الفصل الثاني

تركيبات آلية مرفقية *Linkage Mechanisms*

2-1- المقدمة *Introduction*

إن الغاية من أية تركيبة آلية أو مجموعة تركيبات آلية - هي بوجه عام - الحصول على حركة محددة للوصلة المقودة نتيجة حركة معينة تعطى للوصلة القائدة . يمكن أن يتم نقل الحركة أو تحويلها في التركيبات الآلية ، إما:

1. باستعمال وصلات صلبة كالأذرع والقضبان والمنزلقات ، تصل بينها بشكل عام ازدواجات دورانية وانزلاقية ، وتسمى التركيبات المرفقية (*Linkage Mechanisms*) .
2. بالتماس المباشر للوصلتين القائدة والمقودة ، كما في حالة كل من تركيبات الكامات والمسننات .
3. باستعمال وصلات مرنة كالسيور والحبال والجنازير في تركيبات الشد ، والسوائل غير القابلة للانضغاط في تركيبات الضغط .

من المفيد - قبل التطرق إلى بحث طرائق تحليل حركة التركيبات وتحديد القوى المؤثرة في وصلاتها المختلفة - التعرف إلى بعض التركيبات المرفقية النموذجية وبيان بعض من تطبيقاتها العملية . أما دراسة تركيبات الكامات والمسننات فإنها ستتم لاحقاً نظراً لكون كل منها يشكل بحثاً متكاملاً وظيفياً وحركياً وتحريكياً . بينما لن نتطرق إلى التركيبات ذات الوصلات المرنة ؛ إذ إنها تبحث عادة في موضوع تصميم الآلات ؛ إضافةً إلى أن أغلبها يكافئ حركياً تركيبات مرفقية بسيطة .

إن التركيبات التي سيتم بحثها هي عموماً ذات درجة طلاقة واحدة ، أي تحدد حركتها الوصلة القائدة فقط ، مع الإشارة ، حيث يلزم إلى بعض التطبيقات لتركيبات ذات درجتي طلاقة .

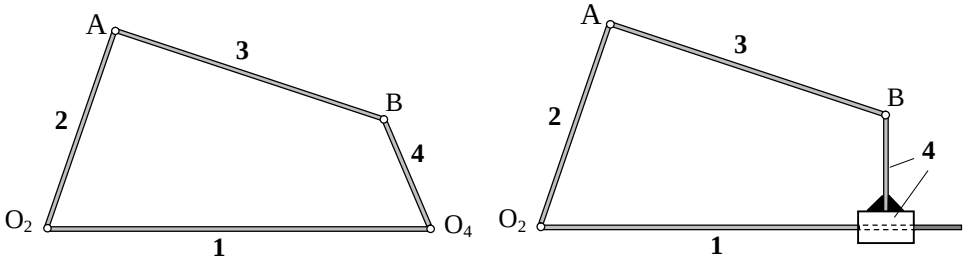
2-2- أنماط حركة تركيبة مرفقية *Linkage Mechanisms Motion Types*

يمكن في تركيبة مرفقية الحصول على حركة دورانية ، تأرجحية أو ترددية نتيجة دوران الوصلة القائدة ، تسمى عادة مرفقاً ، أو العكس بالعكس . يعني ذلك أنه يمكن للتركيبة أن تقوم بتحويل الحركة وفقاً لأحد الأنماط الآتية:

1. من حركة دورانية مستمرة إلى حركة دورانية مستمرة .
2. من حركة دورانية مستمرة إلى حركة تأرجحية أو ترددية أو العكس بالعكس .
3. من حركة تأرجحية إلى حركة تأرجحية ، أو من حركة ترددية إلى حركة ترددية .

وفي الحالات كلها يمكن لنسبة سرعتي الوصلتين اللتين يتم نقل الحركة بينهما أن تكون ثابتة أو متغيرة .

إن أبسط التركيبات القادرة على تحقيق مجمل أنماط الحركة المذكورة أعلاه تنتج من السلسلة رباعية الوصلات (*Four-Link Chain*) . تتألف هذه السلسلة من أربعة ازدواجات سطحية التماس ؛ أي ازدواجات سفلية ، حيث يمكن أن تكون الازدواجات كافة دورانية أو يكون بعضها دورانياً والآخر انزلاقياً ؛ وبالتالي يمكن الحصول على الكثير من التركيبات العملية بإدخال بعض التعديلات على هذه السلسلة كتغيير طبيعة بعض الازدواجات ، ونسب أبعاد الوصلات وغيرها ، فمثلاً باستبدال المفصل الدوراني O_4 في السلسلة الموضحة في المخطط a في (الشكل-2-1) بآخر انسحابي نحصل على سلسلة مرفقية ترددية أي سلسلة المنزلقة والمرفق المبينة في المخطط b في (الشكل-2-1) .



a- سلسلة بأربع ازدواجات دورانية . b- سلسلة مرفقية ترددية .

(الشكل-2-1) سلسلة رباعية الوصلات .

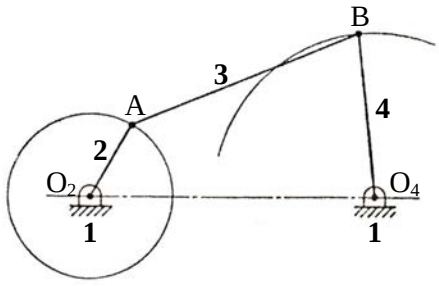
إن الكثير من الآلات المعقدة تتكون أساساً من مجموعة من هذه التركيبات البسيطة أو من متحولاتها التي سندرس بعضاً منها في الفقرات التالية .

تجدر الإشارة إلى أنه سيتم - إلى حد ما - تصنيف التركيبات الآلية تبعاً لتطبيقاتها ، مع التنويه حيث يلزم ، عن المتحولات التي تصادف في تطبيقات مختلفة .

2-3- تركيبة رباعية القضبان *Four-Bar Mechanism*

تنتج هذه التركيبة من سلسلة رباعية الوصلات مؤلفة من أربعة ازدواجات دورانية تربط وصلاتها الأربع . تبين التركيبة a في (الشكل-2-1) التركيبة الأساسية الناتجة من تثبيت الوصلة 1 التي تمثل عملياً هيكل الآلة ، وتمثل الوصلة 3 القارنة التي تنقل الحركة من الوصلة القائدة 2 إلى الوصلة المقودة أو التابع 4 .

توجد إمكانيتان لحركة كل من الوصلتين 2 و 4 المتصلتين بالهيكل . عندما تؤدي الوصلة حركة دورانية مستمرة فإنها تسمى بالمرفق ، أما إذا كانت حركتها اهتزازية بين وضعين حديين ذهاباً وإياباً على قوس دائري ؛ فتسمى حينئذ بالمتأرجحة ، مثال ذلك : لدينا في (الشكل-2-2) مرفق قائد وتابع متأرجح .



(الشكل-2-2) مرفق قائد وتابع متأرجح .

يمكن تصميم تركيبات ذات أنماط حركة مختلفة استناداً إلى السلسلة رباعية القضبان . وتتم عادة تسمية التركيبات من منطلق تحويل الحركة وفقاً للآتي:

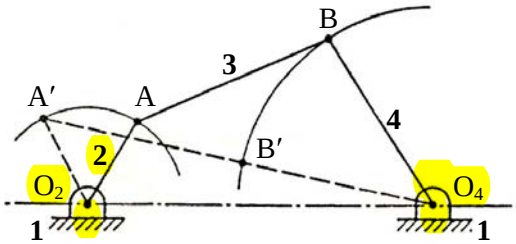
1. الوصلتان 2 و 4 تدوران كلياً نحصل على تركيبة آلية المرفق المضاعف ، حيث يتم تحويل الحركة الدورانية إلى حركة دورانية ، كما في التركيبة b في (الشـــكل-2-6) ، وفي التركيبة a في (الشكل-2-7) .

2. الوصلة 2 تدور كلياً والوصلة 4 تتأرجح ذهاباً وإياباً نحصل على تركيبة آليـــة المرفق المتأرجح ، حيث يتم تحويل الحركة الدورانية إلى حركة تأرجحية وبالعكس ، كما في (الشكل-2-2) ، وفي (الشكل-2-5) .

3. الوصلتان 2 و 4 تقومان بحركة تأرجحية نحصل على تركيبة آلية المتأرجح المضاعف ، حيث يتم تحويل الحركة التأرجحية إلى حركة تأرجحية ، كما هو مبين في تركيبة وات (*Watt Mechanism*) للخط المستقيم المبينة في (الشكل-2-17) .

إن حدوث هذه الحالات يعتمد على أطوال وصلات السلسلة الرباعية ، وبما أن ازدواجات السلسلة الأصلية جميعها هي من طبيعة واحدة دورانية ، فإن تغيير الوصلة الثابتة للحصول على متحولات هذه السلسلة ، يكافئ في الواقع ، تغيير نسب أطوال الوصلات وأوضاعها النسبية مع المحافظة على الوصلة 1 ثابتة . يمكن إذن باختيار مناسب لأطوال الوصلات ولأوضاعها النسبية ، أن تحقق التركيبة الأساسية أغلب أنماط الحركة النسبية المذكورة . إلا أنه يجب الانتباه - عند إجراء هذه التغييرات - إلى تجنب حدوث نقاط ميتة خلال حركة التركيبة . تحدث هذه النقاط الميتة عندما تصبح الوصلتان 3 و 4 على استقامة واحدة ، كما هو مبين في (الشكل-2-3) .

من الواضح في هذه الحالة أن خط عمل القوة المنتقلة من الوصلة القائدة 2 عبر القارنة 3 إلى الوصلة المقودة 4 ينطبق على هذه الوصلة ؛ وبالتالي يجب تطبيق قوة خارجية لكي تتمكن الوصلة من تجاوز هذه النقطة الميتة ، يتم ذلك عادة بتركيب حذافة مناسبة ؛ أي دولاب معدل .



(الشكل-2-3) الوصلتان 3 و 4 على استقامة واحدة .

لقد استنتج الباحث غراسهوف (*Grashoff*) طريقة لتحديد نوع التركيبة حركياً . تعتمد هذه الطريقة على العلاقات الممكن وجودها بين أطوال وصلاتها الأربع ، حيث تميز الحالات الآتية:

a. مجموع طولي أقصر وصلة وأطول وصلة أصغر من مجموع طولي الوصلتين الأخريين . يمكن عندئذ تشكيل التركيبات الآتية:

1. مرفق متأرجح *Rocker Crank*

أقصر وصلة هي المرفق القائد وإحدى الوصلتين المجاورتين لها هي الوصلة الثابتة . يلاحظ وجود تركيبتين مختلفتين من هذا النوع بحسب الوصلة الثابتة .

2. مرفق مضاعف *Double Crank*

أقصر وصلة هي الوصلة الثابتة .

3. متأرجح مضاعف *Double Rocker*

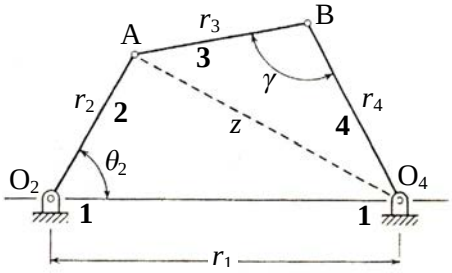
الوصلة المقابلة لأقصر وصلة هي الوصلة الثابتة .

b. مجموع طولي أقصر وصلة وأطول وصلة يساوي مجموع طولي الوصلتين الأخريين .

يمكن عندئذ تشكيل تركيبات مماثلة لتلك المذكورة في (1 , 2 , 3) أعلاه . إن التركيبة b في (الشكل-2-6) هي حالة خاصة عندما تشكل الوصلات متوازي أضلاع . يجب الانتباه إلى إمكانية حدوث نقاط تبديل اتجاه دوران الوصلة المقودة عندما تمر التركيبة بوضع تصبح فيه محاور الازدواجات على استقامة واحدة ؛ لذا يجب تأمين وسيلة عند تصميم التركيبات الناتجة تضمن تقييد الحركة بالاتجاه المطلوب ، يتم ذلك عادة بتركيب حذافة مناسبة .

c. مجموع طولي أقصر وصلة وأطول وصلة أكبر من مجموع طولي الوصلتين الأخريين . تنتج عندئذ تركيبات من نوع متأرجح مضاعف فقط .

كما أن لزاوية النقل تأثيراً كبيراً في تأمين أداء سلس للتركيبة ، تعرف زاوية النقل بالزاوية بين القارنة والوصلة المقودة ، كما في (الشكل-2-4) ، ويرمز لها عادة بالرمز γ .



(الشكل-2-4) تعيين زاوية النقل حسابياً .

من استخدام قانون التجيب في المثلث المشكل من القطر z والوصلتين 1 و 2 ، ينتج أن طول القطر z :

$$z^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1.r_2.\cos q_2$$

وبتطبيق قانون التجيب مرة أخرى في المثلث المشكل من z والوصلتين 3 و 4 ، ينتج أن:

$$z^2 = r_3^2 + r_4^2 - 2r_3.r_4.\cos g$$

من تساوي العلاقتين:

$$r_1^2 + r_2^2 - 2r_1.r_2.\cos q_2 = r_3^2 + r_4^2 - 2r_3.r_4.\cos g$$

نحصل على:

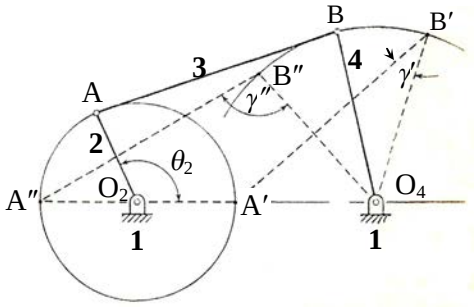
$$g = \cos^{-1}\left[\frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2 - r_4^2 - 2r_1.r_2.\cos q_2}{-2r_3.r_4}\right] \qquad (1\text{-}2)$$

تكتب بشكل آخر:

$$g = \cos^{-1}\left[\frac{z^2 - r_3^2 - r_4^2}{-2r_3.r_4}\right] \qquad (2\text{-}2)$$

يفضل أن يحدد مجال عمل التركيبة بحيث تبقى قيمة زاوية النقل محصورة بين $(40^o < \gamma < 140^o)$ ؛ وبخاصة عند استعمالها في نقل قوى كبيرة نسبياً . يؤدي كون الزاوية خارج مجال هاتين القيمتين إلى إعاقة حركة التركيبة بسبب الاحتكاك في الازدواجات ؛ إضافة إلى احتمال حدوث نقاط ميتة ؛ نظراً لاقتراب الوصلتين 3 و 4 من حالة كونهما على استقامة واحدة .

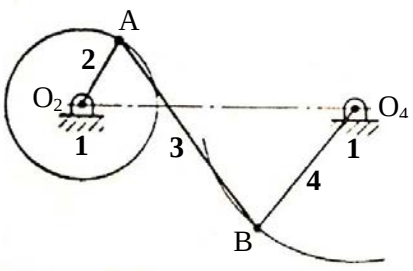
يلاحظ من العلاقة (2-1) أن قيمة زاوية النقل تتعلق في تركيبة معينة بالوضع النسبي بين الوصلة القائدة والهيكل ، يعين هذا الوضع في أي لحظة بالزاوية θ_2 ؛ وبالتالي فإن زاوية النقل سيكون لها ضمن مجال حركة التركيبة قيمة صغرى γ' ، وأخرى عظمى γ'' ، كما هو مبين في (الشكل-2-5) ، حالة تركيبة ذات مرفق قائد يدور دوراناً كاملاً مستمراً ليحرك تابعاً بحركة تأرجحية .



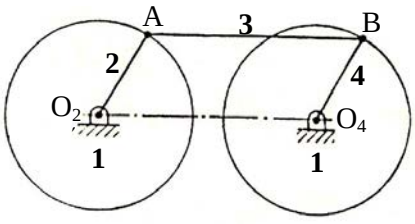
(الشكل-2-5) القيمة الصغرى والعظمى لزاوية النقل .

ذكرنا سابقاً أنه يمكن للتركيبة الأساسية في a في (الشكل-2-1) أن تأخذ عدة أشكال لأداء أنماط مختلفة من الحركة. يبين (الشكل-2-6) و (الشكل-2-7) بعضاً من أهم متحولات التركيبة من الناحية التطبيقية .

تسمى الحالة a في (الشكل-2-6) التركيبة المتصالبة حيث تكون حركة الوصلة 4 تأرجحية مهما كانت حركة الوصلة القائدة دورانية مستمرة أو تأرجحية ، ويبين الشكل حالة تحويل الدوران إلى تأرجح ، أما حالة تحويل التأرجح إلى تأرجح ، فإننا سنتطرق إليها في فقرة لاحقة بتركيبة وات (*Watt Mechanism*) .



a- التركيبة المتصالبة .



b- تركيبة تدوير عجلات القاطرة البخارية .

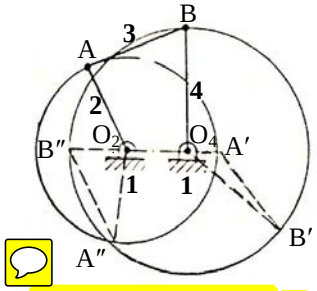
(الشكل-2-6)

أما الحالة b في (الشكل-2-6) فإنها تبين التركيبة التي تميزت بها آليـة تـدوير عجلات القاطرة البخارية ، حيث تشكل الوصلات الأربع متوازي أضلاع ، وأحد طوليه هـو الهيكل . إن الحركة الناتجة هي دوران كل من المرفقين بالسرعة الزاويـة نفسـها . بينمـا تتحرك القارنة بحركة انتقالية موازية لنفسها . إن لهذه التركيبة المتوازية عدة تطبيقات فـي آلات تصنيع الحبال ، في الموازين الميكانيكية كميزان روبرفال ، وفي تجهيزات آلات النسخ .

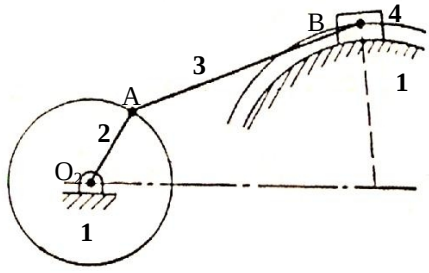
وتبين الحالة a في (الشكل-2-7) تركيبة السحب أو الجر المستعملة في الحصـول على حركة ترددية سريعة الارتداد كما سنبين لاحقاً . تكون الوصلة الثابتة في هذه التركيبـة هي أقصر الوصلات وينتج من ذلك ، أنه عند دوران أحد المرفقين بسرعة ثابتة فإن المرفق الآخر يدور بالاتجاه نفسه لكن بسرعة متغيرة ، بحيث يؤدي كل منهما دورة واحدة بـالزمن نفسه . ولضمان حركة جيدة لهذه التركيبة دون حدوث نقاط ميتة ، يجب أن تحقـق أطـوال وصلاتها المتراجحتين التاليتين معاً:

$$\begin{aligned} AB &> O_2O_4 + O_4B - O_2A \\ AB &< O_2A + O_4B - O_2O_4 \end{aligned} \qquad (3\text{-}2)$$

تستنتج هاتان العلاقتان من المثلثين $O_4A'B'$ و $O_2A''B''$ مع ملاحظة أن مجموع ضلعين في مثلث يجب أن يكون أكبر من الضلع الثالث .



a- تركيبة السحب أو الجر.



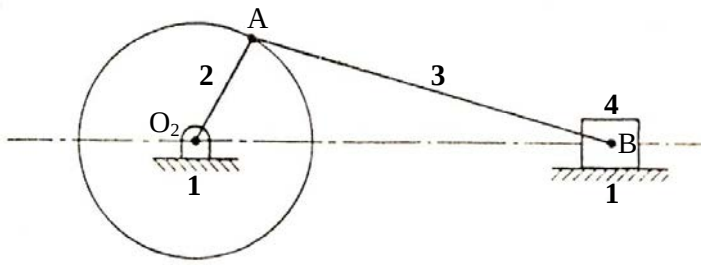
b- الاستعاضة عن الوصلة المتأرجحة بكتلة منزلقة.

(الشكل-2-7)

أما الحالة b في (الشكل-2-7) فإنها تبين تركيبة تكافئ حركياً التركيبة الأساسـية التي سبق توضيحها في b في (الشكل-2-1) ، حيث استعيض عن الوصلة المتأرجحـة 4 بكتلة منزلقة ضمن مجرى نصف قطره يسـاوي طـول هـذه الوصـلة ومركـزه O_4 . يستعمل هذا التصميم عادة عندما يكون طول الوصلة المتأرجحة كبيراً نسبياً .

2-4- تركيبة المنزلقة والمرفق *Slider-Crank Mechanism*

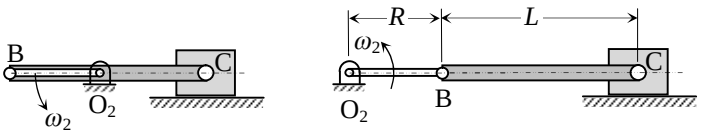
تنتج هذه التركيبة من سلسلة رباعية الوصلات ذات ثلاثة ازدواجات دورانية وازدواج انزلاقي . يبين (الشكل-2-8) المخطط الحركي لتركيبة المنزلقة والمرفق الأساسية حيث تمثل الوصلة 1 الهيكل ، الوصلة 2 المرفق ، الوصلة 3 ذراع التوصيل ، والوصلة 4 المنزلقة أو المكبس . ويلاحظ أنها تكافئ حركياً التركيبة b في (الشكل-2-7) عندما تصبح الوصلة 4 لا نهائية الطول .



(الشكل-2-8) المخطط الحركي لتركيبة المنزلقة والمرفق (*Slider-Crank Mechanism*).

تستعمل هذه التركيبة عموماً لتحويل الحركة الدورانية لعمود المرفق إلى حركة ترددية انزلاقية للمكبس وبالعكس . ففي الضواغط الترددية تنتقل حركة المرفق الدورانية عبر ذراع التوصيل إلى المكبس الذي يتحرك حركة ترددية . أما في محركات الاحتراق الداخلي ، فإن الحركة الترددية للمكبس تنتقل عبر ذراع التوصيل إلى المرفق الذي يدور دوراناً مستمراً . لكن يلاحظ في هذه الحالة وجود نقطتين ميتتين خلال كل دورة كاملة للمرفق . يمكن تدوير المرفق عبر هذين الوضعين بتركيب حذافة مناسبة على عمود المرفق .

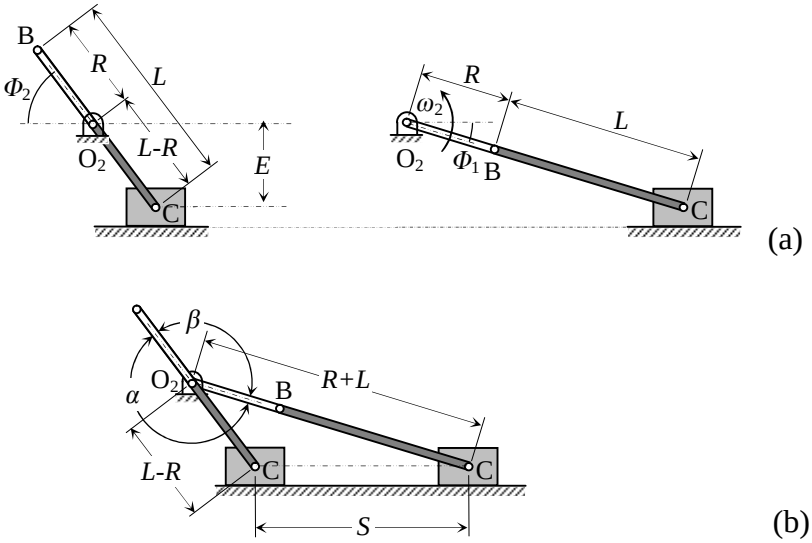
في النسب العادية لأطوال الوصلات لمثل هذه التركيبة الآلية ، أي عندما يكون ذراع التوصيل أكبر طولاً من المرفق ، يوجد وضعان حديان ، وهما يظهران عندما تكون المنزلقة في وضعيها النهائيين الأيمن والأيسر ، أي عندما يصبح المرفق وذراع التوصيل على استقامة واحدة ، سواء كانت الآلية مركزية حيث يمر خط عمل المنزلقة C من مركز دوران المرفق O_2 ، كما في (الشكل-2-9) ، أو ذات إزاحة لا مركزية E تساوي بعد مركز دوران المرفق O_2 عن خط عمل المنزلقة C ، كما في المخطط a في (الشكل-2-10) .



(الشكل-2-9) تركيبة المنزلقة والمرفق المركزية وأوضاعها الحدية .

إن الأوضاع الحدية للتركيبة الآلية لها أهمية خاصة لعدة أسباب ، فهي التي تحـــدد شوط المكبس . كذلك تتعدم سرعة المكبس في اللحظة التي يبلغ فيها أحد وضعيه الحـــديين ، من ناحية أخرى يزداد مقدار تسارع المكبس ، وبالتالي قوة عطالته في تلـــك اللحظـــة ، ولا يمكن أن تقاد آلية المنزلقة والمرفق إلا بتطبيق قوة ما من جهة المكبس عند الوضعية الحدية .

في التركيبة الآلية ذات المكبس الواحد تساعد قوى العطالة للمرفق علـــى تجـــاوز الأوضاع الحدية إذا كان المكبس هو الوصلة القائدة فيها . إن الشـــوط ؛ أي مـــدى الحركـــة للمكبس في التركيبة المركزية يساوي $2R$ أي ضعفي طول المرفق . فالمرفق يدور 180^o بينما يتحرك المكبس من اليسار إلى اليمين ثم يدور 180^o ليعود المكبس إلى اليسار . وإذا دار المرفق بسرعة زاوية ثابتة ، فإن المرفق يستغرق الوقت نفسه اللازم للحركة من اليسار إلى اليمين والعودة إلى اليسار .



(الشكل-2-10) تركيبة المنزلقة والمرفق اللامركزية وأوضاعها الحدية .

أما الأوضاع الحدية للمكبس ذات السرعة المعدومة في تركيبة المنزلقة والمرفق اللامركزية المبينة في المخطط b في (الشكل-2-10) ، فإن الزوايا التي يقطعها المرفق بين الأوضاع الحدية تكون غير متساوية . فإذا دار المرفق باتجاه عكس دوران عقارب الساعة ، فإنه يقطع زاوية أكبر من 180^o ، بينما يتحرك المكبس من اليسار إلى اليمين ، ويقطع زاوية أصغر من 180^o حينما يعود إلى اليسار . فإذا كان المرفق يدور بسرعة زاوية ثابتة باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة ، فإن المكبس يستغرق وقتاً أطول في شوطه نحو اليمين من الوقت اللازم لعودته نحو اليسار . فمن وضعه الحدي يساراً إلى وضعه الحدي يميناً يدور المرفق بزاوية:

$$a = 180^o + f_1 - f_2$$

ويقطع المرفق خلال شوط العودة زاوية:

$$b = 180^o - f_1 + f_2$$

حيث:

$$f_1 = \sin^{-1}\frac{E}{L-R} \qquad , \qquad f_2 = \sin^{-1}\frac{E}{L+R}$$

مع افتراض أن R طول المرفق و L طول ذراع التوصيل و ($E < L$-R) البعد اللامركزي يكون طول الشوط:

$$S = \sqrt{(L+R)^2 - E^2} - \sqrt{(L-R)^2 - E^2}$$

برسم الأوضاع الحدية للتركيبة مع بعض ، يتشكل مثلث ، كما في المخطط b من (الشكل-2-10) ، وباستخدام عدم المساواة في المثلث بأن مجموع أي ضلعين فيه أكبر طولاً من الضلع الثالث ، ينتج:

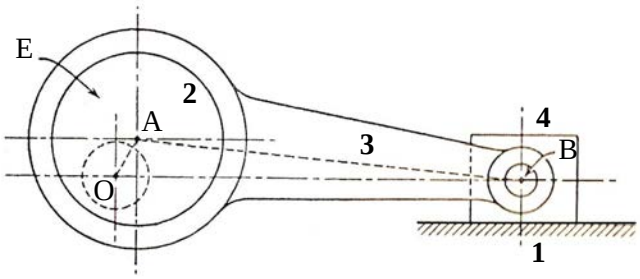
$$L - R + S > L + R \qquad \Rightarrow \qquad S > 2R$$

أي أن طول الشوط سيكون دائماً أكبر من $2R$ في حال وجود اللامركزية E . وتسري العلاقات السابقة إذا تحقق الشرطان التاليان:

$$E < L - R \qquad \Rightarrow \qquad R < L$$

كذلك يمكن إيجاد الزوايا α و β ببساطة من خلال رسم الأوضاع الحدية للتركيبة وقياس الزوايا من الشكل . ويستخدم هذا الحل التخطيطي للتحقق من الحل التحليلي ، أو كما هو الأمر غالباً تكون دقة الحل التخطيطي كافية .

إن بعض التطبيقات العملية لهذه التركيبة تستلزم أحياناً تعديل أبعاد الازدواجات ؛ مما يؤدي ظاهرياً إلى تغيير الشكل الهندسي للتركيبة دون أن يؤثر ذلك في الحركة النسبية بين وصلاتها . يمكن توضيح ذلك استناداً إلى (الشكل-2-11) حيث تم توسيع الازدواج بين المرفق وذراع التوصيل بشكل يغلف عمود الدوران الذي محوره O . يكافئ هذا التعديل الاستعاضة عن المرفق بقرص لا مركزي E يبعد مركزه الهندسي A عن محور الدوران مسافة OA تساوي طول المرفق . من الواضح أن التركيبة في هذه الحالة تكافئ حركياً التركيبة الأساسية المبينة بالخطوط المتقطعة .



(الشكل-2-11) ذراع التوصيل 3 يغلف عمود الدوران الذي محوره O .

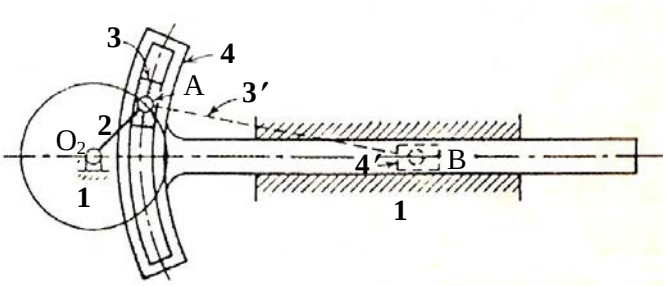
يستعمل هذا التعديل في بعض الآلات كالمطارق الميكانيكية ومكابس التخريم والتشكيل اللامركزية . إلا أن من سيئات هذا التصميم ضرورة تأمين تزييت فاعل عند الازدواج بين القرص والذراع ؛ مما يحد من كمية الطاقة التي يمكن نقلها .

تجدر الإشارة إلى أن لتركيبة المنزلقة والمرفق ثلاثة متحولات نوهنا عنها بإيجاز في الفقرة (1-6) ؛ إضافة إلى أن أهم تطبيقات بعض منها ستبين لاحقاً .

2-5- تركيبة المنزلقتين والمرفق *Double Slider-Crank Mechanism*

إذا تم في تركيبة المنزلقة والمرفق - المبينة سابقاً في (الشكل-2-8) - توسيع الازدواج عند B ليغلف الازدواج A ، فإن ذلك يكافئ حركياً الاستعاضة عن ذراع التوصيل ، بكتلة منزلقة ضمن مجرى منحن نصف قطره يساوي طول هذا الذراع ، ومركزه B ، كما هو مبين في (الشكل-2-12).

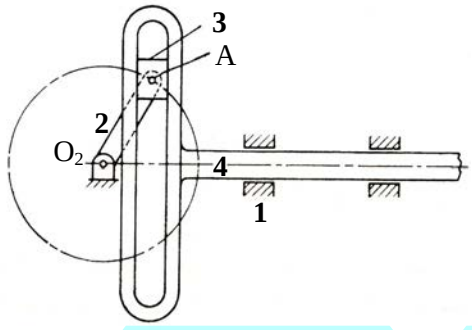
في حال ازداد طول ذراع التوصيل ليصبح لا نهائياً ، فإن المجرى المنحني يتحول إلى مجرى مستقيم ، وتنتج تركيبة المنزلقتين والمرفق المؤلفة من ازدواجين دورانيين وازدواجين انزلاقيين . يجب الانتباه إلى أن هذه التركيبة ليست متحولاً للتركيبة السابقة ، إذ إنه حصل تعديل طبيعة أحد الازدواجات دون تغيير الوصلة الثابتة 1 .



(الشكل-2-12) الاستعاضة عن ذراع التوصيل 3′ بكتلة منزلقة 3 ضمن مجرى منحن .

يبين (الشكل-2-13) المخطط الحركي للتركيبة الأساسية التي تسمى أحياناً (*Scotch Yoke*) ، وتتألف من ازدواجين دورانيين وازدواجين انزلاقيين ، حيث تتصل الوصلة الثابتة 1 بازدواج دوراني من جهة ، وبآخر انزلاقي من الجهة الأخرى ، فإذا دار المرفق 2 بسرعة زاوية منتظمة ، فإن المنزلقة 4 تتحرك حركة توافقية بسيطة .

يمكن البرهان على ذلك بالرجوع إلى النظرية التي نصها: إذا تحرك جسيم مادي على محيط دائرة بسرعة زاوية منتظمة ، فإن حركة مسقطه على أي من محوري الإحداثيات هي حركة توافقية بسيطة . وبما أنه يلاحظ في (الشكل-2-13) أن حركة المنزلقة 4 مماثلة لحركة مسقط الجسيم A على المحور الأفقي ، فإن حركة هذه المنزلقة هي توافقية بسيطة عندما يدور المرفق بسرعة زاوية منتظمة .



(الشكل-2-13) تركيبة المنزلقتين والمرفق (*Scotch Yoke*) .

تستخدم هذه الآلية في آلات الاختبار لتوليد اهتزازات توافقية بسيطة ، وكذلك كمولد حركة جيبيه – تجيبيه صحيحة في عناصر الحاسبات التمثيلية الميكانيكية .

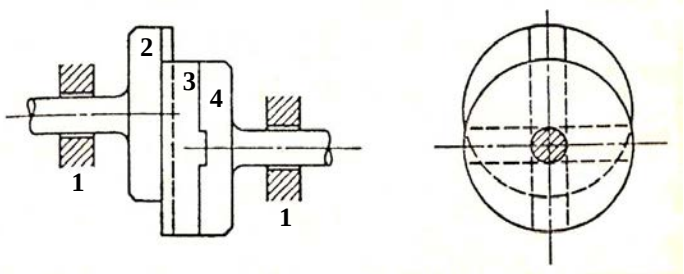
إن المتحول الناتج من تثبيت المنزلقة 3 والسماح للوصلة 1 بالحركة في (الشكل-2-13) ، يعطي للمنزلقة 4 حركة توافقية بسيطة في اتجاه عمودي على الحركة الأولى - شاقولي في هذه الحالة - عند دوران المرفق بسرعة زاوية منتظمة .

إضافة إلى ذلك فإن لمتحولات هذه التركيبة الأساسية عدة متحولات ذات تطبيقات عملية من أهمها قارنة أولد هام وراسم القطع الناقص .

2-5-1- قارنة أولد هام *Oldham Coupling*

تستعمل هذه القارنة لوصل عمودين متوازيين غير متسامتين .

يبين (الشكل-2-14) المخطط الحركي لهذه القارنة حيث تتصل الوصلة الثابتة 1 بازدواجين دورانيين من كلتا جهتيها ، وبالمقارنة مع (الشكل-2-13) فإن هذه التركيبة تنتج من تثبيت المرفق 2 في التركيبة الأساسية للمنزلقتين والمرفق . إن للقرص 3 لسيناً من كل جهة ، يتعامد هذان اللسينان فيما بينهما ، وينزلقان بتوافق دقيق في مجريين مناسبين في العمودين 2 و 4 ، كما يمكن في بعض الحالات أن تكون الوصلة 3 كتلة ذات مقطع مربع تنزلق ضمن مجريين مناسبين في العمودين .



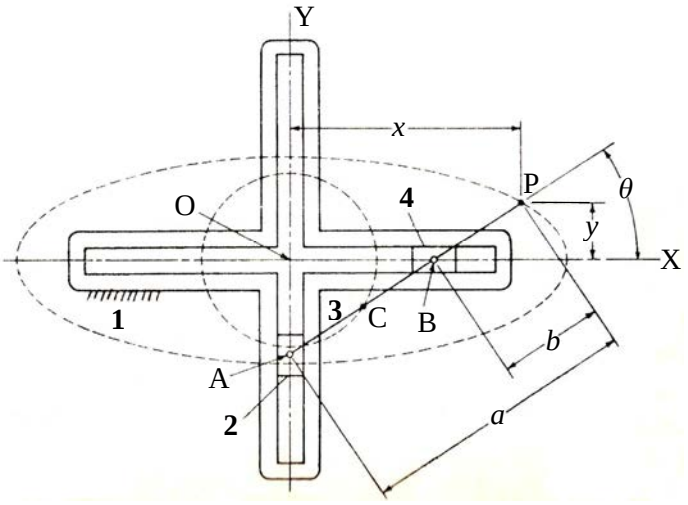
(الشكل-2-14) قارنة أولد هام (*Oldham Coupling*) .

بما أنه لا يوجد أية حركة دورانية نسبية بين الوصلات 2 ، 3 و 4 ، فإن هذه القارنة ستنقل الحركة من العمود القائد إلى العمود المقاد بالسرعة الزاوية نفسها ؛ أي: إن نسبة سرعتي العمودين تساوي الواحد .

من الواضح أن استخدام هذه القارنة ممكن عملياً عندما يكون عدم التسامت بين العمودين صغيراً ، وإلا فإن أقراص الوصل اللازمة تصبح كبيرة الحجم وكذلك قوى التحاك ، ومن المفضل عندئذ استعمال وسيلة أخرى كالسيور أو المسننات .

2-5-2- راسم القطع الناقص *Elliptical Trammel*

يبين (الشكل-2-15) المخطط الحركي للتركيبة المستعملة لرسم القطوع الناقصة ، حيث الوصلة الثابتة 1 تتصل بازدواجين انزلاقيين من كلتا جهتيها ، بينما الوصلة 3 فهي متمفصلة مع هاتين المنزلقتين . من الواضح أن ذلك يكافئ تثبيت الوصلة المشقوقة 4 في التركيبة المبينة في (الشكل-2-13) ؛ أي: إنها متحول لها .



(الشكل-2-15) راسم القطع الناقص (*Elliptical Trammel*) .

يمكن البرهان أنه عند انزلاق الوصلتين 2 و 4 ، فإن النقطة P الواقعة على الوصلة 3 أو امتدادها ترسم قطعاً ناقصاً ؛ إذ يمكن كتابة المعادلات الآتية:

$$x = a.\cos q \qquad , \qquad y = b.\sin q$$

ومنه:

$$\cos^2 q + \sin^2 q = \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \qquad (4\text{-}2)$$

وهي معادلة قطع ناقص مركزه في O ، طول محوره الأكبر 2a ، وطول محوره الأصغر 2b . يلاحظ أنه يمكن الحصول على عدة قطوع ناقصة بتغيير وضع P ، وفي حالة كون هذه النقطة في منتصف المسافة AB ، فإن المعادلة (4-2) تصبح:

$$x^2 + y^2 = a^2$$

وهي معادلة دائرة مركزها O ، ونصف قطرها a يساوي نصف الطول AB .

2-6- تركيبات الحركة المستقيمة *Straight-Line Mechanisms*

تصمم هذه التركيبات بحيث تتحرك نقطة من إحدى وصلاتها حركة مستقيمة ضمن مجال حركة التركيبة ، من الواضح أنه يمكن الحصول على ذلك بالتحكم بحركة وصلة منزلقة بين دليلين مستقيمين . مثال ذلك حركة المكبس في تركيبة المنزلقة والمرفق . لكن نظراً لكبر حجم الدليلين عموماً ، ونتيجة للاحتكاك والتآكل السريع الحاصل في الوصلة المنزلقة ، فمن المحبذ الحصول على حركة مستقيمة باستعمال ازدواجات دورانية فقط .

لقد صُمِّمَ الكثير من هذه التركيبات ، حيث حقق عدد قليل منها حركة مستقيمة تماماً ، بينما يعطي معظمها حركة مستقيمة تقريبية ضمن مجال محدد ، كتركيبة وات ، وتركيبة تشيبشيف وتركيبة هوكن ، وبالمقابل هناك تركيبات آلية مرفقية أكثر تعقيداً تولد مساراً مستقيماً دقيقاً ، كتركيبة بوسولييه ، وتركيبة هارت ، وتركيبة سكوت روسل ، ، وسنبين هنا بعضاً منها .

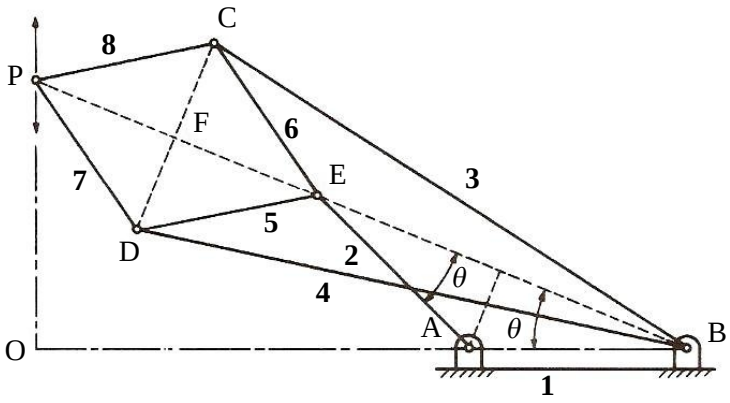
2-6-1- تركيبة بوسولييه *Peaucellier Mechanism*

لقد أوجد بوسولييه التركيبة الشهيرة باسمه للحصول على حركة مستقيمة صحيحة تماماً ، وهي تتألف من ثماني وصلات ذات ازدواجات دورانية فيما بينها .

يبين (الشكل-2-16) المخطط الحركي لتركيبة بوسولييه ، حيث الأبعاد فيها:

$$AB = AE \quad , \quad BC = BD \quad , \quad PC = PD = CE = DE$$

يلاحظ من الشكل أن الوصلة الدوارة EA والوصلة الثابتة BA لهما الطول نفسه ، ويقع المفصلان E و P على زاويتين متقابلتين من سلسلة رباعية ذات الوصلات متساوية الطول EC , CP , PD , DE ، والمفصلان D و C يتصلان بالمفصل الثابت B بواسطة الوصلتين CB و DB المتساويتين طولاً ، بحيث يبقى مسقط المفصل P على الخط المار من AB هو نقطة ثابتة O ، ويمكن إثبات ذلك على النحو الآتي .



المخطط الحركي لتركيبة بوسولييه (*Peaucellier Mechanism*) للخط المستقيم .

(الشكل-2-16)

لتكن F نقطة تقاطع قطري السلسلة الرباعية ECPD ، ومن المثلثين القائمين BFC و EFC ، لدينا:

$$\overline{BF}^2 = \overline{BC}^2 - \overline{CF}^2 \qquad , \qquad \overline{EF}^2 = \overline{CE}^2 - \overline{CF}^2$$

وبطرح العلاقتين نجد:

$$\overline{BF}^2 - \overline{EF}^2 = \overline{BC}^2 - \overline{CE}^2$$

$$(BF + EF)\,(BF - EF) = \overline{BC}^2 - \overline{CE}^2$$

لكن:

$$BF + EF = \frac{OB}{\cos q} \qquad , \qquad BF - EF = 2AB\,.\cos q$$

إذن:

$$\frac{OB}{\cos q}\,.\,2AB\,.\cos q = \overline{BC}^2 - \overline{CE}^2$$

$$OB = \frac{\overline{BC}^2 - \overline{CE}^2}{2AB} = \text{const.}$$

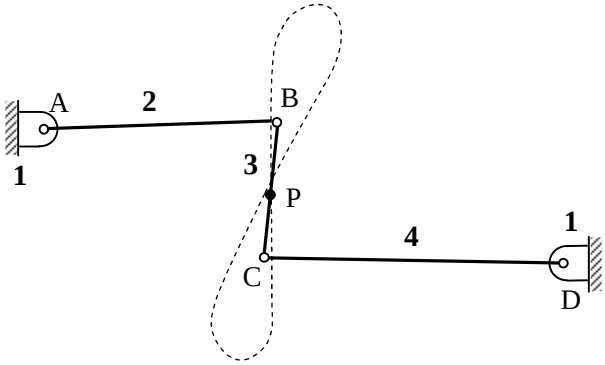
أي إن مسقط المفصل P على الخط المار من AB هو نقطة ثابتة O ؛ وبالتالي فإن المفصل P يتحرك دوماً على الخط المستقيم OP العمودي على AB .

2-6-2- تركيبة وات *Watt Mechanism*

تعدّ تركيبة وات الشكل النموذجي من الآليات التي استخدمها العالم وات للقيام بعمل دليل لمكبس آلته البخارية في بداية اختراعاته ، وتستعمل لتوليد حركة مستقيمة تقريبية .

يبين (الشكل-2-17) المخطط الحركي لتركيبة وات ، وهي عبارة عن تركيبة متصالبة رباعية القضبان ذات متأرجح مضاعف ، حيث تتحرك كل من الوصلتين CD و AB حركة تأرجحية . تصمم هذه التركيبة بحيث تكون هاتان الوصلتان متوازيتين عند الوضع الوسطي ، بينما تكون الوصلة BC متعامدة معهما ، وتقسم النقطة P هذه الوصلة بحيث إن:

$$BP / PC = CD / AB$$



المخطط الحركي لتركيبة وات (*Watt Mechanism*) للخط المستقيم .
(الشكل-2-17)

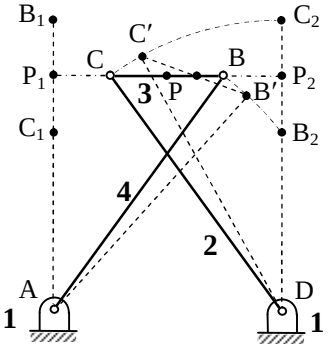
وجد عملياً أن النقطة P ترسم المسار المنقط الذي هو في جزء كبير منه خط مستقيم دقيق نسبياً ، فيما لو تأرجحت الوصلة CD بزاوية صغيرة حول الوضع الوسطي لا تزيد على 14^o من كل جهة .

2-6-3- تركيبة تشيبشيف *Tchebyshev Mechanism*

تعدّ تركيبة تشيبشيف من أكثر التركيبات استعمالاً لتوليد حركة مستقيمة تقريبيـــة . يبين (الشكل-2-18) المخطط الحركي لتركيبة تشيبيشيف ، وهي عبارة عن رباعي قضـــبان متصالب فيه الوصلتان AB و CD متساويتان . وتقع النقطة p في منتصـــف الوصـــلة BC ، وترسم خلال الحركة مساراً مستقيماً تقريباً على امتداد هذه الوصلة موازيـــاً للهيكـــل AD ، إذا تحققت الأطوال النسبية الآتية:

$$AD = 2\,BC \quad , \quad AB = CD = 1.25\,AD$$

إن طول المسار المستقيم الممكن رسمه P_1P_2 يســـاوي البعـــد بـــين المفصـــلين الدورانيين A و D . يبين التحليل الرياضي بأن الاختلاف الأعظمي عن الخـــط المســـتقيم عندئذ يساوي فقط 0.24% من هذا البعد . من الواضح أن الوضع الحـــدي P_1 يوافـــق الوضع الشاقولي للوصلة AB ، بينما ينتج الوضع الحدي P_2 عندما تصبح الوصلة DC شاقولية .



المخطط الحركي لتركيبة تشيبشيف (*Tchebyshev Mechanism*) للخط المستقيم .
(الشكل-2-18)

يمكن الحصول على متحول لهذه التركيبة بتثبيت النقطة P ، وتدوير المرفق BC حولها بزاوية بحدود 180^o ؛ مما يعطي للوصلة AD حركة سلسة مستقيمة تقريباً لا يزيد الخطأ فيها على 0.25% من طول الخط المستقيم ، أي يمكن إهماله في أغلب التطبيقـــات العملية . تستعمل هذه الطريقة في تحويل حركة زاوية إلى حركة خطية تناســـبية أو العكـــس بالعكس ؛ إذ إنها طريقة أبسط وأرخص من استعمال تريس وجريدة مســـننة ؛ إضـــافة إلـــى تحقيق توزيع ملائم للقوى ، وعدم وجود دفع جانبي على الدليل عند التأثير بقوة محورية .

7-2- تركيبات الحركة سريعة الارتداد *Quick-Return Mechanism*

تستعمل هذه التركيبات في بعض آلات التشغيل كالمقاشط والمناشير الآلية ، وكذلك في الكثير من العمليات التكنولوجية المتكررة ، مثل دفع أجزاء ما على امتداد خط التجميع ، وتثبيت قطعتين معدنيتين مع بعض ريثما يتم لحامهما ، أو ثني علب الكرتون في آلات الرزم والتعبئة الآلية .

في مثل هذه العمليات المتكررة تكون التركيبة الآلية عادة خلال جزء من دورة العمل تحت الحمل ، وهذا يدعى وفق عمل التركيبة بشوط التقدم ، شوط العمل أو شوط التشغيل ، وفي الجزء الآخر من دورة العمل الذي يسمى شوط العودة ، الرجوع أو الارتداد فلا تبذل التركيبة الآلية عملاً ؛ ولكن تعود ببساطة لتكرار العملية .

ففي آلات التشغيل مثلاً تعطى عدة القطع حركة بطيئة خلال شوط التشغيل ، وحركة سريعة خلال شوط الارتداد بينما يدور المرفق القائد بسرعة زاوية ثابتة . إن نسبة الزمن اللازم لشوط التشغيل إلى زمن شوط الارتداد تسمى النسبة الزمنية (*Carnal ratio*) ، ويرمز لها بـ C_R :

$$C_R = \frac{\text{زمن شوط التشغيل}}{\text{زمن شوط الارتداد}} \qquad (5\text{-}2)$$

ويجب أن تكون قيمة C_R أكبر من الواحد لكي يتحقق الغرض المطلوب من الآلية ؛ ولذلك فإن جميع الآليات التي تعطي قيمة لـ C_R أكبر من الواحد تدعى آليات الرجوع السريع .

بما أن المرفق يدور بسرعة منتظمة ، فمن السهل تعيين النسبة الزمنية ، حيث نعين أولاً الأوضاع الحدية للمرفق - كما في (الشكل-2-10) - التي تحدد بداية شوط العمل ونهايته ، بعد ذلك ومع الأخذ بالحسبان اتجاه دوران المرفق ، نقيس زاوية المرفق α المقطوعة خلال شوط العمل ، وتكون الزاوية المتبقية β هي زاوية المرفق خلال شوط الرجوع .

إذا كان τ هو دور مرفق المحرك ينتج أن:

$$\text{زمن شوط العمل} = (a / 2p)\,t \qquad (6\text{-}2)$$

$$\text{زمن شوط الرجوع} = (b / 2p)\,t \qquad (7\text{-}2)$$

بتعويض العلاقتين (2-6) و (2-7) في العلاقة (2-5) نحصل على:

$$C_R = \frac{a}{b} \qquad (8\text{-}2)$$

ومن الملاحظ أن النسبة الزمنية لا تتعلق بمقدار العمل المبذول أو سرعة المرفق القائد فهي خاصية حركية للتركيبة الآلية ذاتها ، ويمكن تعيينها من الأبعاد الهندسية لها ، ويلاحظ أيضاً من ناحية أخرى أنه يوجد اتجاه مناسب ، واتجاه غير مناسب لدوران مثل هذه التركيبات .

فإذا دار المرفق باتجاه دوران عقارب الساعة في التركيبة المبينة في (الشكل-2-10) ، فإن أدوار الزوايا α و β تنعكس ، وتصبح النسبة الزمنية أقل من الواحد ؛ بالتالي يجب أن يدور المرفق باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة في هذا المثال لكي نحصل على خاصية الرجوع السريع .

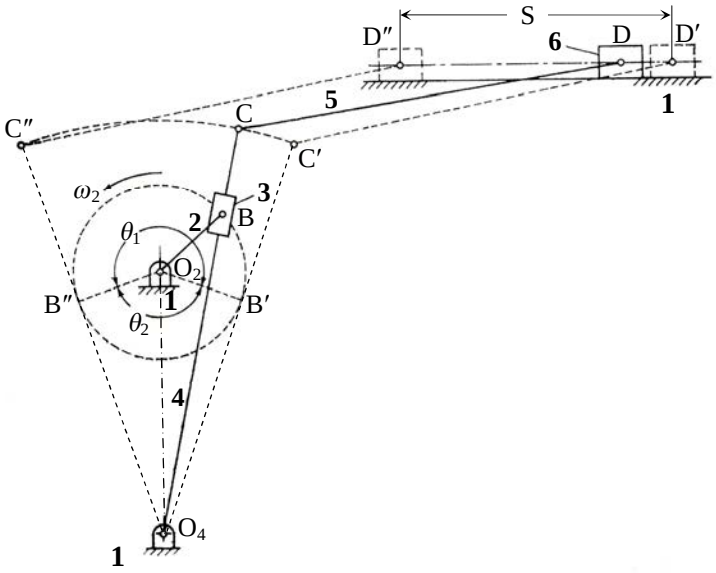
يوجد أنواع كثيرة من الآليات تتمتع بهذه الخاصية ، ولكل نوع طريقة مختلفة لإيجاد نسبته الزمنية ، ولكن العلاقة (2-8) تسري في الحالات كلها ، واستخدام التركيبات التي تحوي أكثر من 4 وصلات ، تتيح مجالاً أوسع في قيمة النسبة الزمنية ؛ إضافةً إلى إمكانية التحكم في مقدار الشوط الكلي حسب اللزوم .

سندرس فيما يلي أهم التركيبات المطبقة عملياً في توليد الحركة سريعة الارتداد .

2-7-1- تركيبة المرفق والذراع المشقوق *Crank Shaper Mechanism*

هي تركيبة تنتج استناداً إلى متحول التركيبة الأساسية للمنزلقة والمرفق الناتج من تثبيت ذراع التوصيل .

يبين (الشكل-2-19) المخطط الحركي لهذه التركيبة ، حيث يدور المرفق 2 بسرعة زاوية منتظمة باتجاه عكس دوران عقارب الساعة ؛ مما يؤدي إلى تأرجح الوصلة المشقوقة 4 ؛ وبالتالي انتقال الحركة إلى المنزلقة 6 عبر الوصلة 5 ، وتتحرك المنزلقة في هذه الحالة ببطء نحو اليسار ثم تعود وترتد بسرعة نحو اليمين ، حيث النسبة الزمنية تساوي إلى $(C_R = q_1 / q_2)$ والشوط S .



المخطط الحركي لتركيبة المرفق والذراع المشقوق (*Crank Shaper Mechanism*) .
(الشكل-2-19)

يلاحظ من الشكل أن الشوط يساوي طول الوتر C′C″ ؛ إذ إن المنزلقة التي تحمل عدة القطع مقيدة بالحركة على مسار عمودي على امتداد الخط O_2O_4 ؛ وبالتالي يمكن البرهان بسهولة أن:

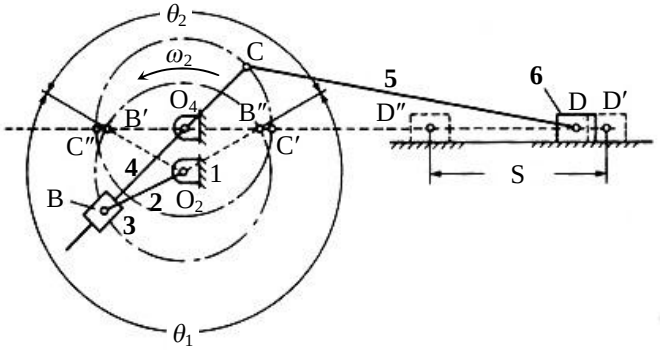
$$S = 2\,O_4C\frac{O_2B}{O_2O_4}$$

يمكن إذن تغيير الشوط من خلال تعديل هذه الأبعاد ، إلا أنه في التطبيقات العملية يتم ذلك عادة بتعديل طول المرفق O_2B عن طريق تغيير وضع الوتد B . يجب الانتباه إلى أن تغيير طول المرفق يؤدي إلى تغيير النسبة الزمنية عند المحافظة على بقية الأبعاد الثابتة ، كما أن تصغير المرفق ينتج منه نقصان الشوط ، لكن زيادة الزاوية θ_2 ؛ وبالتالي انخفاض قيمة النسبة الزمنية ، والعكس بالعكس ؛ لذلك فإنه يفضل استعمال هذه التركيبة في الحالات التي تستلزم شوطاً طويلاً نسبياً كالمقاشط الأفقية مثلاً .

2-7-2- تركيبة ويت وورث *Whitworth Mechanism*

هي تركيبة تنتج استناداً إلى متحول التركيبة الأساسية للمنزلقة والمرفق الناتج من تثبيت المرفق ؛ وبالتالي فهي تشابه تركيبة المرفق والذراع المشقوق مع جعل المسافة بين المركزين الثابتين O_2 و O_4 أقل من طول المرفق O_2B ؛ مما يؤدي إلى دوران كلتا الوصلتين 2 و 4 دوراناً كاملاً .

يبين (الشكل-2-20) المخطط الحركي لهذه التركيبة ، حيث يدور المرفق القائد 2 بسرعة زاوية ثابتة عكس اتجاه دوران عقارب الساعة ؛ بالتالي فإن الوصلة المشقوقة 4 تدور بسرعة زاوية متغيرة بالاتجاه نفسه ، بينما تتحرك المنزلقة 6 ببطء نحو اليسار ثم تعود وترتد بسرعة نحو اليمين .



(الشكل-2-20) المخطط الحركي لتركيبة ويت وورث (*Whitworth Mechanism*) .

يحدد شوط حركة المنزلقة بالوضعين C′ و C″ ؛ أي عندما تصبح الوصلتان على استقامة واحدة ، وبالتالي فإن طول الشوط هو:

$$S = 2\,O_4C$$

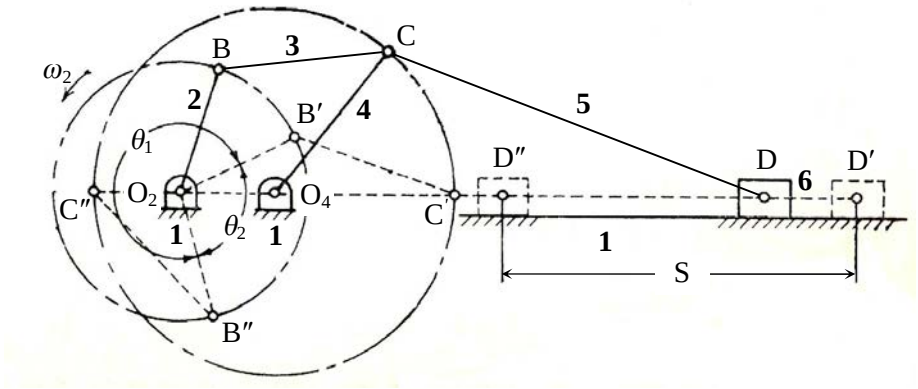
أي إن طول الشوط لا يتعلق بطول المرفق القائد ، ويمكن تغييره فقط من خلال تغيير وضع الوتد C بالنسبة للمركز الثابت O_4 .

أما النسبة الزمنية فتساوي $(C_R = q_1/q_2)$ ، فهي لا تتأثر بطول الشوط بخلاف ما بيناه في تركيبة المرفق والذراع المشقوق ؛ لذلك فإن هذه التركيبة هي أكثر ملاءمة للمقاشط الرأسية المستعملة في قطع الأخاديد ؛ إذ إن الشوط المطلوب في هذه الحالات يكون عادةً قصيراً نسبياً .

2-7-3- تركيبة السحب أو الجر *Drag-Link Mechanism*

هي تركيبة تعتمد في مبدئها على التركيبة رباعية القضبان عندما تكون الوصلة الثابتة هي أقصر الوصلات ، بشرط أن تحقق أطوال وصلاتها المتراجحتين (2-3) اللتين سبق ذكرهما .

يبين (الشكل-2-21) المخطط الحركي لهذه التركيبة ، حيث يدور المرفق القائد 2 بسرعة زاوية ثابتة عكس اتجاه دوران عقارب الساعة ، وتنتقل الحركة عبر وصلة السحب 3 إلى الوصلة 4 التي تدور بالاتجاه نفسه ، لكن بسرعة زاوية متغيرة ، لتتحرك المنزلقة عبر الوصلة 5 ببطء نحو اليسار خلال شوط التشغيل ، ومن ثم تعود وترتد بسرعة نحو اليمين .



(الشكل-2-21) المخطط الحركي لتركيبة السحب أو الجر (*Drag-Link*) .

يحدد شوط حركة المنزلقة بالوضعين بدلالة طول الوصلة 4 ، حيث:

$$S = 2\,O_4C$$

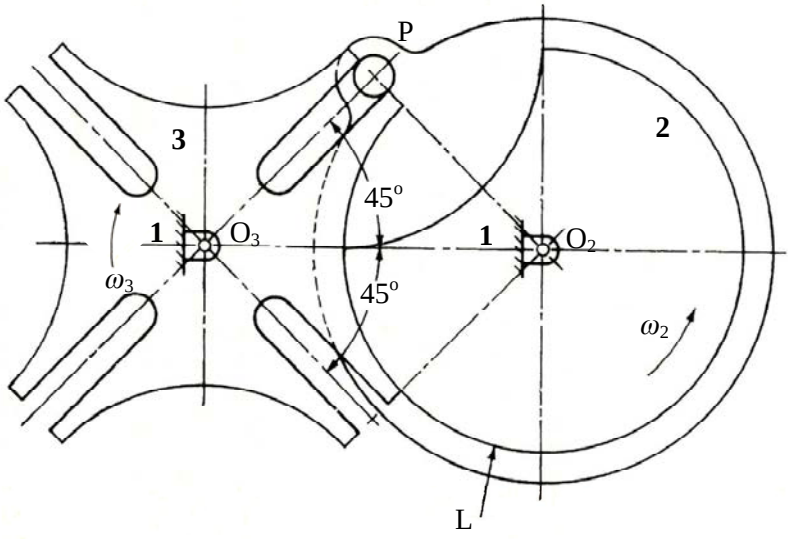
أما النسبة الزمنية فتساوي $(C_R = q_1 / q_2)$ ، وتكون في أغلب الحالات بحدود 1 : 2 ، كما أن حركة المنزلقة خلال معظم شوط القطع هي حركة منتظمة تقريباً ، وتستعمل هذه التركيبة في المقاشط الصغيرة ؛ وبخاصة آلات تشكيل مجاري الخوابير .

2-8- تركيبات الحركة المتقطعة *Intermittent-Motion Mechanisms*

هي تركيبات آلية تحول الحركة المستمرة إلى حركة متقطعة ، وتستخدم بشكل عام في آلات التشغيل لوضع القطع المراد تشغيلها أمام عدة القطع ، أو في إجراء عمليات التعليم أو التقسيم أو التفريز .

2-8-1- تركيبة دولاب جينيفا *Geneva Wheel Mechanism*

يبين (الشكل-2-22) المخطط الحركي لهذه التركيبة المفيدة جداً في توليد حركة متقطعة ، حيث الدولاب القائد 2 يحوي مسماراً P يعشق بالشقوق المفتوحة في الدولاب المقود 3 . إذا دار الدولاب 2 بسرعة زاوية منتظمة حول محوره ، فإن حركة المسمار في الشق تعمل على دوران الدولاب 3 بسرعة زاوية متغيرة حتى لحظة خروج المسمار من هذا الشق . يبقى الدولاب المقود بعد ذلك متوقفاً ، بينما يتابع الدولاب القائد دورانه حتى يعشق المسمار في الشق الثاني ، وتتكرر الحركة المتقطعة .



المخطط الحركي لتركيبة دولاب جينيفا (*Geneva Wheel Mechanism*) .

(الشكل-2-22)

توضع الشقوق بحيث يدخل المسمار إليها ، ويخـــرج منهـــا مماســـياً ؛ أي تكـــون الزاوية O_2PO_3 عندئذ قائمة ، وهذا يعطي هذه الآلية ميزة التقطيع أو التقســـيم دون حمـــل صدم عملياً ؛ لذا فهي تستعمل بشكل واسع في الآلات عالية السرعة ؛ إضافة إلى الآلات ذات السرعة المنخفضة .

في الحالة المبينة في (الشكل-2-22) يحوي الدولاب المقود أربعة شقوق ؛ وبالتالي فإنه يدور ربع دورة لكل دورة كاملة يؤديها الدولاب القائد 2 ، إلا أنه يمكن تصميم آليـــات مشابهة ذات نسب تقطيع مختلفة تبعاً لعدد الشقوق التي توزع بانتظام على محيط الـــدولاب . فإذا كان عدد الشقوق N فإن نسبة التقطيع تساوي 1/N ، وتكون الزاوية بين محوري كل شقين متتاليين 360/N .

يبين الشكل وضع الآلية لحظة دخول المسمار في أحد الشقوق ، حيث يدور الدولاب القائد بسرعة زاوية ثابتة ω_2 عكس اتجاه دوران عقارب الساعة . ينتج من ذلـــك أن يبـــدأ الدولاب 3 بالدوران باتجاه دوران عقارب الساعة بسرعة زاوية متغيرة ω_3 ، تزداد قيمة هذه السرعة من صفر في الوضع المبين ، حتى قيمة عظمى عندما يصبح المسمار على الخط بين المركزين O_2O_3 ، ثم تتناقص حتى تعود إلى الصفر عند خروج المسمار من الشـــق . يؤدي هذا التغير في السرعة إلى ظهور تسارع زاوي وبالتالي قوى عطالة ، يجب أخذها في الحسبان عند التصميم منعاً لتآكل جانبي الشقوق بسرعة . يتم ذلك عادةً بوساطة تعديل مسار المسمار بشكل يخفف من قيم التسارع الزاوي الناتج . مثال ذلك الاستعاضة عـــن الـــدولاب القائد بتركيبة رباعية القضبان ، حيث يوضع المسمار على الوصلة القارنة فيهـــا ؛ وبالتـــالي يكون مسار حركته منحنياً مغلقاً .

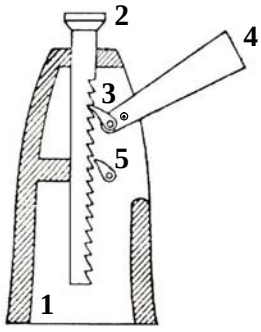
إن لوحة الإحكام L المثبتة إلى الدولاب القائد تمنع الوصلة المقودة من الـــدوران خارج فترة التقسيم ، ويتم ذلك بجعل هذه اللوحة تتزاوج بتوافق دقيق مع الوصلة المقـــودة ، كما في الشكل ، مع قطع تجويف فيها يحصر زاوية تساوي ضعف الزاوية O_3O_2P ليسمح بدوران الدولاب 3 خلال فترة العمل .

إذا أغلق أحد شقوق الدولاب 3 ، فإنه يمكن للدولاب 2 أن يدور عدداً محـــدوداً من الدورات قبل أن يصدم المسمار P هذا الشق المغلق ، وعندئذ تتوقف الحركة . يســـمى هذا التعديل آلية إيقاف جينيفا ، ويستعمل في الساعات وما شابهها لمنع اللف الزائد للنوابض .

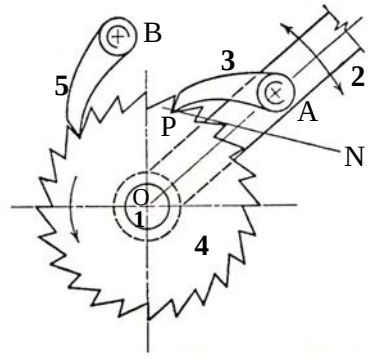
2-8-2- تركيبة السقاطة *Ratchet Mechanism*

وهي تركيبات تستعمل في تحويل حركة انسحابية أو تأرجحية إلى حركة متقطعة دورانية أو انسحابية .

تبين التركيبة a في (الشكل-2-23) آلية مرفاع السيارة ، حيث يمكننا بتخفيض الوصلة 4 تعشيق اللسين 3 مع السن على الوصلة 2 ؛ مما يؤدي إلى رفع هذه الوصلة بشكل متقطع ، وأما لسين الإيقاف 5 ، فإنه يمنع الحركة العكسية للوصلة 2 خلال فترة التعشيق .



a- تركيبة آلية مرفاع السيارة .



b- تركيبة آلية حركة متقطعة .

(الشكل-2-23)

أما التركيبة b في (الشكل-2-23) ، فإنه يبين نوعاً آخر يؤدي فيها تأرجح الذراع 2 الذي يحمل اللسين القائد 3 إلى حدوث حركة دورانية متقطعة للدولاب 4 باتجاه عكس دوران عقارب الساعة ، وإن لسين الايقاف 5 يمنع الحركة العكسية للدولاب خلال فترة التعشيق .

إن الناظم المشرك أو خط العمل PN للسين القائد والسن ، يجب أن يمر بين المركزين O , A ، كما هو مبين في b في (الشكل-2-23) ؛ لكي يحافظ على التماس بين اللسين والسن ، كما أن خط العمل للسين الإيقاف والسن يجب أن يمر بين المركزين O , B .

تصمم تركيبات السقاطة بأشكال متنوعة لتناسب التطبيقات العملية الكثيرة ، إذ نجدها في آلات الرفع ، وآليات التغذية والإيقاف في آلات التشغيل ، ووسائط التغذية في السيور الناقلة وأجهزة القياس وغيرها .

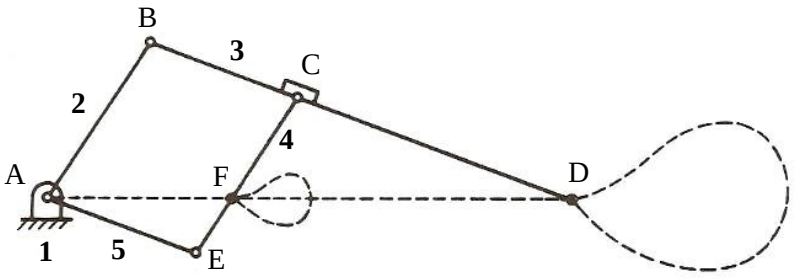
2-9- تركيبات آلية ذات تطبيقات خاصة

من الجدير بالاهتمام إعطاء لمحة عن مميزات بعض التركيبات المستخدمة بشكل عام قبل البدء بتحليل الآليات وتركيبها . يلزم عملياً في أثناء تصميم آلة ما جمع تركيبات بسيطة وأجزاء من آلات أخرى للحصول على العلاقة المطلوبة بين الدخل والخرج . وعلى المصمم أن يكون على دراية بمختلف أشكال الآليات والتركيبات المستخدمة عموماً ، وكذلك أجزاء الآلات المتاحة للاستخدام . عندها يمكن للمصمم القيام بتجميع بعضها للحصول على أفضل النتائج ، ويتم الحصول على هذه المعرفة لمختلف أنواع الآليات المستخدمة من خلال الاطلاع على كتب تصميم الآلات والآليات .

2-9-1- آلية المنساخ *Pantograph Mechanism*

تُعد آلية المنساخ أو البانتوغراف التركيبة الأساسية في مجموعة التركيبات الآلية الناسخة التي تستعمل في الحصول على حركة موازية لحركة معينة ، ويستخدم في نسخ الأشكال بمقياس مصغر أو مكبر .

يبين (الشكل-2-24) المخطط الحركي لآلية المنساخ ، حيث تشكل الوصلات 2 , 3 , 4 , 5 متوازي أضلاع والازدواجات فيما بينها دورانية . أحدها ازدواج مضاعف يربط الوصلات الثلاث 1 , 2 , 5 .



المخطط الحركي لآلية المنساخ – البانتوغراف (*Pantograph Mechanism*) .
(الشكل-2-24)

تمدد الوصلة 3 بحيث تحوي النقطة D ، بينما تمثل F نقطة تقاطع الخطين AD و CE . إذا ما تحركت النقطة D على مسار معين فإن النقطة F ترسم مساراً بمقياس مصغر ، كما يمكن أن يتم العكس عند تحريك F على المسار ، فترسم D مساراً مماثلاً بمقياس مكبر .

يلاحظ أن الشرط اللازم لتكون حركتا النقطتين D و F متوازيتين هو:

$$AD/AF = \text{const.}$$

ويمكن لهذه التركيبة تحقيق ذلك ، إذ إنه للأوضاع كافة لدينا من تشابه المثلثين ABD و FCD :

$$AD/FD = BD/CD = \text{const.} \qquad (9\text{-}2)$$

ومن تشابه المثلثين AEF و DCF :

$$AF/FD = AE/CD = \text{const.} \qquad (10\text{-}2)$$

ومنه بقسمة العلاقتين (2-9) و (2-10) ينتج:

$$AD/AF = BD/AE = \text{const.}$$

إذن يمكن اختيار أطوال مناسبة AE و BD للحصول على مقياس تكبير أو تصغير مطلوب حيث:

$$\frac{AD}{AF} = \frac{\text{مقاس المسار عند D}}{\text{مقاس المسار عند F}} \qquad (11\text{-}2)$$

بينما تحدد أطوال بقية الوصلات مجال عمل تركيبة المنساخ .

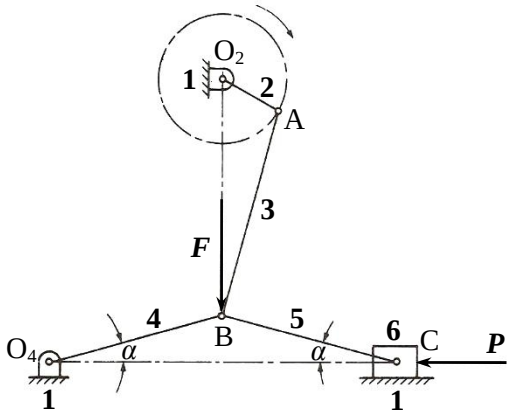
يستخدم المنساخ في مجالات عدة منها: تكبير أو تصغير المصورات ، أو كدليل على عدد القطع في الآلات لنسخ الأشكال المعقدة ، كما يعد التركيبة الأساسية في تصميم راسم منحني المحرك . قد يكون المخطط الحركي في بعض الحالات التطبيقية مختلفاً عما هو عليه في (الشكل-2-24) ، لكن يبقى التحليل الحركي المذكور هو الأساس في الدراسة .

تجدر الإشارة إلى أن التركيبات الناسخة هي - بوجه عام - ذات درجتي طلاقة استناداً إلى عدد وصلاتها وازدواجاتها ، إلا أنها تصبح عند استعمالها في نسخ مسار معين ، ذات درجة طلاقة واحدة بسبب تقييد نقطة من أحد وصلاتها بالحركة على هذا المسار .

2-9-2- الآلية الركبية *Toggle Mechanism*

تستخدم الآلية الركبية أو المفصلية عندما يكون المطلوب التغلب على مقاومة كبيرة P لمسافة قصيرة نتيجة تطبيق عزم صغير نسبياً على المرفق .

يبين (الشكل-2-25) المخطط الحركي للآلية الركبية ، حيث الوصلتان 4 و 5 متساويتان بالطول وتميل كل منهما بزاوية α على مسار المنزلقة C .



(الشكل-2-25) المخطط الحركي للآلية الركبية (*Toggle Mechanism*) .

ينتج من تطبيق عزم دوران على المرفق 2 قوة تنتقل عبر الوصلة 3 إلى المفصل المضاعف B . إذا كانت المركبة العمودية لهذه القوة هي F ، فإن القوة المنتقلة على طول الوصلة 5 إلى المنزلقة تساوي ($F/2\ \sin\alpha$) ؛ وبالتالي فإن تحليل القوى المؤثرة في المنزلقة عندما تصبح الزاوية α صغيرة يعطي العلاقة:

$$P = (F/2)\tan a$$

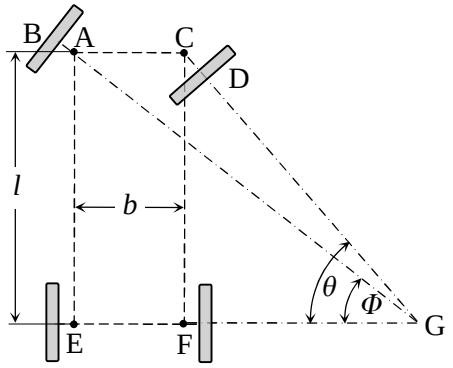
أي إنه عندما تتناقص الزاوية α تقترب الوصلتان 4 و 5 كونهما على استقامة واحدة ، فإننا نحصل لقيمة معينة للمركبة $\boldsymbol{F}$ ، على قيمة متزايدة بسرعة للقوة المقاومة $\boldsymbol{P}$.

إن لهذه الآلية تطبيقات عملية كثيرة إذ نجدها في المماسك المفصلية ، وآلات التبشيم ، ومكابس التخريم ، وكسارات الصخور .

10-2- تركيبات توجيه السيارة *Car Steering Mechanisms*

إن تركيبة التوجيه أو القيادة في السيارة تقوم عادة بتغيير اتجاه محـــوري العجلتـــين الأماميتين بالنسبة للهيكل ، بينما يبقى المحور المشترك للعجلتين الخلفيتين ثابتاً في الاتجاه .

يشترط في مثل هذه التركيبة الآلية أن تكون حركة العجلات بالنسبة للأرض حركة تدحرج صرف ، أي دون انزلاق بين الإطارات والطريق في أثناء تحـــرك الســـيارة علـــى منحن . لتحقيق هذا الشرط ، يجب أن تتحرك العجلتان الأماميتان علـــى مســـارين دائـــريين متحدي المركز في G على امتداد المحور الخلفي المشترك ، كما يجب أن يـــدور محـــور العجلة الداخلية بالنسبة لمنحني الدوران ، زاوية θ أكبر من الزاويـــة Φ التـــي يـــدورها محور العجلة الخارجية . يوضح (الشكل-2-26) تخطيطاً لمبدأ عمل هذه التركيبة الآلية .



(الشكل-2-26) تركيبة التوجيه في السيارة .

نلاحظ من الشكل أن:

$$\cot q = \mathrm{GF/FC} \qquad , \qquad \cot f = \mathrm{GE/EA} = \mathrm{GE/FC}$$

ومنه:

$$\cot f - \cot q = (\mathrm{GE} - \mathrm{GF})/\mathrm{FC} = \mathrm{EF/FC}$$

أي:

$$\cot f - \cot q = b/l \qquad (12\text{-}2)$$

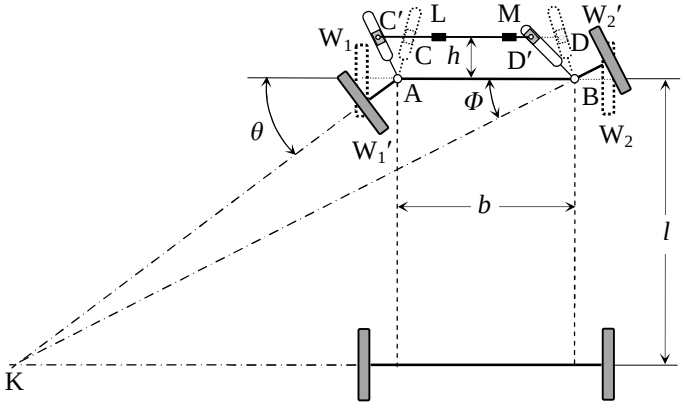
وبالتالي فإن آلية التوجيه يجب أن تحقق العلاقة (12-2) ؛ لضمان توجيه صـــحيح دون انزلاق العجلات مهما كان نصف قطر المسار المنحني الذي تتحرك عليـــه الســـيارة ، وسيتم فيما يلي شرح آليتين مختلفتين من حيث التصميم والأداء .

2-10-1- تركيبة ديفيس *Davis Mechanism*

هي تصميم لتركيبة آلية تؤدي حركة توجيه صحيحة تحقق شرط اتحاد مركز مساري الدوران المذكور أعلاه .

يبين (الشكل-2-27) المخطط الحركي لهذه الآلية ، حيث إن كلاً من الذراعين المشقوقين AC و BD يشكل مع كل من محوري العجلتين الأماميتين W_1 و W_2 رافعة مرفقية متمفصلة عند A و B على التتالي ، وبحيث إن الزاويتين W_1AC و W_2BD متساويتان . إن الوصلة CD توازي AB ومقيدة الحركة طولياً بالمنزلقتين عند L و M ، بينما تتصل نهايتاها بالذراعين AC و BD عبر ازدواج دوراني ، وآخر انزلاقي عند كل من نهايتيها ، وتتحرك السيارة على مسار مستقيم عندما تكون العجلتان الأماميتان في وضعهما الوسطي المبين بالخطوط المنقطة ، بحيث إن الرباعي ABDC يشكل شبه منحرف متساوي الساقين فيه:

$$CAB = DBA = a$$



(الشكل-2-27) تركيبة ديفيس (*Davis Mechanism*) لتوجيه السيارة .

يتم توجيه السيارة بتحريك الوصلة CD إلى يمين الوضع الوسطي أو يساره المبين بالخطوط المتقطعة ، ويبين الشكل الوضع $C'D'$ لدوران نحو اليسار مما يؤدي إلى دوران المحور W_1 بالزاوية θ ، ودوران المحور W_2 بالزاوية Φ ، حيث يمكن كتابة العلاقتين الآتيتين:

$$D'D = x = h.\cot(a - f) - h.\cot a \qquad (13\text{-}2)$$

$$C'C = x = h.\cot a - h.\cot(a + q) \qquad (14\text{-}2)$$

باستعمال العلاقات المثلثية والاختصار ينتج من (2-13) أن:

$$\cot f = \frac{1}{\sin^2 a}\left(\frac{h}{x} + \sin a.\cos a\right) \qquad (15\text{-}2)$$

وكذلك ينتج من (2-14) أن:

$$\cot q = \frac{1}{\sin^2 a}\left(\frac{h}{x} - \sin a.\cos a\right) \qquad (16\text{-}2)$$

ومنه:

$$\cot f - \cot q = 2\cot a \qquad (17\text{-}2)$$

بمقارنة (2-17) مع (2-12) ينتج أنه لكي تؤدي هذه الآلية توجيهاً صحيحاً في أوضاعها كافة ، يجب أن تتحقق العلاقة:

$$\cot a = b/2l \qquad (18\text{-}2)$$

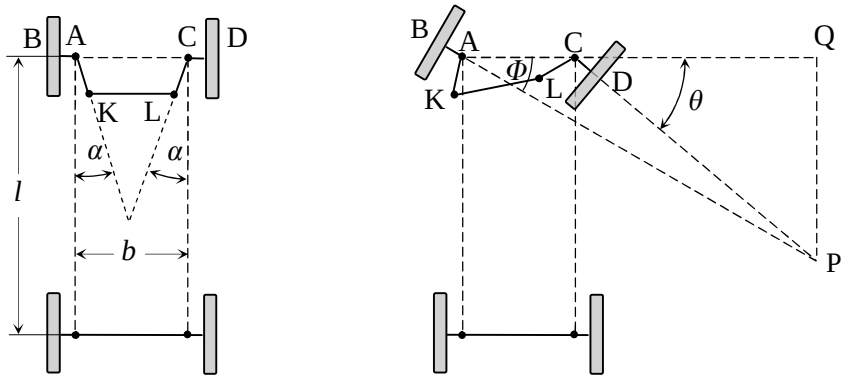
أي إنه يجب عند الوضع الوسطي أن يتقاطع الذراعان AC , BD في نقطة تقع على بعد يساوي h أمام الوصلة AB . يمكن تحقيق ذلك باختيار مناسب لأبعاد الوصلات وزواياها التي تتألف منها هذه الآلية .

رغم أن هذه الآلية صحيحة التوجيه نظرياً ، إلا أن وجود عدة ازدواجات منزلقة في تصميم هذه الآلية يؤدي إلى تآكل سطوح التماس بسرعة ؛ وبالتالي إلى انهيار سريع لدقة أدائها مما يجعلها غير صحيحة عملياً ، ويحد من تطبيقاتها العملية .

2-10-2- تركيبة آكرمان *Ackerman Mechanism*

هذه الآلية أبسط كثيراً من حيث التصميم من الآلية السابقة إذ تتكون فقط من ازدواجات دورانية .

يبين (الشكل-2-28) المخطط الحركي لهذه التركيبة الآلية ، حيث AKLC سلسلة رباعية الوصلات فيها (AK = CL) ، بينما الوصلتان AC و KL متوازيتان في الوضع الوسطي للآلية ، أي عندما تتحرك السيارة على مسار مستقيم . تشكل كل من الوصلتين AK و CL مع كل من محوري العجلتين الأماميتين وصلة مرفقية ، كما في آلية ديفيس ، وتميل كل منهما بزاوية α بالنسبة للمحور الطولي للسيارة .



(الشكل-2-28) تركيبة آكرمان (*Ackerman Mechanism*) لتوجيه السيارة .

تختلف هذه التركيبة عن سابقتها بأنها لا تحقق شرط التوجيه الصحيح إلا في وضعين فقط ؛ إضافة إلى الحركة على مسار مستقيم ، إذ يمكن برسم الآلية في عدة أوضاع دوران نحو اليمين أن نلاحظ وجود قيمة واحدة للزاوية θ تحقق شرط التوجيه الصحيح دون انزلاق ، أي تقاطع محوري العجلتين الأماميتين CD , AB في نقطة تقع على امتداد المحور المشترك للعجلتين الخلفيتين ، كذلك الأمر عند الدوران نحو اليسار ينتج وضع واحد للزاوية θ نفسها لكن في الجهة المناظرة بالنسبة للمحور الطولي للسيارة . أما في بقية الأوضاع ، فإن مركز دوران العجلتين الأماميتين P سيكون خارج امتداد هذا المحور ، كما هو مبين في (الشكل-2-28) ، ولن تحقق عندئذ الزاويتان θ و Φ العلاقة (2-12) التي تحدد شرط التوجيه الصحيح .

يمكن توضيح ذلك بفرض تركيبة آلية معينة فيها:

$$AC/AK = 8.5 \quad , \quad b/l = 0.4 \quad , \quad a = 18^o$$

حيث هذه القيم تساوي تقريباً تلك المعتمدة في أغلب التطبيقات العملية .

يمكن بالتحليل الرياضي أو بالرسم التخطيطي للتركيبة عند أوضاع مختلفة للزاوية θ تعيين قيم الزاوية Φ الموافقة ، وتنظيم الجدول الآتي:

θ	10^o	20^o	30^o	40^o
Φ	$9^o25'$	$17^o43'$	$24^o49'$	$30^o34'$
$\cot f - \cot q$	0.356	0.383	0.431	0.501
Φ_c	$9^o21'$	$17^o38'$	$25^o8'$	$32^o8'$

حيث:

$$\cot f - \cot q = AC/QP$$

أما Φ_C فهي تساوي قيمة Φ اللازمة للتوجيه الصحيح وفق العلاقة (2-12).

نستنتج من هذا الجدول:

- عندما تكون الزاوية θ صغيرة ، فإن الخطأ في قيم الزاوية Φ صغير جداً ، ويمكن إهماله .
- عندما تكون الزاوية θ كبيرة ، فإن الخطأ كبير نسبياً ، مما يؤدي إلى انزلاق بين الإطارات والطريق ، لكن في هذه الحالة من الضروري عادة تخفيف سرعة السيارة ؛ وبالتالي فإن الضرر الناتج من هذا الانزلاق يكون قليلاً ، ولن يؤثر كثيراً في تآكل الإطارات .
- إن هناك قيمة واحدة لـ ($\theta = 24^o$) تتحقق عندها العلاقة (2-12)، أي في المثال أعلاه:

$$\cot f - \cot q = b/l = 0.4$$

نلاحظ أخيراً أننا نحصل على أحسن النتائج فيما لو كانت نقطة تقاطع الضلعين AK و CL في الوضع الوسطي (مسار مستقيم) تقع على مسافة من AC تساوي تقريباً $0.7\,l$ ، كما وأن زيادة هذه المسافة تزيد من قيمة θ التي تعطي توجيهاً صحيحاً دون انزلاق .

لا بد من الإشارة إلى أن هذه الآلية تخضع من الناحية التطبيقية إلى بعض التعديلات بما يلائم المؤثرات المختلفة في التوجيه كالسرعة ، ونوع الإطارات ، وكيفية توزيع وزن السيارة ، ونوع آلية التعليق ، وغيرها .

2-11- تركيبة المنظم *Governor Mechanism*

يعرف المنظم بأنه وسيلة تنظيم آلي للقدرة الناتجة من آلة بما يلائم تغيرات الحمل أو العزم المقاوم المطبق عليها . يعدّ المنظم حركياً تركيبة مرفقية بين وصلاتها ازدواجات دورانية وانزلاقية يختلف عددها بحسب نوع المنظم . إذا كان الحمل ثابتاً فمن البديهي أن السرعة الوسطية للآلة تبقى ثابتة ، بينما في حال تغير الحمل ، فإن هذه السرعة ستتغير إلا إذا تم تعديل القدرة الناتجة من الآلة بما يناسب التغير الحاصل في الحمل . يقوم المنظم بإجراء هذا التعديل في القدرة آلياً من خلال تحسس تغير السرعة الوسطية . يسبب هذا التغير في السرعة تغيراً موافقاً في الأوضاع النسبية لوصلات المنظم ؛ مما يؤدي إلى انتقال حركة محددة إلى نظام التحكم الذي يعدل القدرة المبذولة في الآلة ؛ وبالتالي القدرة الناتجة منها ، بما يناسب الحمل المؤثر فيها .

يلاحظ من ذلك أنه من الضروري أن يتم التغير في السرعة قبل إمكان إجراء التعديل الآلي اللازم في القدرة ؛ مما ينتج منه أن السرعة الوسطية ستجنح إلى الزيادة أو النقصان تبعاً لنقصان الحمل أو زيادته ؛ لذا يجب تصميم تركيبة المنظم بحيث يكون التغير في السرعة الوسطية أصغر ما يمكن ؛ إضافة إلى ذلك فإنه لابد أيضاً من حدوث تأخر في استجابة تغير القدرة الناتجة من الآلة بالنسبة للتغير الحاصل في الحمل .

تجدر الإشارة إلى ضرورة التمييز بين وظيفة كل من المنظم والحذافة حيث يتحكم المنظم في السرعة الوسطية لعمود الدوران ، بينما تتحكم الحذافة في التراوح الدوري للسرعة خلال كل دورة عمل ، كما سنبين لاحقاً في الفصل الخامس . كما أن عمل المنظم يتم بشكل متقطع بينما تؤدي الحذافة عملها بشكل مستمر .

تصنف المنظمات - بشكل عام - حسب مبدأ عملها في نوعين:

1- منظمات بالطرد المركزي .
2- منظمات بالقصور الذاتي .

سنبين فيما يأتي بعضاً من النماذج التطبيقية لكل من هذين النوعين .

2-11-1- منظمات بالطرد المركزي *Centrifugal Governors*

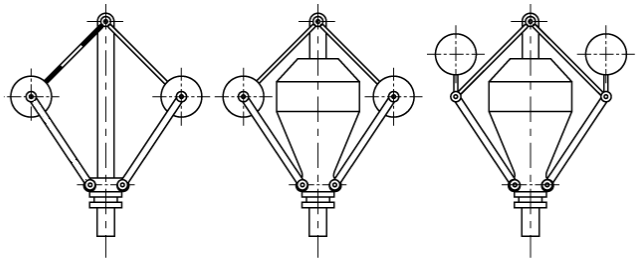
يعمل هذا النوع بتأثير موازنة القوى النابذة الناتجة من دوران كرتين أو أكثر حول محور المنظم ؛ لذا غالباً ما تسمى بـــ المنظمات النابذة . يتصل محور المنظم عادة بعمود دوران المحرك المراد تنظيم سرعته بوساطة جملة مسننات ملائمة ، بينما تتصل كرات المنظم - عبر وصلات مناسبة - بمحور المنظم من جهة ، وبجلبة منزلقة من جهة أخرى ، بحيث تدور الكرات في مستو عمودي على المحور .

يتغير نصف قطر دوران الكرات حول المحور وفقاً لتغيرات سرعة المحرك ؛ مما ينتج منه انزلاق الجلبة بالنسبة للمحور بحركة تحدد قيمةً واتجاهاً من المعطيات التصميمية للمنظم . تؤثر حركة هذه الجلبة في الأوضاع النسبية لوصلات تركيبة آلية بحيث تعدل القدرة المبذولة في المحرك بما يناسب الحمل المؤثرة فيه .

رغم أن هذه المنظمات تشترك مبدئياً في مفهوم عملها تحت تأثير تغير سرعة الدوران ، إلا أنها تختلف من حيث الوسيلة المستخدمة في موازنة القوى النابذة المؤثرة في الكرات إذ يمكن تقسيمها وفقاً لذلك إلى ثلاثة أنواع:

1.منظمات محملة بحمل ميت *Gravity-Controlled Governors*

وتسمى أحياناً بـــ المنظمات ثقالية التحكم . يبين (الشكل-2-29) ثلاثة نماذج تخطيطية لهذا النوع حيث تتم موازنة القوة النابذة تحت تأثير القوى الناتجة في وصلات المنظم ، نتيجة وزن الجلبة المنزلقة ، وما يتصل بها من أحمال ميتة .



(a)

منظم برويل (*Proell*) ، منظم بورتر (*Porter*) ، منظم وات (*Watt*)

(الشكل-2-29) منظمات محملة بحمل ميت .

يمثل النموذج a من (الشكل-2-29) المنظم البدائي الذي استعمله وات (*Watt*) للتحكم بالآلات البخارية ورغم أنه قد أهمل عملياً إلا أن هذا المنظم يعد أساساً لتصميم الكثير من المنظمات ، حيث الكرات متصلة من الأعلى بذراعين متمفصلين مع محور ، بينما من الأسفل متصلة بمنزلقة أسطوانية حرة الحركة على المحور .

يمكن تحسين أداء منظم وات ، من حيث الحساسية ومجال سرعات الاتزان ، بزيادة وزن الجلبة لينتج منظم بورتر (*Porter Governor*) المبين في النموذج b من (الشكل-2-29) ، والذي يعدّ مناسباً فقط لمدى سرعات تتراوح بين (60-80 r.p.m) ، وللسرعات الأكبر من ذلك ، فإنه من الضروري إضافة كتلة إلى الجلبة لزيادة مجال السرعات لمدى محدد من نصف قطر دوران الكرتين .

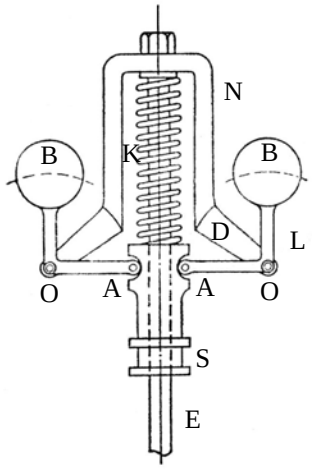
أما النموذج c من (الشكل-2-29) فإنه يمثل منظم برويل (*Proell Governor*) الذي يختلف عن النوع السابق في وضع الكرتين حيث تتصل كل كرة بالجلبة عبر وصلة مرفقية منفرجة الزاوية . يؤدي هذا التغيير في وضع كل من الكرتين إلى تخفيض مقدار التغير اللازم في السرعة لإكساب الجلبة الأسطوانية إزاحة معينة ؛ أي تحسين الحساسية عما كانت عليه في منظم بورتر .

2. منظمات محملة بنابض *Spring-Controlled Governors*

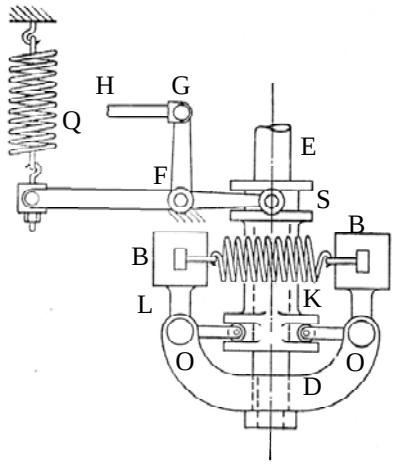
يتضح من تحليل المنظمات المحملة بحمل ميت أنه لا يمكن تحقيق حساسية مقبولة إلا بزيادة قيمة الحمل الميت ؛ أي بزيادة حجم الحيز الذي يشغله المنظم . قد لا يسمح تصميم المحرك وطبيعة عمله بتوفير الحيز اللازم ؛ وخاصة في حال سرعات دوران عالية ؛ لذا يفضل استخدام النابض للحصول على القوة المنظمة اللازمة لأداء جيد للمنظم .

يتم التحكم بعمل المنظمات المحملة بنابض باستعمال نابض انضغاط أو شد ينظم مقدار الانتقال في الكرات الناتج عن قوى العطالة ، وعبر وصلات خاصة يتم تغير كمية القدرة المبذولة إلى المحرك . من الواضح أن المنظمات المحملة بنابض تمتاز عن المنظمات المحملة بحمل ميت بإمكانية التحكم بسرعات الاتزان خلال عمل المنظم ؛ وبالتالي تحسين أدائها من حيث الحساسية والاستقرار وسرعة الاستجابة لتغيرات الحمل .

يبين الرسم التوضيحي a في (الشكل-2-30) تخطيطاً لمنظم هارتنل (*Hartnell Governor*) ، حيث تتم موازنة القوة النابذة من تأثير انضغاط النابض K الذي تنتج منه قوة تؤثر في الجلبة S بحيث يمكن ضبطها بواسطة الغطاء N مع عزقتي ضبط وتثبيت ؛ مما يسمح ذلك بتغير مجال عمل المنظم وضبطه خلال دوران المحرك ، كما تنتقل قوة النابض إلى كل من الوصلتين المرفقيتين AOB اللتين تحملان كرتي المنظم B . بينما تتصل في نهايتها الأخرى بدحروج مركب ضمن مجرى محزوز على محيط الجلبة ، تتصل الوصلة L عند النقطة O بذراع D مثبت بالغطاء الذي يدور مع محور المنظم .



a- منظم هارتنل .

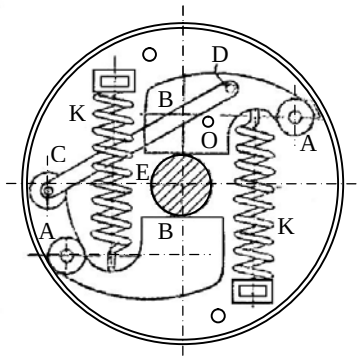


b- منظم ويلسون-هارتنل .

(الشكل-2-30) منظمات محملة بنابض .

كما يبين الرسم التوضيحي b في (الشكل-2-30) تخطيطاً لنموذج آخر يسمى منظم ويلسون – هارتنل (*Wilson-Hartnell Governor*) ، حيث يتم التحكم الرئيسِ بوساطة نابضي شد K , متصلين بالكتلتين B المركبتين على وصلتين L من كلتا جهتي محور المنظم E . تنتقل حركة دوران المحور إلى الكرتين عبر الذراع D المتصل بالوصلتين L عند O . من الواضح أن هذا الترتيب يقلل كثيراً من قوى الدفع الناتجة عند نقاط الارتكاز O التي تصل الوصلات الحاملة للكرات بهيكل المنظم . إلا أن هذا النوع يستلزم تركيب نابض مساعد Q لضبط مجال عمل المنظم . يركب هذا النابض على امتداد محور المنظم ، أو يوصل في نهايته إلى الذراع F الناقل لحركة الجلبة S ، كما في الشكل . يتم ضبط الشد في النابض المساعد بوساطة عزقتي ضبط ، وتثبيت تركبان عند نهايته .

يلاحظ في النموذجين السابقين أن نقاط الارتكاز O للوصلات الحاملة للكرات لا تقع في مستوي دوران الكرات ؛ مما يحد أحياناً من القدرة التي يمكن للمنظم أن ينقلها إلى آلية التحكم بالآلة المراد تنظيم سرعتها . يفضل عندئذ تصميم المنظم بحيث تقع نقاط الارتكاز في مستوي دوران الكرات ، كما هو مبين في (الشكل-2-31) . يركب المنظم في هذه الحالة على عمود الدوران مباشرة ؛ وبخاصة عمود المرفق في الآلات الترددية ؛ لذا فإنه يسمى بـــ المنظم النابذ المرفقي (*Shaft Governor*) .



(الشكل-2-31) منظم النابذ المرفقي (*Shaft Governor*) .

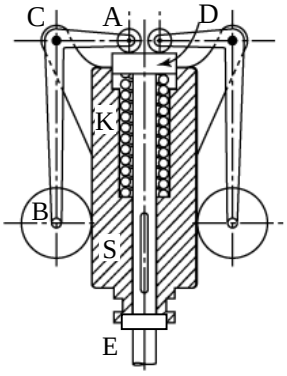
ترتكز كل من الكتلتين B إلى هيكل المنظم عند A ، وتصل بينهما عادة وصلة قارنة CD . إن الهيكل مثبت إلى عمود الدوران E ويدور معه ، وتكون نقطتا الارتكاز على محيطه الخارجي أو قريبة جداً منه . يتم التحكم بوضع الكتلتين بوساطة نابضي شد S ، تثبت نهاية كل منهما بنقطة على الهيكل ، بينما تتصل النهاية الأخرى بكل من الكتلتين . يبين (الشكل-2-31) وضع المنظم عند أصغر سرعة اتزان ، بحيث إذا ازدادت السرعة بسبب تغير الحمل على الآلة ، فإن الكتلتين تتحركان نحو المحيط الخارجي للهيكل ؛ مما يؤدي إلى انتقال الحركة إلى آلية التحكم المتصلة بالمنظم عند النقطة K ، (هذه الآلية غير مبينة بشكل) .

من الواضح أن حركة الكتل أو الكرات الدوارة في أنواع المنظمات النابذة جميعها ، تنتج من تغير السرعة الذي يؤدي إلى تغير قيمة التسارع الجاذب لمراكز ثقل هذه الكتل ، ينشأ عن هذا التغير قوة نابذة باتجاه نصف قطر الدوران ، وبما أن مراكز ثقل الكتل الدوارة تتحرك تقريباً باتجاه نصف قطر الدوران خلال تغير السرعة ، فإن القوى الفاعلة في تحريك آلية التحكم هي قوى نابذة . أما تأثير مركبة التسارع المماسي الناتج من تغير السرعة ، فهو مهمل إن لم يكن معدوماً .

3. منظمات مشتركة التحميل *Governor with Gravity and Spring*

يمكن عملياً عند تحليل القوى في المنظمات المحملة بنابض إهمال وزن الجلبة بالنسبة لبقية القوى نظراً لصغر حجمها ، إلا أنه في منظم مشترك التحميل سيكون لوزن الجلبة أثر كبير ؛ لكونها كبيرة الحجم ، وتحتوي على النابض نفسه .

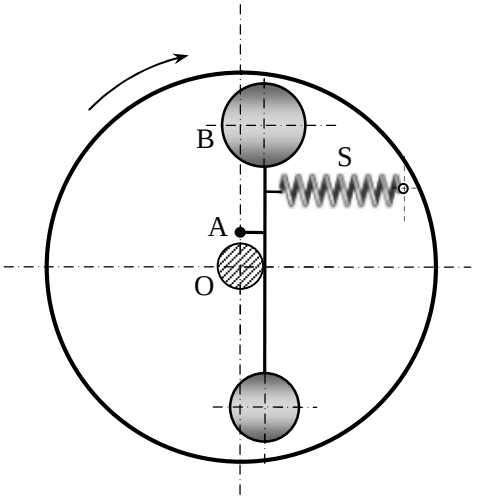
يبين (الشكل-2-32) تخطيطاً لمنظم مشترك التحميل محوره E مقيد الحركة في الاتجاه الشاقولي . تتم موازنة القوة النابذة من التأثير المشترك لانضغاط النابض K وثقالة الجلبة S التي تنتج كل منها قوة تنتقل إلى كل من الوصلتين المرفقيتين ACB قائمتي الزاوية اللتين تحملان كرتي المنظم B . ومجهزة بدحروجين في A ، عند ازدياد السرعة يضغط الدحروج A على قرص السطح العلوي للمحور ضاغطاً النابض المحصور بين الجلبة والمحور E ؛ مما ينتج عنه حركة الجلبة إلى الأعلى . تتصل الوصلة المرفقية بالجلبة عند C التي تتحرك على طول محور المنظم ، بينما يكون النابض داخل الجلبة ومغلقاً عليه من الأعلى بقرص D متصل بالمحور E بشكل صلب . الشكل يبين حالة السكون حيث تعمل قوة النابض وثقل الجلبة على حفظ الكرتين في وضعهما .



(الشكل-2-32) منظم مشترك التحميل (*Governor with Gravity and Spring*) .

2-11-2- منظمات بالقصور الذاتي *Inertia Governors*

يعمل هذا النوع بتأثير موازنة قوى العطالة الناتجة من تسارع محور المنظم أو تباطئه ؛ لذا فإنها غالباً ما تسمى بـــ المنظمات العطالية . إن هذه المنظمات هي بوجه عام من النوع المرفقي ، أي الذي يثبت هيكله إلى عمود الدوران مباشرة ، ويختلف عن النوع السابق المبين في (الشكل-2-31) ، من حيث وضع نقطة الارتكاز A التي تكون في المنظم العطالي قريبة جداً من محور عمود الدوران O ، كما هو موضح في (الشكل-2-33) .



(الشكل-2-33) منظم عطالي (*Inertia Governor*) .

يبين (الشكل-2-33) تخطيطاً مبسطاً لمنظم عطالي مؤلف من وصلة صلبة ذات كتلتين B ، حيث إن مركز ثقلها قريب جداً من مركز الدوران O . تمثل A نقطة ارتكاز الوصلة على هيكل المنظم ، بينما تتصل إحدى نهايتي نابض الشد S بالوصلة الصلبة ، وتثبت نهايته الأخرى بالهيكل الدوار .

إذا تغيرت سرعة الدوران ، فإن تأثير القوة النابذة صغير بسبب كون المرتكز A قريباً جداً من O . يؤثر التسارع الزاوي لعمود الدوران في ظهور قوة عطالة بالاتجاه المماسي لمسار الكتلتين . تؤدي هذه القوة إلى تأخر الكتلتين عن اللحاق بالوضع الجديد للهيكل ؛ وبالتالي تحدث حركة نسبية بين الهيكل والوصلة B . تنتقل هذه الحركة عبر آلية التحكم لتعدل مقدار القدرة المبذولة في الآلة المراد تنظيمها تبعاً لتغير السرعة .

من الواضح أن المنظمات العطالية تمتاز عن المنظمات النابذة بسرعة الاستجابة لتغيرات الحمل ، لأن عملها يعتمد على معدل تغير سرعة الدوران عوضاً عن مقدار التغير الفعلي لهذه السرعة ، كما هو الحال في المنظمات النابذة . إلا أن هذه الميزة تعاكسها صعوبة التحقيق العملي لموازنة تامة للأجزاء المتحركة في جملة المنظم وآلية التحكم ؛ لذا يتم عند تصميمها اختيار الأوضاع والأطوال النسبية بحيث تؤمن استجابة سريعة بتأثير قوى العطالة ، إلى جانب الحفاظ على تأثير معين للقوى النابذة بما يكفي لتحقيق استقرار المنظم .

3-11-2- المفاهيم الأساسية للمنظمات *Basic Concepts of Governors*

لإجراء التحليل الحركي والديناميكي على تركيبة المنظم ، لا بد من تعريف بعض المفاهيم الأساسية المتعلقة بالمنظمات:

- سرعة الاتزان *Balance Velocity*

هي كل سرعة لمحور المنظم يكون عندها نصف قطر دوران الكرات ثابتاً بحيث يحقق الاتزان . ينتج من ذلك أن لكل منظم عدة سرعات اتزان تحدد مجال عمله ، وتسمى السرعة الوسطية التي يقوم المنظم بالتحكم بها بـــ سرعة الاتزان الوسطية .

- الاستقرار *Stability*

يعّد المنظم مستقراً إذا زاد نصف قطر دائرة دوران الكرة كلما زادت السرعة وبالعكس ، وإذا كان لكل سرعة دوران وضع اتزان واحد للمنظم عند إهمال الاحتكاك بين مختلف وصلاته ، أما إذا لم يتحقق هذان الشرطان ، فيعد المنظم غير مستقر .

- الحساسية *Sensitiveness*

للحفاظ على سرعة متوسطة ثابتة للمنظم بقدر الإمكان مهما كان الحمل على المحرك ، فمن الواضح أن يكون انتقال الجلبة أكبر ما يمكن ، وأن يكون التغير في سرعة الاتزان أقل ما يمكن . وبقدر ما يقل تغير السرعة الجزئي ، وهو نسبة تغير السرعة على السرعة الوسطية لانتقال معين للجلبة ، أو يكبر هذا الانتقال لتغير معين في السرعة ، بقدر ما تكون حساسية المنظم كبيرة .

هذا التعريف صحيح تماماً كون المنظم تركيبة آلية مستقلة بحد ذاتها ، أما عندما يكون متصلاً بالمحرك فيكفي أن يكون التغير في سرعة الاتزان بين الحمل الكامل وعدم التحميل أصغر ما يمكن . إن الانتقال الفعلي للجلبة غير مهم طالما يعمل على تغيير القدرة المبذولة للمحرك بالكمية المطلوبة .

لذلك تعرف الحساسية μ_s بأنها النسبة بين سرعة الاتزان الوسطية $\omega_{av.}$ وفرق سرعة الاتزان العظمى $\omega_{\max.}$ الموافقة لحالة الحمل الكامل على المحرك ، وسرعة الاتزان الصغرى $\omega_{\min.}$ الموافقة لحالة اللاحمل على المحرك ، أي:

$$m_s = \frac{w_{av.}}{w_{\max.} - w_{\min.}} \qquad (19\text{-}2)$$

- ثبات السرعة *Isochronism*

يقال عن منظم إنه ثابت السرعة أو وحيد السرعة ، عندما تكون سرعة الاتزان لكل أنصاف أقطار الدوران ضمن الحدود العملية للمحرك ثابتة ، ينتج عن ذلك ، بالاستناد لتعريف الحساسية السابق أن منظم وحيد السرعة عبارة عن منظم لا نهائي الحساسية . إلا أنه عديم الاستخدام عملياً لأن أي تغير ضئيل في سرعة الاتزان ينشأ عنه انزلاق الجلبة إلى أحد وضعيها الحديين . إذ تبقى الجلبة في وضعها السفلي حتى تبلغ السرعة سرعة الاتزان ، وعندما تزداد هذه السرعة بمقدار جزئي ترتفع كرتا المنظم مباشرة إلى نصف قطرهما الأعظمي محركة الجلبة إلى وضعها العلوي . ينتج من التحرك المستمر للجلبة من أخفض إلى أعلى وضع ، عدم اتزان المنظم ، إذ ما إن تنزلق الجلبة إلى أحد هذين الوضعين إلا وتكون جملة التحكم قد أثرت في قدرة المحرك بحيث تتغير سرعته ؛ مما يؤدي إلى انزلاق الجلبة إلى الوضع الحدي الآخر . تستمر هذه الحركة دون حدوث التنظيم الفعلي المطلوب للمحرك .

- القوة المنظمة *Controlling Force*

عندما تكون سرعة الدوران منتظمة فإن كل كرة تخضع مباشرة أو غير مباشرة إلى قوة جذب نحو الداخل . هذه القوة تمثل محصلة القوى الخارجية المؤثرة في الكرة التي تعاكس وتساوي القوة النابذة الناتجة من دوران المحور . يسمى هذا الجذب بالقوة المنظمة . يختلف منشأ القوة المنظمة باختلاف وسيلة تحميل المنظم ، فإما أنها تنتج من تأثير حمل ميت أو من نوابض تتحكم بعمل المنظم ، كما سبق وبينا سابقاً .

- جهد المنظم *Governor Effort*

يمثل جهد المنظم Q القوة التي يمكنه أن يؤثر بها عند الجلبة - لتغير جزئي معين في السرعة - على تركيبة التحكم الآلية التي تتحكم بالطاقة المبذولة للمحرك ، فعندما تكون سرعة الاتزان ثابتة يكون الجهد معدوماً . لكن إذا ما حدث تغير مفاجئ في السرعة يؤدي إلى انزلاق الجلبة إلى وضع توازنها الجديد ، تنشأ عندئذ قوة آنية Q_m تؤثر في تركيبة التحكم الآلية . هذه القوة تتناقص تدريجياً إلى الصفر بينما الجلبة تتحرك إلى وضع توازنها الموافق للسرعة الجديدة . متوسط القوة الآنية خلال هذا التغير يسمى الجهد ، أي:

$$Q = Q_m / 2 \qquad (20\text{-}2)$$

- قدرة المنظم *Governor Power*

تعرف قدرة المنظم بمقدار العمل الناتج من المنظم خلال انزلاق الجلبة الموافق لتغيير معين في السرعة ، وأنه يساوي إلى جداء جهد المنظم في انتقال الجلبة . من الواضح أن القدرة اللازمة تتعلق بشكل تركيبة التحكم الآلية المتصلة بالمنظم . فعندما تكون القدرة اللازمة كبيرة ، فغالباً ما يستعمل الهواء أو الزيت المضغوط لتحريك صمام أو صمامات التحكم في الطاقة المبذولة للمحرك . عندئذ يعمل المنظم على تحريك صمام صغير لإدخال الهواء أو الزيت المضغوط إلى أسطوانة ، يتردد داخلها مكبس متصل بصمامات المحرك عبر وصلات مناسبة .

- الشطط *Hunting*

أو الاهتزاز المستمر ، وتطلق هذه الخاصية على الحالة التي يكون فيها سرعة المحرك المتصل به المنظم مستمرة الاهتزاز أو التغيير فوق وتحت السرعة الوسطية . يحصل هذا في منظم عالي الحساسية ؛ مما يؤدي إلى تغيير القدرة المبذولة بمقدار كبير عندما تتغير سرعة الدوران بكمية صغيرة . كما أنه يؤدي إلى تغير السرعة باستمرار مع ثبات الحمل ، ولا يتحكم المنظم عندئذٍ إلا بالقدرة العظمى أو الصغرى للمحرك دون إمكانية التحكم بالقدرة فيما بين هذين الحدين .

مثال على ذلك نختار الحالة الحدية لمنظم وحيد السرعة متصل بمحرك محمل بحمل ميت . إذا ما ازداد الحمل قليلاً نقصت سرعة الدوران ، وانزلقت جلبة المنظم إلى أخفض وضع لها ؛ مما يسبب فتح صمام التحكم على مداه ، وعليه تكون كمية القدرة المبذولة أكبر من المطلوب ؛ مما ينتج عنه ارتفاع الجلبة إلى أعلى وضع لها . نتيجة لذلك يغلق الصمام كلياً وتنقص القدرة المبذولة فتنخفض السرعة ثانية ، وتتكرر الدورة بصورة لا نهائية . مثل هذا المنظم يعطي أعظم أو أقل قدرة ، ولا يمكنه أن يعطي أية كمية قدرة بينهما . بسبب ذلك يحصل الاهتزاز المستمر في السرعة ، أو بمعنى آخر يكون المنظم في حالة شطط أو تأرجح .

- الاحتكاك *Friction*

مهما فرض أن المنظم عديم الاحتكاك ، فالحالة الواقعية لا تخلو من وجود الاحتكاك في مفاصل المنظم وتركيبة التحكم الآلية التي يحركها . حيث إن قوة الاحتكاك تعاكس دوماً اتجاه الحركة ، من الواضح إذن أن الاحتكاك يمنع حركة الجلبة إلى أعلى ، والكرات إلى الخارج عند ازدياد السرعة وبالعكس عند نقصانها .

يتضح لنا جلياً تأثير الاحتكاك في حركة الجلبة ، فعندما يدور المنظم بسرعة زاوية ω ، تكون كل كرة متزنة بالنسبة للمستوي الرأسي عند نصف قطر الدوران r ، فإذا زادت السرعة زيادة بسيطة نسبياً ، فإن الجلبة لن تتحرك إلا عندما تصبح سرعة المنظم ω'' عند نصف القطر r نفسه ، ثم بعد ذلك تتحرك الجلبة ، ويزداد نصف القطر تبعاً لزيادة السرعة ، أما إذا انخفضت السرعة بمقدار بسيط فإن الجلبة لن تتحرك أيضاً ، ويستمر انخفاض السرعة بدون تحرك الجلبة من موضعها حتى تصل السرعة إلى ω' ، فإذا انخفضت السرعة بعد ذلك تتحرك الجلبة إلى أسفل ، ويقل نصف القطر تبعاً لانخفاض السرعة .

- عدم الحساسية *Insensitiveness*

يلاحظ من تأثير الاحتكاك في حركة الجلبة ، أنه عند كل نصف قطر r توجد سرعتان ω'' و ω' لا يشعر بينهما المنظم بالتغير في السرعة ، وذلك نتيجة لقوى الاحتكاك بين الازدواجات الحركية المختلفة ؛ بالتالي يحدد معامل عدم الحساسية μ_n بالعلاقة:

$$m_n = \frac{w' - w''}{w_{av}} \qquad (21\text{-}2)$$

حيث w_{av} تمثل السرعة المتوسطة عند نصف القطر r وتعطى بالعلاقة:

$$w_{av} = \frac{w' + w''}{2} \qquad (22\text{-}2)$$

كما يمكن تحديد معامل عدم الحساسية بنسبة قوة الاحتكاك على القوة المنظمة ، ويجب ألا يقل عن معامل تغير السرعة خلال الدورة ، وإلا يصبح المنظم في حالة اهتزاز مستمر .

تجدر الإشارة إلى أن ما أوردناه هو أمثلة لأهم التركيبات شائعة الاستعمال في الكثير من التطبيقات الميكانيكية ؛ بخاصة آلات التشغيل والمحركات . كما حاولنا قدر الإمكان توضيح كيفية الانتقال من بنية معينة لتركيبة إلى تركيبة أخرى مختلفة عن الأولى شكلاً ووظيفة ، وذلك باستعمال مفهوم توسيع الازدواجات الذي يساعد كثيراً في إنشاء تركيبات متباينة عملياً لكن متكافئة حركياً . لقد تم التركيز على دراسة التركيبة رباعية الوصلات ؛ لأنها تشكل مع متحولاتها المختلفة الركيزة الأساسية للكثير من التركيبات المعقدة التي تنتج ببساطة من تجميع أو تداخل وصلات تركيبتين أو أكثر من هذا النوع . لا يعني ذلك بأي حال من الأحوال عدم وجود عدة تركيبات أخرى لكل حركة أو تصميم وظيفي تطرقنا إليه ، إضافة إلى الأبحاث المستمرة دوماً لإيجاد تركيبات جديدة بغية تحسين أداء آليات معروفة وتخفيض تكاليفها أو تحقيق أنماط حركية جديدة تواكب التطور التكنولوجي المتزايد بسرعة .

مسائل غير محلولة *Problems*

م-2-1

تعطى أطوال وصلات تركيبة آلية رباعية القضبان كما يأتي:

المرفق $l_2 = 100$ mm . ذراع الوصل $l_3 = 200$ mm . الوصلة التابعة $l_4 = 300$ mm .

المطلوب إيجاد مجال قيم طول الهيكل l_1 في كل من الحالات الآتية:

1. التركيبة الآلية خاضعة لقانون غراسهوف .
2. تركيبة آلية المرفق المتأرجح .
3. تركيبة آلية المرفق المضاعف .
4. تركيبة آلية تأرجحية .

*

م-2-2

المطلوب تصميم تركيبة آلية الرجوع السريع ، آلية المقشطة ، إذا كانت النسبة الزمنية تساوي 2 ، بحيث يكون مقدار الشوط أعظمياً ضمن المجال:

من 75 mm وحتى 200 mm

*

م-2-3

تعطى أطوال تركيبة آلية المرفق المتأرجح كما يأتي:

الهيكل 100 mm ، المرفق 25 mm ، ذراع الوصل 90 mm ، المتأرجح 75 mm .

المطلوب:

1. رسم التركيبة الآلية ، وإيجاد القيم العظمى والصغرى لزاوية النقل .
2. رسم الأوضاع الحدية للتركيبة الآلية ، وإيجاد قيم زاوية النقل الموافقة .
3. رسم المسار التام للنقطة C الواقعة في منتصف ذراع الوصل .

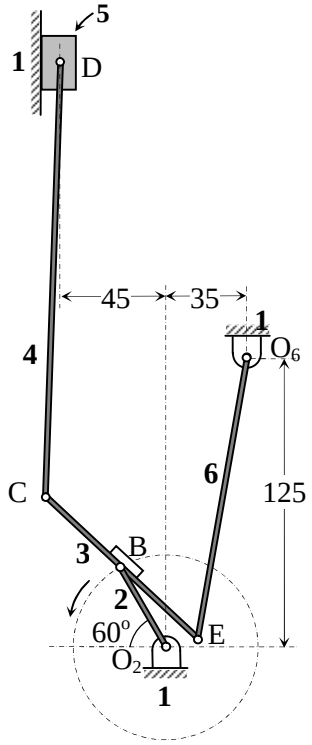
م-2-4

يبين الشكل (م-2-4) المخطط الحركي لتركيبة مضخة هوائية تحقق للمكبس شوطاً يساوي أربعة أمثال طول المرفق O_2B .

المطلوب تعيين مسار كل من النقطتين C , E ، ورسم مخطط إزاحة المكبس D وذلك عند 12 وضعاً للمرفق .

علماً أن:

$$O_2B = 40\,mm \ , \ BC = BE = 45mm \ , \ O_6E = 125mm \ , \ DC = 190\,mm$$



المخطط الحركي لتركيبة مضخة هوائية .

الشكل (م2-4)

م-2-5

يبين الشكل (م-2-5) المخطط الحركي للتركيبة المستعملة في آلة خياطة لتحريك الساق الحاملة للإبرة . يدور المرفق القائد 2 باتجاه عقارب الساعة ليعطي الوصلة 6 حركة ترددية .

المطلوب بعد رسم المخطط الحركي بمقياس 1 : 2 في الوضع المبين في الشكل:

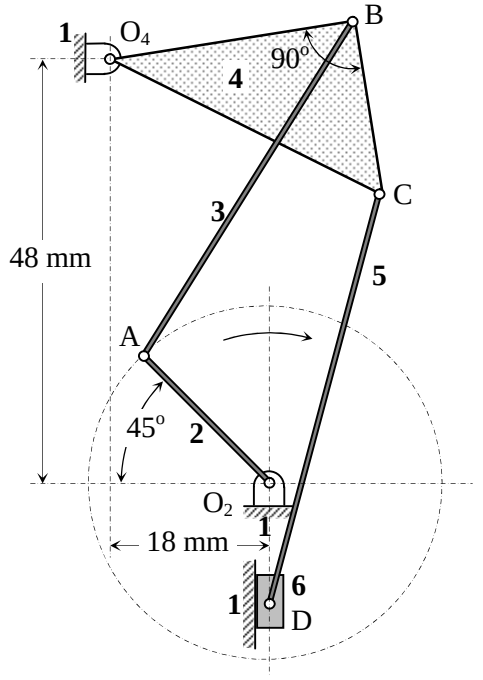
1- رسم مخطط إزاحة للنقطة D بدءاً من أخفض وضع لها وباستعمال 16 وضعاً للمرفق .

2- تحديد عدد أشواط النقطة D خلال دورة عمل كاملة للإبرة وطول كل منها .

علماً أن:

$$O_2A = BC = 20\,mm$$

$$AB = 45\ mm \quad , \quad O_4B = 28\ mm \quad , \quad CD = 48\ mm$$



المخطط الحركي للتركيبة المستعملة في آلة خياطة .

الشكل (م-2-5)

م-2-6

يبين الشكل (م-2-6) المخطط الحركي لتركيبة ويت وورث (*Whitworth*) ، المستعملة في الحصول على حركة سريعة الارتداد لعدة القطع في مقشطة صغيرة .

المطلوب:

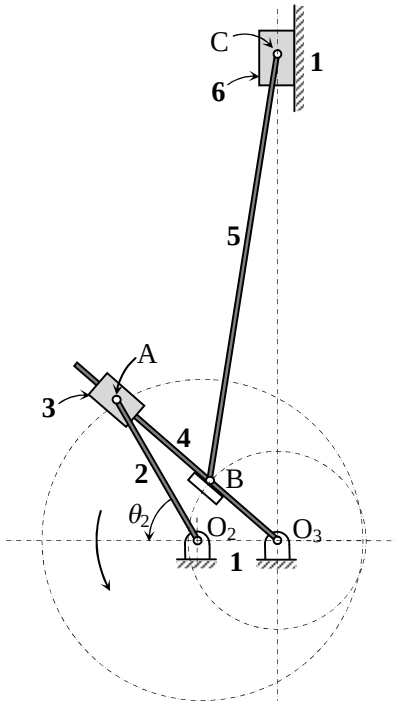
1- رسم مخطط يبين تغيرات إزاحة المنزلقة C بالنسبة لإزاحات زاوية متساوية للوصلة القائدة 2 ، ومن ثم تعيين طول الشوط .

2- تحديد النسبة الزمنية لهذه التركيبة .

علماً أن الوصلة 2 تصنع زاوية ($\theta_2 = 60^o$) مع المحور الأفقي O_2O_3 في الوضع المبين في الشكل ، وأن:

$$O_2O_3 = 90 \text{ mm} \quad , \quad O_2A = 180 \text{ mm}$$

$$O_3B = 96 \text{ mm} \quad , \quad BC = 490 \text{ mm}$$



المخطط الحركي لتركيبة ويت وورث (*Whitworth*) .

الشكل (م-2-6)

م-2-7

يبين الشكل (م-2-7) المخطط الحركي لتركيبة روبير (*Roberts*) للحصول على حركة مستقيمة تقريبية للنقطة C .

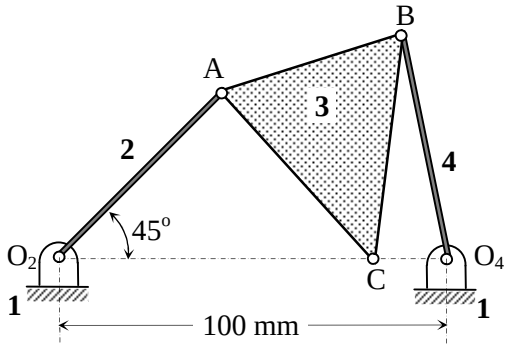
المطلوب بعد رسم المخطط الحركي بمقياس مناسب:

1- تعيين المسار الكامل الحقيقي للنقطة C ، وتعيين الوضعين الحديين لها .

2- تحديد قيمة الخطأ النسبي الأعظمي وموقع حدوثه .

علماً أن:

$$O_2A = AC = BC = O_4B = 60\ mm \quad , \quad AB = 50\ mm$$



الشكل (م-2-7) المخطط الحركي لتركيبة روبير (*Roberts*) .

*

م-2-8

يبين الشكل (م-2-8) المخطط الحركي لتركيبة تشغيل قاطع كهربائي زيتي ، حيث تتحرك النقطة C على خط مستقيم خلال مجال عملها .

المطلوب بعد اختيار مقياس رسم مناسب:

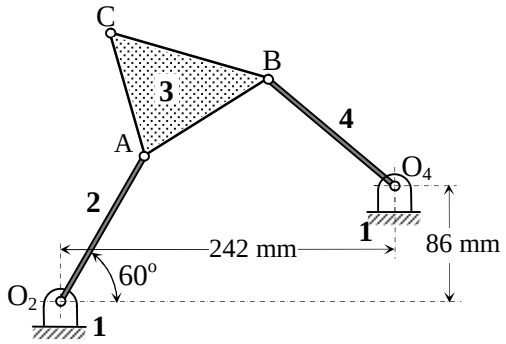
1-رسم مسار كل من النقاط A , B , C بدءاً من الوضع المبين في الشكل ، وبالتالي تعيين المسار الحقيقي الكامل للنقطة C الذي هو منحن مغلق .

2-تعيين مواقع النقاط الميتة عندما يكون 2 هو المرفق القائد والوصلة 4 هي المقودة .

علماً أن:

$$O_2A = O_4B = 124\,mm$$

$$AB = 106\,mm \quad , \quad AC = 93\,mm \quad , \quad BC = 119\,mm$$



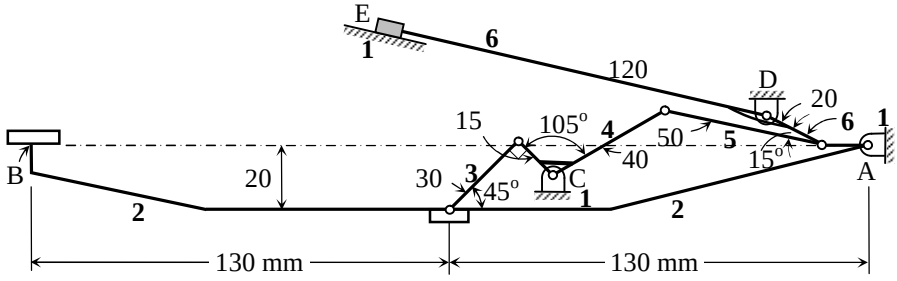
الشكل (م-2-8) المخطط الحركي لتركيبة تشغيل قاطع كهربائي زيتي .

*

م-2-9

يبين الشكل (م-2-9) المخطط الحركي لتركيبة آلة كاتبة يدوية تتكون من ست وصلات وفقاً للأبعاد المبينة في الشكل . الوصلة 4 مرفقية زاويتها 105^o وتتأرجح حول المفصل C ، كما أن الوصلة 6 هي مرفقية أيضاً حيث ذراعها DE توازي الوصلة 5 وتتأرجح حول المفصل D . يجب أن تدور ذراع الوصلة 6 الحاملة لحرف الطباعة زاوية 90^o باتجاه دوران عقارب الساعة .

المطلوب تعيين المسافة اللازم أن تتحركها النقطة B لتحقيق ذلك . علماً أن الأبعاد المبينة في الشكل هي بالمليمتر .



الشكل (م-2-9) المخطط الحركي لتركيبة آلة كاتبة يدوية .