

# الفصل السادس

شكل الحافة  
3  
4  
5  
6  
7

## Governors

## الحاكيات

### Function of a governor

### ١ - ٦ وظيفة الحاكمة

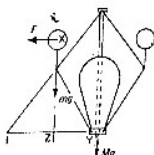
وظيفة الحاكمة هي الحفاظ على سرعة متوسطة لمحرك ، على خلاف وظيفة الحداثة التي تنظم التدفق النووي من السرعة . في الحاكمة التي تعمل بالطرد المركزي نجد أن تأثير القوة الطاردة المركزية عن الكرتين المتقابلتين الدوارتين يعمل على رفع جلبة أسطوانية حتى يحدث الاتزان . هذه الجلبة الأسطوانية تحكم في التغذية بالوقود بواسطة تركيبة آلية ، أي أن أي تغيير في سرعة المحرك يجمعه تغير وضع الجلبة التي تقن بالتالي التغذية بالوقود .

### Dead weight governors

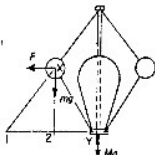
### ٢ - ٦ الحاكيات ذات الثقل

حاكمة ووات (Watt governor) شكل (٦ - ١) : حاكمة ووات هي في الأساس بتدوير عمودي وصنائه السفليتان متصلتان بجلبة أسطوانية ذات كتلة يمكن إهمالها . إذا كانت كتلة الكرة  $m$  ، وقوة الطاردة المركزية عليها  $F$  ، فبأخذ العزوم حول المركز اللحظي  $I$  للوصلة السفلية لاستنتاج تأثير الشد في الذراع العلوى ، فإن :

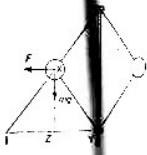
$$F \times XZ = mg \times IZ$$



(أ)



(ب)



(ج)

شكل ١ - ٦

حاكمة «بورتير» (Porter governor) شكل (٦ - ١/ب) : تعتبر حاكمة «وات» مناسبة فقط لمدى سرعات من 60 إلى 80 rev/min ، وللسرعات الأكبر من ذلك ، فإنه من الضروري إضافة كتلة الجلبة الأسطوانية لزيادة مجال السرعات لمدى محدد من نصف قطر دوران الكرتين . وهذا هو الأساس في حاكمة «بورتير» . إذا كانت كتلة الجلبة الأسطوانية  $M$  ، فيأخذ العزم حول  $I$  لاستبعاد العزم قوة الشد في النابض العلوي ، وكذا رد الفعل عند الجلبة :

$$F \times XZ = mg \times IZ + \frac{Mg}{2} \times IY$$

حاكمة «برويل» (Proell governor) شكل (٦ - ١/ج) : حاكمة «برويل» تشبه حاكمة «بورتير» ، فيما عدا أن الكرتين ممركتان على امتداد للأذرع السفلية ، وهذا من شأنه أن يقلل من تغير العزم في السرعة لإكساب الجلبة الأسطوانية تغييراً محدداً في وضعها . يأخذ العزم حول

$$F \times XZ = mg \times IZ + \frac{Mg}{2} \times IY$$

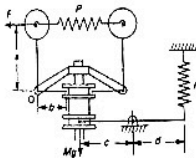
Spring loaded governors

## ٦ - ٢ الحاكيات المقيدة بسوست

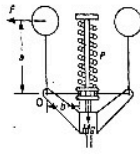
حاكمة «هارتل» (Hartnell governor) شكل (٦ - ٢/أ) : يجرى تجميع الحاكم بسوست متصلة على محوره . ويمكن ضبط قيمة الانضغاط للحصول على أى سرعة مطلوبة لأن الكرتين على نصف قطر دوران محدد . إذا كانت  $F$  هي القوة الطاردة المركزية المؤثرة على الكرتين ، و  $M$  هي كتلة الجلبة ، فإنها تأخذ العزم لتتوى حول المفصلة  $O$  على الرافعة المرفقية :

$$F \times a = \frac{P + Mg}{2} \times b$$

عندما يكون ذراع الكرة غير رأسي ، فإن عزم وزن الكرة حول المفصلة والتغير في قيم أطوال أذرع العزم يمكن في العادة إهمالها .



(أ)



(ب)

شكل ٦ - ٢

الحاكمة ذات كرتين متصل بينهما سوستة (Governor with spring-connected balls) شكل (٦ - ٢/ب) : يجرى تجميع الحاكم والسوستة معمولة في وضعها ، والسرعة التي يحدث عندها اتزان - لنصف قطر دوران محدد للكرتين - يمكن ضبط قيمتها بواسطة سوستة أخرى ثابتة

## الحاكمات

وزن في التركيبة الآلية المتصلة بالجلبة . إذا كانت  $P$  هي قيمة الشد في السوستة الأولى ، و  $R$  هي قيمة الشد في السوستة الثانية ، و  $M$  هي كتلة الجلبة ، فيأخذ المعزوم للقوى حول  $O$  :

$$(F - P) \times a = \frac{Mg + (d/c)R \times b}{2}$$

## ٤ - ٤ الجهد والقدرة

### Effort and power

جهد الحاكم هو القوة المؤثرة عند الجلبة لتغيير جزئ معلوم في السرعة .  
 لقدرة الحاكم هي الجهد المبذول عند الجلبة لتغيير جزئ معلوم في السرعة .  
 أي أن : القدرة = الجهد المتوسط  $\times$  مسافة تحرك الجلبة

## ٥ - ٥ الحساسية والاحتكاك

### Sensitivity and friction

إذا كانت السرعتان العظمى والدنيا لحاكم هما  $\omega_1$  ، و  $\omega_2$  على التوالي ، وكانت سرعتها بواسطة  $\omega$  ، فإن حساسية الحاكم تعرف بأنها  $(\omega_1 - \omega_2) / \omega$  .

إذا كانت هناك قوة احتكاك  $f$  بين الجلبة والمحور الدوار بداعله ، فإن الحمل المؤثر للجلبة يصبح  $(Mg + f)$  عند رفعها ، و  $(Mg - f)$  عند خفضها . وعلى ذلك .. فكلما وضع للجلبة هناك بجان عند لتسرع تصبح فيه الحاكم غير حساسة . وإذا كانت - عند أي وضع - السرعتان العظمى والدنيا اللتان يجب بلوغهما قبل أن تبدأ الجلبة حركتها هما :  $\omega_1$  ، و  $\omega_2$  على الترتيب ، والسرعة في غياب الاحتكاك هي :  $\omega$  فإن معامل تباعد الحاكم يعرف بأنه  $(\omega_1 - \omega_2) / \omega$  .

## ٦ - ٦ القوة المسيطرة والتوازن

### Controlling force and stability

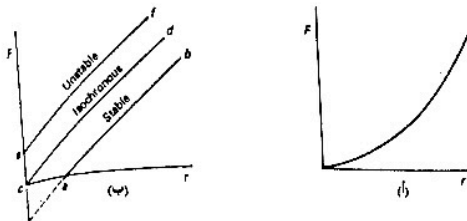
القوة للداخل ، أو للخارج ، التي تؤثر على كل كرية دوارة ، والناجمة عن وزن الجلبة أو قوة سوستة ... إلخ يطلق عليها القوة المسيطرة . ويأتي تغير هذه القوة مع قيمة نصف القطر يسمى بـ "قوة المسيطرة" . شكل (٦ - ٣) يوضح هذا البياني لحاكم من طراز "بورتير" وشكل (٦ - ٣) ب يوضح هذا البياني لحاكم من طراز "هارتل" . عند أي سرعة اتزان  $\omega$  نجد أن القوة المسيطرة مساوية ومضادة للقوة الطاردة المركزية .

أي أن القوة المسيطرة هي :

$$F = m\omega^2 r$$

$$\therefore \omega^2 = F / mr$$

وتكون الحاكم متزنة إذا وجد لكل سرعة - في نطاق فاعليتها - نصف قطر دوران واحد يحقق الاتزان . ولهذا .. فإن  $r$  يجب أن يزيد بزيادة  $\omega$  أي أن النسبة  $F/r$  يجب أن تزداد بزيادة  $\omega$  . هذه الحالة تتحقق في حالة متحني الحاكم طراز "بورتير" ، ولكن للحاكم طراز "هارتل" ، فإنها تتحقق فقط في حالة تقاطع الخط المستقيم مع المحور الرأسى أسفل نقطة الأصل ، مثل الخط  $abc$  .



شكل ٦ - ٣

وتصبح الحاكمة غير مستقرة الوضع (Isochronous) إذا كانت سرعة الاتزان واحدة لكل أنصاف أقطار دوران الكريات . وتكون النسبة  $F/r$  ثابتة ، وتناظر خط القوة المسيطرة  $ce$  للزمن بنقطة الأصل . وفي مثل تلك الحاكمة ، فإن الجلبة ستتحرك مباشرة لأي من أوضاعه النهائية ، مسببة عدم تطابق السرعة مع السرعة التي تحقق اتزان الحاكمة . ويكون صمام التغطية بالوتود مفتوحاً تماماً أو مغلقاً تماماً ، ويصبح الاتزان غير محتمل التحقيق .

وتكون الحاكمة غير متزنة إذا كان نصف قطر الدوران يقل بزيادة السرعة ، أي أن النسبة  $F/r$  تقل بزيادة  $r$  . وهذه الحالة تناظر خط القوة المسيطرة الذي يتقاطع مع المحور الرأسى أعلى نقطة الأصل ، مثل الخط  $ef$  . ولغلب الحاكمة ، فإن سرعة الاتزان تكون عند أدنى وضع للجلبة أكبر منها عند وضعها الأعلى . وعليه .. فإن الجلبة سوف تتحرك إلى أحد الوضعين النهائيين ، ولن تستقر سرعة المحرك بين سرعتين الحديتين .

## أمثلة

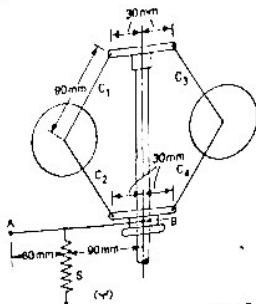
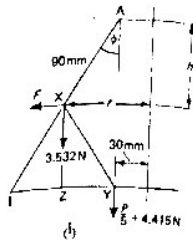
## Examples

مثال ٦ - ١ : شكل (٦ - ١/٤) بين حاكمة من طراز « بورشر » ، والتي يمكن ضبط سرعتها بواسطة السوستة الثانية  $S$  ، وتنقل قوة السوستة إلى الجلبة بواسطة الذراع  $AB$  والمركب بمفصلة عند  $A$  ، كتلة كل من الكريتين  $0.36 \text{ kg}$  ، ومثبتتان بالوصلات الأربع  $C_1, C_2, C_3, C_4$  ، والتي طول كل منها  $75 \text{ mm}$  ، والكتلة التي تحملها الجلبة قيمتها  $0.9 \text{ kg}$  .

تبدأ الجلبة في التحرك إلى أعلى عندما تدور الكريتان بسرعة  $200 \text{ rev/min}$  في دائرة نصف قطرها  $75 \text{ mm}$  ، وسرعة الحاكمة يجب ألا تتعدى  $200 \text{ rev/min}$  عندما ترتفع الجلبة مسافة  $10 \text{ mm}$  من وضعها الأصلي .

أوجد : (أ) الكزازة المطلوبة للسوستة  $S$  . (ب) الشد في الوصلة  $C_1$  عندما تبدأ الجلبة في التحرك إلى أعلى .

(U.Lond.)



شكل ٦ - ٤

الخلل

إذا كانت القوة التي تؤثر بها السوسنة S هي : نيوتن  
فإن القوة المؤثرة على الجلبة =  $\frac{2}{3}P$  نيوتن .

ولذلك :

فالقوة الكلية على الجلبة هي :

$$= \frac{2}{3}P + 0.9 \times 9.81 = \frac{2}{3}P + 8.83 \text{ N}$$

الوصلة السفلية C2 متزنة تحت تأثير القوة الطاردة المركزية على الكرية F ، ووزن الكرية 3.532 N ، ونصف وزن الجلبة  $\frac{1}{3}P + 4.415 \text{ N}$  ، وأنشد في الوصلة العلوية C1 ، ورد الفعل الألقى على الجلبة .

بأخذ العزوم حول I ، شكل ( ٦ - ٤ / ب ) :

$$F \times XZ = 3.532 \times IZ + (\frac{1}{3}P + 4.415) \times IY$$

$$\text{أي أن : } 0.36 \left( \frac{2\pi}{60} N \right)^2 \times r \times h = 3.532(r - 0.03) + (\frac{1}{3}P + 4.415) \times 2(r - 0.03)$$

$$(1) \quad 0.00395 N^2 r h = (r - 0.03)(12.36 + 0.4P) \quad \text{أي أن :}$$

$$r = 0.075 \text{ m} \quad \text{وعند } N = 200 \text{ rev/min}$$

$$h = \sqrt{(0.09^2 - 0.045^2)} = 0.078 \text{ m}$$

إذن ، من المعادلة رقم (١) ، نجد أن :

$$P_1 = 20.45 \text{ N}$$

$$h = 0.078 - 0.005 = 0.073 \text{ m}$$

$$r = \sqrt{(0.09^2 - 0.073^2)} + 0.03 = 0.0826 \text{ m} : N = 220 \text{ rev/min} \quad \text{وعند}$$

$$P_2 = 23.9 \text{ N} \quad \text{ومن المعادلة رقم (١) ، نجد أن :}$$

الظواهر الأساسية في ميكانيكا الآلات

$$\frac{P_1 - P_2}{\text{إزاحة الجلبة}} = \text{كثافة السوستة هي :}$$

$$\frac{23.9 - 20.45}{\frac{1}{3} \times 0.01} = 863 \text{ N/m}$$

أى

رد الفعل الرأسى على A عند 200 rev/min هو :

$$\frac{20.45}{5} + 4.415 + 3.532 = 21.04 \text{ N}$$

رد الشد في C<sub>1</sub> هو :

$$21.04 \sec \phi = 21.04 \times 0.09/0.078 = 13.9 \text{ N}$$

مثال ٦ - ٢ : حاكمه طراز ٥ بورتر ٥ طول ذراعها 300 mm ، والكريات الدوارة كتلة كل منها 1.8 kg ، عند سرعة 120 rev/min تكون زاوية كل ذراع مع الرأسى 30° . أوجد انعطال المركب محورياً ، وحساسية الحاكم إذا كانت إزاحة الجلبة 25 mm ± . (U.Lond.)

الحل

بأخذ العزوم حول I ، شكل (٦ - ٥)

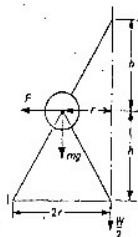
$$F \times h = mg \times r + \frac{Mg}{2} \times 2r$$

$$1.8 \omega^2 rh = 1.8 \times 9.81r + M \times 9.81r$$

أى أن :

$$0.1835 \omega^2 h = 1.8 + M$$

أى أن :



شكل ٦ - ٥

عند السرعة المتوسطة :

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \times 120 = 4\pi \text{ rad/s}$$

$$h = 0.3 \cos 30^\circ = 0.26 \text{ m}$$

$$\therefore M = 5.73 \text{ kg}$$

ومن المعادلة (١) نجد أن :

$$\omega = 6.4 / \sqrt{h}$$

وعندما ترتفع الجلبة 25 mm :

$$h = 0.26 - 0.0125 = 0.2475 \text{ m}$$

$$\therefore \omega_1 = 6.4 / \sqrt{0.2475} = 12.87 \text{ rad/s}$$

وعندما تهبط الجلبة 25 mm :

$$h = 0.26 + 0.0125 = 0.2725$$

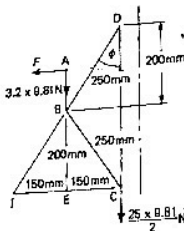
$$\therefore \omega_2 = 6.4 / \sqrt{0.2725} = 12.26 \text{ rad/s}$$

الخاصية هي :

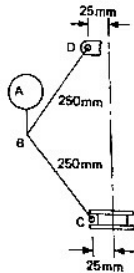
$$\frac{\omega}{\omega_1 - \omega_2} = \frac{4\pi}{12.87 - 12.26} = \frac{20.6}{0.6}$$

مسألة ٦ - ٣ : حاكمة من طراز بروبل ، مبنية تخطيطياً ، مع بعض أبعادها ، في شكل (٦ - أ) والثقل المركب محورياً على الجلبة كتلته 25 kg ، والكتلتان اللوارتان 3.2 kg ، وعندما تكون الجلبة في وضعها الأوسط ، يكون الذراع AB للرافعة المرفقة ABC رأسياً ، ونصف قطر مسار دوران الكتلتين اللوارتين 175 mm .

إذا كانت السرعة 160 rev/min عندما تكون الحاكمة في وضعها الأوسط ، فأوجد : (أ) طول الذراع AB . (ب) الشد في الوصلة BD . اعمل الاحتكاك . (U.Lond.)



(أ)



(ب)

شكل ٦ - ٦

الحل

بأخذ العزوم حول I ، شكل (٦ - ب) :

$$F \times AE = 3.2 \times 9.81 \times 0.3 + \frac{25 \times 9.81}{2} \times 0.6$$

$$3.2 \left( \frac{2\pi}{60} \times 160 \right)^2 \times 0.175 \times (AB + 0.2) = 82.9$$

أي أن :

$$AB = 0.327 \text{ m}$$

أي أن :

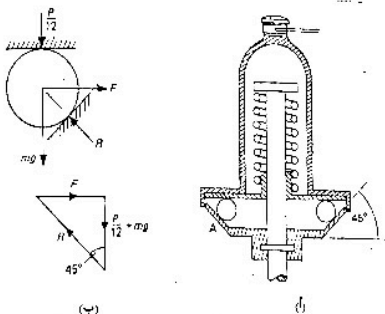
رد الفعل الرأسى عند D هو :

$$3.2 \times 9.81 + \frac{25 \times 9.81}{2} = 154 \text{ N}$$

∴ الشد في BD هو :

$$154 \sec \phi = 154 \times 250/200 = 192.5 \text{ N}$$

مثال ٦ - ٤ : حاكمة ذات كريات حرة مبنية في شكل (٦ - ٤) . عند التشغيل تزحف الكريات لأعلى إطار الحاققة A ، دافعة الجلبة لتضغط على السوسنة ، بينما الرقبة والرافعة على النصف النصف كروية تقومان بتشغيل تركيبة التحكم . والكريات الصلب عددها 12 ، وقطر كل منها 50 mm ، والوزن الذى يتم تحريكه ( الغطاء وتركيبه التحكم ) 25 kg ، ومراكز الكريات تقع على نصف قطر 125 mm في أدنى وضع لها ، وأقصى مسافة ترتفعها الجلبة 20 mm ، بحسب الانضغاط الابتدائى ، وكفاءة السوسنة لمدى سرعات يبدأ من 350 rev/min إلى 364 rev/min ، كتلة الكرية الواحدة 0.535 kg . (U.Glas.)



شكل ٦ - ٤

الحل

نصف قطر دوران الكريات عند السرعة الدنيا = 125 mm

فيكون نصف قطر دوران الكريات عند السرعة العظمى = 145 mm

إذا كانت P هي القوة الكلية المؤثرة على الكريات عن طريق الثقل والسوسنة ، فإن كرية واحدة تكون متزنة تحت تأثير حمل رأسى P/12 ، وقوة الطرد المركزي عليها F ، ووزنها mg ، وكذلك رد فعل الإطار R .

وعلى ذلك .. فمن مثلث القوى ، شكل ( ٦ - ب ) :

$$\frac{P}{12} + mg = F = m\omega^2 r$$

$$\frac{P}{12} + 0.535 \times 9.81 = 0.535 \left( \frac{2\pi N}{60} \right)^2 r$$

أى أن :

$$r = 125 \text{ mm} : N = 350 \text{ rev/min} \quad \text{عند}$$

$$\therefore P = 1015 \text{ N}$$

إذن قوة تأثير السوستة هي :

$$1015 - 25 \times 9.81 = 770 \text{ N}$$

عند  $N = 364 \text{ rev/min}$  :

$$r = 145 \text{ mm}$$

$$\therefore P = 1284 \text{ N}$$

إذن قوة تأثير السوستة هي :

$$1284 - 25 \times 9.81 = 1039 \text{ N}$$

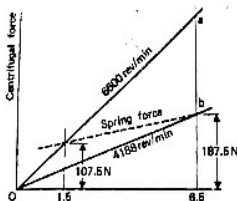
كقازة السوستة هي :

$$\frac{(1039 - 770)/0.02}{770/13450} = \frac{13450 \text{ N/m}}{0.0573 \text{ m}}$$

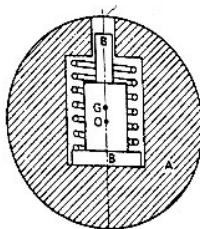
$$= 57.3 \text{ mm}$$

الضغط الإبتدائى هو :

مثال ٦ - ٥ : شكل ( ٦ - أ ) بين تركيبة لحاكمة تعمل فقط تحت ظروف طارئة ، والتركيب محتواه داخل العمود الرئيسى A لحاكية ، والمسمار المحرر ( القابل للتحرك ) BB كتله  $0.15 \text{ kg}$  ، ومركز ثقله G يبعد  $1.5 \text{ mm}$  عن مركز الدوران O ، وحركة المسمار تجاهه بسوستة كوازيما  $16 \text{ kN/m}$  ، والمسمار يسمح له بإزاحة قدرها  $5 \text{ mm}$  ؛ احسب القوة الإبتدائية فى السوستة لتكون بداية حركة المسمار للخارج عند سرعة  $6600 \text{ rev/min}$  ، وأوجد أيضاً سرعة النوران التى عندها يرتد المسمار من الوضع الخارجى إلى وضعه الداخلى ، وبين أن الحاكمة غير متزنة فى جميع الأوضاع . (U.Lond.)



شكل ٦ - ٥



شكل ٦ - أ

## الحل

عند سرعة 6600 rev/min :

$$F = 0.15 \left( \frac{2\pi}{60} \times 6600 \right)^2 \times 0.0015 \quad \text{القوة الطاردة المركزية هي :}$$

$$= 107.5 \text{ N} \quad \text{القوة الابتدائية في السوستة}$$

في الوضع الخارجى للمسمار :

$$107.5 + 0.005 \times 16 \times 10^3 = 187.5 \text{ N} \quad \text{قوة السوستة هي :}$$

وعلى ذلك فالمسمار الذى أصبح مركز ثقله يبعد 6.5 mm عن O سيتحرك للدخل عندما تنخفض القوة الطاردة المركزية عن قيمة القوة في السوستة ، وهى 187.5 N .

$$187.5 > 0.15 \left( \frac{2\pi}{60} N \right)^2 \times 0.0065 \quad \text{أى عندما تكون}$$

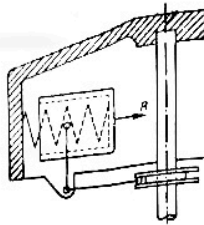
$$N < 4188 \text{ rev/min} \quad \text{أى عند}$$

في شكل ( ٦ - ٩ ) البيان نجد أن Ob, Oa يمثلان القوة الطاردة المركزية على المسمار لأنصاف أقطار مختلفة ، وللسرعيتين 6600 rev/min ، 4188 rev/min على الترتيب . ويتبين من البيان أنه عند 6600 rev/min تتفوق القوة الطاردة المركزية على قوة السوستة عند جميع أنصاف الأقطار ، بحيث يتحرك المسمار مباشرة لنهاية مشواره للخارج . وعند سرعة 4188 rev/min تتفوق قوة السوستة على قوة الطرد المركزية عند جميع أنصاف الأقطار ، بحيث يتحرك المسمار مباشرة لوضعه النهائى للدخل ، أى أن تركيبة الحاكمة غير متزنة في جميع الأوضاع .

مثال ٦ - ٩ : حاكمة طاردة مركزية محكومة بسوستة ، وذات كتلتين دوارتين ، كتلة كل منها 2.7 kg ومدى أنصاف أقطار دورانها 100 mm ، 125 mm كل كتلة تتصل بسوستة بينهما وبين الإطار المغنوى للحاكمة في شكل ( ٦ - ١٠ ) . كتراسة كل سوستة 7 kN/m ، والقوة في كل سوستة ، عندما تكون الكتلتان في وضعهما الأوسط ، هى : 350 N ، وبالإضافة إلى ذلك فهناك قوة مكافئة ثابتة وقطرية للدخل ، قيمتها R = 70 N ، وتؤثر على كل كتلة لتناظر وزن التركيبة .

بإهمال الاحتكاك ، أوجد مدى سرعة الحاكمة .

ما هى القوة اللازمة في كل سوستة ، عندما تكون الكتلتان في وضعهما الأوسط ، لعدم الاستقرار ، وما هى السرعة في هذه الحالة ؟  
(U.Lond.)



شكل ٦ - ١٠

الحل

إذا كانت  $P$  هي القوة الكلية المؤثرة نحو الداخل على كل كتلة دوارة ، فلاتوان :  
القوة الطاردة المركزية  $P = F$

أى أن :

$$2.7 \left( \frac{2\pi}{60} N \right)^2 \times r = P$$

$$N = 5.81 \sqrt{(P/r)}$$

أو

(١)

عند السرعة العظمى :

$$r = 0.125 \text{ m}$$

$$P = 70 + 350 + 7000 \times 0.0125 = 507.5 \text{ N}$$

$$\therefore N_1 = 5.81 \sqrt{(507.5/0.125)} = \underline{370 \text{ rev/min}}$$

عند السرعة الدنيا :

$$r = 0.1 \text{ m}$$

$$P = 70 + 350 - 7000 \times 0.0125 = 332.5 \text{ N}$$

$$\therefore N_2 = 5.81 \sqrt{(332.5/0.1)} = \underline{335 \text{ rev/min}}$$

شرط عدم الاستقرار أن تبقى  $N$  ثابتة ، بالرغم من تغير  $r$  ، وبالتالي فمن المعادلة (١) نجد أن النسبة  $P/r$  تبقى ثابتة .

إذا كانت  $S$  هي قوة السوستة المطلوبة في الوضع الأوسط ، فبمساواة قيمة  $P/r$  عند نصفى القطر 100 mm, 125 mm

$$\frac{70 + S + 7000 \times 0.0125}{0.125} = \frac{70 + S - 7000 \times 0.0125}{0.1}$$

$$S = \underline{717.5 \text{ N}}$$

وبنها

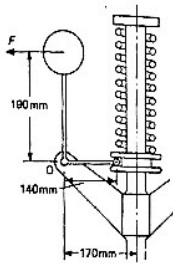
وبالتعويض في المعادلة (١) :

$$N = 5.81 \sqrt{\left( \frac{70 + 717.5 + 7000 \times 0.0125}{0.125} \right)} = \underline{486 \text{ rev/min}}$$

مثال ٦ - ٧ : حاكم من طراز هارتل ، فيها طول ذراع الكرة 190 mm وطول الذراع المتصل بالجلية 140 mm ، وكتلة كل كرة 2,7 kg ، ومركزا تاربع الزايفتين المرفقتين يبعد كل منهما عن محور الدوران 170 mm ، والسرعة عندما يكون ذراع الكرة رأسياً هي : 300 rev/min ، كما أنه يجب أن تزيد 0.6% لترتفع الجلية مسافة 12 mm .

(أ) بإهمال الأوزان الواقعة على الجلية ، أوجد الكتلة المطلوبة للسوستة ، والانضغاط الابتدائي المطلوب .

(ب) ما قيمة كزازة السوستة ، والانضغاط الابتدائي لتبقى السرعة كما هي مع تغير أوضاع الجلية (U.Lond.) ؟ أى أن تصبح الحاكم غير مستقر ؟



شكل ٦ - ١١

الحل

افرض أن  $P$  هي القوة التي تؤثر بها السوستة ، و  $F$  هي القوة الطاردة المركزية على كرة واحدة . بأخذ عزوم القوى حول  $O$  ، شكل ( ٦ - ١١ ) نجد أن :

$$F \times 0.19 = \frac{P}{2} \times 0.14$$

$$2.7 \left( \frac{2\pi}{60} N \right)^2 \times r \times 0.19 = \frac{P}{2} \times 0.14 \quad \text{أى أن :}$$

$$\therefore P = 0.0804 N^2 r$$

$$r = 0.17 \text{ m}$$

عند 300 rev/min

$$\therefore P_1 = 0.0804 \times 300^2 \times 0.17 = 1230 \text{ N}$$

عندما تزيد السرعة بنسبة 0.6% فإن :

$$N = 301.8 \text{ rev/min}$$

$$r = 0.17 + 0.012 \times 0.19/0.14 = 0.1863 \text{ m}$$

$$301.8 \text{ rev/min} \text{ عند سرعة } P_2 = 0.0804 \times 301.8^2 \times 0.1863 = 1364 \text{ N}$$

$$\frac{P_2 - P_1}{\text{الانضغاط في الوسوة}} = \frac{1364 - 1230}{0.012} = \frac{11160 \text{ N/m}}{\text{كثافة الوسوة}}$$

$$\frac{\text{القوة الابتدائية في الوسوة}}{\text{الكثافة}} = \frac{1230}{11160} = 0.11 \text{ m} = \text{الانضغاط الابتدائي}$$

شرط عدم الاستقرار ، أن تكون سرعة الاتزان ثابتة لجميع أنصاف أقطار الدوران ، إذا كانت  $P_3$  ،  $P_4$  هما فوق الوسوة ليحدث عدم استقرار ، ومنطرتين لأنصاف أقطار دوران 0.17 m ، 0.1863 m على التوالي ، فإن :

$$P_3 = 0.0804 \times 300^2 \times 0.17 = 1231 \text{ N}$$

$$P_4 = 0.0804 \times 300^2 \times 0.1863 = 1349 \text{ N}$$

وأيضاً

$$\frac{1349 - 1231}{0.012} = \frac{9830 \text{ N/m}}{\text{كثافة الوسوة هي :}}$$

$$\frac{1231}{9830} = 0.1252 \text{ m} = \text{الانضغاط الابتدائي هو :}$$

## مسائل

### Problems

١ - حاكمة من طراز « بورتر » فيها الذراعان العلوى والسفلى طول كل منهما 200 mm ، وكلاهما يميل بزاوية 30° على الرأسى عندما تكون الجلبة في وضعها الأدنى . ونقطتا التعليق تبعد كل منهما 36 mm عن محور الدوران ، وكتلة كل كربة دوارة 3 kg ، والنقل المحورى المؤثر على الجلبة 20 kg ، إذا كان مشوار الجلبة 36 mm ، فأوجد مدى سرعات الحاكمة . (U.Lond.)

( الجواب : 170.6 rev/min إلى 185.4 rev/min )

٢ - حاكمة من طراز « بورتر » ذات ذراعين متساويين ، و  $h$  هي المسافة الرأسية للكربتين من قمة الحاكمة ، و  $\omega$  سرعتها الزاوية . بين باستخدام المبادئ الأولية أن :

$$\frac{dh}{h} = -2 \frac{d\omega}{\omega}$$

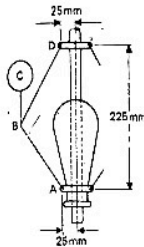
إذا كانت كتلة كل كربة 2 kg ،  $h = 200 \text{ mm}$  ، فأوجد قيمة الاحتكاك على الجلبة لمدى سرعات 160 rev/min ، 165 rev/min عند هذا الوضع . (U.Lond.)

( الجواب : 3.56 N )

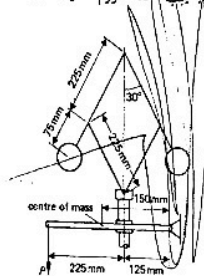
٣ - حاكمة من طراز ه بوتر ذات تركيبة مبينة في شكل (٦ - ١٢) ، والكتلتان المتوازيتان كل منهما 3 kg ، والجلبة التي كتلتها 1 kg تحرك الرافعة ، التي كتلتها 2 kg ومركز ثقلها في مركزها ، التي يجب أن تبذل جدياً P قدره 25 N ، والقوى الاحتكاكية ذات أثر يكافئ 18 N ، مؤثراً على الجلبة . أوجد الثقل المحوري الذي كتلته M . ويجب أن تحمل به الجلبة ، بحيث تصح الحاكمة وشبكة التحرك للخارج من الوضع المين عند 180 rev/min ، وأوجد السرعة التي عند تكون الحاكمة وشبكة التحرك للداخل من الوضع المين . التعابير الرياضية التي مستخدمتها يجب استنباطها . (U.Lond.)

( الجواب : 21.28 kg ; 171 rev/min )

ملحوظة : يجب أخذ العزم للقوى حول المفصلة العلوية للذراع العلوى .



شكل ٦ - ١٣



شكل ٦ - ١٢

٤ - عرّف للحاكمات ما يأتي : الحساسية ، الاتزان ، عدم الاستقرار .

في الحاكمة من طراز ه بويل المبينة في شكل (٦ - ١٣) ، الذراع ABC ، وصلة واحدة ، وكل كرية كتلتها 1.8 kg ، وأثر الاحتكاك يناظر قوة قدرها 9 N مؤثر على الجلبة .  
BD = 150 mm , BC = 50 mm , AB = 150 mm

أوجد قيمة الثقل المحوري اللازم وضعه على الجلبة ، إذا كانت الحاكمة ترتفع لوضعها الأوسط المين في الشكل عند سرعة 120 rev/min ، والجزء BC من النواع السفلى في الوضع الرأسى . وقوى الجاذبية الأرضية على الكريات يجب أخذها في الاعتبار . (U.Lond.)

( الجواب : 3.17 kg )

• - حاكمة ذات كريات وسوستة منضغطة رأسية تعمل عند سرعة متوسطة 180 rev./min ، والرافعة المرفقة ذات ذراعين طولها 150 mm ، 75 mm ، الكريتان المتوازيتان كتلة كل منها 2.75 kg ، ونصف قطر دوراتها 100 mm عند السرعة المتوسطة .

إذا كانت جلود سرعة الحاكمة عند السرعة المتوسطة هي  $1 \text{ rev/min} \pm$  ، فأوجد الاحتكاك عند الجلبة ، ( امل أثر الجاذبية على الكريات ) .

ما هي كفاءة السوستة المطلوبة لتضيق الحاكمة غير مستقرة ، إذا كان مجال حركة الجلبة هو  $12 \text{ mm} \pm$  من الوضع الأوسط ؟ ( افرض أن ذراع الكرية رأسى عند الوضع الأوسط ) .

(U.Lond.)

( الجواب :  $4.34 \text{ N}$  ;  $7.82 \text{ kN/m}$  )

٦- في حاكمة مقبلة بسوستة ومن طراز « هارتل » ، ذراعاً ترفعة الرقبة أفقى ورأسى عندما تكون الجلبة في وضعها الأوسط ، والذراع الأفقى  $150 \text{ mm}$  ، والذراع الرأسى  $190 \text{ mm}$  ، والمفصلة تبعد  $175 \text{ mm}$  عن المحور الرأسى للوران الحاكمة . والذراعان الرأسيان يحمل كل منهما كتلة  $5.5 \text{ kg}$  ، أوجد قوة السوستة المحورية إذا كانت أدنى وسأعلى سرعة للحاكمة هما :  $200 \text{ rev/min}$  ،  $180 \text{ rev/min}$  على الترتيب ، ومشوار الجلبة هو :  $24 \text{ mm}$  .

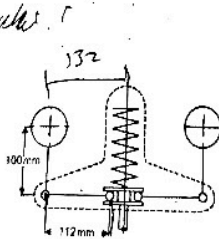
زيادة سرعة الحاكمة ، أضيق ثقل للجلبة بواسطة سوستة أخرى مثبتة في منتصف رافعة أفقية وتكون على رفة الجلبة بأحد طرفيها ، والطرف الآخر في مفصلة ، أوجد قوة هذه السوستة عندما تكون السرعتان العليا والدنيا هما :  $260 \text{ rev/min}$  ،  $230 \text{ rev/min}$  على الترتيب .

(U.Lond.)

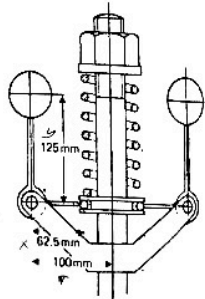
( الجواب :  $15.5 \text{ kN/m}$  ;  $50 \text{ kN/m}$  )

٧- حاكمة من طراز « هارتل » ذات مقاسات مينة في شكل ( ٦ - ١٤ ) ، تلور بسرعة متوسطة  $300 \text{ rev/min}$  كل كرية كتلتها  $2.3 \text{ kg}$  ، ويتسبب انخفاض سرعتها بنسبة  $3\%$  في تحريك الجلبة  $6 \text{ mm}$  ، وإذا كان ذراع الكرية رأسياً عند السرعة المتوسطة ، وتأثير عجلة الجاذبية مهملاً ، فأوجد كفاءة السوستة بوحدة  $\text{kN/m}$  ، امل كتلة الأذرع . وبين لأى مسافة يجب ربط صامولة الضبط لتصبح الحاكمة غير مستقرة ، وما هي سرعة دوران الحاكمة حينئذ ؟ (U.Lond.)

( الجواب :  $26.1 \text{ kN/m}$  ;  $15.17 \text{ mm}$  ;  $359 \text{ rev/min}$  )



شكل ٦ - ١٥



شكل ٦ - ١٤

٨ - بين أنه عند رسم العلاقة بين قيم القوة المسيطرة  $F$  ، ونصف قطر الدوران  $R$  لحاكمه ، فإن هذه الحاكمه تكون متزنة إذا كان ميل الخط البياني هذا عند أى نصف قطر ، أكبر من القيمة  $F/R$  المناظرة .

في حاكمه من طراز هارتسل ، الكتلتان الدورانان كتلة كل منهما  $1.8 \text{ kg}$  ، وطول ذراعي الرافعة المرفقية مبيان في شكل (٦ - ١٥) ، إذا كان المطلوب أن تكون السرعتان هما :  $295 \text{ rev/min}$  ،  $305 \text{ rev/min}$  ، عند نصفى قطر دوران  $132 \text{ mm}$  ،  $142 \text{ mm}$  على الترتيب ، فأوجد كزازة السوستة ، موضعاً العلاقة التي تربط بين  $R$  ،  $F$  . اعمل العزوم الناتجة عن دوران الكريات عندما تكون الأذرع القائمة غير رأسية .  
(U.Lond.)  
(الجواب :  $5.37 \text{ kN/m}$  ;  $F = 3430 R - 230 N$  ; حيث  $R$  بالمتر)

٩ - حاكمه من طراز هارتسل ، ذات كرتين دوارتين ، كتلة كل منهما  $2.7 \text{ kg}$  ، ونصف قطر دوران الكريات  $125 \text{ mm}$  في الوضع الأوسط ، والسرعة  $150 \text{ rev/min}$  ، أثناء تحرك الجلبة لأعلى . طول ذراع الكرية  $140 \text{ mm}$  ، وطول ذراع الجلبة  $90 \text{ mm}$  ، وكزازة السوستة  $7 \text{ kN/m}$  ، ومشوار الجلبة  $12 \text{ mm} \pm$  من وضعها الأوسط .  
باعتبار أن قوة احتكاك ثابتة  $14 \text{ N}$  تؤثر على الجلبة ، أوجد مدى سرعات الحاكمه في أدنى وأعلى وضعين للجلبة .  
اعمل ميول ذراعي الكرتين .

( الجواب :  $154.3 \text{ rev/min}$  إلى  $161 \text{ rev/min}$  ;  $122.5 \text{ rev/min}$  إلى  $133.6 \text{ rev/min}$  )  
١٠ - حاكمه مقيدة بسوستة لها كرتان ، كتلة كل منهما  $9 \text{ kg}$  ، مثبتتان على ذراعين ، طول كل منهما  $300 \text{ mm}$  ، والذراعان منفصلان على المحور الرأسى للحاكمه ، والكرتان مشدودتان لبعضهما بسوستين ، واحدة على كل جانب . والطول الحر للسوستة الواحدة  $200 \text{ mm}$  ، والسرعة الدنيا للحاكمه يجب أن تكون  $150 \text{ rev/min}$  عندما يكون نصف قطر الدوران  $150 \text{ mm}$  .  
أوجد الكزازة المطلوبة لكل سوستة ، آخذاً في الاعتبار وزن الكريات ، وكذا السرعة عندما يكون نصف قطر دوران الحاكمه هو :  $165 \text{ mm}$  .  
(U.Lond.)  
( الجواب :  $1.41 \text{ kN/m}$  ;  $161.5 \text{ rev/min}$  )

١١ - قارن وأظهر تباين وظيفتى الحاكمه والحداثة لحرك .  
في حاكمه تعمل بالطرد المركزي ، الكتلتان الدورانان قيمة كل منهما  $1.15 \text{ kg}$  ، وتدوران في دائرة قطرها  $175 \text{ mm}$  في وضعهما الأوسط . والسوستتان اللتان تتحركان وتصلان بين الكتلتين كزازة كل منهما  $875 \text{ N/m}$  ، ويحدث بهما امتطاط  $56 \text{ mm}$  عندما تكون الحاكمه عند وضعها الأوسط . أوجد سرعة الاتزان في هذا الوضع ، وكذلك في حالة دوران الكتلتين في دائرة قطرها  $225 \text{ mm}$  .  
(U.Lond.)  
( الجواب :  $297.5 \text{ rev/min}$  ;  $361 \text{ rev/min}$  )

١٢ - الحاكمة المبينة في شكل (٦ - ١٦) عندما تدور بسرعة  $300 \text{ rev/min}$  ، فإن الكتلتين B تدوران في دائرة قطرها  $225 \text{ mm}$  ، والجلبة S عند المصد جهة اليمين  $T_1$  ، وعند انخفاض السرعة إلى  $250 \text{ rev/min}$  تتحرك الجلبة  $40 \text{ mm}$  إلى المصد  $T_2$  جهة اليسار .

إذا كانت الموصلتان اللتان متصلان بين الكتلتين B كقارزة كل منهما  $750 \text{ N/m}$  ، فأوجد قيمة الكتلتين B والامتطاط في الموصلتين عندما تكون الجلبة عند المصد على اليسار . (U.Lond.)

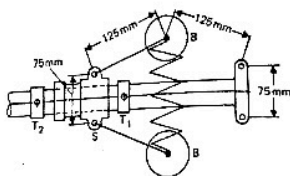
(الجواب :  $64.9 \text{ mm}$ ;  $1.69 \text{ kg}$ )

١٣ - حاكمة مقيدة بموسسة ، ولها كرتان ، كتلة كل منهما  $2.3 \text{ kg}$  ، والسرعة الوسطى يجب أن تكون  $500 \text{ rev/min}$  ، والتغير فيها  $2\% \pm$  ، ونصف قطر الدوران الأدنى والأعلى هما :  $110 \text{ mm}$  ،  $85 \text{ mm}$  .

أوجد القوة المسيطرة عند الكرتين في كل حالة .

إذا كان تأثير الاحتكاك  $45 \text{ N} \pm$  على كل كرية ، فأوجد أعلى وأدنى سرعة . (U.Lond.)

(الجواب :  $514.5 \text{ N}$ ;  $721.5 \text{ N}$ ;  $525 \text{ rev/min}$ ;  $468 \text{ rev/min}$ )



شكل ٦ - ١٦

١٤ - كتلة كل كرية ، في حاكمة مقيدة بموسسة ، هي :  $2.7 \text{ kg}$  ، وأكبر وأصغر أنصاف أقطار دوران هي :  $60 \text{ mm}$  ،  $100 \text{ mm}$  ، وتناظرها القوة المسيطرة على كل كرية بالقيمتين  $525 \text{ N}$  ،  $250 \text{ N}$  .

بفرض أن يباين القوة المسيطرة خط مستقيم ، أوجد سرعات الاتزان لأنصاف أقطار دوران  $110 \text{ mm}$  ،  $85 \text{ mm}$  .

إذا كان الاحتكاك في الحاكمة يكافئ قوة قدرها  $5 \text{ N}$  على كل كرية ، فما هما حدًا سرعة اتزان الحاكمة لنصف قطر دوران  $85 \text{ mm}$  ؟ (I.Mech.E.)

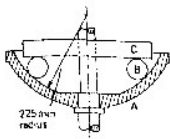
(الجواب :  $395 \text{ rev/min}$ ;  $390 \text{ rev/min}$ ;  $401 \text{ rev/min}$ ;  $392 \text{ rev/min}$ ;  $375 \text{ rev/min}$ )

١٥ - حاكمة مقيدة بموسسة ، ومبينة في شكل (٦ - ١٧) ، والكريتان كتلة كل منهما  $5.5 \text{ kg}$  ، متصلتان عرضيًا بموسستين A ، وهناك موسسة ثالثة B تؤثر بقوة إضافية على الجلبة

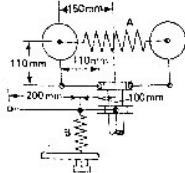
الأستوائية من خلال رافعة ترتكز مفصلياً عند نهايتها جهة اليسار . في الوضع الأوسط نصف قطر دوران كريات الحاكمة هو 150 mm ، والسرعة 600 rev/min ، والشد في كل من السوستين A عند هذا الوضع هو : 1100 N . أوجد الشد في السوستة الثالثة B حينئذ .

إذا تحركت الجلبة لأعلى مسافة 20 mm ، فإن السرعة تصبح 630 rev/min . أوجد الكروية المطلوبة للسوستة الثالثة B بوحدات N/m إذا كانت كروية كل سوستة A هي : 6 kN/m .

أعمل عزم القوة الناتج عن وزن الكرتين .  
( الجواب : 3.165 kN ; 39.4 kN/cm )



شكل ٦ - ١٨



شكل ٣ - ١٧

١٦ - الوعاء A المبين في شكل ( ٦ - ١٨ ) توجد به ثمانى كريات من الصلب B ، قطر كل منها 56 mm ، يستقر عليها القرص C الذى كتفه 22 kg . إذا كان السطح الداخلى للوعاء جزئياً من كرة نصف قطرها 225 mm ، فأوجد سرعة الدوران حول المحور الرأسى التى عندها تتحرك الكرات ، بحيث تقع محاورها على دائرة قطرها 265 mm .

(U.Lond.)  
كثافة الصلب 7.8 Mg/m<sup>3</sup> .

( الجواب : 172 rev/min )



# الفصل السابع

## الموازنة

### Balancing

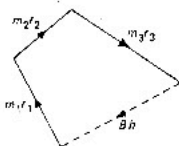
#### ٧ - ١ التوازن الإستاتيكي والديناميكي Static and dynamic balance

العمود الذي يحمل عدة كتل مختلفة المركز ، عندما يكون في حالة اتزان إستاتيكي ، فإن مركز الكتلة للمنظومة يقع على محور العمود ، بحيث يبقى العمود مع مجموعة الكتل المتصلة به في أي وضع يتاح له ، دون أن يتحرك . وعلى أي حال .. فعندما يدور العمود ، فإن الكتل تقع تحت تأثير القوى الطاردة المركزية ، وفي حالة عدم دوران هذه الكتل في نفس المستوى ، فإن العمود يتعرض أيضًا لتأثير العزوم . وعلى ذلك .. فلنحقق التوازن الديناميكي ، بالكامل ، (أ) يجب أن تكون محصلة القوى المؤثرة على العمود مساوية للصفر . (ب) كما يجب أيضًا أن تكون عاصمة العزوم مساوية للصفر .

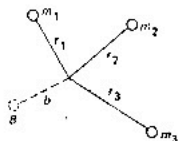
#### ٧ - ٢ موازنة الكتل الدوارة في نفس المستوى

##### Balancing of masses rotating in the same plane

إذا كانت  $m_1, m_2, m_3$  ، إلخ شكل (٧ - ١) تمثل الكتل غير المتوازنة ،  $r_1, r_2, r_3$  .. إلخ هي أنصاف أقطار دورانها على التوال ، فلنحقق التوازن الديناميكي يجب أن يكون مجموع الكميات الموجهة لقوى الطرد المركزي مساوية للصفر .



شكل ٧ - ٢



شكل ٧ - ١

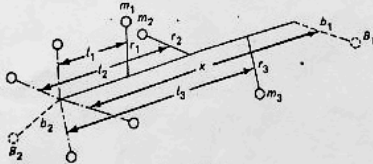
أى  $\Sigma m\omega^2 r = 0$  حيث  $\omega$  هي السرعة الزاوية للعمود  
أى  $\Sigma mr = 0$  إذ أن  $\omega^2$  هي نفسها بالنسبة لكل كتلة

وعلى ذلك .. فبرسم مضلع القوى ، بحيث تمثل أضلاعه حاصل ضرب الكتلة في الذراع  $m_1 r_1, m_2 r_2, \dots$  إلخ .. متتاراً واتجاهاً ، كما في شكل (٧ - ٢) ، فإن ضلع المغلقة يكون ممثلاً لحاصل ضرب كتلة الاتزان 'B' ، في نصف قطر الدوران 'b' .  
والشرط  $\Sigma mr = 0$  هو نفسه الشرط اللازم للاتزان الإستاتيكي .

### ٣ - ٧ موازنة الكتل الدوارة في مستويات مختلفة - طريقة ( دالبي )

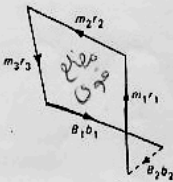
Balancing of masses rotating in different planes - Dalby's method

لو وضعت الكتل غير المتوازنة  $m_1, m_2, m_3 \dots$  إلخ ( شكل ٧ - ٣ ) على الأبعاد  $a_1, a_2, a_3 \dots$  إلخ من مستوى الإسناد ، فإن القوى  $m_1 r_1, m_2 r_2, \dots$  إلخ يمكن نقلها إلى مستوى الإسناد ، وذلك بإضافة العزوم ، ومقدارها  $m_1 r_1 a_1, m_2 r_2 a_2, \dots$  إلخ .. ، والتي تؤثر في المستويات التي تحوي القوى المناظرة ومحور العمود . ولكي يتم الاتزان ، يجب أن تكون محصلة القوى الواقعة في مستوى الإسناد مساوية للصفر ، أى أن  $\Sigma mr = 0$  ، وكذلك الحال بالنسبة للعزوم ، أى أن  $\Sigma mri = 0$



شكل ٧ - ٣

وبهذهن الشرطين يمكن إيجاد حاصل ضرب الكتلة في الذراع  $B_1 b_1, B_2 b_2$  اللازمين لتحقيق الاتزان . وبذلك يكون ضلع المغلقة في مضلع العزوم  $(mri)$  ، شكل (٧ - ٤) ، ممثلاً للعزم اللازم للاتزان مقداراً واتجاهاً ، أى  $B_1 b_1 x$  ، ويكون ضلع المغلقة في مضلع القوى  $(mr)$  ، شكل (٧ - ٥) ممثلاً في المقدار والاتجاه للقوة  $B_2 b_2$  ، المطلوب وضعها في مستوى الإسناد لتحقيق الاتزان .



شكل ٧ - ٥



شكل ٧ - ٤

وبم عادة اختيار مستوى الإسناد ، بحيث يكون عند مستوى دوران إحدى الكتلتين المدعومتين للموازنة ، وذلك للتخلص من تأثير العزم الذي تسببه تلك الكتلة .

والمتعاد عند رسم مضلع العزوم أن تكون المتجهات المثلثة لها في نفس اتجاه تأثير القوى المناظرة ، وذلك بدلا من أن تتعامد عليها في عكس اتجاه عقرب الساعة ، كما هو الحال عند اتباع القاعدة المتعارف عليها في تمثيل عزوم الأزواج بمتجهات . ويلاحظ أن شكل المضلع لن يتغير ، كما أن اضلاعه تصبح موازية لأضلاع مضلع القوى .

وعند اختيار مستوى الإسناد ليأخذ وضعه بين المستويات التي تدور فيها الكتل ، فإن متجهات العزوم التي تقع على أحد جانبي المستوى تُرسم في اتجاه نصف القطر إلى الخارج ، والتي تقع على الجانب الآخر تعتبر سالبة وتُرسم في اتجاه نصف القطر إلى الداخل .

عندما يكون عمود الإدارة غير متوازن إستاتيكيًا ، فإن عزم الأزواج غير المتزن يتغير تبعًا لوضع مستوى الإسناد . أما في حالة الاتزان الإستاتيكي ، أي عندما يكون مضلع القوى مغلقًا ، فإن العمود يتعرض لتأثير عزم هزاز لا يعتمد على اختيار وضع مستوى الإسناد .

وليس من المحتم أن يكون العمود المتوازن إستاتيكيًا متوازنًا ديناميكيًا ، ولكن إذا أُريد له التوازن الديناميكي ، فمن الضروري أن يكون في حالة اتزان إستاتيكي .

## ٧ - ٤ القوى الديناميكية عند المحامل Dynamic forces at bearings

إذا كان عمود الإدارة غير متوازن ، فيمكن إيجاد القوى الديناميكية المؤثرة على المحامل بتحديد كل من حاصل ضرب الكتلة في الفراغ  $B_2b_2$  ،  $B_1b_1$  ، اللازم تواجدهما عند المحامل ، وهما يمثلان القوى عندما تكون السرعة  $1 \text{ rad/s}$  ، والتي يجب أن تؤثر بها المحامل على العمود ليعتد في وضعه . أما القوى المؤثرة على المحامل ، فتكون في عكس الاتجاه . والقوى الفعلية عند السرعة  $\omega \text{ rad/s}$  تكون قيمتها  $B_2b_2\omega^2$  ،  $B_1b_1\omega^2$  .

وبالنسبة للعمود المتوازن إستاتيكيًا ، فإن عزم الأزواج الناتج يتسبب في إيجاد قوتين عمليتين متساويتين في المقدار ، ومتضادتين في الاتجاه .

## أمثلة Examples

مثال ٧ - ١ : عمود دوار يحمل أربع كتل A, B, C, D مثبتة به بإحكام ، وأبعاد مراكز الكتل عن محور الدوران هي 30 mm ، 36 mm ، 39 mm ، 33 mm على التوالي . والكتل A, C, D مقدارها على التوالي 7.5 kg ، 5kg ، 4kg والبعد بين الكتلتين A, B هو 400 mm ، وبين الكتلتين B, C هو 500 mm والافتراضية للكتلتين A, C متعامدتين .

لكي يتحقق الاتزان بالكامل أوجد : (أ) الزوايا بين A, B, D . (ب) البعد المحوري بين مستوي دوران C, D . (ج) مقدار الكتلة B . (د) London .

## الحل

في شكل (٧ - ٦) تم اختيار مستوى دوران الكتلة B كمستوى إمتداد ، حيث إنه يتوى على إحدى الكتل المجهولة المقدار ، واعتبرت الأبعاد المقاسة إلى يمين المستوى موجبة . واستخدمنا البيانات المعطاة يمكن تكوين الجدول الآتي :

| المسوى | m<br>(kg) | r<br>(mm) | mr<br>(kg mm) | l<br>(m) | mr l<br>(kg mm m) |
|--------|-----------|-----------|---------------|----------|-------------------|
| A      | 1.5       | 30        | 225           | -0.4     | -90               |
| B      | m         | 36        | 36m           | 0        | 0                 |
| C      | 5         | 39        | 195           | 0.5      | 97.5              |
| D      | 4         | 33        | 132           | 0.5+x    | 66+132x           |

ومن البيانات الموضحة في العمود (mr l) يمكن رسم مضملي العزوم الميّن في شكل (٧ - ٧) ، حيث يظهر عزم الكتلة A إلى أسفل لأنه سالب .

وبالقياس نجد أن الضلع المقابل

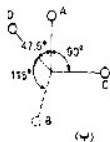
$$ad = 132.6 = 66 + 132x \text{ kg mm m}$$

$$x = 0.505 \text{ m}$$

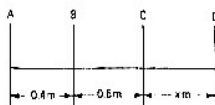
ومنها نجد أن :

$$\theta = 47.5^\circ$$

كما أن :



(ب)

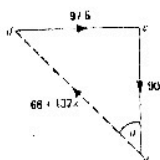


(ج)

شكل ٧ - ٦



شكل ٧



شكل ٧ - ٧

### الحل

في شكل (٧ - ٦) تم اختيار مستوى دوران الكتلة B كمستوى إمتداد ، حيث إنه يحوي على إحدى الكتل المجهولة المقدار ، واعتبرت الأبعاد المقاسة إلى يمين المستوى موجبة ، وبالمستخدم البيانات المعطاة يمكن تكوين الجدول الآتي :

| المسوى | m<br>(kg) | r<br>(mm) | mr<br>(kg mm) | f<br>(m) | mr/f<br>(kg mm m) |
|--------|-----------|-----------|---------------|----------|-------------------|
| A      | 7.5       | 30        | 225           | -0.4     | -90               |
| B      | m         | 36        | 36m           | 0        | 0                 |
| C      | 5         | 39        | 195           | 0.5      | 97.5              |
| D      | 4         | 33        | 132           | 0.5+x    | 66+132x           |

ومن البيانات الموضحة في العمود (mr/f) يمكن رسم مضلع العزوم المبين في شكل (٧ - ٧) ، حيث يظهر عزم الكتلة A إلى أسفل لأنه سالب .

وبالتقاسير نجد أن المضلع المتقابل

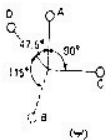
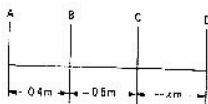
$$ad = 132 \cdot 6 = 66 + 132x \text{ kg mm m}$$

$$x = 0.505 \text{ m}$$

ومنها نجد أن :

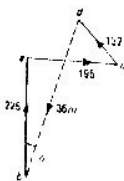
$$\theta = 47.5^\circ$$

كما أن :

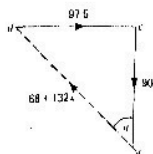


ج

شكل ٧ - ٦



شكل ٧ - ٧



شكل ٧ - ٨

بعد ذلك يمكن رسم مضع القوى الميّن في شكل (٧ - ٨) طبقاً للبيانات المذكورة في العمود  $m_r$  ، وبمعرفة اتجاهات القوى عند  $A, C, D$  .

وبالتفكير نجد أن المضع القائل

$$db = 330 = 36m \text{ kg mm}$$

$$\therefore m = 9.16 \text{ kg}$$

$$\phi = 17.5^\circ$$

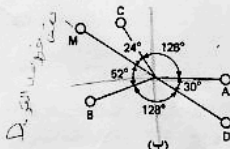
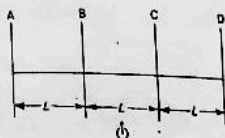
كما أن :

ومنها نجد أن الزاوية بين  $B, D$  هي :  $115^\circ$

ولوضاع الكتل بالنسبة لبعضها مينة في شكل (٧ - ٦ ب) .

مثال ٧ - ٧ : عمود دوار بسرعة منتظمة ، تتصل به أربعة أقراص  $A, B, C, D$  موزعة على أبعاد متساوية بطول العمود ، والكتل هي :  $7.5 \text{ kg}, 12.5 \text{ kg}, 7 \text{ kg}, 6 \text{ kg}$  على التوالي . وأبعاد مركز الكتلة عن محور الدوران هي :  $4 \text{ mm}, 3 \text{ mm}, 5 \text{ mm}, 8 \text{ mm}$  على الترتيب . ويمكن إضافة الكتلة  $M$  إلى القرص  $D$  بنصف قطر فعال قدره  $60 \text{ mm}$  بالنسبة لمحور الدوران .

أوجد قيمة الحد الأدنى للكتلة  $M$  ، والأوضاع الزاوية لمراكز جميع الكتل بالنسبة لبعضها لتحقيق الاتزان الديناميكي بالكامل للعمود الدوار . (U.Lond.)



شكل ٧ - ٩

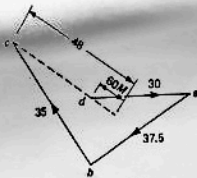
الحل

في شكل (٧ - ٩ أ) ، تم اختيار مستوى القرص  $D$  كمستوى إسناد . وباستخدام البيانات المعلقة يمكن تكوين الجدول الآتي :

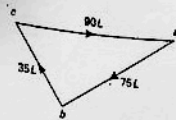
| المسوى | $m$<br>(kg) | $r$<br>(mm) | $mr$<br>(kg mm) | $l$<br>(m) | $mr l$<br>(kg mm m) |
|--------|-------------|-------------|-----------------|------------|---------------------|
| A      | 7.5         | 4           | 30              | 3L         | 90L                 |
| B      | 12.5        | 3           | 37.5            | 2L         | 75L                 |
| C      | 7           | 5           | 35              | L          | 35L                 |
| D      | 6           | 8           | 48              | 0          | 0                   |
| M      | 60          | 60          | 60M             | 0          | 0                   |

$$418460 \text{ mm} = 29.$$

من مضلع العزوم المبين في شكل (٧ - ١٠) يمكن إيجاد الانزياحات النسبية لكل المستويات A, B, C ، بعد ذلك يمكن رسم مضلع القوى ، شكل (٧ - ١١) ، ومنه يمكن إيجاد المحصلة حاصل ضرب الكتلة في الذراع ، والتي تقع في المستوى D .



شكل ٧ - ١١



شكل ٧ - ١٠

لا يمكن أن تكون قيمة  $M$  أقل ما يمكن ، يجب أن يأخذ خط تأثير القوة الناتجة منها نفس اتجاهه خط تأثير القوة الناتجة من الكتلة التي قيمتها  $6 \text{ kg}$  . وعلى ذلك .. فبالقياس نجد أن :

$$48 + 60M = cd = 29.6 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

$$\therefore M = -0.307 \text{ kg}$$

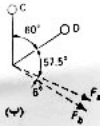
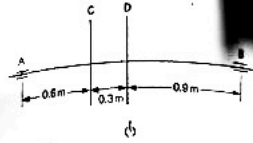
أي أن اتجاهها عكس اتجاه الكتلة  $6 \text{ kg}$  ، وبين شكل (٧ - ٩/ب) الأوضاع الزاوية للكتل بالنسبة لبعضها .

مثال ٧ - ٣ : عمود يدور بسرعة  $120 \text{ rev/min}$  ، ويرتكز على عمليتين A, B البعد بينهما  $1.8 \text{ m}$  ، والمحمل A عند الطرف الأيسر للعمود . وهناك كتلتان دوارتان غير متوازنتين  $10 \text{ kg}$  ،  $7.5 \text{ kg}$  عند نصف قطر  $75 \text{ mm}$  ،  $50 \text{ mm}$  على التوالي ، ووضع الكتلتين بين A, B ، ويبعدان عن A بمقدار  $0.9 \text{ m}$  ،  $0.6 \text{ m}$  على التوالي . والزاوية بين نصفي القطرين  $60^\circ$  عند النظر في اتجاه محور العمود .

أوجد القوى التي يؤثر بها العمود على المحملين مقداراً واتجهاً ، والتي تمثل التأثير المشترك للقوى الديناميكية والجاذبية ، وذلك عندما تكون الكتلة  $7.5 \text{ kg}$  في وضع رأسى فوق العمود ، بحيث تكون الكتلة  $10 \text{ kg}$  على يمينها عند النظر في الاتجاه من B إلى A . وضّح النتائج في المسقط الجانبي لالاتجاه BA . (U.Lond.)

الحل

في شكل (٧ - ١٢) تم اختيار المستوى المار بالنقطة A كمستوى إسناد . وباستخدام البيانات المعطاة يمكن تجميع الجدول الآتي :



شكل ٧-١٢

| المسوى | $m$<br>(kg) | $r$<br>(mm) | $mr$<br>(kg mm) | $I$<br>(m) | $mrI$<br>(kg mm m) |
|--------|-------------|-------------|-----------------|------------|--------------------|
| A      | —           | —           | $R_1$           | 0          | 0                  |
| B      | —           | —           | $R_2$           | 1.8        | $1.8R_2$           |
| C      | 7.5         | 75          | 562.5           | 0.6        | 337.5              |
| D      | 10          | 50          | 500             | 0.9        | 450                |

من مضلع العزوم المبين في شكل (٧-١٣) نجد أن :

$$1.8R_2 = 685 \text{ kg mm}$$

$$\therefore R_2 = 380 \text{ kg mm}$$

$\therefore$  القوة الديناميكية عند B هي :

$$R_2 \omega^2 = \frac{380}{1000} \times \left( \frac{2\pi}{60} \times 120 \right)^2 = 60 \text{ N}$$

ومن مضلع القوى ، شكل (٧-١٤) ، نجد أن :

$$R_1 = 545 \text{ kg mm}$$

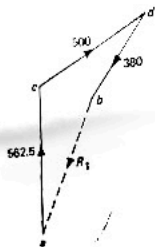
$\therefore$  القوة الديناميكية عند A هي :

$$R_1 \omega^2 = \frac{545}{1000} \times \left( \frac{2\pi}{60} \times 120 \right)^2 = 86 \text{ N}$$

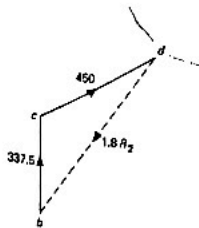
اتجاهات  $R_2$  ،  $R_1$  المبينة في مضلعي العزوم والقوى هي الاتجاهات اللازمة للاتزان ، وبذلك تكون القوى غير المتوازنة عند المحامل في عكس تلك الاتجاهات ، أى في الاتجاه  $ah$  ، شكل (٧-١٤) ، والاتجاه  $hul$  ، شكل (٧-١٣) :

القوة المؤثرة على المحمل B بسبب المحملة الساكنة هي :

$$\frac{7.5 \times 0.6 + 10 \times 0.9}{1.8} \times 9.81 = 71.9 \text{ N} \quad (\text{إلى أسفل})$$



شكل ١٤ - ٧



شكل ١٣ - ٧

والقوة المؤثرة على المحمل A بسبب الحمولة الساكنة هي :

$$17.5 \times 9.81 - 71.9 = 99.7 \text{ N (إلى أسفل)}$$

∴ محصلة القوة عند B هي :

$$F_b = 36 \text{ N}$$

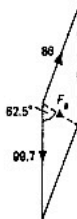
( شكل ١٥ - ٧ )

ومحصلة القوة عند A هي :

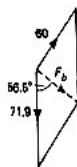
$$F_a = 39.2 \text{ N}$$

( شكل ١٦ - ٧ )

وانشاعات القوى مينة في شكل ( ٧ - ١٢ / ب )



شكل ١٦ - ٧

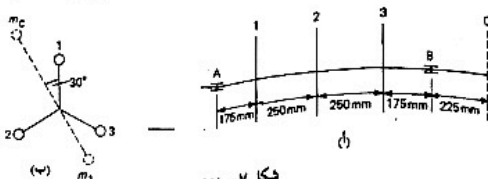


شكل ١٥ - ٧

مثال ٧ - ٤ : عمود مرفق صغير له ثلاثة أذرع ، طول كل منها 125 mm ، ونصنع مع بعضها زاوية 60° كما تتباعد بمساافات متساوية طول كل منها 250 mm . والأجزاء الدوارة عند نهاية كل ذراع متساوية في الكتلة ، وقيمتها 15 kg ، يرتكز العمود على عمليتين في وضع متناظر بالنسبة للأذرع ، والبعد بينهما 850 mm ، أوجد الأحمال الديناميكية على المحامل عند سرعة قدرها 500 rev/min .

إذا أريد موازنة العمود بواسطة كتلة بنصف قطر 187.5 mm تدور في مستوى الفراع رقم 1 .

دعامة بنصف قطر 250 mm مثبت في الحداثة المتصلة بالعمود على بعد 225 mm من الحمل الجاور للذراع رقم 3 ، فأوجد قيمة كتل الموازنة وأوضاعها الزاوية بالنسبة للذراع رقم 1 . (U.Lond.)



شكل ٧ - ١٧

## الحل

نظرًا لثبات أذرع المرفق ، فإن القوى تكون ل حالة اتزان .

تم اختيار المستوى المار بالنقطة A ، شكل ( ٧ - ١٧ ) كمستوى إسناد . وباستخدام البيانات المعطاه يمكن تجميع الجداول الآتي :

| المسوى | m<br>(kg) | r<br>(m) | mr<br>(kg m) | l<br>(m) | ml<br>(kg m <sup>2</sup> ) |
|--------|-----------|----------|--------------|----------|----------------------------|
| A      | —         | —        | R            | 0        | 0                          |
| 1      | 15        | 0.125    | 1.875        | 0.175    | 0.328                      |
| 2      | 15        | 0.125    | 1.875        | 0.425    | 0.797                      |
| 3      | 15        | 0.125    | 1.875        | 0.675    | 1.266                      |
| B      | —         | —        | R            | 0.850    | 0.85R                      |

من مضلع العزم ، شكل ( ٧ - ١٨ ) ، نجد أن :

$$0.85R = 0.8125 \text{ kg m}^2$$

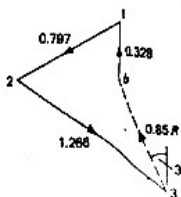
$$\therefore R = 0.9566 \text{ kg m}$$

∴ الحمل الديناميكي عند الحمل B هو :

$$0.956 \times \left( \frac{2\pi}{60} \times 500 \right)^2 = 2620 \text{ N}$$

الحمل الديناميكي على الحمل A يساوى الحمل على B في المقدار ول في عكس الاتجاه .

ولكى يزن العمود ، فإن العزم الناتج من كتلتى المستويين 1 ، C يجب أن يكون مساويًا للعزم الناتج من ردى الفعل عند الحملين .



شكل ٧ - ١٨

فإذا كانت  $F$  تمثل حاصل ضرب الكتلة في الممرار في المستويين  $I$  ،  $C$  وحيث إن البعد بين المستويين  $900 \text{ mm}$  ، إذن :

$$F = 0.8125 / 0.9 = 0.903 \text{ kgm}$$

$$m_1 = 0.903 / 0.1875 = \underline{4.815 \text{ kg}}$$

$$m_C = 0.903 / 0.25 = \underline{3.61 \text{ kg}}$$

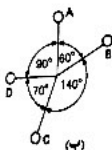
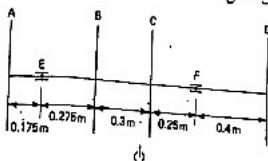
وفي المستوى  $C$  ،

وبين شكل (٧ - ١٧ ب) الأوضاع الزاوية لكل من الموازنة .

مثال ٧ - ٥ : عمود إدارة طوله  $1.4 \text{ m}$  يحمل أربعة أحمال خروجة المركز  $A, B, C, D$  ، متباعدة عن أحد الطرفين بالأبعاد  $0, 0.45, 0.75, 1.4 \text{ m}$  . وكتل الأحمال على الترتيب هي :  $7.5, 11, 15, 6 \text{ kg}$  ، واللاتمركزية هي :  $36, 48, 54, 96 \text{ mm}$  على التوالي . واتجاه اللاتمركز للأحمال  $B, C, D$  بالنسبة للحمل  $A$  هو :  $60, 200, 270^\circ$  ، ويرتكز العمود على محملين  $E, F$  بعناهما عن  $A$  هما :  $1.0 \text{ m}, 0.175 \text{ m}$  ، بحيث تقع  $E$  بين  $A, B$  .

(١) أوجد الحددين الأعلى والأدنى للقوى الرأسية المؤثرة على المحمل  $F$  عندما يلور العمود بسرعة  $90 \text{ rev/min}$  .

(ب) ما هي أقصى سرعة دوران للعمود ، بحيث تكون عندها المركبة الرأسية لحمولة المحمل  $F$  دائماً إلى أسفل ؟  
(U.Lond.)



شكل ٧ - ١٩

الحل

في شكل (٧ - ١٩ أ) نتم اختيار المستوى المار بالنقطة  $E$  كمستوى إسناد - وباستخدام البيانات المعطاة يمكن تجميع الجدول الآتي :

| المسوى | $m$<br>(kg) | $r$<br>(mm) | $mr$<br>(kg mm) | $l$<br>(m) | $mr l$<br>(kg mm m) |
|--------|-------------|-------------|-----------------|------------|---------------------|
| A      | 7.5         | 36          | 270             | 0.175      | -47.3               |
| E      | —           | —           | $R_E$           | 0          | 0                   |
| B      | 11          | 48          | 528             | 0.275      | 145.2               |
| C      | 15          | 54          | 810             | 0.575      | 465.8               |
| F      | —           | —           | $R_F$           | 0.825      | 0.825 $R_F$         |
| D      | 6           | 96          | 576             | 1.225      | 705.5               |

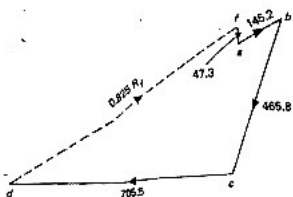
من مضلع العزوم ، شكل (٧ - ٢٠) ، نجد أن :

$$0.825 R_f = 848 \text{ kg mm}$$

$$\therefore R_f = 1028 \text{ kg mm}$$

رد الفعل الديناميكي عند F هو .

$$\frac{1028}{1000} \times \left( \frac{2\pi}{60} \times 90 \right)^2 = 91.3 \text{ N}$$



شكل ٧ - ٢٠

إذا كانت  $P_f$  هي رد الفعل الإستاتيكي عند F ، فبأخذ العزوم حول المستوى E نجد أن :

$$0.825 P_f + (7.5 \times 9.81 \times 0.175) = (11 \times 0.275 + 15 \times 0.575 + 6 \times 1.225) \times 9.81$$

ومنها نجد :

$$P_f = 210 \text{ N} \quad \text{إلى أسفل}$$

∴ الحد الأقصى للقوة الرأسية عند F هو :  $210 + 91.3 = 301.3 \text{ N}$

والحد الأدنى للقوة الرأسية عند F هو :  $210 - 91.3 = 118.7 \text{ N}$

ولكي تكون المركبة الرأسية للقوة عند F دائماً إلى أسفل فإن :

$$1.028 \times \left( \frac{2\pi}{60} N \right)^2 \leq 210$$

$$N \leq 136.5 \text{ rev/min}$$

أي أن :

مثال ٧ - ٦ : عمود إدارة طوله 1.3 m يحمل ثلاث عجلات غير متزنة ، A, B, C تباعد عن أحد طرفيه بمقدار 0.7, 1.3 m على التوالي . والكتل هي : 8, 10, 6 kg ، واختلاف مركز كل كتلة على الترتيب هو : 60, 50, 40 mm ، واتجاه اختلاف المركز لكل من الكتلتين B, C بالنسبة للكتلة A هو :  $60^\circ, 270^\circ$  على التوالي . ويرتكز العمود على محملين عند X, Y ، بعدهما عن A هو : 0.2 m, 1 m

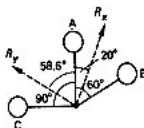
(أ) أوجد القوى المؤثرة على المحامل بمقدار واتجاهاً عندما يدور العمود بسرعة 90 rev/min .

(ب) كتلة براد ربطها في العجلة C عند نصف قطر 100 mm لجعل قوى الحملين متساوية ومتضادين . أوجد قيمة الكتلة المطلوبة ، والوضع الزاوي لها .

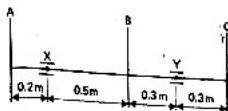
الحل

(أ) المستوى المار بالنقطة X ، شكل (٧ - ٢١) هو مستوى الإسناد . وباستخدام البيانات المعطاة يمكن تجميع الجدول الآتي :

| المحور | m<br>(kg) | r<br>(mm) | mr<br>(kg mm) | l<br>(m) | mr l<br>(kg mm m) |
|--------|-----------|-----------|---------------|----------|-------------------|
| A      | 8         | 60        | 480           | -0.2     | -96               |
| B      | 10        | 50        | 500           | 0.5      | 250               |
| C      | 6         | 40        | 240           | 1.1      | 264               |
| X      | —         | —         | $R_x$         | 0        | 0                 |
| Y      | —         | —         | $R_y$         | 0.8      | $0.8 R_y$         |



(ب)



(أ)

شكل ٧ - ٢١

من مضلع العزوم ، شكل (٧ - ٢٢) ، نجد أن :

$$0.8 R_y = 55.6 \text{ kg mm}$$

$$\therefore R_y = 69.6 \text{ kg mm}$$

$\therefore$  القوة الديناميكية عند Y هي :

$$R_y \omega^2 = \frac{69.6}{1000} \left( \frac{2\pi}{60} \times 90 \right)^2 = 6.18 \text{ N}$$

ومن مضلع القوى ، شكل (٧ - ٢٣) ، نجد أن :

$$R_x = 73.8 \text{ kg mm}$$

$\therefore$  القوة الديناميكية عند X هي :

$$R_x \omega^2 = \frac{73.8}{1000} \left( \frac{2\pi}{60} \times 90 \right)^2 = 6.56 \text{ N}$$

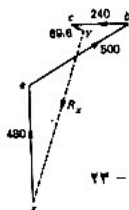
وانتهاءات القوى المؤثرة على الحمل مبينة في شكل (٧ - ٢١/ب) .

(ب) ولكن تكون القوى الحملية متساوية ، وفي عكس الاتجاه ، فإن القوى الموجودة المستويات A, B, C يجب أن تتوازن لتعطي عزماً هزازاً مخالفاً . ويتحقق ذلك بتحريك البكرة الأصلية إلى الوضع 'bc' ، كما في شكل (٧ - ٢٤) ، مما يتطلب إضافة المتجه 'cc' إلى البكرة bc.

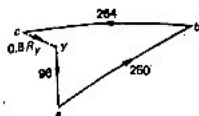
الرسم نجد أن :  $ce' = 755 \text{ kg mm}$

وبناء على ذلك : فإن الكتلة المطلوبة عند نصف قطر 100 mm هي :

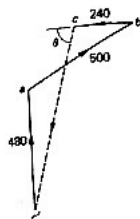
$$m = 755/100 = 7.55 \text{ kg}$$



شكل ٢٣ - ٧



شكل ٢٢ - ٧



شكل ٢٤ - ٧

واتجاه هذه الكتلة يميل بزاوية  $\theta$  ، وقدرها  $85^\circ$  على اللاتمركز الأصلي للعجلة C ، وفي عكس اتجاه عقرب الساعة .

## Problems

## مسائل

١ - قرصان متشابهان A, B رُكبا على عمود إدارة ، بحيث كان البعد بين مستويي دورانهما 200 mm ألحقت الكتلت C, D, E بالقرص A في الأوضاع المبينة بالجدول التالي :

|   | الكتلة<br>(Kg) | نصف القطر<br>(mm) | الوضع الزاوي<br>(بالدرجات) |
|---|----------------|-------------------|----------------------------|
| C | 2              | 100               | 0                          |
| D | 1.5            | 125               | 60                         |
| E | 3              | 87.5              | 135                        |

أوجد : (أ) القوة غير المتزنة المؤثرة على العمود ، إذا كانت سرعته 300 rev/min .

(ب) المقدار والوضع الزاوي لكتلة ألحقت بالقرص B ، عند نصف قطر 150 mm ، بحيث تجعل عملة القوة النصف قطرية مساوية للصفر . ما قيمة عزم الأزواج الموازن في الحالة (ب) عندما

تكون السرعة 120 rev/min ؟

(I.Mech.E.)

(الجواب : 11.51 Nm ; 252.73° ; 2.43 kg ; 360 N)

٢ - عمود إدارة يحمل ثلاث بكرات ، A, B, C ، بحيث كان البعد بين كل من البكرتين B, C عن البكرة A هو 2.1 m ، 1.2 m ، ومدى عدم اتزان البكرات على التوالي هو : 0.03, 0.05, 0.04 kg m . وهي مثبتة على العمود ، بحيث نجعله في حالة الاتزان إستاتيكي .

أوجد الأوضاع الزاوية لأنصاف الأقطار بالنسبة للبكرة A . وإذا ارتكز العمود على محملين ، البعد بينهما 1.8 m ، فأوجد الحمل الديناميكي عند كل محمل عندما يدور العمود بسرعة 300 rev/min . (I.Mech.E.)

(الجواب : 27.9 N ; 126.87° ; 270° ; B, C)

٣ - عمود إدارة ألحقت به أربع كتل بأنصاف أقطار متساوية ، ومستويات دوراتها متوازية . وهناك كتلة قدرها 12 kg في كل من المستويين الطرفيين اللذين يبعدان عن بعضهما بمسافة 2b ، المستويان البينيان يتباعدان بمقدار 2a ، وهما في وضع متماثل بالنسبة للمستويين الطرفيين ، وفي كل منهما كتلة قدرها 15 kg ، إذا تعامدت كتلتا المستويين البينيين ، فأوجد نسبة a إلى b ، والأوضاع الزاوية النسبية للكتل الأخرى ، بحيث يتحقق الاتزان بالكامل . (U.Lond.)

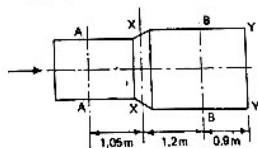
(الجواب : النسبة هي 0.53 ; والزاوية بين كل كتلة بينية ونظيرتها الطرفية 163°)

٤ - دوار تربية في حالة عدم اتزان معادلة لوجود كتلة 1.5 kg عند نصف قطر 0.45 m في المستوى AA ، وكتلة أخرى 2 kg عند نصف قطر 0.6 m في المستوى BB ، والوضع الزاوي النسبي بين الكتلتين مبين في المسقط الجانبي ، شكل (٧ - ٢٥) . والمطلوب موازنة هاتين الكتلتين بوضع كتلة في كل من المستويين XX, YY بنصفي قطر 0.45 m ، 0.525 m على التوالي . أوجد مقدار كتلتى الموازنة ، مبيتاً وضعهما في المسقط الجانبي بالنسبة للكتلة في A . (U.Glas.)

(الجواب : 1.42 kg , 209.27° ; 2.12 kg , 329.1° ; X, Y)



(ب)



(أ)

شكل ٧ - ٢٥

٥ - عضو دوار تم تصنيعه بطريقة الصلب ، وكتلته 225 kg ، ثم ركب على ذنبتين ، البعد بينهما 1.15 m ، تمهيداً لتشطيعه . وقد وجد أنه يتزن إستاتيكيًا بوضع كتلتين A, B في مستويين على جانبي المستوى المار بمركز كتلته ، ويبعدان عنه بمقدار 0.5m ، 0.4m على التوالي . والكتلتان A, B هما : 10 kg , 12 kg على التوالي ، ومركز كتلة إحداهما يتعامد مع مركز كتلة الأخرى بالنسبة لمحور

سروب ، وهما بنصفى قطر  $0.375\text{ m}$  ،  $0.45\text{ m}$  على التوالي .

أوجد قيمة الاختلاف في مركز كتلة المصوب ، ووضعه بالنسبة لاختلاف مركز الكتلة A ، وكذلك مقدار القوى المؤثرة على الذنبتين عندما يطور العضو بسرعة  $50\text{ rev/min}$  ، حاملًا للكتلتين A, B .  
(U.Lond.)

( الجواب :  $124.78^\circ$  ;  $68.2\text{ N}$  ;  $29.38\text{ mm}$  )

٦ - عمود إدارة أفقى يرتكز على محملين ، البعد بينهما  $1.2\text{ m}$  ، ويحمل كتلتين A, B ، كل منهما  $6\text{ kg}$  ، ويبعدان عن أحد المحملين بمقدار  $0.6\text{ m}$  ،  $0.3\text{ m}$  على التوالي . ويتحقق الاتزان الإستاتيكي بإضافة ثقل للموازنة ، كتلته  $5\text{ kg}$  بنصف قطر  $200\text{ mm}$  ، ويقع في منتصف البعد بين A, B . فإذا كان نصف قطر مركز الكتلة لكل من A, B هو :  $175\text{ mm}$  ،  $225\text{ mm}$  على التوالي ، فأوجد الأوضاع الزاوية النسبية للكتل الثلاث ، وكذلك قيمة العزم غير المتزن الذى يؤثر على المحملين عندما يطور العمود بسرعة  $100\text{ rev/min}$  .  
(U.Lond.)

( الجواب :  $130.7^\circ$  بين A, B ;  $129.57^\circ$  بين B وكتلة الموازنة ;  $36.2\text{ Nm}$  )

٧ - عمود إدارة يرتكز على محملين ، البعد بينهما  $2.4\text{ m}$  ، ويمتد لما بعد الحمل عند كل من طرفيه بمقدار  $0.6\text{ m}$  ، ويحمل العمود ثلاث بكرات ، واحدة منها عند كل طرف ، وواحدة عند منتصف طوله . والبكرات الطرفية كتلتها  $50\text{ kg}$  ،  $90\text{ kg}$  ، ومركز كتلة كل منها يبعد عن محور العمود بمقدار  $3.75\text{ mm}$  ،  $5\text{ mm}$  على التوالي . فإذا رقت البكرات ، بحيث يتحقق الاتزان الإستاتيكي ، فأوجد قوى الديناميكية المؤثرة على المحملين عندما يطور العمود بسرعة  $300\text{ rev/min}$  .  
(U.Lond.)

( الجواب :  $297.4\text{ N}$  )

٨ - أربع بكرات A, B, C, D مركبة على عمود إدارة . ونظرًا لعدم دقة التصنيع ، فإن مراكز كل البكرات لا تقع على محور العمود ، ولكنها مزاحة عنه قليلاً ، كما يتبين من الجدول الآتى :

| البكرة | الكتلة (kg) | بعد مركز الكتلة عن محور الدوران |
|--------|-------------|---------------------------------|
| A      | 500         | 7.5 mm                          |
| B      | 750         | 6.0 mm at $30^\circ$ to A       |
| C      | 750         | 6.0 mm at $90^\circ$ to A       |
| D      | 500         | 4.5 mm at $150^\circ$ to A      |

ويرتكز العمود على محملين عند F ، E ، وأوضاع البكرات والمحملين محددة بطول العمود ، بحيث  $AB = +0.6\text{ m}$  ،  $AC = +0.9\text{ m}$  ،  $AD = +1.5\text{ m}$  ،  $AE = +0.3\text{ m}$  ،  $AF = +1.2\text{ m}$  كانت دوائر المنظومة بسرعة  $300\text{ rev/min}$  ، فأوجد مقدار رد الفعل عند كل من المحملين بسبب عدم الاتزان ، مع تحديد اتجاه كل رد فعل بالنسبة للكرة A .  
(U.Lond.)

( الجواب :  $5.76\text{ kN}$  at  $198^\circ$  ;  $8.54\text{ kN}$  )

٩ - علم الاتزان لعضو دوار في ماكينة يعادل كتلة  $5\text{ kg}$  عند نصف قطر  $10\text{ mm}$  فى المستوى ، بالإضافة إلى كتلة أخرى مساوية فى المستوى B بنصف قطر  $15\text{ mm}$  ،  $AB = 375\text{ mm}$  ،

والزاوية بين نصفي القطرين  $120^\circ$  ، أوجد الكتلة المطلوبة في مستوى ثالث C عند نصف قطر 125 mm ، ووضعها الزاوي بالنسبة لنصفي القطر ل A, B ، بحيث تكون محصلة القوى غير المتزنة مساوية للصفر . أوجد أيضاً وضع المستوى C في اتجاه المحور لكي يكون العزم المتخلف أقل ما يمكن ، مع إيجاد قيمة هذا العزم عندما تكون السرعة 500 rev/min . (I.Mech.E.)

(الجواب : 50.5 Nm from A; 321.5 mm from A;  $260^\circ$  to A; 0.529 kg)

٩٠ - عمود مرفق به ثلاثة أذرع نصف قطر كل منها 150 mm ، والزاوية بين كل ذراع والآخر  $120^\circ$  ، كما تباعد عن بعضها بمسافات متساوية كل منها 500 mm ، والكتل الدوارة في نهاية كل ذراع هي : No. 1, 30 kg; No. 2, 40 kg; No. 3, 40 kg . المطلوب موازنته بمرتب كتلة في العصب الخارجي للذراع المرفق رقم 1 ، يبعد مركزها بمقدار 150 mm عن المستوى المنصف للمرفق ، ونصف قطر دورانه 225 mm ، وذلك بالإضافة إلى إزالة بعض المعدن عند نصف قطر 750 mm من عجلة مثبتة على بُعد يتعدى المستوى الأوسط للمرفق رقم 3 بمقدار 750 mm .

أوجد مقدار الكتل اللازم تركيبها أو إزالتها ، وأوضاعها الزاوية بالنسبة للمرفق رقم 1 . (U.Lond.)

(الجواب : الكتلة المزالة 3.8 kg ونصف قطرها يميل على المرفق رقم 1 بزاوية  $151.3^\circ$  ، والكتلة المضافة 7.49 kg ، ونصف قطرها يميل على المرفق رقم 1 بزاوية  $126^\circ$  )

٩١ - عمود إدارة يحمل ثلاث كتل دوارة A = 14 kg, B = 11 kg, C = 21 kg ، وبعد مراكز الكتل عن محور العمود هي : 275 mm, 400 mm, 150 mm على التوالي . والوضع الزاوي لكل من الكتلتين B, C بالنسبة للكتلة A هو على الترتيب :  $60^\circ$  ,  $135^\circ$  ، مقاساً في نفس الاتجاه . والبعد بين مستويي دوران B, C هو : 1.35 m ، وبين مستويي دوران A, C هو 3.6 m ، والكتلتان B, C على نفس الجانب بالنسبة للكتلة A .

والمطلوب تركيب كتلتين موازتين ، يبعد مركز كل منهما بمقدار 225 mm عن محور العمود ، وذلك في مستويي أحدهما في منتصف البعد بين مستويي A, B ، والآخر في منتصف البعد بين مستويي B, C . أوجد المقدار والوضع الزاوي بالنسبة لكتلة A لكل من كتلتين الموازتين . (U.Lond.)

(الجواب :

36.7 kg بين A, B وتميل على A بزاوية  $187^\circ$  ؛ 29.3 kg بين B, C وتميل بزاوية  $310^\circ$  على A)

٩٢ - عمود إدارة يحمل أربعة أقراص A, B, C, D ، كتلتها على الترتيب : 15 kg, 25 kg, 20 kg, 18 kg ، وتباعد عن بعضها بمقدار 300 mm, 375 mm, 225 mm على التوالي . ومركز الكتلة لكل من A, B, C يبعد عن محور الدوران بمقدار 36 mm, 12 mm, 18 mm على التوالي .

(أ) الأقراص الثلاثة A, B, C ثبتت أولاً على العمود في الأوضاع المذكورة ، وبشرط أن تتخذ مراكز الكتل الوضع الذي يؤدي إلى الاتزان الإستاتيكي . أوجد الأوضاع الزاوية النسبية لمراكز هذه الكتل .

(ب) بعد ذلك ركب القرص D على العمود في وضع يبطل حدوث عزم غير متزن . عندما يكون مستوى الإسناد ماراً بالقرص A فأوجد قيمة اللامتركز للقرص D ، ووضعه الزاوي بالنسبة لاختلاف مركز القرص A .  
(U.Lond.)

الجواب : (أ)  $C, 211.33^\circ, B, 141.1^\circ$  ، وذلك بالنسبة للقرص A ؛ (ب)  $(17.8 \text{ mm}, 14^\circ)$  .

١٣ - عمود لإدارة يحمل أربع عجلات A, B, C, D ، تتباعد كل منها عن الأخرى بمقدار 250 mm ، وقيم عدم الاتزان (mr) لكل من A, C هي على الترتيب :  $0.05 \text{ kg m}, 0.06 \text{ kg m}$  . وخط عدم اتزان C يميل بزاوية  $90^\circ$  على مثيله للعجلة A الذي يمكن اعتباره كأنه إسناد . ومدى عدم اتزان كل من B, D غير معلوم في البداية ، ولكن المعروف أن المنظومة بالكامل تتزن ديناميكياً بإضافة كتلة قدرها  $0.324 \text{ kg}$  للعجلة B عند نصف قطر 0.6m ، وبزاوية  $215^\circ$  بالنسبة لخط الإسناد ، بالإضافة إلى إزالة بعض المعدن من العجلة D كتلته  $0.08 \text{ kg}$  عند نصف قطر 0.45 m ، وبزاوية  $120^\circ$  .

أوجد قيم عدم الاتزان الابتدائي والنهائي لكل من B, D .  
(U.Lond.)

الجواب : « نهائي »  $0.081 \text{ kgm}, 202^\circ$  ؛ « ابتدائي »  $B, 0.117 \text{ kgm}, 44^\circ$  ؛  
« نهائي »  $D, 0.039 \text{ kgm}, 310^\circ$  ؛ « ابتدائي »  $D, 0.007 \text{ kg m}, 9.5^\circ$  .

١٤ - عمود يدور بسرعة منتظمة ، ويحمل قرصين منتظمين A, B ، وكتلتهما  $10 \text{ kg}, 8 \text{ kg}$  على التوالي . ومركز كتلة كل قرص يبعد عن محور الدوران بمقدار 2.5 mm ، ونصفا القطرين الماران بمركز الكتلتين متعامدان . ويرتكز العمود على محملين C, D بين A, B ، بحيث كان  $AC = 0.3 \text{ m}, AD = 0.9 \text{ m}, AB = 1.2 \text{ m}$  .

والمطلوب جعل التحميل الديناميكي على المحملين متساوياً وأقل ما يمكن عند أي سرعة للعمود ، وذلك بإضافة كتلة في المستوى E بنصف قطر 25 mm .

أوجد : (أ) مقدار الكتلة في المستوى E ، ووضعه الزاوي بالنسبة لنصف القطر المار بمركز الكتلة في المستوى A . (ب) بعد المستوى E عن المستوى A . (ج) التحميل الديناميكي لكل من المحملين عند إضافة الكتلة في المستوى E ، ومحوران العمود بسرعة  $200 \text{ rev/min}$  .  
(U.Lond.)

الجواب : التحميل في نفس الاتجاه  $0.3 \text{ kg}; 51.33^\circ; 1.965 \text{ m}; 6.97 \text{ N}$  ،

التحميل في عكس الاتجاه  $1.28 \text{ kg}; 141.33^\circ; 0.483 \text{ m}; 13.94 \text{ N}$  ،

(المجموعة الأولى من الأجوبة تعطى قيمة أقل للحد الأدنى للتحميل) .

# الفصل الثاني عشر

## Gear trains

## مجموعات التروس المعشقة

### Simple trains

### ١٢ - ٩ المجموعات البسيطة

في المجموعات البسيطة المبينة في شكل (١٢ - ١) ، نفرض أن

$N_B, N_A$  هما سرعة كل من B, A

$T_B, T_A$  هما عدد الأسنان في كل من B, A

$r_B, r_A$  هما نصف قطر دائرة الخطوة لكل من B, A

(١ - ١٢)

ففي المجموعة (أ) :

$$\frac{N_A}{N_B} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{r_B}{r_A}$$

(٢ - ١٢)

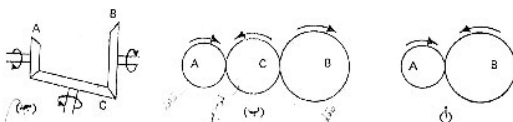
وفي المجموعة (ب) :

$$\frac{N_A}{N_B} = +\frac{T_B}{T_A} = +\frac{r_B}{r_A}$$

وفي المجموعة (ج) :

$$\frac{N_A}{N_B} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{r_B}{r_A}$$

الإشارات السالبة تدل على دوران B, A في اتجاهين متضادين .  
والعجلة البينية C ، شكل (١٢ - ١) (ب) ، (ج) لا تؤثر في نسبة السرعة بين B, A ، ولكنها تحدد اتجاه دوران العجلة B .



شكل ١٢ - ١

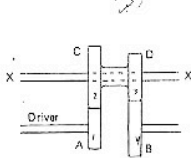
## ١٢ - ٢ المجموعات المركبة

Compound trains

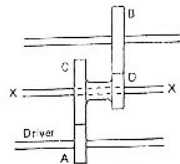
في المجموعات المركبة المبينة في شكل (١٢ - ٢) ، نجد أن العجلتين D, C متصلتان ببعضهما لتكوين عجلة مركبة تدور مع عمود الإدارة الأوسط ، XX

(١٢ - ٤)

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{T_C T_B}{T_A T_D} \quad \text{حيث}$$



(ب)



(أ)

شكل ١٢ - ٢

أى أن سرعة القائد = حاصل ضرب عدد أسنان التروس المقودة  
سرعة المقود = حاصل ضرب عدد أسنان التروس القائدة

وفي المجموعات المتحددة المحور ، كما في شكل (١٢ - ٢/ب) يجب أيضًا أن تتحقق المعادلة :

$$r_A + r_C = r_B + r_D$$

(١٢ - ٥)

$$\frac{m_1 T_A}{2} + \frac{m_1 T_C}{2} = \frac{m_2 T_B}{2} + \frac{m_2 T_D}{2} \quad \text{أى}$$

حيث :  $m_1$  ،  $m_2$  هما المقننان للعجلتين B, A على التوالي .

ويمكن بالتجربة إيجاد عدد الأسنان التي تتحقق بها المعادلتان (١٢ - ٤) ، (١٢ - ٥) .

الذكيرة

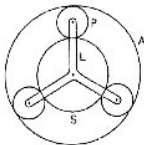
## ١٢ - ٣ مجموعات التروس الإيسيكليكية

بالرجوع إلى مجموعة التروس الإيسيكليكية المبينة في شكل (١٢ - ٣) ، نجد أن S هي العجلة الشمسية ، و A عبارة عن مسننة حلقيّة ، أسنانها من الداخل ، و P عجلة كوكبية يمكنها الدوران بحرية حول محور متصل بالذراع L ، والذراع L يدور بحرية حول محور دوران S .

إذا أريد إيجاد نسبة سرعة S إلى سرعة L ، عند تثبيت المسننة الحلقيّة A ، فيمكن استخدام الطريقة الآتية :

(أ) أدر كل عضو في المجموعة لفة كاملة في اتجاه دوران عقرب الساعة ( باعتباره موجباً ) ، أى نفعل أن المجموعة مغلقة بالكامل ، وأدبرت لفة واحدة .

(ب) ثبت الذراع L ، وأدر المسننة الحلقيّة لفة واحدة في عكس اتجاه دوران عقرب الساعة ، وبذلك تكون قد أهدأت إلى وضعها الأصل . وحيث إن الذراع قد تم تثبيته ، فإن العجلات المسننة A, P, S تشكل مجموعة تروس بسيطة ، وبذلك تكون عدد لفات كل من S, P ، نتيجة للدوران الترس A هي :  $1/8/1/1$  ،  $1/8/1/1$  على التوالي .



شكل ١٢ - ٣

(ج) اجمع عدد اللغات المناظرة لكل عضو في الخطوتين (أ) ، (ب) لإيجاد محصلة الحركة . وهذه الخطوات يمكن ترتيبها في صورة جدول كما يلي :

| L  | A  | P                     | S                     | (أ) أدر المجموعة بالكامل لغة واحدة في اتجاه عقرب الساعة |
|----|----|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------|
| +1 | +1 | +1                    | +1                    | (ب) ثبت الذراع L ، وأدر A لغة في عكس اتجاه عقرب الساعة  |
| 0  | -1 | $-\frac{T_A}{T_P}$    | $+\frac{T_A}{T_S}$    | (ج) محصلة الحركة = (أ) + (ب)                            |
| +1 | 0  | $1 - \frac{T_A}{T_P}$ | $1 + \frac{T_A}{T_S}$ |                                                         |

وبلاحظ أن السطر الأخير في الجدول يعطى الحركة النسبية لكل من الذراع ، والعجلة الشمسية ، وكذلك العجلة الكوكبية ، وذلك عند تثبيت المستنة الحلقية . وفي السطر (ب) ، تُعطى العجلة الثابتة لغة سالبة .

وفي حالة دوران كل أعضاء المجموعة ، يمكن تطوير الطريقة المذكورة بإعطاء المجموعة عدداً من اللغات  $+a$  ، وذلك في السطر (أ) . وفي السطر (ب) يتم تثبيت الذراع (إعطاء أى من العجلات عدداً من اللغات  $+b$  ، مع إيجاد عدد لغات العجلات الأخرى كما ذكر من قبل . ومحصلة الحركة الناتجة من جمع السطرين (أ) ، (ب) تكون بدلالة الثابتين  $a$  ،  $b$  اللذين يمكن إيجاد قيمة كل منهما معرفة سرعة عضوين من أعضاء المجموعة .

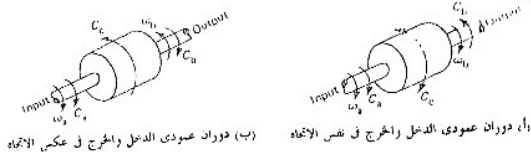
وعلى ذلك .. يمكن وضع هذه الخطوات في صورة جدول كالآتي :

| 1.   | A     | P                           | S                           | (أ) أدر المجموعة كلها عدداً من اللغات $+a$    |
|------|-------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| $+a$ | $+a$  | $+a$                        | $+a$                        | (ب) ثبت الذراع 1. وأدر A عدداً من اللغات $+b$ |
| 0    | $+b$  | $1 + \frac{T_A}{T_P} b$     | $1 + \frac{T_A}{T_S} b$     | (ج) محصلة الحركة                              |
| $+a$ | $a+b$ | $a + 1 + \frac{T_A}{T_P} b$ | $a + 1 + \frac{T_A}{T_S} b$ |                                               |

## ١٢ - ٤ عزوم الدوران المؤثرة على مجموعات التروس

### Torques on gear trains

في مجموعة التروس المتكاملة والمثبتة في أشكال ( ١٢ - ٤ ) ، افترض أن  $C_A$  ،  $C_B$  ،  $C_C$  هي على التوالي ، عزم دوران الدخيل ، والعزم المقاوم المؤثر على عمود الخرج ، ثم العزم لتثبيت علبة التروس . في حالة انعدام عجلة التسارع في المنظومة ، فإن صافي عزم الدوران المسلط على المجموعة



شكل ١٢ - ٤

المتكاملة حول أى محور يجب أن يكون مساوياً للصفر :

أى أن :  $C_A + C_B + C_C = 0$  (٦ - ١٢)

وبالمثل إذا انعدمت عجلة التسارع ، فإن طاقة الحركة للمنظومة تبقى ثابتة ، بحيث يكون صافي الشغل المبذول في الثانية مساوياً للصفر .

أى أن :  $C_A \omega_A + C_B \omega_B = 0$  (٧ - ١٢)

وفي المعادلتين (٦ - ١٢) ، (٧ - ١٢) يجب مراعاة إعطاء الإشارات المناسبة لكل من عزم الدوران والسرعات . ففي شكل (١٢ - ٤) نجد أن اتجاه عزم التثبيت  $C_C$  سوف يتوقف على المقادير النسبية لكل من  $C_A$  ،  $C_B$  .

إذا أخذ تأثير الاحتكاك في الاعتبار ، فإنه يمكن إيجاد الكفاءة  $\eta$  للمجموعة المتكاملة من العلاقة :

$$\eta = \frac{\text{قدرة الخرج}}{\text{قدرة الدخل}}$$

وبذلك تصبح المعادلة (٧ - ١٢) في الصورة الآتية :

(٨ - ١٢)  $\eta C_A \omega_A + C_B \omega_B = 0$

أ، حالة عدم تثبيت علية التروس ، فإن  $C_C$  تعتبر بمثابة لعزم الدخل أو عزم الخرج ، وتصبح المعادلة (٧ - ١٢) بالصورة الآتية :

(٩ - ١٢)  $C_A \omega_A + C_B \omega_B + C_C \omega_C = 0$

## ١٢ ٥ مجموعات التروس الإيسيكليكية المركبة

### Compound epicyclic trains

تتكون المجموعة المركبة الماركة من مجموعتين بسيطتين أو أكثر متحدة المحور ، أعضاؤها تشكل جزءاً من مجموعتين متتاليتين .

نأمل المجموعة الماركة المبينة في الشكل (١٢ - ٥) ، حيث نجد أن المسننة الحلقية  $A_2$  في المجموعة الأولى  $A_1 B_1$  تمثل أيضاً الذراع والمسننة المجموعة  $A_2 S_2 A_1$  . اعتبر  $A_2$  هو الترس الثابت . أولاً ، أولاً نسبة سرعة  $A_1$  إلى  $A_2$  عند تثبيت  $A_2$  ، وذلك على النحو التالي :

الثلث

١

)

-)

وه

ويتم

السرعة

أمثلة

مثال

عمود وسر

ونسبة سر

الصغيرين

البعد بين ال

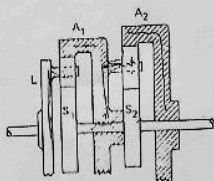
من المعاد

|    |                |                             |
|----|----------------|-----------------------------|
| L  | A <sub>1</sub> | S <sub>1</sub>              |
| +1 | +1             | +1                          |
| 0  | -1             | $+\frac{T_{A_1}}{T_{S_1}}$  |
| 1  | 0              | $1+\frac{T_{A_1}}{T_{S_1}}$ |

(أ) أدر المجموعة بالكامل لفة واحدة ( +1 )

(ب) ثبت L وأدر A<sub>1</sub> لفة سالبة ( -1 )

(ج) اجمع [ (أ) + (ب) ]



شكل ١٢ - ٥

وبذلك نجد أنه بنشيت A<sub>1</sub> :  $\frac{N_{S_1}}{N_{A_1}} = 1 + \frac{T_{A_1}}{T_{S_1}}$

بعد ذلك تأمل المجموعة بالكامل مع تثبيت A<sub>1</sub> كلواحد ، مستخدما النتيجة السابقة في السطر الثاني من الجدول الآتي عند تثبيت A<sub>1</sub> .

|                       |                |                               |                |
|-----------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
| 1.                    | A <sub>1</sub> | S <sub>1</sub> N <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> |
| 11                    | +1             | +1                            | +1 ( +1 )      |
| $T_{A_1}/T_{A_1}$     | 0              | $+\frac{T_{A_1}}{T_{S_1}}$    | -1             |
| $1 + T_{A_1}/T_{S_1}$ |                |                               |                |
| $T_{A_2}/T_{A_1}$     | 1              | $1 + \frac{T_{A_1}}{T_{S_1}}$ | 0              |
| $1 + T_{A_2}/T_{S_1}$ |                |                               |                |

(ب) ثبت A<sub>1</sub> ، وأدر A<sub>2</sub> لفة سالبة ( -1 )

(ج) اجمع [ (أ) + (ب) ]

$$\frac{N_{S_1}}{N_{A_1}} = \left( 1 + \frac{T_{A_1}/T_{S_1}}{1 + T_{A_2}/T_{S_2}} \right) \left( 1 + T_{A_2}/T_{S_2} \right)$$

ويتميز هذا الطراز من المجموعات عن المجموعات البسيطة بإمكانية الحصول على قيمة مختلفة لنسبة السرعة  $N_L/N_{S_1}$  ، إذا حُررت A<sub>2</sub> ، وتم تثبيت A<sub>1</sub> .

## Examples

## أمثلة

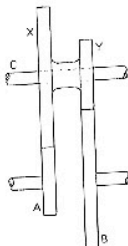
مثال ١٢ - ١ : عمودا دوران B,A على استقامة واحدة ، تم نقل الحركة بينهما عن طريق عمود وسيط C موازي لهما . التروس التي تصل بين C,A مقبها 2 ، والتي تصل بين B,C مقبها 3.5 ونسبة سرعة B إلى سرعة A تساوي أو أقل من 1/10 . فإذا كان عدد أسنان كل من الترسين الصغيرين 24 ، فأوجد العدد المناسب لأسنان التروس الأخرى ، والنسبة الفعلية للسرعة وكذلك البعد بين العمودين C,A . (I.Mech.E.)

\* من المعادلة ( ١٢ - ١٠ )

الحل

في شكل (١٢ - ٦) ،

$$\frac{N_A}{N_B} \geq 10$$



شكل ١٢ - ٦

كما أن :

$$T_A = T_Y = 24$$

أى أن :

$$\frac{T_X}{T_A} \frac{T_B}{T_Y} \geq 10$$

أى أن :

$$T_X T_B \geq 5760$$

(١)

$$r_A + r_X = r_B + r_Y$$

أى أن :

$$\frac{2T_A}{2} + \frac{2T_X}{2} = \frac{3.5T_B}{2} + \frac{3.5T_Y}{2}$$

أو

$$T_X - 1.75T_B = 18$$

وبناءً على ذلك .. فمن المعادلتين (١) ، (٢) نجد أن

$$T_X = 116 \text{ and } T_B = 56$$

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{116 \times 56}{24 \times 24} = 11.28$$

والبعد بين العمودين C, A هو :

$$r_A + r_X = \frac{2 \times 24}{2} + \frac{2 \times 116}{2} = 140 \text{ mm}$$

مثال ١٢ - ٢ : صنتوق تروس يُراد ترتيبه للحصول على أربع سرعات تُشكّل متوالية هندسية بالتقريب ، هل أن تكون إحدى هذه السرعات بالإدارة المباشرة . والقدرة المنقولة بواسطة عمود الإدارة 30 kW ، عند سرعة قلبها 2400 rev/min ، أما سرعة العمود المناول ، فهي 1600 rev/min تقريباً ، وسرعة العمود المدار في التعشيق البطيئة 400 rev/min تقريباً . والمسافة بين محوري عمود الإدارة والعمود المناول 180 mm ، ومقتن الأسنان كلها 6 .

(ب) ٤

(أ) أوجد عدد الأسنان اللازمة في كل زوج من التروس .

(ب) أوجد عزم إدارة العمود المدار ، وكذلك عزم التورن المؤثر على صندوق التروس في التعلقية البطيئة ، مع إهمال الفقد بالتواضع (U.Lond.)

الحل

(أ) بالرجوع إلى شكل (٧ - ٧٢) ، نجد أن :

$$T_A + T_B = T_C + T_D = T_E + T_F = T_G + T_H = 180 \times 2 \times \frac{1}{m}$$

$$\frac{180 \times 2}{6} = 60$$

كما أن :

$$\frac{T_B}{T_A} = \frac{T_K}{T_L} = \frac{2400}{1600}$$

$$\therefore T_A = T_L = 24 \quad \text{and} \quad T_B = T_K = 36$$

$$T_D = 400$$

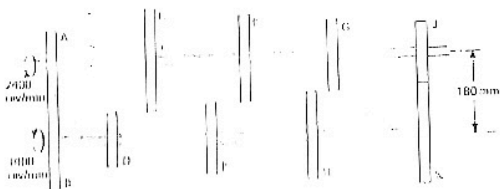
$$T_L = 1600$$

وبناءً على ذلك .. يمكن إيجاد النسبة المباشرة :  $\frac{1}{3}$  ، والعتالية المتناسبة من العلاقة :

$$\frac{1}{3} = \frac{1}{3}$$

$$e = \frac{1}{3} \times 6 = 1.817$$

ومنها نجد أن



شكل ٧ - ٧٢

$$T_1 = 1.817 \times \frac{1}{3} = 0.454$$

$$T_2 = 1.817 \times \frac{1}{3} = 0.454$$

$$T_3 = 41 \quad \text{and} \quad T_4 = 19$$

$$T_5 = 11 \quad \text{and} \quad T_6 = 27$$

(ب) عزم عمود الإدارة هو :

$$M = 10^3 \times 60 = 119.4 \text{ Nm}$$

$$\frac{2400}{400} \times 119.4 = 716.4 \text{ Nm}$$

وعزم العمود المدار هو :

والمعزوم المؤثره على المجموعة المتكاملة تماثل نظيرتها المبينة في شكل (١٢ - ٤/٤) . وعلى ذلك .. إذا كان : ١ : عبارة عن المعزوم المؤثر على صندوق التروس ، فإن :

$$119.4 + C_G - 716.4 = 0$$

(١) من اتجاه عزم عمود الإدارة )  $C_G = 597 \text{ Nm}$

مسألة ١٢ - ٣ : مجموعة تروس إيسيكيتية فيها عجلة مستننة خشبية عدد أسنانها 30 ، وعجلتان كوكبيتان عدد أسنان كل منهما 50 ، محشفتان مع الأسنان الداخلية لمستنة حلقية ثابتة . وعمود إدارة الدخول الذي يحمل العجلة الشمسية ينقل 4 kW عند سرعة قدرها 300 rev/min ؛ أما عمود الخرج ، فيتصل بلشراع يحمل العجلتين الكوكبيتين .

فما هي سرعة عمود الخرج ، وما مقدار عزم الإدارة المتفوق إذا كانت الكفاءة الكلية ٩9.5% وإذا أديرت المستنة الحلقية دون قيد ، فما هي السرعة التي تُدار بها ، والتي تؤدي إلى دوران عمود الخرج بسرعة 10 rev/min ؟ (U.Lond.)

الحل

بالرجوع إلى شكل (١٢ - ٣) نجد أن :

$$r_A = 2r_F + r_S$$

$$T_A = 2T_F + T_S$$

أي أن

$$= 2 \times 50 + 30 = 130$$

| L  | A   | P                  | S                  | (أ) أدر المجموعة بالكامل عدداً من اللفات الموجبة (+n) |
|----|-----|--------------------|--------------------|-------------------------------------------------------|
| +a | +a  | +a                 | +a                 |                                                       |
| 0  | +b  | $+\frac{130}{50}b$ | $-\frac{130}{30}b$ | (ب) ثبت الشراع L ، وأدر A عدداً من اللفات (+b)        |
| +a | a+b | $a+\frac{13}{5}b$  | $a-\frac{13}{3}b$  | (ج) اجمع (أ) + (ب)                                    |

عند تثبيت المستنة الحلقية A ، ودوران العجلة الشمسية S بسرعة 300 rev/min نجد أن :

$$N_A = a + b = 0$$

$$N_S = a - \frac{13}{3}b = 300$$

ب أن

ومن هاتين المعادلتين نجد أن :

$$a = 900/16 \text{ and } b = -900/16$$

∴ سرعة عمود الخرج ١. هي :

$$a = 900/16 = +56.26 \text{ rev/min}$$

( وفي نفس اتجاه دوران عمود الدخول )

$$0.95 \times 4 \times 1000 \text{ W}$$

قدرة الخرج هي :

انزياحهما /min  
 ينقل آخر للحاج  
 أقصى سرعة الحاد  
 عن محور دوران  
 الرافعة الطرفية الآ  
 ف = عند الجلبة ،  
 الحكمة عندما يكر  
 كتلة كل كرية توا  
 دوران ، بينما التراء  
 كانت الأذرع العا

وعندما يدور عمود الخرج  $A$  بسرعة  $10 \text{ rev/min}$  ، وتدور العجلة الشمسية  $S$  بسرعة  $300 \text{ rev/min}$  ، نجد أن :

$$N_S = a + \frac{1}{b} \cdot 300$$

$$N_L = a = 10$$

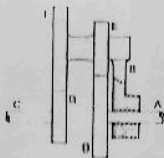
$$\therefore b = 870/13$$

$\therefore$  سرعة المستنة الحلقية  $A$  هي :

$$a + b = 10 + 870/13 = 56.9 \text{ rev/min}$$

( ولى عكس اتجاه دوران عمود الدخيل )

مثال ١٢ - ٤ : يبين شكل ( ١٢ - ٨ ) مجموعة تروس إيسيكليكية ، فيها الترس  $D$  في حالة سكون مع عمود الإدارة  $A$  ، والذراع  $B$  يدور بسرعة  $200 \text{ rev/min}$  ، والترسان  $F, E$  كجزء



شكل ١٢ ٨

واحد يدور بحرية حول محور ترماله الذراع  $A$  ، أما الترس  $C$  ، فهو مثبت بإحكام في عمود الإدارة  $C$  .

أوجد سرعة العمود  $C$  ، مع ذكر اتجاه الدوران بالنسبة للذراع  $B$  .

أعداد أسنان التروس هي :  $B, 30; F, 40; C, 30$  .

إذا كانت القدرة المنقولة بالمجموعة هي  $7.5 \text{ KW}$  ، فما هو عزم الإدارة اللازم لفيت العمود  $A$  ، مع إهمال الفقد الاحتكاكي ؟ (U.Lond.)

الحل

$$T_B + T_C = T_D + T_A$$

$$\therefore T_B + T_C = T_D + T_A \quad (\text{ويفترض تساوي الخطوط})$$

$$T_B + 20 = 30 + 40$$

أى أن

$$\therefore T_B = 30$$

(أ) أدر المجموعة بالكامل لغة موجبة (+1) :

(ب) ثبت الذراع  $B$  ، وأدر  $A$  لغة سالبة (-1) :

(ج) اجمع (أ) + (ب) :

(د) اضرب (ج) في 200

| B    | C, G                                | F, E            | A, D |
|------|-------------------------------------|-----------------|------|
| +1   | +1                                  | +1              | +1   |
| 0    | $\frac{50 \times 40}{20 \times 30}$ | $\frac{50}{20}$ | 1    |
| +1   | 7                                   | -               | 0    |
| +200 | -466.7                              | -               | 0    |

السرعة هي  $-466.7 \text{ rev/min}$  ( في عكس اتجاه دوران B )

و مرم دوران الدخل هو :

$$C_B = \frac{\text{power}}{\omega} = \frac{7.5 \times 10^3 \times 60}{2\pi \times 2000} = 358 \text{ N m}$$

أي أن صافي الشغل المبذول يساوى صفراً ، فإن :

$$C_C N_C + C_B N_B = 0$$

$$\therefore C_C = -\frac{N_B}{N_C} C_B = -\left(-\frac{3}{7}\right) \times 358$$

$$= +153.5 \text{ N m} \quad ( \text{ في نفس اتجاه } C_B )$$

ونظراً لانعدام عجلة التسارع ، فإن :

$$C_A + C_B + C_C = 0$$

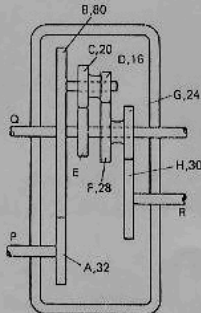
$$C_A + 358 + 153.5 = 0$$

أي أن :

$$\therefore C_A = -511.5 \text{ N m} \quad ( \text{ في عكس اتجاه } C_B )$$

مثال ١٢ - ٥ : ثبت الصندوق في مجموعة الإدارة بالتروس المبينة في شكل ( ١٢ - ٩ ) .

يدور الترس B بحرية حول عمود الإدارة Q ، كما أنه يعمل محوراً حول المعجلتان C,D كجزء واحد . والترسان F,G يدوران معاً بحرية حول العمود Q . وخطوة الأسنان متساوية في جميع التروس ، وعدد أسنان كل ترس مبينة في الشكل ، فيما عدا الترس E المثبت في العمود Q .



شكل ١٢ - ٩

إذا دار العمود P بسرعة  $200 \text{ rev/min}$  ، فأوجد سرعة واتجاه دوران العمود Q في حالتين :

(أ) عند تثبيت R . (ب) عند دوران R بسرعة  $100 \text{ rev/min}$  في نفس اتجاه دوران P .

(U.Land.)

كل

يدور  
الترس  
إد  
القدر

$$T_E = 28 + 16 - 20 = 24$$

الترسان A, H لا يجوز اعتبارهما كجزء من المجموعة الإيسيكليكية ، ويجب معالجتهما على حدة .

$$N_B = -\frac{T_A}{T_B} N_A = -\frac{32}{80} \times 200 = -80$$

$$N_G = -\frac{T_H}{T_G} N_H = -\frac{30}{24} \times N_H = -\frac{5}{4} N_H$$

يعتبر الترس B هو النزاع في المجموعة الإيسيكليكية .

|    |                    |                                       |      |
|----|--------------------|---------------------------------------|------|
| B  | C, D               | E, Q                                  | F, G |
| +a | +a                 | +a                                    | +a   |
| 0  | $-\frac{28}{16}b$  | $+\frac{28 \times 20}{16 \times 24}b$ | +b   |
| +a | $a - \frac{7}{4}b$ | $a + \frac{35}{24}b$                  | a+b  |

(أ) أدر المجموعة بالكامل عدداً من اللغات (a)

(ب) ثبت النزاع ، وأدر 12 عدداً من اللغات (b)

(ج) اجمع [ (أ) + (ب) ]

$$a = 80 \quad \text{عند تثبيت R}$$

$$a + b = 0$$

$$\therefore b = -80$$

$$\therefore N_G = -80 + \frac{35}{24} \times 80 = 36.7 \text{ rev/min} \quad (\text{في نفس اتجاه P})$$

(ب) عند دوران R بسرعة 100 rev/min :

$$N_G = \frac{5}{4} \times 100 = 125 \text{ rev/min}$$

$$a = 80$$

$$a + b = 125$$

$$\therefore b = 45$$

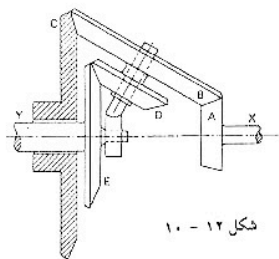
$$\therefore N_G = -80 + \frac{35}{24} \times 45 = 145.6 \text{ rev/min} \quad (\text{في عكس اتجاه A})$$

مثال ١٢ - ١١ : المجموعة التروس المبينة في شكل ( ١٢ - ١٠ ) ، ثبتت العجلة المستنتة C ، وعمود الإدارة هو X ، والعجلة المركبة HD تدور حول عمود يمكنه الدوران بحرية حول محور كل من X, Y .

بين أنه : (أ) إذا كانت نسبة عدد الأسنان  $T_B/T_C$  أكبر من  $T_C/T_H$  ، فإن الترس E سوف يدور في نفس اتجاه دوران الترس A . (ب) إذا كانت النسبة  $T_B/T_H$  أقل من  $T_C/T_H$  ، فإن اتجاه الترس E سوف يعكس .

إذا كان عدد الأسنان : التروس A, B, C, D, E, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z : 17, 60, 75, 19, 25 وكانت القدرة المسلطة على العمود X هي 1.5 kW ، حدد سرعة دوران الخرج

الملتصقة على العمود Y ، وما هي القوى ( المماسية لكل مخروط خطوة ) ، والمؤثرة عند نقط التماس بين العجلتين D,E ، وكذلك بين العجلتين B,C ، إذا كان متوسط القطر في كل من B,D هو 300 mm ، 95 mm على التوالي . (U.Lond.)



شكل ١٢ - ١٠

الحل

| الدراع | E, Y                                  | C  | B, D | A, X                  |
|--------|---------------------------------------|----|------|-----------------------|
| +1     | +1                                    | +1 | +1   | +1 (+1)               |
| 0      | $-\frac{T_C}{T_B} \frac{T_D}{T_E}$    | -1 |      | $+\frac{T_C}{T_A}$    |
| +1     | $1 - \frac{T_C}{T_B} \frac{T_D}{T_E}$ | 0  |      | $1 + \frac{T_C}{T_A}$ |

(أ) أدر المجموعة بالكامل لفة واحدة موجبة (+1)  
 (ب) ثبت الذراع ، وأدر C لفة سالبة (-1)  
 (ج) اجمع [ (أ) + (ب) ]

فإذا كانت  $1 - \frac{T_C}{T_B} \frac{T_D}{T_E}$  مقداراً موجباً ، فإن الترس E يكون دورانه في نفس اتجاه دوران A

أى أن :  $1 > \frac{T_C}{T_B} \frac{T_D}{T_E}$

أو  $\frac{T_B}{T_D} > \frac{T_C}{T_E}$

وإذا كانت  $1 - \frac{T_C}{T_B} \frac{T_D}{T_E}$  مقداراً سالباً ، فإن الترس E يكون دورانه في عكس اتجاه دوران A

أى أن :  $1 < \frac{T_C}{T_B} \frac{T_D}{T_E}$

أو  $\frac{T_B}{T_D} < \frac{T_C}{T_E}$

$$\frac{N_Y}{N_A} = \left( 1 - \frac{T_C}{T_B} \frac{T_D}{T_E} \right) / \left( 1 + \frac{T_C}{T_A} \right) = \left( 1 - \frac{75}{60} \frac{19}{25} \right) / \left( 1 + \frac{75}{17} \right) = \frac{1}{108.2}$$

سر  
العج  
، F  
تقوم  
عموداً  
(أ)  
(ب)  
يؤدي  
/min  
الح  
لا  
على انفر

$$C_x = \frac{7.5 \times 10^3 \times 60}{2\pi \times 500} = 143.3 \text{ N m} \quad \text{وإن الدحل هو :}$$

حيث إن صافي الشغل المبذول يساوى الصفر ، فإن :

$$C_y N_y + C_x N_x = 0$$

أي أن عزم دوران المخرج هو :

$$C_y = -108.2 \times 143.3 = -15500 \text{ N m}$$

ونظرًا لانعدام عجلة التسارع ، فإن :

$$C_x + C_c + C_y = 0$$

$$143.3 + C_c - 15500 = 0$$

أي أن :

$$C_c = 15357 \text{ N m}$$

$$\frac{T_c}{T_B} \times B = \text{متوسط قطر } C$$

$$375 \text{ mm} = \frac{75}{60} \times 300$$

وحيث إن إجمال عزم الدوران  $C_c$  يكون مساهمًا على الترس C ، فإن :

$$\frac{C_c}{r_c} = \frac{15500 \times 2}{0.375} \text{ N} = 82.6 \text{ kN} \quad \text{القوة بين B,C هي :}$$

ومتوسط قطر الترس E هو :

$$\frac{T_E}{T_D} \times D = \text{متوسط قطر } D \quad \frac{25}{19} \times 95 = 125 \text{ mm}$$

وحيث إن إجمال عزم الدوران  $C_c$  يكون مساهمًا على الترس E ، فإن :

$$\frac{C_c}{r_c} = \frac{15500 \times 2}{0.125} \text{ N} = 248 \text{ kN} \quad \text{القوة بين D,E هي :}$$

مثال ١٢ - ٧ : في مجموعة التروس المبينة في شكل ( ١٢ - ١١ ) ، يدور عمود الإدارة X

بسرعة 2400 rev/min وينقل الحركة إلى الترس المخروطي B بواسطة الترس الصغير A . وتدور العجلة المركبة EC بحرية حول محور مثبت في الترس B . والعجلة C معشقة مع D ، والعجلة E مع F ، والعجلتان F,D متحركتان مع العجلة B . والعجلة F ثابتة ، والعجلة K المتصلة بالعجلة D تقوم بنقل الحركة إلى الترس L المثبت في العمود Z . وهناك ثلاث مجموعات من العجلات C-E محمولة على محاور موزعة بانتظام على الترس B . وعدد الأسنان هو :

A, 18; B, 60; C = D = 22; E, 23; F, 21; K, 19; L, 64

( أ ) أوجد سرعة العمود Z ..

( ب ) إذا أُريد تعديل المجموعة باستبدال العجلتين E,F بعجلتين مختلفتين متساويتي الخطوة ، بحيث يؤدي ذلك إلى عكس اتجاه دوران العمود Z ، وبحيث تتراوح سرعته بين 35 rev/min ، فأوجد عدد الأسنان للعجلتين الجديتين F,E ( U.Lond. ، معدلة ) .

الحل

لا يجوز اعتبار أي من العجلتين A, L كجزء من مجموعة التروس الإيسيكليكية ، ويجب معاملتهما

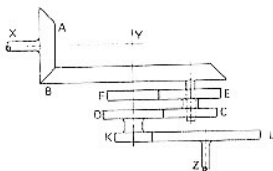
علىفراد .

الظواهر الأساسية في ميكانيكا الآلات

$$N_B = \frac{T_A}{T_B} N_A = \frac{18}{60} \times 2400 = 720 \text{ rev/min}$$

$$N_Z = -N_K \times \frac{19}{64}$$

ب أن :



شكل ١٢ - ١١

| B    | E, C                  | F  | D, K                                     |                                           |
|------|-----------------------|----|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| +1   | +1                    | +1 | +1                                       | (أ) أدر المجموعة بالكامل لفة موجبة (+1)   |
| 0    | $+\frac{T_F}{T_E}$    | -1 | $-\frac{T_F}{T_E} \frac{22}{22}$         | (ب) ثبت الذراع B ، وأدر 1° لفة سالبة (-1) |
| +1   | $1 + \frac{T_F}{T_E}$ | 0  | $1 - \frac{T_F}{T_E}$                    | (ج) اجمع [ (أ) + (ب) ]                    |
| +720 | —                     | —  | $720 \left( 1 - \frac{T_F}{T_E} \right)$ | (د) اضرب (ج) في 720                       |

$$T_F = 21 \text{ and } T_E = 23 \quad (1)$$

$$N_K = 720 \left( 1 - \frac{21}{23} \right) = 62.6 \text{ rev/min}$$

$$\therefore N_Z = -62.6 \times \frac{19}{64} = -18.6 \text{ rev/min} \quad (\text{في عكس اتجاه B})$$

$$N_Z = -720 \left( 1 - \frac{T_F}{T_E} \right) \times \frac{19}{64} = n \quad (\text{ب})$$

$$35 < n < 45 \quad \text{حيث}$$

$$(1) \quad \frac{T_2}{T_1} = 1 + 0.00468 n \quad \text{أن أن :}$$

$$(2) \quad T_F + T_E = 23 + 21 = 44 \quad \text{ب أن أن :}$$

ومن المعادلتين (١) و (٢) ، أن :

$$T_1 = 21$$

$$T_E = \frac{44}{2 + 0.164} = 20.3$$

$$n = 35$$

$$T_F = \frac{44}{2 + 0.211} = 19.1$$

$$n = 45$$

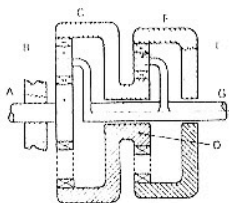
$$\therefore T_E = 20 \text{ and } T_F = 24$$

مثال ١٢ - ٨ : يبين شكل (١٢ - ١٢) مجموعة تروس إيسيكليّة مركبة ، حيث D, C عبارة عن عجلة مركبة تدور بحرية على العمود G . والعجلتان الكوكبيتان E, B تدور كل منهما حول محور مثبت في ذراع يتصل بالعمود G . والعجلتان F, C مستنّتان من الداخل ، أما العجلات الأخرى ، فأسنانها خارجية . وفيما يلي عدد الأسنان : A, 40; B, 30; D, 50; E, 20 . إذا دار A بسرعة 500 rev/min ، وكانت العجلة F ثابتة ، فأوجد سرعة العمود G .

(U.Lond.)

### الحل

هذه مجموعة مركبة بمعنى أن هناك ذراعين يحملهما عمود إدارة واحد . ويمكن أن يتم الحل باستخدام جدول واحد ، كما أتبع من قبل ، حيث إنه عند تثبيت الذراعين في الخطوة الثانية من الجدول ، تتحول المجموعة إلى مجموعة بسيطة . ويلاحظ أن سرعات التروس الكوكبية لا علاقة لها بالحل ، ويمكن إغفال ذكرها في الجدول .



شكل ١٢ - ١٢

$$r_3 = r_D + 2r_2$$

$$T_3 = 50 + 2 \times 20 = 90$$

أى أن :

$$T_1 = 100$$

وبالتل فإن :

| G    | A                                      | F  | C, D             |
|------|----------------------------------------|----|------------------|
| +1   | +1                                     | +1 | +1               |
| 0    | $-\frac{90}{50} \times \frac{100}{40}$ | -1 | $+\frac{90}{50}$ |
| +1   | -3.5                                   | 0  | +2.8             |
| -143 | 500                                    |    |                  |

(أ) أدر المجموعة بالكامل لفة موجبة (1)

(ب) ثبت العمود G ، وأدر F لفة سالبة (1)

(ج) اجمع (أ) + (ب)

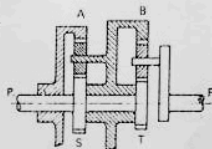
(د) اضرب (ج) في  $-\frac{500}{3.5}$

سرعة G هي : -143 rev/min (في عكس اتجاه دوران A)

- 6-2524

مسألة ١٢ : ٩ : في مجموعة التروس الأيسيكليكية المبينة في شكل ( ١٢ - ١٣ ) ، يتدار الآلة ١٢٠٠ rev/min . اتجاه دوران عقرب الساعة بسرعة ١٢٠٠ rev/min ، بينما تدار المسننة الحلقية A في عكس اتجاه دوران عقرب الساعة بسرعة ٦٠٠ rev/min ؛ أوجد السرعة ، واتجاه الدوران لكل من المسننة A و B وعمود الإدارة R .

• عدد أسنان التروس المختلفة كما يلي : S, 30, A, 100, T, 25, B, 75 (U.Lond.)



شكل ١٢ - ١٣

الحل

نأمل أولاً المجموعة R, B, T لإيجاد نسبة سرعة R إلى T عند تثبيت B .

| R  | B  | T                |
|----|----|------------------|
| +1 | +1 | +1               |
| 0  | -1 | $+\frac{75}{25}$ |
| +1 | 0  | +4               |

(أ) أدر المجموعة لفة موجبة (+1)  
 (ب) ثبت الذراع R ، وأدر B لفة سالبة (-1)  
 (ج) اجمع [ (أ) + (ب) ]

وعلى ذلك .. فعند تثبيت B نجد أن :

$$(١) \quad N_R = \frac{1}{4} N_T$$

الآن نأمل المجموعة بالكامل على أساس أن B هو الذراع ، مع استخدام نسبة سرعة R إلى T التي ..... إلّا، لنكملة الجدول . ونظرًا لعدم وجود أى عضو ثابت في المجموعة ، فتعطى المجموعة عددًا ..... من اللفات ، وليكن +a

| B  | A   | P, S, T             | R                                     |
|----|-----|---------------------|---------------------------------------|
| +a | +a  | +a                  | +a                                    |
| 0  | +b  | $-\frac{100}{30}b$  | $-\frac{1}{4} \times \frac{100}{30}b$ |
| a  | a+b | $a - \frac{10}{3}b$ | $a - \frac{5}{6}b$                    |

(أ) أدر المجموعة عددًا من اللفات (+a)  
 (ب) ثبت الذراع B ، وأدر A عددًا من اللفات (+b)  
 (ج) اجمع [ (أ) + (ب) ]

$$N_P = a - \frac{10}{3}b = 1200$$

وبناء على ذلك ... فإن :

$$N_A = a + b = 600$$



إذا أريد للعمود Z أن يدور بسرعة 640 rev/min على وجه الدقة ، وبسرعة أقرب ما تكون إلى 480 rev/min ، فأوجد العدد المناسب لأسنان كل ترس ، وكذلك السرعة البطيئة الفعلية للعمود Z. (U.Lond.)

( الجواب : 486 rev/min : F, 28; E, 17; D, 25; C, 20; B, 25; A, 20 )

٤ صندوق تروس عدلة لخفض السرعة على مرحلتين ، فيه العمود الأول والثالث على استقامة واحدة ، والنسبة الكلية لخفض السرعة هي 10:1 تقريباً . مقنن ترسي السرعة العالية 5 ، وترسي السرعة البطيئة 8 ، ولا يقل عدد الأسنان في أي ترس عن 20 . فأوجد البعد المناسب بين محوري العمودين الأول والثاني ، وكذلك عدد الأسنان في كل ترس ، والتي تتفق مع البيانات المذكورة . ما هي النسبة الفعلية لخفض السرعة ؟ (I.Mech.E.)

( الجواب : 1:9.5 : D, 65; C, 20; B, 104; A, 32; 340 mm )

٥ - مجموعة تروس إيسيكليكية بها مسننة حلقة ثابتة C ، متحدة المحور مع عجلة شمسية A . وهناك عجلة كوكبية B ممتشقة مع كل من C, A ، ويمكنها أن تدور بحرية حول محور يحملة الذراع D الذي يدور حول محور دوران C, A ، إذا علمنا أن عدد أسنان الترسين A, C هو  $T_1, T_2$  على التوالي ، فوضح أن نسبة سرعة D إلى A هي  $T_1/(T_1 + T_2)$  . وإذا كان أقل عدد ممكن من الأسنان في أي ترس  $T_1 + T_2 = 120, 18$  فأوجد أكبر وأقل سرعة للذراع D عندما يدور الترس A بسرعة 500 rev/min (U.Lond.)

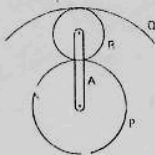
( الجواب : 175; 75 rev/min )

٦ - في مجموعة التروس الإيسيكليكية المبينة في شكل (١٢ - ١٥) ، ركب الترس الصغير B ، والمسننتان الحلقيتان E, F على العمود O ، كل على حدة ، بينما يشكل الترسان C, D عجلة مركبة تدور حول المحور P الذي يتصل بالذراع A . والعجلات المسننة B, C, D لها نفس الخطوة ، وعدد أسنانها على التوالي هو : 15, 30, 25

( أ ) لو تم تثبيت العجلة E ، فما هي نسبة سرعة F إلى سرعة B

(ب) لو تم تثبيت العجلة B ، فما هي نسبة سرعة كل من E, F إلى سرعة A (I.Mech.E)

( الجواب : 1:56; 6:5; 33:28 )



٧ - بين شكل ( ١٢ - ١٦ ) مجموعة تروس إيسيكليكية فيها عدد أسنان العجلة 45, P ، و 15mm ، وهي ممسكة مع Q عن طريق العجلة الوسيطة R المتصلة بنهاية الذراع A . والمطلوب أن تدور المسننة الحلقية Q بسرعة 21 rev/min في عكس اتجاه دوران عقرب الساعة ، وذلك عندما تدور العجلة P بسرعة 63 rev/min في اتجاه دوران عقرب الساعة ، وتدور العجلة A بسرعة 9 rev/min في نفس اتجاه عقرب الساعة أيضاً .  
أوجد العدد المناسب للأسنان في كل من العجلتين Q, R ، وكذلك قطر دائرة الخطوة للترس Q . (U.Lond.)

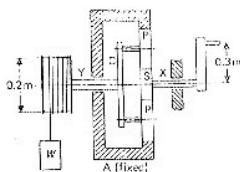
( الجواب : 81; 18; 386.9 mm )

A - في مجموعة التروس الإيسيكليكية المبينة في شكل ( ١٢ - ١٦ ) ، قطر دائرة الخطوة في المسننة الخارجية Q 250mm تقريباً . ومقر أسنانها 4 . ثبتت الحلقة Q ، ولكن التركيب ذات الأذرع الشعاعية A التي تحمل التروس الكوكبية R تُراد لها أن تدور لفة واحدة كلما دار العمود الدخول للترس P خمس لفات ، وفي نفس الاتجاه . أوجد العدد المناسب لأسنان كل ترس . (U.Lond.)

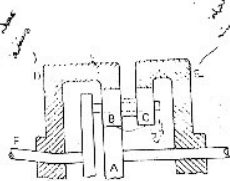
( الجواب : 64; 16; 24 )

٨ - في مجموعة التروس الإيسيكليكية المبينة في شكل ( ١٢ - ١٧ ) إذا دار الترس A بسرعة 1000 rev/min في اتجاه عقرب الساعة ، بينما دار الترس B في عكس الاتجاه بسرعة 500 rev/min فأوجد سرعة واتجاه دوران كل من المسننة الحلقية D ، وعمود الإدارة F . كل التروس لها نفس الخطوة ، وعدد أسنانها كما يلي : A:30; B:20; E:80 .  
(U.Lond.)

( الجواب : في اتجاه عقرب الساعة 40 rev/min ، في عكس اتجاه عقرب الساعة 372 rev/min )



شكل ١٢ - ١٨



شكل ١٢ - ١٧

٩٠ - آلة الرفع التي تدار باليد ، والمبينة في شكل ( ١٢ - ١٨ ) تعمل باستخدام مجموعة تروس إيسيكليكية فيها العجلة الشمسية S تتصل بإحكام بالعمود X الذي ينتهي بمقبض التشغيل . أما حامل التروس الكوكبية C فيتصل بإحكام بالعمود Y الذي يعمل بدوره دائرة لف الحبل . والمسننة الحلقية A في حالة سكون . فإذا كان عدد أسنان الحلقة 90 ، فأوجد عدد أسنان كل من العجلة الشمسية والعجلات الكوكبية ، بحيث تكون القوة المناسبة المسطلة على مقبض التشغيل أقل من الثقل المطلوب رفعه بمقدار 25 مرة . (U.Lond.)

( الجواب : 12; 39 )

١١ - في مجموعة تروس إيسيكليكية من الطراز ذي العجلتين الشمسية والكوكبية ، قطر دائرة الخطوة المستنتة الحلقية هو 220 mm على وجه التقريب ، ومقنن الأسنان 4 ، عند تثبيت المستنتة الحلقية ، فإن الترتيبة ذات الأذرع الشعاعية المتساوية الثلاثة ، والتي تحمل التروس الكوكبية ، تتور لفة واحدة مقابل كل خمس لفات ، يتورها العمود الحامل للعجلة الشمسية . أوجد العدد المناسب لأسنان التروس ، وقطر دائرة خطوة العجلة بالضبط .

وإذا سلط عزم دوران مقداره 12 Nm على عمود الإدارة الحامل للعجلة الشمسية ، فما هو عزم الإدارة المطلوب لتثبيت المستنتة الحلقية ؟ (U.Lond.)

( الجواب : 56, 21, 14; 224 mm; 48 Nm )

١٢ مجموعة تروس إيسيكليكية تتكون من عجلتين شمسيتين  $S_1$  ،  $S_2$  ، عدد أسنانها 24, 28 على التوالي ، تم تعشيقهما مع عجلة كوكبية مركبة عدد أسنانها 26, 22 . الترس  $S_1$  مثبت بإحكام على العمود المقتاد ، أما الترس  $S_2$  ، فهو ترس ثابت متعمد محور مع العمود المذكور . والعجلة الكوكبية يحملها ذراع يتصل بعمود الإدارة . أوجد نسبة السرعة في المجموعة . وإذا كانت القدرة المنقولة هي 750 W ، وسرعة الخرج 100 rev/min ، فما هو العزم اللازم لتثبيت  $S_2$  ؟ (U.Lond.)

( الجواب : -2.64; 1; 98.7 Nm )

١٣ مجموعة تروس إيسيكليكية تتكون من عجلة شمسية عدد أسنانها 24 ، وعجلات كوكبية عدد أسنان كل منها 28 ، ومستنتة حلقية ثابتة . مع إهمال تأثير الاحتكاك ، أوجد العزم المطلوب لجعل الحلقية في حالة مسكون عندما تكون القدرة المنقولة 9 kW ، وسرعة دوران العجلة الشمسية 700 rev/min .

وإذا كان مقنن الأسنان 4 ، فما هو قطر الدائرة التي تتحرك عليها مراكز العجلات الكوكبية ؟

( الجواب : 409 Nm, 208 mm )

١٤ - في مجموعة التروس الإيسيكليكية المبينة في الشكل ( ١١ - ١٩ ) يتور العمود A بـ سرعة 1000 rev/min في اتجاه دوران عقرب الساعة ، بينما يتور العمود B بـ سرعة 500 rev/min في عكس اتجاه عقرب الساعة . وعزم الدخل عند العمود B هو 50 Nm . أوجد (أ) سرعة واتجاه دوران العمود C ، (ب) عزم إدارة العمودين A, C ، مع ذكر نوعية هذه العزوم إن كانت عزوم دخل أو خرج بالنسبة للمنظومة .

جميع الأسنان ذات مقنن واحد ، وعدد أسنان التروس المختلفة كما يلي :

D, 16; E, 24; F, 43; H, 35; K, 30

(U.Lond.)

(الجواب استخراج : 2060 rev/min ، دخل A, 22.9 Nm ، في اتجاه عقرب الساعة 2060 rev/min)