الفصل السابع

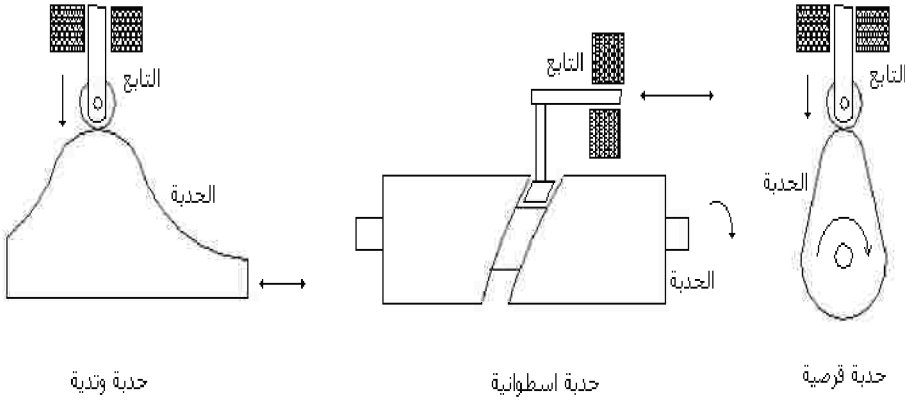
7

الحدبات Cams

تعتبر الحدبات من العناصر المهمة في الآليات المختلفة، وتتميز بتوفيرها لحركة غير عادية من الصعب الحصول عليها عن طريق الوصلات الأخرى. ويمكن تعريف الحدبة بأنها وصلة لها سطح غير منتظم أو مجرى وتقوم بنقل الحركة لتابع ينزلق أو يتدحرج على سطح الحدبة. أبسط شكل لآلية الحدبة تتكون من الحدبة والتابع والقاعدة.

1-7 أنواع الحدبات Cam types

توجد عدة أنواع للحدبات، ويوضح الشكل (7-1) أهم هذه الأنواع:



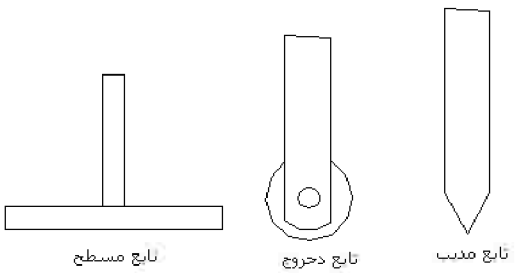
شكل (7-1)

يكون تثبيت التابع عادة بواسطة عجلة الجاذبية الأرضية، أو باستخدام نوابض.

سيتم التركيز على الحدبة القرصية / أسباب منها: كونها الأكثر استخداماً، كما يمكن توضيح نظرية الحدبات بشكل أفضل وبالتالي يمكن فمهم باقي الحدبات.

2-7 أنواع التوابع ومساراتها Form and path of followers

توجد عدة أشكال للتوابع؛ أهمها التابع المدبب knife edge، والتابع الدحروج roller follower، والتابع المسطح Flat follower ، شكل (2-7).



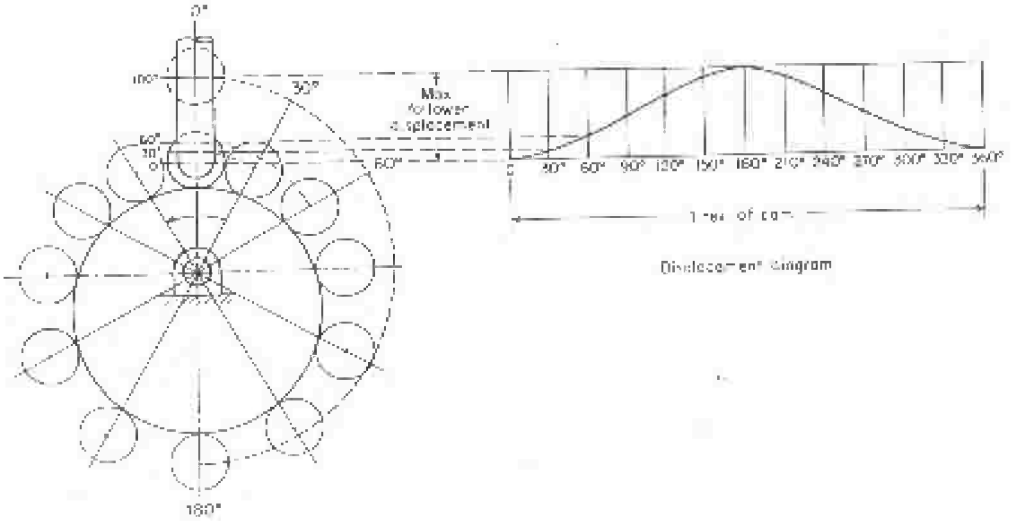
شكل (2-7)

لكل نوع من هذه الأنواع مزاياه، فعلى سبيل المثال التابع المدبب له القدرة على تتبع مسارات له القدرة على تتبع مسارات الحدبة الدقيقة.

بالنسبة لمسار التابع فقد يكون على نفس مركز دوران الحدبة In-line، أو يكون مزاحاً عن المركز.

3-7 رسم مخططات إزاحة التابع من شكل الحدبة
Drawing Displacement Diagram from cam profile□

كما تم الإشارة له في فصل سابق، فإن مخطط الإزاحة هو علاقة بين الزمن والإزاحة، وعادة يمثل الزمن كدورة كاملة. إن مخطط إزاحة التابع يوضح العلاقة بين إزاحة التابع ودوران الحدبة. ويمكن عن طريق مخطط الإزاحة رسم الحدبة كما موضح بالشكل (3-7).



شكل (7-3)

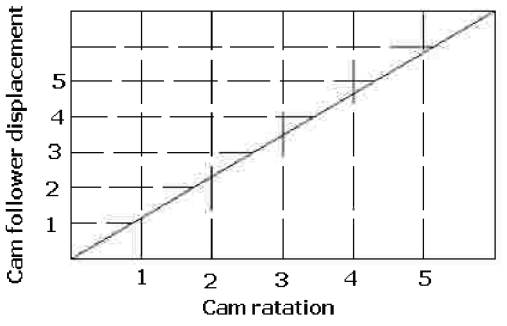
يتم تقسيم دائرة الأساس كل °30 وبنقل الإزاحات من مخطط الإزاحة يتم الحصول على شكل الحدبة.

4-7 حركات التابع Motions used for cam followers

عند تصميم الحدبات يتم أولاً تحديد شكل حركة التابع ومن ثمّ الحصول على شكل الحدبة. يمكن للمصمم الحصول على عدد لانهائي من حركات التابع. سيتم هنا إيضاح أهم الحركات التي يمكن الحصول عليها.

1-4-7 الحركة بسرعة منتظمة Uniform velocity motion

وتسمى بحركة الخط المستقيم Straight line motion، عند الحركة بسرعة منتظمة فإن الإزاحة ستكون متساوية لكل وحدة زمنية. ويوضح الشكل (7-4) مخطط الإزاحة في حالة السرعة الثابتة. من النادر استخدام هذه الحركة فقط لأن قيمة العجلة في بدايتها ونهايتها ستكون، نظرياً، مساوية ما لانهاية.



شكل (7-4)

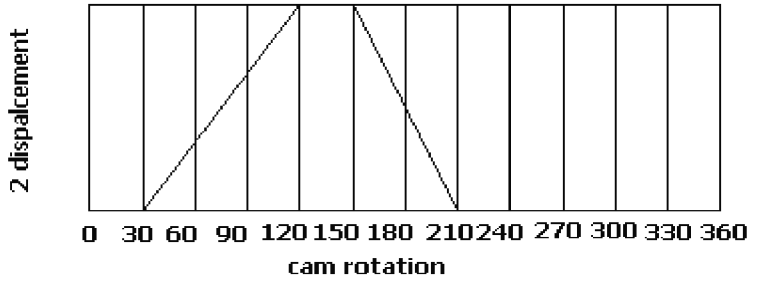
مثال 7-1

ارسم مخطط الإزاحة لتابع، إذا علمت أن حركة التابع كالتالي:

الفترة	الحركة
30° - 0°	سكون
120° - 30°	صعود 2 أنش
150° - 120°	سكون
210° - 150°	هبوط 2 أنش
360° - 210°	سكون

الحل:

يوضح الشكل (7-5) طريقة رسم مخطط الإزاحة للتابع.

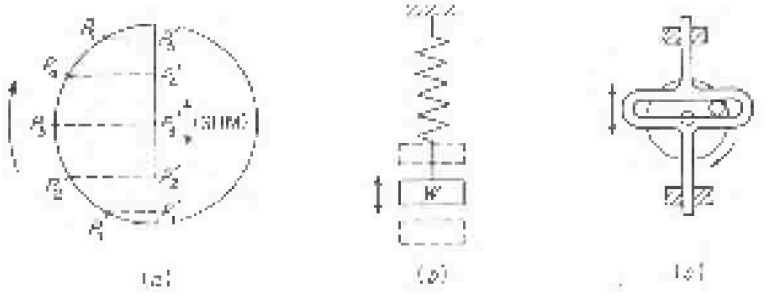


شكل (7-5)

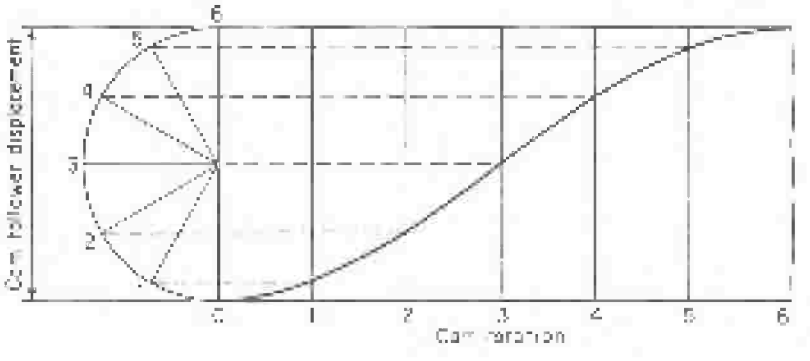
2-4-7 الحركة التوافقية البسيطة Simple harmonic motion

عند حركة نقطة على محيط دائرة بسرعة ثابتة، فإن إسقاط هذه النقطة على محور الدائرة يعطي حركة توافقية بسيطة.

ويوضح الشكل (7-6) هذه الحركة. بينما يوضح الشكل (7-7) كيفية إنشاء مخطط الإزاحة للتابع لهذه الحركة. يتم تقسيم إزاحة التابع إلى عدد من الأقسام يساوي عدد أقسام دوران الحدبة؛ وبإسقاط النقاط 1، 2، ..... على حركة الحدبة يمكن الحصول على مخطط الإزاحة والحدبة.



شكل (7-6)



شكل (7-7)

مثال 7-2

ارسم مخطط إزاحة التابع، إذا علمت أن حركة التابع على النحو التالي:

صعود 2 انش في °120

سكون °30

هبوط 1 انش في °90

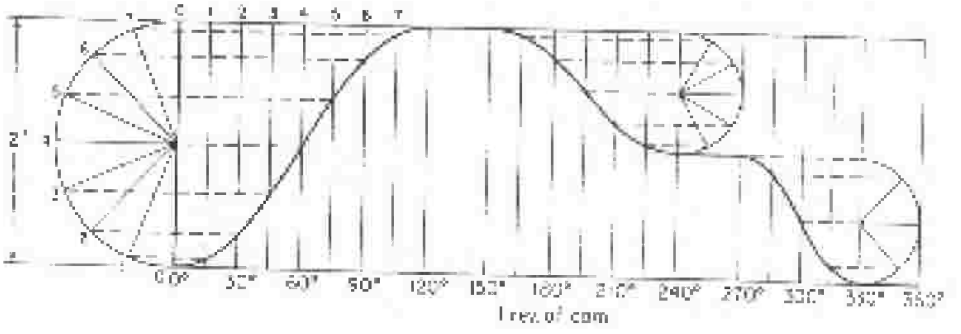
سكون °30

هبوط 1 انش في °60

سكون °30

الحل:

يوضح الشكل (7-8) حل المثال 7-2.

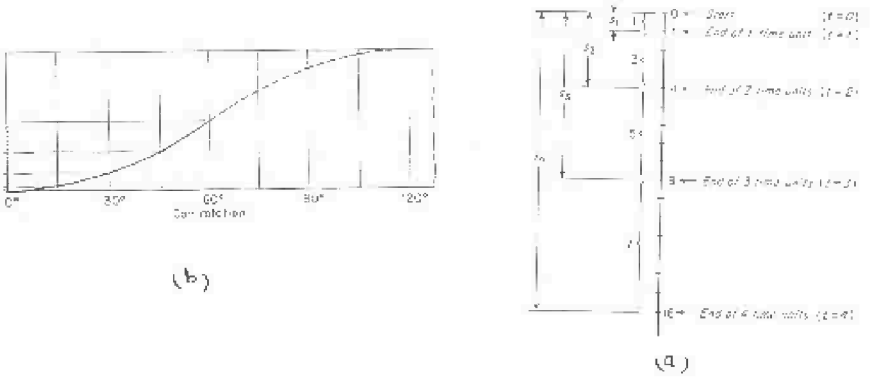


شكل (7-8)

7-4-3 الحركة بعجلة منتظمة Uniformly accelerated motion

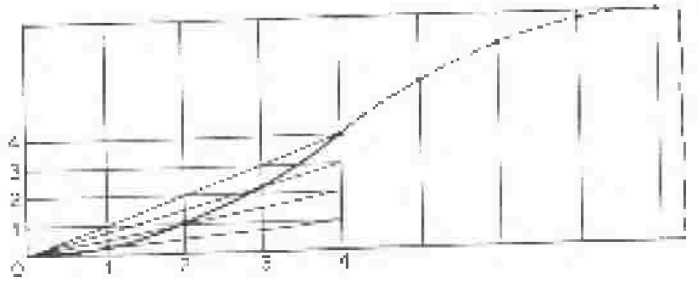
وتسمى هذه الحركة بحركة القطع لأنها تأخذ شكل القطع الناقص، حيث أن معادلة الحركة $S = at^2/2$؛ وتتناسب الإزاحة مع مربع الزمن. يوضح الشكل (7-9)أ تغير الإزاحة مع الزمن.

لإنشاء مخطط الحركة يتم رسم خط وتقسيمه إلى عدد من الأقسام المتساوية وتحديد النقاط أرقام 1، 4، 9، 16 وتقسيم المحور الأفقي إلى نفس العدد من الأقسام، وبإسقاط النقاط 1، 4، 9، 16 على الخطوط الرأسية المنشأة وبإيصال نقاط التقاطع يتم الحصول على الحركة المطلوبة، شكل (7-9)ب.



شكل (7-9)

يوضح الشكل (7-10) طريقة أخرى لرسم مخطط الإزاحة عند الحركة بعجلة منتظمة. يتم تقسيم نصف الحركة إلى الأقسام متساوية 3، 2، 1،..... كما تقسم حركة دوران الحدبة إلى نفس العدد من الأقسام، ومن النقطة o يتم إسقاط الخطوط الشعاعية لتلتقي مع إسقاطات النقاط الرأسية وبإيصال هذه النقاط يتم الحصول على الحركة المطلوبة.



شكل (7-10)

مثال 7-3

ارسم مخطط إزاحة للتابع، الذي يأخذ الحركات التالية:

صعود 2 انش في °120 بحركة تعجيل منتظم

سكون °30

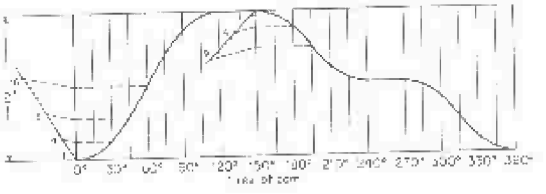
هبوط 1 انش في °90 بتعجيل منتظم

سكون °30

هبوط 1 انش في °90 بتعجيل منتظم

الحل:

يوضح الشكل (7-11) حل المثال 7-3.



شكل (7-11)

7-4-4 حركة السرعة المنتظمة المعدلة Modified uniform velocity motion

كما تمت الإشارة إليه في السابق، فمن النادر استخدام السرعة المنتظمة فقط بسبب الحركة المفاجئة في البداية والنهاية مما يعني عجلة لانهائية.

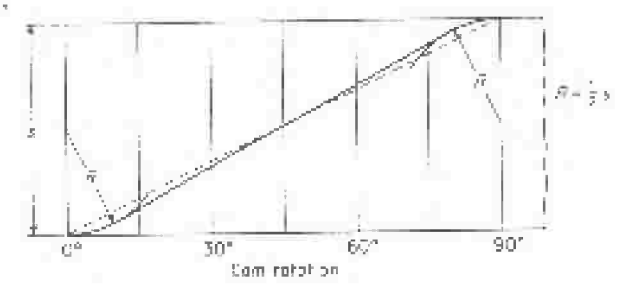
تعدّل هذه الحركة عن طريق إضافة قوس في بداية ونهاية السرعة.

توجد طريقتان لتعديل هذه الحركة، سيتم عرضهما باختصار.

- **طريقة القوس arc method.**

وتتم برسم قوس نصف قطره R يساوي عادة نصف الإزاحة الكلية. يرسم القوس أولاً بطول غير محدد في بداية ونهاية الحركة ومن ثم يرسم مماس للقوسين، كما موضح بالشكل

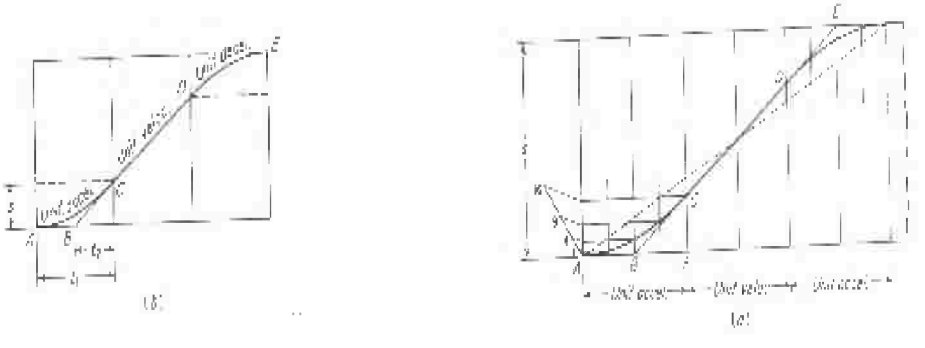
(12-7). ويلاحظ أن المماس المرسوم يميل بزاوية أكبر من خط السرعة المنتظمة (المرسوم بخط متقطع)؛ أي أن متوسط السرعة الثابتة قد ارتفع؛ إلا أن التابع يبدأ وينهي حركته بشكل تدريجي.



شكل (12-7)

- **طريقة العجلة المنتظمة Uniform acceleration method**

وتتضمن هذه الطريقة إدخال مرحلة بسيطة من تعجيل منتظم، سواء كانت عجلة تزايدية أو تناقصية، في بداية ونهاية السرعة المنتظمة. ويوضح الشكل (7-13)أ هذه الطريقة. الخطوة الأولى هي تحديد نسبة حركة العجلة المنتظمة إلى كامل الحركة، عن طريق رسم الخط BE؛ حيث النقطتين E،B تقعان في منتصف فترتي العجلة التزايدية والتناقصية.



شكل (13-7)

الخط BE يحدد النقطتين C و D اللتان تحددان قيمة الإزاحة التي تتحركها الحدبة بعجلة منتظمة. وبالتالي يمكن رسم خط السرعة الثابتة والذي سيكون مماساً لحركة التعجيل المنتظم.

ولإثبات أن الخط المرسوم عند نقاط المنتصف للعجلة يعطي المماس الصحيح لمنحنى العجلة التزايدية والتناقصية أفرض النقطتين B،A في الشكل (7-13)ب حيث النقطة A تقع عند o وتزداد حركتها بتعجيل منتظم حتى تصل إلى النقطة C، ومن ثمّ تكون الحركة بسرعة منتظمة. أفرض أن النقطة Bتتحرك بسرعة ثابتة حتى الوصول إلى النقطة C. وبافتراض أن النقطتين B،A ستتحركان بنفس السرعة عند C فبالتالي فإن النقطة A تحتاج لضعف الزمن للوصول للنقطة C عن ذلك الزمن الذي تحتاجه النقطة A.

للنقطة A:

$$S = at_1^2/2$$

وسرعة النقطة A عند وصولها إلى النقطة C:

$$V = at_1^2$$

للنقطة B: $S = Vt_2$

وحيث أن النقطتين A،B تتحركان نفس المسافة S.

$$at_1^2/2 = Vt_2$$

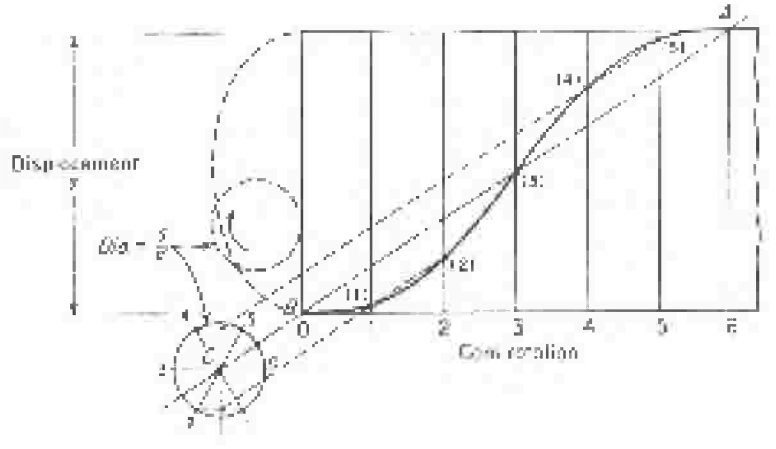
وحيث أن سرعة النقطتين ستكون متساوية عند النقطة C

$$at_1^2/2 = (at_1)t_2$$

$$\Rightarrow t_2 = \frac{1}{2}t_1$$

5-4-7 الحركة الدويرية Cyclodial motion

عند تدحرج دائرة على امتداد خط مستقيم بدون انزلاق، فإن نقطة على محيطها سترسم منحنى يطلق عليه «المنحني الدويري»، ويوضح الشكل (7-14) هذه الحركة. لإنشاء مخطط الإزاحة يرسم الخط AB ويمدد حتى النقطة C. ترسم دائرة عند النقطة C بمحيط يساوى قيمة الإزاحة S، أي بنصف قطر S/π. وتقسم هذه الدائرة إلى عدد من الأجزاء يساوي عدد الأجزاء المقسمة على المحور الأفقي وتسقط النقاط على محيط الدائرة على قطرها ومن ثم ترسم موازية للخط AB إلى النقاط على المحور الأفقي المكافئة لها (في مخطط الإزاحة)، كما بالشكل (7-14).

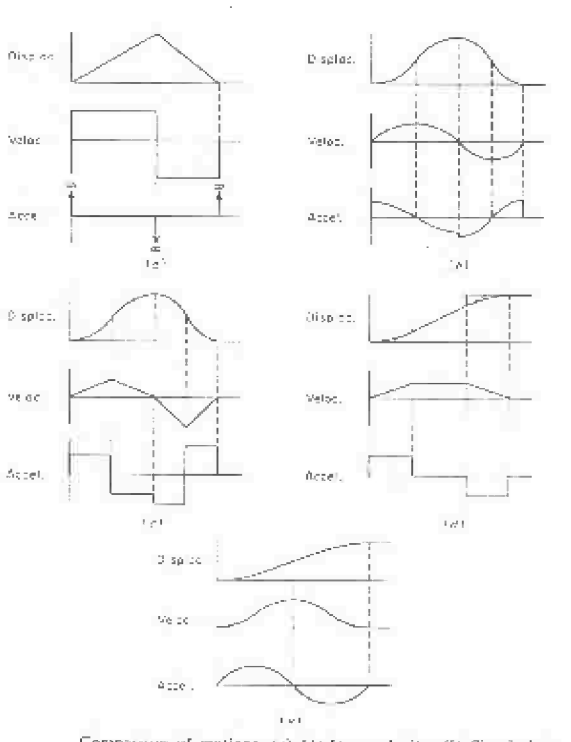


شكل (7-14)

5-7 مقارنة مخططات حركة التابع Comparison of cam-follower motions

لا يمكن تحديد الحركة الأفضل لجميع التوابع، فهناك عدة عوامل تؤثر على اختيار حركة التابع مثل حجم الحدبة، سرعة الدوران، نوع المادة المستخدمة في التصنيع، والتكلفة، الاهتزازات والضوضاء المسموح بها وغيرها من العوامل.

يوضح الشكل (7-15) مخططات الحركة للحركات المختلفة التي تم شرحها سابقاً؛ فعلى سبيل المثال يوضح الشكل (7-15)أ سبب عدم اختيار السرعة المنتظمة وخاصة عند السرعات العالية بسبب الحاجة إلى عجلة لانهائية.



Comparison of motions: (a) Uniform-velocity. (b) Simple harmonic motion. (c) Uniform-acceleration (parabolic). (d) Modified uniform velocity. (e) Cycloidal.

شكل (7-15)

6-7 إنشاء شكل الحدبة Construction of the com profile

بعد أن يتم تحديد حركة التابع المطلوبة عن طريق مخطط حركة التابع، فمن الضروري رسم شكل الحدبة التي تعطي هذه الحركة. إن شكل الحدبة يعتمد على حجم، وشكل، وموضع التابع. وسيتم توضيح طريقة رسم شكل الحدبة عن طريق المثال التالي.

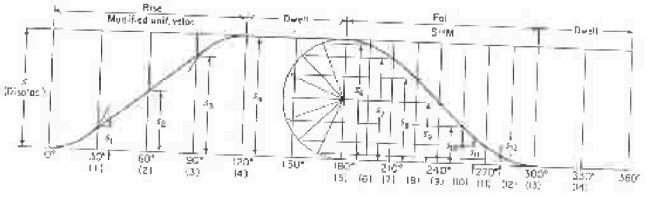
مثال 7-4

يوضح الشكل (7-16)أ مخطط إزاحة تابع. إذا عملت أن التابع يقع على نفس الخط مع محور الحدبة، فارسم شكل الحدبة الذي يعطي الحركة الموضحة.

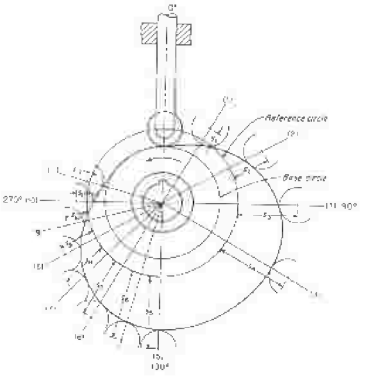
الحل:

يتم رسم شكل الحدبة بإتباع الخطوات التالية، شكل (7-16)ب:

- ارسم دائرة الأساس.
- ارسم التابع عند نقطة الصفر، مماساً لدائرة الأساس.
- ارسم دائرة المرجع خلال مركز التابع في موضعه الصفري.
- ارسم خطوطاً قطرية من مركز الحدبة، تبعاً للخطوط الرئيسية الرأسية في مخطط التابع.
- انقل الإزاحات S_2, S_1... من مخطط الإزاحة إلى الخط القطري المناسب، ابدأ القياس من دائرة المرجع.



(أ)



(ب)

شكل (7-16)

- ارسم شكل التابع على المواضع المختلفة للخطوط القطرية.
- ارسم منحنى مماس لمنحنيات التابع التي رسمتها.

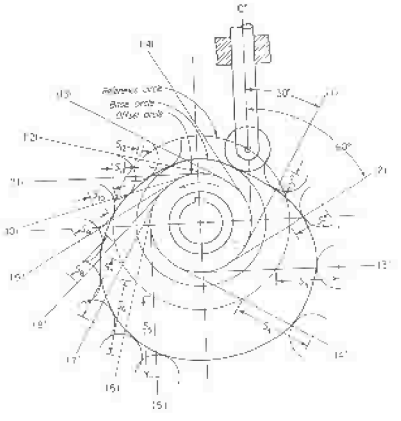
مثال 7-5

يوضح الشكل (7-16)أ مخطط الحركة التابع. إذا عملت أن التابع لا يقع على نفس مركز الحدبة offset follower ارسم شكل الحدبة الذي يعطي هذه الحركة.

الحل:

يوضح الشكل (7-17) طريقة رسم شكل الحدبة، وذلك حسب الخطوات التالية:

- ارسم دائرة الأساس.
- ارسم التابع عند الموضع الصفري، مماساً لدائرة الأساس.
- ارسم دائرة المرجعية خلال مركز التابع في موضعه الصفري.
- ارسم دائرة الإزاحة offset circle مماسة لخط مركز التابع.
- ارسم دائرة الإزاحة إلى عدد من الأقسام يكافئ التقسيمات في مخطط الإزاحة ورقمها حسب ذلك الترقيم.
- ارسم مماسات لدائرة الإزاحة عند كل تقسيم.
- انقل الإزاحات S_2, S_1... من مخطط الإزاحة إلى الخط القطري المناسبة، ابدأ القياس من دائرة المرجع.
- ارسم الشكل الأساسي للتابع على الخطوط المماسة.
- ارسم منحنى مماساً للتابع عند كل موضع.



شكل (7-17)