

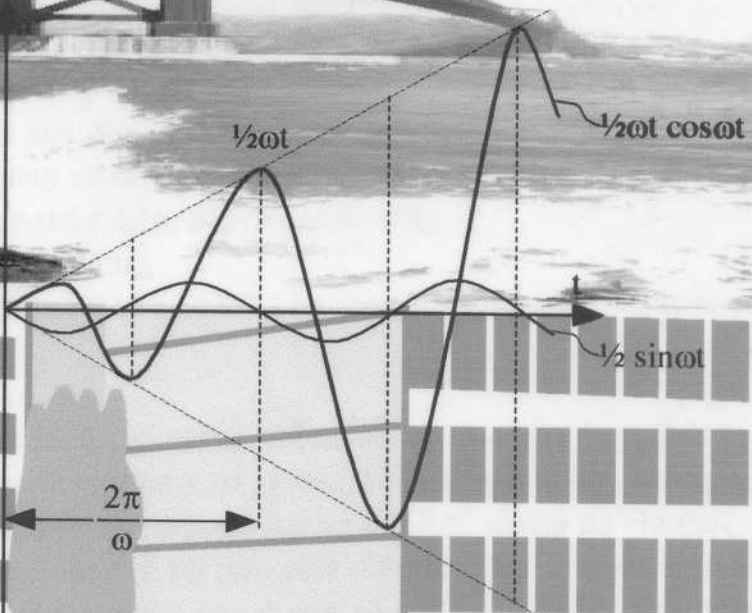
BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI

LÊ VĂN QUÝ - TRẦN QUANG VINH

ĐỘNG LỰC HỌC CÔNG TRÌNH

K_c



HÀ NỘI - 1997

CHƯƠNG MỞ ĐẦU

1-1 Khái niệm về động lực học công trình

Môn động lực học kết cấu công trình, hay gọi tắt là động lực học công trình, quan tâm nghiên cứu đến tác dụng của tải trọng thay đổi theo thời gian và thay đổi theo vị trí trên kết cấu công trình. Trong phần tĩnh lực học kết cấu công trình, đã từng đề cập đến tải trọng di động, nhưng thực chất chỉ nghiên cứu sự thay đổi vị trí của một nhóm tải trọng sao cho ở vị trí nào đó thì tác dụng tĩnh học của nhóm tải trọng đó là tác dụng hữu hiệu nhất, mà chưa xem xét và đề cập đến những tác dụng động học của tải trọng.

Những tác dụng động học của tải trọng chính là nhiệm vụ nghiên cứu của môn động lực học công trình. Đó là tác động của lực quán tính, lực này phát sinh khi vật thể chuyển động, cụ thể như lực do trọng lượng bản thân kết cấu, của tải trọng đặt hay di động trên nó, cũng có thể cả chuyển động của môi trường (như không khí, nước, động đất ...) làm ảnh hưởng đến công trình. Tuy vậy trong tính toán thông thường người ta hay bỏ qua lực quán tính hoặc chỉ tính gần đúng thông qua hệ số động học. Có nghĩa là lấy kết quả do tải trọng tác dụng tĩnh gây ra nhân với một hệ số gọi là hệ số động học.

Với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, các công trình càng được xây dựng hiện đại hơn (bằng vật liệu nhẹ, thanh mảnh hơn, nhịp lớn hơn, hình thức đa dạng hơn), tải trọng tác dụng trên kết cấu cũng lớn hơn ... thì việc tính toán động học của kết cấu công trình không thể bỏ qua mà phải được quan tâm nhiều hơn. Mặt khác việc tính toán động học khá phức tạp, đòi hỏi công cụ tính toán mạnh. Ngày nay đã được sự hỗ trợ hữu hiệu của các máy tính, cho nên nhiều bài toán động học trước kia không giải quyết được thì nay đã được giải quyết thỏa đáng.

Đối tượng nghiên cứu của động lực học công trình khá rộng như :

- Động lực học của các kết cấu công trình giao thông (Cầu, hầm, đường sắt, đường ô tô, sân bay, các loại máy dùng trong xây dựng .
- Động lực học các kết cấu xây dựng nhà công nghiệp, nhà dân dụng cao tầng. Các tháp nâng, tháp treo, tháp vô tuyến.
- Động lực học các công trình thủy điện, đập, đê chắn sông.
- Động đất, chấn động của môi trường.
- Động lực học các máy đặt trong công trình xây dựng (Móng máy, cánh tuốc bin, búa máy, nhà sàn ...)
- Động lực học của gió, nước .
- Động lực học của các loại kết cấu vỏ mỏng : Tấm, vỏ, vỏ tàu, máy bay, tên lửa ...

Động lực học công trình trở thành một môn riêng chuyên nghiên cứu ảnh hưởng của của động học đến công trình từ những năm 30 của thế kỷ thứ XX, nhưng nó chỉ thực sự phát triển sau khi có sự ra đời của các thế hệ máy tính điện tử. Cho đến nay trên thế giới đã hình thành những trường phái nghiên cứu ở một số nước như : Mỹ, Nhật, Liên Xô, Tiệp, Đức, Ba Lan ... và đã được nhiều kết quả khả quan trên các lĩnh vực về nghiên cứu lý luận và ứng dụng .

Trong phạm vi giới hạn về thời gian, phần nghiên cứu của chúng ta chỉ giới hạn ở một số vấn đề về các phương pháp cơ bản để tính động lực, các bài toán dao động của

hệ có một hoặc một số bậc tự do; dao động của dầm thẳng, dao động của một số hệ phức tạp ?

1-2 Các phương pháp cơ bản để giải bài toán dao động công trình

Chúng ta nhắc lại hai dạng cơ bản là phương pháp tĩnh và phương pháp năng lượng.

1- Phương pháp tĩnh

Trên cơ sở các phương trình tĩnh học quen thuộc (nếu là phẳng : 3 phương trình, nếu là hệ không gian : 6 phương trình) bổ sung các yếu tố tác dụng của lực quán tính.

Thí dụ : Đối với hệ phẳng :

$$\begin{cases} \sum X - \sum m \cdot \frac{d^2 X(t)}{dt^2} = 0 \\ \sum Y - \sum m \cdot \frac{d^2 Y(t)}{dt^2} = 0 \\ \sum M_u - \sum J_{m(u)} \cdot \frac{d^2 \alpha_u(t)}{dt^2} = 0 \end{cases}$$

Trong đó :

$X(t), Y(t)$

$\alpha_u(t)$

Là chuyển vị tịnh tiến của khối lượng m theo phương trục X và Y .
Là chuyển vị xoay của khối lượng m quanh trục u (trục vuông góc với mặt phẳng xOy).

$$-m \cdot \frac{d^2 X(t)}{dt^2} \quad ; \quad -m \cdot \frac{d^2 Y(t)}{dt^2}$$

Các thành phần theo phương X, Y của lực quán tính của khối lượng m khi chuyển động.

$$J_{m(u)} = \int_m \rho_u^2 dm$$

Moment quán tính của khối lượng m đối với trục u , ρ_u là khoảng cách từ phân tử khối lượng d_m đến trục u .

2- Phương pháp năng lượng

Dựa trên cơ sở định luật bảo toàn năng lượng

$$K + U = \text{Const}$$

Trong đó : K - Động năng của hệ khi dao động.

U - Thế năng của hệ

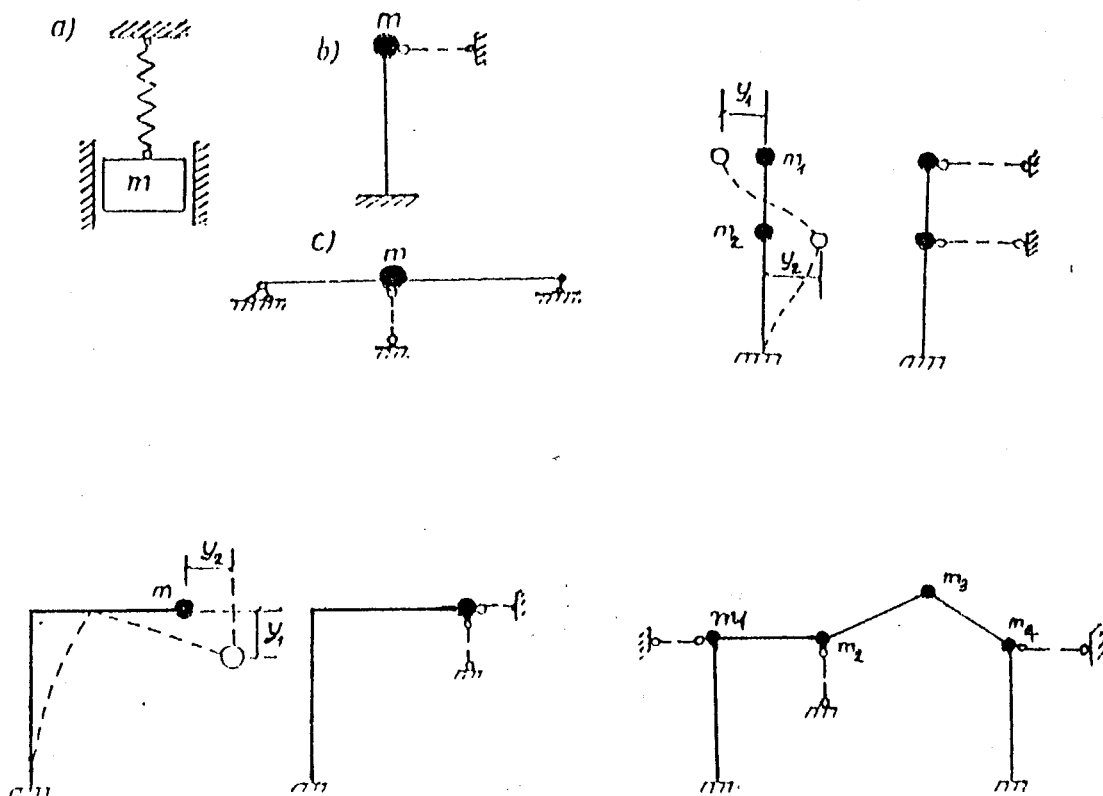
3- Ngoài các phương pháp trên, đối với từng bài toán cụ thể, kết cấu cụ thể, tải trọng tác dụng ...

Người ta có thể giải bài toán động lực học công trình bằng những phương pháp khác nhau nhằm đơn giản hóa quá trình tính toán.

1-3 Bậc tự do của hệ đàn hồi

Định nghĩa về độ tự do của hệ đàn hồi cũng tương tự như trong phần cơ học kết cấu, chỉ khác ở chỗ ta xét trên khối lượng. Do đó bậc tự do của hệ đàn hồi là thông số độc lập cần thiết để xác định vị trí của tất cả các khối lượng đặt trên hệ đó.

Bậc tự do của hệ càng nhiều thì việc bảo toàn động học càng phức tạp hơn. Những hệ đàn hồi có khối lượng phân bố đều là những hệ có bậc tự do bằng vô cùng. Cũng cần quan niệm rằng việc phân chia hệ theo bậc tự do chỉ là lý tưởng hóa sơ lược, còn thực tế các hệ đều là hệ có nhiều bậc tự do. Tuy nhiên nhiều trường hợp thay thế không khác nhiều so với hệ thực. Hình vẽ dưới đây nêu lên một số trường hợp về cách phân chia bậc tự do của hệ.

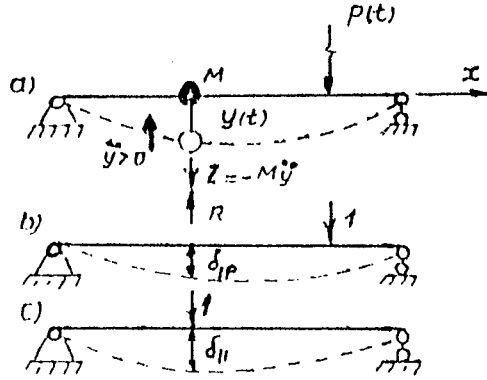


CHƯƠNG 1

DAO ĐỘNG CỦA HỆ CÓ MỘT BẬC TỰ DO

1-1 Phương trình vi phân tổng quát của dao động

Để thiết lập phương trình tổng quát của hệ có một bậc tự do, ta nghiên cứu trường hợp sau đây :



Hình 1-1

Có một khối lượng tập trung m đặt trên dầm giản đơn AB , coi dầm là vật thể đàn hồi và không có khối lượng. Hệ chịu tác động của lực kích thích thay đổi theo thời gian $P(t)$. Hình 1-1.

Vị trí khối lượng m khi dao động được xác định qua hàm số $y(t)$ với quy ước khi khối lượng m chuyển vị xuống dưới là dương và vị trí ban đầu của khối lượng khi chưa dao động có tọa độ $y=0$.

Trong trường hợp trên dao động của khối lượng m chịu tác dụng của các lực sau :

- Lực quán tính của khối lượng $Z = -m.\ddot{y}$, lực này đặt tại khối lượng m .
- Lực kích thích $P(t)$.
- Lực cản $R = \beta.\dot{y}$ (còn gọi là lực phản hồi).

Trong đó :

- β : Hệ số tỷ lệ đặc trưng cho sự cản, đơn vị là $\frac{kN}{cm.s}$
- \dot{y} : Vận tốc của khối lượng m .

Gọi : δ_{11} là chuyển vị theo phương chuyển động tại điểm đặt khối lượng m do lực đơn vị tác dụng tĩnh tại điểm đặt khối lượng m sinh ra .

δ_{1P} là chuyển vị tại điểm đặt khối lượng m do lực đơn vị tác dụng tĩnh tại điểm đặt của lực kích thích gây ra. Hình 1-1b và c

Nếu coi chuyển vị của hệ là nhỏ, áp dụng nguyên lý cộng tác dụng ta viết được phương trình chuyển vị $y(t)$ của khối lượng m như sau :

$$y(t) = \delta_{11}.z - \delta_{11}.R + \delta_{1P}.P(t)$$

Hay
$$y(t) = \delta_{11}.m.\ddot{y} - \delta_{11}.\beta.\dot{y} + \delta_{1P}.P(t)$$

Chia hai vế cho $m.\delta_{11}$, sau khi biến đổi ta có :

$$\ddot{y} + 2\alpha.\dot{y} + \omega^2.y = \omega^2.\delta_{1P}.P(t) \tag{1-1}$$

Trong đó :
$$\omega^2 = \frac{1}{m.\delta_{11}} \quad ; \quad 2\alpha = \frac{\beta}{m} \tag{1-2}$$

Phương trình (1-1) được gọi là phương trình vi phân tổng quát của dao động của hệ có một bậc tự do.

1-2 Dao động tự do không có lực cản và có lực cản

1- Dao động tự do không có lực cản

Dao động tự do (hay còn gọi là dao động riêng) của hệ là dao động sinh ra bởi một lực kích động bất kỳ tác dụng trên hệ rồi ngưng ngay tức thời.

Từ phương trình (1-1) viết được phương trình vi phân của dao động tự do không có lực cản :

$$\ddot{y} + \omega^2 \cdot y = 0 \quad (1-3)$$

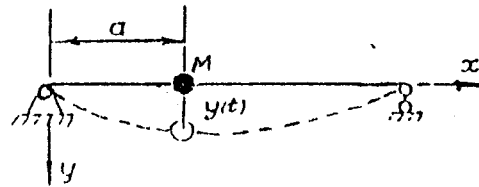
Đây là phương trình vi phân cấp hai không có vế phải và có hệ số là hằng số.

Nghiệm của phương trình (1-3) có dạng :

$$y = A \cdot \cos \omega t + B \cdot \sin \omega t \quad (1-4)$$

A, B là những hằng số tích phân, xác định bằng các điều kiện ban đầu.

Đạo hàm bậc nhất của chuyển vị $y(t)$ theo thời gian sẽ có được vận tốc của khối lượng m .



Hình 1-2

$$\dot{y}(t) = v = -\omega \cdot A \cdot \sin \omega t + \omega \cdot B \cdot \cos \omega t \quad (1-5)$$

Khi $t = 0$; $y = y_0$ và $\dot{y} = \dot{y}_0 = v_0$

Thay các điều kiện trên vào phương trình (1-4) và phương trình (1-5) có được :

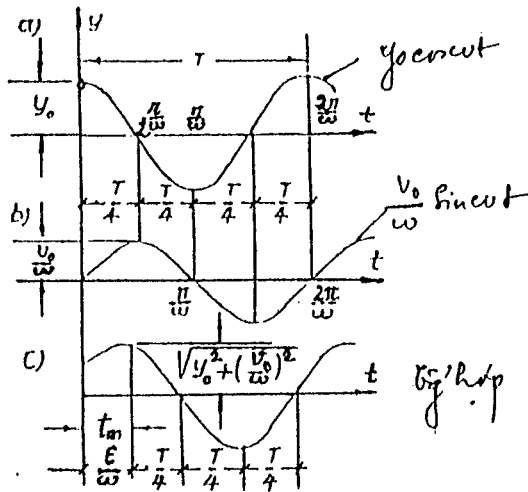
$$A = y_0 \quad ; \quad B = \frac{v_0}{\omega}$$

Vậy phương trình dao động có dạng :

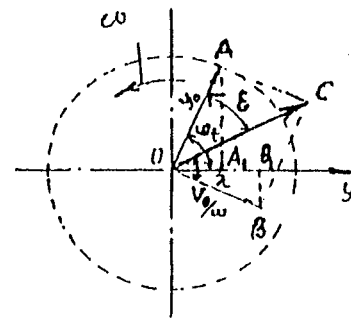
$$y = y_0 \cdot \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t \quad (1-6)$$

Phương trình (1-6) cho thấy dao động của hệ có hai thành phần : Dao động phụ thuộc chuyển vị ban đầu y_0 của khối lượng tỷ lệ với hàm $\cos \omega t$, và dao động phụ thuộc tốc độ ban đầu v_0 tỷ lệ với hàm $\sin \omega t$.

Hình 1-3 cho thấy chuyển động của khối lượng m theo thời gian t



Hình 1-3



Hình 1-4

Nếu biểu diễn dao động bằng véc tơ quay (Hình 1-4). Trên hình biểu thị véc tơ \vec{OA} có độ lớn bằng y_0 quay quanh điểm cố định O với vận tốc góc ω không đổi (ω gọi là tần số góc của dao động). Nếu ở thời điểm ban đầu ($t = 0$) véc tơ \vec{OA} trùng với trục y , thì ở thời điểm bất kỳ t véc tơ \vec{OA} sẽ hợp với trục y một góc là ωt . Hình chiếu của véc tơ \vec{OA} lên trục y là $OA_1 = y_0 \cdot \cos \omega t$ chính là số hạng đầu của biểu thức (1-6) véc tơ \vec{OB} có độ lớn V_0/ω và vuông góc với vectơ \vec{OA} , hình chiếu của véc tơ \vec{OB} lên trục y là $OB_1 = \frac{V_0}{\omega} \sin \omega t$ chính là số hạng thứ hai của biểu thức (1-6).

Chuyển vị toàn phần y của khối lượng m dao động trên trục y được xác định bằng tổng hai hình chiếu của hai véc tơ vuông góc với nhau \vec{OA} và \vec{OB} cùng quay với vận tốc góc ω cũng nhận được kết quả như trên nếu xét véc tơ \vec{OC} (Tổng hình học của hai véc tơ \vec{OA} và \vec{OB} và lời giải là hình chiếu của \vec{OC} trên trục y).

Độ lớn của véc tơ \vec{OC} là a và được tính bằng biểu thức theo quan hệ hình học.

$$OC = a = \sqrt{y_0^2 + \left(\frac{v_0}{\omega}\right)^2} \quad (1-7)$$

\vec{OC} Hợp với trục y một góc $(\omega t - \epsilon)$.

Trong đó :

$$\epsilon = \arctg \frac{v_0}{\omega \cdot y_0}$$

Phương trình (1-6) viết được dưới dạng :

$$y = a \cdot \cos(\omega t - \epsilon) \quad (1-8)$$

Nếu gọi λ là góc hợp giữa vectơ \vec{OC} và \vec{OB} thì công thức (1-8) có thể viết dưới dạng

$$y = a \cdot \cos \left[\omega t - \left(\frac{\pi}{2} - \lambda \right) \right]$$

Hay

$$y = a \cdot \sin(\omega t + \lambda) \quad (1-9)$$

Trong đó :

$$\lambda = \arctg \left(\frac{y_0 \cdot \omega}{v_0} \right) \quad (1-10)$$

Các đại lượng a ; λ là các hằng số phụ thuộc điều kiện ban đầu của chuyển động.

So sánh hai biểu thức (1-6) và (1-9) ta thấy tổng của hai chuyển động đơn điều hoà là một chuyển đơn điều hoà .

Độ lớn của vectơ \vec{OC} là a được gọi là biên độ dao động ; λ là góc lệch pha giữa hai dao động biểu diễn trên hình 1-3b và 1-3c còn ε là độ lệch pha của dao động trên hình 1-3a và 1-3c .

$t_m = \frac{\varepsilon}{\omega}$ Là thời gian lệch nhau giữa hai tung độ cực đại của dao động trên hình

1-3a và hình 1-3c .

Ta cũng thấy khi khối lượng m chuyển vị xa vị trí cân bằng nhiều nhất, tức là đạt biên độ y_{\max} thì khi đó vận tốc $\dot{y} = v = 0$, còn khi $y = 0$ thì $\dot{y} = v_{\max}$. Hay nói cách khác khi thế năng bằng không (m ở vị trí cân bằng $y = 0$) thì động năng cực đại, động năng này làm khối lượng tiếp tục chuyển vị, chỉ đến lúc động năng giảm bằng không ($v = 0$) thì thế năng lại đạt tới cực đại ... quá trình cứ thế tiếp diễn.

Dao động chúng ta đang khảo sát là dao động điều hoà. Sau đây ta xét các đại lượng đặc trưng của dao động trên, đó là tần số và chu kỳ dao động.

Chúng ta nhắc lại vài định nghĩa sau :

- **Chu kỳ dao động** là thời gian cần thiết để khối lượng m thực hiện được một dao động toàn phần. Ký hiệu chu kỳ dao động là T .

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (s)$$

- **Tần số dao động** là số lần dao động trong một giây. Ký hiệu là f

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (1/s)$$

- $\omega = 2\pi \cdot f$ gọi là tần số vòng của dao động riêng (thường gọi tắt là **tần số dao động riêng**) .

Từ biểu thức (1-2) có được :

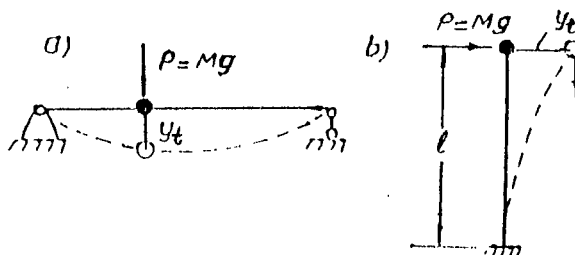
a- Tần số vòng của dao động riêng :

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{m \cdot \delta_{11}}} = \sqrt{\frac{g}{P \cdot \delta_{11}}} = \sqrt{\frac{g}{y_t}} \quad (1/s) \quad (1-11)$$

Trong đó :

g : Gia tốc trọng trường (cm/s^2)

y_t : Chuyển vị của khối lượng m do lực $P = m \cdot g$ tác dụng tĩnh tại điểm đặt khối lượng m gây ra. Hình 1-5a, b .



Hình 1-5

Thí dụ trường hợp 1-5b. Nếu xét cả uốn dọc ta có :

$$y_t = \delta_{11} \cdot P = \frac{1}{3} \frac{l^3}{EJ} \cdot P \cdot \left(1 - \frac{P}{P_{Ole}} \right)$$

Hay

$$y_t = \frac{l^3}{3EJ \left(1 - \frac{m \cdot g}{P_{Ole}} \right)} \cdot m \cdot g$$

b- Tần số dao động

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{y_t}} \quad (1-12)$$

c- Chu kỳ dao động

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{y_t}{g}} \quad (1-13)$$

$$\text{Từ biểu thức } y = a \cdot \sin(\omega t + \lambda) \quad \text{có} \quad y_{\max} = a \quad (1-14)$$

$$\text{Vận tốc } v = \dot{y} = a \cdot \omega \cos(\omega t + \lambda) \quad \text{có} \quad \dot{y}_{\max} = a \cdot \omega \quad (1-15)$$

$$\text{Gia tốc } \ddot{y} = -a \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t + \lambda) \quad \text{có} \quad \ddot{y}_{\max} = a \cdot \omega^2 \quad (1-16)$$