الفصل الأول : مبادئ أساسية في الاهتزازات

تعريف الحمولة الديناميكية : هي حمولة تسبب **حركة اهتزازية تذبذبية** حول نقطة توازن

1. 1 الفرق بين الستاتيك والديناميك

التغير مع الزمن: عادة، في الستاتيك تكون الحمولات وكذلك استجابة الوسط مستقلة عن الزمن، أما في الديناميك تكون الحمولات متغيرة مع الزمن وكذلك استجابة الوسط للحمولات الديناميكية تكون متغيرة مع الزمن

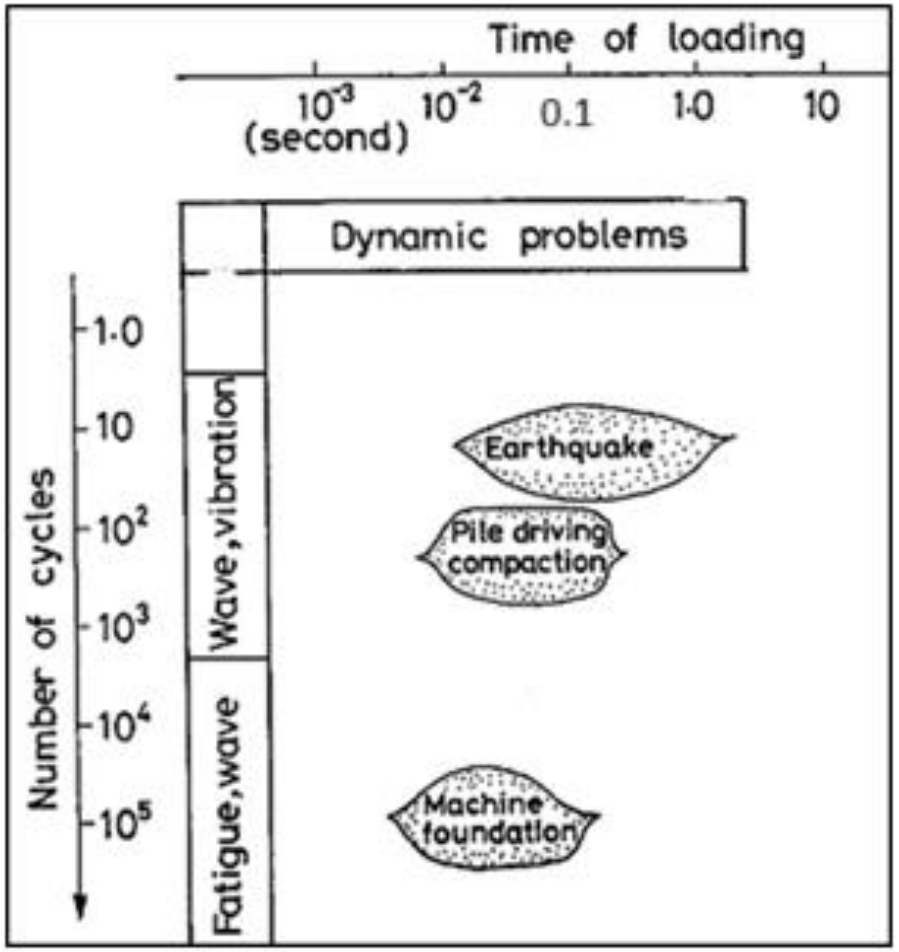
قوى العطالة: في الستاتيك تطبق الحمولة بشكل بطيء ← قوى العطالة صغيرة ويمكن إهمالها.
في الديناميك عند تطبيق حمولة ديناميكية تكون تسارع الجملة هام وينتج عن ذلك قوى عطالة هامة للجملة ولا يمكن إهمالها.

مستوى التشوهات: في الستاتيك يهتم المهندسون بالتشوهات بحدود 10^{-3} أو أكثر، أما في الديناميك وبسبب قوى العطالة يهتم المهندسون بتشوهات أصغر من الستاتيك (من مرتبة 10^{-6})

طبيعة التحميل: يمكن تمييز التحميل الديناميكي عن التحميل الستاتيكي بـ:

ستاتيك
- ◊ مدة التحميل (Time of loading) : **طويلة**
- ◊ تكرار التحميل (Load repetition) : **تحميل غير متكرر**

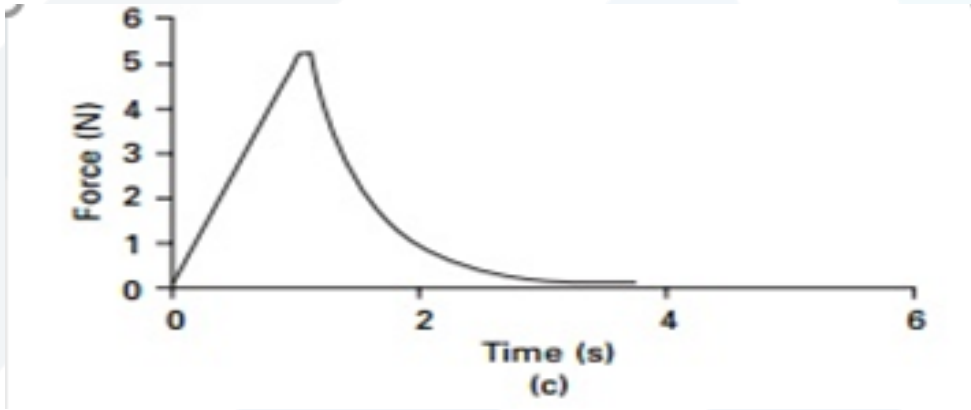
ديناميك
- ◊ مدة التحميل (Time of loading) : **قصيرة**
- ◊ تكرار التحميل (Load repetition) : **تحميل متكرر**



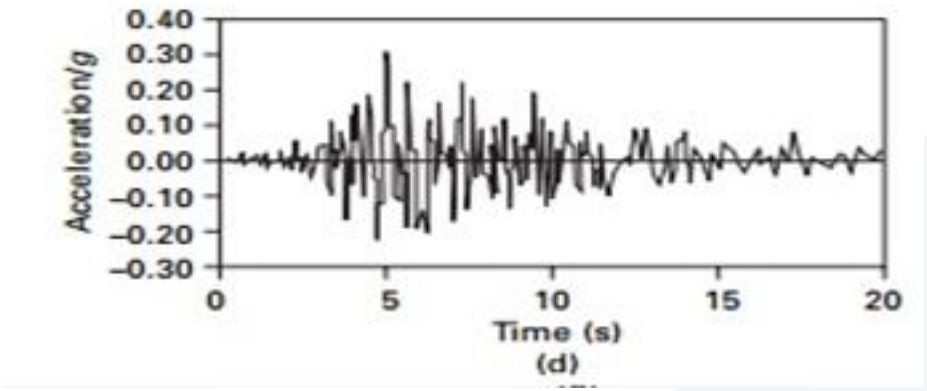
2.1 الأشكال المختلفة للحمولات الديناميكية:

تصنف الحمولات الديناميكية إلى :

- حمولات محددة (Deterministic) : يمكن وصف تغيرها مع الزمن بعلاقة رياضية
- حمولات عشوائية (Stochastic, Random) : لا يمكن وصف تغيرها مع الزمن بعلاقة رياضية



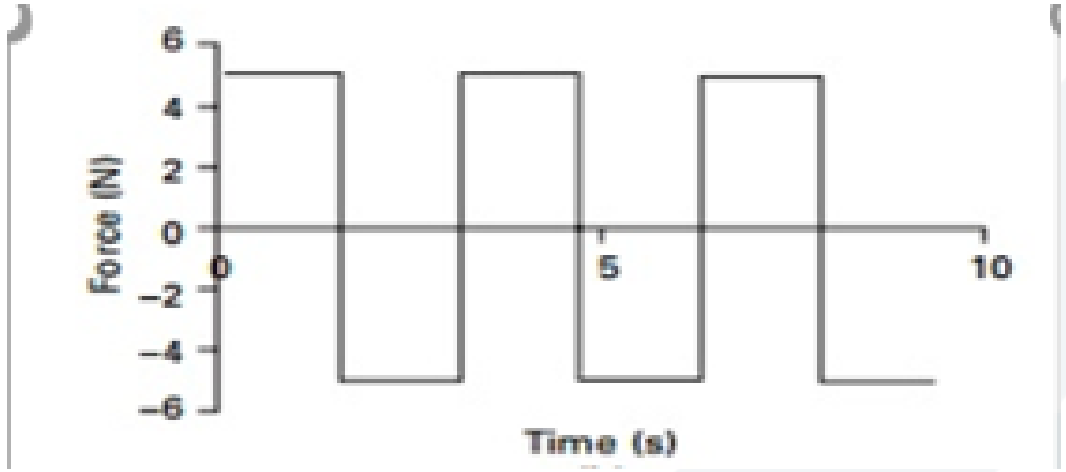
حمولات محددة (Deterministic)

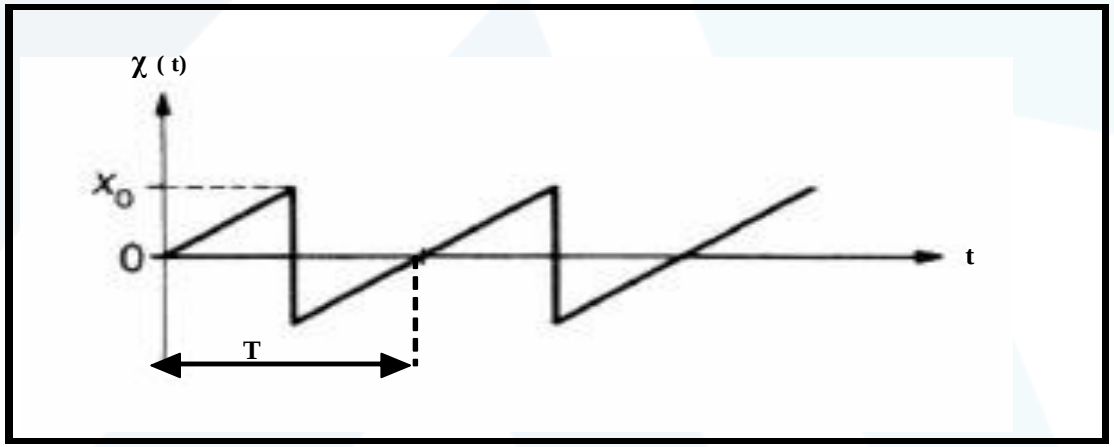


حمولات عشوائية (Stochastic, Random)

يمكن للحركة الاهتزازية المحددة أن تكون دورية أو لا دورية. سنهتم هنا بالحركة الاهتزازية الدورية فقط، حيث يمكن للحركة الدورية أن تكون تو افقية أو لا تو افقية :

الحركة الاهتزازية الدورية (Periodic vibration): نقول عن حركة اهتزازية أنها دورية إذا تكررت بشكل منتظم بعد فترة زمنية ثابتة T تدعى بدور الاهتزاز، أي أن $f(t+T)=f(t)$





مثال لحركة دورية

3.1 بارامترات الحركة الاهتزازية الدورية

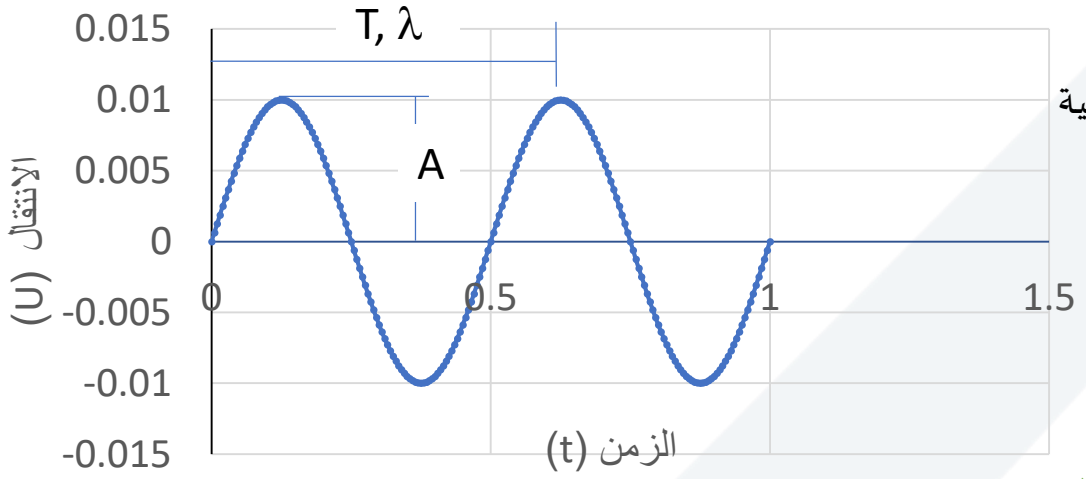
يمكن تعريف الحركة الاهتزازية الدورية من خلال مجموعة من البارامترات، أهمها :

مطال الحركة الاهتزازية A (Ampiltude) : هو القيمة المطلقة العظمى لبارمتر الحركة المقاس (انتقال أو سرعة أو تسارع)

دور الحركة الاهتزازية الدورية T(Period): واحدته الثانية ويعبر عن المدة الزمنية اللازمة لاتمام شوط كامل وفي حال غياب الاحتكاك يبقى هذا الدور ثابتاً

تردد الحركة الاهتزازية الدورية f (Frequency): واحدته الهرتز (1/ثانية) ويعبر هو عدد مرات تكرار موجة اهتزازية كاملة خلال ثانية واحدة (أو عدد الأشواط في الثانية) ، ويساوي مقلوب الدور f=1/T .

أي أنه إذا كان تردد الحركة الاهتزازية 1 هرتز فهذا يعني أن هذه الحركة تقطع شوطاً واحداً كل ثانية، أي أنها تكرر نفسها كل ثانية، وإذا كان التردد 0.5 هرتز فهذا يعني أن الحركة تقطع نصف شوط كل ثانية أي أن دورها 2 ثانية.



طول الموجة الاهتزازية الدورية λ(Wavelength): ويعبر عن المسافة التي تقطعها الموجة خلال دور الحركة الاهتزازية T(أو المسافة الموافقة لشوط كامل)، وواحدته واحدة الطول (m). يتعلق طول الموجة بسرعة الموجة V وبدورها (أو بترددها)، ويساوي λ=V*T=V/f (أي أن طول الموجة يتعلق بخصائص الوسط (Vs) وبتردد الموجة الزلزالية f)

الحركة الاهتزازية التو افقية (Harmonic vibration) : هي حركة اهتزازيةدو رية جيبية (sin, cos) لا تخامدية.

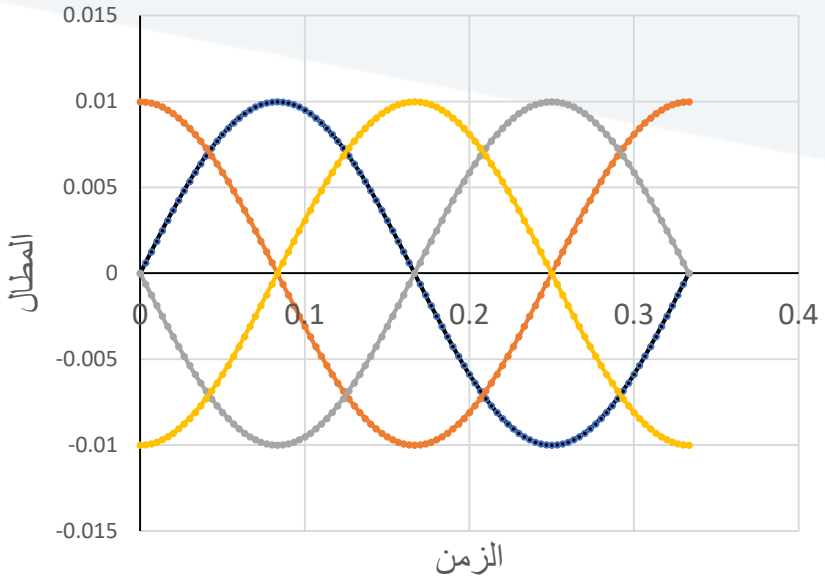
يمكن حساب الانتقال الناتج عن هذه الحركة بالعلاقة التالية :

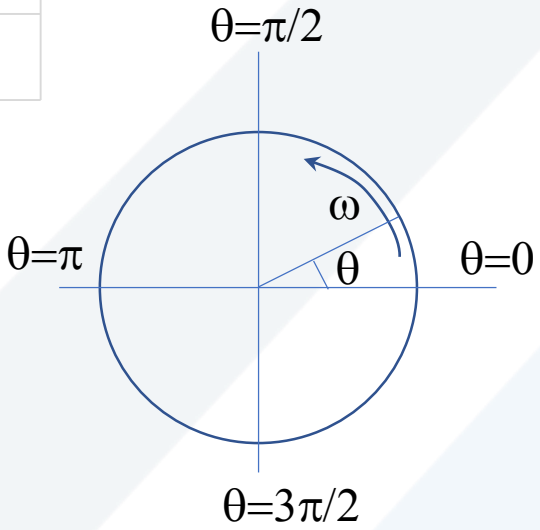
$$u(t) = A \sin(\omega.t \pm \theta)$$

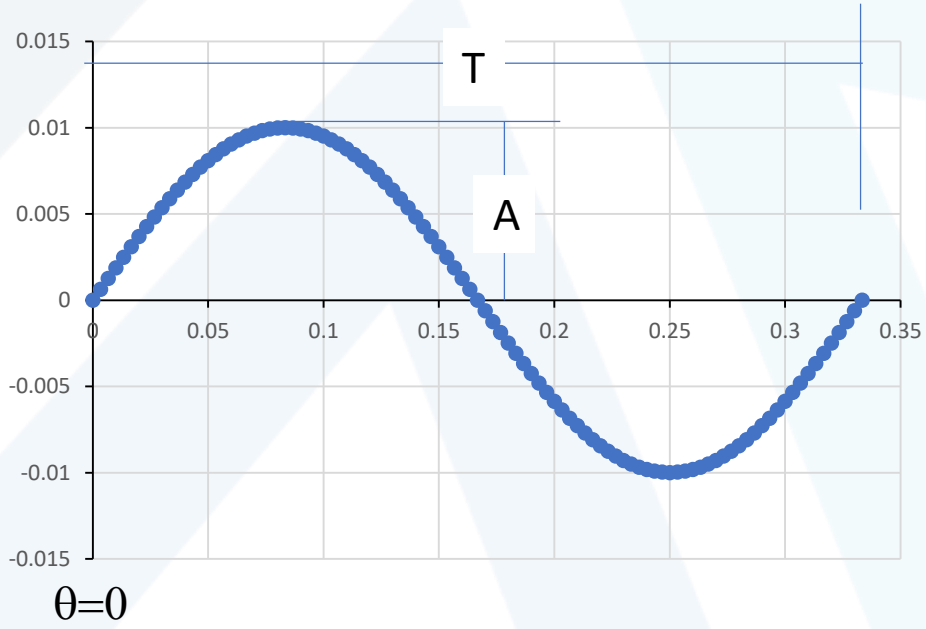
A مطال الحركة

ω السرعة الزاوية $\omega=2\pi f=2\pi/T$

θ طور الحركة، ويعبر عن الزاوية عند بدء الحركة (t=0) وتعطى بالراديان، وتتغير قيمتها ضمن المجال [0-2π] كما هو مبين في الشكل





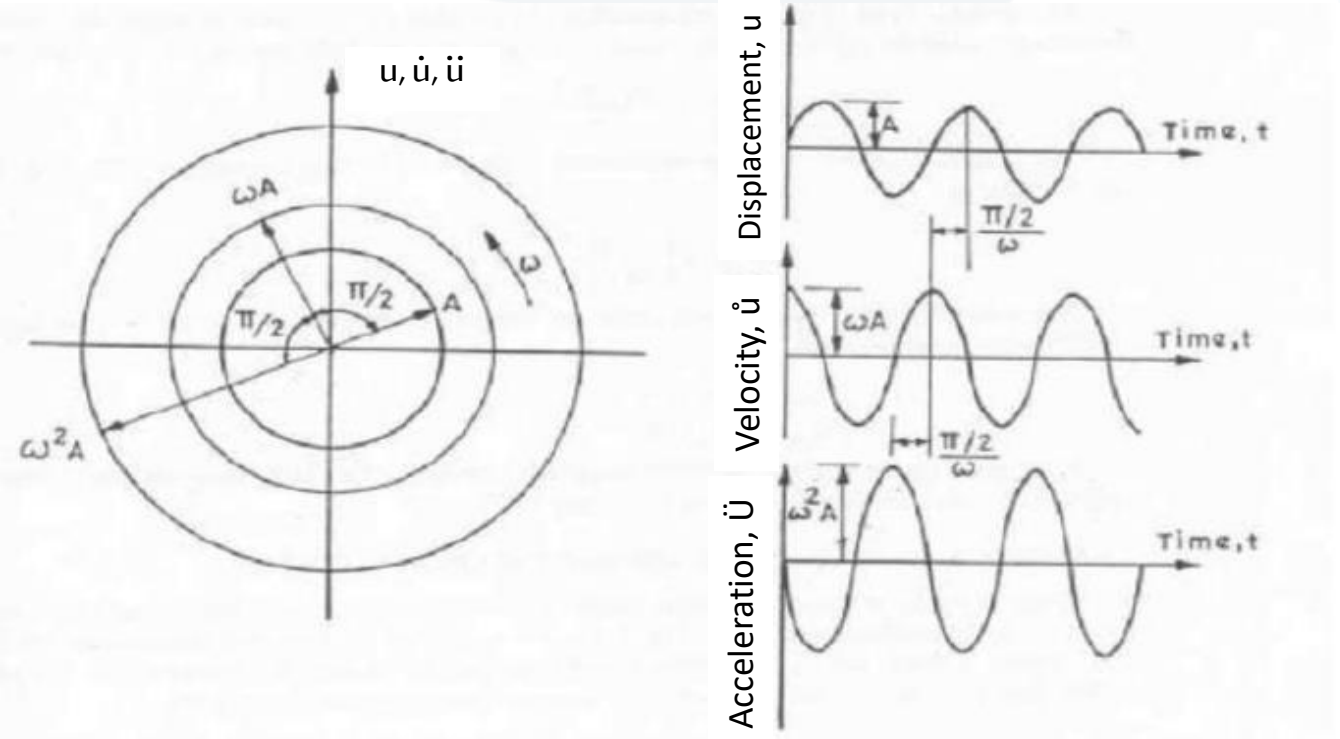


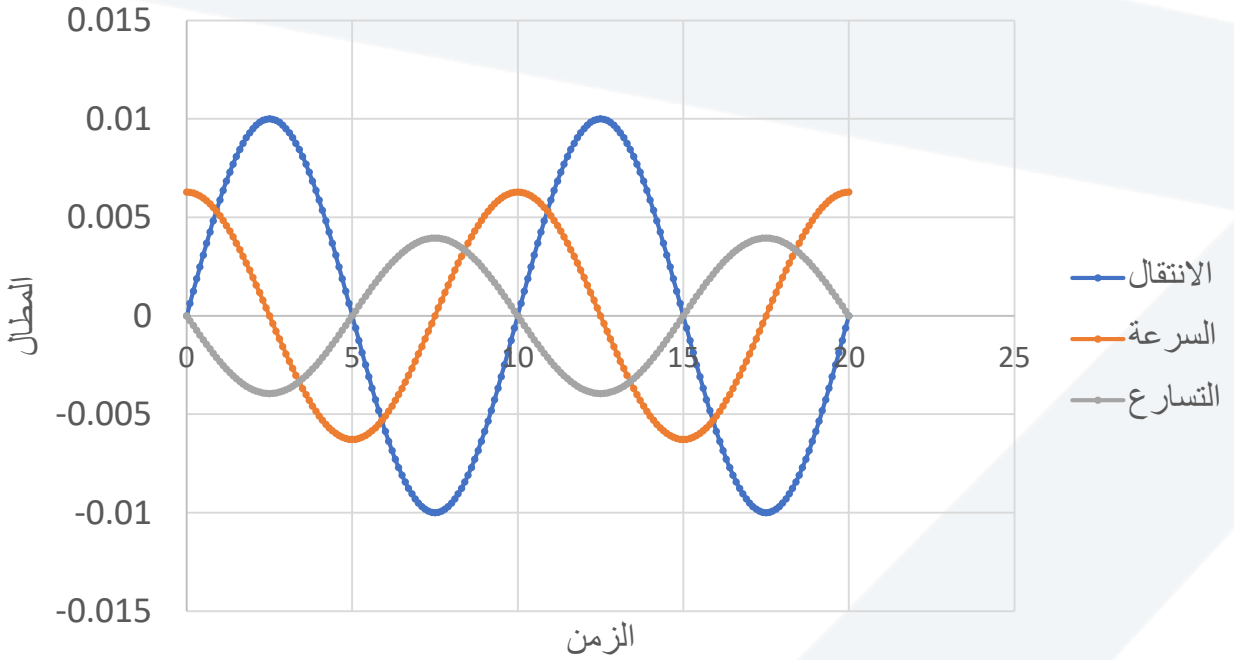
بفرض $\theta=0$ (الحركة تبدأ من السكون) يمكن كتابة :

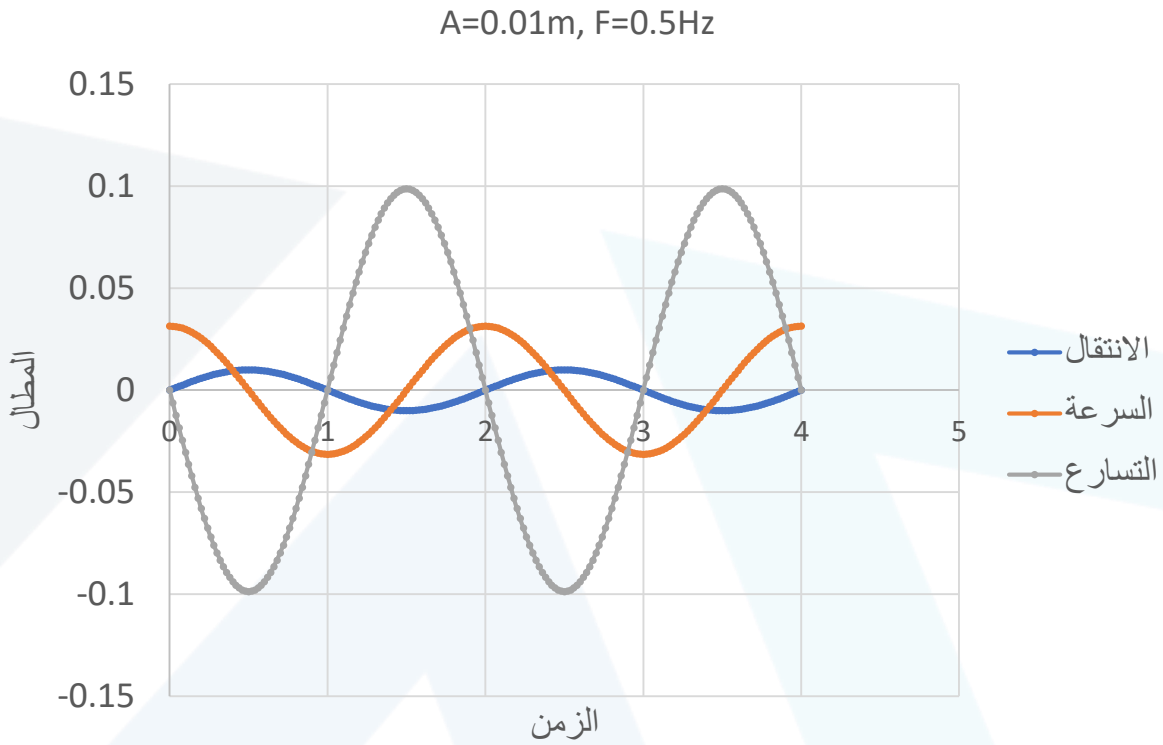
$$u(t)=A\sin\omega.t$$

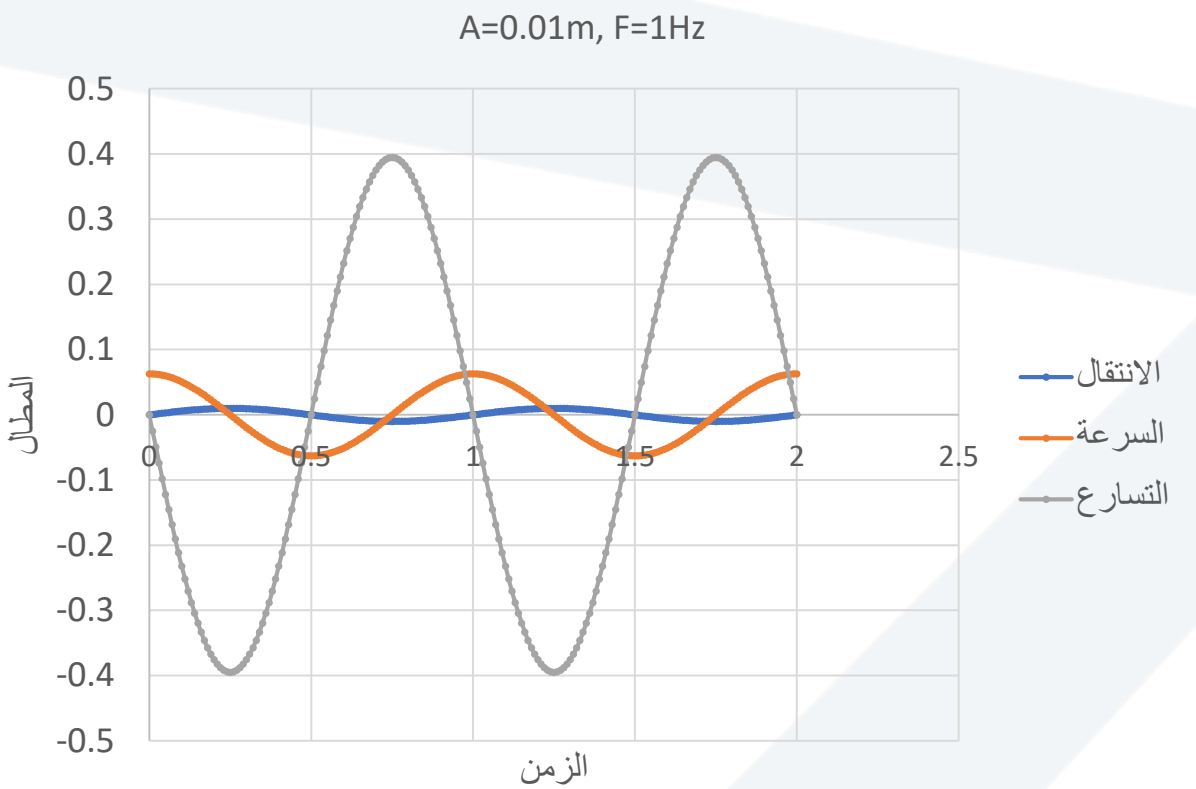
$$\dot{u}=\omega.A.\cos(\omega.t)=\omega.A.\sin(\omega.t+\frac{\pi}{2})$$

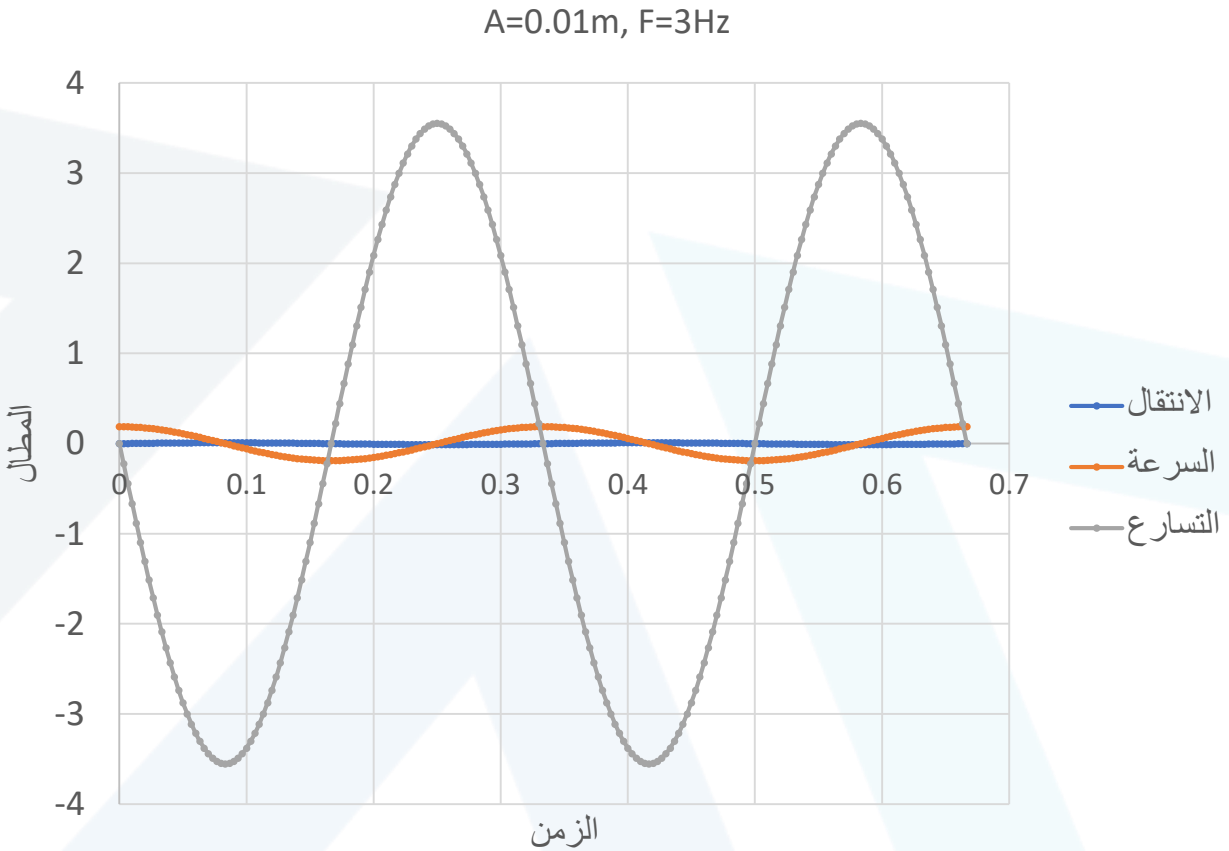
$$\ddot{u}=-\omega^2.A.\sin(\omega.t)=-\omega^2.u=\omega^2.A.\sin(\omega.t+\pi)$$




A=0.01m, F=0.1Hz
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
0
5
10
15
20
25
المطال
الزمن
الانتقال
السرعة
التسارع


A=0.01m, F=0.5Hz
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
0
1
2
3
4
5
المطال
الزمن
الانتقال
السرعة
التسارع

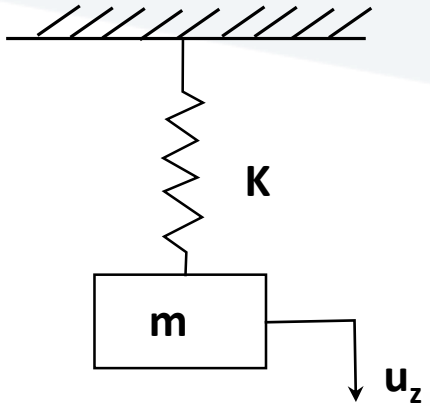

A=0.01m, F=1Hz
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
المطال
الزمن
الانتقال
السرعة
التسارع


A=0.01m, F=3Hz
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
المطال
الزمن
الانتقال
السرعة
التسارع

4.1 تعاريف أساسية

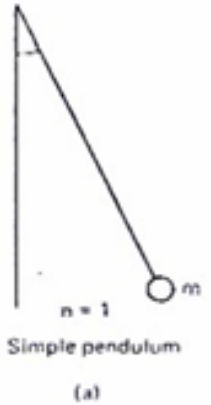
الجملة الاهتزازية : من أجل دراسة أية منشأة تحليلياً وبشكل مبسط فإننا نمثل المنشأة بجملة بسيطة مكونة من نوابض (تعبر عن الصلابة) ومخمدات (تعبر عن تخامد أو ضياع الطاقة) وكتل مركزة (تعبر عن الكتل التي يتكون منها المنشأة).

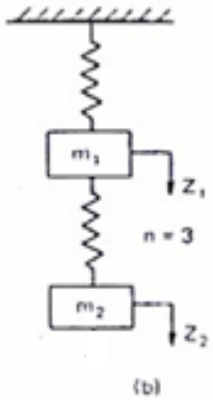
إن أبسط جملة هي الجملة المكونة من نابض وكتلة وتتحرك في أحد الاتجاهات وتدعى بجملة ذات درجة حرية واحدة (الشكل)

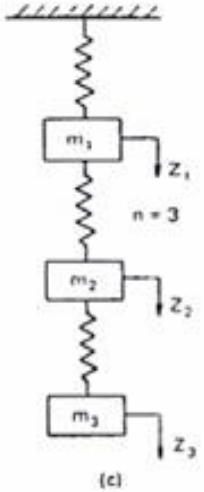


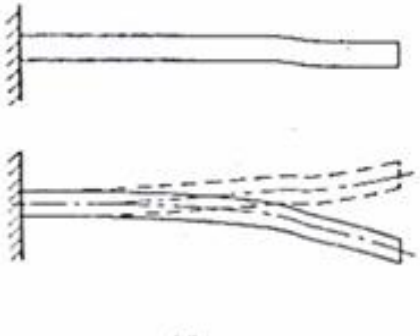
جملة ذات درجة حرية واحدة

درجات الحرية (Degrees of freedom): هي عدد الإحداثيات **المستقلة** الضرورية من أجل وصف حركة الجملة.









الاهتزاز الحر (Free vibration) : هو اهتزاز الجملة تحت تأثير القوى الداخلية فيها و بغياب أية قوة خارجية.

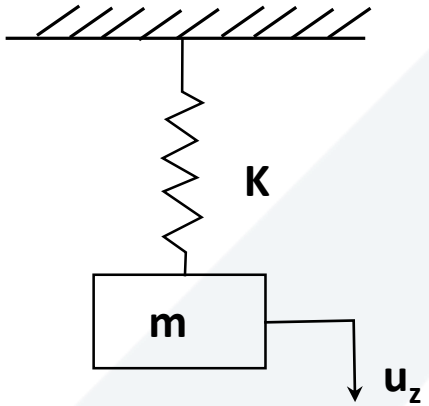
الاهتزاز القسري (Forced vibration) : هو اهتزاز الجملة تحت تأثير القوى الخارجية المطبقة عليها.

الترددات الطبيعية أو الذاتية f_n (Natural Frequency): لنفرض لدينا جسم يهتز تحت تأثير حمولة خارجية تحريضية فإن الجسم يهتز بتردد مساو لتردد هذه الحمولة ولكن بعد انتهاء الحمولة التحريضية فإن الجسم يستمر بالاهتزاز ولكن بتردد آخر يدعى بالتردد الطبيعي للجسم fn ولكل جسم عدد من الترددات الطبيعية مساو لعدد درجات الحرية للجسم.

التردد الأساسي f_1 (Fundamental Frequency) : هو أصغر تردد طبيعي للجسم

في حالة جملة ذات درجة حرية واحدة (مكونة من نابض صلابته K و وكتلة m ، يكون التردد الأساسي للجملة

$$\omega_1 = 2\pi f_1 = \sqrt{\frac{K}{m}} \Rightarrow f_1 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}}$$



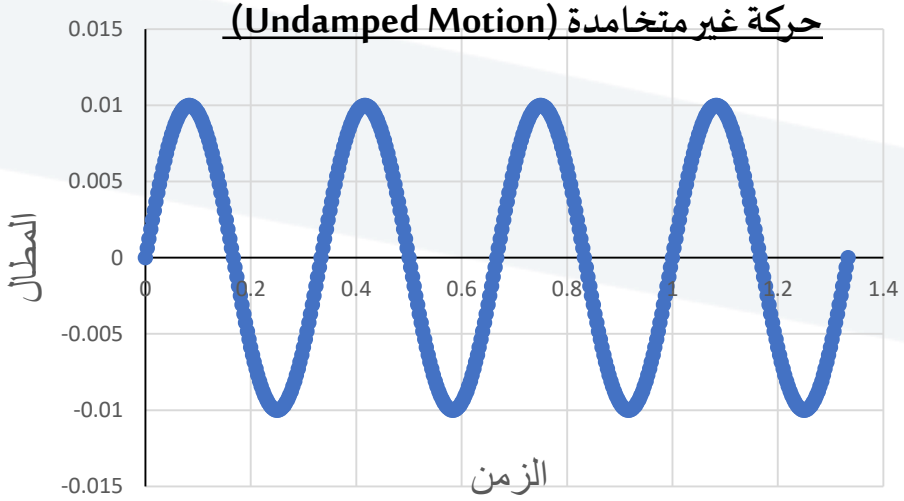
جملة ذات درجة حرية واحدة

الطنين (Resonance): إذا تطابق تردد التحريض أو تردد القوة الخارجية المطبقة مع أحد الترددات الطبيعية للجملة فإنه يحدث ما يسمى بحادثة الطنين و التي يتم فيها تضخيم مطال اهتزاز الجملة كثيراً و من هنا تبرز أهمية تحديد الترددات الطبيعية للجملة المهتزة لتلافي تطبيق حمولة ديناميكية ذات تردد مسا و لإحداها.

أنماط الاهتزاز الأساسية (Principal modes of vibration): تهتز الجملة ذات n درجة حرية بطريقة معقدة بشكل لا يبدو فيه أن مطال الاهتزاز وترددات تتبع نموذجاً محدداً غير أنه يوجد بين هذه الحركات العشوائية بعض الأنواع الخاصة من الحركات البسيطة المنتظمة التي تدعى أنماط الاهتزاز الأساسية أو الرئيسية والتي تتميز بأنه في كل نمط منها تكون جميع نقاط الجملة تهتز بنفس التردد.

ملاحظة: الجملة ذات n درجة حرية تملك n نمط اهتزاز أساسي مع n تردد طبيعي. يمكن دائماً تمثيل أنواع عامة من الحركة عن طريق تراكب أنماط اهتزازها الأساسية.

حركة غير متخامدة (Undamped Motion)



حركة اهتزازية غير متخامدة (Undamped Motion) : نقول عن حركة اهتزازية أنها غير متخامدة إذا بقي مطال الحركة ثابتاً ولم يتغير مع الزمن، أي أن الجسم يستمر دوماً في الاهتزاز نتيجة لمرور الموجة اهتزازية ضمنه ولا يعود أبداً إلى وضع الاستقرار.

حركة اهتزازية متخامدة (Damped Motion) : نقول عن حركة اهتزازية أنها متخامدة إذا تناقص مطال الحركة مع الزمن حتى الانعدام.

حركة متخامدة (Damped Motion)