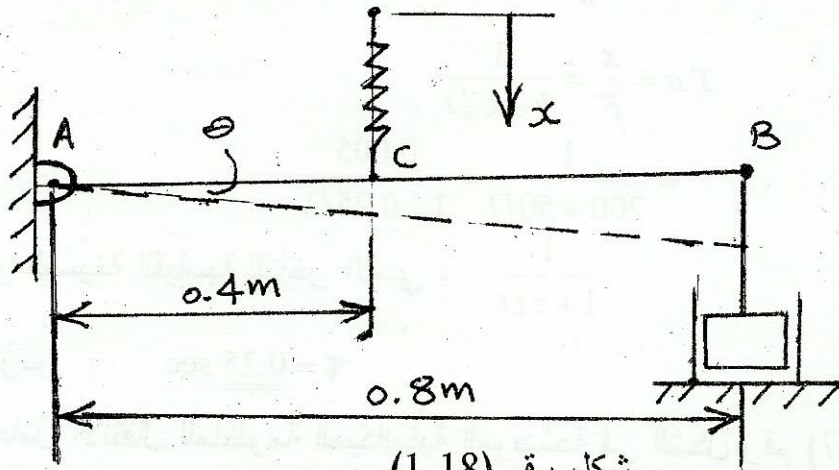
$$x_i[k_1 + CD] = x_o[k_1 + k_2 + CD]$$

$$\text{عامل الانتقال, } \frac{x_o}{x_i} = \frac{k_1 + CD}{k_1 + k_2 + CD}$$

مسائل اضافية :-

1/ المنظومة الموضحة في الشكل رقم (1.18) أدناه تتكون من قضيب خفيف (يمكن تجاهل كتلته) مثبت على المفصلة A ومضائل اهتزاز مقاومته اللزجة 40N/(m/s) موصل على الجانب B وبياي كزازته 1KN/m يقوم بإسناد القضيب عند النقطة C.

إذا كانت الحركة الراسية x للقضيب تؤدي إلى إزاحته زاوياً بمقدار θ . أوجد النسبة $\frac{\theta}{x}$ للازاحات الصغيرة .

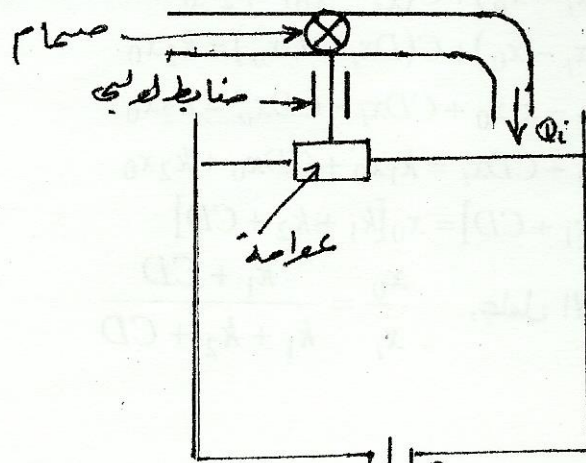


شكل رقم (1.18)

$$\text{Ans.}(2.5/(1+0.16D))$$

2/ يبين الشكل رقم (1.19) أدناه صهريجاً كمية المياه الداخلة فيه Q_i ، والخارجة منه Q_o . ويتم التحكم في منسوب الماء بواسطة صمام يُضبط وضعه باستخدام عوامة يمكن تعديل وضعها بواسطة قلاووظ . ويتناسب تدفق المياه إلى الصهريج مع حركة العوامة ، ويمكن اعتبار تدفق المياه إلى خارج الصهريج متناسباً مع منسوب المياه الموجود به ، وذلك عندما يكون التغيير في المنسوب صغيراً .

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

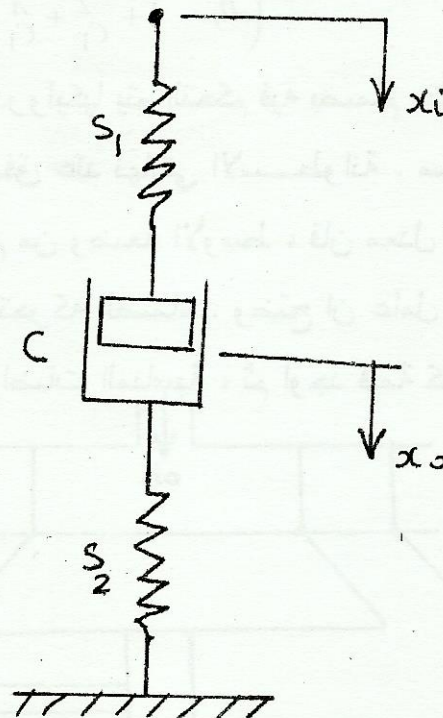


شكل رقم (1.19)

$$\text{Ans. } \left(\frac{h_0}{h_i} = \frac{1}{1 + \frac{C_2}{C_1} + \frac{A}{C_1} D} \right)$$

أوجد عامل الانتقال للمنظومة المبينة في الشكل رقم (1.22) أدناه .

$$\text{Ans. } (s_1(CD + s_2) / [CD(s_1 + s_2) + s_1s_2])$$



شكل رقم (1.22)

الفصل الثاني

المخططات الكتلية (Block diagrams)

2.1 استخدام الجبر في الرسومات التخطيطية (Block diagram algebra)

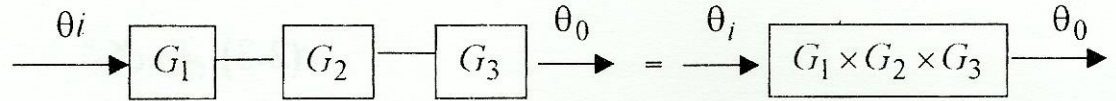
يبين المخطط الوظيفي لمنظومة ما كيفية توصيل العناصر المختلفة ، وكذلك دوال التحويل الفردية المدونة في الخانات الخاصة بكل منها . وبذلك يمكن إيجاد دالة التحويل الإجمالية للمنظومة بتجميع دوال عناصرها . وفيما يلي من شرح ستميز دوال التحويل الخاصة بالعناصر في المسارات الأمامية بالحرف G أما دوال العناصر في اتجاه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

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

(2.1)

يتأثر خرج كل عنصر تبعا لدالة التحويل الخاصة به ، وعلى ذلك فإن دالة التحويل الإجمالية تكون عبارة عن حاصل ضرب القيم المنفردة لدوال التحويل ، أي أن:

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



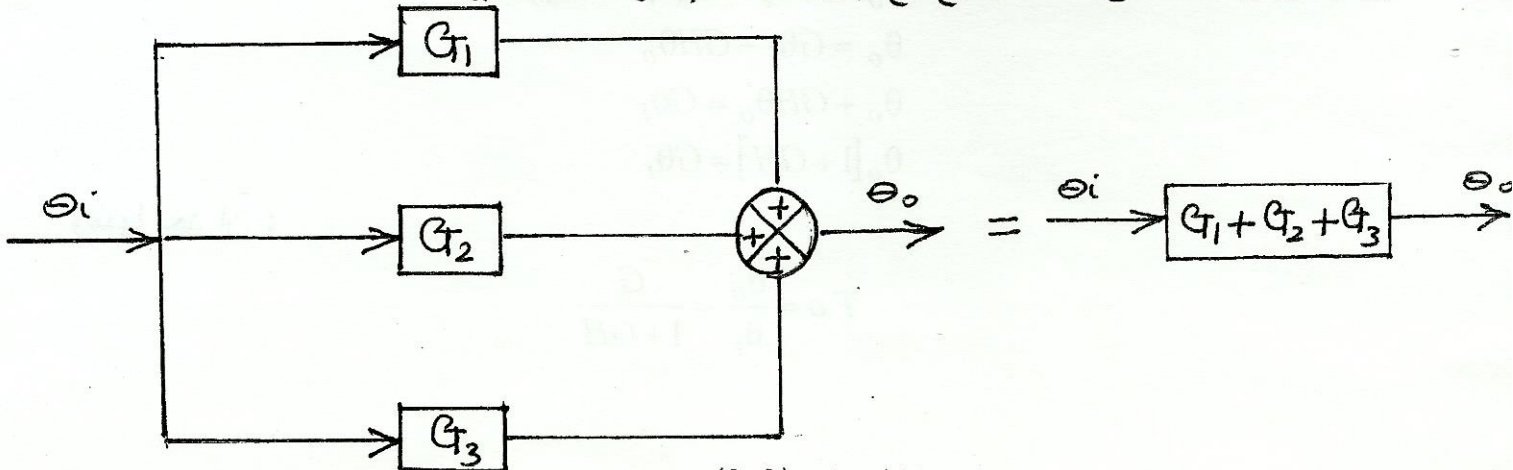
شكل رقم (2.1)

2.1.2 العناصر المتصلة على التوازي (Elements in parallel) شكل رقم (2.2)

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

$$\frac{\theta_0}{\theta_i} = G_1 + G_2 + G_3 \quad \text{أي أن :}$$

وبدل الرمز \otimes على نقطة تجميع مع بيان علامة الإشارة الداخلة فيها .



شكل رقم (2.2)

2.1.3 منظومة التغذية المرتدة ذات الوحدة ، شكل رقم (2.3) (Unity feed – back system)

في هذه الحالة يتم تغذية مدخل المنظومة بالإشارة θ_i ، وبذلك يكون الفرق $\theta_i - \theta_o$ ، والذي يُرمز بالرمز θ_e هو الذي يتأثر فقط بالعنصر .

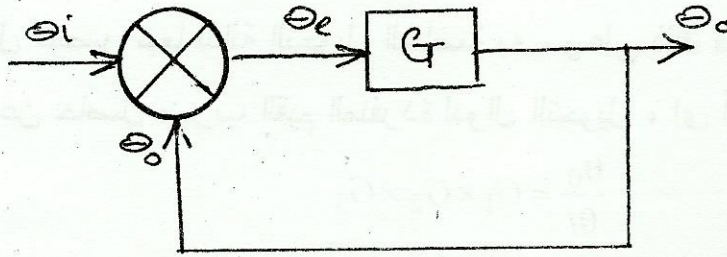
$$\theta_o = G\theta_e = G(\theta_i - \theta_o) \quad \text{وهكذا فإن :}$$

$$\theta_o = G\theta_i - G\theta_o$$

$$\theta_o + G\theta_o = G\theta_i$$

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

$$\text{دالة التحويل أو الانتقال} \quad \frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{G}{1 + G}$$



شكل رقم (2.3)

2.1.4 منظومة التغذية المرتدة التي يعترضها عنصر ، شكل رقم (2.4) (Feed-back loop with element)

في هذه الحالة يتم تعديل الإشارة θ_o وهي في مسارها في اتجاه التغذية المرتدة بواسطة العنصر لاعطاء الإشارة $H\theta_o$ عند نقطة التجميع . وبذلك تكون إشارة الخطأ θ_e التي يغذي بها

العنصر الموجود في المسار الأمامي هي : $\theta_i - H\theta_o$ وعلى ذلك فإن :

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

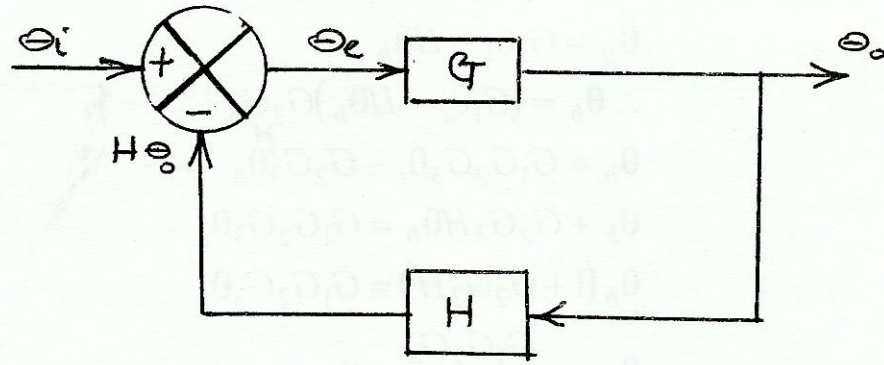
$$\theta_o = G\theta_i - GH\theta_o$$

$$\theta_o + GH\theta_o = G\theta_i$$

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

ومنها نجد أن :

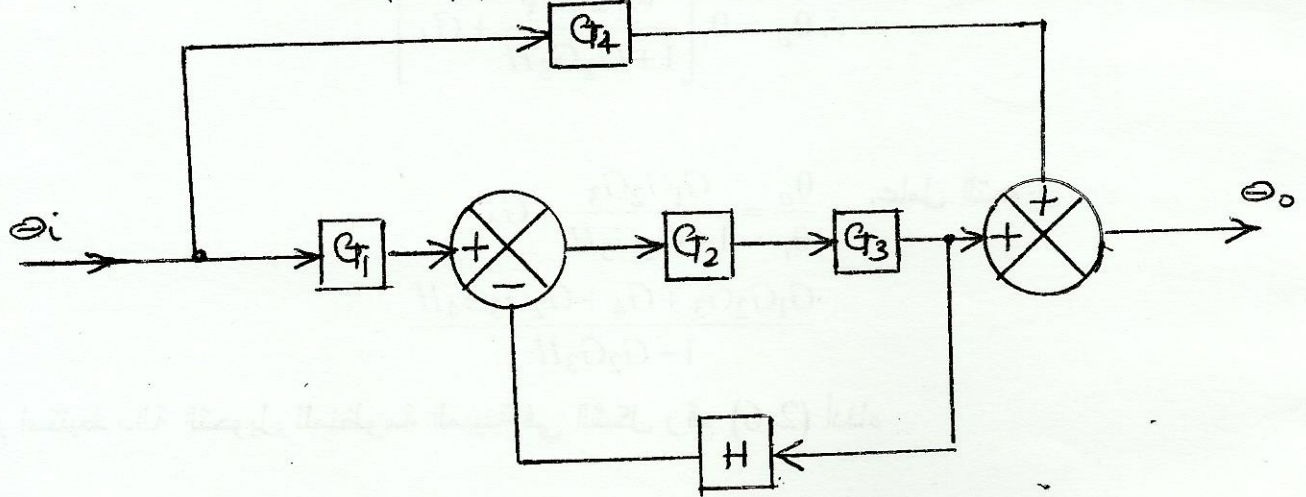
$$T.O = \frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{G}{1 + GH}$$



شكل رقم (2.4)

2.2 أمثلة محلولة (solved examples) :-

1/ أوجد عامل التحويل للمنظومة الموضحة في الشكل رقم (2.5) أدناه.



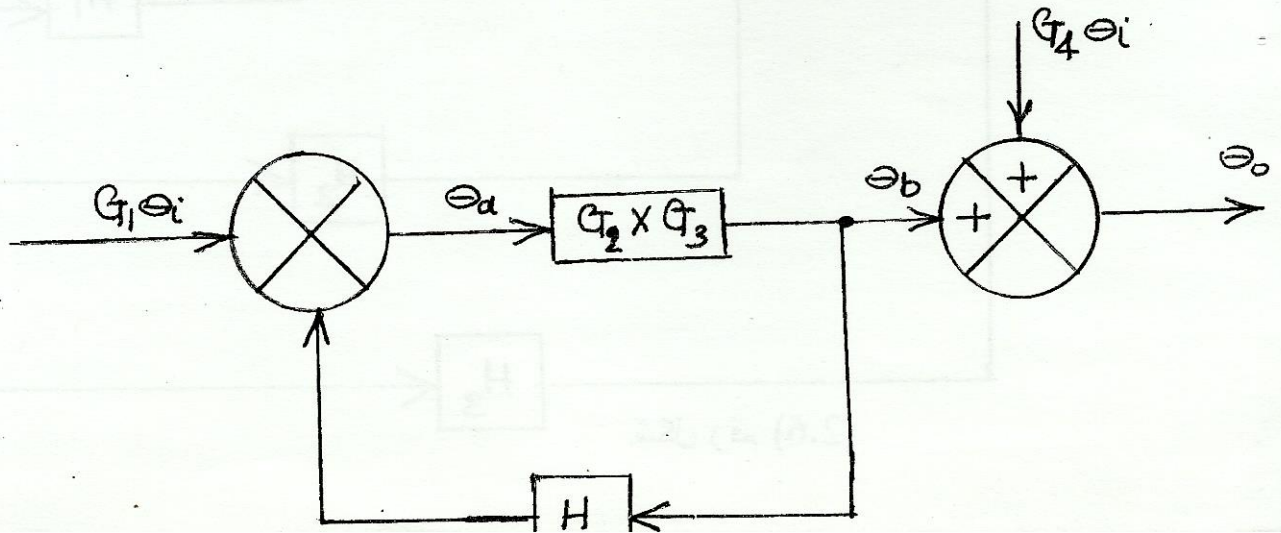
شكل رقم (2.5)

الحل :

الخرج من العنصر $G_1\theta_i = G_1$

الخرج من العنصر $G_4\theta_i = G_4$

العناصر G_2 و G_3 هي عناصر متصلة على التوالي يمكن ضربها وتوحيدها في كتلة واحدة .



$$\theta_b = \theta_a G_2 G_3$$

$$\theta_a = G_1 \theta_i - H \theta_b$$

$$\therefore \theta_b = (G_1 \theta_i - H \theta_b) G_2 G_3$$

$$\theta_b = G_1 G_2 G_3 \theta_i - G_2 G_3 H \theta_b$$

$$\theta_b + G_2 G_3 H \theta_b = G_1 G_2 G_3 \theta_i$$

$$\theta_b (1 + G_2 G_3 H) = G_1 G_2 G_3 \theta_i$$

$$\theta_b = \frac{G_1 G_2 G_3}{1 + G_2 G_3 H} \theta_i$$

$$\theta_o = \theta_b + G_4 \theta_i$$

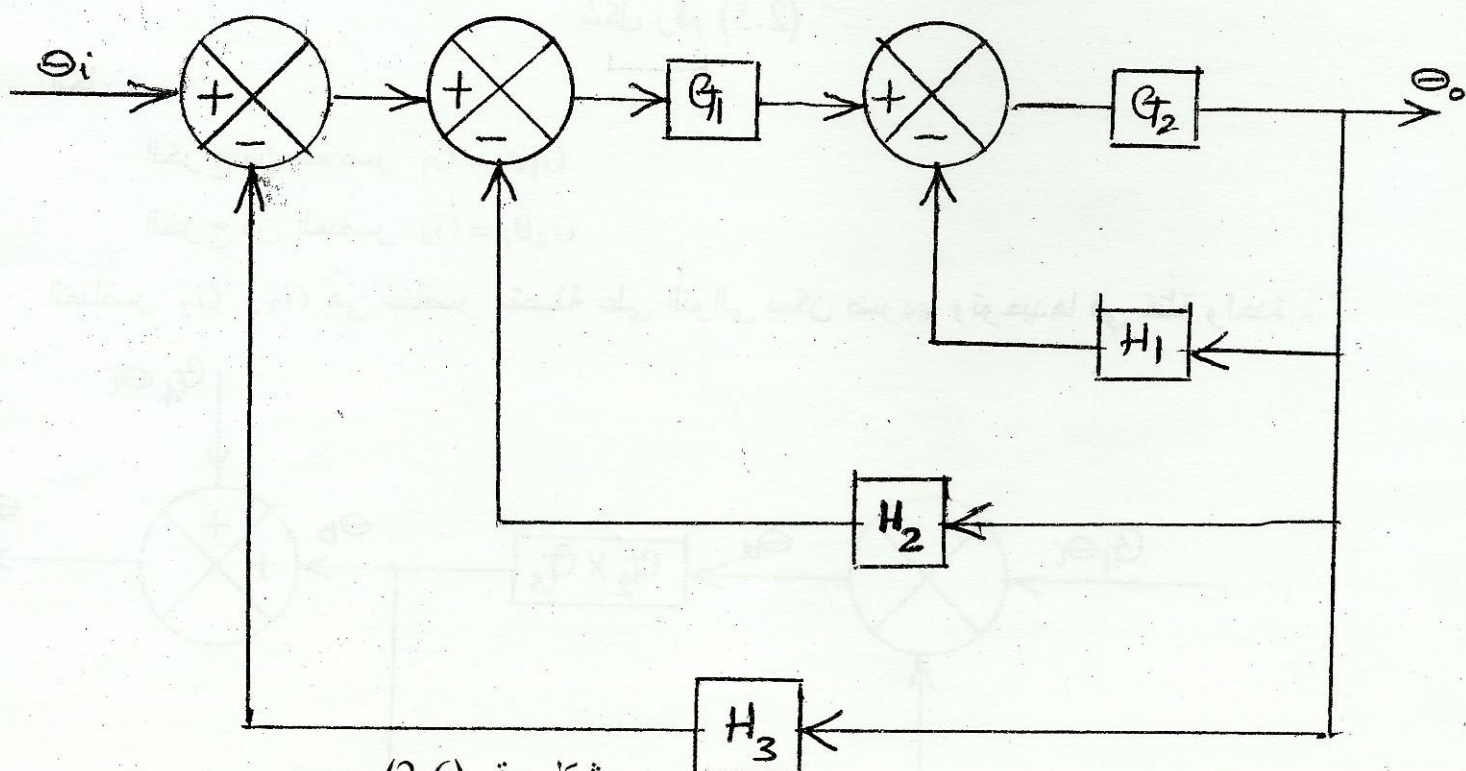
$$\therefore \theta_o = \frac{G_1 G_2 G_3}{1 + G_2 G_3 H} \theta_i + G_4 \theta_i$$

$$\therefore \theta_o = \theta_i \left[\frac{G_1 G_2 G_3}{1 + G_2 G_3 H} + G_4 \right]$$

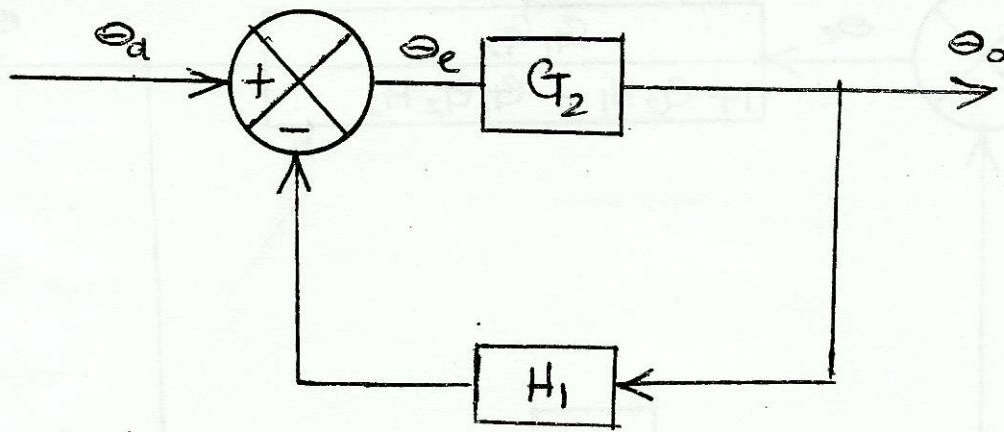
عامل التحويل،

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{G_1 G_2 G_3}{1 + G_2 G_3 H} + G_4 = \frac{G_1 G_2 G_3 + G_4 + G_2 G_3 G_4 H}{1 + G_2 G_3 H}$$

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

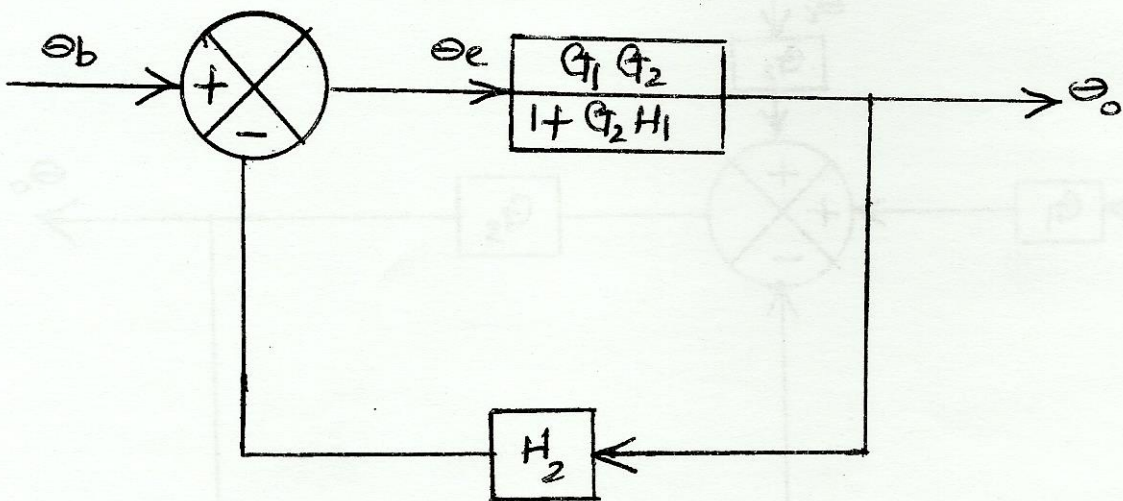
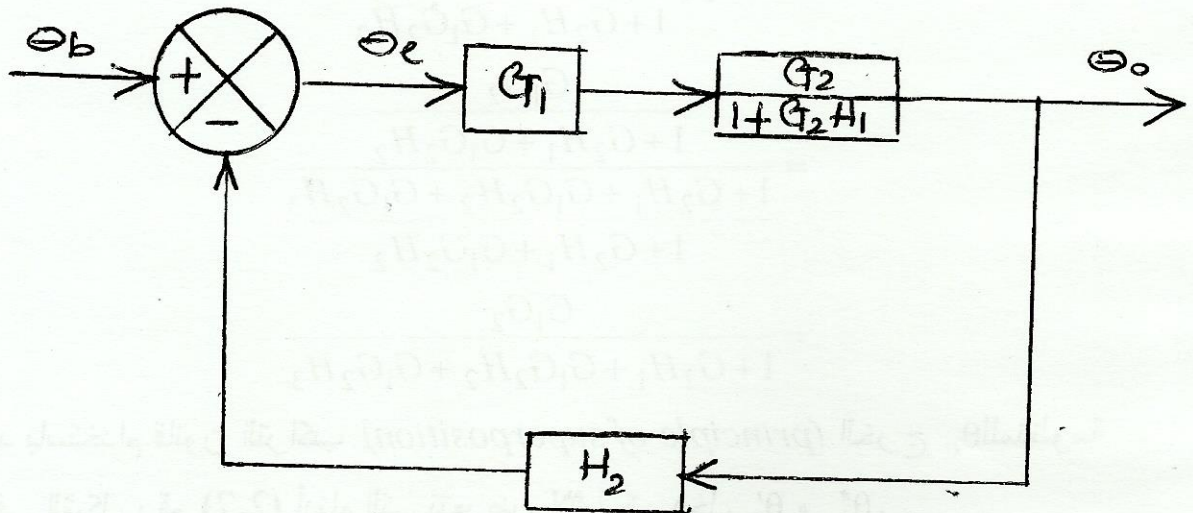


شكل رقم (2.6)

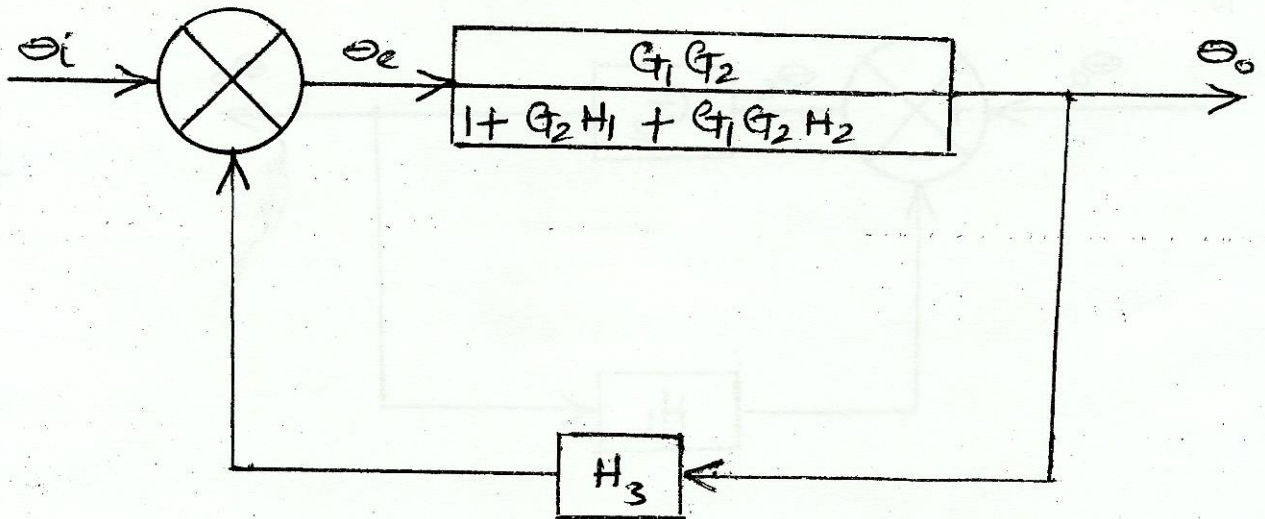


الحل:

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{G_2}{1 + G_2 H_1}$$

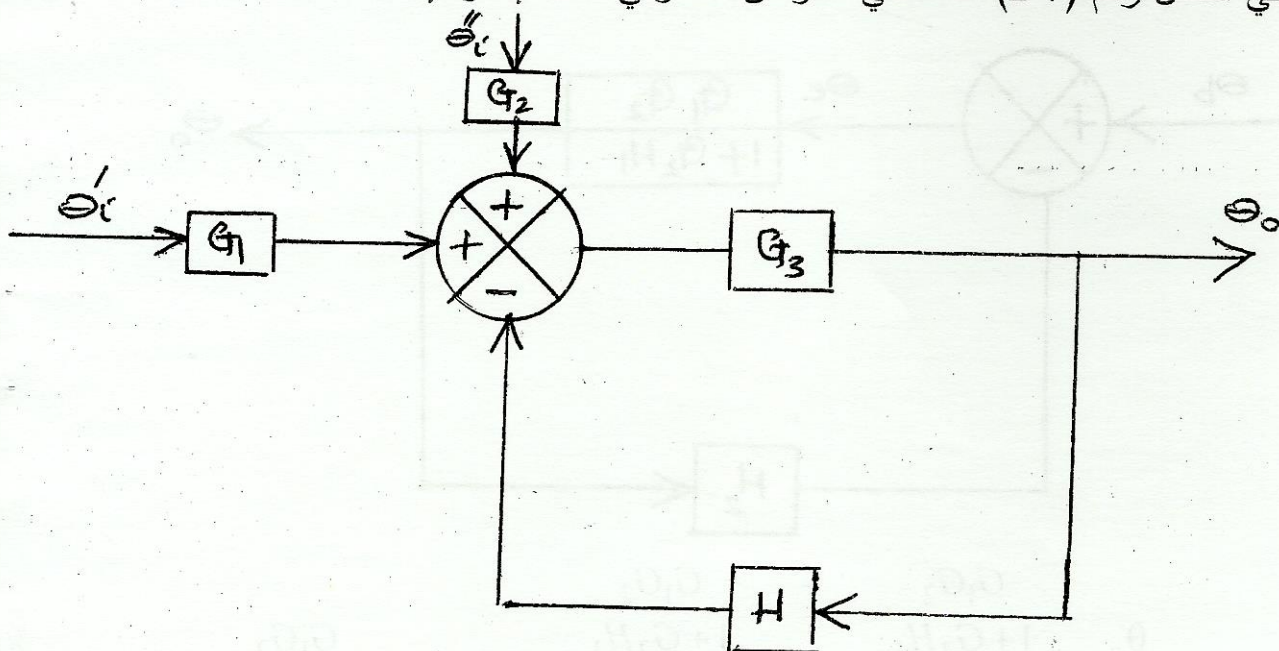


$$\frac{\theta_o}{\theta_b} = \frac{G_1 G_2}{1 + G_2 H_1} \cdot \frac{1 + G_2 H_1}{1 + G_2 H_1 + G_1 G_2 H_2} = \frac{G_1 G_2}{1 + G_2 H_1 + G_1 G_2 H_2}$$



$$\begin{aligned} \frac{\theta_o}{\theta_i} &= \frac{G_1 G_2}{1 + G_2 H_1 + G_1 G_2 H_2} \\ &= \frac{G_1 G_2}{1 + \frac{G_1 G_2 H_3}{1 + G_2 H_1 + G_1 G_2 H_2}} \\ &= \frac{G_1 G_2}{1 + G_2 H_1 + G_1 G_2 H_2 + G_1 G_2 H_3} \\ &= \frac{G_1 G_2}{1 + G_2 H_1 + G_1 G_2 H_2 + G_1 G_2 H_3} \end{aligned}$$

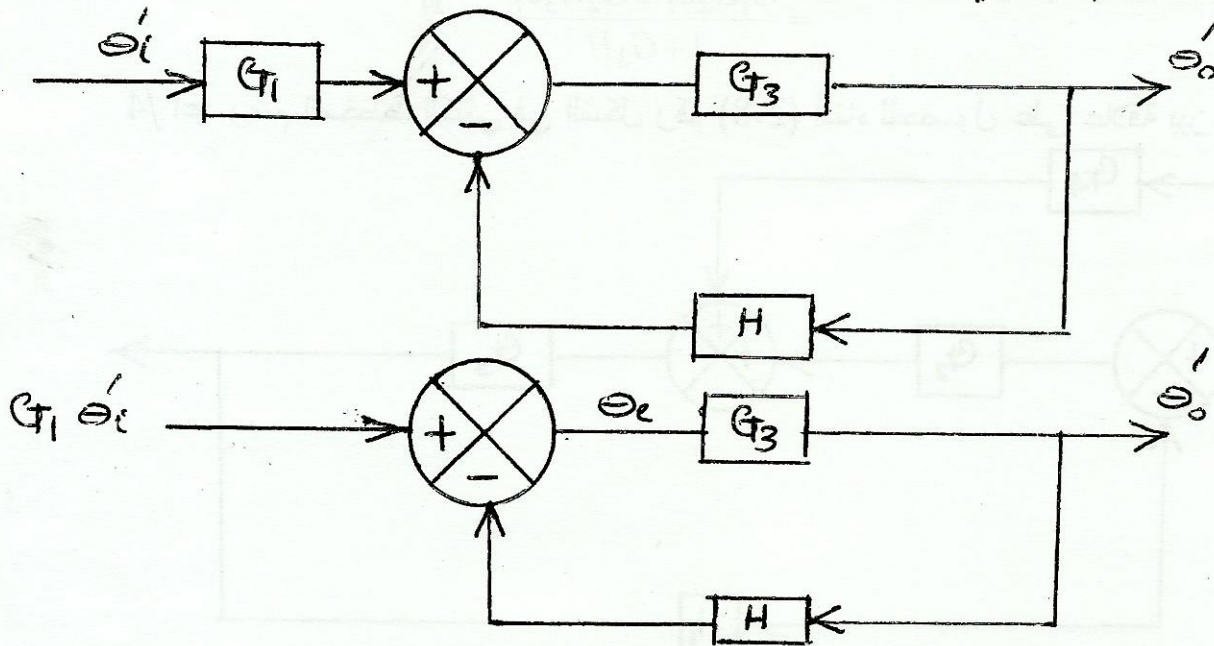
3/ أوجد باستخدام قانون التراكب (principle of superposition) الخرج θ_o للمنظومة المبيّنة في الشكل رقم (2.7) أدناه التي تتعرض لشارتي دخل θ_i' و θ_i'' .



شكل رقم (2.7)

الحل :-

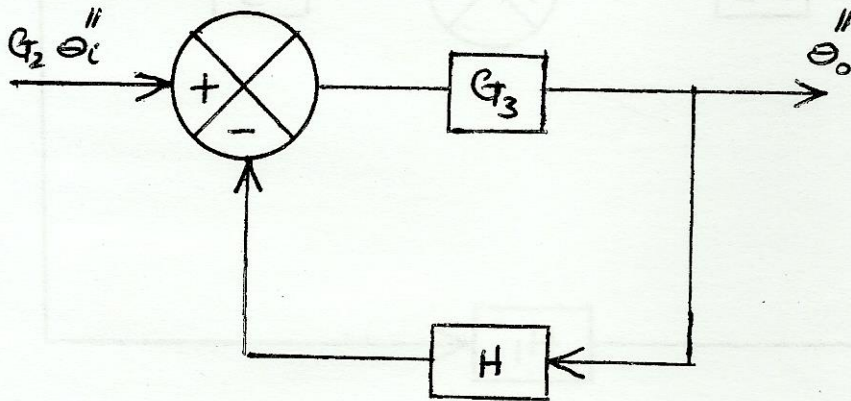
i/ بفرض ان الدخل θ_i' يساوي صفر ، وان θ_o' هو الخرج الناتج من θ_i'



$$\frac{\theta_o'}{G_1 \theta_i'} = \frac{G_3}{1 + G_3 H}$$

$$\theta_o' = \frac{G_1 G_3 \theta_i'}{1 + G_3 H}$$

ii/ بفرض ان الدخل θ_i'' يساوي صفرا ، وان θ_o'' هو الخرج الناتج من θ_i''



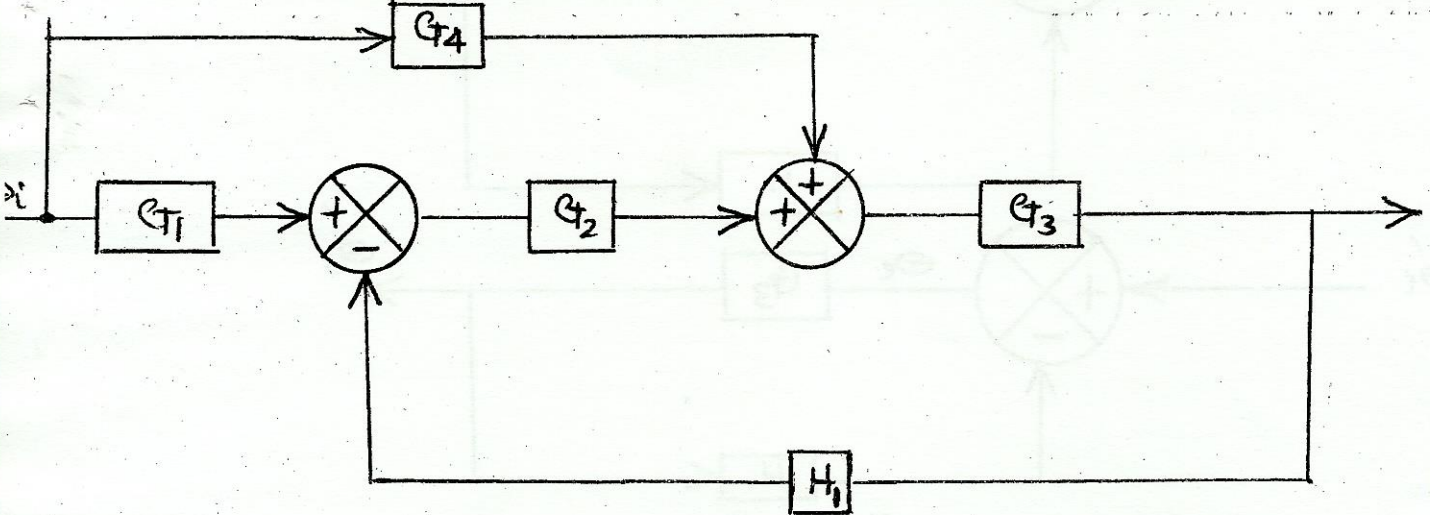
$$\frac{\theta_o''}{G_2 \theta_i''} = \frac{G_3}{1 + G_3 H}$$

$$\theta_o'' = \frac{G_2 G_3 \theta_i''}{1 + G_3 H}$$

$$\theta_o = \theta'_o + \theta''_o = \frac{G_1 G_3 \theta'_i}{1 + G_3 H} + \frac{G_2 G_3 \theta''_i}{1 + G_3 H}$$

$$= \frac{G_1 G_2 \theta'_i + G_2 G_3 \theta''_i}{1 + G_3 H}$$

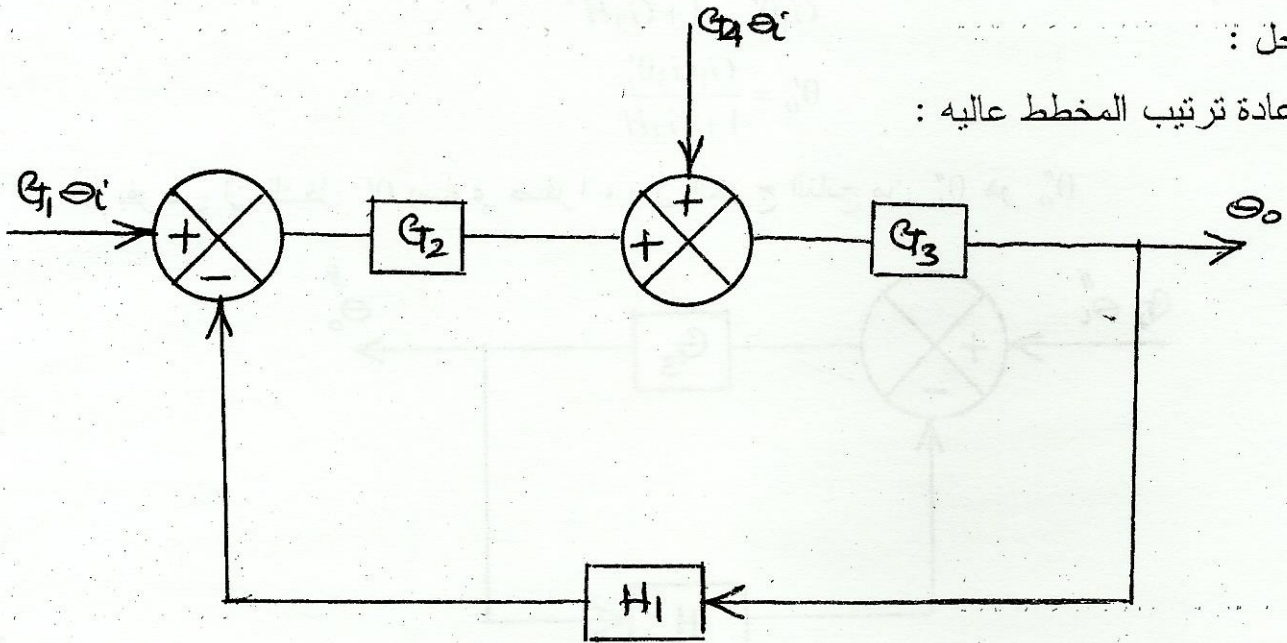
4/ اعد رسم المخطط الكتلي في الشكل رقم (2.8) أدناه للحصول على علاقة بين θ_o و θ_i .



شكل رقم (2.8)

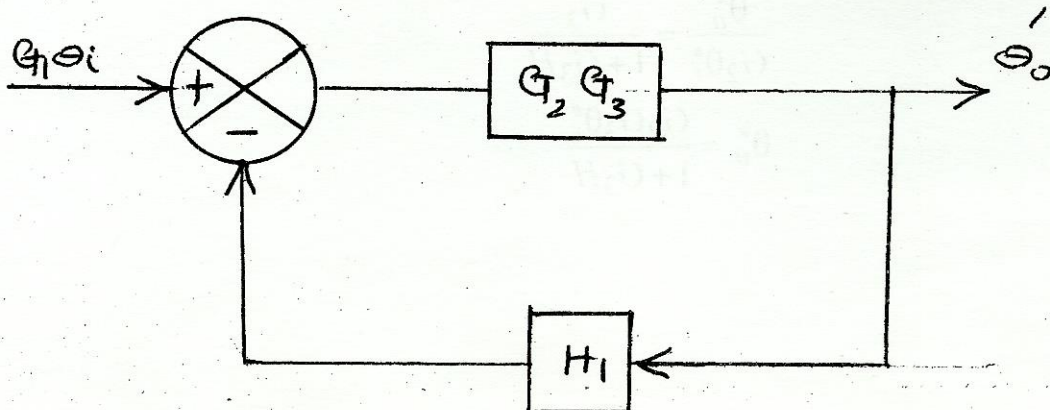
الحل :

بإعادة ترتيب المخطط عاليه :



باستخدام قانون التراكب :

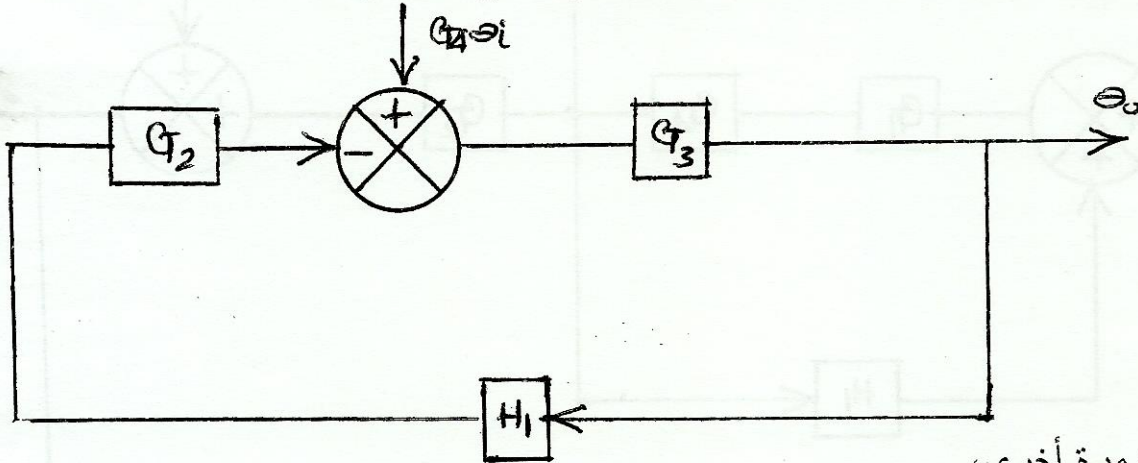
/I نفرض أن $G_4 \theta_i$ تساوي الصفر ، وان θ'_o هو الخرج الناتج من $G_1 \theta_i$



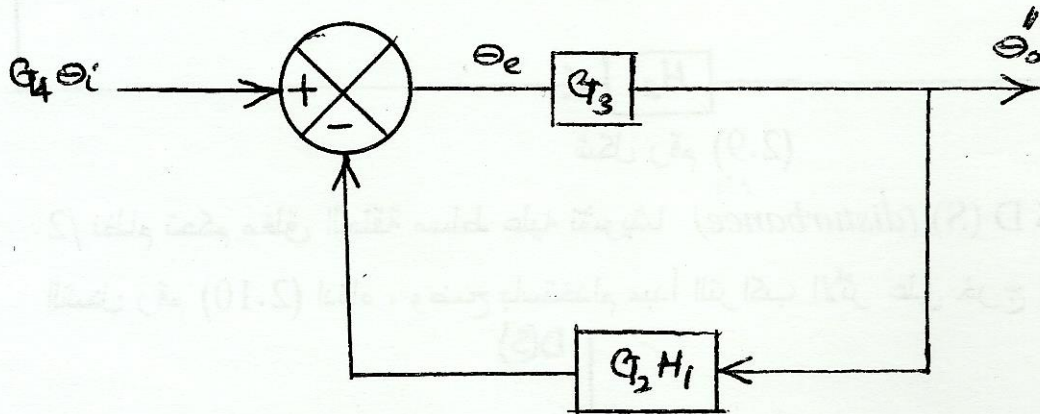
$$\therefore \frac{\theta'_o}{G_1 \theta'_i} = \frac{G_2 G_3}{1 + G_2 G_3 H_1}$$

$$\text{أو} \quad \frac{\theta'_o}{\theta'_i} = \frac{G_1 G_2 G_3}{1 + G_2 G_3 H_1}$$

ii/ نفترض ان $G_1 \theta_i$ تساوى الصفر ، وان θ''_o هو الخرج الناتج من $G_4 \theta_i$



وبإعادة الترتيب مرة أخرى،



$$\frac{\theta''_o}{G_4 \theta_i} = \frac{G_3}{1 + G_2 G_3 H_1}$$

$$\text{أو} \quad \frac{\theta''_o}{\theta_i} = \frac{G_3 G_4}{1 + G_2 G_3 H_1}$$

بما ان عاملي التحويل موصلين على التوازي ، فهذا يعني جمعهما للحصول على عامل التحويل الإجمالي للمنظومة .

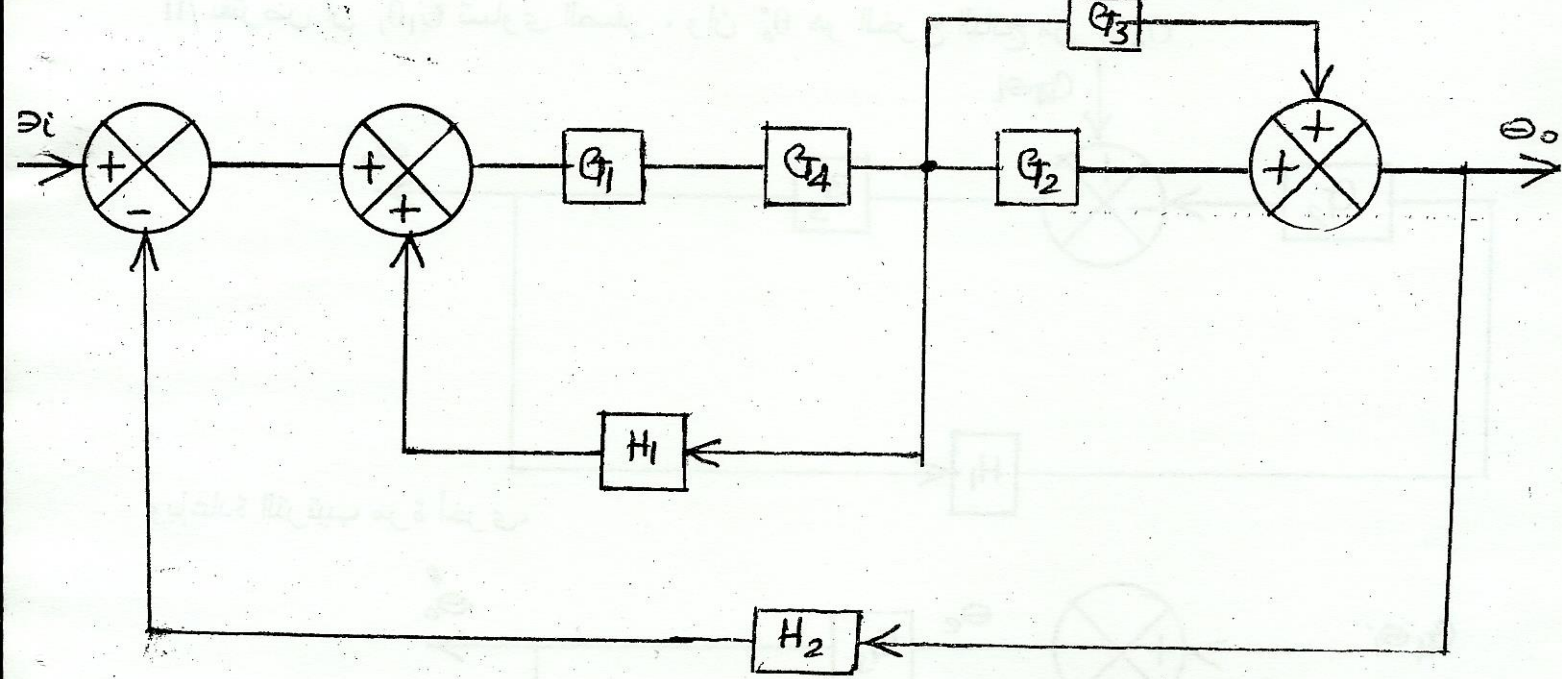
$$\therefore \frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{\theta'_o}{\theta_i} + \frac{\theta''_o}{\theta_i}$$

$$= \frac{G_1 G_2 G_3}{1 + G_2 G_3 H_1} + \frac{G_3 G_4}{1 + G_2 G_3 H_1}$$

$$= \frac{G_3 (G_1 G_2 + G_4)}{1 + G_2 G_3 H_1}$$

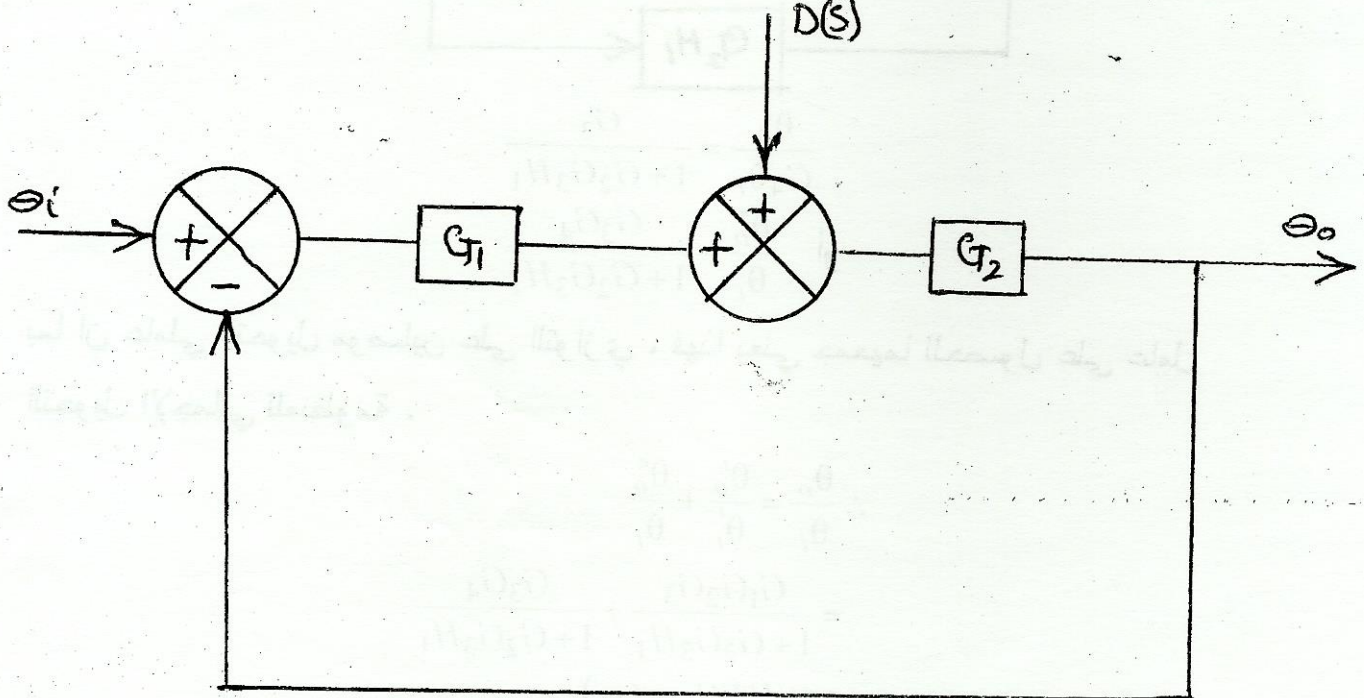
2.3 مسائل إضافية (additional problems)

للمخطط الكتلي الموضح في الشكل رقم (2.9) أدناه حدد العلاقة بين θ_i و θ_o بالتخفيض المتعاقب للمخطط الكتلي .



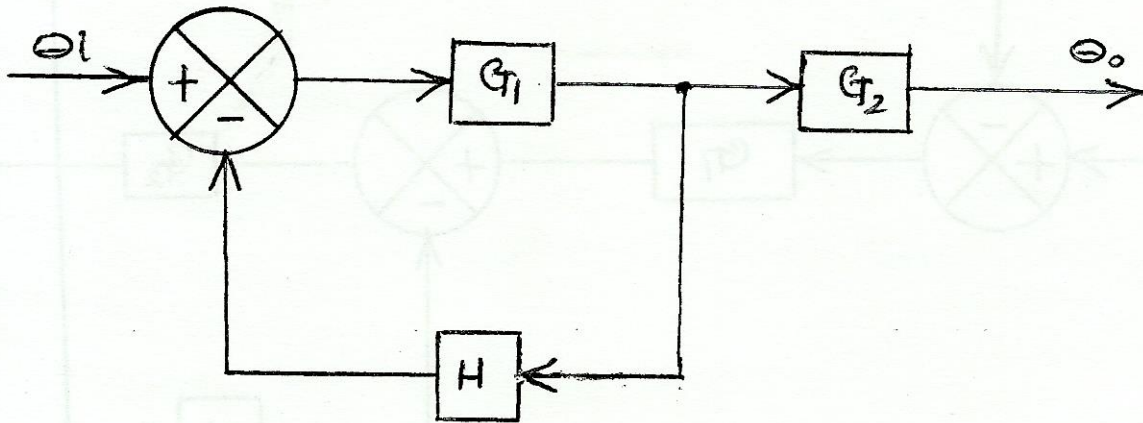
شكل رقم (2.9)

2/ نظام تحكم مغلق الحلقة مسيطر عليه تشويشا $D(S)$ (disturbance) كما موضح في الشكل رقم (2.10) أدناه . وضح باستخدام مبدأ التراكم الأثر على خرج النظام .



شكل رقم (2.10)

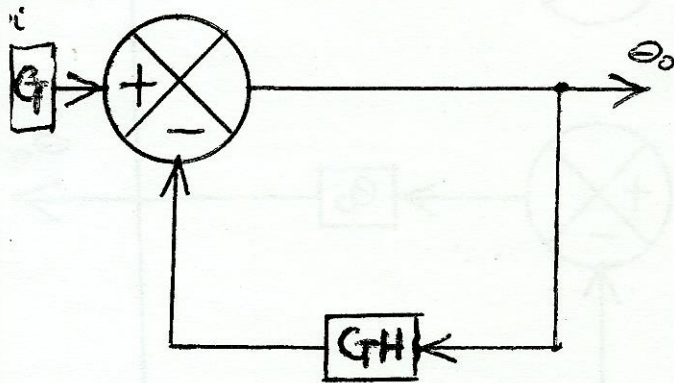
3/ استنبط دالة التحويل للمنظومة المبينة في الشكل رقم (2.11) أدناه



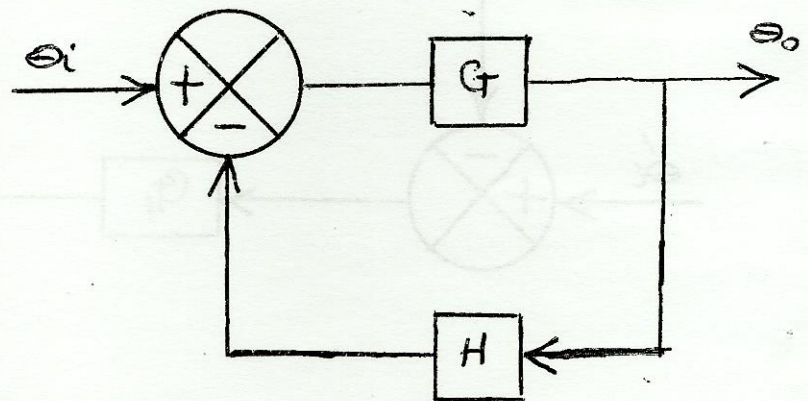
شكل رقم (2.11)

$$\text{Ans.}(G_1 G_2 / (1 + G_1 H))$$

4/ المنظومة المبينة في شكل رقم (2.12 - أ) أعيد ترتيبها بتحريك نقطة التجميع إلى خلف العنصر G ، كما في شكل رقم (2.12 - ب) . اثبت ان دالة التحويل في كل حالة هي $G/(1+GH)$



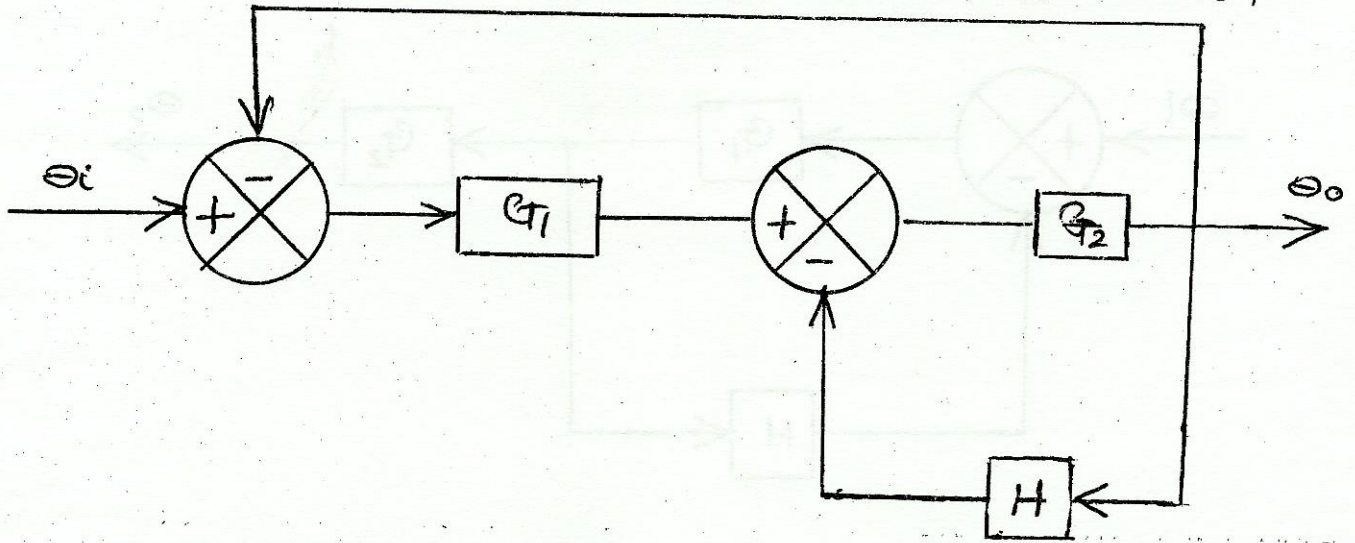
(ب)



(أ)

شكل رقم (2.12)

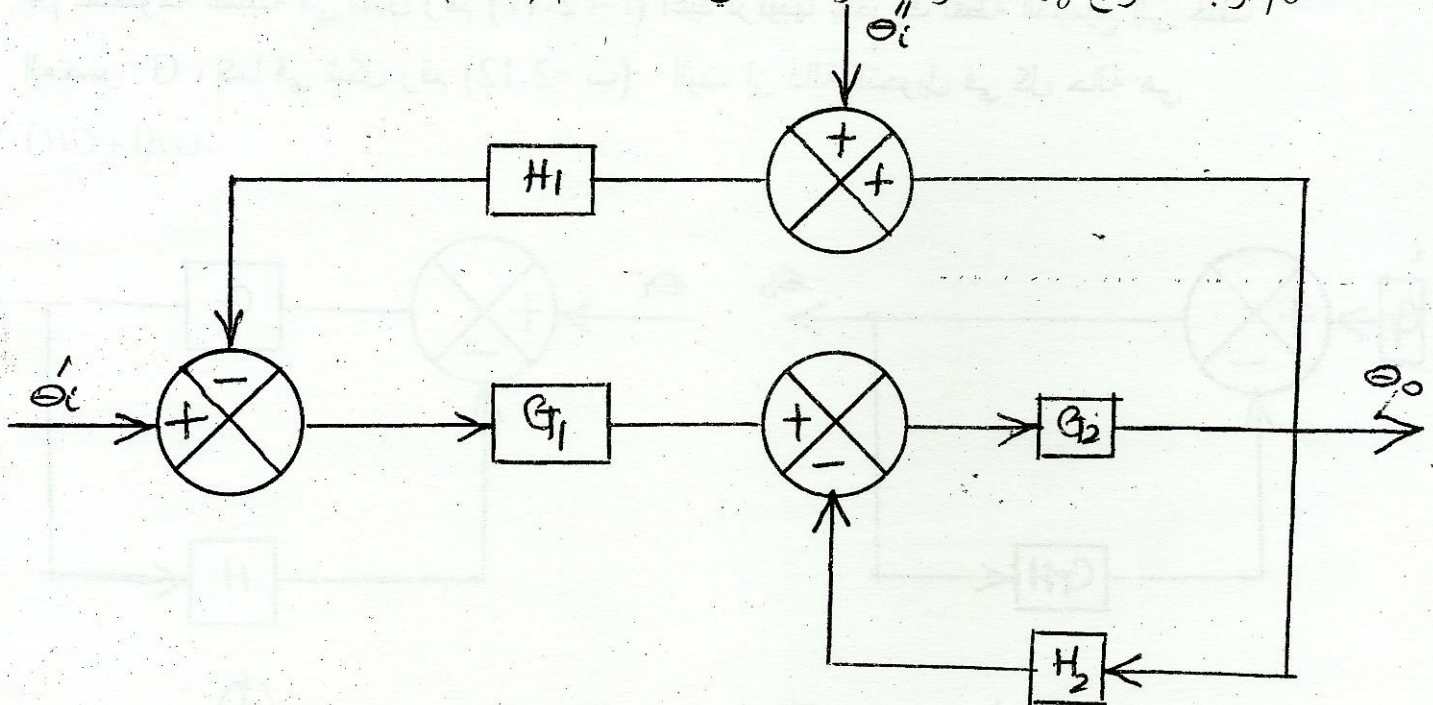
5/ أوجد دالة التحويل للمنظومة المبينة في الشكل رقم (2.13) أدناه



شكل رقم (2.13)

Ans. $(G_1 G_2 / (1 + G_1 G_2 + G_2 H))$

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

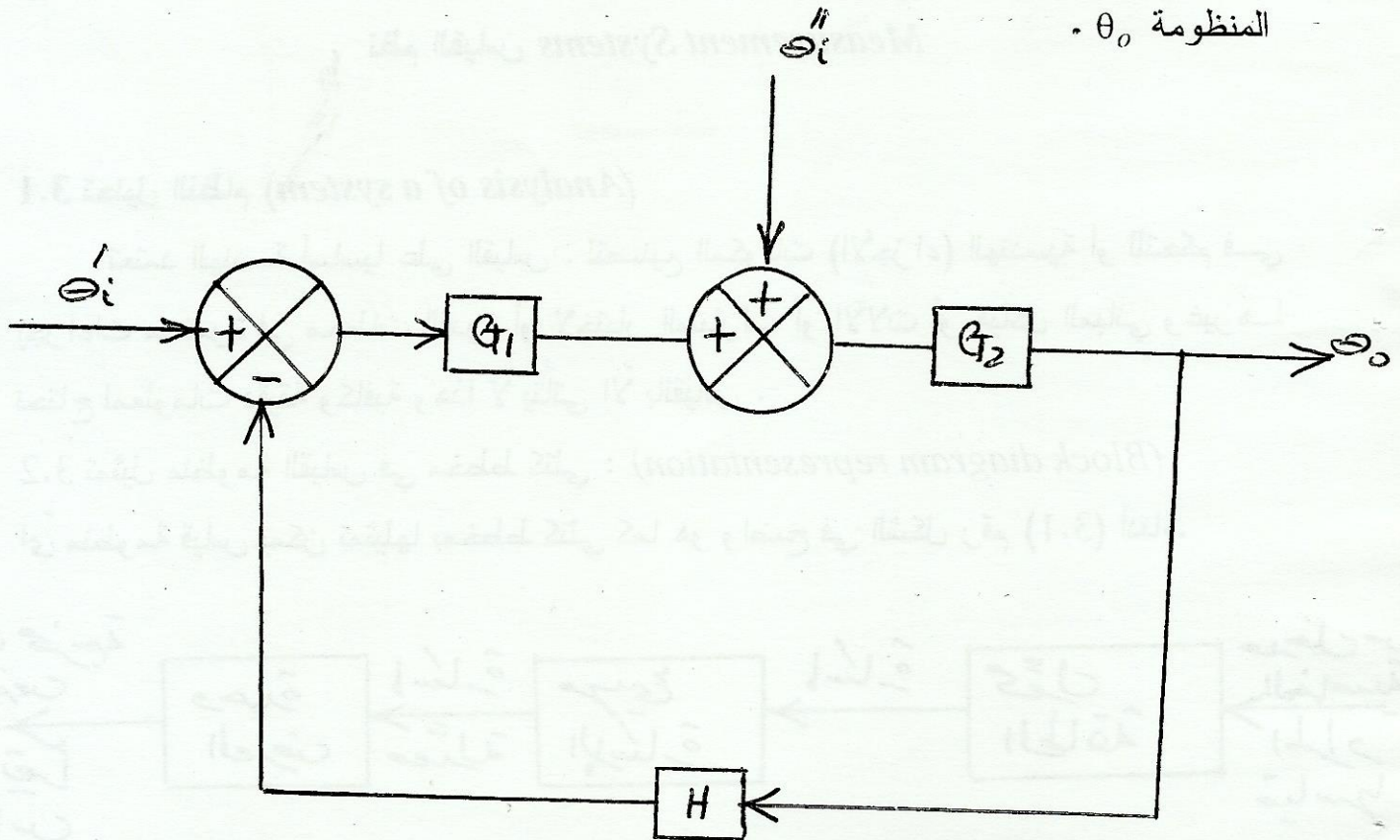


شكل رقم (2.14)

Ans. $((G_1 G_2 \theta_i' - G_1 G_2 H_1 \theta_i'') / (1 + G_1 G_2 H_1 + G_2 H_2))$

7/ يبين الشكل رقم (2.15) أدناه منظومة ذات دخل θ_i' و θ_i'' . استنبط علاقة لإيجاد خرج

المنظومة θ_o .



شكل رقم (2.15)

$$\text{Ans.} \left(\left(\frac{G_1 G_2 \theta_i'}{1+H} + \frac{G_2 \theta_i''}{1+G_1 H} \right) \right)$$

الفصل الثالث

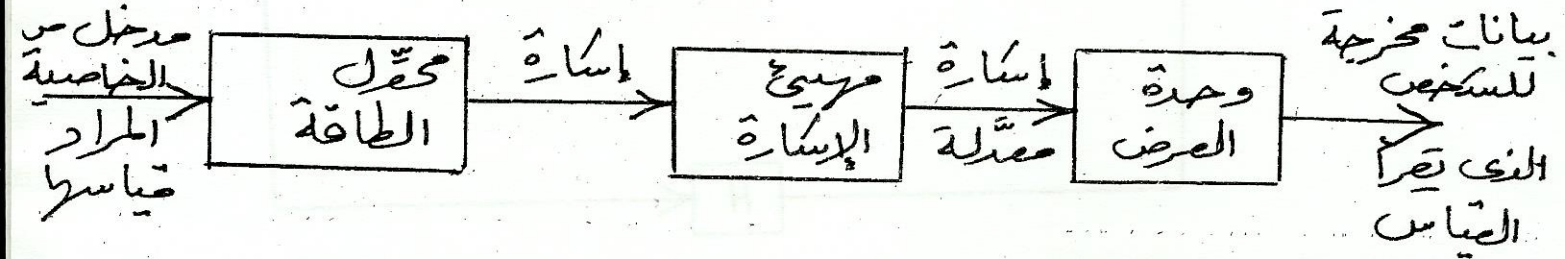
نظم القياس Measurement Systems

3.1 تحليل النظام (Analysis of a system)

تعتمد الهندسة أساسياً على القياس . لتصنيع المكونات (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)

أي منظومة قياس يمكن تمثيلها بمخطط كتلي كما هو واضح في الشكل رقم (3.1) أدناه.



شكل رقم (3.1)

محور الطاقة : (Transducer)

عبارة عن جهاز يقوم بتحويل الخاصية صعبة القياس إلى خاصية أخرى يمكن قياسها بسهولة . كمثال لذلك ، افترض انه يُراد قياس درجة حرارة الماء ومعلوم ان درجة حرارة المادة تعتمد على شدة اهتزاز ذرات وجزيئات المادة . بما انه لا يمكن قياس الاهتزازات لصغرها ، فسنحتاج لثيرموميتر عادي يستخدم كمحول للطاقة وهو عبارة عن أنبوبة شعرية داخل أنبوبة زجاجية في نهايتها بصيلة (bulb) مليئة بالزئبق تقوم بتحويل الاهتزازات إلى تمدد أو انكماش في الحجم وهذه يتم التعامل معها بسهولة . ولكن التغير في الحجم لا يستفاد منه إذا ظل الزئبق في شكل البصيلة ، عليه يتطلب ان يكون هنالك مهيئ إشارة (signal conditioner) لتغيير الإشارة إلى إشارة يمكن قياسها بسهولة . ففي حالة الثيرموميتر فان التغير في حجم الزئبق يمر خلال أنبوبة شعرية (capillary tube) في ساق الزجاج ، عليه فان 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 وهذا يتم مباشرة في حالة الثيرموميتر بمقارنة نهاية خيط الزئبق مع درجة تدريج الساق الزجاجية .

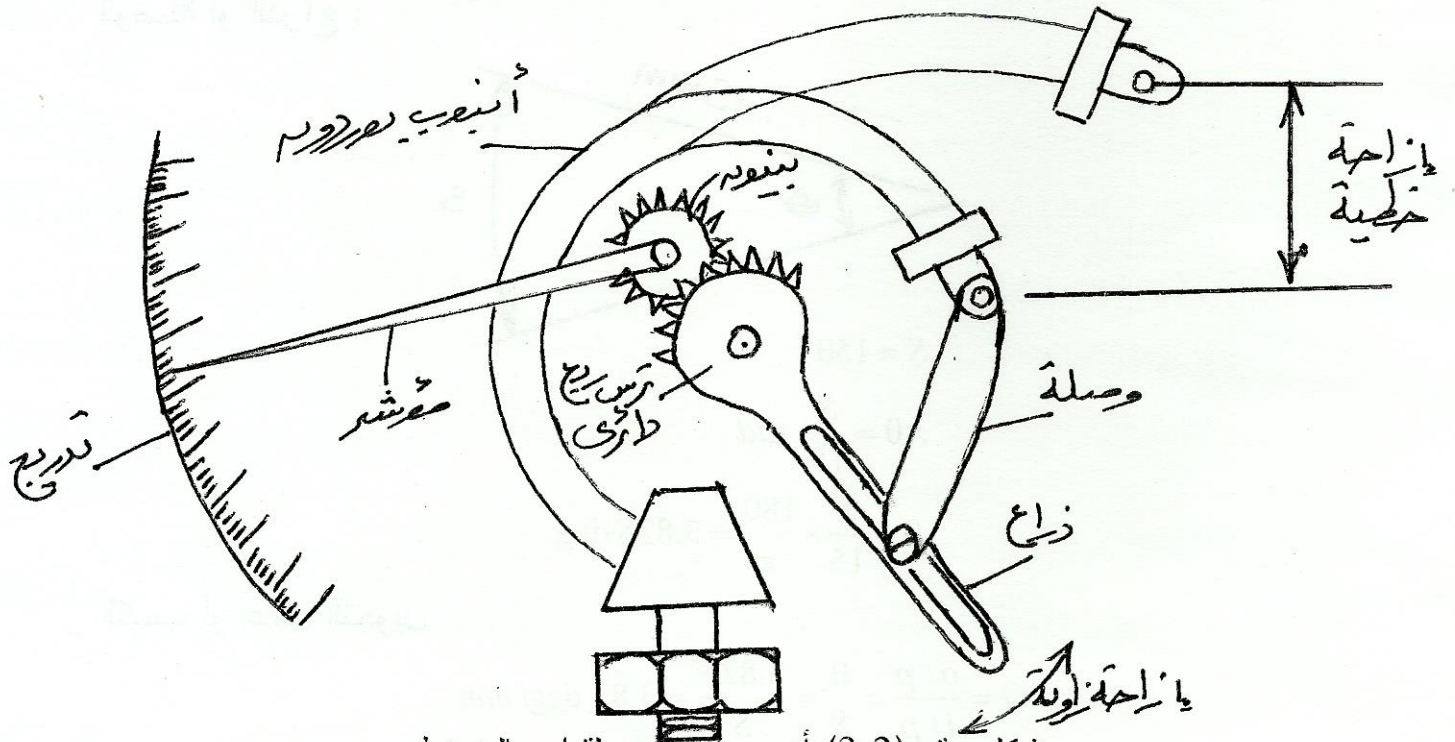
3.3 أمثلة عملية لبعض نظم القياس :

3.3.1 أجهزة قياس الضغط:- (Pressure measuring devices)

1/ أنبوب بوردون لقياس الضغط: (The bourdon tube pressure gauge)

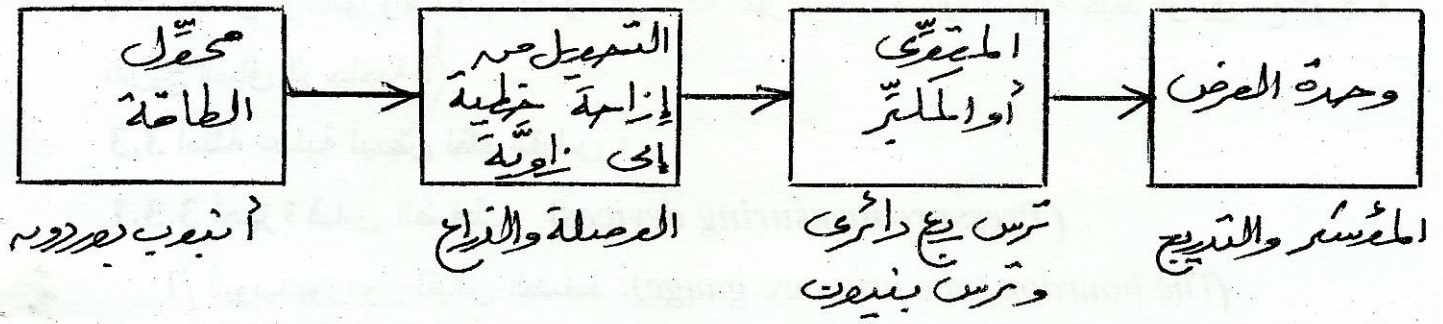
أنبوب بوردون عبارة عن أنبوب ببيضاوي المقطع (oval cross-section) محني في شكل قوس دائري ومغلق عند أحد طرفيه ومفتوح عند الآخر كما موضح في شكل رقم (3.2) أدناه . عندما يسمح للضغط بالمرور يتحول المقطع من ببيضاوي إلى دائري، حيث يتسبب هذا في ميل الأنبوب للاستقامة ليصبح قوسا لنصف قطر دائرة أكبر هذا يعني ان أنبوب بوردون يعمل كمحول للطاقة حيث يقوم بتحويل الضغط إلى إزاحة وبما ان إزاحة حافة الأنبوب تكون صغيرة فإنها تحتاج إلى تكبير باستخدام مهيئي إشارة. والمكبر أو المقوى 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 الإشارة من إزاحة خطية إلى إزاحة زاوية بواسطة الوصلة والذراع .

أخيرا يتم عرض النتيجة بتركيب مؤشر يدور مع البنيون ليقراً 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)

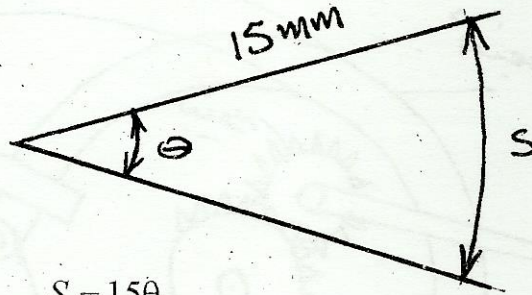
مثال (1) :

مقياس ضغط يُراد تصميمه بدورة مؤشر مقدارها 300 درجة عندما يتغير الضغط من صفر إلى 10 bar. تُزاح حافة أنبوب بوردون بمقدار 2.5 mm عند ضغط مقداره 10 bar. إذا كانت حافة أنبوب بوردون موصلة بذراع بنصف قطر مقداره 15 mm. احسب نسبة عدد الأسنان المناسبة بين الترس ربع الدائري والبنيون . وإذا كانت نسبة التروس القياسية هي 30:1 أوجد نصف قطر الذراع الجديد .

الحل :

أنبوب بوردون : عامل التحويل أو الكسب $(G) = \frac{\text{المخرجات}}{\text{المدخلات}} = \frac{2.5}{10} \text{ mm/bar} = 0.25 \text{ mm/bar}$

الموصلات أو الذراع :



$$S = 15\theta$$

$$\therefore \theta = \frac{S}{15} \text{ rad}$$

$$\theta = \frac{S}{15} \times \frac{180}{\pi} = 3.82S \text{ deg}$$

الكسب أو عامل التحويل

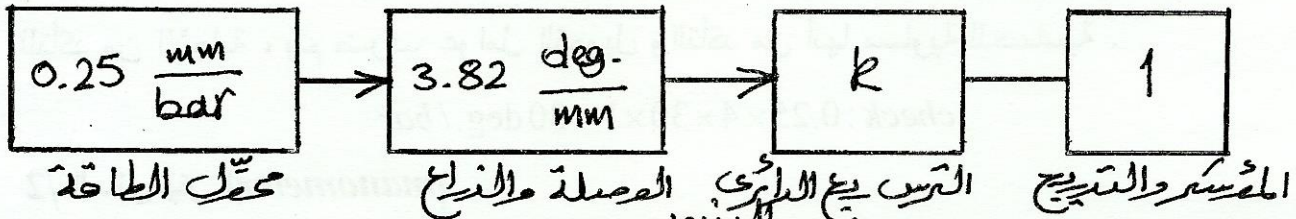
$$G = \frac{o/p}{i/p} = \frac{\theta}{S} = \frac{3.82S}{S} = 3.82 \text{ deg/mm}$$

المؤشر والتدريج (pointer and scale) :-

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

$$G = \frac{o/p}{i/p} = 1 \quad \text{عامل التحويل أو الكسب}$$

فيما يلي يمكن تمثيل جهاز أنبوب بوردون بمخططاً كتلياً رقمياً،



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

$$\text{الحساسية أو عامل القياس} = \frac{300^0}{10 \text{ bar}} = 30 \text{ deg/bar}$$

يتم ضرب عوامل التحويل ومساواتها بالحساسية للحصول على k

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

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

وهكذا فان نسبة التروس القياسية 30:1 ستكون مناسبة مع إنها ستعطي دورة مؤشر اقل قليلاً عن 300⁰ . ولتصحيح هذا الوضع سيتم تقصير نصف قطر الذراع قليلاً .

الحساسية

$$K = \frac{\text{عامل تحويل المؤشر والتدريج} \times \text{عامل تحويل الوصلة والذراع} \times \text{عامل تحويل أنبوب بوردون}}{\text{الحساسية}}$$

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

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

$$\mu = \frac{1}{0.25} = 4 \text{ deg./mm} \quad \text{عامل تحويل الوصلة والذراع الجديد}$$

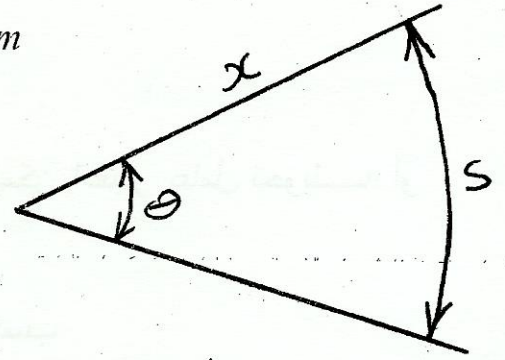
$$\mu = \frac{0/p}{i/p} = \frac{\theta}{S} = 4 \text{ deg./mm}$$

$$\therefore \theta = 4S$$

$$\text{أيضاً ، } \theta = \frac{s}{x} \times \frac{180}{\pi} = 4S$$

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

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



\therefore نصف قطر الذراع الجديد $= 14.3 \text{ mm}$

للتأكد من الإجابة ، يتم ضرب عوامل التحويل والتأكد من أنها مساوية للحساسية .

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

2/ المانوميتر (manometer)

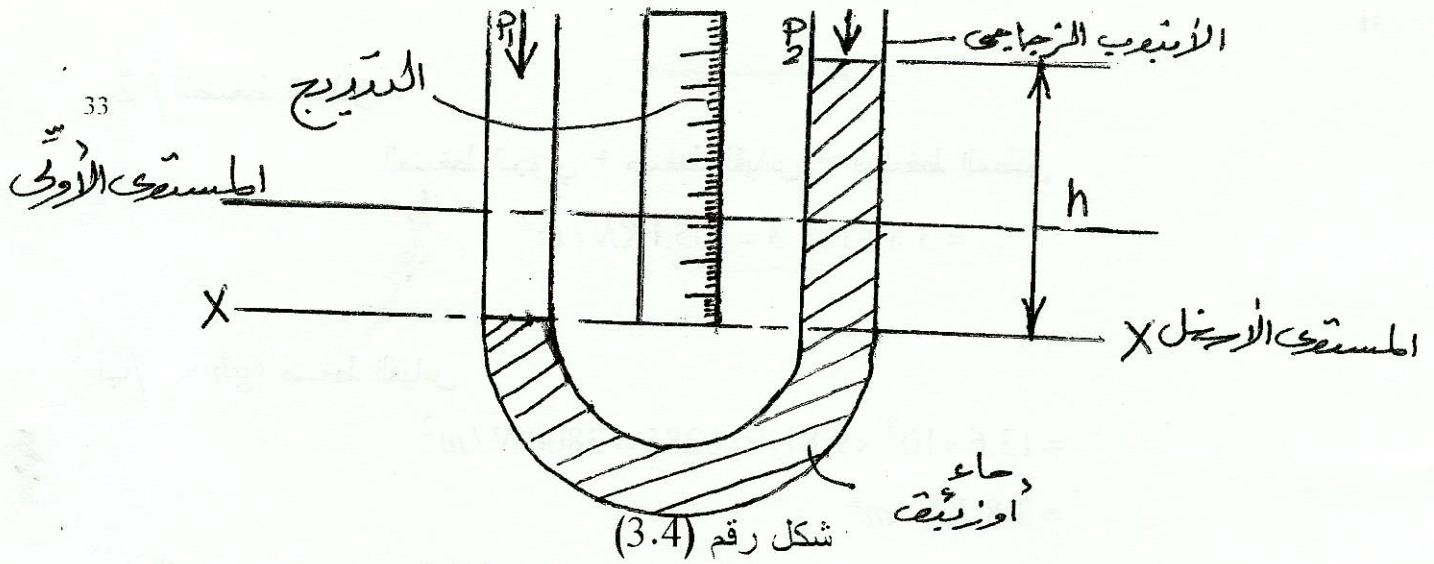
هو عبارة عن أنبوب في شكل حرف U كما هو واضح في الشكل رقم (3.4) . وهو عادة ما يملأ بالماء أو الزئبق الى حوالي نصف ارتفاع الأنبوب في شكل حرف U (المستوى الأولي واضح في الشكل) . اذا تم الآن تطبيق ضغوط بمقدار P_1 و P_2 إلى طرفي الأنبوب ، سينشأ فرق في المستوى بمقدار h يتناسب طردياً مع فرق الضغط $(p_1 - p_2)$. إذا كان أحد طرفي الأنبوب U مفتوحاً إلى الضغط الجوي P_2 ، فإن المانوميتر يقيس الفرق في الضغط بين P_1 والضغط الجوي (يقيس ضغط القياس (gauge pressure) $(p_1 - p_2)$ الفرق في الضغط الذي يتم قياسه باستخدام الأنبوب في شكل حرف U يتم التعبير عنه بالارتفاع المليميترى (mm) للزئبق (Hg) أو الماء (H_2O) معتمداً على السائل الذي يتم استخدامه . عليه ولقياس الفرق في الضغط يمكن استخدام المعادلة التالية :

$$\text{ضغط القياس} = \frac{\text{الفرق في المستوي المعطي}}{\text{ارتفاع الزئبق نتيجة لتأثير الضغط الجوي}} \times \text{الضغط الجوي}$$

عند المستوى الأسفل للمانوميتر (x-x) شكل رقم (3.4) تكون الضغوط متساوية في الطرفين ،

عليه يمكن أيضاً استخدام المعادلة التالية للتعبير عن الفرق في الضغط

$$p_1 - p_2 = \ell gh$$



للأغراض العملية ، فإن الضغط الأقصى الذي يمكن قياسه على أنبوب المانومتر (U) هو حوالي $1\frac{1}{2}$ ضغط جوي . عند ضغوط اكبر من هذه القيمة فإننا نحتاج لزيادة طول الأنبوب وكمية الزيت المطلوبة .

مثال (2) :-

أنبوب في شكل حرف U يحتوي على زيت ويكون أحد طرفيه معرضاً للضغط الجوي .
أ/ لفرق في المستوى مقداره 28.5mm حدّد الآتي :-

1/ ضغط القياس (The gauge pressure)

2/ 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 الزيت عند نفس الضغط ؟

الحل :

أ/ 1 / ضغط القياس

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

$$= \frac{28.5}{760} \times 1.013 \times 10^5 = 3798.75 \text{ N/m}^2$$

$$= 3.8 \text{ KN/m}^2 \text{ or (K pa)}$$

2 / الضغط المطلق :

$$\begin{aligned} \text{الضغط الجوي} + \text{ضغط القياس} &= \text{الضغط المطلق} \\ &= 3.8 + 101.3 = 105.1 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

ب/ lgh ضغط القياس

$$\begin{aligned} &= 13.6 \times 10^3 \times 9.81 \times 0.0285 = 3800 \text{ N/m}^2 \\ &= 3.8 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

ج/ الفرق في المستوى المقابل إذا تم استخدام الماء:

$$28.5 \times 13.6 = 388 \text{ mm H}_2\text{O}$$

3/ مانومتر في شكل حرف U ملئ بسائل فوق الزئبق :

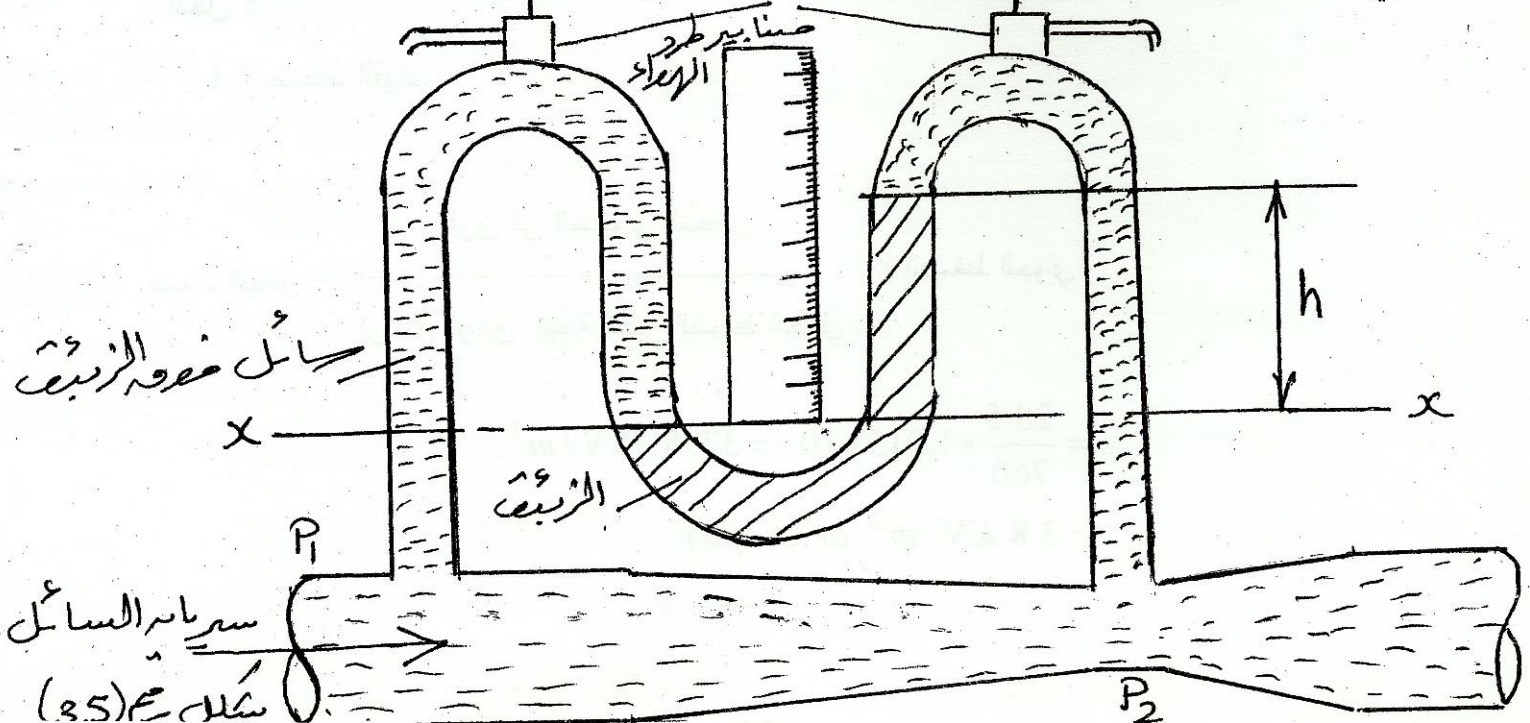
(U- tube manometer with liquid above the mercury)

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



مثال (3) :

مقياس فنشوري يتم توصيله الى مانوميتر في شكل حرف U يحتوي على زئبق ، إذا كان النظام مليئاً بسائل احسب 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 :

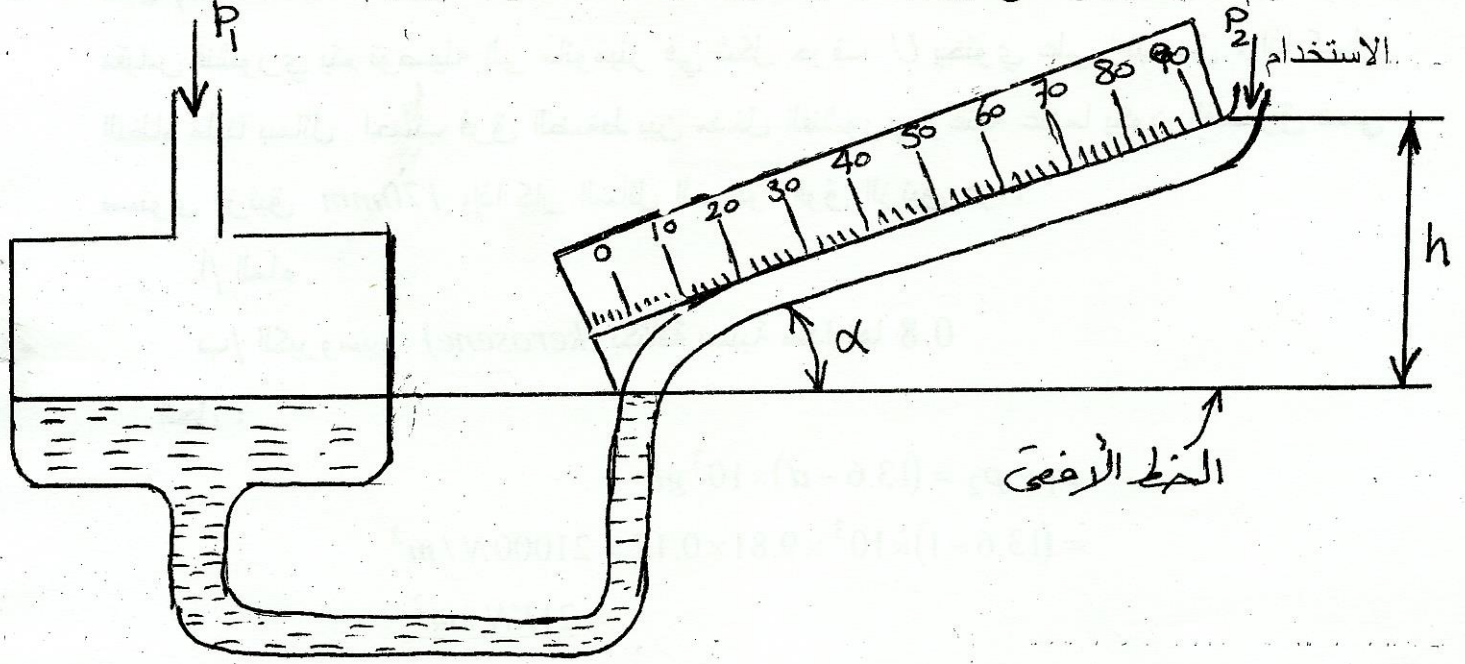
$$\begin{aligned} p_1 - p_2 &= (13.6 - d) \times 10^3 gh \\ &= (13.6 - 1) \times 10^3 \times 9.81 \times 0.17 = 21000 N / m^2 \\ &= \underline{21KN / m^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_1 - p_2 &= (13.6 - 0.8) \times 10^3 \times 9.81 \times 0.17 = 21300 N / m^2 \quad /ب \\ &= \underline{21.3KN / m^2} \end{aligned}$$

4/ المانوميتر المائل (*The inclined manometer*) (شكل رقم 3.6)

هذا النوع يُستخدم لقياس فروق ضغوط صغيرة اقل بكثير عن الضغط الجوي ولقياس مثل هذه الضغوط الصغيرة جداً على أنبوب المانوميتر في شكل حرف U العادي ، يجب استخدام الماء كسائل أو من الأفضل استخدام زيت خفيف اقل كثافة من الماء لاعطاء فرقاً اكبر في المستوى في أنبوب U . هنالك احتمال كبير للخطأ في القراءة في المانوميتر العادي نتيجة لتأثيرات الجاذبية والقصور الذاتي وقوى التماسك والالتصاق . عليه فان المانوميتر يقوم بتخفيض هذا الخطأ وذلك يتم باستمالة أحد أطرافه بزاوية صغيرة α بالنسبة للأفقي ويكون تأثير ذلك هو توزيع التقسيمات في التدريج على جانب الأنبوب . وعليه فان كل (mm) من المقياس يجب ضربها في $Cosec \alpha$. وماذا عن الطرف الآخر ؟ يجب ان يكون المستوى في هذا الجانب ثابتاً بقدر الإمكان وهذا يتم بتوسيع مقطع الأنبوب . عليه فان 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 لايّ تغيير في الزاوية α فانه

عادة ما يتم حمل الجهاز على ميزان ماء أو كحول (spirit level) حتى يتم ضبطه بدقة قبل



شكل رقم (3.6)

مثال (4) :-

مانوميتر مائل يحتوي على ماء ، أحد طرفيه مائل بزاوية مقدارها 8° على الأفقي . يكون القطر الداخلي للطرف المائل مساوياً لـ 2.5mm ، وللطرف الواسع 38mm . يكون مدى قياس الجهاز من صفر وحتى $40\text{mm H}_2\text{O}$

أ/ حدد طول مقياس التدرج ، ومنه تحصل على طول 1mm من تقسيم التدرج
ب/ افترض ان المقياس يمكن قراءته بدقة مقدارها $\pm 0.5\text{mm}$ (من الطول الفعلي) حدد أقصى نسبة خطأ عندما يتم قياس ضغط يعادل $10\text{mm H}_2\text{O}$

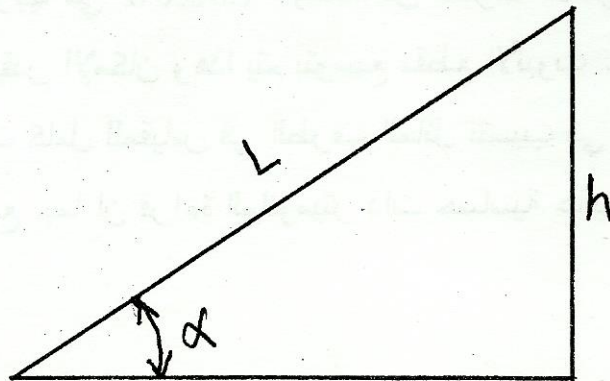
i/ على مانوميتر عادي

ii/ على مانوميتر مائل

ج/ حدد التغير في المستوى في الطرف الواسع للحصول على أقصى انحراف لمقياس التدرج

الحل :

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



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

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

وعليه فان طول 1 mm من مقياس التدرج يعادل 7.19 mm من الارتفاع الراسي

ب/ i/ النسبة المئوية القسوى للخطأ على مانومتر عادي ،

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

ii/ النسبة المئوية للخطأ على مانومتر مائل ،

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

ج/ مساحة المقطع الداخلي للطرف المائل

$$A_i = \frac{\pi}{4} \times 2.5^2 = 4.91 \text{ mm}^2$$

حجم السائل المحتوي بين قراءة التدرج (0) و (40)

$$= 287 \times 4.91 = 1411 \text{ mm}^3$$

مساحة المقطع الداخلي للطرف الواسع ،

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

وعليه فان التغير في المستوى في الطرف الواسع لأقصى قراءة للتدرج

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

وهذا يعني ان قراءة ضغط مقداره $40 \text{ mm H}_2\text{O}$ على مقياس التدرج هو حقيقة

$$41.24 \text{ mm} = 1.24 + 40$$

ولتصحيح هذا الوضع فان التقسيمات المليمترية على المقياس يجب تقصيرها

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

ويمكن استخدام الصيغة التالية للحصول مباشرة على طول 1 mm في مقياس التدرج،

$$= \frac{1}{(A_i / A_e) + \sin \alpha}$$

حيث، A_i = مساحة مقطع الطرف المائل.

A_e = مساحة مقطع الطرف الواسع.

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

مثال (5)

مانوميتر مائل يستخدم لقياس فرق ضغط هواء يعادل 3 mm من الماء بدقة مقدارها $\pm 3\%$. يكون القطر الداخلي للطرف المائل 8 mm وللطرف الواسع 24 mm . كثافة المائع المانوميتر 740 kg/m^3 . أوجد الزاوية التي يصنعها الطرف المائل مع الإحداثي الأفقي لتحقيق الدقة المطلوبة بافتراض ان التدرج يمكن قراءته بخطأ أقصى مقداره $\pm 0.5 \text{ mm}$.

الحل :

فرق ضغط الهواء المقاس h ،

$$h = 3 \text{ mm } H_2O$$

دقة القياس $\pm 3\%$

$$d_i = 8 \text{ mm}$$

$$d_e = 24 \text{ mm}$$

$$e_m = 740 \text{ kg/m}^3$$

أوجد $\alpha = ?$

الخطأ في قراءة التدرج $\pm 0.5 \text{ mm}$

فرق ضغط الهواء المقاس بالنسبة للسائل المانوميتر ،

$$h = \frac{e_w}{e_m} = 3 \times \frac{1000}{740} = 4.054 \text{ mm}$$

اجعل x تعادل 1 mm من مقياس التدرج

النسبة المئوية للخطأ :

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

$$4.054 \times 3x = 50$$

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

$$\text{طول } 1 \text{ mm في مقياس التدرج} = \frac{1}{(A_i / A_e) + \sin \alpha}$$

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

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

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

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

$$\alpha = \sin^{-1} 0.1322 = 7.597^\circ$$

$$= 7^\circ 35' 48.3''$$

$$= 7^\circ 36'$$

3.3.2 محولات المقاومة : (Resistance Transducers)

تقوم محولات المقاومة بتحويل التغير في الخاصية المراد قياسها إلى تغير في المقاومة الكهربائية. وبما أن التغير في المقاومة الكهربائية يمكن إيجاده فقط بتمرير تيار خلال مقاومة فإن محولات المقاومة تحتاج دائماً إلى مصدر قدرة كهربائية .
ومن مميزات هذه الطريقة أن خرجها دائماً هو جهد أو تيار بحيث يمكن تصميم إشارة تهيئتها بمرونة .

هنالك نوعان من محولات المقاومة :-

1/ مقاييس الانفعال (strain gauges)

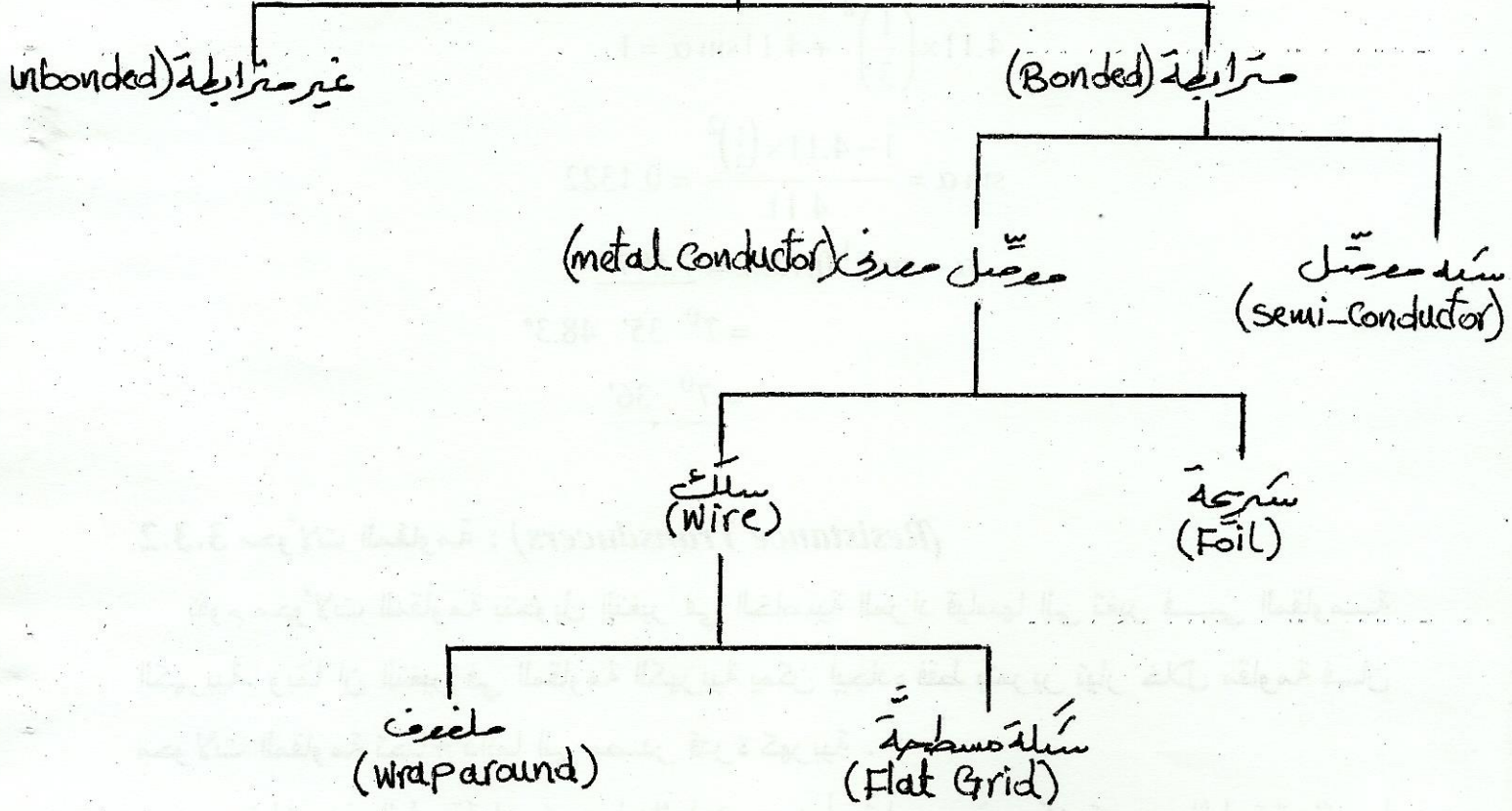
2/ الثيرمستور (Thermistor)

1/ مقاييس الانفعال (strain gauges)

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

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

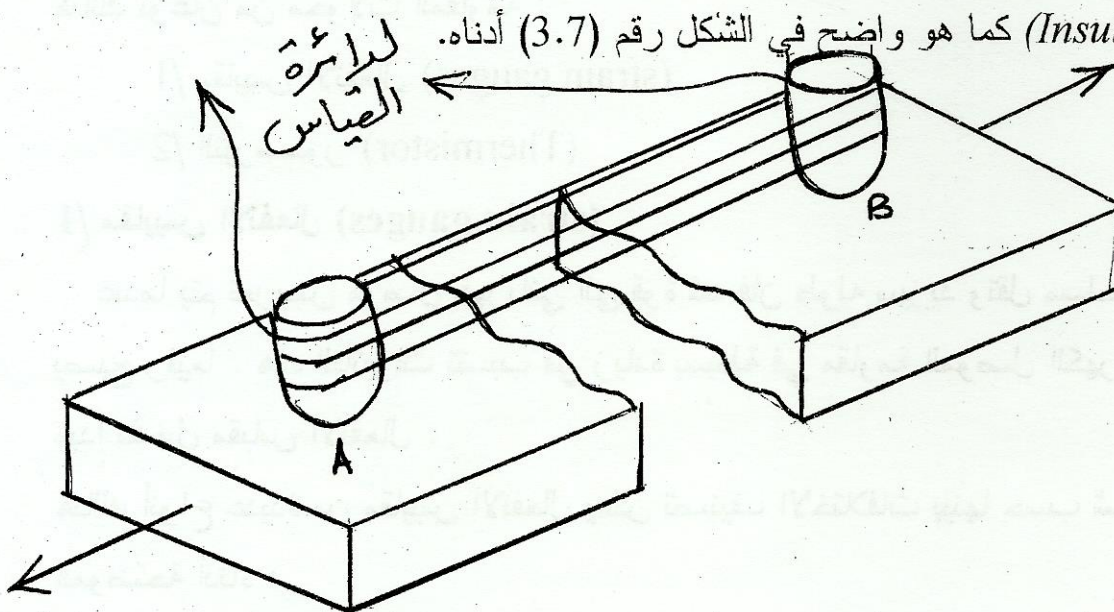
عائلة مقاييس الانفعال
(The family of strain gauges)



أ/ مقاييس الانفعال غير المترابط (Unbonded 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)

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

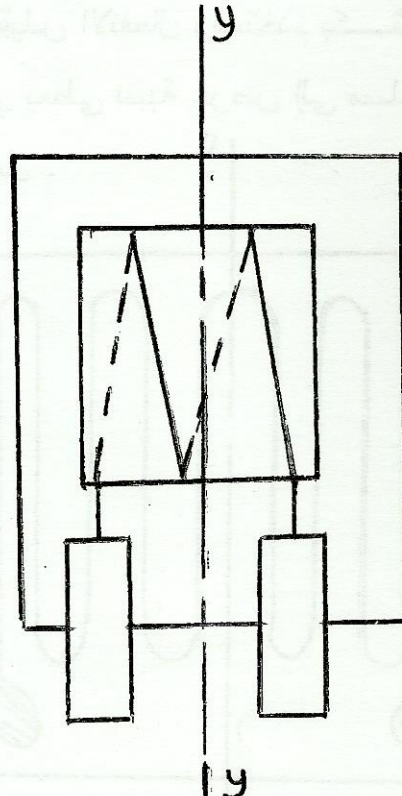
ب/ مقياس الانفعال المترابط (*Bonded strain gauge*):-

باستثناء حالات قليلة جدا من محولات الطاقة ذات الاستخدام الخاص ، فإن كل مقياس الانفعال هي مقاييس مترابطة بمعنى أنها مثبتة بصلادة بواسطة لاصق مناسب الى الماكينة أو الجزء المراد قياس الانفعال فيه . وهذا يجعل الموصل يتعرض لنفس الانفعال الميكانيكي الذي تتعرض له المادة الملتصق عليها . ربط المقياس على المادة المتعرضة للانفعال يجعله يقيس انفعال الانضغاط بنفس المستوى الذي يقيس به انفعال الشد.

وحيث ان انفعال الشد يزيد مقاومة المادة فان 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 متعامد مع المحور $X-X$.

ب-1/ مقياس الانفعال الملفوف (*Wrap - around gauge*) شكل رقم (3.8)

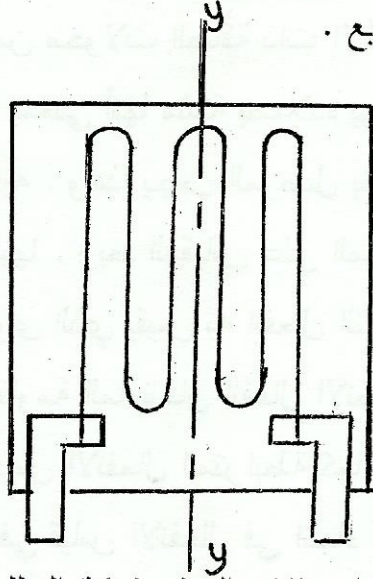
في هذا النوع نجد أن سلك مقياس الانفعال ملفوف حول ورقة مقواة رقيقة مسطحة (*thin flat card*) يغطيها لوحين من الورق أو البلاستيك الرفيع في شكل ساندوتش.



شكل رقم (3.8) - مقياس الانفعال الملفوف

ب-2/ مقياس الشبكة المسطحة : (Flat Grid gauge) شكل رقم (3.9)

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

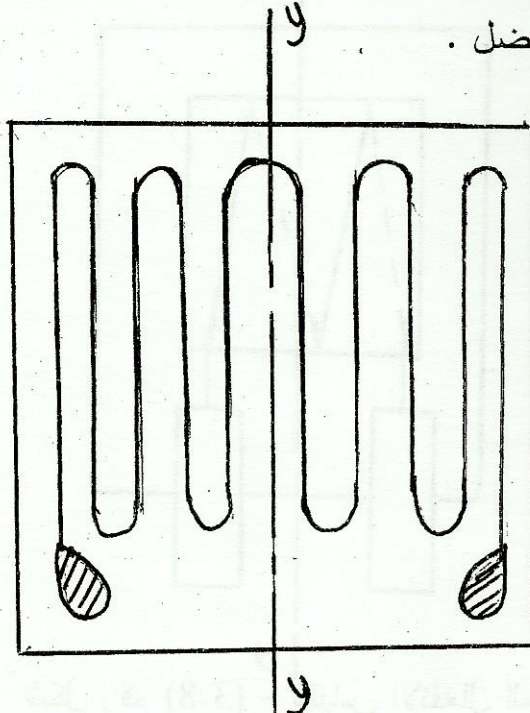


شكل رقم (3.9) - مقياس الانفعال ذو شبكة السلك المسطحة

ب-3/ مقياس الشريحة (The foil gauge) شكل رقم (3.10)

وهو يتكون من موصل ذو نمط متعرج أو مشرشر يتم استخلاصه من شريحة معدنية رفيعة ويوضع على قاعدة لوحة بلاستيكية رفيعة .

مقياس السلك هو الشكل الاصلي لمقياس الانفعال ويستخدم بكثرة حتى الآن . ولكن بدأ يُستعاض عنه بمقياس الشريحة الذي يعطى نسبة عرض إلى مساحة مقطع افضل للموصل ، ويعطى التصاق وفقدان حرارة افضل .



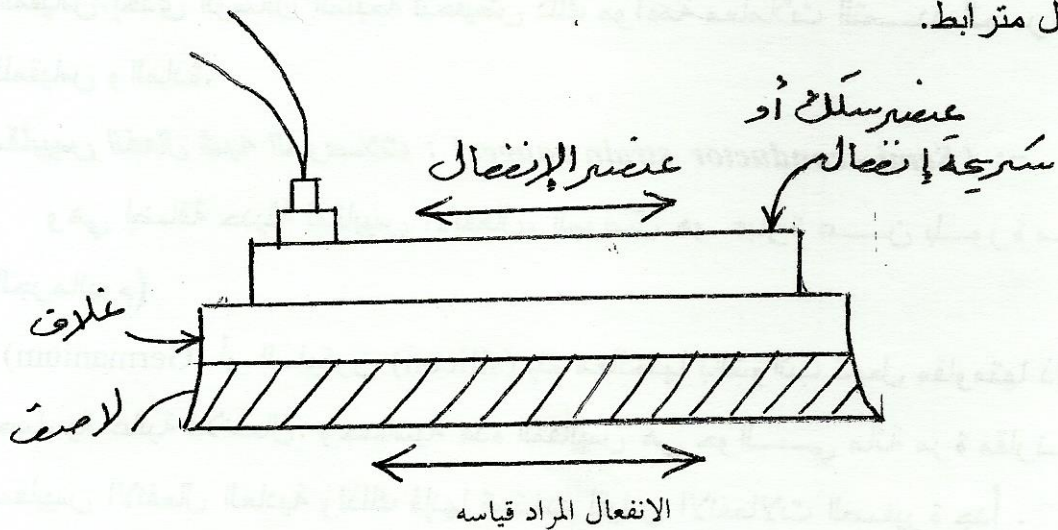
شكل رقم (3.10) - مقياس الانفعال ذو الشريحة

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).

$$\{\text{Poisson's ratio}\} = \nu = \frac{\text{الانفعال العرضي}}{\text{الانفعال الطولي}} = \frac{-\epsilon_x}{\epsilon_y}$$

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 التي يلصق عليها مقياس الانفعال عليه فإنّ انفعال المقياس يجب أن يكون قريباً بقدر الإمكان 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 ، فإنّ انفعال المقياس سيكون أقل من انفعال المادة الملصق عليها. الشكل رقم (3.11) أدناه يوضح 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 إرشادات المنتج في كل حالة. على أي حال ، يمكن تطبيق الأحكام العامة التالية:-

/i/ نظف المادة التي 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/ وزّع 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 ، أحميه 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 ستمدد 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 مواعمة معاملات التمدد الحراري للمقياس والمادة.

مقاييس انفعال شبه الموصلات : [Semi - conductor strain gauges] :-

وهي إضافة حديثة لمقاييس الانفعال. الموصل هو عبارة عن بلورة من الجرمانيوم)

(Germanium) أو 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 الإغريقي ϵ يتم حسابه كآتي :-

$$\epsilon_{mech} = \frac{\text{الاستطالة}}{\text{الطول الأصلي}} = \frac{\delta L}{L}$$

ويمكن حساب الانفعال الكهربائي المناظر كآتي:-

$$\epsilon_{elec} = \frac{\text{الزيادة في المقاومة}}{\text{المقاومة الأصلية}} = \frac{\delta R}{R}$$

يتناسب الانفعال الكهربائي لمقياس الانفعال تناسباً طردياً مع الانفعال الميكانيكي

$$\frac{\delta R}{R} \propto \epsilon_{mech}$$

$$\frac{\delta R}{R} = K \epsilon_{mech} \quad *$$

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

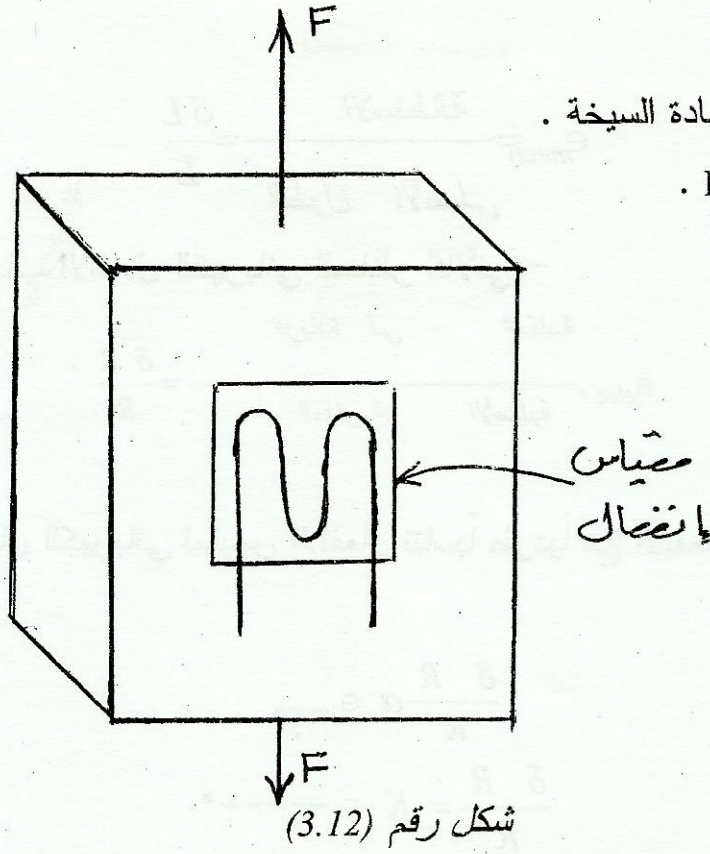
مثال (6):- مقياس انفعال يتم تثبيته إلى سيخة مستطيلة المقطع كما هو واضح في الشكل رقم (3.12) أذناه. مقاومة مقياس الانفعال هي 120.27 أوم وعامل مقياسه 2.1. تكون أبعاد مقطع السيخة 25mm x 6mm ، ويكون معايير المرونة لمادة

السيخة مساو ل

$$200 \text{ GN} / \text{m}^2$$

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

i/ الانفعال في مادة السيخة .



/ii الإجهاد في مادة السيخة .

/iii قيمة الحمل F .

الحل:-

/i التغير في المقاومة ، δR

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

$$\frac{\delta R}{R} = K \epsilon$$

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

$$\therefore \epsilon = \frac{0.15}{120.27 \times 2.1} = 0.000594 \text{ (قيمة لا بعدية)}$$

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

/ii $\sigma = ?$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ ، معاير المرونة}$$

$$\begin{aligned} \therefore \sigma &= \epsilon E = 594 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^9 = 118.8 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \\ &= 118.8 \text{ MN/m}^2 \\ &= 118.8 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

F = ? / iii

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

$$\therefore F = \sigma \cdot A = 1188 \times 25 \times 6 = 17820 \text{ N}$$

$$= 17.82 \text{ N}$$

مثال (7):- يتم تحميل السيخة في المثال السابق بحيث ينتج عن ذلك إجهاد إنضغاط منتظم على مساحة المقطع مقداره 30 N/mm^2 . حدد مقاومة مقياس الانفعال عندما تحمل السيخة هذا الإجهاد الجديد.

الحل:-

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}, \text{ معاير المرونة}$$

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

خذ قيم الشد موجبة والإنضغاط سالبة

$$\sigma_c = -30 \text{ N/mm}^2 = -30 \text{ MN/m}^2 = -0.03 \text{ GN/m}^2$$

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

$$\frac{\sigma}{R} = k \epsilon$$

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

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

عليه فإن مقاومة مقياس الانفعال ،

$$120.27 - 0.038 = 120.232 \Omega$$

مثال (8):-

مقياس انفعال لديه معامل درجة حرارة لتمدد خطي مقداره $16 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ يتم ربطه على قطعة من الديورالومين { Duralumin } معامل تمددها الخطي يساوي $23 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. أحسب الانفعال عندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار 80°C .

الحل :-

اجعل L هو طول مقياس الانفعال

$$L \times 23 \times 10^{-6} \times 80 = 1840L \times 10^{-6}$$

$$L \times 16 \times 10^{-6} \times 80 = 1280L \times 10^{-6}$$

عليه سيتمدد المقياس بمقدار

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

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

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

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

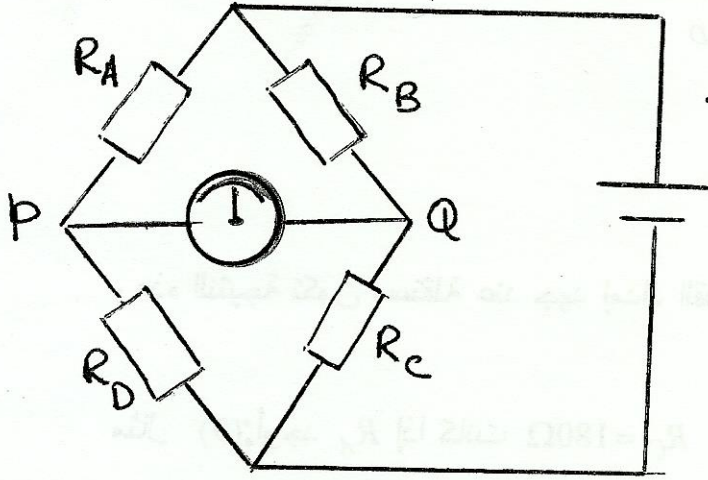
هذه تعتبر قيمة كبيرة ، وبدون عمل بعض التصحيح فإن قياسات الانفعال تحت ظروف درجة الحرارة المتغيرة ستكون غير دقيقة .

3.3.3 محولات المقاومة لقياس درجة الحرارة :-

{ Resistance transducers for temperature measurement }

معظم المعادن تزيد مقاومتها الكهربائية بزيادة درجة حرارتها. هذا المبدأ يتم استخدامه في أجهزة قياس درجة الحرارة والتي تعرف بثيرموميترات المقاومة. بما أن التغير 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 هويستون بواسطة السير شارلس هويستون في القرن التاسع عشر. وهي عبارة عن دائرة كهربائية لقياس المقاومة بدقة. الشكل رقم (3.13) أدناه يوضح دائرة القنطرة.



حيث R_A = المقاومة المراد قياسها.

R_D = مقاومة ثابتة.

إمداد قدرة
DC

شكل رقم (3.13)

والنسبة R_B/R_C يمكن ضبطها إما يجعل R_B أو R_C مقاومة متغيرة أو يجعل $(R_B + R_C)$ مقاومة ثابتة مستمرة متغيرة نقطة التفرع لتوصيل الجلفانوميتر.

الجلفانوميتر هو عبارة عن مقياس ذو ملف متحرك حساس مركزه صفري وهذا يعني أن التدرج يتم تقسيمه بعدد من الأقسام المتساوية وذلك بوضع الصفر في منتصف التدرج، ودائماً ما يشير المؤشر إلى وضع الصفر عندما لا يتم استخدام الجهاز. لاستخدام دائرة القنطرة لقياس المقاومة R_A ، فإننا يجب في البداية موازنة القنطرة وهذا يتم بضبط النسبة R_B/R_C 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_D, R_A تحمل نفس شد التيار

$$\text{الجهد عند } P \times \frac{R_D}{R_A + R_D} = \text{جهد إمداد القدرة}$$

وأيضاً R_C, R_B تحمل نفس شدة التيار.

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

عليه عند موازنة القنطرة،

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

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

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

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

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

وهذه النتيجة تكون مستقلة عند جهد إمداد القدرة .

مثال (9): أوجد R_A إذا كانت $R_C = 180\Omega$ ، $R_D = 390\Omega$ ، و R_B

يمكن ضبطها إلى 227.3Ω لموازنة القنطرة .

الحل:

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

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

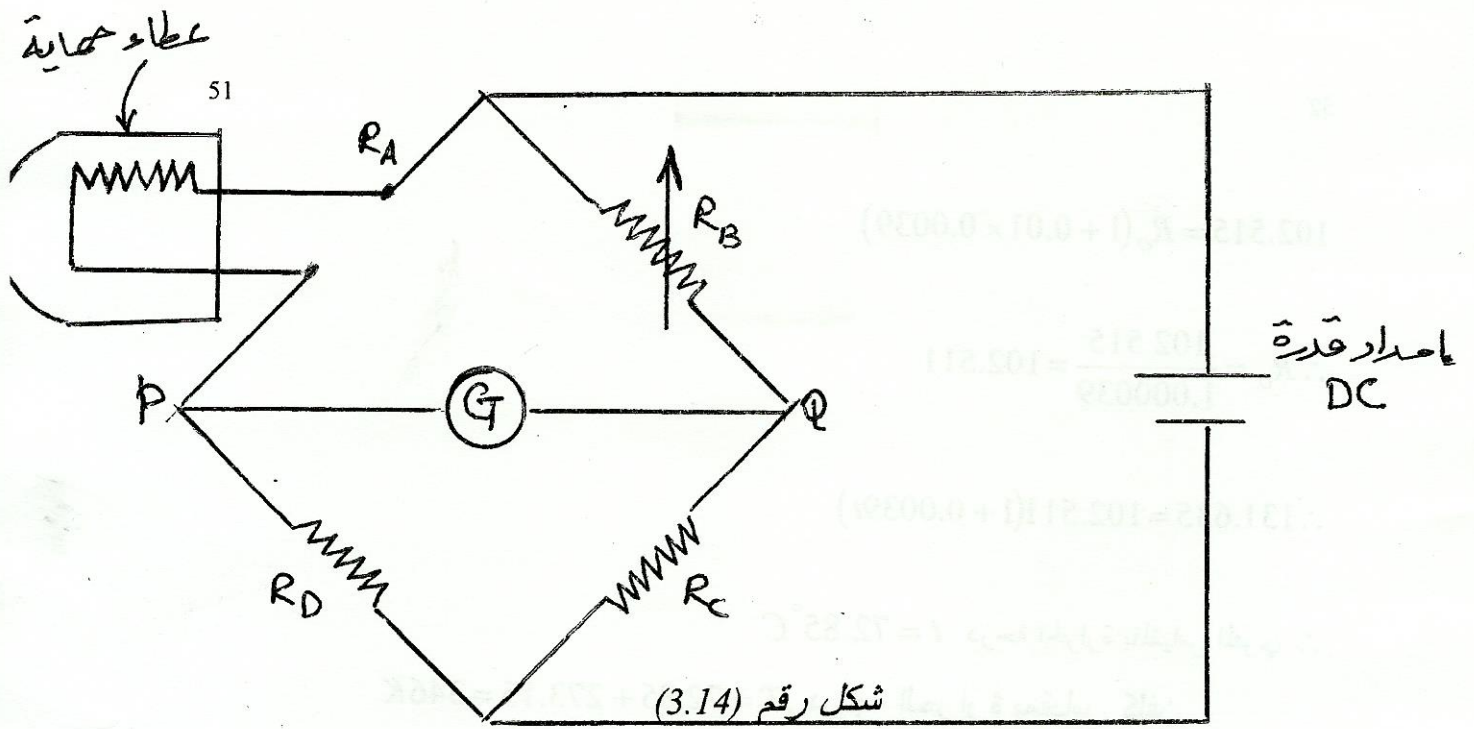
1/ ثيرموميتر المقاومة : { *The resistance thermometer* } (شكل رقم (3.14))

معظم المعادن تزيد مقاومتها بزيادة درجة حرارتها. عند مدى صغير 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 $t^\circ C$ تعطي بالمعادلة التالية :-

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

حيث α = مقدار ثابت (معامل درجة الحرارة للمقاومة).

يتكون ثيرموميتر المقاومة من ملف صغير ودائرة كهربائية تقيس التغير في مقاومته. هنالك ثلاثة أنواع من الأسلاك يمكن استخدامها في الملف هي النحاس ، النيكل والبلاتين. ويُفضل 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.



مثال (10) : ترمومتر 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 الآتية 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، ما هي 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 $= 100^\circ C$ من المعادلة ،

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

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

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

بقسمة المعادلة (1) % (2) وبالضرب العكسي نوصل على :

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

$$10250.08\alpha = 39.967$$

$$\therefore \alpha = \frac{39.967}{10250.08} = 3.9 \times 10^{-3} = 0.0039$$

من المعادلة (1)

$$102.515 = R_o(1 + 0.01 \times 0.0039)$$

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

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

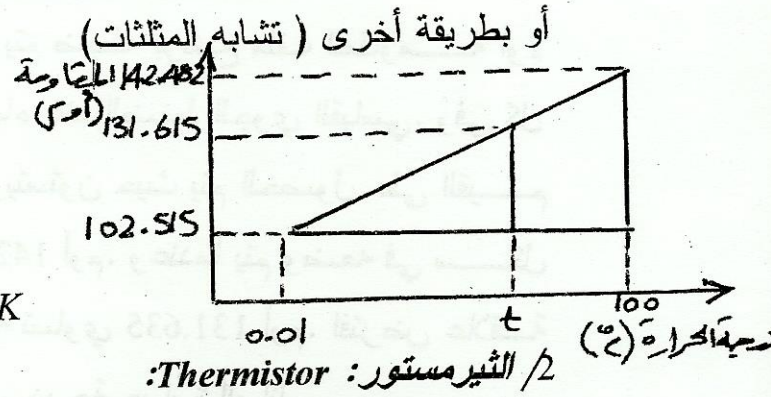
$$\therefore \text{درجة الحرارة بالمقياس المئوي } t = 72.85^\circ C$$

$$T = 72.85 + 273.15 = 346K \text{ , درجة الحرارة بمقياس كلفن}$$

$$t = 0.01 + \frac{131.615 - 102.515}{142.482 - 102.515} \times 99.99$$

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

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



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 أشباه الموصلات {semi-Conductors} حيث تتغير مقاومته تبعاً لتغير درجة الحرارة حسب المعادلة $R = Ae^{B/T}$ ويتم تصنيع مادة الثيرمستور غالباً من أكاسيد المعادن {metallic oxides}.

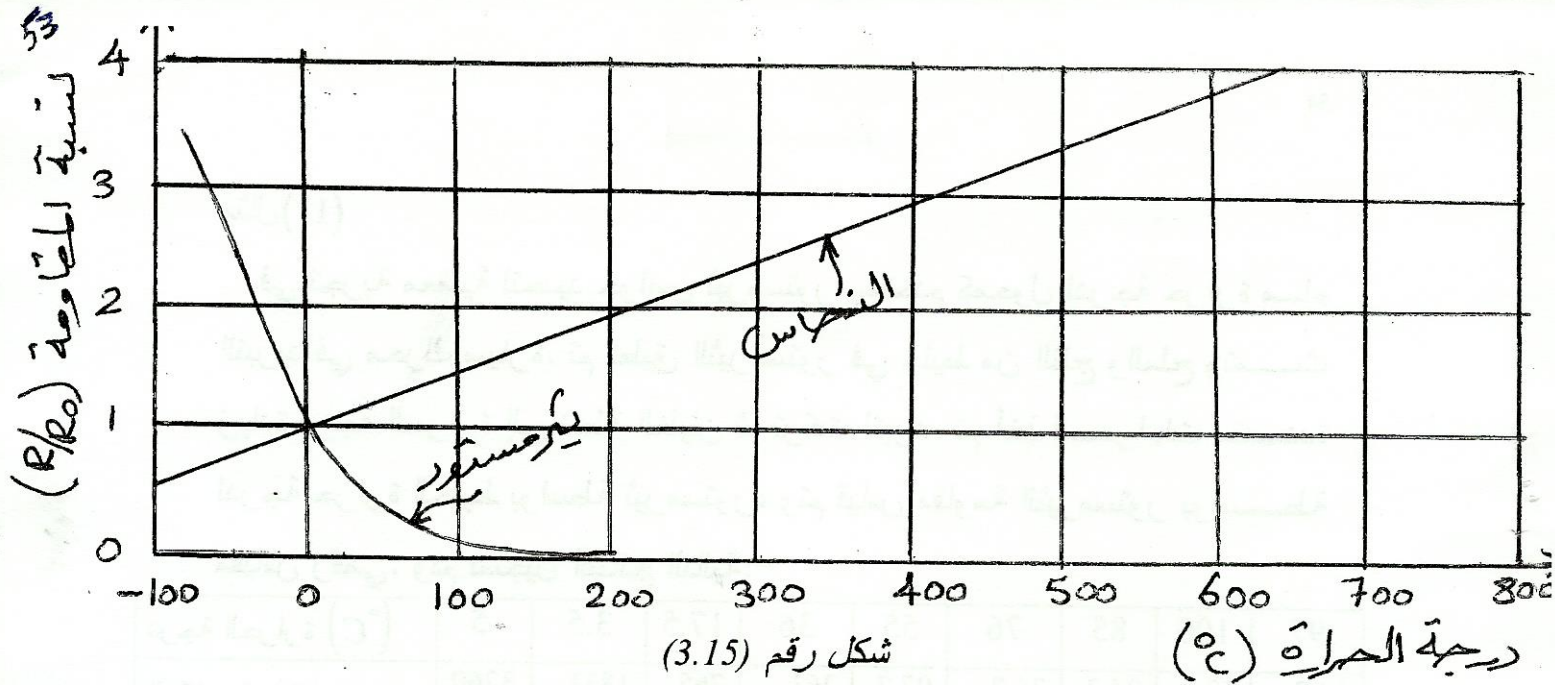
حيث A, B = ثوابت

T = درجة الحرارة المطلقة .

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

الشكل رقم (3.15) أدناه يوضح مخطط درجة الحرارة ضد المقاومة للثيرمستور والنحاس . ولعمل المقارنة بين المخططين فإننا نأخذ النسبة $\frac{R}{R_0}$ (وهي النسبة بين

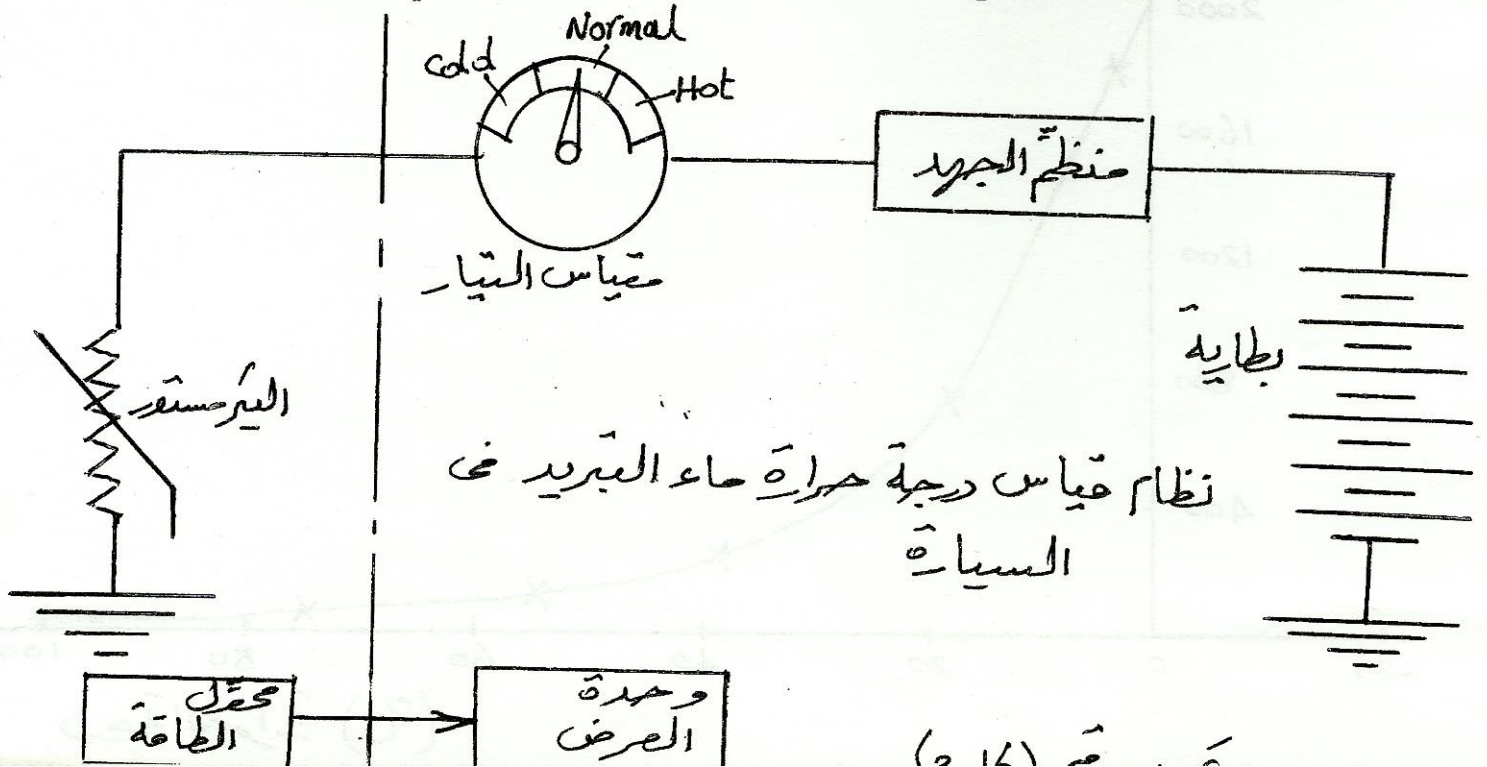
المقاومة الفعلية والمقاومة عند $0^\circ C$) بدلاً عن R .



يُلاحظ من المخطط أنه يمكن استخدام الثيرمستور كمحول لدرجة الحرارة في مدى صغير لدرجات الحرارة. ومثال 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 أو ساخناً. ومقياس شدة التيار في هذه الحالة ليس هو مقياس ذو ملف متحرك ، فهناك 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 $300^{\circ}C$ وأيضاً بحساسية أكبر ويمكن تصنيعه بحجم أصغر ويمكنه قياس درجة الحرارة في نقطة واحدة باستجابة سريعة.

الشكل رقم (3.16) يوضح نظاماً لقياس 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 وتمت زيادة درجة الحرارة إلى نقطة الغليان ثم تركت لتبرد. تم أخذ قراءات متعددة لدرجة حرارة الخليط بواسطة ثيرمستور، وتم قياس مقاومة الثيرمستور بواسطة مقياس رقمي. وتم تسجيل النتائج التالية:-

97	100	85	76	55	36	17.5	3.5	-5	درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C}$)
14.2	13.3	24.3	36.2	97.7	263	765	1831	3260	المقاومة (Ω)

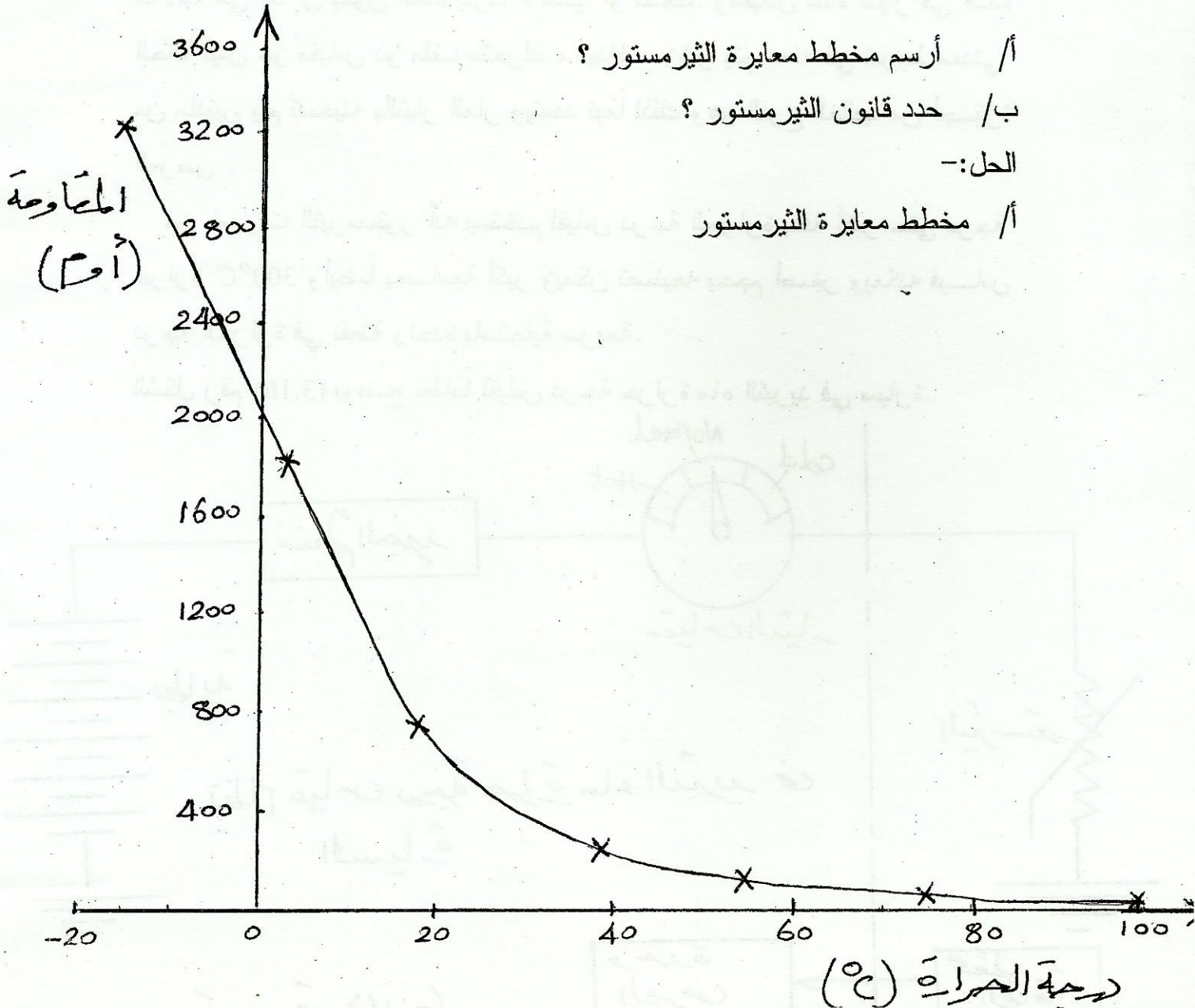
21	43	66
581	171.4	55.6

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 (اللوغاريثم للأساس e)

$$\ln R = \ln(Ae^{B/T})$$

$$\ln R = \ln A + \ln e^{B/T}$$

$$\ln R = \frac{B}{T} \ln e + \ln A = \frac{B}{T} + \ln A \quad (1)$$

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

$$\ln R = y \quad \text{حيث}$$

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

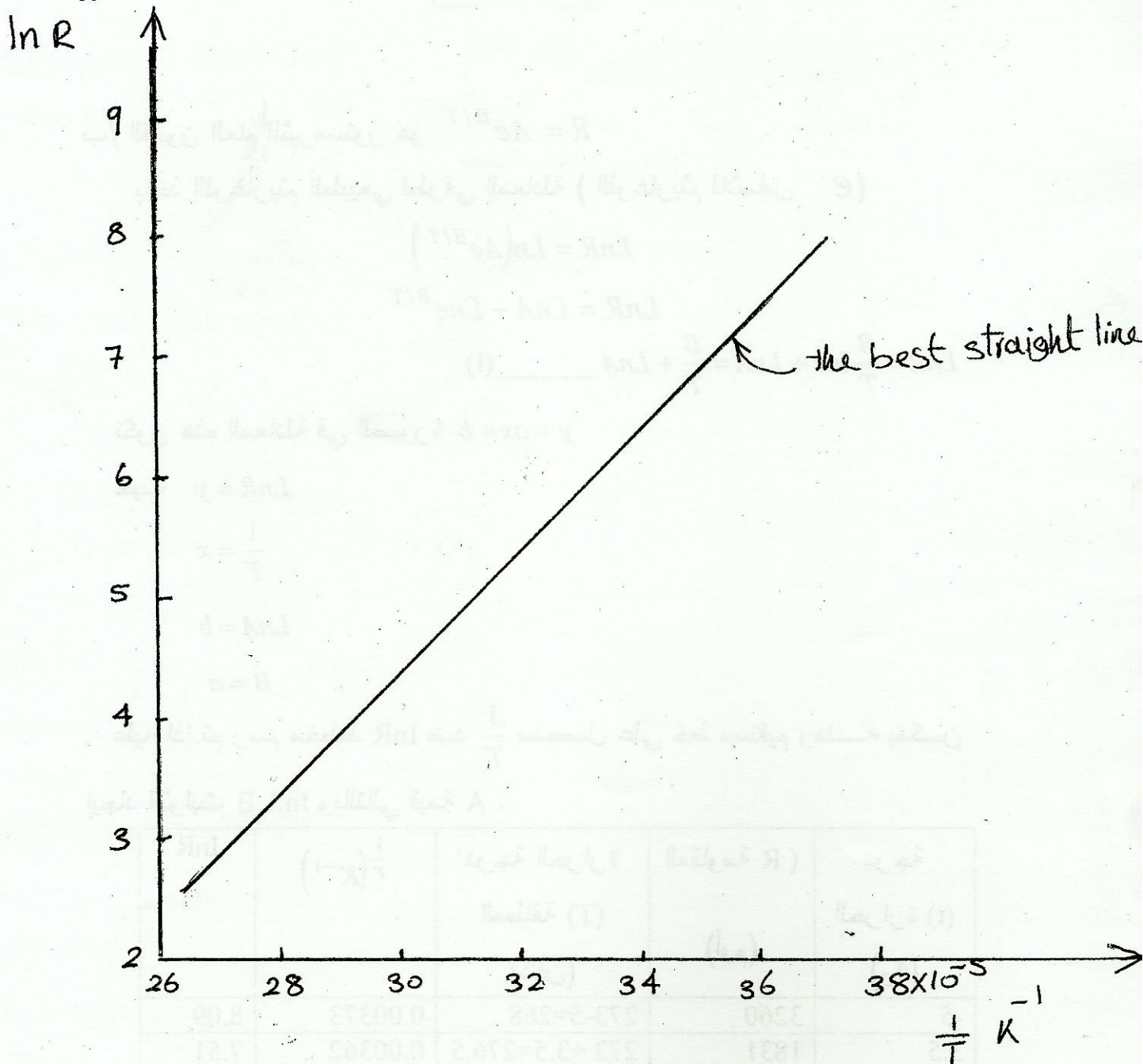
$$\ln A = b$$

$$B = a$$

عليه اذا تم رسم مخطط $\ln R$ ضد $\frac{1}{T}$ سنحصل على خط مستقيم ومنه يمكن

ايجاد الثوابت $\ln A, B$ وبالتالي قيمة A .

درجة الحرارة (t) (°C)	المقاومة (R) (أوم)	درجة الحرارة المطلقة (T) (كلفن)	$\frac{1}{T} (K^{-1})$	$\ln R$
-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 ،

$$\ln R = 8.09, \frac{1}{T} = 0.00373 K^{-1}$$

و

$$\ln R = 3.19, \frac{1}{T} = 0.00279 K^{-1}$$

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

$$8.09 = 0.00373B + \ln A \text{ ----- (2)}$$

$$3.19 = 0.00279B + \ln A \text{ ----- (3)}$$

$$4.90 = 0.00094B$$

وبالطرح

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

بالتعويض في المعادلة (2) ،

$$8.09 = 0.00373 \times 5213 + \ln A$$

$$\ln A = 8.09 - 0.00373 \times 5213 = -11.35$$

$$\ln A = \log_e A = x = -11.35$$

$$\therefore A = e^x$$

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

بالتالي يمكن كتابة القانون العام للثيرمستور كالاتي ،

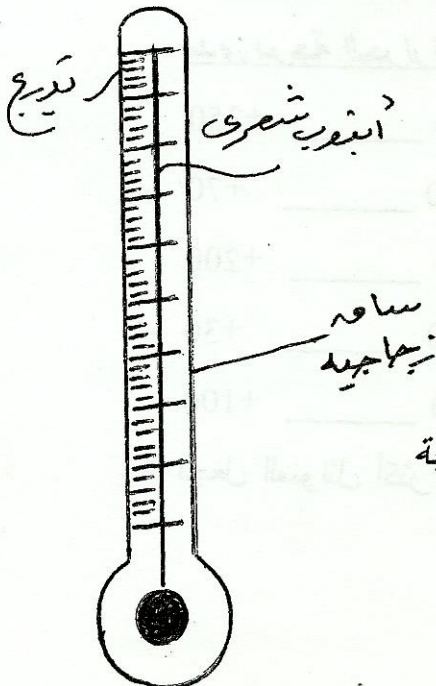
$$R = 0.00001177e^{5213/T}$$

3.3.4 أجهزة قياس درجة الحرارة : { temp. measurement devices }

عندما تتعرض مواد مختلفة لتغيرات في درجة الحرارة ، يمكن بالتالي أن تحدث أيضاً تغيرات في الخصائص مثل البعد ، المقاومة الكهربائية ، اللون ، والحالة. لاتحادات معينة للمعادن فإن التغيرات في درجة الحرارة ستنتج أيضاً قوة دافعة كهربية صغيرة. هذه التغيرات التي 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 ثيرمومترات سائل في زجاجة.



شكل رقم (3.17) - ثيرمومتر سائل في زجاجة

في تيرموميتر السائل في زجاجة الموضّح في الشكل رقم (3.17) ، فإن البصيلة الزجاجية الرفيعة تحتوي على سائل ، زئبق في هذه الحالة ، يكون حرّاً 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 يحوي 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 التيرموميتر 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 التيرموميترات يجب أن تمتلك مثالياً :-

أ/ معامل جيد للتمدد الحجمي.

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

ج/ يجب أن يرى بسهولة .

د/ يكون لديه نقطة تجمد منخفضة أو نقطة غليان مرتفعة أو الإثنان .

بعض السوائل المستخدمة في التيرموميترات يتم توضيحها في الجدول أدناه.

السائل	مدى درجة الحرارة ($^{\circ}C$)
الزئبق	+350 _____ -3.9
الكحول	+70 _____ -80
creosote	+200 _____ -5
Pentane	+30 _____ -200
Toluene	+100 _____ -80

لجعل السوائل أكثر قابلية للرؤية ، فإن بعضها يمكن صبغه بلون مميز .

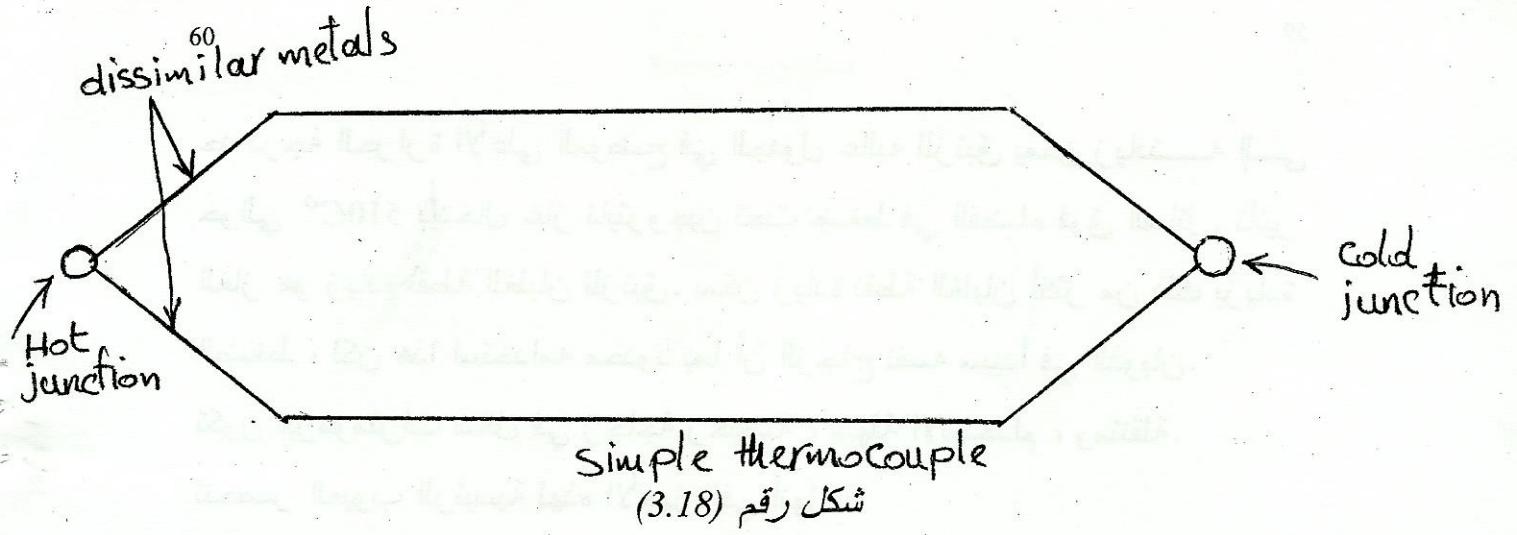
حد درجة الحرارة الأعلى الموضح في الجدول عاليه للزئبق يمكن زيادته إلى حوالي 510°C بإدخال غاز نايتروجين تحت ضغط في الفضاء فوق السائل. تأثير الغاز هو زيادة نقطة الغليان للزئبق. يمكن زيادة نقطة الغليان أكثر من ذلك بزيادة الضغط ، لكن هذا استخدامه محدود بما أن الزجاج نفسه سيبدأ في الذوبان. تكون تيرموترات سائل في زجاجة رخيصة ، سهلة الاستخدام ، ومتحركة. تنحصر العيوب الرئيسية لهذه الأجهزة في أنها :-

- 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 كأجهزة 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 إحدى نقاط التوصيل وتبريد الأخرى ، سيتم توليد تيار مباشر صغير لقوة دافعة كهربية e.m.f. إذا تم قياس هذه القوة الدافعة الكهربائية ، بالتالي يمكن تحديد الفرق في درجة الحرارة بين نقطتي التوصيل الساخنة والباردة بمعلوية الخاصية الحرارية/ الكهربائية أو الحساسية للمعادن المتحدة:

الحساسية	مدى درجة الحرارة	اتحاد المعادن
$(mV/^{\circ}C)$	(قراءة متصلة) $^{\circ}C$	
0.03	-250 to +400	Copper - constantan
0.05	-200 to + 850	Iron - Constantan
0.04	-200 to +1100	Chromel - alumel
0.06	0 to + 1400	platinum/10% rhodium platinum



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 الكهربائية e.m.f بواسطة مزدوج حراري مكون من حديد كونسنتانتان هي 3.5mV . إذا كانت نقطة التوصيل الباردة عند درجة حرارة $8^{\circ}C$ ، حدد درجة الحرارة لنقطة التوصيل الساخنة.

من الجدول عاليه ، حساسية الحديد - كونسنتانتان هي $0.05mV/^{\circ}C$

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

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

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

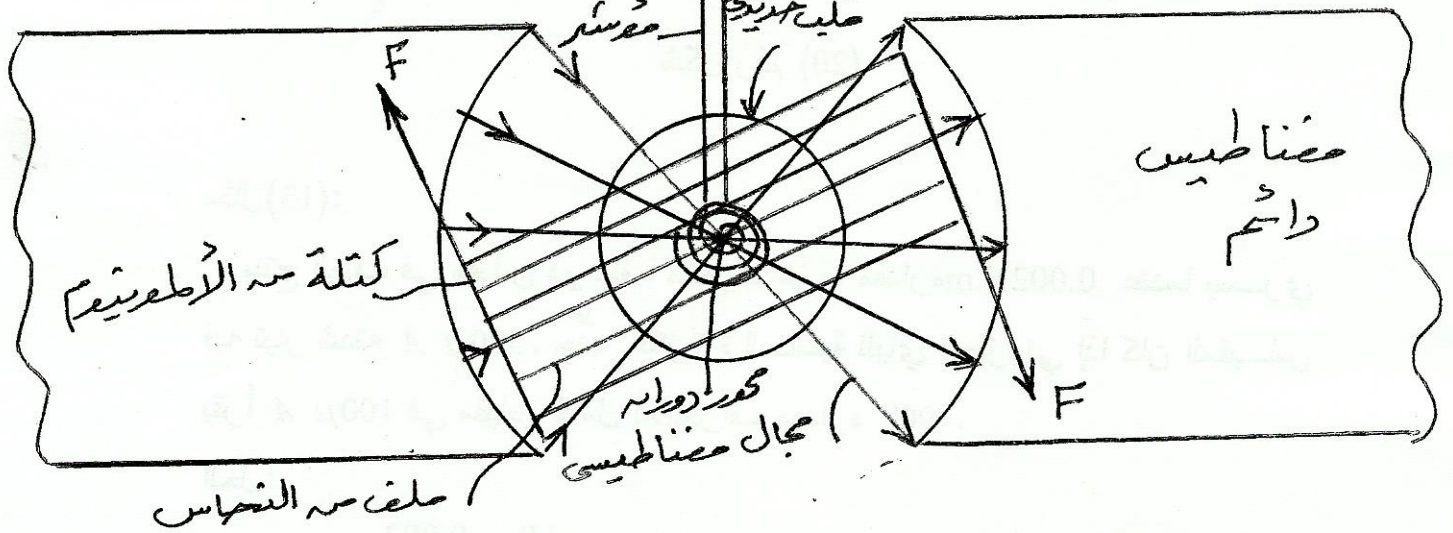
i.e. درجة حرارة نقطة التوصيل الساخنة هي $78^{\circ}C$.

3.3.5 أجهزة قياس الجهد والتيار :-

1/ المقياس ذو الملف المتحرك (the moving coil meter) :

محول الطاقة عبارة عن ملف من سلك رفيع جداً مطلي ملفوف على كتلة مستطيلة من الألمونيوم ومعلق بحيث يتم دورانه بحرية خلال حوالي 90° في المجال المغناطيسي بين أقطاب المغناطيس الدائم . تكون الفجوة بين الأقطاب دائرية ، وهناك قلب أسطواناني من الحديد الطري (soft iron) معلق بصلادة 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.  نتيجة



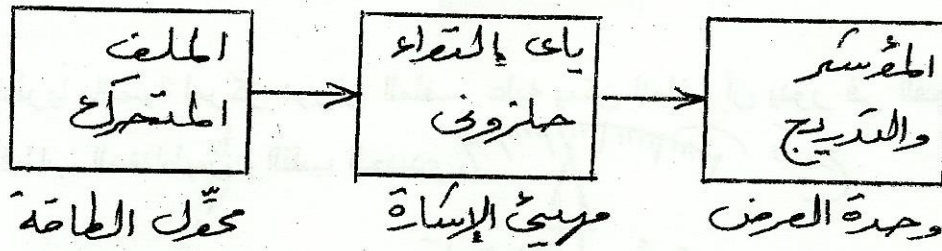
شكل رقم (3.19) - المجال المغناطيسي

القوة المغناطيسية التي تعمل على موصل كهربائي في مجال مغناطيسي تكون متناسبة مع التيار المناسب خلال الموصل ، ومتعامدة مع كل من المجال المغناطيسي والتيار. بحيث أن القوة الكلية ، F ، التي 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 مناسباً في الاتجاه المضاد ، بحيث يتم إنتاج قوة مساوية ومضادة F . القوتان تكونان ازدواجاً معطياً عزم دوران متناسباً مع التيار.

نحتاج الآن إلى وسيلة لتحويل العزم إلى إزاحة زاوية وهذا يتأتى 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 التدرج .

يتم تمثيل المخطط الكتلي للمقياس ذو الملف المتحرك في الشكل رقم (3.20)

أدناه.



شكل رقم (20)

مثال (13):

أنتأ الملف فآ مآأأس ذو ملف متأرك عزمأ مقدار 0.002 N.m عأما أأأرآ فآه أآأ شأأأه 500 μ A. أأأ الكزأة المناسبة للآأآ الأزونی إأا كان المآأأس أقرأ 100 μ A فآ مآأأس كامل للأنأراف مآأأره 90° .

الآ:

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

$$\text{أساسآة أو عامل القأأس للآهاز} = \frac{o/p}{i/p} = \frac{90}{0.0001} = 900,000 \text{ deg./A}$$

وهأذا فأأ المأطط الكأآل للآأم الرأأمة أمكن أأأأأة كأآآآ :-

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

$$\therefore R = 900,000 \frac{\text{deg.}}{\text{A}} \times \frac{1}{4 \text{ N.m}} = 225,000 \text{ deg./N.m}$$

ولكن كزأة الأآأأ للآأآ (λ)

$$\lambda = \frac{T}{\theta} \text{ ووحأأها } \frac{\text{Nm}}{\text{deg}}$$

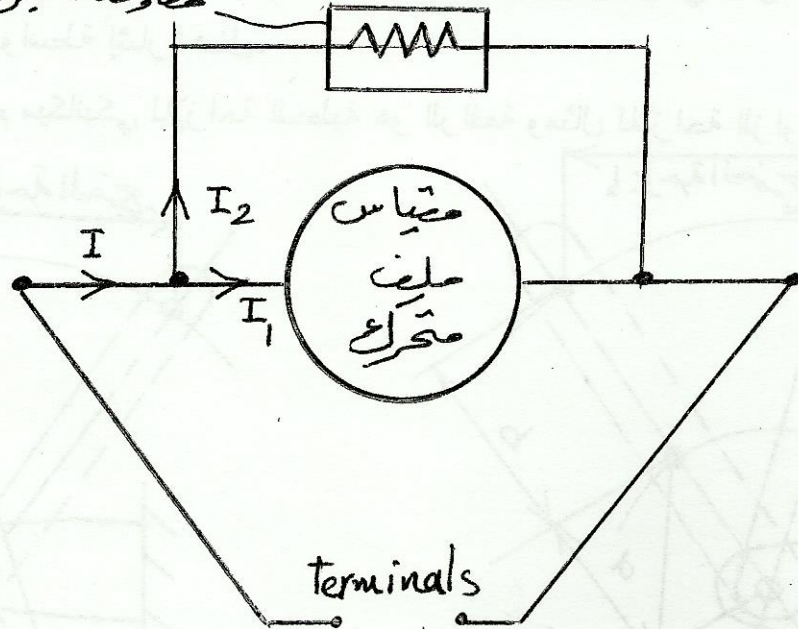
علآه فأأ الكزأة المأأأة هآ مألأب R

$$\lambda = \frac{1}{K} = \frac{1}{225,000 \text{ deg.}} \text{ N.m} = 4.44 \times 10^{-6} \frac{\text{N.m}}{\text{deg.}}$$

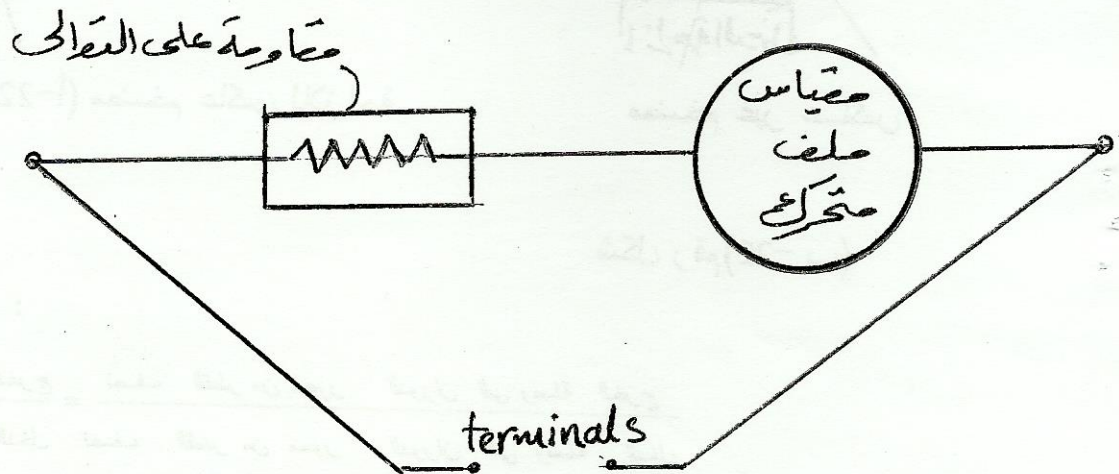
مأأأس الآأ وشأة الأآأ: (Voltmeters and ammeters.)

نأرك الآن أن المآأأس ذو الملف المتأرك هو آهاز أسأس لقأأس شأة الأآأ. وبأا أن سلك الملف رفآع فأنه أملك مأأمة كأربآة عأآة أوالآ 300 أوم

وأي تيار صغير يتسبب في إعطاء قيمة قصوى (انحراف كامل لمقياس التدرج). وإذا تم تمرير تيار أكبر من الانحراف الأقصى للتدرج فإن الملف سينصهر وسيتعطّل الجهاز. ورغم ذلك فإننا يمكن قياس تيارات كبيرة باستخدام المقياس ذو الملف المتحرك وذلك بتمرير معظم التيار خلال مجزئ (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 يمكن استخدام مقياس لقياس الجهد الكبير بوضع مقاومة كبيرة جداً موصلة على التوالي مع المقياس كما هو موضح في الشكل رقم (21 - ب). مقاومة المحرّج



شكل رقم (21-أ) الأميتر أو مقياس شدة التيار



شكل رقم (21-ب) الفولتميتر أو مقياس الجهد

3.3.6 مهيئات الإشارة (Signal conditioners) :

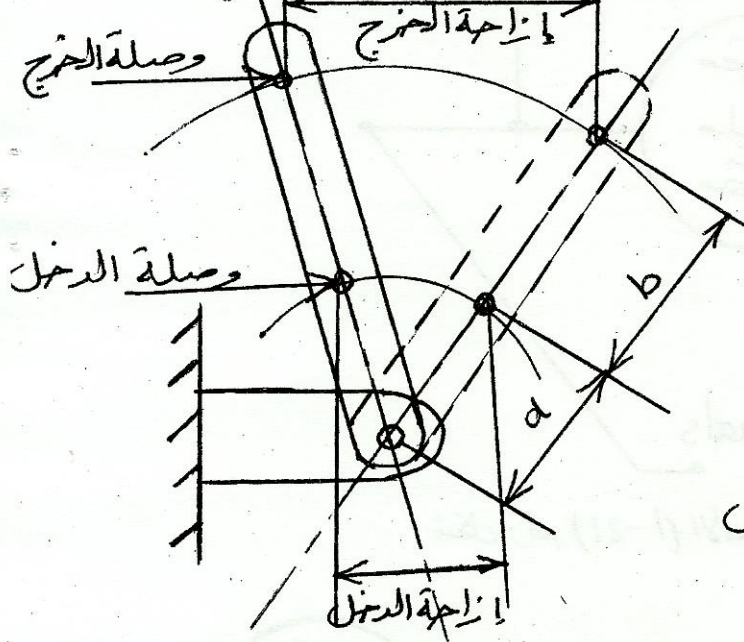
1/ المضخمات (Amplifiers) :-

الكلمة (to amplify) تعني يزيد، وهكذا فإنّ المضخم هو شكل من أشكال مهيئات الإشارة التي تزيد الإشارة بطريقة ما دون تغيير طبيعتها لإعطاء مخرج ميكانيكي أو كهربائي أكبر من المدخل.

1.1/ المضخمات الميكانيكية: (Mechanical Amplifiers) :

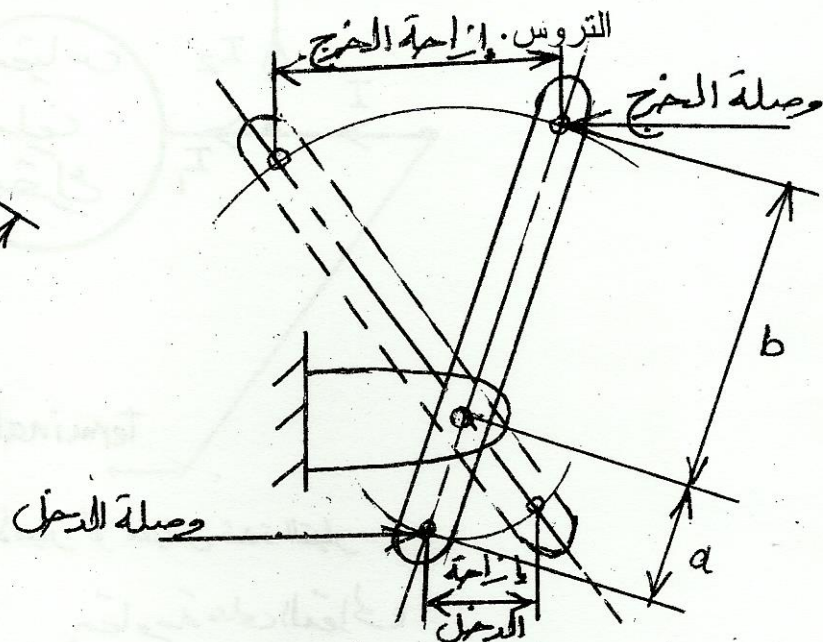
المضخمات الميكانيكية هي أجهزة غير فعالة أو خاملة تستخدم لتضخيم الإزاحة الخطية أو الزاوية. وهي لا تملك أي إمداد قدرة خارجي بقدر ما توضع القدرة فيها بواسطة إشارة دخل.

مثال لمضخم ميكانيكي للإزاحة الخطية هو الرافعة ومثال للإزاحة الزاوية هي



مضخم غير عاكس

شكل رقم (22-ب)



شكل رقم (22-أ) مضخم عاكس للإزاحة

للإزاحة

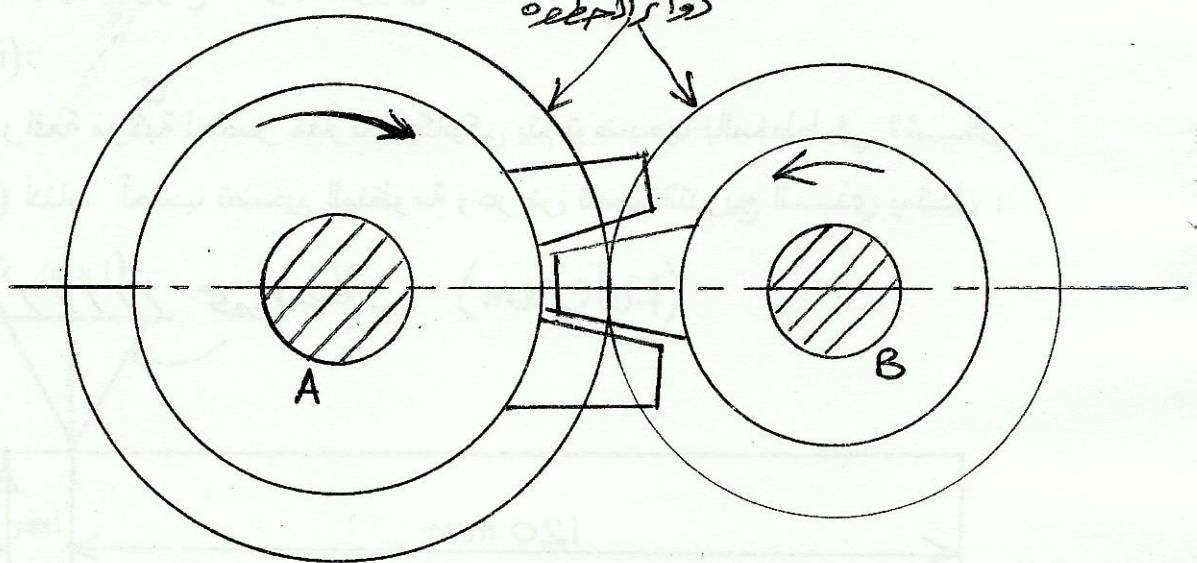
في كلا الحالتين :

$$\text{الكسب} = \frac{\text{إزاحة المخرج}}{\text{إزاحة الدخل}} = \frac{\text{نصف القطر من محور الدوران إلى وصلة المخرج}}{\text{نصف القطر من محور الدوران إلى وصلة الدخل}}$$

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

$$\text{الكسب} = \frac{b}{a}$$

الشكل رقم (23) أدناه يوضح مجموعة تروس بسيطة (Simple Gear train)



الشكل رقم (23) - مجموعة تروس بسيطة

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

$$G = \frac{12}{9} = 1.333 \text{ ، الكسب}$$

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

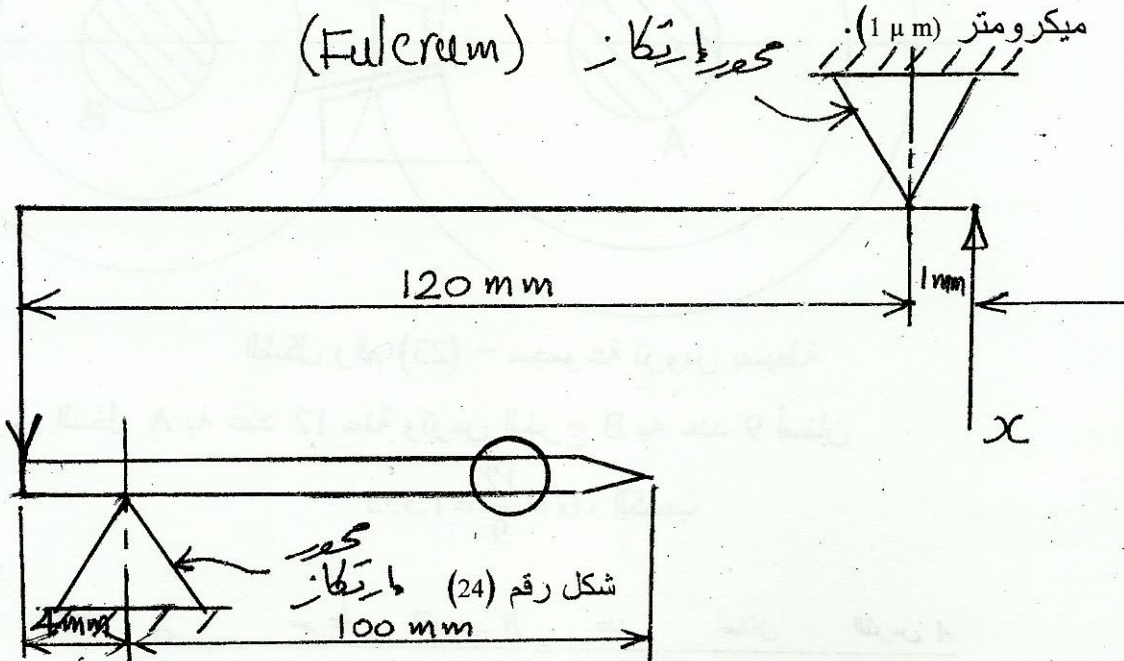
$$G = \frac{N_B}{N_A} = \frac{T_A}{T_B} = \frac{12}{9} = 1.333$$

$$\text{بمعنى أن الكسب} = \frac{\text{سرعة الترس المقود}}{\text{سرعة التروس القائدة}} = \frac{\text{حاصل ضرب عدد أسنان التروس المقودة}}{\text{حاصل ضرب عدد أسنان التروس القائدة}}$$

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

مثال (14):

(أ) آلية رافعة مركبة لعنصر مقارنة ميكانيكي يتم توضيحها بالمخطط في الشكل رقم (24) أذناه. أحسب تضخيم المنظومة وعرض تقسيم التدرج الذي يمثل 1



(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)

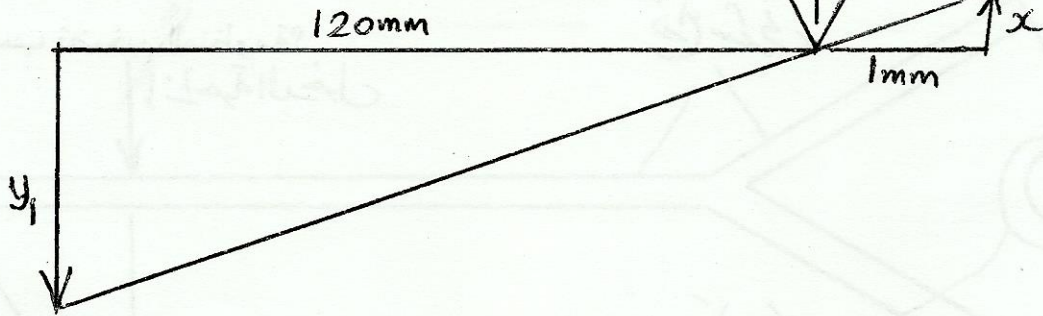
نفرض أن إزاحة الدخل = x

إزاحة الخرج للمرحلة الأولى = y_1

إزاحة الخرج للمرحلة الثانية = y_2

من الشكل أدناه كسب المرحلة الأولى:

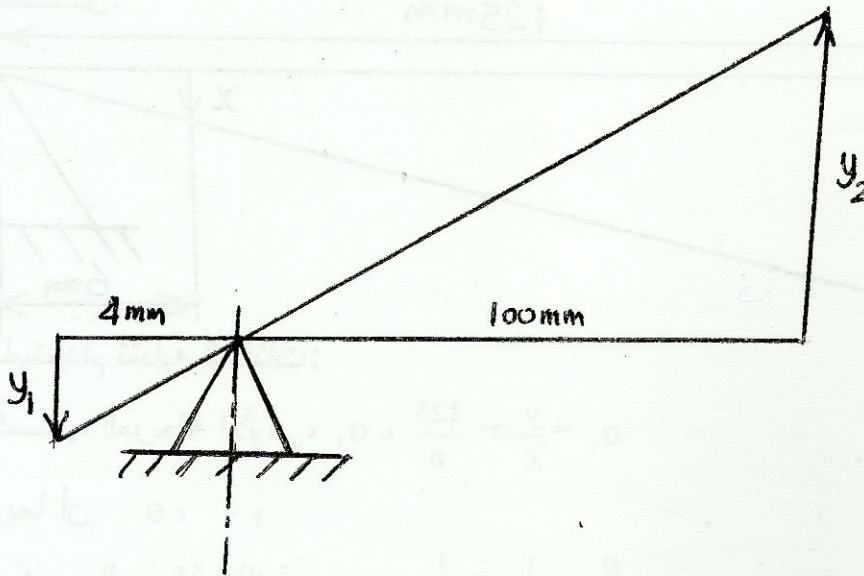
$$G_1 = \frac{y_1}{x}$$



بتشابه المثلثات ، $G_1 = \frac{y_1}{x} = \frac{120}{1} = 120$

كسب المرحلة الثانية:

$$G_2 = \frac{y_2}{y_1}$$



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

الكسب الكلي للمنظومة (تضخيم المنظومة) ،

$$= G_1 \times G_2 = 120 \times 25 = 3000$$

$$= 3000:1$$

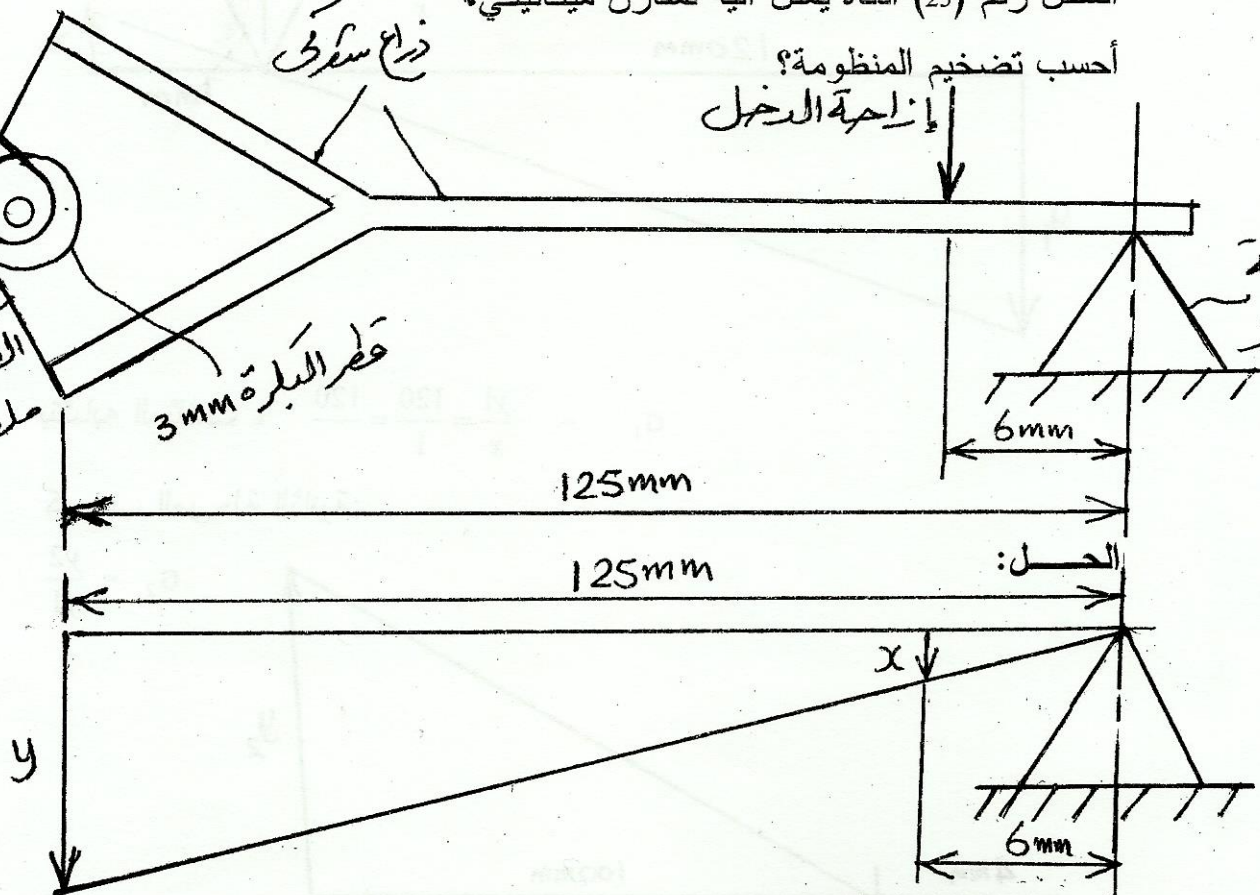
عرض تقسيم التدرج = $10^3 \times 10^{-6} \times 3,000 = 3\text{mm}$

ب) لعدة تأثيرات من بينها تأثير القصور الذاتي ، تأثير التسارع ، المقاومة

الاحتكاكية عند الاسنادات وغيرها.

الشكل رقم (25) أدناه يمثل آلية لمقارن ميكانيكي،

تَعْلَمُ
إِنَّمَا


$$G_1 = \frac{y}{x} = \frac{125}{6} \text{ ، } G_1 \text{ كسب المرحلة الأولي،}$$
$$G_2 = \frac{\theta}{y} = \frac{1}{r} = \frac{1}{1.5} \text{ } \angle G_2 \text{ كسب المرحلة الثانية،}$$

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

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

حيث r هو نصف قطر المؤشر.

أ) كسب مجموعة التروس بين العجلة A والعجلة E،

$$\text{حاصل ضرب عدد أسنان التروس القائدة} = \frac{\text{سرعة الترس المقود}}{\text{سرعة الترس القائد}}$$

حاصل ضرب عدد أسنان التروس المقودة

$$G_1 = \frac{N_E}{N_A} = \frac{T_A}{T_B} \times \frac{T_C}{T_D} \times \frac{T_D}{T_E} = \frac{T_A \times T_C}{T_B \times T_E} = \frac{150 \times 150}{75 \times 50} = 6$$

ب). الكسب الكلي للمنظومة بال deg./mm.

$$\text{السرعة الزاوية للبكرة} = \frac{\omega_p}{v_p} = G_2, \text{ والكسب بين السير والبكرة}$$

السرعة الخطية للبكرة

$$= \frac{\omega_p}{r \omega_p} = \frac{1}{r} = \frac{1}{10} \text{ rad/mm}$$

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

$$\text{الكسب الكلي للمنظومة} G_1 \times G_2 = 6 \times 5.73 = 34.4 \text{ deg./mm}$$

3.3.7 مسائل إضافية:

1) مقياس ضغط يراد تصميمه بدورة مؤشر مقدارها 315 درجة ، عندما يتراوح الضغط من صفر إلى 7 bar . تتحرف نهاية وصلة أنبوب بوردون بمقدار 1.75 mm لزيادة في الضغط مقدارها 7 bar . إذا كانت نهاية وصلة أنبوب بوردون متصلة بذراع بنصف قطر 10 mm . حدد نسبة عدد الأسنان المناسبة للترس 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 معني المصطلحات الآتية المستخدمة في أجهزة القياس الهندسية عندما يراد قياس درجة حرارة ماء بثيرموميتر عادي:

أ. محول الطاقة ،

ب. مهيب 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 3050 K إذا كانت مقاومة الثيرمستور عند درجة حرارة 25°C هي 1650 أوم ، حدد مقاومته عند:

(I) درجة حرارة 0°C .

(II) درجة حرارة 300°C .

(4) ثيرموميتتر مقاومة من البلاتين يمتلك مقاومة مقدارها 56.68 أوم عند درجة حرارة النقطة الثلاثية للماء (0.01°C) ومقاومة مقدارها 78.925 أوم عند درجة حرارة غليان الماء عند الضغط الجوي القياسي. ما هي درجة حرارة الثيرموميتتر عندما تكون مقاومته مساوية ل:

(I) 64.56 أوم

(II) 93.12 أوم.

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

(5) أ. ما هو مقياس انفعال المقاومة الكهربائية؟ وكيف يتم استخدامه لقياس الانفعال؟

ب. تم الحصول على البيانات التالية من اختبار شد القضيب مقياس انفعال:

المقاومة الأصلية للمقياس = 500.32 أوم.

المقاومة النهائية للمقياس = 501.46 أوم

عامل المقياس = 2.04

معيار المرونة لمادة القضيب = 200GN/m^2

قطر القضيب = 14 mm

حدد الآتي للقضيب:

(I) انفعال الشد

(II) إجهاد الشد

(III) حمل الشد

(6) مانومتر مائل يحتوي علي زيت كثافته النسبية 0.8 ، أحد طرفيه مائل بزاوية مقدارها 10 درجة علي الأفقي. القطر الداخلي للطرف المائل يساوي 2 mm ، والطرف الواسع مقطعه مستطيل بالأبعاد الداخلية 20 mm X 40 mm. مدي قياس الجهاز هو من صفر وحتى 30 mm H₂O. أحسب الطول الفعلي لمقياس التدرج بين التقسيمات 0 mm H₂O و 30 mm H₂O.

(7) يكون انسياب الحرارة في غلاية ($\theta_i - \theta_o$) 1.5 ، حيث θ_i ضبط المتحكم (Controller setting) و θ_o هي درجة حرارة الغلاية. إذا كانت السعة الحرارية للغلاية مساوية لـ 150 kJ/°C. تحصل علي عامل الانتقال وثابت الزمن للغلاية.

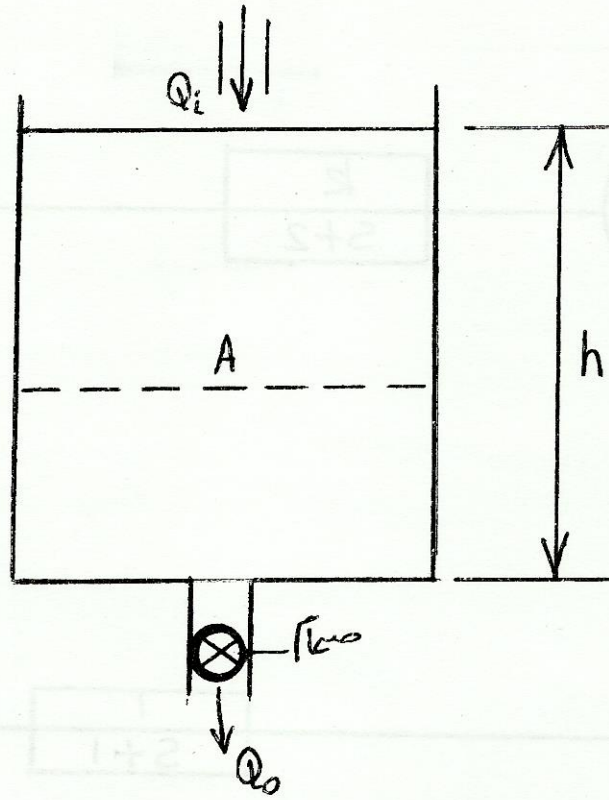
(8) بحيرة صغيرة بمساحة سطح مقدارها 10⁴ m² ، يتم تغذيتها بجدول ويتم قياس السريان إلي الخارج بواسطة هدار (Weir) ، يتم إعطاء معدل السريان بـ $Q = 5H^{3/2}$ m³/S ، حيث h هو سم الماء فوق الهدار بالأمتار. تحصل علي علاقة بين السريان الخرجي والسريان الدخلي لتفاوتات صغيرة في h وحدد ثابت الزمن للمنظومة.

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

(9) ثرموميتر غاز موصليته الحرارية 0.02 W/°C وسعته الحرارية 0.1 J/°C حدد ثابت الزمن للثيرموميتر.

(10) الشكل رقم (27) أدناه يوضح خزان بمعدل سريان حجمي دخلي Q_i ومعدل سريان حجمي خرجي Q_o ، عمق الماء h في الخزان يتم إعداده ثابتا تقريبا. أوجد عامل التحويل لهذه المنظومة وثابت الزمن τ .

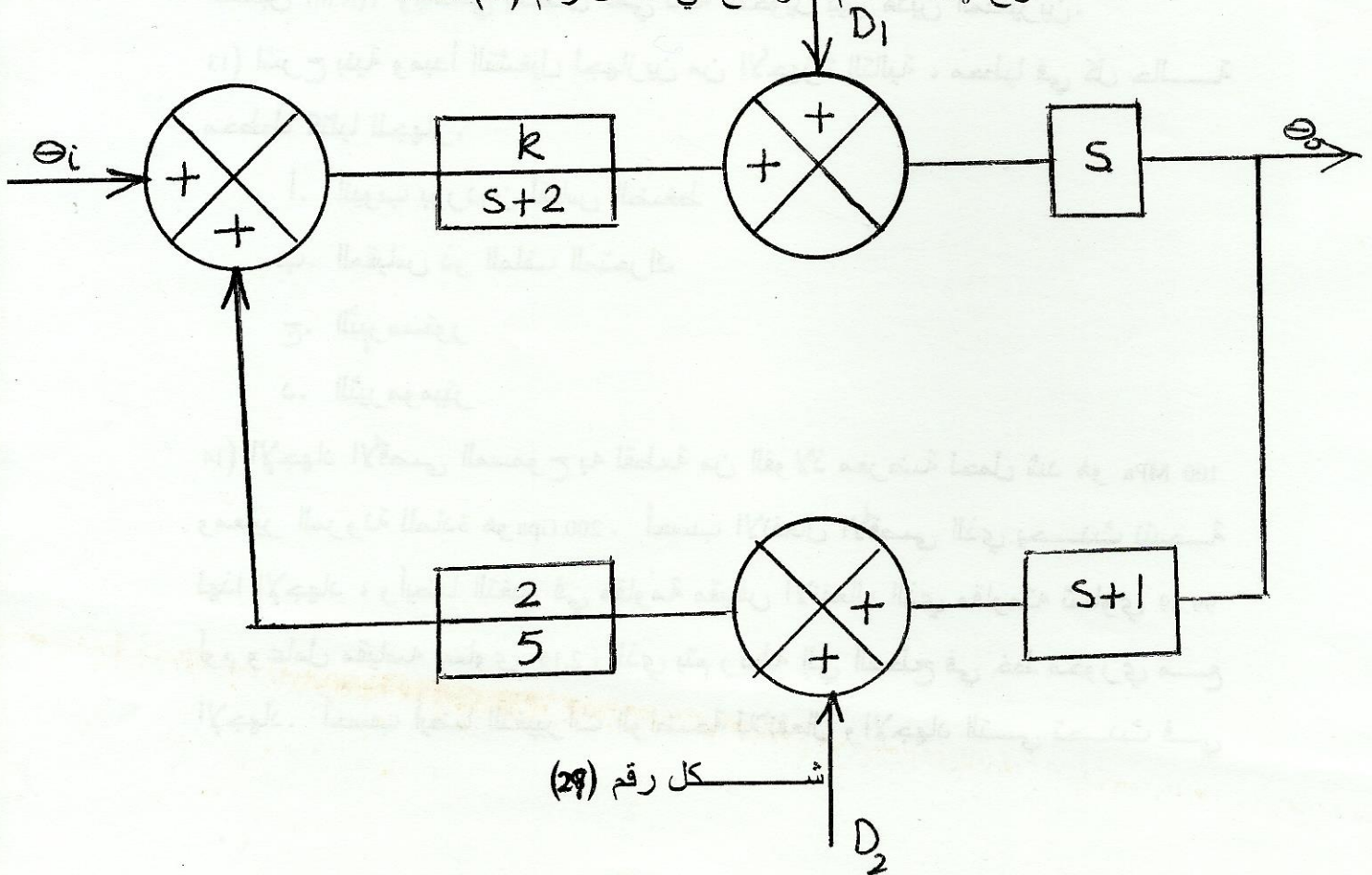
$$\text{Ans.} \left(\frac{Q_o}{Q_i} = \frac{1}{1 + ARD} ; AR \right)$$



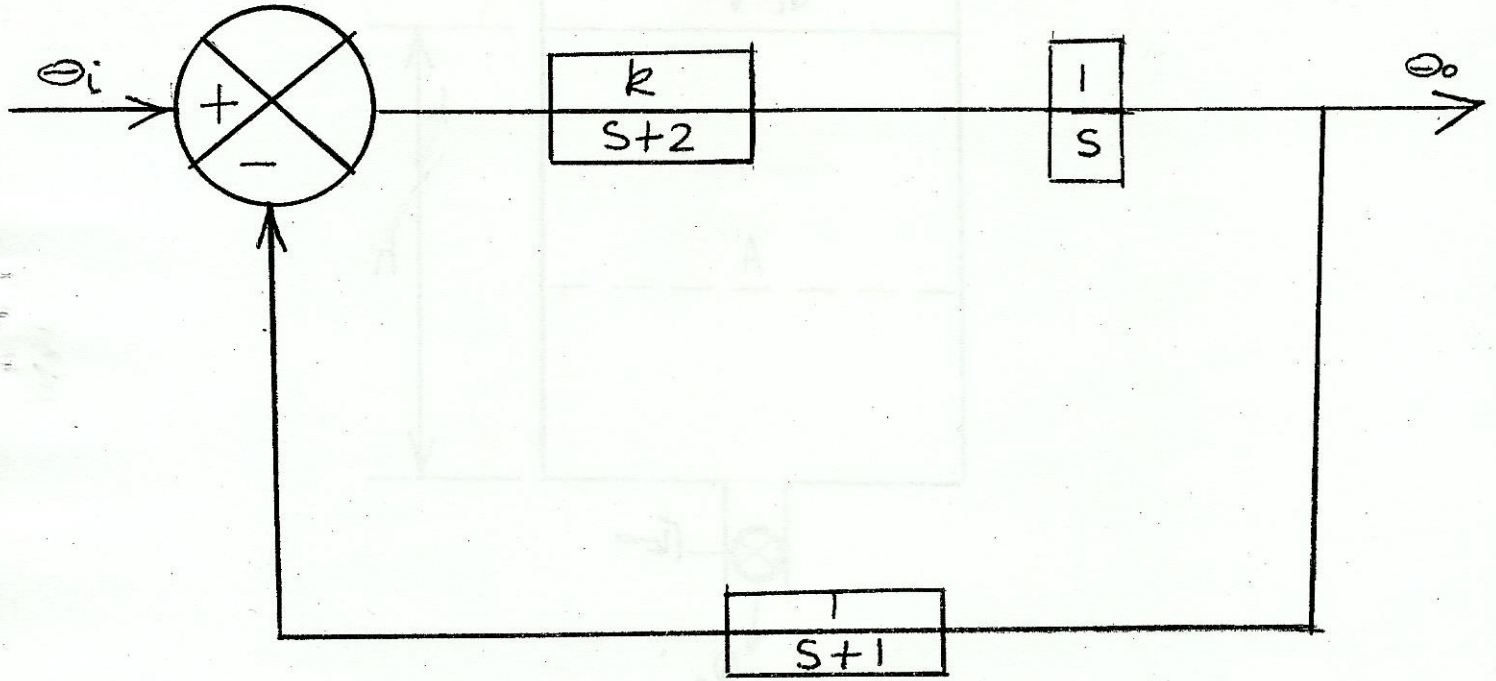
شكل رقم (27)

11 أ. خفض المخطط الكتلي التالي شكل رقم (28) في شكل تغذية خلفية بوحدة.

ب. حدد الخرج θ_o للنظام الموضح في الشكل رقم (29) أدناه:



شكل رقم (29)



شكل رقم (28)

- 12) دوار له عزم قصور ذاتي $J(\text{Kg m}^2)$ مقترن بمضائل لزج يتطلب عزما مقداره $F(\text{N.m rad}^{-1} \text{S})$. أرسم مخططا كتليا بين السرعة الزاوية للدوار $\dot{\theta}(\text{rad S}^{-1})$ والعزم المطبق $T(\text{N.m})$. وبالتالي تحصل علي دالة التحويل بين هذين المتغيرين.
- 13) اشرح بنية ومبدأ التشغيل لجهازين من الأجهزة التالية ، معطيا في كل حالة مخططا كتليا للجهاز.

أ. أنبوب بوردون لقياس الضغط

ب. المقياس ذو الملف المتحرك

ج. التيرمستور

د. التيرموميتر

- 14) الإجهاد الأقصى المسموح به لقطعة من الفولاذ معرضة لحمل شد هو 100 MPa ومعايير المرونة للمادة هو 200 Gpa . أحسب الانفعال الأقصى الذي يحدث نتيجة لهذا الإجهاد ، وأيضا التغير في مقاومة مقياس الانفعال الذي مقاومته تساوي 99.89 أوم وعامل مقياسه يساوي 2.15 والذي يتم ربطه إلي السطح في خط محوري مع الإجهاد. أحسب أيضا التغيرات الواضحة للانفعال والإجهاد التي تحدث في

قطعة الفولاذ نتيجة لتغير درجة الحرارة من 20°C إلى 80°C إذا لم يكن هنالك تعويض في درجة الحرارة ، خذ معاملات درجة الحرارة للتمدد الخطي $12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ للفولاذ و $16 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ لمقياس الانفعال.

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

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

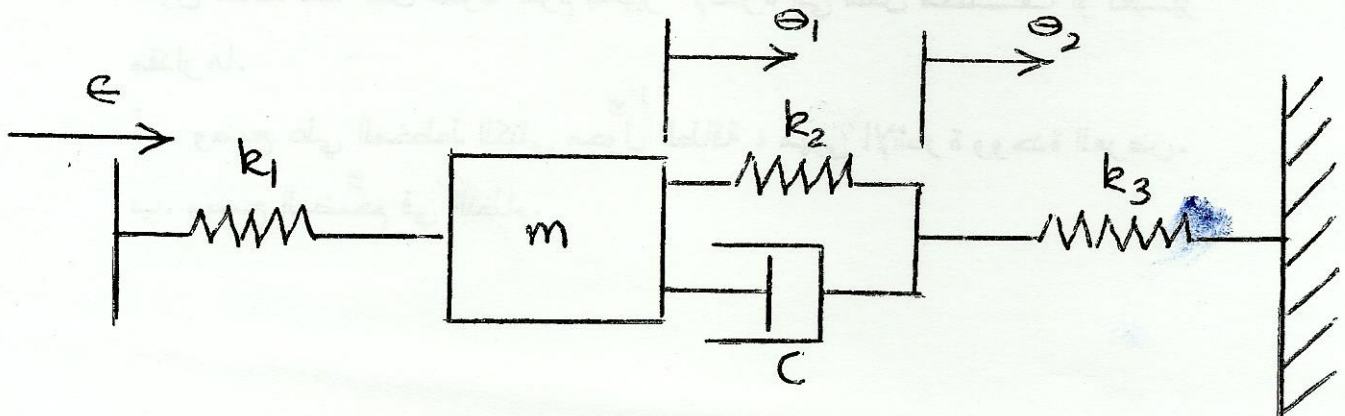
أرسم $\ln R$ ضد $1/T$ واستخدم نقطتين علي الخط المستقيم لتحديد قيم الثوابت A ، B في المعادلة العامة للثيرمستور.

(16) نظام الكتلة والمضائل والياي الموضحة في الشكل رقم (30) أدناه تمثل المسار الأمامي لنظام تحكم مغلق الحلقة. وإشارة الخطأ e هي دخل الجزء الموضح.

حدد دوال المسار الأمامي لهذا النظام

أ. إذا كان θ_1 هو الخرج.

ب. إذا كان θ_2 هو الخرج.



شكل رقم (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 291 mm بين الساقين:

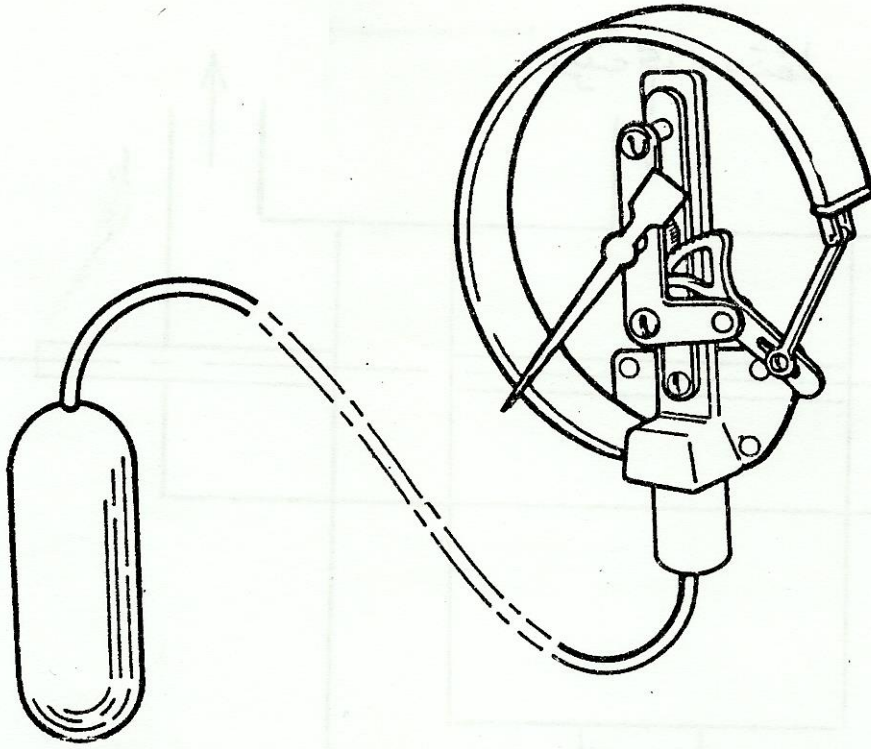
- أ. إذا كان السائل في أنبوب U- هو زيت ، والضغط هي ضغط غاز.
- ب. إذا كان السائل في أنبوب U- هو زيت ، وبقيّة النظام مليء تماماً بماء.
- ج. إذا كان السائل في أنبوب U- هو ماء ، وبقيّة النظام مليء تماماً ببيترول (بكتافة نسبية 0.68).

18) أ. أرسم رسماً توضيحياً وأوصف مانوميتر مائل؟

- ب. ما هو نوع القياس الذي يستخدم فيه هذا النوع من المانوميترات؟
- ج. ما هي التحولات التي يجب أخذها قبل أخذ أي قراءات من هذا النوع من المانوميترات.

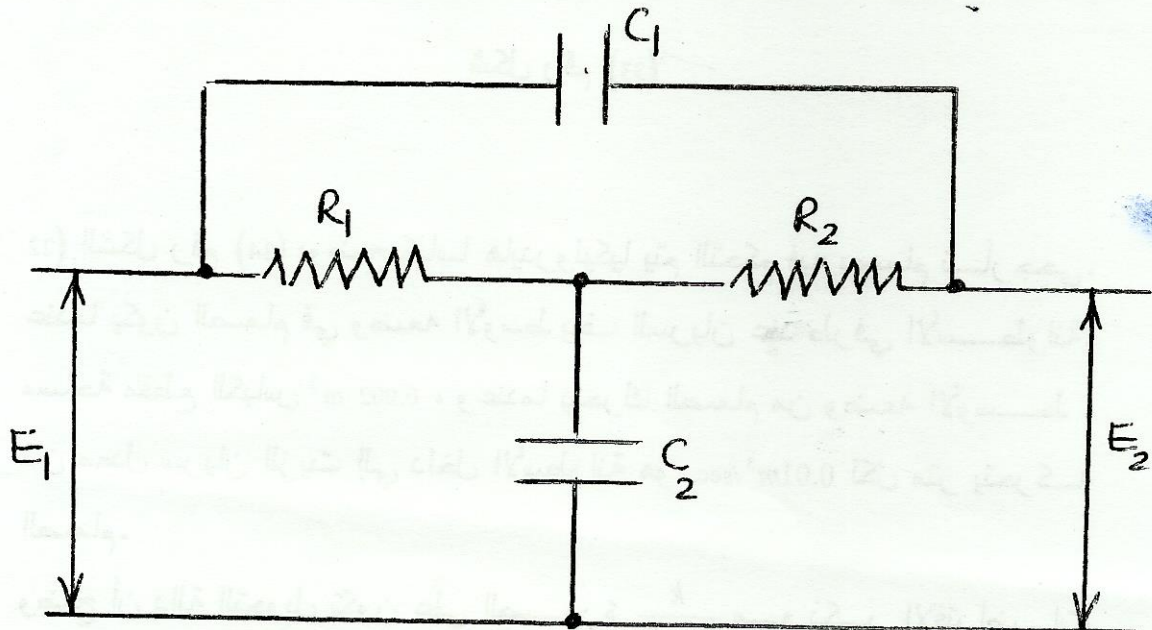
19) مقياس درجة حرارة من نوع ضغط البخار يتكون من بصيلة فولاذ موصلة إلى مقياس ضغط بواسطة أنبوب فولاذ شعري ، كما موضح في المخطط شكل رقم (31). البصيلة ، الأنبوب الشعري وأنبوب بوردون لمقياس الضغط يتم ملئها بسائل متبخر بحيث أن الضغط في النظام يعتمد على درجة حرارة السائل في البصيلة. يتم تقسيم تدريج مقياس الضغط بالدرجات المئوية. أرسم المخطط الكتلي للنظام ، متضمناً كتلاً للمكونات الرئيسية لمقياس الضغط. يجب أن تكون هنالك كتلة لكل مكونة تقوم بتغيير الإشارة إلى شكل مختلف أو تغيير مقدارها.

- أ. وضح على المخطط الكتلي محوّل الطاقة ، مهبط الإشارة ووحدة العرض.
- ب. وضح المضخّ في النظام.

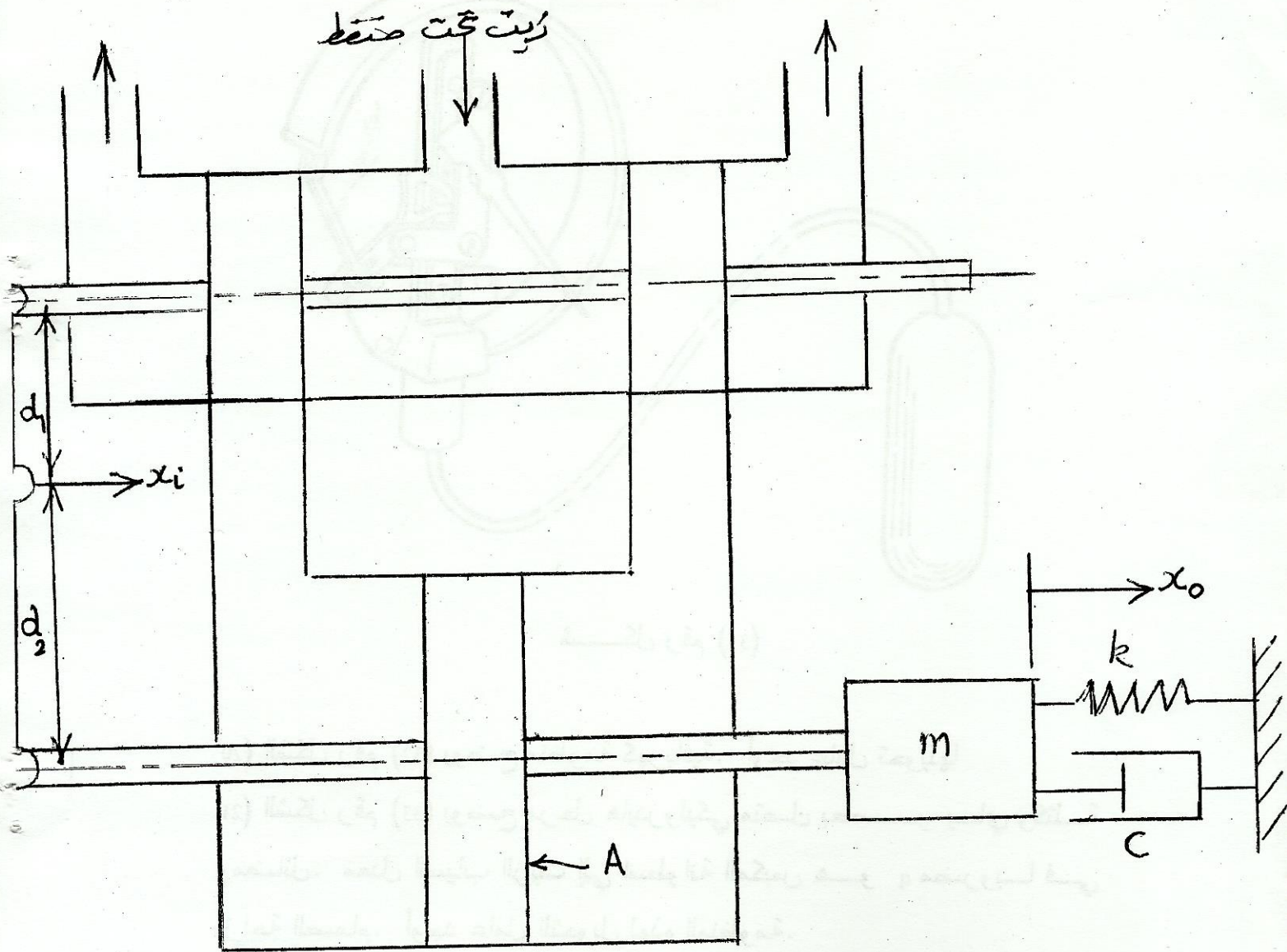


شكل رقم (31)

(20) الشكل رقم (32) يوضح منظومة كهربائية. أوجد عامل تحويلها
 (21) الشكل رقم (33) يوضح مرحل هايدروليكي متصل بعنصر رياي وكتلة
 ومضائل. معدل انسياب الزيت إلى اسطوانة المكبس هو q مضروبا في
 إزاحة الصمام. أوجد عامل التحويل لهذه المنظومة.



شكل رقم (32)

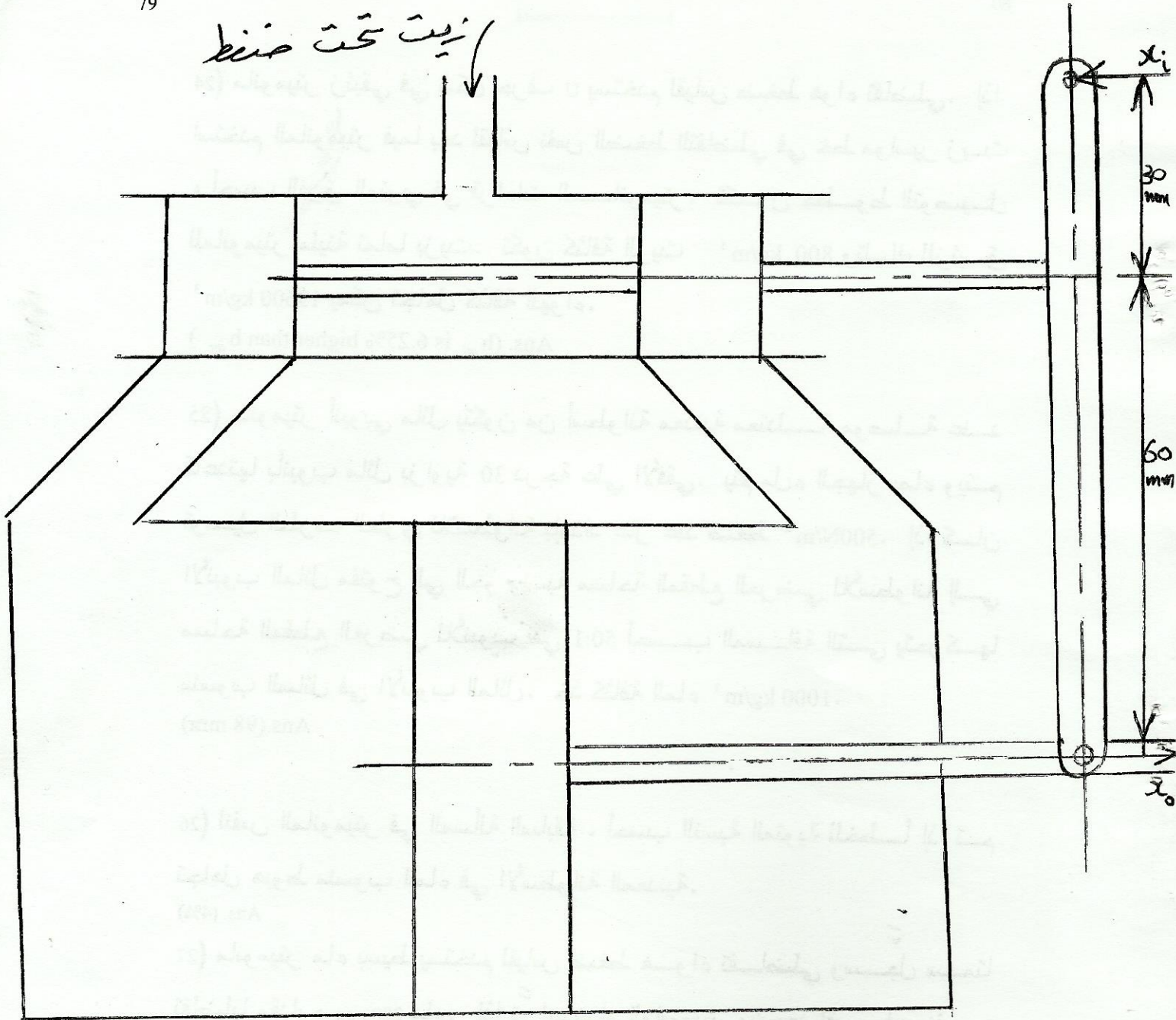


شكل رقم (33)

22) الشكل رقم (34) يوضح كباسا هايدروليكيًا يتم التحكم فيه بصمام تـأرجحي. عندما يكون الصمام في وضعه الأوسط يوقف السريان عند طرفي الأسطوانة. مساحة مقطع الكباس 0.002 m^2 ، وعندما يتحرك الصمام من وضعه الأوسط ، فإن معدل سريان الزيت إلى داخل الأسطوانة هو $0.01 \text{ m}^3/\text{sec}$ لكل متر يتحركه الصمام.

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

نيت تحت صنت



شكل رقم (34)

(23) مقياس انفعال يتم ربطه علي عمود بقطر 10 mm مسلط عليه حمل محوري. حدد مقدار الحمل بال kN بمعلومية الآتي: مقاومة المقياس 350 أوم ، التغير في مقاومة المقياس 0.15 أوم ، عامل المقياس 2.02 ومعايير 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 المانوميتر. تكون خطوط التوصيل للمانوميتر مليئة تماما بزيت. تكون كثافة الزيت 800 kg/m^3 وتلك للزئبق 13600 kg/m^3 يمكن تجاهل كثافة الهواء.

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

(25) مانوميتر أنبوبي مائل يتكون من أسطوانة معدنية معتدلة موصلة عند قاعدتها بأنبوب مائل بزاوية 30 درجة علي الأفقي. يتم ملء الجهاز بماء ويتم توصيل الطرف العلوي للأسطوانة بإمداد غاز عند ضغط 500 N/m^2 . إذا كان الأنبوب المائل مفتوح إلي الجو ونسبة مساحة المقطع العرضي للأسطوانة إلي مساحة المقطع العرضي للأنبوب هي 50:1 أحسب المسافة التي يتحركها منسوب السائل في الأنبوب المائل. خذ كثافة الماء 1000 kg/m^3 .

Ans. (98 mm)

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

Ans. (4%)

(27) مانوميتر ماء بسيط يستخدم لقياس ضغط هواء تفاضلي وسجل سمتا تفاضليا مقداره 200 mm ماء. إذا تم استخدام المانوميتر من بعد لقياس نفس الضغط التفاضلي في خط مواسير ماء ، باستخدام الزئبق كمائع للمانوميتر بدلا عن الماء ، أحسب السميت التفاضلي للزئبق الذي يسجله المانوميتر. يمكن أخذ كثافة الهواء 1.3 kg/m^3 وكثافة الماء 1000 kg/m^3 . الثقل النوعي هو 13.6.

Ans. (15.9 mm)

(28) أ. أوصف مستعينا بالرسومات التوضيحية مبدأ تشغيل ومكونات جهاز بوردون لقياس الضغط.

ب. أرسم تخطيطيا حركة ترس بنيون مشابهة لتلك المستخدمة في مقياس أنبوب بوردون وأحسب الزاوية التي يدور بها الترس ربع الدائري حول المحور

لكي يدور عمود المؤشر خلال 270 درجة. نسبة التروس بين ترس البنينون

والترس ربع الدائري هي 15:1

Ans. (18°)