الفصل الأول

1

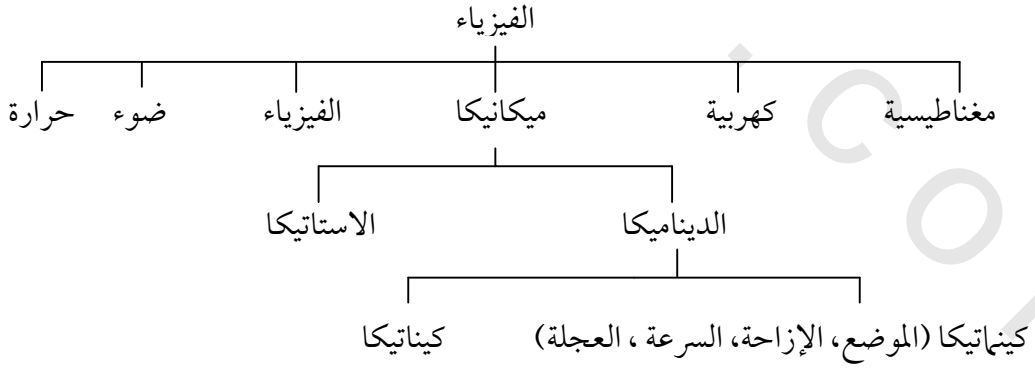
مقدمة

الكينماتيكا

الكينماتيكا، أو علم الحركة المجردة، هي فرع من الميكانيكا، والتي هي بدورها فرع من الفيزياء . الميكانيكا تتعامل مع الحركة، الكتلة، القوة، وتأثير القوى على الأجسام، وتقسم بشكل عام إلى قسمين: الديناميكا والاستاتيكا.

الاستاتيكا تتعامل مع القوى المؤثرة على الأجسام في حالة السكون، بينما تتعامل الديناميكا مع الحركة و تأثير القوى على الأجسام في حالة الحركة .

تقسم الديناميكا إلى جزأين: الكينماتيكا أو علم الحركة المجردة والكينتيكا (kinematics) أو علم الحركة الكينماتيكا هي دراسة القوى المؤثرة على الأجسام الخاسئة خلال حركتها وتأثير كل قوة على تغيير الحركة بينما تدرس الكينماتيكا حركة الأجسام بغض النظر على القوة المؤثرة عليها ويوضح الشكل (1-1) هذا التقسيم.



الشكل (1-1)

obeikandl.com

عندما تطبق مفاهيم الكينماتيكا في الآلات لحساب المواضع، والإزحات، والسرعات، والعجلات لأجزائها المختلفة يتم أطلاق مصطلح كينماتيكا الآلات kinematics of mechanic. في كينماتيكا الآلات القوة المؤثر على الأجزاء المختلفة تهمل.

تصميم الآلات Mechanic Design

إن عملية تصميم الآلات عملية معقدة ويمثل الكينماتيكا طوراً منها فقط . الخطوات الأساسية المتبعة عند تصميم الآلات كالتالي:

- **الحساب الكينماتيكي Determining the kinematic scheme**

وتتضمن هذه الخطوة حسابات الحركات المطلوبة للحصول على الهدف المحدد للآلة. في هذه المرحلة العلاقات العامة فقط تحدد ويتم إيضاح الأجزاء المختلفة المطلوبة وكذلك وصف الحركات المطلوبة منها (kinematics).

- **حسابات القوى Determining the forces involved**

وتتضمن هذه المرحلة حسابات اتجاهات، وقيم، ونقاط تطبيق القوى الخارجية (statics and dynamics).

- **حسابات الأجزاء وخواصها Determining the member proportions and materials**

وتشمل هذه المرحلة تحديد الشكل العام، الحجم، والمواد لكل جزء من الأجزاء لكي تتحمل القوى المؤثرة عليها (strength of material).

- **التصميم التفصيلي Detail Designing**

وتشمل هذه المرحلة الحسابات التفصيلية للأبعاد، الحدود والتفاوتات، طرق التصنيع، طرق التزييت، طرق التجميع، أنواع المحامل، المثبتات، جودة الأسطح، التغطية أو الحماية السطحية.

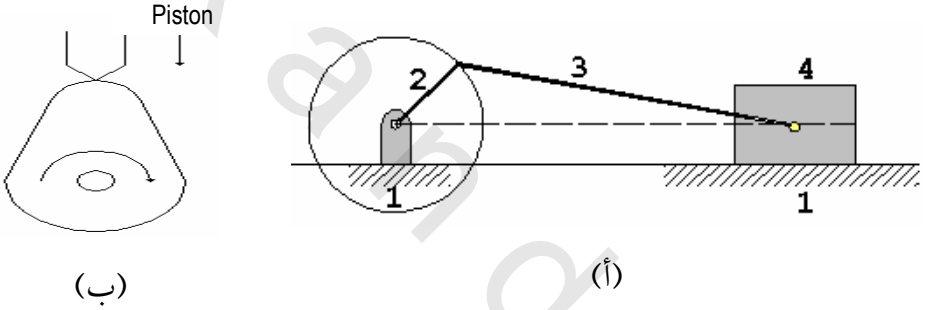
كذلك يتم أخذ الاعتبارات الأخرى مثل معامل الأمان، كلفة الإنتاج، رغبات الزبون، سهولة الخدمات ، الاعتبارات البيئية، الاهتزازات، الضوضاء.

1-1- مقدمة

تتزايد أهمية دراسة الآليات نتيجة للتقدم الهائل في المعدات الدقيقة، التحكم الآلي، الآلات المؤتمتة.

يمكن تعريف ميكانيكا الآلات بأنه ذلك الفرع من تصميم الآلات الذي يهتم بدراسة التصميم الحركي للأذرع والحدبات والتروس والسلاسل.

يوضح الشكل (1-2) آلية منزلق ذارع الوصلة 1 هي القاعدة frame وهي ثابتة، الوصلة 2 هي المرفق crank، الوصلة 3 هي ذراع التوصيل connecting rod والوصلة 4 هي المنزلق.



(ب) (أ)

الشكل (1-2)

من الأمثلة الشائعة لهذه الآلية محركات الاحتراق الداخلي حيث يمثل الجزء 4 المكبس يوضح الشكل (1-2)ب منظومة حدبة وتابع، حيث تدور الحدبة بسرعة ثابتة لينتج عنها ارتفاع وانخفاض التابع. أن ارتفاع التابع ينتج عن دوران الحدبة بينما انخفاضه ينتج عن عجلة الجاذبية أو عن طريق النوابض. ومن الأمثلة على ذلك الصمامات الموجودة في محركات الاحتراق الداخلي والتي يتم فتحها عن طريق الحدبات.

يتم استخدام التروس في بعض التطبيقات لنقل السرعات من عمود دوّار إلى آخر.

وفي بعض الأحيان قد تستخدم سلسلة من التروس للحصول على نسبة التعشيق المطلوبة.

2-1 مصطلحات مهمة

- **الآلية mechanism**

مجموعة من الأجسام الجاسئة التي تكوّن نتيجة لاتصالها شكلاً معيناً بحركة نسبية معنية.

- **الآلة machine**

هي عبارة عن آلية أو مجموعة آليات تقوم بنقل القدرة من مصدر الطاقة إلى المكان المطلوب، مثل محرك الاحتراق الداخلي.

- **الانتقال Translation**

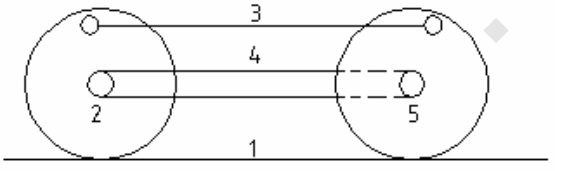
حركة جسم جاسئ بحيث تتحرك جميع النقاط بشكل متوازٍ.

– الانتقال الخطي Rectilinear translation

تتحرك جميع النقاط بشكل متوازٍ مستقيم (خلال مسارات متوازية مستقيمة)
عند تحرك الجسم إلى الأمام والخلف بهذه الطريقة يطلق عليه «يتردد» Reciprocate «شكل (1-2) ».

– الانتقال المنحني Curvilinear translation

مسار النقاط المختلفة يكون منحنياً ومتماثلاً حول مستوى ثابت. في الشكل (1-3)، الوصلة 3 تنتقل انتقالاً منحنياً عند دوران العجلتين 2، 5.

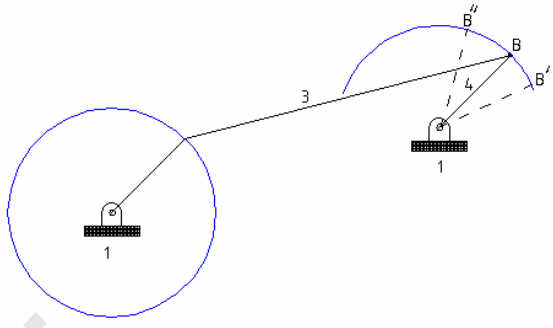


شكل (1-3)

– الدوران Rotation

عند اكتساب كل نقطة من جسم جاسئ حركة وتظل في نفس الوقت على مسافة ثابتة من محور ثابت (نقطة ثابتة) فإنه يطلق على هذه الحركة دوران.
وعند تردد هذه الحركة ذهاباً وإياباً يطلق عليها تذبذب Oscillate، شكل (1-4).

obeikandi.com



شكل (1-4)

– الحركة اللولبية Helical motion

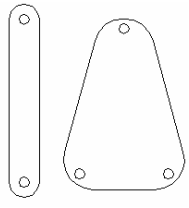
عند حركة جسم جاسئ بحيث تتحرك كل نقطة على الجسم حركة دورانية حول محور ثابت وفي نفس الوقت حركة انتقالية حول نفس المحور، فإنه يطلق على هذه الحركة الحركة اللولبية (مثل حركة الصامولة).

- **دورة وفترة وطور الحركة Cycle, Period, and phase of motion**

الدورة هي مرور أجزاء الآلية خلال جميع النقاط والعودة للنقطة الأصلية، الزمن المطلوب لهذه الدورة هو الفترة، أما المواقع اللحظية النسبية للآلية عند لحظة معنية فهي الطور.

- **الوصلة Link**

هي جسم جاسئ لها اثنان أو أكثر من عناصر التوصيل تصلها بوصلات أو أذرع أخرى لنقل القوة أو الحركة. ويوضح الشكل (1-5) أنواع مختلفة لوصلات ذات عنصرين وثلاث عناصر توصيل.



شكل (1-5)

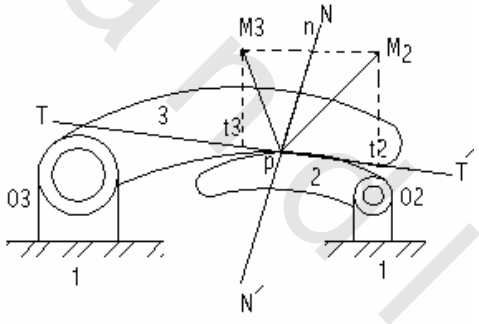
obeikandl.com

3-1 نقل الحركة Transmission of motion

من المهم التفرقة بين ثلاث طرق رئيسية لنقل الحركة من جزء إلى آخر وذلك عند دراسة الآليات.

- الاتصال المباشر بين الأجزاء كما يحدث في حالة التروس أو الحدبات والتوابع.
- بواسطة ذراع توصيل أو وسيط لنقل الحركة.
- بواسطة موصل مرن، مثل السيور أو السلاسل.

في حالة الاتصال المباشر، كما موضح بالشكل (1-6)، يتم حساب السرعة الزاوية. يوضح الشكل حدبة 2 وتابعاً 3 في حالة اتصال عند النقطة P. تدور الحدبة في اتجاه عقارب الساعة، وسرعة النقطة P يتم تمثيلها بالمتجه PM_2 على اعتبار أنها تقع على الحدبة.



الشكل (1-6)

الخط NN' عمودي على السطحين عند P ويعرف بالعمودي المشترك أو خط النقل Transmission، أو خط التأثير line of action المماس المشترك هو الخط TT' . يمكن تحليل المتجه PM_2 إلى مركباته P_n على العمودي، Pt_2 على المماس.

ولأن الحدبة والتابع جسمان جاسئان وسيظلان في حالة اتصال دائم بالمركبة العمودية للنقطة P باعتبارها على الجسم 3 لابد أن تساوي العمودية للنقطة * والتي تقع على الجسم 2.

وبالتالي، وبمعرفة اتجاه السرعة النقطة P الواقعة على الذراع 3 (وهي في اتجاه النقطة

O_3)، ومركبتها العمودية فمن الممكن إيجاد السرعة PM_3 كما موضح بالشكل. من هذا المتجه يمكن إيجاد سرعة الزاوية من العلاقة $U=R\omega$، حيث U السرعة اللحظية لنقطة تتحرك على مسار نصف قطره R و ω هي السرعة الزاوية.

من المهم كذلك حساب سرعة الانزلاق، ومن الشكل يتضح أنها تساوي الفرق بين مركبتي السرعتين عن النقطة * (المماستين). وهذا الفرق يساوي المسافة t_2t_3. أما في حالة وقوع مركبتي السرعتين في نفس الاتجاه فإن سرعة الانزلاق تساوي حاصل طرح المركبتين والسرعتين، وعند وقوع النقطة P في منتصف المسافة فإن سرعة الانزلاق ستساوي صفراً.

لحساب سرعة الزاوية:

اسقط خطوطاً عمودية من النقطتين O_2 ، O_3 على الخط الرأسي ليتقاطعا عند f، e.

$$\omega_2 = \frac{PM_2}{O_2P} \quad , \quad \omega_3 = \frac{PM_3}{O_3P}$$

$$\frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{PM_3}{O_3P} \times \frac{PM_2}{O_2P}$$

لتماثل المثلثين O_2Pe، PM_2n

$$\frac{PM_{\ 2}}{O_{\ 2}P} = \frac{Pn}{O_{\ 2}e}$$

وكذلك المثلثين O_3Pf، PM_3n

$$\frac{PM_3}{O_3P} = \frac{Pn}{O_3\ f}$$

وبالتالي:

$$\frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{Pn}{O_3\ f} \times \frac{O_2e}{Pn} = \frac{O_2e}{O_3\ f}$$

لخط مماسي مشترك يقطع خط المراكز عند *k*، المثلثين O_2ke وO_3kf متماثلين، وبالتالي :

$$\frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{O_2 e}{O_3 f} = \frac{O_2 k}{O_3 k}$$

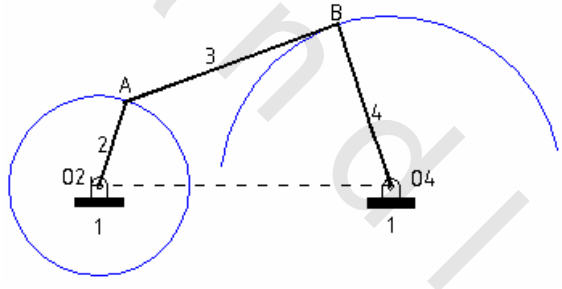
وبالتالي يمكننا القول أنه اللزوج من الأسطح المنحنية متصلة اتصالاً مباشراً، السرعة الزاوية تتناسب عكسياً مع الأجزاء التي تمثلها في خط المركز والمتقاطعة مع الرأسي.

4-1 الوصلات Linkages

سيتم هنا، وبشكل مبسط دراسة أهم أنواع الوصلات.

1-4-1 الوصلة رباعية القضبان Four bar linkages

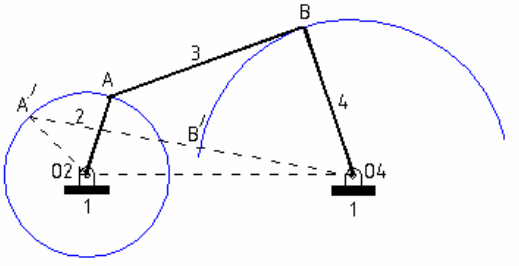
وهي أحد أبسط أنواع الوصلات، وأكثرها شيوعاً. ويوضح الشكل (1-7) هذه الوصلة.



شكل (1-7)

القضيب 1 يمثل القاعدة ويكون عادة ثابتاً، القضيب 2 هو القائد والذي يمكن أن يدور بالكامل أو يتذبذب، وفي الحالتين فالقضيب 4 سوف يتذبذب.

عند دوران القضيب بالكامل لا يوجد خوف من غلق (قفل) الآلية، ولكن عند تذبذب القضيب 2 فيجب أخذ الحيطة في تصميم القضبان حتى لا تغلق عند النهايات الميتة. هذه النقاط الميتة تحدث عندما يكون خط تأثير القوة القائدة في اتجاه القضيب 4، وهذه الحالة موضحة في الشكل (1-8).

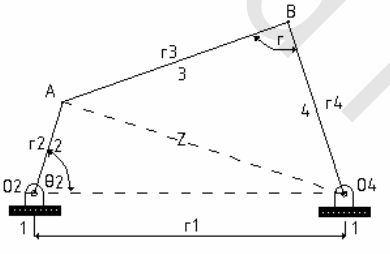


شكل (1-8)

إذا صممت هذه الآلية لكي يدور القضيب 2 كلياً بينما القضيب 4 يتذبذب، وهو القائدة فالنقاط الميتة ستحدث ومن الضروري توفير حذافات للتغلب على هذه المشكلة.

بالإضافة إلى احتمالية وجود النقاط الميتة، يجب أخذ زاوية النقل في الاعتبار transmission angle وهي الزاوية بين ذارع التوصيل وقضيب الخرج 4 out linkage.

هذه الزاوية موضحة في الشكل (1-9) وهي الزاوية γ يمكن اشتقاق معادلة الزاوية γ على النحو التالي :



شكل (1-9)

للمثلثين AO_2O_4 ، ABO_4

$$Z^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2\, r_1 r_2 \cos\theta_2$$

وكذلك:

$$Z^2 = r_3^2 + r_4^2 - 2\, r_3 r_4 \cos\gamma$$

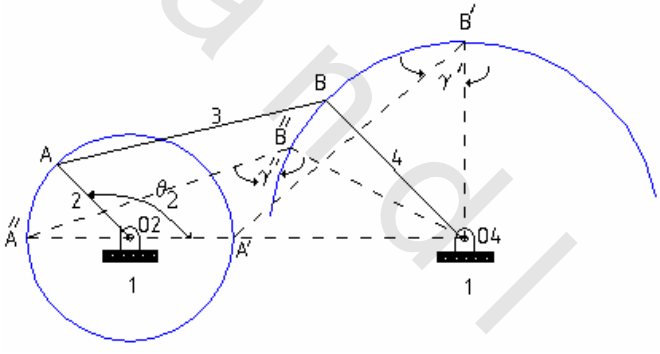
obeikandl.com

وبالتالي :

$$r_1^2 + r_2^2 - 2\, r_1 r_2 \cos\theta_2 = r_3^2 + r_4^2 - 2\, r_3 r_4 \cos\gamma$$

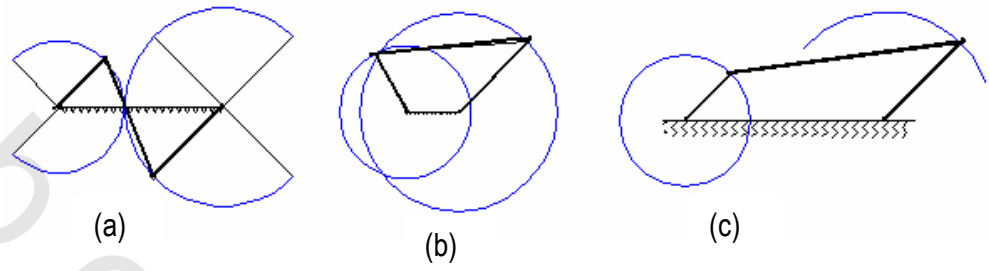
$$\therefore \cos\gamma = \frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2 - r_4^2 - 2\, r_1 r_2 \cos\theta_2}{-2\, r_3 r_4}$$

زاوية النقل لا يجب أن تزيد عن°140 كما أنها لا تقل عن °40 عند الرغبة في نقل قوى عالية. عندما تقل γ عن °40 فإن القضبان تميل للانحناء بسبب الاحتكاك في الوصلات، وكذلك القضيبين 4، 3 يمكن أن يفضلاً ويكونان على نفس الخط ومن المهم دراسة هذه الزاوية عندما تصميم الآلية لتدور بالقرب من النقاط الميتة. ويوضح الشكل (1-10) أقل وأقصى قيمة لهذه الزاوية °40، °140، حيث أن القضيب 2 يدور بالكامل والقضيب 4 يتذبذب.



شكل (1-10)

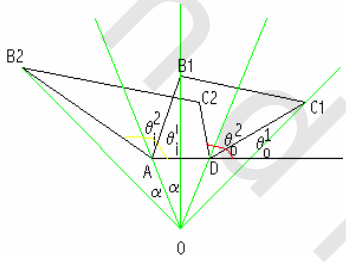
توجد ثلاثة أصناف واضحة للآلية رباعية القضبان، المرفق والذراع المتأرجح crank and rocker mechanism، شكل (a،11-1) حيث يدور المرفق دورة كاملة بينما يتأرجح الذراع الآخر، آلية ذراع السحب drag link mechanism، شكل (b،11-1) حيث يدور الذراعين بشكل كامل وفي نفس الاتجاه، وآلية الذراعين المهتزين double rocker mechanism ، شكل (c،11-) حيث يهتز كلا القضيبين.



شكل (1-11)

إن آلية المرفق والذراع المتأرجح تقوم بتحويل الحركة الدورانية إلى حركة ترددية، والمحدد الوحيد هو الزاوية التي يرغب المصمم في إعطائها لدوران الذراع المتأرجح.

في الشكل (1-12)، أفرض أن مكان النقطتين A،D معين، وكذلك طول المرفق AB والزوايا $\theta_i^1, \theta_i^2, \theta_0^1, \theta_0^2$.



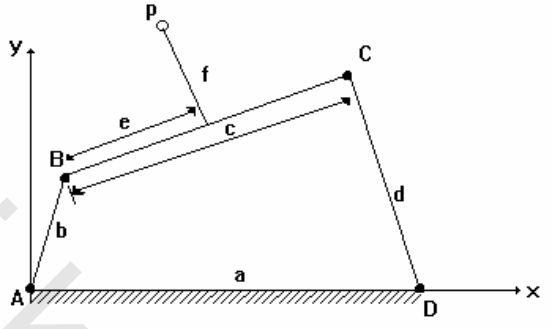
شكل (1–12)

والمطلوب هو تعيين طول القضيب DC وذراع التوصيل BC.

أفرض AO منصف الزاوية بين الموضعين المحددين للمرفق الدخل، DO منصف الزاوية بين موضعي المرفق الخرج.

وإذا كان الطول CD قد تم اختياره بحيث يتقاطع الخطان DC_2, DC_1 عند O (بحيث تساوي الزاوية بين المنصف للخطين OC_2, OC_1 للزاوية α) فإن المثلثين OB_1C_1 و OB_2C_2 سيكونان متطابقين ويتساوى الضلعان B_1C_1، B_2C_2 ؛ وتكون ABCD هي الآلية المطلوبة.

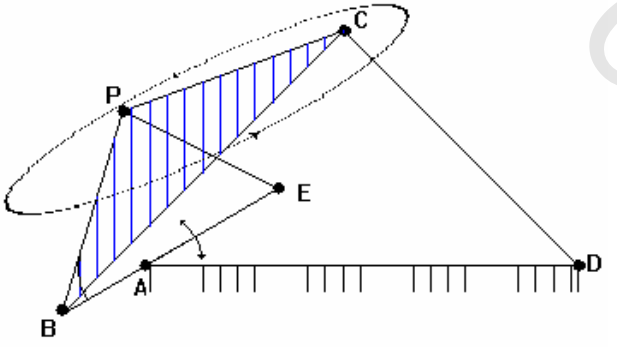
- استخدام الآلية رباعية القضيبين كمولد للمنحنيات: يمكن استخدام نقطة متصلة بذراع التوصيل في الآلية رباعية القضيبين كمولد للمنحنيات؛ كما موضح بالشكل (1-13).



شكل (1-13)

يوضح الشكل آلية رباعية القضيبين يقع ذراعها الثابت على محور x. معادلة موضع النقطة P، والمثبتة على ذراع التوصيل يمكن وصفها بدلالة y,x والأطوال الخمسة a,b,c,d,f والتي تصف الآلية؛ وهي معادلة عديدة الحدود من الدرجة السادسة. يمكن تصميم آلية لتحريك نقطة مثل P تماماً على مسار محدد سبقاً عندما تكون معادلة المسار محددة. وعادة ما يكتفي بمعادلة تصف هذا المسار تقريبياً.

ويوضح الشكل (1-14) نموذجاً الآلية تستخدم للحصول على مسار للنقطة P.



شكل (1-14)

2-4-1 آلية المرفق - المنزلق Slider- crank mechanism

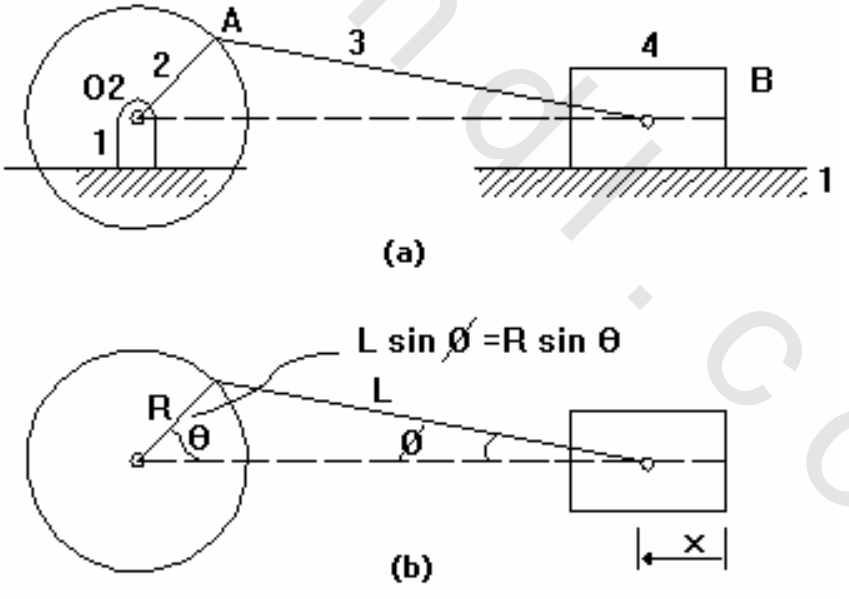
تستخدم هذه الآلية بكثرة، ومن أهم التطبيقات التي تستخدم بها محركات الاحتراق الداخلي.

يوضح الشكل (1-15،a) نموذجاً لهذه الآلية، القضيب 1 هو الهيكل (ثابت)، القضيب 2 المرفق، 3 ذراع التوصيل، و 4 هو المنزلق.

في محركات الاحتراق الداخلي القضيب 4 هو المكبس.

يمكن ملاحظة وجود نقطتين ميتتين في الآلية، واحدة عند كل نهاية للمكبس؛ ومن المهم للتغلب على هذه النقاط إضافة حذافات.

في اغلب الأحيان، من المهم حساب الإزاحة والسرعة والعجلة للمنزلق من الشكل (15-1) b:



شكل (15-1)

$$x = R + L - R\cos\theta - L\cos\phi$$
$$= R(1-\cos\theta) + L(1-\cos\phi)$$
$$= R(1-\cos\theta) + L\left[1 - \sqrt{1-\left(R/L\right)^2\sin^2\theta}\right]$$

$$\because \left(1 \pm B^2\right)^{1/2} = 1 \pm \frac{1}{2}B^2 - \frac{B^4}{2\cdot 4} \pm \frac{1\cdot 3\, B^6}{2\cdot 4\cdot 6} - \frac{1\cdot 3\cdot 5\cdot B^6}{2\cdot 4\cdot 6\cdot 8} \pm \cdots$$

حيث:

$$B = \left(R/L\right)\sin\theta$$

من الكافي استخدام الحدين الأولين من المعادلة

$$1 - \sqrt{1-\left(R/L\right)^2\sin^2\theta} = 1 - \left(R/L\right)^2\sin^2\theta$$

(تقريباً)

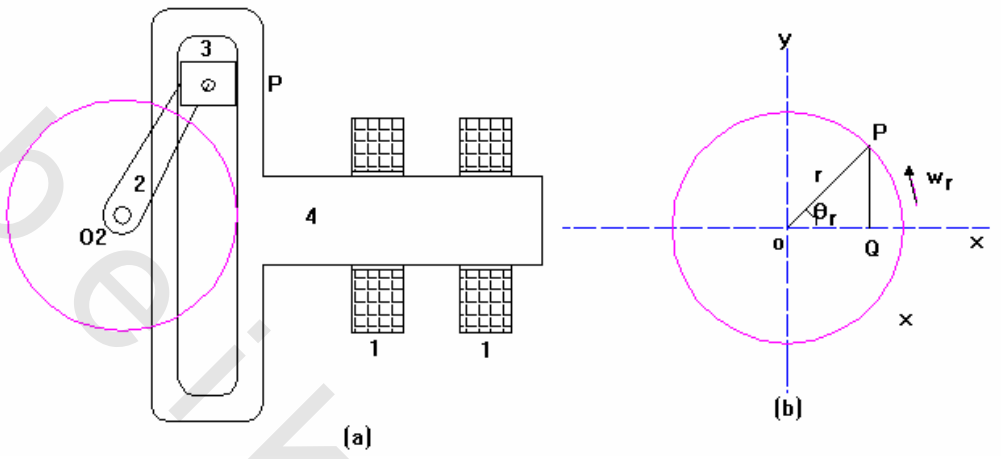
$$x = R(1-\cos\theta) + \frac{R^2}{2L}\sin^2\theta$$

حيث $\theta=\omega t$ (ω = ثابت).

$$v = \frac{dx}{dt} = R\omega\left[\sin\theta + \frac{R}{2L}\sin 2\theta\right]$$
$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = R\omega^2\left[\cos\theta + \frac{R}{L}\cos 2\theta\right]$$

3-4-1 آلية scotch yoke

تعطي هذه الآلية حركة توافقية بسيطة أحد استخداماتها كمولد لإشارات جا-جتا لعناصر الحاسوب ويوضح الشكل (16-1) a نموذجاً لهذه الآلية؛ بينما يوضح الشكل (16-1) b طريقة توليد الحركة التوافقية البسيطة نصف القطر r يدور بسرعة ثابتة ωr، وإسقاط النقطة P على المحور x عبارة عن نقطة تتحرك حركة توافقية بسيطة.



شكل (1-16)

الإزاحة، من أقصى نقطة يتم إسقاطها في الجانب الأيمن، تزداد إلى اليسار وفق المعادلة:

$$x = r - r\cos\theta_r$$

حيث $\theta_r = \omega_r t$

وبالتالي:

$$x = r - (1 - \cos\omega_r t)$$

$$v = \frac{dx}{dt} = r\omega_r \sin\omega_r t$$

$$= r\omega_r \sin\theta_r$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = r\omega_r^2 \cos\omega_r t$$

$$= r\omega_r^2 \cos\theta_r$$

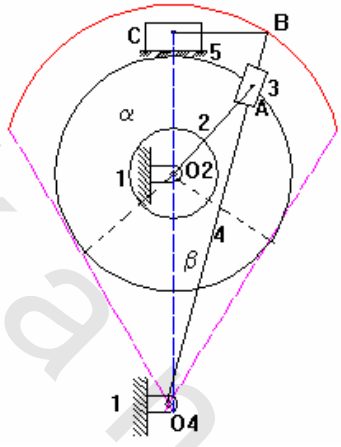
4-4-1 آلية الرجوع السريع Quick-Return mechanism

تستخدم هذه الآلية في آلات القطع لتعطي شوط قطع بطئ وشوط عودة سريع عند نفس السرعة الزاوية الثابتة للمرفق القائد، وهي دمج الآليات الرباعية البسيطة وآلية المرفق

obeikandl.com

والمنزلق. النسبة بين زاوية شوط القطع إلى زاوية شوط العودة هي رقم مهم جداً وتسمى النسبة الزمنية. يجب أن تكون هذه النسبة أكبر من واحد صحيح، وتكون أكبر ما يمكن.

على سبيل المثال، زاوية شوط القطع في آلية الرجوع الموضحة في الشكل (1-17) رمز لها بالرمز α.



شكل (1-17)

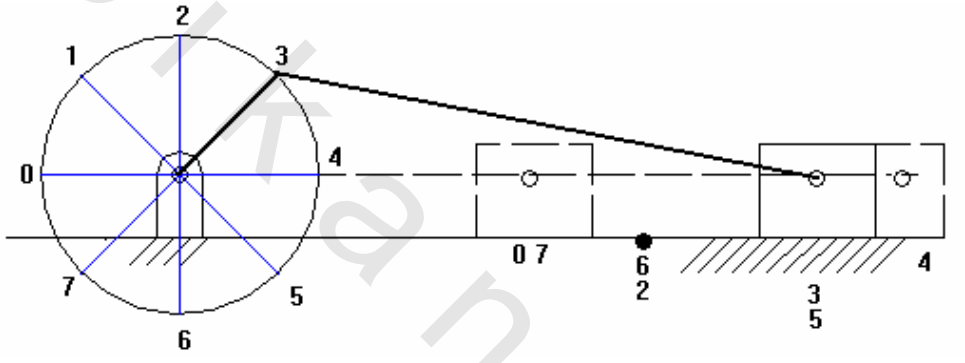
بينما زاوية الرجوع رُمز لها بالرمز β وبالتالي عند سرعة زاوية ثابتة، فإن النسبة الزمنية تساوي β/α والتي هي في هذه الحالة أكبر من واحد.

5-1 رسم وتمثيل الإزاحة Displacement Drawing and diagram

من الضروري رسم الآلية في مواضعها المختلفة خلال دورانها لأجل حسابات الإزاحة والسرعة والعجلة لكل وصلة منها. وبالتالي من المهم اكتساب المهارة اللازمة لرسم الآليات و حساب مواضع النهايات limiting positions في الآليات التي تتذبذب.

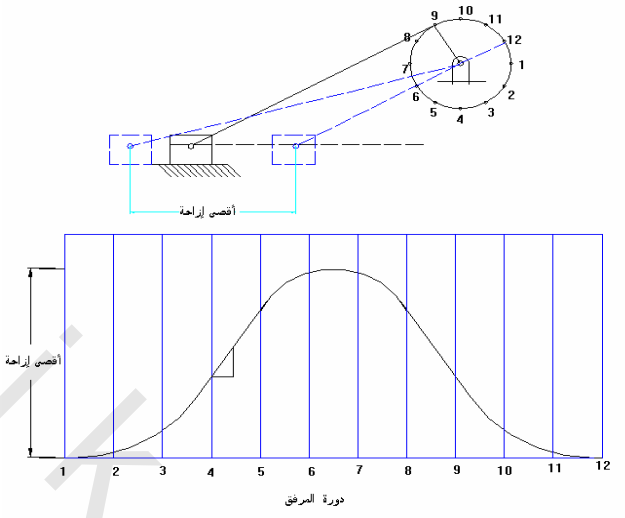
يوضح الشكل (1-18) آلية مرفق منزلق، وهي توضح الآلية كل 45°، وعادة ما يكون كافياً رسم موضع الآلية كل 30°، وفي حالة عدم تطابق المواضع مع النقاط الميتة تضاف هذه النقاط في الشكل.

إن مخطط الإزاحة هو مخطط زمني للإزاحة لنقطة ما أو وصلة في الآلية نسبة إلى قانون (أو المرفق) الزمن عادة يكون دورة كاملة و تمثل على محور السينات ، بينما تمثل الإزاحة على محور الصادات. و يوفر مخطط الإزاحة صورة جيدة عن حركة نقطة ما خلال دورة كاملة من عمود المرفق. وبالتالي ومن خلال نظرة سريعة يمكن معرفة أقصى وأقل سرعة أو عجلة لهذه النقطة.



شكل (1-18)

يوضح الشكل (1-19) مخطط الإزاحة لآلية المرفق – لمنزلق ، حيث وضعت الإزاحة اللحظية للمنزلق خلال دورة كاملة من دورات المرفق على محور الصادات. أعلى سرعة تقع بين النقطتين 3، 4 والنقطتين 9، 10 (حيث يوجد أقصى ميل منحنى)، و أقصى عجلة تقع بين 6، 7 والنقطتين 11، 1 (أقل نصف قطر للمنحنى). إذا كانت سرعة الزاوية للمرفق معروفة، يمكن تحويل المقياس الأفقي إلى وحدة زمنية وبالتالي حساب القيمة التقريبية للسرعة اللحظية للمنزلق عند أي وضع عن طريق حساب ميل المنحنى عند هذه النقطة.



شكل (1-19)

6-1 المراكز اللحظية Instantaneous centers (centros)

يمكن وصف حركة الآليات التي تدور حول مركز ثابت بسهولة. إلا أن الآليات التي تحتوى على (floating link) أو (ذراع التوصيل) كما مر في الآليات رباعية القضبان توجد طرق خاصة للتحليل مثل السرعة النسبية والمراكز اللحظية.

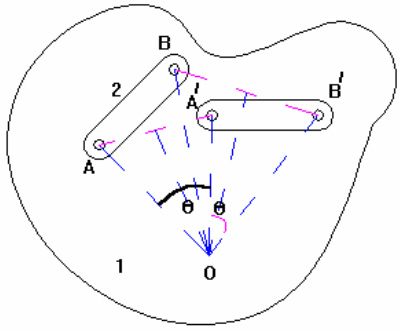
1-6-1 الحركة اللحظية Instantaneous motions

في الشكل (1-20) عند انتقال الوصلة 1 كما موضح، الخطوط AA', BB' تعطي إزاحة نهايتي الوصلة 2. إذا رسمنا خطاً عمودياً و منصف لكل حركة من حركتي النقطتين فإن هذين العمودين يتقاطعان عند النقطة 0.

من الواضح أن $OA' = OA$ و $OB = OB'$ و بالتالي فإن إزاحة الوصلة 2 هي حركة دورانية حول النقطة O.

وعند تخيل الوصلة 2 تقع في المثلث OAB فمن السهل تخيل دوران هذا المثلث حول النقطة O ليصبح في موضعه الجديد $OA'B'$.

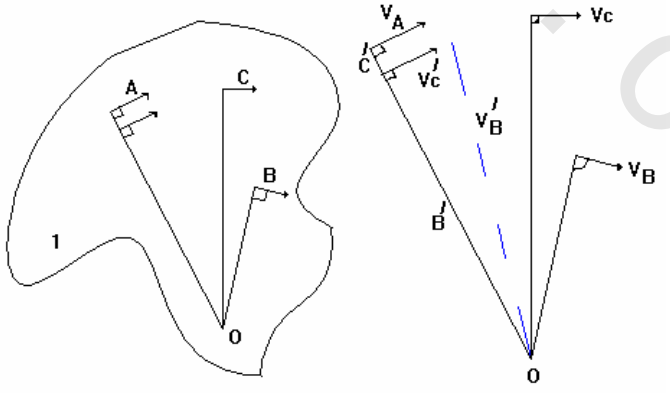
وبافتراض أن المسافة AA', BB' تقترب من الصفر فإنه يمكن اعتبار النقطة O كمركز لحظي للحركة.



شكل (1-20)

2-6-1 تعريف المراكز اللحظية

يمكن تعريف المركز اللحظي بأنه نقطة على جسم ما يدور حولها جسم آخر. عندما يكون اتجاه نقطتين على سطح متحرك معروفاً فإنه يمكن تحديد المركز اللحظي لهذا السطح. في الشكل (1-21) ، إذا كانت النقطتان A، B و الواقعتان على الوصلة 2. لهما حركة نسبية بالنسبة للوصلة 1. في الاتجاه الموضح، فإن مركز دورانهما يجب أن يقع في مكان ما على امتداد خط عمودي على كل من هذه الاتجاهات. و بالتالي، تقاطع هذين الخطين عند ما يعطى المركز اللحظي للدوران (عند الموضع الموضح). عند تحديد المركز اللحظي للدوران فإن الاتجاه اللحظي نقطة يمكن حسابه (للوصلة 2).



شكل (1-21)

بعد تحديد المركز اللحظي، الاتجاه اللحظي لأي نقطة أخرى على وصلة 2 يمكن تحديده. كما أنه عند معرفة قيمة السرعة اللحظية لأي نقطة يمكن تحديد السرعة لأي نقطة أخرى، (لأن العلاقة بين السرعة والقطر هي علاقة خطية). على سبيل المثال إذا كانت سرعة A معروفة، فيمكن رسم المتجه VA بمقياس رسم مناسب ومن ثم رسم خط التناسب ليمر بنهاية المتجه V_A و المركز اللحظي للدوران، كما موضح بالشكل (1-21)، و بإسقاط النقطتين B ، C لينطبقا على خط التناسب ، يمكن إيجاد قيمة السرعتين V_B ، V_C عن طريق قياس طولهما وحساب السرعتين و من ثم إعادة تدوير السرعتين إلى موضعهما الأصلي .

ولإثبات أن العلاقة بين السرعة والقطر هي علاقة خطية يمكن إتباع الخطوات التالية:

بما أن

$$d\theta = \frac{ds}{r}$$

أو

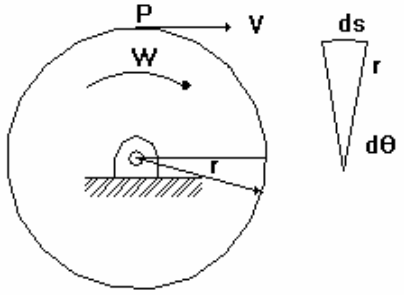
$$ds = rd\theta$$

وحيث أن :

$$ds = vdt$$
$$d\theta = \omega\, dt$$
$$v\, dt = r\, \omega dt$$

أو

$$v = r\, \omega$$

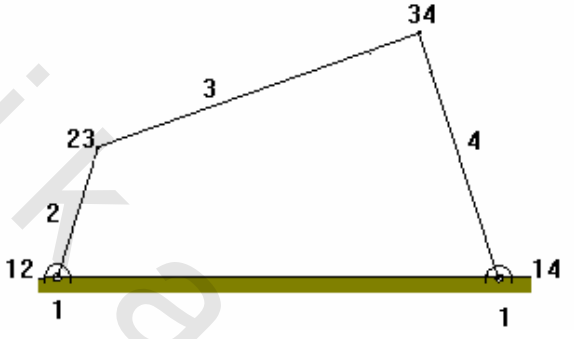


الشكل (1-22)

يوضح الشكل (1-22) مرفقاً يدور بسرعة زاوية ثابتة مقدراها ω .

3-6-1 ترميز المراكز اللحظية

المركز اللحظي لأي قضيبين يتحركان حركة نسبية بالنسبة لبعضهما يتم رمزه برقمي هذين القضيبين، فعلى سبيل المثال 1، 2 يتم كتابة المركز اللحظي لهما 21 (فتقرأ واحد اثنان وليس واحد و عشرون)؛ شكل (1-23).



شكل (1-23)

أ) المراكز اللحظية المبدئية

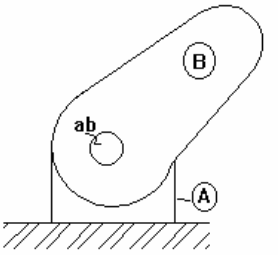
لأي آلية، وفي كل طور لها ، يوجد مركز لحظي لكل زوج من القضيبين .

المراكز المبدئية هي تلك المراكز التي يمكن تعيينها بمجرد النظر مثل 12 ،23 ،34 في الشكل (1-23) أما المراكز 24، 13 فتوجد طريقة لتحديدهما سيتم شرحها لاحقاً .

ب) تحديد المراكز اللحظية للوصلات المختلفة

- المركز اللحظي للوصلات المسمارية Centros of pin-jointed links

عندما يتصل قضيبان بواسطة وصلة مسمارية فمن الواضح أن المركز اللحظي لجميع الوضعيات لهذه الآلية ستكون عند المسار، شكل (241)

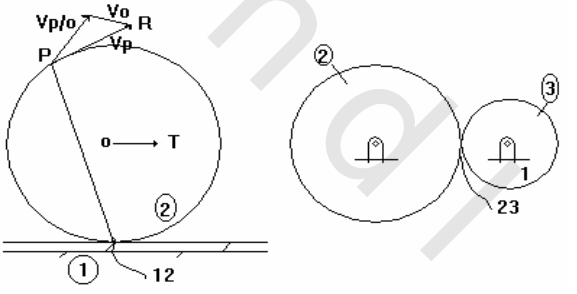


شكل (1-24)

- المركز اللحظي للوصلات المتدحرجة Centros of rolling links

المركز اللحظي لوصلتين في حالة تدحرج (بدون انزلاق) يكون عند نقطة تلامسهما .

كما موضح بالشكل (1-25) عند دوران العجلة 2 (بدون انزلاق) على السطح 1 فإن المركز اللحظي 21 هو نقطة تلامسهما .



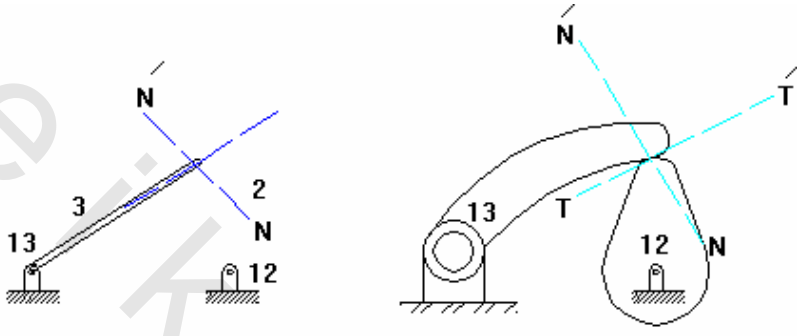
شكل (1-25)

إن هذه النقطة الوحيدة التي يمكن تحديدها على السطحين و سرعتها اللحظية تساوى صفراً (بالنسبة للوصلتين) إذا كانت النقطة P لها سرعة PR بالنسبة للوصلة 1، وكانت الوصلة 1 ثابتة، فإن PR هي السرعة المطلقة لـ P من الشكل. النقطة P لها سرعة نسبية PR بالنسبة للمركز O، و المركز O له سرعة قيمتها OT بالنسبة للوصلة 1؛ السرعة المطلقة V_P تساوى حاصل جمع المتجهين V_O و $V_{P/O}$

$$\vec{V}_P = \vec{V}_O + \vec{V}_{P/O}$$

- المراكز اللحظية للوصلات المنزلقة Centros of Soliding links

المركز اللحظي لوصلتين تنزلقان على بعضهما سيقع في مكان ما على الامتداد العمودي المشترك لهما؛ شكل (1-26).



شكل (1-26)

الشكل (1-26) يوضح أن المركز اللحظي للمنزلق يقع عند ∞، وبالتالي كل نقطة على المنزلق لها نفس السرعة (قيمة واتجاهاً) والخطوط العمودية على المتجهات موازية لبعضها. وبالتالي المركز اللحظي 12 يمكن افتراضه على أي خط موازي للعمودي المشترك.

وفي الحالات d,c,b في حالة كون سطحين منحنيين أو سطح والآخر مستوى فستكون هناك نقطة واحدة فقط للاتصال. وسيكون المركز اللحظي في مكان ما على العمودي المار بهذه النقطة.

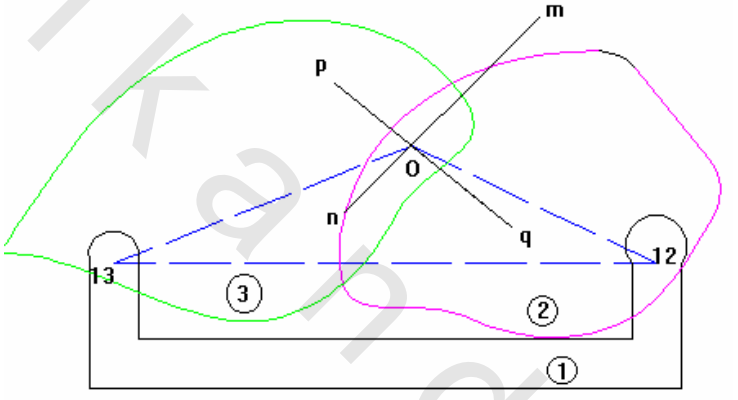
في الشكل (c) الوصلة 2 هي القائدة والوصلة (3) المنقادة، النقطتان k,J هي نقطة الاتصال واللتان تقعان على الوصلتين. سرعة النقطة J هي VJ وعمودية على الخط J-12، والنقطة k هي V_k وعمودية على الخط k-13. مركبة هاتين السرعتين على العمودي يجب أن تكون متساويتين و إلاً ستنفصل الوصلتان أو تنسحقان نتيجة القوة. وبالتالي الحركة النسبية الوحيدة هي في الاتجاه المماس، وقيمة هذه السرعة تمثل بالفرق بين المتجهين t_k, t_J، يمكن الحصول على هذه الحركة النسبية بواسطة الدوران حول مركز لحظي على امتداد العمودي NN.

4-6-1 نظرية كيندي Kennedy's Theorem

تنص هذه النظرية على أنه «لأي ثلاثة أجسام (وصلات) لها حركة مستوية نسبة إلى بعضها لها ثلاثة مراكز لحظية وتقع على خط مستقيم واحد».

أفرض الوصلات 1، 2، 3 الموضحة بالشكل (1-27) لها حركة نسبية مع بعضها. المراكز الثلاثة هي:

1 نسبة إلى 2 أو 21 ، 1 نسبة إلى 3 أو 31 ، 2 نسبة إلى 3 أو 32



شكل (1-27)

المراكز اللحظية 21 ، 31 يمكن تعيينها مباشرة وبشكل واضح. عند تحديد المركز اللحظي 32 يجب الأخذ في الاعتبار أن هذا المركز هو نقطة مشتركة بين 2 ، 3 ويجب أن يكون له نفس السرعة اللحظية للوصلتين. أفرض أن المركز يقع عند النقطة O. عند افتراض O نقطة على الوصلة 2 فإن لها نصف قطر O-12 وتتحرك على قوس حول 12 في اتجاه لحظي mn. وعند افتراض O نقطة على 3، فإن لها نصف قطر O-13 وتتحرك على امتداد قوس حول 13 في اتجاه لحظي pq. بما أن mn و pq مختلفان، فلا يمكن أن تكون النقطة O مركزاً لحظياً 32.

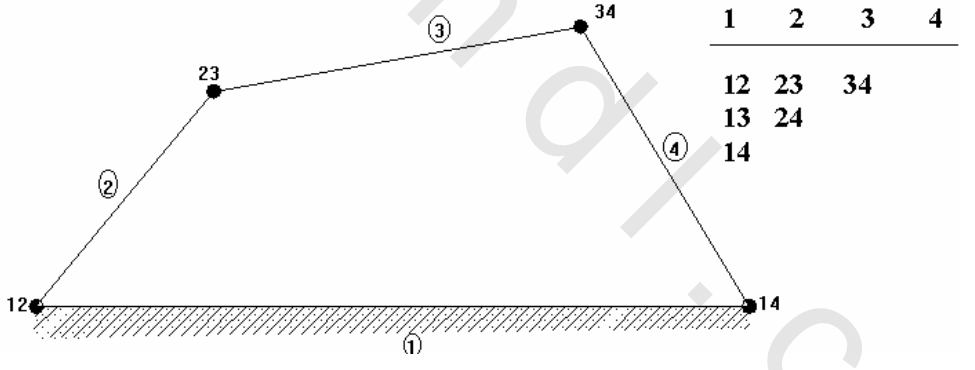
للنقطة التي يجب أن يكون لها نفس السرعة (قيمة واتجاها) لكلا الوصلتين 2، 3 يجب أن تقع في مكان ما على امتداد المركزين 12-13 وبالتالي جميع المراكز الثلاثة يجب أن تقع على نفس الخط المستقيم.

ويمكن حساب عدد المراكز اللحظية لـ N من الوصلات بالعلاقة:

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$

ويتم إعداد جدول بالمراكز اللحظية، وهي طريقة لإدراج جميع المراكز اللحظية لآلية وكذلك لإيضاح تلك المراكز التي تم وضعها.

ويوضح الشكل (1-28) جميع أرقام الوصلات الموجودة بالآلية. الصف الأول يظهر جميع المراكز التي تحتوي أرقاما موجودة بالصف الأعلى مع الرقم الذي على يمينها والصف الموالي يحتوي الرقم العلوي إضافة إلى الرقم الأيمن الموالي للمستخدم سابقاً، وهكذا. ويتم شطب المراكز الأولية (مثل 12، 23 ...)، وبالتالي يتضح أن المركزين 13، 24 لم يتم تحديد هما حتى الآن. وسيتم إيضاح كيفية تحديد هذين المركزين من المثال الموالي:

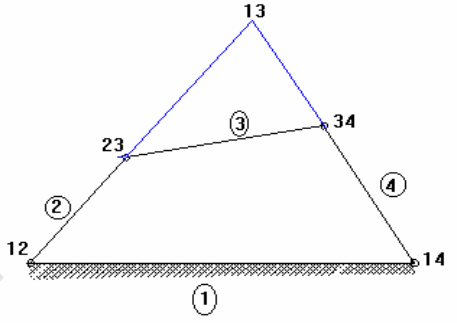


شكل (1-28)

مثال 1-1

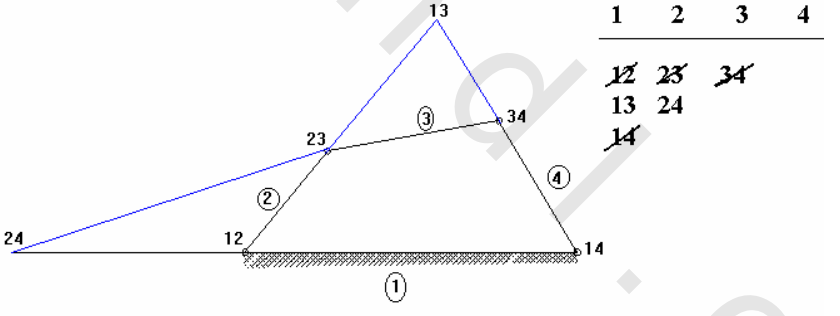
أوجد المراكز اللحظية 13، 24 للآلية الموضحة بالشكل (1-28) باستخدام طريقة جداول المراكز.

الحل:



الشكل (1-29)

يوضح الشكل (1-29) الآلية، وإذا تم التفكير في الوصلة 13 كمجموعة تضم وصلة أخرى فيمكن إيجاد المركز 13.



الشكل (1-30)

بافتراض أن المجموعة الأولى تضم الوصلات 1، 2، 3 يمكن ترتيب الجدول كما موضح بالشكل، وبما أن المركزين 23، 21 موجودين أصلاً وعن طريق رسم خط على امتدادهما يتم إيجاد الخط الأول الذي سيقع عليه المركز 31. بافتراض المجموعة الثانية 4، 3، 1 وباستخدام نفس الخطوات السابقة يتم إيجاد تقاطع الخطين والذي يمثل المركز 31.

بتكرار الخطوات السابقة يمكن إيجاد المركز 24.

5-6-1 مخطط المراكز اللحظية

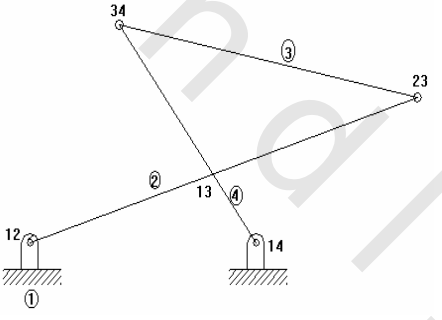
هذا المخطط طريقة عملية لمتابعة أي المراكز اللحظية تم إيجاده وأيها لم يوجد بعد. يُنشأ هذا المخطط برسم دائرة صغيرة (1-2 بوصة) ويُقسم محيط هذه الدائرة إلى أقسام متساوية تساوي في عددها لعدد وصلات الآلية، وترقم هذه الأقسام بحسب أرقام الآلية.

توصل النقاط التي تمثل مراكز لحظية موجودة بخطوط مستقيمة متصلة.

ويتم التفكير في خطوط تصل هذه المراكز وتمثل أضلاعاً من مثلث وهي المراكز غير المحددة، وترسم بخطوط متقطعة. وسيتم إيضاح هذه الطريقة من خلال الأمثلة التالية.

مثال 1-2

للآلية الموضحة في الشكل (1-31) a أوجد المركزين 13، 24 استخدم طريقة مخطط المراكز اللحظية.



الشكل (1-31)

الحل:

- **لإيجاد المركز 31:**

يوضح الخط المتقطع في الشكل (1-32) a المركز 31 والذي هو ضلع في مثلث والضلعين الآخرين 12، 23 واللذان هما محددان وبالتالي المراكز الثلاثة 12، 23، 13 لابد أن تقع على نفس الخط المستقيم. وبتقاطعهما ينتج المركز 31.

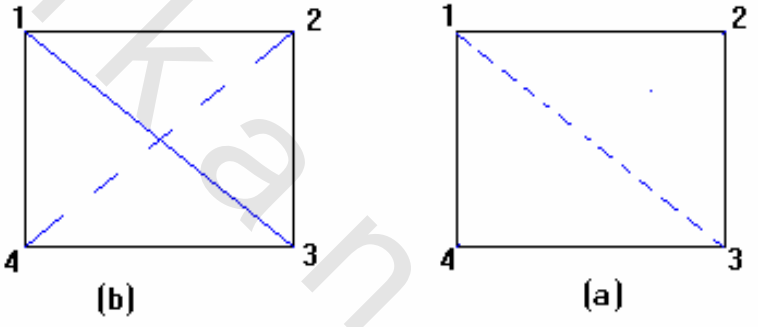
obeikandl.com

- **لإيجاد المركز 42:**

الخط المتقطع 42 في الشكل (1-32) b هو جزء من المثلث الذي ضلعيه الآخرين 12، 42 أو 32 و 43 وعن طريق رسم امتداد هذين المركزين يمكن إيجاد المركز 24.

كما إن هذا الخط هو ضلع في مثلث ضلعيه الآخرين هما 14، 34 وبالتالي فالمراكز الثلاثة 31، 41، 34 تقع على نفس الامتداد.

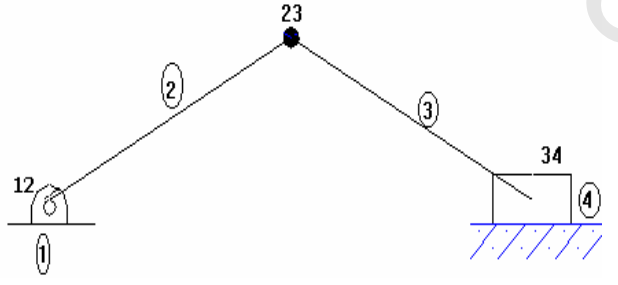
بتقاطع امتدادي الخطين السابقين يتم الحصول على المركز 31؛ والذي يمثل تقاطعهما.



شكل (1-32)

مثال 1-3

لآلية المرفق – المنزلق والموضحة في الشكل (1-33) a أوجد المركزين 31، 24.

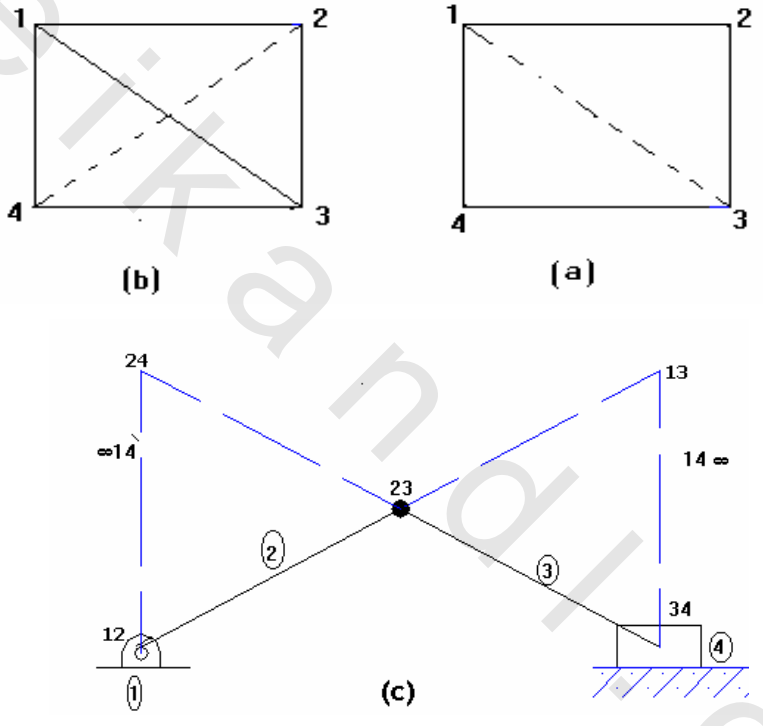


شكل (1-33)

الحل:

- **لإيجاد المركز 13:**

يمكن استخدام 13 ضمن مثلث، المثلث الأول أضلاعه 12، 23 والمثلث الثاني أضلاعه 14، 34، وعن طريق امتداد هذين الضلعين يمكن الحصول على المركز 13. شكل (1-34) c,a.



شكل (1-34)

يمكن ملاحظة أن المركز 14 يقع في مالانهاية وبالتالي يمكن رسم خط رأسي عند أي نقطة والمركز 14 يقع على هذا الخط.

obeikandl.com

- **لإيجاد المركز 24:**

يمكن استخدام الضلع 24 مثلثين أولهما ضلعاه الآخرين 32، 43 والثاني ضلعاه 21، 41 عن طريق هذه الأضلاع يمكن الحصول على المركز 24.

ملاحظة:

- **مركز السرعة الصفرية Zero velocity**

من المهم الإشارة لما أن لآي مركز لحظي يحتوي على رقم الإطار يضمن رقمه فإن سرعته تساوي صفراً بالنسبة للإطار في ذلك المخضع. والإثبات ذلك، وحيث أن هذه النقطة تقع على الإطار والوصلة في نفس الوقت، وحيث أن الإطار ثابت فبالتالي فإن السرعة تساوي صفراً.

obeikandl.com