

NGHIÊN CỨU NGUYÊN LÝ ĐỒNG BỘ VÀ TỰ ĐỒNG BỘ RUNG CÁC CƠ CẤU KÍCH ĐỘNG BẰNG LỰC LY TÂM VÔ HƯỚNG VÀ MỘT SỐ ỨNG DỤNG

Trần Văn Tuấn¹, Nguyễn Tiến Dũng²

Tóm tắt: Trên một máy hoặc thiết bị do yêu cầu công nghệ và đặc điểm kết cấu nhiều khi phải lắp đặt nhiều bộ kích rung bằng lực ly tâm vô hướng độc lập. Phụ thuộc vào nhiều thông số động học và kết cấu máy, thiết bị dẫn đến hai khả năng hoặc là cộng tác dụng rung tăng hiệu quả làm việc của máy, hoặc triệt tiêu rung lẫn nhau. Để làm sáng tỏ vấn đề trình bày trên, các tác giả nghiên cứu đề xuất một số nguyên lý đồng bộ và tự đồng bộ rung làm cơ sở để lựa chọn và tính toán thiết kế các máy rung sử dụng trong xây dựng và công nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng.

Summary: In a machine or equipment, due to technological requirements and structural features sometime we have to install many vibration modules by independent scalar centrifugal forces. Depending on many dynamical parameters and structures of machines or equipments, there are two abilities either to enhance the vibration effect of the machine or cancel the vibrations together. To clarify these issues, the authors study and suggest some principles of synchronous and self-synchronous vibrations to be the basis for selection, calculation and design of the vibrating machines which are used in construction and industrial production of building materials.

Nhận ngày 22/12/2011, chỉnh sửa ngày 20/02/2012, chấp nhận đăng ngày 28/02/2012

1. Đặt vấn đề

Trong thực tế sản xuất vật liệu xây dựng, đặc biệt là sản xuất vật liệu và cấu kiện bê tông, nghiền vật liệu,... công nghệ rung đang được áp dụng rộng rãi giúp tăng năng suất, chất lượng sản phẩm mà các công nghệ khác chưa thể đáp ứng được. Công nghệ rung sử dụng bộ kích động gây rung bằng các quả nặng hay trục lệch tâm lắp trên máy và thiết bị sản xuất để tổ hợp các nguồn dao động nhằm mục đích tạo lực gây rung có hướng hay vô hướng có tần số theo tính toán thiết kế đặt ra.

Trên rất nhiều máy rung, phổ biến sử dụng hệ kích động bao gồm động cơ, hệ truyền động, bộ gây rung hay hệ trục có lắp các khối lệch tâm. Hộp gây rung hay hệ trục mang các khối lệch tâm gắn cứng với bàn rung, chuyển động quay từ động cơ được truyền tới các bộ phận nêu trên thông qua hệ trục các đăng hoặc bộ truyền đai. Tuy nhiên, kết cấu này có kích thước máy cồng kềnh, khó bố trí hệ truyền động. Trong trường hợp hệ kích động yêu cầu kết cấu kích thước nhỏ gọn, dễ thay đổi vị trí thì người ta hay sử dụng trực tiếp các máy rung ly tâm vô hướng là các động cơ điện có lắp các khối lệch tâm trên trục động cơ. Như vậy, vấn đề đặt ra ở đây là tính toán công suất động cơ, lựa chọn tần số rung, phương pháp để đồng bộ

¹PGS.TS, Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

²KS, Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: nguyentiendung.uce@gmail.com

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

dao động và duy trì dao động đặt trên các bộ gây rung máy và thiết bị. Trọng tâm của bài báo đi sâu vào bài toán đồng bộ dao động các bộ gây rung, trong đó sẽ trình bày hai phương pháp đồng bộ chính là đồng bộ cưỡng bức và tự đồng bộ.

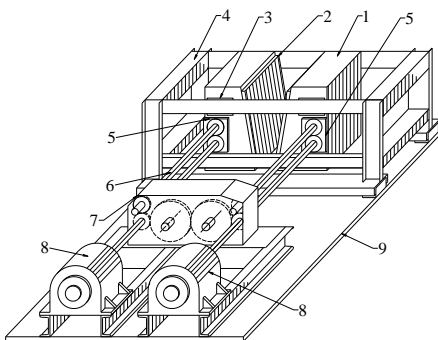
Khái niệm đồng bộ dao động được hiểu là các cơ cấu gây rung làm việc cùng tốc độ, có góc lệch pha là hằng số. Thực tế tốc độ của các động cơ không tuyệt đối bằng nhau, việc chế tạo các khối lệch tâm bao giờ cũng tồn tại những sai lệch về hình dạng, kích thước, thời điểm đóng điện cho các động cơ gây rung hoạt động cũng có thể không diễn ra cùng lúc,... gây ra nhiễu tác động trực tiếp đến quá trình dao động của bộ phận công tác, gây ra hiện tượng mất ổn định.

Để thực hiện đồng bộ dao động người ta thường sử dụng các biện pháp sau: sử dụng bộ truyền cơ khí: truyền xích, bánh răng đồng tốc; sử dụng phương pháp đồng bộ bằng thủy lực; sử dụng phương pháp đồng bộ điện; tính toán lựa chọn các thông số kết cấu và động học phù hợp để thiết bị tự đồng bộ.

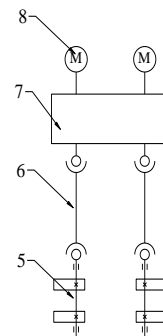
2. Các phương pháp đồng bộ dao động

2.1 Đồng bộ cơ khí

Phương pháp đồng bộ cơ khí sử dụng một cặp bánh răng đồng tốc. Bộ truyền cơ khí như trên giúp đảm bảo tỉ số truyền hay tốc độ quay của bộ gây rung một cách chính xác. Hình 1 trình bày sơ đồ cấu tạo của một máy nghiền má rung có sử dụng hộp đồng tốc và nguyên lý dẫn động cơ cấu gây rung.



a) Sơ đồ cấu tạo



b) Sơ đồ dẫn động cơ cấu gây rung

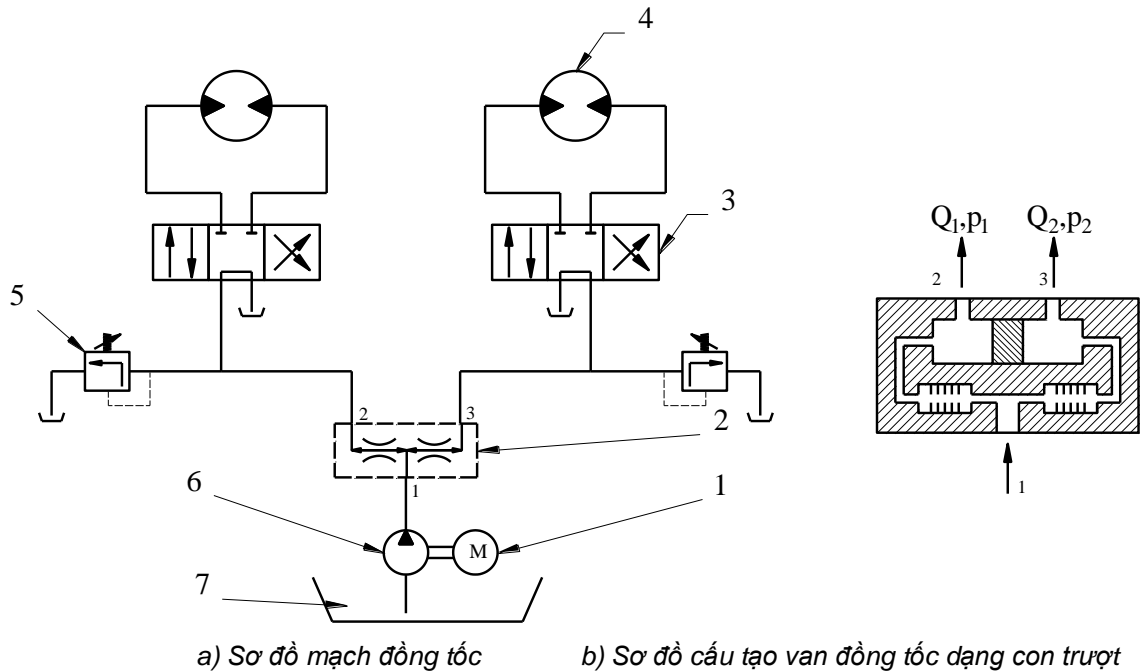
Hình 1. Máy nghiền má rung sử dụng cặp bánh răng đồng tốc: 1. Má nghiền; 2. Tấm lót nghiền; 3. Thành bên máy; 4. Khung máy; 5. Cơ cấu gây rung; 6. Trục các đăng; 7. Cụm đồng tốc; 8. Động cơ; 9. Đế máy

2.2 Đồng bộ thủy lực

Phương pháp đồng bộ thủy lực cho phép tự động điều khiển các động cơ thủy lực có gắn các quả vắng thông qua khả năng tự điều chỉnh khi có sự thay đổi áp lực p trong dòng chất lỏng, nhằm đảm bảo sự đồng bộ thông số chuyển động của các cơ cấu làm việc (số vòng quay, chiều chuyển động, mô men trên trục của cơ cấu làm việc). Trong sơ đồ mạch thủy lực thường sử dụng một van phân phối có tác dụng làm đều chuyển động của các động cơ thủy lực khi có nhiễu gây ra.

a. Đồng bộ bằng van phân phối dạng con trượt

Hình 2 trình bày sơ đồ làm việc của mạch thủy lực sử dụng van phân phối dạng con trượt. Dầu được bơm từ thùng dầu qua van phân phối dạng con trượt, nhờ tác dụng của nó làm hai động cơ luôn luôn quay đồng bộ với nhau trong quá trình làm việc mà không phụ thuộc vào tải trọng tác động lên cơ cấu công tác gắn trên hai động cơ đó.



Hình 2. Sơ đồ mạch thủy lực đồng tốc cho hai động cơ thủy lực: 1. Động cơ điện (động cơ đốt trong); 2. Van phân phối dạng con trượt; 3. Van phân phối; 4. Động cơ thủy lực. 5. Van giới hạn áp lực. 6. Bơm thủy lực; 7. Thùng dầu

Nguyên lý làm việc của van phân phối dạng con trượt dựa vào áp suất làm việc giữa hai cửa ra của van (Hình 2b). Dầu thủy lực được đưa vào từ cửa 1 của van đồng tốc và chia ra làm hai nhánh có lưu lượng bằng nhau nhờ hai van tiết lưu cố định giống nhau. Khi lưu lượng chảy qua hai van tiết lưu là như nhau $Q_1 = Q_2$ thì khi đó con trượt được định vị ở giữa vỏ van, áp suất ở hai đầu con trượt $p_1 = p_2$. Nếu áp suất một cửa ra của van thay đổi dưới tác dụng của tải trọng ($p_1 > p_2$) thì lưu lượng dầu từ phía cửa van sẽ dồn về phía áp suất thấp p_2 . Áp suất p_1 sẽ đẩy con trượt dịch chuyển sang phải sẽ đóng bớt lưu lượng Q_2 cho đến vị trí mà lưu lượng ở hai cửa $Q_1 = Q_2$ tức áp suất làm việc $p_1 = p_2$. Như vậy, khi áp suất làm việc ở hai cửa ra thay đổi, con trượt sẽ chuyển động liên tục nhằm đảm bảo cho áp suất giữa hai cửa là như nhau.

Ưu điểm của phương pháp đồng bộ bằng van này là kết cấu gọn nhẹ. Nhược điểm của phương pháp là tổn hao áp suất sẽ biến thành nhiệt làm nóng dầu. Van chỉ làm việc hiệu quả trong khoảng lưu lượng thấp, dầu không có lẫn không khí hoặc bị nhiễm bẩn.

b. Đồng bộ bằng bộ chia kiểu motor

Ưu điểm lớn nhất của bộ chia này so với bộ chia kiểu con trượt là tổn hao ít áp suất qua bộ chia. (Lưu ý là khi làm việc, áp suất đầu vào của bộ chia lưu lượng kiểu con trượt luôn luôn ở giá trị nhánh làm việc lớn nhất). Ưu điểm thứ hai là nó có thể chia làm nhiều nhánh sử dụng tổ hợp nhiều cặp bánh răng hoặc chia dòng không đều theo tỷ lệ chiều dày cặp bánh răng ăn khớp.

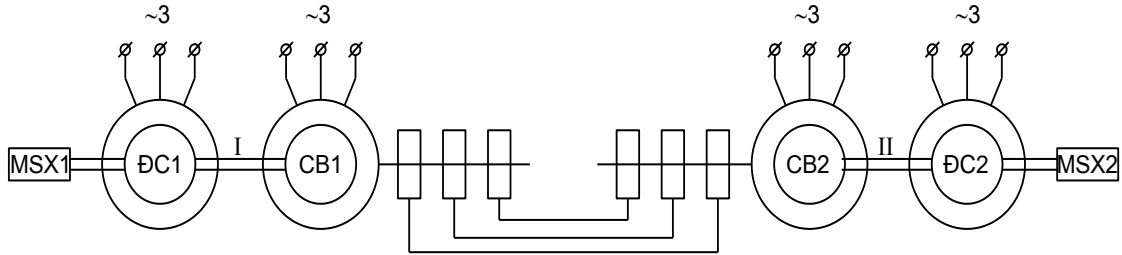
Độ chính xác của bộ chia dạng này cũng không cao vì phụ thuộc vào hiệu suất của motor bánh răng và rò rỉ bên trong kết cấu do áp lực ở các khoang làm việc không giống nhau. Ngoài ra nó còn có nhược điểm là ồn khi làm việc ở tốc độ cao.

Tuy nhiên, phương án này vẫn hay được sử dụng vì đơn giản và không quá mắc tiền, dễ bố trí thiết bị và không kén dầu.

2.3 Đồng bộ điện

a. Điều khiển đồng tốc hai động cơ không đồng bộ bằng máy cân bằng

Hệ truyền động điện được trình bày như hình 3.

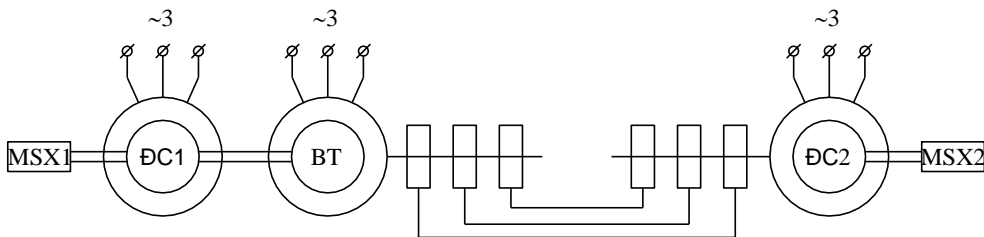


Hình 3. Bộ đồng tốc điện dùng máy cân bằng

Hai động cơ giống nhau cần chạy đồng tốc là ĐC1 và ĐC2. Hai máy cân bằng là CB1 và CB2 thực chất là hai động cơ không đồng bộ rotor dây cuốn giống nhau. Các rotor được nối với nhau về điện qua các vòng trượt. Các động cơ và máy cân bằng cùng nhóm thì được nối cứng trực với nhau và nối với máy sản xuất. Khi mômen cản trên hai trục động cơ như nhau, tốc độ quay của hai động cơ như nhau thì dòng điện trong rotor hai máy cân bằng sẽ bằng 0 và các suất điện động rotor bằng nhau, trái chiều ($|E_1| = |E_2|$). Lúc này các máy cân bằng không sinh ra mô men. Việc kéo tải do các động cơ ĐC1 và ĐC2 đảm nhiệm và phân đều cho hai động cơ. Khi mômen cản trên hai trục động cơ khác nhau ($M_{c1} < M_{c2}$) thì tốc độ quay của hai động cơ khác nhau ($\omega_2 < \omega_1$). Độ trượt của động cơ ĐC2 lớn hơn của động cơ ĐC1 ($s_2 > s_1$) nên suất điện động rotor máy cân bằng CB2 lớn hơn của máy cân bằng CB1 ($|E_2| > |E_1|$). Kết quả, dòng điện rotor của CB2 sẽ dương tạo thêm mô men giúp động cơ ĐC2 khắc phục phụ tải, tăng tốc.

Dòng điện rotor của CB1 sẽ âm, sinh ra mô men hãm làm tăng phụ tải của động cơ ĐC1, giảm tốc. Hai động cơ sẽ được đưa về trạng thái đồng tốc. Công suất của máy cân bằng thường bằng (10÷15)% công suất của động cơ nối cùng trục.

b. Điều khiển đồng tốc hai động cơ xoay chiều bằng máy biến tần quay không đồng bộ



Hình 4. Bộ đồng tốc điện dùng biến tần quay không đồng bộ

Máy biến tần quay không đồng bộ thực chất là một động cơ không đồng bộ có tần số dòng điện rotor tỉ lệ với độ trượt, cũng là tỉ lệ với tốc độ quay của rotor. Khi rotor có tốc độ quay khác nhau, tốc độ trượt khác nhau thì tần số dòng điện rotor sẽ khác nhau.

Hai động cơ cần chạy tốc độ là ĐC1 và ĐC2. Một trong hai động cơ (ĐC1) sẽ nối cứng với máy biến tần quay BT. Máy sản xuất MSX1, động cơ ĐC1 và máy biến tần quay BT luôn

quay cùng tốc độ. Máy sản xuất MSX2 được quay bởi động cơ ĐC2 là động cơ hai nguồn cấp (Nguồn phía stator và nguồn phía rotor). Động cơ ĐC2 quay đồng bộ với máy biến tần BT nên cũng là đồng tốc với ĐC1. Tốc độ quay của hệ do động cơ ĐC1 quyết định.

Vi động cơ ĐC1 kéo máy sản xuất MSX1 và cả máy biến tần BT mà máy BT lại cung cấp nguồn cho động cơ ĐC2 kéo máy sản xuất MSX2 nên công suất của động cơ ĐC1 được coi là công suất của hệ thống.

2.4 Nhận xét

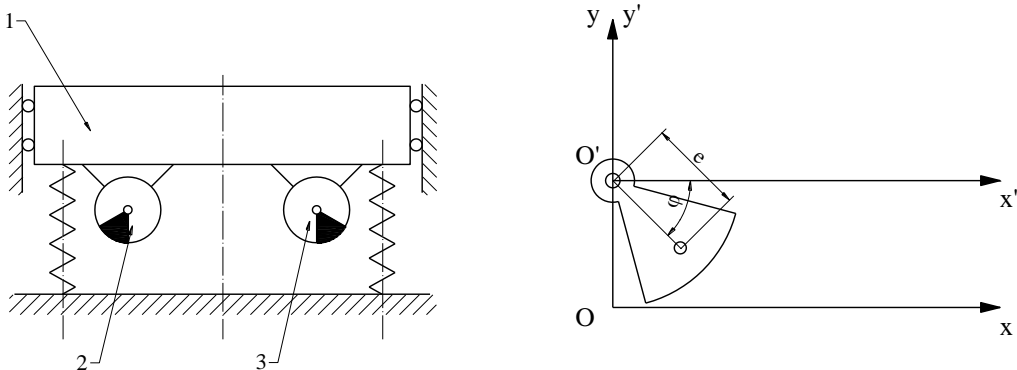
Trong số 3 phương pháp đồng bộ trên, thì ta thấy phương pháp đồng bộ cơ khí kém hiệu quả hơn so với 2 phương pháp đồng bộ bằng điện và thủy lực do kết cấu cồng kềnh, phức tạp. Bộ truyền thiếu tính linh động trong điều chỉnh vận tốc của động cơ.

Phương án đồng bộ bằng thủy lực có kết cấu nhỏ hơn và dễ bố trí cơ cấu làm việc trên các máy công tác nên có tính cơ động cao, ngoài ra còn dễ dàng thay đổi vận tốc của động cơ thủy lực. Tuy nhiên do áp lực dòng dầu giới hạn, nên có dải năng suất còn hạn chế.

Phương án đồng bộ điện có sử dụng động cơ điện cho công suất làm việc cao, mô men khởi động lớn. Tuy nhiên tính cơ động kém và làm việc phụ thuộc vào lưới điện.

3. Cơ sở tự đồng bộ hai bộ gây rung

Để minh họa khả năng tự đồng bộ chúng ta xem xét mô hình dưới đây:



Hình 5. Mô hình minh họa khả năng tự đồng bộ: 1. Khung; 2,3. Khối gây rung

Trên khung 1 có gắn hai khối gây rung 2, 3. Giả thiết khối gây rung 2 được dẫn động quay bởi một động cơ điện và quay với vận tốc góc ω , khối gây rung 3 quay tròn như một con lắc quanh trục O' . Vấn đề đặt ra ở đây là tìm điều kiện để cả hai khối gây rung quay đồng bộ cùng tốc độ.

Nhờ lực kích động của 2, khung có khối lượng m sẽ dao động, trục O' của 3 gắn chặt trên khung cho nên nó cũng chuyển động theo phương trình sau:

$$y = A \sin \omega t \tag{1}$$

trong đó A là biên độ dao động; ω là tốc độ góc của 2.

Giả thiết trạng thái tĩnh của 3 bị phá vỡ. Phương trình chuyển động của 3 được viết:

$$M_1 + M_2 + M_3 = m_1 e^2 \ddot{\varphi} \tag{2}$$

trong đó m_1 là khối lượng của 3; e là bán kính quán tính của 3; $m_1 e^2$ là mô men quán tính của 3; φ là góc quay của nó trong hệ tọa độ $x'O'y'$ theo chiều quay của kim đồng hồ;

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

$M_1 = m_1 g e \cdot \cos \varphi$ - Mô men do trọng lực của 3 sinh ra; $M_2 = -\dot{\varphi} k = -k\omega$ - Mô men cản, giả thiết mô men cản tỷ lệ thuận với tốc độ góc. Ngoài ra, hệ tọa độ $x'O'y'$ cũng chuyển động tương đối so với xOy , bởi vậy trong phương trình mô men có thành phần mô men của lực quán tính kéo theo, lực này có phương thẳng đứng và trị số theo công thức sau:

$$m_1 \ddot{y} = [A \sin \omega t]'' m_1 = -Am_1 \omega^2 \sin \omega t \quad (3)$$

Mô men tương ứng của 3 sẽ là:

$$M_3 = -(Am_1 \omega^2 \sin \omega t) e \cos \varphi \quad (4)$$

Thay các biểu thức M_1, M_2, M_3 vào biểu thức sẽ nhận được

$$m_1 g e \cdot \cos \varphi - k\dot{\varphi} - m_1 e A \omega^2 \sin \omega t \cos \varphi = m_1 e^2 \ddot{\varphi} \quad (5)$$

Nhìn vào biểu thức (5) thấy ngay rằng các hệ số của $\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$ không phải là hằng số mà thay đổi, vậy phương trình này vào loại phi tuyến và khá phức tạp. Mục đích bài toán đã đặt ra là tìm điều kiện để hai khối lệch tâm quay cùng tốc độ góc, bởi vậy ta hoàn toàn có thể giả thiết rằng nghiệm của (5) có dạng: $\varphi = \omega t + \alpha$ (6)

Lấy đạo hàm (6) hai lần, rồi thế vào (5) ta được:

$$[m_1 e \cos(\omega t + \alpha)] \cdot (g - A\omega^2 \sin \omega t) = k\omega \quad (7)$$

Nếu $\omega = \text{const}$, thì vế phải của (7) là hằng số còn vế trái lại là hàm số. Điều này chứng tỏ biểu thức (6) chỉ là nghiệm gần đúng của (5). Vì là nghiệm gần đúng cho nên vế trái của (7) có thể coi là tổng của các hàm điều hòa có chu kỳ $2\pi/\omega$. Để xác định giá trị trung bình của vế trái chỉ cần lấy tích phân trong khoảng $[0, 2\pi/\omega]$, sau đó chia kết quả cho $2\pi/\omega$ (đây là bản chất của phương pháp trung bình hóa tương đương khi giải phương trình vi phân phi tuyến do Vandêrpon đề xuất).

$$\frac{m_1 e}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} \cos(\omega t + \alpha) \cdot (g - A\omega^2 \sin \omega t) dt = \frac{m_1 e}{2} A\omega^2 \sin \alpha \quad (8)$$

Viết lại biểu thức (7) ta có:

$$\frac{m_1 e}{2} A\omega^2 \sin \alpha = k\omega \quad (9)$$

Cả hai vế đều là hằng số. Như vậy, khối gây rung 3 quay lệch pha một góc là α nhưng cùng tốc độ góc ω với 2. Từ biểu thức (9) ta rút ra :

$$\sin \alpha = \frac{2k}{m_1 e A \omega} \quad (10)$$

Từ (10) dễ dàng tìm được góc lệch pha α , đồng thời có ngay điều kiện cần và đủ để đồng bộ là :

$$\sin \alpha = \frac{2k}{m_1 e A \omega} \leq 1 \quad (11)$$

Từ (11) ta thấy ngay rằng: $m_1 e A \omega$ càng lớn và k càng nhỏ thì càng dễ đồng bộ; Ngoài ra ta có $k \omega$ là mô men cản, nên công suất tổn hao dễ dàng được xác định theo công thức sau:

$$N = M_c \omega = k \omega \cdot \omega = k \omega^2. \text{ Mặt khác từ (11) lấy } \sin \alpha = 1, \text{ ta có biểu thức sau: } N = \frac{m_1 e \omega^3 A}{2}$$

Ví dụ: Cho $m_1 e = 10^{-1} \text{kg.m}$; $A = 0,005 \text{m}$; $\omega = 300 \text{rad/s}$. Thay vào công thức trên ta

$$\text{có: } N = \frac{m_1 e \omega^3 A}{2} = \frac{10^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 300^3}{2} = 6,75 \cdot 10^3 \text{ (W)}. \text{ Như vậy, công suất động cơ } N \geq 6,75$$

KW thiết bị sẽ có khả năng tự đồng bộ.

4. Kết luận

Phụ thuộc vào nhiều thông số động học và kết cấu máy, thiết bị dẫn đến hai khả năng hoặc là cộng tác dụng rung tăng hiệu quả làm việc của máy, hoặc triệt tiêu rung lẫn nhau. Các tác giả bài báo đã trình bày một số nguyên lý đồng bộ và tự đồng bộ rung làm cơ sở để lựa chọn và tính toán thiết kế các máy rung sử dụng trong xây dựng và công nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng.

Tài liệu tham khảo

1. Đoàn Tài Ngo, Nguyễn Thiệu Xuân, Trần Văn Tuấn, Nguyễn Thị Thanh Mai, Nguyễn Kiếm Anh (2000), *Máy sản xuất vật liệu và cấu kiện xây dựng*, Nxb Xây dựng, Hà Nội.
2. PGS.TS Trần Văn Tuấn (2005), *Cơ sở kỹ thuật rung trong xây dựng và sản xuất vật liệu xây dựng*, Nxb Xây dựng, Hà Nội.
3. PGS.TS Vũ Liêm Chính, PGS.TS Phạm Quang Dũng, PGS.TS Trương Quốc Thành (2002), *Cơ sở thiết kế máy xây dựng*, Nxb Xây dựng, Hà Nội.
4. Vũ Quang Hội (2000), *Trang bị điện - điện tử công nghiệp*, Nxb Giáo dục, Hà Nội.