Chương 6

CHUYỂN ĐỘNG TỊNH TIẾN VÀ CHUYỂN ĐỘNG QUAY QUANH MỘT TRỤC CỐ ĐỊNH CỦA VẬT RẮN

Chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay quanh một trục cố định là hai chuyển động cơ bản của vật rắn. Sau này sẽ rõ, các chuyển động khác của vật rắn đều là kết quả tổng hợp của hai chuyển động nói trên.

6.1. CHUYỂN ĐỘNG TỊNH TIẾN CỦA VẬT RẮN.

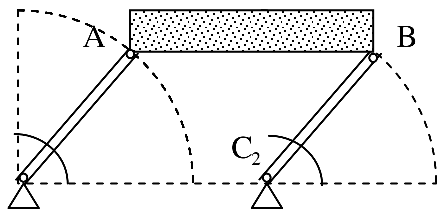
6.1.1. Định nghĩa

Chuyển động của vật rắn gọi là tịnh tiến khi một đường thẳng bất kỳ gắn với vật có phương không đổi trong quá trình chuyển động .

Cần phân biệt giữa chuyển động tịnh tiến với chuyển động thẳng. Trong chuyển động tịnh tiến quỹ đạo của một điểm cũng có thể là thẳng cũng có thể là cong.

Thí du : Pít tông trong động cơ ô tô, máy kéo là vật rắn chuyển động tịnh tiến, mọi điểm trên nó có quỹ đạo là thẳng.

Khâu Ab trong cơ cấu hình bình hành $OABO_1$ (hình 6.1) chuyển động tịnh tiến, mọi điểm trên nó có quỹ đạo là một đường tròn.



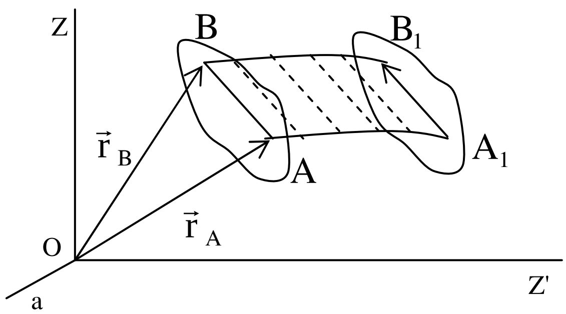
Hình 6.1

6.1.2. Tính chất của chuyển động tịnh tiến.

Định lý 6.1: Khi vật rắn chuyển động tịnh tiến mọi điểm trên vật có chuyển động như nhau nghĩa là quỹ đạo, vận tốc và gia tốc như nhau.

Chứng minh định lý :

Giả tiết vật rắn chuyển động tịnh tiến



Hình 6.2

trong hệ tọa độ oxyz (hình 6.2). Lấy hai điểm A và B bất kỳ trên vật. Tại thời điểm t hai điểm A và B có véc tơ định vị $\vec{r}_A$, $\vec{r}_B$.

Theo hình vẽ ta có :

$$\vec{r}_B = \vec{r}_A + \overrightarrow{AB} \qquad (6.1)$$

Trong quá trình chuyển động, theo định nghĩa AB là véc tơ không đổi. Suy ra quỹ đạo điểm B là tập hợp của các điểm nằm trên quỹ đạo điểm A đã rời đi một đoạn thẳng bằng về độ lớn và phương chiều của véc tơ $\overrightarrow{AB}$. Nói khác đi nếu ta dời quỹ đạo AA_1 của điểm A theo véc tơ $\overrightarrow{AB}$ thì AA_1 sẽ trồng khít lên quỹ đạo BB_1. Ta đã chứng minh được quỹ đạo của điểm A và B như nhau.

Từ biểu thức (6.1) dễ dàng suy ra :

$$\vec{v}_B = \frac{d\vec{r}_B}{dt} = \frac{d\vec{r}_A}{dt} + \frac{d(\overrightarrow{AB})}{dt} = \vec{v}_A \text{ , vì } \frac{\overrightarrow{AB}}{dt} = 0$$

$$\text{và } \frac{d\vec{v}_B}{dt} = \frac{d\vec{v}_A}{dt} \text{ hay } \vec{\mathbf{w}}_\mathbf{A} = \vec{\mathbf{w}}_\mathbf{B}$$

Vì điểm A và B lấy bất kỳ do đó định lý đã được chứng minh.

Do tính chất trên của chuyển động tịnh tiến nên khi nói vận tốc và gia tốc một điểm nào đó trên vật chuyển động tịnh tiến cũng có thể hiểu đó là vận tốc và gia tốc của vật.

6.2. CHUYỂN ĐỘNG QUAY CỦA VẬT RẮN QUANH MỘT TRỤC CỐ ĐỊNH.

6.2.1. Khảo sát chuyển động của cả vật.

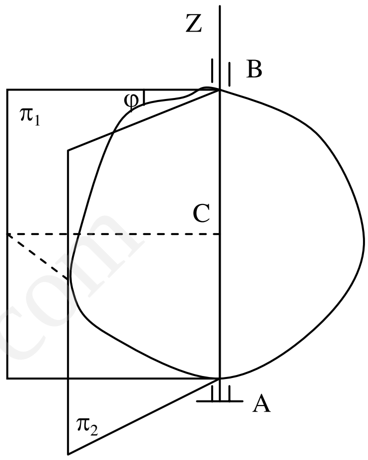
6.2.1.1. Định nghĩa và phương trình chuyển động.

Chuyển động của vật rắn được gọi là chuyển động quay quanh một trục cố định khi trên vật tìm được hai điểm cố định trong suốt thời gian chuyển động. Đường thẳng đi qua hai điểm cố định đó gọi là trục quay.

Thí dụ : Cánh cửa quay quanh trục bản lề ; Phần quay của động cơ điện ; Ròng rọc cố định....là các vật rắn chuyển động quay quanh một trục cố định .

Mô hình vật rắn quay quanh một trục cố định biểu diễn trên hình vẽ (6.3).

Để xác định vị trí của một vật ta dựng hai mặt phẳng : mặt phẳng π_1 chứa trục quay cố định trong không gian , mặt phẳng π_2 cũng chứa trục quay nhưng gắn với vật. Khi vật chuyển động mặt phẳng π_2 chuyển động theo, nếu xác định được góc φ hợp bởi giữa π_1 và π_2 thì vị trí của vật được xác định. Vì vậy góc φ là thông số định vị của vật.



Hình 6.3

Khi vật quay góc φ biến đổi liên tục theo thời gian nghĩa là :

$$\varphi = \varphi(t) \qquad (6.2)$$

Phương trình (6.2) chính là phương trình chuyển động của vật rắn quay quanh một trục cố định.

6.2.1.2. Vận tốc góc và gia tốc góc của vật .

Giả tiết trong khoảng thời gian $\Delta t = t_1 - t_0$ vật rắn quay được một góc :

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_0$$

Ta gọi tỷ số $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ là vận tốc góc trung bình của vật trong khoảng thời gian Δt ký hiệu là ω_{tb} . Lấy giới hạn của vận tốc góc trung bình khi Δt dần tới không được :

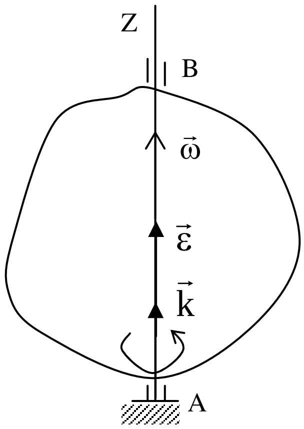
$$\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} = \omega$$

ω gọi là vận tốc góc tức thời của vật.

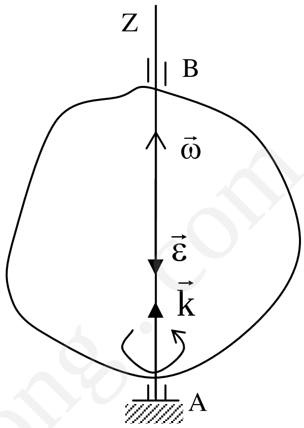
Như vậy vận tốc góc tức thời của vật rắn bằng đạo hàm bậc nhất theo thời gian của góc quay φ. Dấu của ω cho biết chiều quay của vật. Nếu $\omega > 0$ có nghĩa là vật quay theo chiều dương đã chọn và nếu $\omega < 0$ thì vật quay ngược theo chiều dương đã chọn. Trị số ω được tính bằng rad/giây viết tắt là 1/s.

Để biểu diễn cả về tốc độ quay và phương chiều quay của vật ta đưa ra khái niệm véc tơ vận tốc góc $\vec{\omega}$. Véc tơ $\vec{\omega}$ được xác định như sau : độ lớn của nó tốc độ góc ω, hướng dọc theo trục quay về phía sao khi nhìn từ mút của ω sẽ thấy vật quay quanh trục theo ngược chiều kim đồng hồ.

$\vec{\omega} = \omega.\vec{k}$ với $\vec{k}$ là véc tơ đơn vị trên trục quay. (hình 6.4).



Hình 6.4a



Hình 6.4b

Vì vậy vận tốc góc cho biết tốc độ quay và chiều quay của vật do đó sự biến thiên của nó theo thời gian phản ánh tính biến đổi của chuyển động đó. Ta có định nghĩa gia tốc góc như sau :

Gia tốc góc của vật ký hiệu là ε bằng đạo hàm bậc nhất theo thời gian của vận tốc góc hay đạo hàm bậc hai theo thời gian của góc quay.

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \qquad (6.4).$$

Đơn vị tính gia tốc là rad/(giây)^2 viết tắt là 1/s^2. Cũng như vận tốc, gia tốc có thể biểu diễn bằng một véc tơ $\vec{\varepsilon}$ xác định bằng đạo hàm theo thời gian của véc tơ $\vec{\omega}$. Ta có :

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d\omega}{dt}.\vec{k} = \varepsilon.\vec{k}$$

Như vậy véc tơ gia tốc góc $\vec{\varepsilon}$ cũng nằm trên trục quay, khi ε > 0 thì $\vec{\varepsilon}$ cùng chiều với $\vec{\omega}$ (hình 6.4a) và khi ε < 0 thì $\vec{\varepsilon}$ ngược chiều với $\vec{\omega}$ (hình 6.4b).

6.1.1.3. Chuyển động quay đều và biến đổi đều.

Nếu chuyển động quay có vận tốc góc ω không đổi ta nói chuyển động quay là đều. Khi đó biểu thức (6.3) rút ra : $d\varphi = \omega dt$.

Nếu tích phân hai vế theo các cận tương ứng ta có :

$$\int_{\varphi 0}^{\varphi} d\varphi = \int_{t0}^{t} \omega dt \qquad \text{hay} \qquad \varphi = \varphi_0 + \omega(t - t_0)\ .$$

Với $t_0 = 0$ thì phương trình chuyển động có thể viết :

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t\ .$$

Ở đây φ_0 là góc quay ban đầu ứng với $t = t_0 = 0$.

Nếu chọn $\varphi_0 = 0$ thì phương trình còn lại là :

$$\varphi = \omega t\ .$$

Ở đây có thể tính đến vận tốc ω bằng biểu thức

$$\omega = \frac{\varphi}{t}(\text{rad}/\text{s})\,.$$

Từ công thức này nếu tính vận tốc góc cho bằng n vòng/phút thì dễ dàng suy ra vận tốc góc tính theo radian/giây theo biểu thức :

$$\omega = \frac{\pi . n}{30} \approx 0{,}1(\text{rad}/\text{s})\,.$$

Nếu gia tốc ε là không đổi, chuyển động quay của vật gọi là chuyển động quay biến đổi đều.Từ biểu thức (6.4) suy ra :

$$\int_{\varphi 0}^{\varphi} d\omega = \int_{t0}^{t} \varepsilon dt \quad \text{hay} \quad \omega = \omega_0 + \varepsilon t.$$

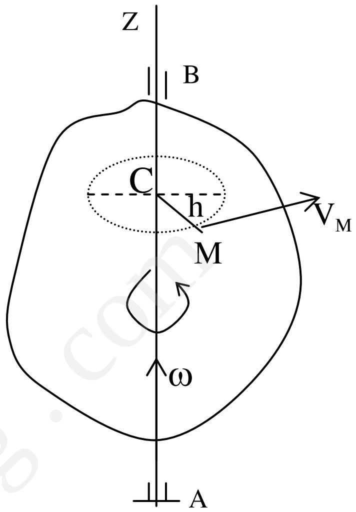
Mặt khác ta có : $\omega = \dfrac{d\varphi}{dt}$ nên có thể viết : $d\varphi = \omega_0 dt + \varepsilon t dt$.

Lấy phân tích hai vế ta được : $\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \dfrac{\varepsilon t^2}{2}$

Nếu chọn $\varphi_0 = 0$ thì $\varphi = \omega_0 t + \dfrac{\varepsilon t^2}{2}$

6.2.2. Khảo sát chuyển động của một điểm trên vật rắn chuyển động quay quanh một trục.

Khảo sát điểm M nằm trên vật rắn quay quanh một trục cố định, cách trục quay một đoạn h. Khi vật rắn quay điểm M vạch ra một đường tròn bán kính h nằm trong mặt phẳng vuông góc với trục quay có tâm c nằm trên trục quayAZ. *(Hình 6.5).*



Hình 6.5

Bằng phương pháp toạ độ tự nhiên ta có thể viết phương trình chuyển động của điểm M :

$$S = h\,.\,\varphi(t).$$

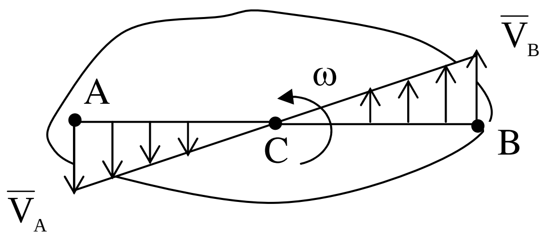
S là cung mà điểm M đi được, tương ứng với góc quay φ(t) mà vật quay được. Vì φ là hàm của thời gian nên S cũng là hàm của thời gian. Biểu thức (6.5) là phương trình chuyển động của điểm M.

Vận tốc của điểm M dễ dàng xác định nhờ biểu thức (5.8) ta có :

$$v = \frac{ds}{dt} = h.\frac{d\varphi}{dt} = h.\omega \qquad (6.6).$$

Vận tốc điểm M có trị số bằng h.ω và có phương tiếp tuyến với quỹ đạo ($\vec{v}_M \perp MC$) có chiều hướng theo chiều quay của vật (hình 6.5) và nằm trong mặt phẳng của quỹ đạo.

Từ biểu thức (6.6) ta thấy vận tốc $\vec{v}$ của điểm tỷ lệ với khoảng cách từ điểm tới trục quay và có thể biểu diễn theo hình vẽ (6.6).



Hình 6.6

Cũng theo phương pháp toạ độ tự

nhiên ta có thể xác định được gia tốc của điểm M.

$$\vec{w}_M = \vec{w}^t{}_M + \vec{w}^n{}_M .$$

$$w^t_M = \frac{dv}{dt} = h\frac{d\omega}{dt} = h.\varepsilon$$

$$w^n_M = \frac{v^2}{\rho} = \frac{h^2\omega^2}{h} = h.\omega^2$$

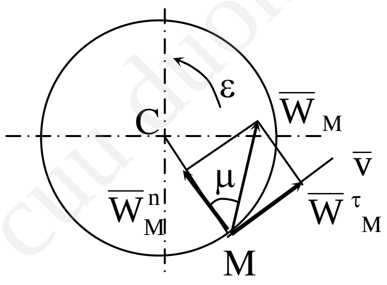
Ở đây nếu $\varepsilon > 0$ chiều của $\vec{w}^t{}_M$ cùng chiều với $\vec{v}$, nếu $\varepsilon < 0$ thì $\vec{w}^t{}_M$ ngược chiều với $\vec{v}$. Còn chiều của w^n_M luôn hướng từ M về tâm c.

Gia tốc điểm M xác định được cả về độ lớn lẫn phương chiều.

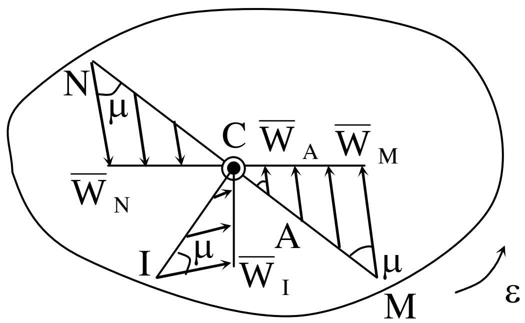
$$w_M = \sqrt{w^{t2}{}_M + w^{n2}{}_M} = \sqrt{h^2.\varepsilon^2 + \omega^2.h^2} = h\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$$

$\vec{w}_M$ hợp với bán kính MC một góc μ xác định bởi biểu thức :

$$tg\mu = \frac{|wr|}{w^n} = \frac{|\varepsilon|}{\omega^2} \qquad \text{(xem hình 6.7).}$$



Hình 6.7



Hình 6.8

Từ biểu thức xác định w_M ta thấy gia tốc của điểm M tỷ lệ bậc nhất với khoảng cách từ điểm tới trục quay. Có thể biểu diễn quy luật phân bố gia tốc các điểm như ở hình (6.8.)

<u>Thí du 6.1</u> : Một bánh đà đang quay với vận tốc n = 90 vòng/phút người ta hãm cho nó quay chậm dần đều cho đến khi dừng hẳn hết 40 giây. Xác định số vòng quay bánh đà quay được trong thời gian hãm đó.

<u>Bài giải:</u>

Phương trình chuyển động của bánh đà là :

$$\varphi = \omega t - \varepsilon\frac{t^2}{2} \qquad ; \qquad \omega_0 = \omega_0 - \varepsilon t.$$

Ở đây ta chọn góc quay ban đầu $\varphi_0 = 0$.

Tại thời điểm $t_0 = 0$ $\quad \omega_0 = \frac{\pi n}{30}$ tại thời điểm $t = t_1$ khi bánh đà dừng hẳn $\omega = \omega_1 = 0$. Suy ra :

$$\omega = 0 = \omega_0 - \varepsilon t \text{ hay } \varepsilon = \frac{\omega_0}{t} = \frac{\pi n}{30t}$$

Thay vào trên ta tìm được :

$$\varphi = 2\pi N = \frac{\pi n t_1}{30} - \frac{\pi n}{60}t_1 = \frac{\pi n}{60}t_1 ,$$

$$\text{hay } N = \frac{n t_1}{120} = 30 \text{ (vòng)}$$

Từ khi bắt đầu phanh cho đến khi dừng hẳn bánh đà còn quay được 30 vòng nữa.

<u>Thí du 6.2</u> : Trọng vật B rơi xuống truyền chuyển động quay cho trống có bán kính r trên đó lắp bánh răng 1 bán kính R_1 ăn khớp với bánh răng 2, bán kính R_2 như hình vẽ (6.9). Cho biết trọng vật được thả xuống không vận tốc ban đầu và có gia tốc a không đổi. Xác định quy luật chuyển động của bánh răng 2, vận tốc và gia tốc của điểm M trên vành bánh răng 2 tại thời điểm t = 2 giây.

<u>Bài giải:</u>

Vì vật B chuyển động xuống theo quy luật nhanh dần với gia tốc a nên :

$$V_B = at.$$

Điểm A có vận tốc bằng vận tốc điểm B

$$V_A = \omega_1 r = at.$$

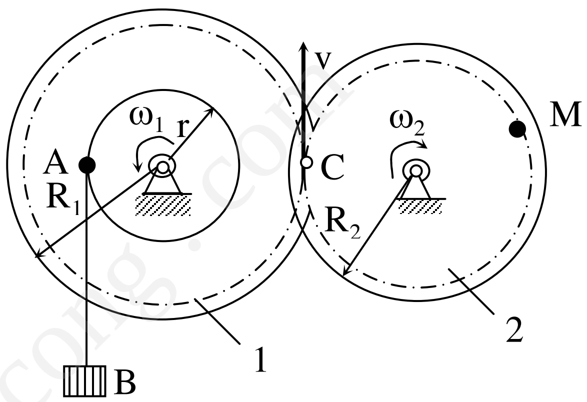
Trong đó ω_1 là vận tốc góc của trục bánh răng 1. Suy ra :

$$\omega_1 = \frac{at}{r}$$

Để xác định vận tốc góc ω_2 của bánh răng 2 căn cứ vào vận tốc điểm ăn khớp C của hai bánh răng, ta có :

$$V_C = \omega_1 R_1 = \omega_2 R_2,$$

$$\text{Hay } \omega_2 = \frac{R_1}{R_2}.\omega_1 = \frac{R_1}{R_2}.\frac{at}{r}.$$



Hình 6.9

Vận tốc góc bánh răng 2 là hàm của thời gian. Dễ dàng tìm được góc quay của bánh răng 2. Ta có :

$$\omega_2 = \frac{R_1}{R_2}.\frac{at}{r} = \frac{d\varphi_2}{dt}$$

$$\text{hay } d\varphi_2 = \frac{R_1}{rR_2}.atdt.$$

Chọn $\varphi_0 = 0$ ứng với $t_0 = 0$ và φ_1 ứng với $t = t_1$. Sau đó tích phân hai vế ta được : $\varphi_2 = \dfrac{R_1}{2R_2 r}.at^2$.

Đây chính là phương trình chuyển động của bánh răng 2.

Vận tốc của điểm M trên vành bánh răng 2 bằng vận tốc của điểm C. Ta có :

$$V_M = V_c = \omega_1 R_1 = \frac{R_1}{r}.at \text{ (m/s)}$$

Khi t= 2 giây gia tốc của điểm M cũng như gia tốc điểm C. Ta có :

$$W_c^t = R_2.\varepsilon = R_2.\frac{d\omega}{dt}2 \qquad \text{với} \quad \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{R_1}{R_2 r}.a$$

Thay vào biểu thức gia tốc tiếp tuyến và pháp tuyến của điểm C ta có :

$$w_C^t = \frac{R_1}{r}.a$$

$$w_C^n = R_2\omega_2^2 = R_{2.}\frac{R_1^2}{R_2^2}.\frac{a^2t^2}{r^2} = \frac{R_1^2a^2}{R_2r^2}t^2$$

Với t = 2 sẽ được :

$$w_C^n = \frac{4R_1^2a^2}{R_2r^2}$$

Gia tốc toàn phần của điểm C là ;

$$w_c = R_2\sqrt{\frac{R_1^2a^2}{R_2^2.r^2} + \frac{8R_1^4a^4}{R_2^2r^2}} = \frac{R_1a}{r}\sqrt{1 + \frac{16R_1^2a^2}{R_2^2r^2}}$$

6.2.3.Truyền chuyển động quay của vật rắn quanh các trục song song

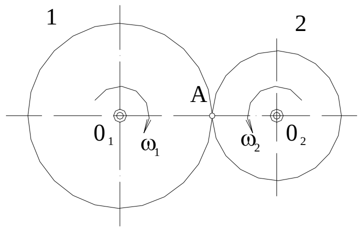
Khảo sát trường hợp rất phổ biến trong kỹ thuật cơ khí là sự truyền chuyển động quay của các bánh răng trụ .

6.2.3.1. Truyền chuyển động quay của các bánh răng trụ có trục quay cố định

Trước hết ta xét hai bánh răng 1 và 2 quay quanh hai trục O_1 và O_2 cố định biểu diễn trên hình 6.10. Hình 6.10a là hai bánh răng ăn khớp ngoài còn hình 6.10.b là hai bánh răng ăn khớp trong. Nếu gọi A là điểm ăn khớp của hai bánh răng ta có nhận xét rằng vận tốc của điểm A trên hai bánh răng bằng nhau nghĩa là:

$$|\omega_1|.r_1 = |\omega_2|.r_2$$

Trong đó r_1 và r_2 là bán kính của hai bánh răng 1 và 2. Từ kết quả trên suy ra biểu thức sau:

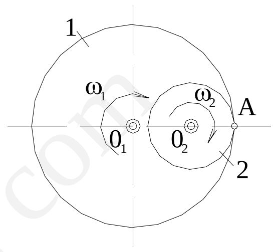


Hình 6-10a

$$\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)_{\text{ăn khớp ngoài}} = -\frac{r_2}{r_1} = -\frac{z_2}{z_1} \qquad (6.11)$$

$$\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)_{\text{ăn khớp trong}} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{z_2}{z_1} \qquad (6.12)$$

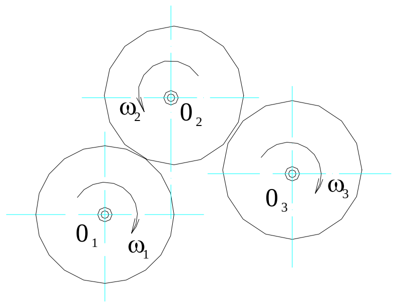
z_1 và z_2 là số răng của bánh răng 1 và 2.



Hình 6-10b

Tiếp theo ta xét trường hợp hệ có nhiều bánh răng trụ ăn khớp với nhau và có trục quay cố định (Hình 6.11).

Trước hết khảo sát các bánh răng ăn khớp ngoài. Theo biểu thức (6.1) áp dụng cho các cặp bánh răng tiếp theo ta có:



Hình 6 - 11

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{r_2}{r_1}; \qquad \frac{\omega_2}{\omega_3} = -\frac{r_3}{r_2};$$

$$\ldots;\ \frac{\omega_{n-1}}{\omega_n} = (-1)^{n-1}\frac{r_n}{r_{n-1}}$$

Hay $\dfrac{\omega_1}{\omega_2} = -\dfrac{r_2}{r_1}$; $\dfrac{\omega_1}{\omega_3} = \dfrac{r_3}{r_1}$; .....; $\dfrac{\omega_1}{\omega_n} = (-1)^{n-1}\dfrac{r_n}{r_1}$

Một cách tổng quát ta có:

$$\frac{\omega_1}{\omega_n} = (-1)^k \frac{r_n}{r_1} \qquad (6.13)$$

Ở đây k là số cặp bánh răng ăn khớp ngoài. Nếu số cặp bánh răng ăn khớp ngoài là chẵn thì ωn cùng chiều với ω_1 và số cặp bánh răng ăn khớp ngoài là lẻ thì ωn ngược chiều với ω_1. Nói cách khác đi nếu n chẵn thì ωn ngược chiều với ω_1 và n lẻ thì ω_n cùng chều với ω_1.

Trong trường hợp các bánh răng ăn khớp trong. Theo biểu thức (6.2) áp dụng cho các cặp bánh răng tiếp theo dễ dàng nhận được kết quả:

$$\frac{\omega_1}{\omega_n} = \frac{r_n}{r_1} \qquad (6.14)$$

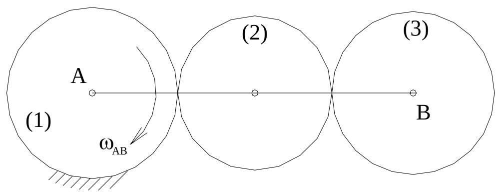
Điều này chứng tỏ vận tốc góc của các bánh răng tiếp theo không đổi chiều và chỉ phụ thuộc vào tỷ số giữa hai bán kính r_1 và r_n.

6.2.3.2. Truyền chuyển động quay của các bánh răng trụ có trục quay nằm trên giá di động

Khảo sát sự truyền chuyển động của các bánh răng cho trên hình (6.12)

Ở đây bánh răng 1 cố định còn bánh răng 2 và 3 có trục C và B nằm trên giá AB giá này quay quanh A với vận tốc góc ω_{AB}.

Bài toán đặt ra là phải xác định vận tốc góc của 2 bánh răng 2 và 3.



Hình 6-12

Để đưa bài toán về trường hợp đã xét ở 6.2.3. ta phải tìm cách cố định giá AB. Muốn vậy ta cho toàn bộ hệ quay ngược lại với vận tốc góc ω_{AB} quanh A. Phương pháp này gọi là phương pháp Vilít. Khi đó các vận tốc góc tương đối ω_K' của các khâu sẽ là $\omega_K' = \omega_k - \omega_{AB}$. Trong đó ω_K là vận tốc góc tuyệt đối. Rõ ràng lúc này giá AB sẽ có vận tốc là $\omega_{AB}' = \omega_{AB} - \omega_{AB} = 0$. Còn các bánh răng 1 và 2 có các vận tốc tương đối là:

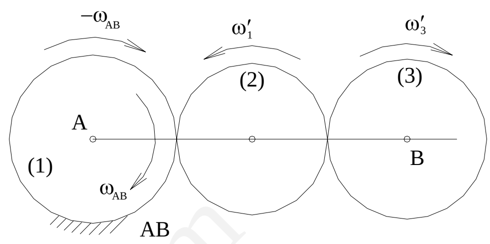
$$\omega_1' = \omega_1 - \omega_{AB} \text{ và } \omega_2' = \omega_2 - \omega_{AB}$$

Với kết quả này ta có thể tính được ω_1' và ω_2' theo kết quả đã khảo sát ở mục 6.2.3 và từ đó xác định được ω_2 và ω_3.

Thí du6-3 : Khảo sát các bánh răng trên hình (6.12) cho biết bánh răng 1 có bán kính R_1. Giá AB quay với vận tốc góc ω_{AB}. Bánh răng 3 có bán kính R_3. Xác định vận tốc của bánh răng 3.

Bài giải:

Gọi vận tốc góc tuyệt đối của các bánh răng là ω_1, ω_2, ω_3. Vì bánh răng 1 cố định nên $\omega_1 = 0$.



Hình 6-13

Áp dụng phương pháp Vilít vào hệ ta có:

$\omega_1' = 0 - \omega_{AB}$; $\omega_2' = \omega_2 - \omega_{AB}$;

$\omega_3' = \omega_3 - \omega_{AB}$

còn $\omega_{AB}' = 0$ nghĩa là giá AB đứng yên.

Áp dụng công thức (6. 13) cho trường hợp này với k = 2 ta có:

$$\frac{\omega_1'}{\omega_3'} = \frac{r_3}{r_1} \text{ hay } \frac{-\omega_{AB}}{\omega_3 - \omega_{AB}} = \frac{r_3}{r_1}$$

Suy ra: $$\omega_3 = \left(1 - \frac{r_1}{r_3}\right).\omega_{AB}$$

Nếu $r_1 < r_3$ thì ω_3 cùng chiều với ω_{AB} còn $r_1 > r_3$ thì ω_3 ngược chiìu với ω_{AB} và đặc biệt $r_1 = r_3$ thì $\omega_3 = 0$ bánh răng 3 sẽ chuyển động tĩnh tiến.